

## Zur Geschichte des Genbegriffs

### Abstract

Die klassischen Werke zur Biologiegeschichte von *Blakesley* (1936), *Stubbe* (1963), *Dunn* (1965), *Carlson* (1966), *Cremer* (1985), *Johansson* (1988), *Jahn* (1998), *Morange* (1998), *Kay* (2000) stellen die historische Entwicklung der Vererbungslehre vor und berücksichtigen auch die Entstehung der Genetik als einer neuen Disziplin der Biologie. Eine Problemgeschichte, die gezielt die Vorbereitung des Genbegriffs noch vor Entstehung der Genetik, und daraus die Entfaltung des Begriffs in deren folgenden Jahrzehnten untersucht, fehlt darin. Ebenso wenig sind die späten Schwierigkeiten der Begriffsbildung, die bis an die Forderung nach einer Auflösung des Modells reichen, auf früh angelegte Bestandteile in der Genvorstellung untersucht. Monographien und auch Einzeluntersuchungen in Form des wissenschaftlichen Artikels aus der jüngeren Zeit tragen bereits explizit den Terminus Gen im Titel, der mit der hier vorgelegten Arbeit zum Thema einer problemgeschichtlichen Querschnittsuntersuchung erhoben wird. Beispielhaft genannt seien *Kitcher* (1992, 1999), *Gifford* (2000), *Gilbert* (2000), *Graham* (2002) oder *Morange* (2002). Diese Untersuchungen richten ihr Augenmerk jedoch auf die Entstehung von Widersprüchen, die sich aus der unterschiedlichen Modellbildung der jüngsten Biologie bei sich isolierender Methodik in den Teildisziplinen, etwa der Entwicklungs-, statistischen Populations-, oder Evolutionsbiologie ergeben.

Die vorliegende Arbeit setzte sich daher zur Aufgabe, die frühen Phasen der Entstehung der biologischen Vorstellung *Gen* als dem bestimmenden Agens für Eigenschaftsbildung der Lebewesen, Erhalt im Lebensverlauf, generationsweiser Weitergabe und Veränderlichkeit (Mutabilität) zu untersuchen. Sie endet mit der Etablierung des DNS-Doppelhelixmodells im Jahr 1953 und sie gibt zugleich Einblick in sodann entstehende Fragwürdigkeiten des entstandenen Modells, wie sie schon in der Vorgeschichte der Genvorstellung angelegt sind. Mit dem Auseinandertreten von naturwissenschaftlich veranlassten Sicherheiten, einer Divergenz, die im nobelpreisgekrönten Genmodell der DNS-Doppelhelix noch nicht vermutet wurde, entfalteten sich früh angelegte Gegensätze.

Gezeigt wird, dass die spekulativen Frühphasen des Begriffs aus der Entstehungszeit der Biologie – diese wurde 1800 zu einem unter eigenständiger Prämisse arbeitenden naturwissenschaftlichen Aufgabengebiet erhoben – unter Verselbständigung der Disziplin strikten Einfluss nehmen auf die spätere Begriffsentwicklung der im modernen wissenschaftlichen Verständnis selbstverständlich werdenden Wirklichkeitssicht. In der Weise, in der sich im Verlauf der Abstraktion die Auffassung zunehmend auf singuläre materielle Erbträger als *dem* Gen und schon auf dessen Vorläuferbegriffe konzentrierte, änderte sich das Verständnis von der Lebendigkeit des Lebenden und von Vererbung gemäß den wissenschaftlichen Leitbildern, die in der Wissenschaftsdifferenzierung wechselweise auseinander traten und zusammen geführt wurden. Nach Schaffung des Terminus Gen gründete sich 1906 die *Genetik* innerhalb der mittlerweile hundertjährigen Biologie als eine fortschreitend terminologisch und methodisch selbständig arbeitende biologische Teildisziplin. Mit dem Bild einer durch identische Verdopplung sich selbst reproduzierenden *DNS-Doppelhelix* entstand in Verbindung mit dem hermeneutischen Modell einer chemischen Kodierung von verschlüsselten Informationen (Informationsmodell) eine einheitliche Arbeitshypothese, die sich im folgenden Jahrzehnt auf die gesamte belebte Natur ausdehnen zu lassen schien. Dem entgegen begannen in den 1970ziger Jahren sich Einwände Gehör zu verschaffen. Einer allzu direkten Entsprechung von Gen und Eigenschaft wurde widersprochen, bis hin zu der Vermutung, das Genmodell insgesamt habe nur die Geltungskraft eines zwar nützlichen, aber *hypothetischen Realismus* bis auf den Nachweis einer Alternative. Für das Wissenschaftsverständnis ist ein weiteres Beispiel geliefert, dass der seit dem 19. Jahrhundert sich durchsetzende *naturalistische Reduktionismus*, mit seiner monistischen Ausrichtung, nur die naturwissenschaftlich definierten Gegenstandsbereiche als wahrheitsfähig zuzulassen und die naturwissenschaftliche Methode zur einzigen Forschungsweise zu erheben, nicht alle Implikationen der Begriffsbildung berücksichtigen kann, sondern zu Ausblendungen führt, die über lange Perioden hinweg Widersprüche in der Vorstellung verdecken können, bis sie zutage treten.

AUS DEM INSTITUT FÜR GESCHICHTE DER MEDIZIN  
DER HEINRICH-HEINE-UNIVERSITÄT DÜSSELDORF

Direktor: Universitäts-Professor Dr. med. Dr. phil. Alfons Labisch M.A.

Zur Geschichte des Gens

Die Entstehung der Begriffsmerkmale im 19. Jahrhundert und ihre Weiterentwicklung  
bis zur Formulierung durch Rosalind Franklin, Francis Crick, James Watson, Maurice Wilkins

Dissertation

zur Erlangung des Grades eines Doktors der Medizin  
der Medizinischen Fakultät der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf

vorgelegt von

Kurt Otto Plischke

2012

Als Inauguraldissertation gedruckt mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät der  
Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf  
gez. Univ.-Prof. Dr. med. Joachim Windolf Dekan  
Referent: Univ.-Prof. Dr. med. Dr. phil. Alfons Labisch M.A.  
Korreferent: Univ.-Prof. Dr. Hans-Joachim Steingrüber

*„Um die Ursachen von Gesundheit und Krankheit hat sich nicht bloß der Arzt, sondern bis zu einem gewissen Grade auch der Naturforscher zu kümmern. Medizin und Naturwissenschaft sind zwar verschieden, und diese Verschiedenheit darf nicht übersehen werden. Aber sie sind auch, wie die Erfahrung zeigt, bis zu einem gewissen Grade miteinander verwandt. Die verständigen und gründlich arbeitenden Ärzte holen bei den Erörterungen über die Natur die Prinzipien aus der Naturwissenschaft, und die tüchtigsten Naturgelehrten endigen meistens bei den Prinzipien der Medizin.“*

**Aristoteles, Von der Entstehung der Lebewesen**

## INHALT

	Seite	
I	Ergebnisse der Forschung und Fragestellung	5
II	Das Problem einer biologischen Vererbungslehre	31
III	Beschreibungen der Fortpflanzung, die das spätere biologische Verständnis der Vererbung prägten	37
IV	Die veränderte Auffassung einer Wissenschaft vom Leben	41
IV.1	Spencer: Physiologische Einheiten. Lebewesen als belebte Materie	55
IV.2	Darwin: Tätigkeitszentren der Pangenesis. Eine provisorische Hypothese	57
IV.3	Haeckel: Theorie der Plastidule	60
IV.4	Nägeli: Idioplasma. Eine mechanisch-physiologische Theorie	70
IV.5	Eine neue Perspektive für den Umgang mit Natur	79
IV.6	Hertwig und Strasburger: Der Aufenthaltsort des Vererbungsplasmas	81
IV.7	Weismann: Determinanten und Biophoren	84
IV.8	Weigert: Aktivierung von Anlagen	93
IV.9	De Vries: Intrazelluläre Pangenesis	94
IV.10	Haacke: Zelleib als Vererbungsträger. Eine oppositionelle Lehre	99
V	Die erste experimentell entwickelte Vererbungslehre. Mendel: Merkmale sind zusammengesetzt aus Elementen	102
VI	Die Entstehung eines entteleologisierten Vererbungsbegriffs	115
VII	Das Schicksal der Entdeckungen Mendels	122
VIII	Die Ausgestaltung des Genbegriffs in seiner modernen Form	125
VIII.1	Begründung des heutigen Terminus <i>technicus</i> durch Wilhelm Johannsen	125
VIII.2	Die beginnende Differenzierung des Genbegriffs bis 1939: klassische Genetik	133
VIII.3	Das Gen erhält eine biochemische Charakteristik	144
VIII.3A	Eiweiß oder Nukleinsäure?	146
VIII.3B	Der Gedankengang von Watson und Crick	171
VIII.3C	Die Vorstellung der Ergebnisse 1953	177
VIII.3D	Erweiterung der Kenntnisse bis 1962	183
VIII.3E	Das Jahr der Nobelpreisverleihung. Weiterführende Fragen	187
IX	Wissenschaftliche Einwände zum Genkonzept der Vererbung	197
X	Ergebnisse	205
XI	Die Frage der Erzeugung in Genetik und Technologie	226

XII	Schlussbetrachtung	229
	Personenverzeichnis	236
	Sachverzeichnis	241
	Bibliographie	275
	Weiterführende Literatur	296
	Abbildverzeichnis	303
	Danksagung	

## ERGEBNISSE DER FORSCHUNG UND PROBLEMSTELLUNG

Die Geschichte der Naturwissenschaften wird in ihrer fortschreitenden Disziplinierung in Teilgebiete begleitet von historischen und wissenschaftstheoretischen Reflexionen. Sie folgen der Spezialisierung und geben aus eigener Perspektive der jeweiligen Fachgebiete Rechenschaft über deren Geschichte. Hingegen sind allgemeine Einordnung, Vergleich, Übersetzung der Merkmale in der Begriffsentwicklung eine Aufgabe von Wissenschaftstheorie und -geschichte als solcher. Sie reichen bis in die Erkenntnistheorie. Die Kategorien zu diesem Zweck stammen nicht aus den Naturwissenschaften. Denn sie thematisieren deren Maßstäbe – eine Leistung, die, ehemals federführend von der Theologie erbracht, säkularisiert fortgeführt wird von Philosophie und allgemeiner Wissenschaftsgeschichte. Auch solche Arbeit kann sich der disziplinären Gliederung anschließen. Doch wird sie zugleich deren Grenzen beleuchten - worin sich die Medizingeschichte und Philosophie nahekomen, etwa in einer sich begriffs- und problemgeschichtlich ausrichtenden *historischen Epistemologie*.

**Hans-Jörg Rheinberger** weist ihr die Methode zu, nach den Mitteln zu fragen,

*„mit denen Dinge zu Objekten des Wissens gemacht werden, an denen der Prozess der wissenschaftlichen Erkenntnis in Gang gesetzt sowie in Gang gehalten wird“.* (Rheinberger 2007: 11)

Zum Verständnis der Einflussgrößen in der Entstehung von Forschungszwecken sei es unverzichtbar, historische Rahmenbedingungen zu berücksichtigen.

Hinsichtlich des Anscheins einer rein faktenbezogenen Empirie als dem modernen wissenschaftlichem Ideal merkt **Lutz Geldsetzer** grundsätzlich an: Das *epistemische* Moment der Wissenschaft liege vielmehr in der Theoriebildung, indem sie zwischen Daten, Fakten einen Zusammenhang stifte, Antworten auf die Warum-Frage bezüglich der Fakten gebe. Notwendigerweise wirke somit die Ebene der Theorie auf die Faktenebene zurück. Erst im Licht der Theorie entstehen die Was-Fragen nach den Fakten. (Geldsetzer 1982: 70). Geschichte werde in hermeneutischer Arbeit als ein ideelles *Sinngebilde* konstruiert. Deshalb bestehe das Wahrheitskriterium:

*„in der logischen Kohärenz und Stimmigkeit sowie im Umfang der Integrationskraft geschichtlicher Theorien gegenüber den Sinngebilden aller Geschichtsforschungsbereiche“.*

Wenn diese auf Widersprüche, Dunkelheiten, Irrtümer untersucht werden, sei wiederum die logische Stimmigkeit das beweisende Kriterium für Inkohärenzen. Wissenschaftliche Untersuchung bewege sich nicht außerhalb der Wahrheitsfrage, *„keinesfalls jenseits von Idealismus oder Realismus“*, sondern bringe verschärft die *„Relevanz der philosophischen Letztorientierungen, eben die metaphysische Frage, ins Spiel“* (ibid. S. 86). So entsteht Orientierung mittels einer strikten Begriffslogik in ihrer historischen Entfaltung (Geldsetzer 1987).

**Alfons Labisch** äußert konsequent eine Auffassung von Wissenschaftsphilosophie, derzufolge das Geschichtsverständnis, um seinem Grundzug als Sinngebilde Rechenschaft zu tragen, kulturwissenschaftlich verankert sein müsse. Er kann auf diese Weise in der Epochenfolge idealtypische Abhängigkeiten im Wechsel von Sinngehalten für den europäischen Begriff der Gesundheit nachweisen (Labisch 1989; Labisch 1992; Labisch 2006). Auch zeigt er mit Vorsicht im Kulturvergleich Europa – China – Korea – Japan sehr verschiedene Paradigmen im Gesundheitsverständnis, ohne der Gefahr eurozentristischer Einebnung zu unterliegen (Labisch: Darstellung im Forschungsseminar, Wintersemester 2009/2010 des Instituts für Geschichte der Medizin an der Heinrich-Heine Universität Düsseldorf).

In der Quintessenz kann eine Wissenschaft, die sich ihrer Wurzeln bewusst bleibt, weiterhin wie **Robert Spaemann** und **Reinhard Löw** mit wissenschaftlichem Humor nach verdeckten teleologischen Implikationen im modernen Verständnis der Naturwissenschaften fragen und auf verbleibende Anthropomorphien nach Aufhebung aller Anthropozentrik deuten. Teleonomie ersetzt Teleologie:

*„Um so ungehinderter kann man dafür das Erbe der Teleologie antreten und sich ihrer ‚abkürzenden‘ Sprech- und Schreibweise bedienen. Jeder weiß, wie es gemeint ist: ‚zweckmäßig ohne Zweck‘ und: nicht-dogmatisch und metaphysisch, sondern hypothetisch und heuristisch. Bemerkenswerterweise wird die Ausdrucksweise um so teleologischer, je weiter man sich von Lebewesen entfernt, bei Maschinen, Elementarteilchen oder Wirbelstürmen. Es*

*ist nur konsequent, daß sie auch Personennamen bekommen“ (Spaemann, Löw 2005: 197).*

Wissenschaftsgeschichte und Philosophie begegnen sich bei gemeinsamen inhaltlichen und methodischen Ansätzen in ihrer Zielsetzung.

Über historisch selbstauferlegte Beschränkungen in der Bewahrheitung möge der folgende Hinweis dienen. Er betrifft den Betrachtungszeitraum der hiermit vorgelegten Untersuchung.

*„Es hat auch den Anschein, daß das moderne Fortschrittsbewußtsein im Abendland ständig eine Art ‚blinden Fleck‘ hinsichtlich der jüngsten Vergangenheit hervorbringt. Das Neue profiliert sich gerne auf Kosten des gerade eben Überholten, das es in umso tiefere Vergessenheit abdrängt. Dies scheint heute besonders für die zweite Hälfte des 19. Jahrhunderts zu gelten, welche daher in die zeitgeschichtliche Forschung aufzunehmen ist“ (Geldsetzer 1982: 98).*

Im Folgenden werden zunächst Ergebnisse dargestellt, die von der Wissenschaftsgeschichte zur Frage der Entstehung und Entwicklung des Genbegriffs, eine Periode von Ursprüngen im 19. Jahrhundert bis zum Jahr der Vorstellung der DNS (1953) betrachtend, vorgelegt worden sind. Die Übersicht erstrebt nicht den einfachen Nachweis historischer Auflistungen unter der Voraussetzung eines etappenweise anwachsenden Schatzes gewisser oder nur vermeintlicher Erkenntnistatsachen. Das Augenmerk gilt methodischem Ansatz, Fragerichtung, Begründung für die Wahl des Betrachtungszeitraums und Art der Studie, als denjenigen Faktoren, welche auf das Ergebnis Einfluss nehmen. Auch berücksichtigt wird der Nachweis von Art und Weise des Quellenstudiums, wie eng Originaltexte herangezogen, ob und wie sie aufeinander bezogen, Kohärenzen, Weiterentwicklung oder Eliminierung von Begriffsmerkmalen daraus abgeleitet werden.

Der Chemiker und Wissenschaftshistoriker **Stephen Finney Mason** [(1923-2007); 1947-1953 am Museum for the History of Science/Oxford; 1956 University of Exeter; 1964 Gründer der Fakultät für Chemie der University of East Anglia; 1970 Kings College/London; 1988 Cambridge; 1991 Gründer der Historical Group of Science der Royal Society of Chemistry; Entdeckungen in experimenteller und theoretischer Spektroskopie u.a. von Spiralmolekülen zur Bestimmung der Konfiguration organischer Moleküle; Untersuchungen zu den schwachen Nuklear-

kräften von Biomolekülen] gibt in seiner „*Geschichte der Naturwissenschaft in der Entwicklung ihrer Denkweisen*“, nach Epochen und Fachwissenschaften gegliedert, ausführlich und mit vielfachen Querverweisen Einblick auch in die Biologiegeschichte des 19. und 20. Jahrhunderts, als sich die Genetik zu einer selbständigen Wissenschaft zu formieren begann (Mason 1961). Nicht dargestellt werden die Einführung des Terminus Gen durch **Wilhelm Johannsen** und die begriffliche Entfaltung zur Vorstellung einer Doppelhelix als dem Genträger mit selbstreproduktiven Kräften, womit das Typische der belebten Stofflichkeit in die biochemische Darstellungsweise übersetzt war. Die Darstellung besteht in einer Geschichte wissenschaftlich positivistischer Faktenkunde. Sie verfolgt nicht die Absicht, eine Begriffsgeschichte darzulegen oder Relativitäten von Beschreibungsweisen nachzugehen. Textarbeit an Originaltexten wird nicht vorgestellt.

Eine mehrfach überarbeitete Geschichte der Biologie als Einzelwissenschaft gibt 1998 die Wissenschaftshistorikerin **Ilse Jahn** heraus. [(1922-2010); stellvertretende Direktorin des Museums für Naturkunde und Privatdozentin für Wissenschaftsgeschichte an der Humboldt-Universität in Berlin]. Unter verschiedenen Aspekten wird beschrieben, wie sich das Teilgebiet der Genetik bildete (Jahn 1998). **Brigitte Hoppe** [(geb. 1935); Professorin für Geschichte der Naturwissenschaften in der Forschungsabteilung des Münchner Zentrums für Wissenschafts- und Technikgeschichte, Ludwig-Maximilians Universität München] behandelt darin die Entstehung der Vererbungswissenschaften im Rahmen der theoretischen und methodischen Neuansätze des 19. Jahrhunderts. **Jörg Schulz**, [Wissenschaftsphilosoph am Institut für Geschichtswissenschaft, Lehrstuhl für Wissenschaftsgeschichte der Humboldt-Universität Berlin] legt die Phase der Wiederentdeckung der Mendelschen Regeln dar. **Konrad Senglaub** bespricht die noch im 20. Jahrhundert langwährenden Auseinandersetzungen um den Darwinismus. **Hans-Jörg Rheinberger** [(geb. 1946); ehemals Forschungsgruppenleiter für Molekularbiologie am Max-Planck-Institut für Biologie in Berlin-Dahlem, später Direktor des Max-Planck-Instituts für Wissenschaftsgeschichte] schildert die Etablierung der Molekulargenetik bis hin zu den Aufgaben der Genom-Analyse.

Als historische Übersichtsarbeit der gesamten Biologie konzipiert, einsetzend mit den frühen Hochkulturen und Antike, über das Mittelalter in die Gegenwart führend, ist die Darstellung daran orientiert, die Ideenentwicklung in epochalen Perioden verständlich zu machen. Sie will nicht aus Einzelnachweisen und

Begriffsvergleichen an den Originaltexten der beteiligten Forscher und einer Konzentration auf den Genbegriff dessen Entstehung ableiten, sie will nicht aus den Verästelungen, Kontinuitäten und Gegensätzen die Einzelheiten einer bis heute widerspruchsvollen Geschichte der Genvorstellung aufzeigen oder Gründe der Widersprüche aufsuchen, ebenso, wie eine Problematisierung der Vorstellung auf die Gegenwart hin nicht das Ziel einer solchen Untersuchung sein kann.

Mit „*Grundzüge der Biologiegeschichte*“ (1990) legt **Jahn** selbständig eine Geschichte aller Epochen vor, in der sie der Genetik einen ausführlichen Abschnitt widmet. Auch Entwicklungslinien dieser Wissenschaft aus den spekulativen Hypothesen des 19. Jahrhunderts sind dargestellt, über Mendelismus, Darwinismus, Mutationsforschung der klassischen Genetik noch vor der Phase des molekularen Genbegriffs. Die Durchsetzung der Evolutionstheorie gilt in dieser Darstellung als die Synthese der Einzelergebnisse der klassischen Periode und zugleich als die wesentliche Voraussetzung des späteren biochemischen Modells der Erbsubstanz, das jedoch nicht mehr in seinen Einzelheiten aus Vorläufervorstellungen hergeleitet wird. Ein zentrales Ziel der Darstellung besteht darin, **Darwins** Theorem als das organisierende Prinzip für die Erkenntnisarbeit von Biologie und Genetik zu erweisen. Angesprochen wird damit ein Problem, dem die Hypothetizität seiner Lösung von der Gegenwartsbiologie zunehmend bestritten wird.

**Günter Wricke** [(1928-2009); ehemals Leiter des Instituts für Angewandte Genetik der Technischen Universität Hannover] und **Wolfgang Horn** [(geb. 1940); Inhaber des Lehrstuhls für Zierpflanzenanbau der Technischen Universität München/Freising] stellen im Jahr 1978 aus dem Nachlass des Genetikers **Hans Kappert** [(1890-1976); Schüler von **Carl Correns** am Kaiser-Wilhelm-Institut für Biologie in Berlin-Dahlem] eine Facharbeit vor, die sich ausschließlich auf die Genetik konzentriert. **Kappert** habe für den Zeitraum von 1900 bis 1950 die „*erste zusammenfassende Darstellung der Geschichte der Genetik aus deutscher Sicht*“ gegeben (Kappert 1978:7). Der Autor gibt seinen Rückblick „*Vier Jahrzehnte miterlebter Genetik*“ aus der Sicht zweier Teildisziplinen der Genetik, Angewandter Genetik und Mutationsforschung. Sich auf den gewählten Zeitraum beschränkend wird für die Vorläufertheorien aus dem 19. Jahrhundert nur auf die *Idioplasma-Theorie Carl Nägelis* verwiesen, der Hinweis gegeben habe auf eine

für das Erbgeschehen *selbständige Substanz*, welche schließlich strukturell mit dem *Chromosom* identifiziert worden sei. Begriffsentwicklung aus Gegenüberstellung von Originaltexten ist nicht das Ziel der Untersuchung. Vielmehr legt **Kappert** Wert darauf, solche Hypothesen zu schildern, die in den historischen Etappen zunächst den Mendelismus bestätigen, und solchen, anhand derer nachfolgend die Chromosomentheorie des Gens aufgestellt wurde. Der Einfluss physikalischer Sichtweise in der Nachfolge **Ernst Schrödingers**, obschon in den 40ziger Jahren des 20. Jahrhunderts einsetzend, wird nicht thematisiert.

Für den englischen Sprachraum legt 1965 **Leslie Cecil Dunn** [(1893-1974); 1928 Gast am Kaiser-Wilhelm-Institut Berlin; 1934/1935 Gastprofessor Universität Oslo; 1928 Professor für Zoologie, Columbia-Universität USA; Mitglied der U.S. National Academy of Sciences] „*A Short History of Genetics*“ vor. Im ansonsten unveränderten Nachdruck 1991 ist ein Untertitel hinzugefügt, der die Zielsetzung andeutet: „*The Development of Some of the Main Lines of Thought: 1864-1934*“. Formulierung und zeitlicher Rahmen lassen eine Herleitung der Begrifflichkeit der klassischen experimentellen Genetik des 20. Jahrhunderts aus den spekulativen Vorarbeiten des 19. Jahrhunderts erwarten. Abweichend von der Mehrzahl der Autoren geht Dunn unmittelbar auf Originalpassagen weichenstellender Veröffentlichungen ein, welche er auszugsweise in ganzen Abschnitten zitiert. Doch vertritt er die Auffassung, die Periode 1900-1906 „*can now be seen as the chief break in the continuity of ideas about the transmission system of heredity*“. Was vor dieser Zeit entwickelt worden sei habe außer der Veröffentlichung **Mendels** nur geringen Einfluss auf den späteren Verlauf der Ideenentwicklung (Dunn 1991: 33). Diese Auffassung unterstützt 1991 **Lindley Darden** [(geb. 1945); seit 1992 Professorin für Philosophie an der Universität von Maryland College Park, USA]. Für sie liegt der entscheidende Bruch größter Tragweite in der Ersetzung von *Merkmalseinheit* durch *Faktor*, einer Folge des sich durchsetzenden **Mendelismus** in den ersten Jahren des 19. Jahrhunderts. Die Einführung des Genbegriffs und seine Entwicklung zum chromosomalen Gen sei nur die konsequente Entfaltung jenes Schrittes (Darden 1991: 178).

**Dunn** zeichnet den weiteren Weg in zwei Perioden nach. Auf die Epoche des Mendelismus (1900-1909) folge die klassische Gentheorie (1910-1939), die schließlich Gene auf dem Chromosom verortet und aus Mutationen auf deren Position und Nachbarschaftslagen geschlossen habe, ehe 1944 durch **Oswald**

*Avery, Colin MacLeod, Maclyn Mc Carty* das übertragene Erbmateriale mit Desoxyribonukleinsäure identifiziert worden sei. Die historisch genaue und vielseitige Übersicht konzentriert sich, bis zu diesem Zeitpunkt führend, auf die späten Entwicklungslinien der betrachteten Periode, ohne sich in detaillierte begriffliche Vergleiche in den Originaltexten zu begeben, mit umfangreicher Bibliographie der Quellen. Für den Zeitabschnitt von 1864-1909 nimmt *Dunn* ausschließlich Bezug auf die Originalzitate, die *Alfred Barthelmess* 1952 in seiner Schrift „*Vererbungswissenschaft*“ gibt. Eine begrifflich vergleichende Textarbeit an den daraus entnommenen Textabschnitten entfällt.

*Barthelmess* [gest. 1987] wirkte 1957-1973 an der Universität München in einer außerplanmäßigen Professur über Botanik, Genetik, Entwicklungsphysiologie und Geschichte der Naturwissenschaften. In ausführlichen Originalzitate stellt er Kerntexte aus der Geschichte der Vererbungslehre vor und verbindet sie durch eigene Zwischentexte, in denen er den gedanklichen Verlauf zusammenfasst. Der Autor beginnt mit *Aristoteles* und *Hippokrates*, den „*Vätern der Vererbungswissenschaft*“ und geht auch auf die historisch mit *Linné, Lamarck, Darwin* sich ergebende Auseinandersetzung um Artenkonstanz und Artenwandel ein. *Mendels* Lehre und die spekulativen Positionen *Darwins, Nägelis, Weismanns, Strasburgers* kommen in ihren eigenen Darstellungen ausführlich zu Wort. Mit *Haeckel* sei der erste, wenn auch misslungene Versuch einer Theorie gegeben, die es unternommen habe, alle bis dahin bekannten Phänomene zusammenzufassen. *Barthelmess* nennt die Methode seiner eigenen Darstellung eine „*rein historische*“ auf Basis von „*repräsentativen Dokumenten*“, nicht sei sie eine „*kritische*“. Die Phase der Physikalisierung und die Hinwendung zur Nukleinsäure als einer Desoxyribonukleinsäure sind von seiner Untersuchung nicht mehr erörtert, die mit der Epoche der klassischen Genetik endet, aber weitergehende Tendenzen über die im historischen Verlauf angenommenen Stoffklassen für das Erbmateriale andeutet. Insgesamt ist die Darstellung an einer Ideenentwicklung über Vererbungsvorgänge interessiert, nicht an den Einzelheiten der Herausbildung des Genbegriffs oder dessen Voraussetzungen in den frühen Theorien des 19. Jahrhunderts. Die Geschicklichkeit der Darstellung liegt darin, die beteiligten Forscher in ihren eigenen Darstellungen sprechen zu lassen, sie durch Kommentare zu verknüpfen, um auf diese Weise deutlich

werden zu lassen, wie die im Zitat vorgestellten Forschungsergebnisse aufeinander Einfluss nahmen.

Wie *Barthelmess* und *Kappert* konnte auch *Hans Stubbe*, der damalige Direktor des Instituts für Kulturpflanzenzüchtung Gatersleben der Deutschen Akademie der Wissenschaften zu Berlin (DDR), auf eine langjährige eigene praktische Erfahrung in der biologischen Forschung zurückblicken [(1902-1989); 1946 Professor für landwirtschaftliche Genetik an der Universität Halle-Wittenberg; 1951-1967 Präsident der Deutschen Akademie der Landwirtschaftswissenschaften; zahlreiche Ehrendoktorwürden; Vorstandsmitglied des Forschungsrates der DDR; Nationalpreis der DDR; parteiloser Abgeordneter der Volkskammer. In der Biologie bedeutsam ist seine experimentelle Widerlegung des *Lyssenkoismus*, der eine Vererbung erworbener Eigenschaften annahm].

1963 veröffentlicht er eine „*Kurze Geschichte der Genetik bis zur Wiederentdeckung der Vererbungsregeln Gregor Mendels*“. Das Werk führt in klassischer Epochenteilung kapitelweise von der Vorzeit durch Antike, Mittelalter und Neuzeit und widmet anschließend jeweils ein Kapitel dem 19. Jahrhundert, der Mutationslehre *de Vries*‘ und der Zytologie dieser Zeit. Nach Darstellung der Wiederentdeckung der *Mendelschen* Regeln endet es in der Frühphase der klassischen Genetik mit „*ersten Vorstellungen über eine Chromosomentheorie der Vererbung*“. Wie der Verfasser vorausschickt, wolle er für die Vererbungswissenschaft ihre „*großen Entwicklungslinien*“ darstellen, „*zumal eine solche Zusammenfassung in deutscher Sprache fehlt*“ (Stubbe 1963: VII).

Dem Terminus *Gen* kommt in der Darstellung nur eine nebensächliche Bedeutung zu. Seine Einführung durch *Johannsen* wird nicht erörtert. Dennoch richtet sich das Augenmerk für das 19. Jahrhundert und die Jahrhundertwende auf Theorien, die *singuläre Erbinheiten* entwerfen und deren Weitergabe, Entwicklung und Veränderung postulieren. Der Autor gibt Zitate aus Originalquellen mit Vorläuferbegriffen der Genvorstellung (*Pangene, Gemmarien, Gemmules*), wobei er die Vererbungslehren als Ganze dem Vergleich unterwirft. Nicht zur Frage erhoben wird, ob darin eine etwaige Tendenz der begrifflichen Entwicklung zum Genbegriff nachzuweisen ist. Untersucht wird nicht, wie der sich herausbildende Genbegriff Einfluss auf die Vorstellungen von Vererbung und Lebendigkeit der Lebewesen nimmt. Die Frage nach etwaigen begrifflichen Übergängen tritt zugunsten einer

Betrachtung theoretischer Grundzüge der Lehren (*Keimplasmatheorie, Micellar-Hypothese, intrazelluläre Pangenesis*) in den Hintergrund.

1971 erscheint unter dem Titel „*Gentheorie*“ eine Aufsatzsammlung renommierter Genforscher. Herausgeber ist der amerikanische Genetiker und Wissenschaftshistoriker der University of California/Los Angeles, **Elof Axel Carlson** [(geb. 1931); 1958 promoviert durch **Hermann Joseph Muller** in Zoologie; lehrt gegenwärtig als Emeritus-Professor an der State University/New York]. Jeweils im Anschluss an einen historischen Überblick des Herausgebers werden behandelt, zusammengesetzt aus Einzelaufsätzen, die Kapitel *Genstruktur, Genfunktion* und *Gentheorie*, darunter Aufsätze von **Seymour Benzer, Francis Crick, Richard Goldschmidt, Francois Jakob** und **Jaques Monod, Louis Stadler, James Watson**. Der Herausgeber bezeichnet die Ausführungen als „*moderne Auffassungen der Gentheorie*“, einer Geschichte des Gens entspringend, die mit **Darwin, Spencer** und **Mendel** begonnen und nach Nichteinlösung „*zahlloser Probleme*“ zu Gegensätzen geführt habe.

„*Selbst Genetiker widersprechen sich häufig in ihren Ansichten über das Gen und das selbst dann, wenn sie mit demselben Organismus experimentieren*“  
(Carlson 1971: Vorwort).

Sich auf die „moderne“ Gen-Auffassung konzentrierend behandeln die versammelten Aufsätze die Themen *Genstruktur, Chemie, Funktion* des Gens in einem faktizistischen Sinn und zielen nicht auf einen historisch-epistemologischen Vergleich. Der geschichtlichen Einordnung in das Thema jedes Kapitels dienen einführende Abschnitte, die dem Kapitel vorangestellt sind, neben zusätzlichen Erläuterungen des Herausgebers vor jedem Einzelaufsatz. Darin werden die wissenschaftlichen Leistungen des jeweils folgenden Autors zusammengefasst und in Zusammenhang gestellt.

**E.-A. Löbbecke**, der Übersetzer des Buches, gibt in einem eigenständigen Vorwort über die Kapiteleinteilung in *Genstruktur* und *Genfunktion* folgendes zu bedenken. Der geschichtlichen Entwicklung liege ein entscheidender Wandel des biologischen Denkens zugrunde, „*vom deskriptiven und philosophischen bis zum mathematischen-physikalisch-chemischen des modernen Naturverständnisses*“. Nach einem besseren Wissen, wie das Gen physikalisch-chemisch beschaffen sei, bleibe die Frage nach seiner Funktion richtungsweisend für die biologische

Forschung.

Für **Carlson** sind Fragen zu beantworten wie:

„Was für eine Struktur hat das Gen?“, „Was hat das Gen für eine chemische Zusammensetzung?“ und grundsätzlicher: „Kann die Aktivität der Gene die zelluläre Organisation, den Stoffwechsel und die Verschiedenheit der Gewebearten erklären?“.

Die durchgängig verwendete Notation *d a s* Gen nennt nur einen möglichen Ausgangspunkt der Sichtweise: Die Genvorstellung wird als eine Gegebenheit der Wirklichkeit vorausgesetzt, eine historisch vorfindliche Tatsachenentdeckung. Zu klären blieben dann Einzelheiten solcher Wirklichkeit, wie Beschaffenheit, Mechanismus, Reichweite ihrer Wirkung. Die Frage des Zustandekommens solcher *Wirklichkeit* bestünde im wesentlichen in einer deskriptiven Faktengeschichte und nicht darin, die Entstehung einer so und so beschaffenen Wirklichkeitsauffassung, nicht, den Wirklichkeitscharakter eines Konzepts zu untersuchen, nicht, die Voraussetzungen des dargestellten Terminus und seiner Theorie auf die historisch je relative Konzeptualisierung der Naturwissenschaften zurückzuführen. Zugrunde gelegt würde eine Auffassung von Realismus, die solches als eingelöst oder unproblematisch begreift. Doch **Carlson** lässt mit **Goldschmidt** und **Stadler** weiterreichende Infragestellungen zu Wort kommen.

In seinem eigenen historischen Überblick stellt er den 1900 mit der Wiederentdeckung **Mendels** einsetzenden Diskurs an den Beginn der geschichtlichen Entwicklung: **William Bateson** setzte **Mendels** erbliche *Elemente* und *Faktoren*, mit *Merkmals-Einheiten* gleich. Terminologisch entstand die Folge einer Verwechselbarkeit von Merkmal und biologischer Ursache des Merkmals. **Johannsen** ersetzte alle konkurrierenden Begriffe wie *Faktor*, *Faktoreinheit*, *Merkmal* durch ein bloßes Konzept *o h n e D e f i n i t i o n*, das er *Gen* nannte. **Thomas Hunt Morgan** sah nach Mutationsversuchen mit Drosophila-Fliegen das Chromosom als die „stoffliche Grundlage der Vererbung“ an. **Alfred Henry Sturtevant** legte eine *Genkarte* vor. **Muller** nahm an, alle biochemischen Substanzen und physiologischen Abläufe seien gesteuert, **George Beadle** sah die Genwirkung in einer Enzymproduktion und Enzymsteuerung: ein Gen – eine Wirkung. **Avery, MacLeod, Mc Carty** sahen in Desoxyribonukleinsäure die „chemische Basis der Vererbung“. Das DNS-Modell von **Watson** und **Crick** sei das „erste brauchbare chemische Modell des Gens“ gewesen, denn es habe Gen-

replikation, Mutationsmechanismen und Eiweißkodierung beschreiben können. Dennoch merkt **Carlson** entgegen einem naiven Realismus an:

*„Es ist noch immer nicht möglich, eine exakte Definition des Gens zu geben.  
[...] Wie das Atom, ist auch das Gen eine Konzeption“* (Carlson 1971: 4).

Für die Gentheorie sei das „Konzept der erblichen Einheiten“ auf **Darwins** theoretischen Beitrag durch dessen *provisorische Hypothese* zurückzuführen (ibid. S. 96). Der Frage nach einer in der Konsequenz der Begriffsauffassung und Ideologie des Darwinismus liegenden Provisorizität nachzugehen, umfasst nicht die Aufgabenstellung der versammelten Aufsätze. Sie wird bei der Darstellung der Ordnungsgefüge biologischer Kontexte nicht thematisiert.

Die Bibliographien der wissenschaftshistorischen Werke zählen nahezu übereinstimmend zu den bedeutenden Arbeiten über die Geschichte der Genetik *„The Path to the Double Helix“* (1974; 1994<sup>2</sup>) von **Robert Cecil Olby**, [(geb. 1933); früher an der Universität von Leeds/Großbritannien, jetzt Research Professor im Department of History and Philosophy of Science der Universität von Pittsburgh/USA].

Der Autor zeigt eine Entwicklung zur Doppelhelix in Abhängigkeit von bestimmten Gesichtspunkten: Entdeckung von Makromolekülen, Genphysiologie, Nukleoprotein-Hypothese, Enzymtheorie des Vererbungsstoffs, Biophysikalischer Biologie. Auf diese Weise legt der Untersuchungsgang dar, wie die historischen Hypothesen für die Gensubstanz als eines hochpolymeren Kohlenhydrats, als eines Proteins und als eines Nukleoproteins zugunsten der Nukleinsäure verlassen wurden. Die Darstellung folgt dem Prinzip, Entwicklungslinien im Ganzen hervortreten zu lassen. Ihre Absicht besteht daher nicht darin, aus einem direkten Textvergleich auseinander hervorgehender Quellentexte die präzisen Übergänge an den Originalveröffentlichungen sichtbar werden zu lassen. Die Einleitung teilt mit, jedes der fünf Kapitel könne einzeln für sich zum Verständnis herangezogen werden. Im Mittelpunkt steht die Frage, auf welchem Weg der DNS diejenigen Eigenschaften zugesprochen werden konnten, die sie mit dem Doppelhelix-Modell erhielt. Von dem Nuclein-Konzept **Friedrich Mieschers** (1869) und den anderen Konzepten dieser Epoche könne nicht auf das spätere Modell geschlossen werden. Für **Olby** ergibt sich folgende Konsequenz:

*„I therefore concluded that the difference between the nineteenth century conception of these substances and the precise picture of the, albeit ill-famed, tetranucleotide which emerged [...] between 1909 and 1929 was so great that it was advisable to exclude the pre-1900 period of work on DNA“ (Olby 1974: XIXf).*

Der Begriffsumfang des modernen Genbegriffs würde demzufolge keine Begriffsmerkmale enthalten, die in den Vorarbeiten des 19. Jahrhunderts entstanden wären. Die zu betrachtende Zeitspanne sei – so der Autor – auf die Periode von 1900 bis 1953 zu beschränken. Untersucht werden Konzepte und technische Möglichkeiten im Übergang von physiologischer Chemie (1910-1930) hin zur Chemie von Makromolekülen. Gezeigt wird, wie sich die Aufmerksamkeit vom Protein auf die Nukleinsäure gerichtet hat, woraufhin aus der Wechselwirkung zwischen den beiden Stoffklassen schließlich auf die Genfunktion geschlossen wurde. Entgegen allem Beitrag aus unterschiedlichen Wissensgebieten sieht **Olby** einen singulären Weg gegeben, dem sich die beteiligten Disziplinen stufenweise angegliedert hätten. Seine These ist: In den 30er/40er Jahren etablierte sich ein Forschungsprogramm, mit dem zahlreiche Aspekte *biologischer Spezifität* zurückgeführt worden seien auf molekulare Strukturen von Makromolekülen. Diese Sicht werde zwar kontrastiert durch ein Verständnis von Vererbung als eines dynamischen Prozesses in Verbindung mit embryologischen Konzepten von Feldern und Polaritäten. Indessen hätten die molekulargenetischen Konzepte dieser Jahre schon die spätere Kennzeichnung involviert, dass die biologische Spezifität durch molekulare Sequenzen determiniert sei. Weiterhin bleibe dennoch ein Problem ungelöst: Ist Bezug zu nehmen auf organisierte hierarchische Strukturen oberhalb der Ebene chemischer Moleküle, um vitale Kennzeichen und Vorgänge wie biologische Spezifität, Genverdopplung, erbliche Weitergabe, Zytoplasma, Chromosomen darzustellen? Oder kann all dies zurückgeführt werden auf die Eigenschaften riesiger und hochkomplexer Moleküle und Polymere? Welches wäre die Natur übermolekularer Entitäten? Mit **Michael Polanyi** (Polanyi 1968) deutet **Olby** an, dem *Reduktionismus* auf Molekulargenetik stehe eine andere Analyse der Hierarchie lebender Körper entgegen. Aus dieser ergebe sich, dass die Reduktion jener Hierarchie auf letzte Einheiten unsere genaue Sicht davon auslöscht, eine Analyse, die beweise, dass das reduktionistische Ideal falsch und sogar destruktiv ist.

Einem solchen Ansatz maß die Vererbungsforschung, während sie sich auf eine in Gene strukturierte Erbsubstanz ausrichtete, für Jahrzehnte keine größere

Bedeutung bei. In *Olbies* Darstellung des Wegs zur Doppelhelix, unter Beschränkung auf den Zeitraum zwischen 1900 und 1953, wird diesem Ansatz nicht ausführlich nachgegangen.

**Thomas Cremer** [(geb. 1945); 1986-1988 Gastprofessor an der Yale University/USA; seit 1996 Professor für Anthropologie und Humangenetik an der Ludwig-Maximilians-Universität München; arbeitet in experimenteller Cytogenetik; entwickelte Techniken zur Sichtbarmachung der Chromosomen durch Fluoreszenz-Mikroskopie; derzeitige Untersuchungen zur funktionellen Zellarchitektur und deren epigenetischem Einfluss] untersucht mit „*Von der Zellenlehre zur Chromosomentheorie*“ (1985) die Zeit der „frühen Zell- und Vererbungslehre“. Gewählt ist ein Zeitraum von der Zelltheorie bei **Schleiden** und **Schwann** bis zur Chromosomentheorie der Vererbung bei **Walter Stanborough Sutton** und **Theodor Boveri**. Für den Autor ist **Hans Nachtsheim** der „Nestor der deutschen Humangenetik“. Sein eigenes Interesse an einer Geschichte der Chromosomentheorie sei geweckt worden durch **August Weismanns** „*Aufsätze über Vererbung*“ (1892). Die von ihm selbst vorgelegte Arbeit sei eine theoriehistorische, mit der er die eigene Fachschublade der Cytogenetik verlasse.

Die Habilitationsschrift steht unter dem Oberbegriff *Wachstum wissenschaftlicher Erkenntnis*. Unter dieser Überschrift führt der Autor im ersten Teil des Buches in die Wissenschaftstheorie von **Thomas Kuhn** ein und setzt den zweiten, biologiehistorischen Teil, unter denselben Oberbegriff. Hier werden Mikroskopie, Histologie, Geschichte und Krise der Cytologie bis zur Entdeckung der Chromosomen dargestellt, Befruchtungslehre, die Lehre **Weismanns** als einer ersten Chromosomentheorie der Vererbung vor 1900, gegenüber derjenigen nach 1900 durch **Sutton** und **Boveri**.

In **Mendels** „Paradigma“ sieht **Cremer** die „Geburt“ der Vererbungslehre gegeben. Die Kreuzungsexperimente nach dessen „Musterbeispiel“ seien es gewesen, welche die Genetik zur „*Vorstellung einer partikularen Vererbung in Form von Genen*“ geführt hätten (Cremer 1985: 192).

Der „entscheidende Umbruch“ für biologische Vererbungslehre liege im 19. und frühen 20. Jahrhundert: Entstehung des Paradigmas von getrennten, auf Chromosomen befindlichen Erbfaktoren, unter Anschluss an eine fortentwickelte Evolutionstheorie:

*„Die Entstehung von Theorien, die eine partikuläre Vererbung mit Hilfe einer in den Chromosomen lokalisierten Vererbungssubstanz behaupteten, erscheint im Verein mit den gleichzeitig ablaufenden Auseinandersetzungen um das Problem der Evolution des Lebendigen [...] als die eigentliche wissenschaftliche Revolution in der Entwicklung der Biologie, geistesgeschichtlich bedeutsamer als die spätere Klärung der Frage nach der molekularen Natur dieser Vererbungssubstanz, die sich als Konsequenz der frühen Theorien ergab.“ (Cremer 1958: XI).*

**Rheinberger** nennt noch im Jahr 2010 den Forschungsstand gerade zu diesem Übergang - der nicht im Zentrum Cremers Arbeit liegt - eine „lückenhaft“ untersuchte Zeitspanne, eine Notwendigkeit der Erforschung (mündliche Äußerung im Vortrag „Was ist ein Gen“? in der Ringveranstaltung „Lebenswissenschaften zwischen molekularer Medizin und Kulturwissenschaften“ am 17.1.2011 an der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf).

Im dritten Teil seiner Arbeit nimmt **Cremer** noch einmal zur Frage des Erkenntniswachstums in der Naturwissenschaft Stellung und bejaht diese Frage eindeutig. Zu Beginn seiner Arbeit äußert er die Überzeugung, die Perspektive der neodarwinistischen Evolutionstheorie sei geeignet auch für das wissenschaftstheoretische Verständnis von Biologiegeschichte.

Die Untersuchung verfolgt die Absicht, die Veränderungen von „Paradigmen“ darzustellen, durch welche die Chromosomentheorie der Vererbung als dem jüngeren Paradigma entstand, folglich, ohne die spätere Periode mit dem Ergebnis der molekularbiologischen Genvorstellung ausgiebiger zu erörtern. Doch schon aus der frühen Perspektive verwendet **Cremer** die Wortwahl einer „Schriftatur der Chromosomen“, als sei sie mit dem naturwissenschaftlichen Materiebegriff gesichert (S. 285 ff). Zugleich warnt er, weiterhin in einem Sinn, der den Ergebnissen der Biologie faktizistische Geltung einräumt:

*„Neue Erkenntnisse werden eine Neubewertung der alten Fakten auch bei der Chromosomentheorie der Vererbung verlangen, wenn wir uns nicht damit zufrieden geben wollen, in der DNA eine Schrift an der Wand zu sehen, deren eigentliche Bedeutung für die Struktur des menschlichen Geistes und die Möglichkeit seiner Freiheit immer rätselhaft bleiben werden“ (Cremer 1985: 291).*

Wie die sog. Väter der Chromosomentheorie, *Morgan, Muller, Bridges* in den 20er und 30er Jahren des 20. Jahrhunderts, verwendete fünfzig Jahre später noch der amerikanische Genetiker *Bruce Wallace* bevorzugt die Drosophila-Fliege zur genetischen Modellbildung. [(Geb. 1920); 1949-1958 tätig an den biologischen Laboratorien in Cold Spring Harbor, wo er Stellvertretender Direktor wurde; 1958-1981 Professor für Genetik an der Cornell University/Ithaca; 1970 Mitglied der Nationalen Akademie der Wissenschaften der USA].

In „*The Study of Gene Action*“ (1997) betont er, die Absicht seiner Darstellung „*The Search for the Gene*“ (1992) habe ausschließlich darin bestanden, eine Geschichte der „Identifikation“ des Gens nachzuzeichnen, ohne auf die Wirkungsweise der Gene eingehen zu wollen (Wallace, Falkinham 1997: 1). Den Grundzug seiner Auffassung über den geschichtlichen Werdegang der wissenschaftlichen Begriffsbildung nennt seine Äußerung über die Etappe klassischer Biologie:

*„Classical biology relied heavily on verbal descriptions of observations that, when articulated with sufficient skill, became accepted as explanations“* (Wallace 1992: VIII).

Unter den 98 Referenzen verwendeter Werke nennt der Verfasser vier Autoren, die im Sinne eines *déjà-vu* für seine eigene Arbeit gewirkt hätten, neben *J. A. Moore, Alfred Henry Sturtevant, James Watson* auch *Hans Stubbe*.

Im vorgelegten Werk zeichnet er für die Genetik einen linearen Erkenntnisverlauf, eine Suche nach dem Gen, die bereits mit der antiken Pflanzenzüchtung begonnen habe. In dieser Sicht steht am Ende der Entwicklung die weitestgehende Erkenntnis des Gens. Herausgebildet habe sie sich über Domestikation der Tiere und Fortschritte der Landwirtschaft, über die Annahmen von *Montaigne, da Vinci, Maupertius* und *Mendel*, über die Chromosomentheorie der *Morgan-Schule, Mullers* Mutationsversuche, Bakteriophagen-Studien und DNA-Identifikation durch *Hershey* und *Chase, Watson* und *Crick*. Als Ziel dieses Erkenntnisweges gilt zunächst die Doppel-Helix mit einem genetischen Kode.

*„At this point, several factual points have been established: 1. DNA is the genetic material; the gene is DNA. 2. DNA is a long fibrous molecule. [...] 3. The gene is responsible for protein synthesis. [...] 4. Protein molecules [...] have a long fibrous primary structure in which one amino acid is attached to*

*another in singular-file order"* (Wallace 1992: 149f). Aber: "*What genes do is only half the story. When they do it is the other half*" (ibid. S. 167).

Die Gen-Regulation ereignet sich nicht allein innergenetisch, sondern auch durch Gen-Produkte. Das Gen wird in unterschiedlichen Gensorten verschiedener Aufgaben gesehen (Strukturgene, Integratorgene, Rezeptorgene, Produktionsgene), um dem Problem gerecht zu werden, dass neben einer definierbar scheinenden Genfunktion auch die exakte Zeit und der Ort für das Einsetzen solcher „Funktionen“ zu erklären sind.

**Wallace** erläutert, dass die „*Suche nach dem Gen*“ als einer Folge von Erkenntnissen über die Vererbung durch begleitende Entwicklungen beeinflusst gewesen sei. Methodenkenntnisse, Forschungsweisen, Modellobjekte, Cytologie, Biochemie und Stammbaumkunde hätten sich verändert, die innerwissenschaftliche Modellbildung habe sich selbst reflektiert.

Das vorliegende Werk entwickelt nicht anhand von begrifflichen Studien, wie der Genbegriff sich als solcher herausbildet, sondern setzt ihn als eine formale Entität voraus. Für **Wallace** wird er in einer Entdeckungsgeschichte zunehmender Faktenkenntnis in wachsender Klarheit gefasst. Die Auseinandersetzungen des 19. Jahrhunderts in der Nachfolge **Weismanns**, **Nügelis**, **Hertwigs**, **Darwins**, **Haeckels** stehen am Rande oder bleiben unerörtert. Wie viele seiner Kollegen veranschlagt auch **Wallace** den Beginn der Genetik im Sinne „eigentlicher“ Wissenschaft auf das Jahr 1900 mit der Wiederentdeckung der Ergebnisse **Mendels**, dem er ein gesondertes Kapitel widmet.

1997 veröffentlicht **Wallace** mit **Joseph Oliver Falkinham** [Jg. 1942; seit 1974 Professor für Mikrobiologie am Virginia Polytechnic Institute/USA] „*The Study of Gene Action*“. Anders als die Suche nach dem *Gen*, einer linearen Geschichte der Wissensvermehrung, sei die *Genwirkung* keineswegs in einer solchen Linearität erkundet worden. Vielmehr hätten sich die wechselnden Beschreibungen in Abhängigkeit und Konsequenz der jeweils möglichen Untersuchungstechnologien entwickelt. Sie bestimmten die Chronologie. Am Beginn stehe das Kreuzungsexperiment, das ausgehend vom Erscheinungsbild (gelbe oder grüne Erbsenfarbe, gerunzelte oder glatte Form) schloss, diese äußeren Merkmale seien das Resultat gewisser Produkte der Genwirkung. Biochemische Techniken hätten zu einem experimentell unmittelbarerem Zugang zur Wirkweise der Gene geführt, als es die Methode der Erschließung aus äußerer

Morphologie zugelassen habe. Mit der Entdeckung der DNS-Struktur 1953 habe sich das Verständnis sowohl vom Bau des Gens, als auch von dessen Wirkung noch einmal grundlegend gewandelt: Genetik sei reduziert auf Chemie. Von daher sei das Gen in seinem Bau in hohem Ausmaß aus seiner Wirkweise erschlossen. Die Möglichkeit sei eröffnet gewesen, angemessen an die Genstruktur zu experimentieren. Doch erst 1975 habe eine schnelle Sequenzierung von DNS-Fragmenten beginnen können.

„*The Study of Gene Action*“ setzt sich nicht eine Geschichte der Gendefinition zur Aufgabe. Die Untersuchungsmethode zielt nicht auf die Entstehung des Begriffs und die weitere Verfolgung seiner Merkmale, indem historisch die Quellen verfolgt würden. Das Gen als ein solches wird in struktureller und wirkmächtiger Betrachtung als eine in der Wirklichkeit vorfindliche Gegebenheit aufgefasst, welche, sei es linear, sei es diskontinuierlich, zunehmend erkannt worden sei.

*„The search progressed by steadily reducing the possible sites at which the gene might reside and then its possible chemical composition until at last the gene was found“* (Wallace, Falkinham 1997: 212).

Die Autoren sehen einen wissenschaftlichen Fortschritt wie eine wachsende Annäherung an die Wahrheit gegeben, bei einem geschichtlichen Verlauf, den sie so zusammenfassen:

*„Molecular genetics is, indeed, an extraordinary example of human achievement. During the century following the rediscovery of Mendel’s paper in 1900, geneticists relentlessly pursued the gene itself, until they demonstrated that it resided in (or consisted of) DNA – a substance whose structure was once thought to be too simple for any purpose except for chromosomal scaffolding“* (S. 242).

**Evelyn Fox Keller** [(geb. 1936); Molekularbiologin und Philosophin, Professorin am Massachusetts Institute for Technology (MIT)] legt 2001 mit „*Das Jahrhundert des Gens*“ eine kritische Darstellung der Vorstellungsentwicklung über Vererbung und Gene vor, in der sie sowohl nach der Begriffsentwicklung, als auch nach Zwecken und Nützlichkeiten ihrer Erforschung fragt. Anders als die Mehrzahl der Autoren bezieht sie eine Reihe maßgeblicher Forscher des 19. Jahrhunderts in ihre Betrachtungen ein und sieht die entscheidende Bruchstelle – im Unterschied zu den vorangehenden Autoren - nicht im Beginn des 20. Jahrhunderts. Eine „*entscheidende Komponente*“ des Genbegriffs sei schon in seinen Ursprüngen

gegeben, lange vor der Prägung des Wortes Gen. (Keller 2001: 28). **Keller** erläutert: Die *Determinanten* aus der *Keimbahntheorie* des **August Weismann** oder die *Pangene* des **Hugo de Vries** seien

„unmittelbare Vorläufer des Genbegriffs, und unvermeidlich übertragen sich auf ihn einige Eigenschaften der früheren Begriffe“ (ibid. 35).

Die Autorin verfolgt mit ihrer Arbeit zwar nicht den Zweck, für den Leser die Entwicklung von Begriffsmerkmalen aus den Originaltexten darzustellen, sondern zielt auf wesentliche Essenzen in der Entwicklung der Vorstellung. So legt sie dar, dem Gen sei frühzeitig eine sich selbst tragende Stabilität zugesprochen worden. Dadurch habe sich die Auffassung über die *Eigentümlichkeit des Lebendigen* auf das Gen als deren Träger verlagert. Auf diese Weise entstehe ein neues Dogma, „dass für die intergenerationale Stabilität dieser materiellen Elemente deren charakteristische Beständigkeit verantwortlich sei“ (ibid. 34). Für die Hinwendung zur DNA als dem ausschlaggebenden genetischen Material sieht die Wissenschaftshistorikerin eine längere Vorgeschichte gegeben, als es den meisten Darstellungen entspricht.

Zuvor hatte **Keller** bereits Untersuchungen zu *Metaphern* in der Biologie des 20. Jahrhunderts veröffentlicht. In der Konzentration der biologischen Arbeit auf Gen und Genaktivität liege eine dogmatische Fixierung. Diese habe ein verwirrendes Instrumentarium neuer Techniken zur Analyse des Verhaltens einzelner Genabschnitte nach sich gezogen. In der Folge seien Fragen von Entwicklung und Zelldifferenzierung lange Zeit vernachlässigt worden, Fragen, die den Lehrsatz vom Gen als dem hauptsächlichen Akteur zunehmend untergraben hätten (Keller 1998: 41).

Eine „*history of the genetic code*“ (so der Untertitel) unter besonderem Aspekt stammt aus der Feder der damaligen Wissenschaftshistorikerin am Museum für vergleichende Zoologie der Harvard University, **Lily Kay** [(1947-2000); 1989-1997 Angehörige des MIT; u.a. Gast am Max-Planck Institut für Wissenschaftsgeschichte in Berlin]. Untersuchungsziel ist, zu zeigen, wie sich in der Mitte des 20. Jahrhunderts für das Erbmaterial und dessen Funktionsweise die Bezeichnung *genetischer Kode* durchsetzen konnte. Für **Kay** ist diese Benennung nicht eine aus der Natur abgeleitete Wahrheit, sondern eine *Metapher* unter dem Namen Information. Ihre Untersuchung „*Who Wrote the Book of Life?*“ besteht in einer

Sozialgeschichte der Wurzeln dieser Metapher. Kernthese des Buches ist, dass die Metapher eines biologischen bzw. genetischen Kodes nicht erst aus den Strukturbeziehungen des DNS-Moleküls abgeleitet worden sei, sondern den tieferen Ursprung in sozialen, politischen, militärischen und wirtschaftlichen Entwicklungen nehme (Kay 2000: 53). Untersuchungsmethode und Fragerichtung sind von vornherein orientiert an einer durchgängigen Parallelisierung von sozialen und kulturellen Entwicklungen mit der biologischen Begriffsbildung. Folglich werden Darstellungszweck und Perspektive nicht ausgerichtet an einer Begriffsgeschichte des Genbegriffs oder einem innerbegrifflichen Vergleich mit dessen Vorbegrifflichkeit im 19. Jahrhundert, sondern am Begriff des genetischen Kodes, und zwar in besonderer Hinsicht.

*„This book is not meant to be the history of the genetic code; [...] Rather it is a history of one of the most important dramatic episodes in modern science recounted from a novel vantage point: the dawn of the information age and its impact on representations of nature and society“* (Kay 2000: XV; Sperrdruck i. Orig.).

**Kay** sieht die Periode der Wasserscheide („watershed“) für das Verständnis in den 50ziger Jahren des 20. Jahrhunderts. Hier liege der Bruch der Repräsentationen, hier habe die Auffassung gewechselt von einer materiell-energetischen zum Konzept der Information. Daraus resultiere eine molekulare Vision des Lebens unter dem Blickwinkel der Information als einer *ontologischen Entität*, sogar als eines *kosmologischen Prinzips*, der uralten Metapher von Erkenntnis als Lesung in einem Buch des Lebens folgend. *Information* werde in der Molekularbiologie die Metapher für *biologische Spezifität*, obwohl vom linguistischen Standpunkt der genetische Kode nicht ein Kode sei, sondern nur die Wechselwirkungen zwischen Nukleinsäuren und Aminosäuren verbildliche. Mit der Informationsmetapher werde das Konzept der Spezifität, sowohl chemischer als auch biologischer Spezifität, aufgehoben, ein Konzept, welches in das 19. Jahrhundert zurückreiche, als begonnen worden sei, die materiellen Grundlagen des Lebens in Termini des Proteins zu fassen. Mit dem DNS-Master-Molekül habe das Protein den Rang eines untergeordneten Protein-Empfängers angenommen: Physikalisch-chemische Mechanismen übernehmen die Herrschaft über die Spezifität.

**Kay** betont die *„vielfach übersehene Tatsache“*, dass, schon vor **Watsons** und **Cricks** Veröffentlichung der DNS-Struktur, von **Alexander Dounce** ein Modell vorgelegt worden sei, nach dem ebenfalls die Proteinsynthese von einer DNS-Schablone über intermediär wirkende RNS verursacht werde (vgl. auch Kap. VIII

3. A der Dissertation). Die Autorin stieß damit auf einen Befund, der auch dem Autor der hiermit vorgelegten Untersuchung bei seinen Studien über die molekularchemische Modellentwicklung auffiel. Noch näher als Dounces Modell am DNS-Modell von Watson und Crick lag jedoch ein Modell, das **Sven Furberg** entwickelte. Den Einzelheiten (mit erstaunlich detailgetreuen Entsprechungen) im Vergleich der Modellformeln der Nobelpreisträger und ihrer unmittelbaren Vorgänger ist in Kapitel VIII.3.A, S. 162-171 dieser Arbeit nachgegangen. Die Bedeutung **Ernst Schrödingers** für die in den logischen Bedingungen vorausgehende Physikalisierung der Auffassung wird von **Kay**, wie in der hiermit vorgelegten Dissertation, betont (Kapitel VIII.3.A, S. 148-152). Doch weder **Schrödinger**, noch **Dounce**, noch andere hätten Termini wie *Information*, *Programm*, *Anweisung*, *Alphabet*, *Wort*, *Botschaft*, *Text* verwendet. Erst in den mittelfünfziger Jahren habe sich das Bild dahingehend verändert. Von besonderem Einfluss gewesen sei die Prägung des Terminus *Kybernetik* durch **Norbert Wiener** [(1894-1964); Schüler u.a. von **Bertrand Russell** u. **David Hilbert**; philosophisch beeinflusst von **Gottfried Wilhelm Leibniz** und **Baruch de Spinoza**; Mathematiker am MIT; 1948 Kommunikationstheorie mit **Claude Elwood Shannon**; 1964 National Medal of Science durch US-Präsident **Lyndon Baines Johnson**]. Im Jahr 1967 sei der Kode komplett gewesen.

Diese letzte Entwicklung, eine begriffliche Entfaltung, war in der Begriffsintention des DNS-Modells angelegt. Sie wurde von den Nobelpreisträgern schon kurz nach der epochemachenden Darlegung der DNS als einer Doppelhelix vom 25.4.1953 mit einer zweiten Veröffentlichung in Angriff genommen (Kapitel VIII.3.C, S.183).

2009 stellen **Rheinberger** und **Staffan Müller-Wille** [(geb. 1964); Dozent und Research Fellow für Wissenschaftsgeschichte und -philosophie an der Universität Exeter/GB] eine wissenschaftshistorische Bestandsaufnahme vor: „*Das Gen im Zeitalter der Postgenomik*“. Die Autoren sehen für die gesamte Geschichte des Begriffs:

„daß es eine solche einfache und allseits akzeptierte Definition des Gens zu keinem Zeitpunkt gegeben hat“ (Rheinberger, Müller-Wille 2009: 11).

Schon **Johannsen** habe mit seiner Einführung des Wortlautes *Gen* absichtlich auf eine nur „vage begriffliche Bedeutung“ gezielt.

Die Untersuchung beginnt mit frühen Vererbungstheorien aus dem „*Erbe des 19. Jahrhunderts*“. Bis weit ins 19. Jahrhundert habe die Biologie sowohl die Weitergabe durch Vererbung, als auch Entwicklung und evolutionäre Herkunft der Erbanlagen in einer theoretischen Einheit behandelt. Erst Darwin habe für die Weitergabe der Erbanlagen und ihre Entwicklung „*distincte Vermögen*“ gesehen. Während jedoch mit seiner *provisorischen Hypothese* Körpersubstanz und Erbsubstanz nicht getrennt zu sein schienen, setzte das *Idioplasma Weismanns* ein eigenständiges System voraus, wenn auch aus gleichen organischen Molekülen wie die Körperzellen, eine *Keimbahn* aus einem *Keimplasma*, welches durch direkte äußere Einflüsse variiert wird. Die entstandenen Veränderungen, ihre Geschichte, erscheinen somit vererblich und historisch gespeichert. Ein solcher Systemgedanke liege beiden Theorien, **Weismanns** und auch **Nägels**, zugrunde. **Darwin** und **de Vries** hingegen hätten autonome erbliche Einheiten mit einer umstandsbedingten, individuellen Entfaltungsmöglichkeit angenommen.

**Mendel** in Brünn, damals das „*Manchester Europas*“, habe auf „*Konjunkturen zwischen Methoden von Biologie, Physik, Chemie und Mathematik*“ zurückgreifen können und auf diese Weise ein spezifisches *Experimentalsystem* geschaffen: Definition eines formalen Forschungsobjektes, extreme Reduktion des Versuchsaufbaus, statistische Quantifikation, algebraische Formalisierung und Symbolisierung, daraus abgeleitete Regelmäßigkeiten mit Nachweis von Verhältniszahlen, welche auf eine unabhängige Weitergabe, Kombination und Rekombination von Erbanlagen schließen lassen (Rheinberger/Müller-Wille 2009: 39ff).

Mit der Chromosomentheorie der nachfolgenden „klassischen“ Genetik habe sich der Prozess der Vererbung im Gen zu einem *epistemischen Objekt* „verdichtet“:

„Die materielle Beschaffenheit der Gene spielte beim Experimentieren [...] auch keine Rolle. Hier ließen sich die Gene effektiv als abstrakte Elemente eines gleichermaßen abstrakten Raumes betrachten, dessen Struktur auf der Grundlage der sicht- und quantifizierbaren Ergebnisse von Kreuzungsexperimenten mit Modellorganismen erkundet werden konnten“ (ibid. S. 58).

Die logische Voraussetzung liege in Johannsens Unterscheidung von Genotyp und Phänotyp:

„Man kann mit Sicherheit sagen, daß sie < das Gen > als ein epistemisches Objekt etablierte, das in seinem eigenen Raum zu studieren war“ (ibd. S. 62).

Im weiteren Verlauf trennten sich Genetik und Erforschung der Embryonalentwicklung in separate Forschungsfelder.

Mutationen durch Röntgenstrahlen wiesen auf eine physikalische Natur des Gens und gaben eine Erklärung für die evolutionäre Variabilität. Chemische Auswirkungen des Gens (*Auto-* und *Heterokatalyse*) wurden angenommen, das Gen schien als ein materielles Partikel die wirksame Einheit in *Transmission*, *Mutation*, *Rekombination* zu sein. Als eine Funktionseinheit könne es jeweils ein Enzym determinieren. *Positionseffekte*, *Genkoppelungen*, *polygenetische* und *epigenetische* Einflüsse zeigten schon in den vierziger Jahren des 20. Jahrhunderts, dass dem Genbegriff „kein einfacher Untersuchungsgegenstand“ mehr zugrunde lag. Als Einheit der Funktion, Rekombination oder Mutation mussten unterschiedliche „molekulare Dimensionen des Gens“ angenommen werden. 1951 erklärte **Muller** im Anschluss an seine Gendefinition die Eigentümlichkeit des Gens für zutiefst unbekannt: Das Gen verfüge über einen Mechanismus, die Synthese einer ihm entsprechenden Struktur hervorzubringen und dabei frühere Mutationen zu übernehmen. Ein solcher Mechanismus sei in der bisherigen Chemie nicht bekannt.

Biologie entwickelte sich in dieser Perspektive zu einer Biochemie, die sich im molekularbiologischen Bereich orientiert. Nachdem die Proteinstruktur aufgedeckt war wurde die Nukleinsäurestruktur dargestellt. Autokatalyse und Heterokatalyse werden auf ein *stereochemisches* Prinzip zurückgeführt: Basenkomplementarität zwischen DNS-Bausteinen. Die Spezifität eines Stücks Nukleinsäure liegt allein in seiner *Basensequenz* und steuert die Spezifität des Proteins in einer Aminosäuresequenz (*Sequenzhypothese*, **Crick**). Damit ist biologische Spezifität in Termini chemischer Spezifität ausgedrückt. Aber ist sie damit auch auf diese zurückgeführt? Ist sie es im Sinne allgemeiner chemischer Gesetzmäßigkeit?

Später, nach Entschlüsselung des genetischen „Kodes“ zwischen Nuklein- und Aminosäure, traten mit Gensequenzierung und Genomik bei der Zuordnung von Genfunktionen mehr und mehr Fragen in den Vordergrund, wie Gene reguliert werden und sich gegenseitig regulieren. Die Abgrenzung des Gens erschien je

nach Gesichtspunkt mehr oder weniger weit, um zeitliche Arbeitsmuster, Ein- und Ausschaltvorgänge, springende Gene, weit auseinander liegende Genverbände, epigenetische Ordnungsprinzipien nicht nur vom Standpunkt der genetischen Übertragung von Erbmerkmalen, sondern auch von der Entwicklungsbiologie hinsichtlich der Embryonalentwicklung erklären zu können. Der „frühe molekulare Genbegriff“ hat sich in der molekularbiologischen Zellforschung der siebziger Jahre aufgelöst.

„Das simple Schema eine ‚Gens für dies‘ und ‚Gens für das‘, das Johannsen schon 1911 kritisiert hatte, bekam irreversible Risse“ (Rheinberger, Müller-Wille 2009: 100).

1987 habe das amerikanische *Humangenomprojekt* begonnen, das menschliche Genom zu erschließen. 2003 sei die Sequenzierung „grosso modo“ vollendet. Wie sich herausstellte, sind ohne epigenetische Anleihen mit Blick auf die Zellaktivität als Ganzer, sogar auf den Organismus als Ganzem, Entwicklungsvorgänge und ihre Abstimmung aufeinander nicht zu verstehen. Neue Begriffe mit neuen Begriffsumfängen entstanden: das *Proteom*, als der Gesamtheit aller Proteine, oder das *Ribonukleom*, als der Ganzheit der Ribonukleinsäuren mitsamt ihrer verschiedenartigen Funktionen. In der logischen Voraussetzung finden sich nunmehr Gene „als komplexe Systeme in ständiger Bewegung“.

Das Gewicht liegt nicht mehr auf Partikularität, sondern auf einem Systemcharakter des Gens, um mit den Befunden von Genetik und Entwicklungsbiologie vereinbar zu sein, und für eine Deutung gleichermaßen als Bedingung der Möglichkeit, Grundlage und Folge der Evolution dienen zu können.

#### Die Problemstellung

Maßgebliche Autoren sehen den Beginn für den sich schließlich durchsetzenden wissenschaftlichen Sprachgebrauch *Gen* in der Wiederentdeckung *Mendels* und der Etablierung des Mendelismus, bei erweiterten Kenntnissen über Zellbestandteile und Befruchtungsvorgang. Die Zäsur liege nach den „spekulativen“, zumeist noch vorexperimentellen Erörterungen des 19. Jahrhunderts. Allenfalls einzelnen Forschern, *Weismann*, *Haeckel*, *Darwin*, wird ein gewisser Einfluss nicht allein nur auf die Vererbungsauffassung, sondern die Präzision der späteren Terminologie zugestanden. In einem wenig geklärten Gegensatz dazu steht die Tatsache, dass der *epistemische Raum* der Vererbung

gerade in den theoretischen Auseinandersetzungen in der zweiten 19er Jahrhunderthälfte entstand: „als die Organismen eine >Geschichte< bekamen und die Lebensformen nicht mehr durch vorausgesetzte Artgrenzen fixiert waren“ (Rheinberger, Müller-Wille 2009: 106).

Für die frühe Periode, sogar für die Folgezeit sind Quellenstudien an Originaltexten der beteiligten Forscher, anhand derer im Zusammenhang zusammenhängend und unmittelbar gezeigt würde, wie Begriffsmerkmale eingeführt, auseinander hergeleitet und wechselseitig begründet wurden, nicht oder nur ansatzweise gegeben. Stattdessen werden Lehrmeinungen über Vererbung in Grundzügen verglichen und die Quellen genannt. Begriffsarbeit im Detail, insbesondere hinsichtlich des Genbegriffs, wird kaum vorgestellt. Die vorliegende Arbeit hat sich daher zur Aufgabe gesetzt, die verfügbaren Quellen noch einmal von Grund auf in dieser Weise zu prüfen.

Bei der Sichtung des Materials stellte sich die Frage: Nimmt die Begriffsarbeit der sog. spekulativen Arbeiten der „Frühzeit“ wirklich keinen oder nur geringen Einfluss auf die spätere Anerkennung exakter Begriffsmerkmale, auf die Modellbildung, auf die unvorhergesehenen Entdeckungen im 20. Jahrhundert bei veränderten Experimentalsystemen? Können die - teils wüsten - Spekulationen dennoch Voraussetzungen geleistet haben, mit ihren vorangehenden, aber dann eingeschränkten oder abgelehnten Begriffsmerkmalen über postulierte Erbinheiten, bar chemischer und physikalischer Definitionen? Finden sich Hinweise auf frühere Weichenstellungen in den interpretativen Einordnungen von Ergebnissen der sich seit 1906 etablierenden Genetik, in deren Entwicklung von Problemstellungen? Dass eine Übereinstimmung über die Definition des Gens niemals erreicht war, kann kein Einwand gegen eine solche Frage sein. Auch waren Übereinstimmungen phasenweise groß. Besonders gewachsen war die Einhelligkeit mit dem DNS-Modell, dessen Prinzipien bis in die 1970er Jahre universalisierbar schienen. Spätere Widersprüche innerhalb der Genetik und zwischen den Genvorstellungen biologischer Disziplinen (Genetik, Molekularbiologie, Biologie der Embryonalentwicklung, Evolutionsforschung, Populationsstatistik) finden in jüngsten Synthesen (*Evolutionary Developmental Biology*) zueinander: Das Gen als ein *Entwicklungssystem* hoher Redundanz, das in gradueller Abstufung eingebunden sei in seine Umwelten Zelle, Gewebe, Organ, Organsystem, Organismus, äußere Lebenswelt, Art, Population. Es erscheint als Spiegel der eigenen – genetischen – Vergangenheit wie derjenigen der Art und

der Population und wird zu einem Signum der Erdgeschichte, zu einem Parameter für Rückschlüsse auf die Geschichte der Evolution, nicht mehr nur als eine ermöglichende Bedingung, sondern als ihres Beweises. Von der hier gestellten Frage ist diese jüngste Entwicklung der Genmodelle nicht mehr umfasst. Sie wird von der aktuellen Wissenschaftstheorie bis hin zur Frage der *petitio principii* erörtert, weit entfernt von einer einheitlichen Modellbildung. Die vorgelegte Dissertation berücksichtigt durch Untersuchung der Frühzeit der Begrifflichkeit, ob hier Vorgaben für die spätere Sicht und für deren Diskrepanzen angelegt sind, sie untersucht aufs Neue den Anschluss des 20. an das 19. Jahrhundert in den Quellen auf Kohärenzen der Gedankenentwicklung.

Für die späte Phase in der Geschichte der Vorstellung ergab sich ein weiteres Desiderat. Keine der wissenschaftshistorischen Darstellungen hat bislang für den Zeitabschnitt der Formalisierung durch biochemische Formelbildung eine durchgängige Nebeneinanderstellung der Propositionen für die Formel gegeben, welche schließlich in Gestalt der DNS-Doppelhelix allgemeine Anerkennung fand. Um die definitiven Beiträge der beteiligten Forscher einsehen und auch das Maß der Leistung der Nobelpreisträger einschätzen zu können, wird die Entwicklung der formelhaften Darstellung in ihren Einzelheiten aufgezeigt. Dabei erweist sich – so viel sei vorausgeschickt – dass mit der Annahme einer auf die biochemische Stofflichkeit beschränkte Gesetzmäßigkeit („Basenspezifität“) und deren Universalität im Pflanzen- und Tierreich bis auf den Menschen gleichwie unbemerkt eine neue *spezifische Differenz* für Lebewesenhaftigkeit entsteht.

„Das Gen“ war das organisierende Prinzip für die Biologie des 20. Jahrhunderts (Keller 2001, Moss 2003, Müller-Wille/Rheinberger 2009). Mit dem Wandel der biologischen Sicht musste sich nicht nur das Verständnis vom Lebewesen und seiner Lebendigkeit, von Lebewesenhaftigkeit als solcher, ändern. Auch das Selbstverständnis des Menschen, mit der Evolutionstheorie beginnend, würde neue Züge erhalten, wenn die Gendefinition weiterhin das Gen als das Urelement der Spontaneität des Lebendigen ansähe. Eine Komponente dieser Arbeit beschäftigt sich daher mit dem paradigmatischen Einfluss, den das Genverständnis auf das Menschenbild nimmt.

Gewählt wurde der Weg, die wissenschaftsgeschichtliche Entwicklung des Genbegriffs, beginnend aus Anfängen im 19. Jahrhundert bis zur Akzeptierung des DNS-Modells, in den Originaltexten der Forschung von Grund auf zu sichten, um das Auftreten und Verschwinden von Begriffsmerkmalen in den

Begründungen der Termini über erbliche Einheiten (Keimchen, Anlage, Pangen, Merkmalseinheit, Determinante, Faktor, Gen u.a.) über den gesamten Zeitraum hinweg zu untersuchen. Durch Darlegung des historischen Verlaufs, von Anfängen im 19. Jahrhundert bis zur Akzeptierung des DNS-Modells, einer Ableitungsgeschichte von Begriffsbestandteilen mit Kohärenzen und Brüchen, soll ein Beitrag geleistet werden zu erhellen, auf welchen Verständnispfaden mit ihren Ein- und Ausblendungen das spätere Bild entsteht. Sind Widersprüche frühzeitig angelegt, treten aber erst spät zutage? Woraufhin wurden Kohärenzen langfristig erfolgreich, ehe sie eingeschränkt oder für widersprüchlich befunden wurden?

Die Genvorstellung hat eine Tragweite erreicht, welche die theoretische Betrachtung der ersten Jahrzehnte überschreitet. Sie wurde zu einem Lenkungs-instrument der Lebenspraxis. Mit Prognosen werden elterliche Entscheidungen über die Zulassung von Leben beeinflusst. Medizinische Therapie verschiebt sich in einen molekularen Maßstab. Während des Lebensverlaufs vorgenommene Erbdiagnostik versucht schicksalhafte Voraussagen zu treffen. Nicht nur Industrie und Wissenschaft, sondern auch Handlung in der alltäglichen Lebenspraxis hängen davon ab, was und wie weitreichend, welche Lebensbereiche implizierbar erscheinen. Ohne einen Zusammenhang zur frühen Begrifflichkeit in ihren spekulativen Ausrichtungen und zu den Zielsetzungen im paradigmatischen Wandel der Biologie zu einer Lebenswissenschaft, ihrer Verselbständigung im 19. Jahrhundert, ist die sodann entstehende Führungsrolle der Genetik nicht zu erfassen. Die Vorstellung einer Genstrukturiertheit von Mensch, Pflanze und Tier nimmt über die Veränderung praktischer Möglichkeiten ethische Auswirkung.

## II

### DAS PROBLEM EINER BIOLOGISCHEN VERERBUNGSLEHRE

Die Lehre von ‚bios‘, Leben, nimmt eine besondere Stellung im Naturverständnis ein. Sie reicht, seit dem Aufkommen der Evolutionstheorie, bis in die Selbstinterpretation des Menschen. Erst nach Entstehung der modernen Naturwissenschaften als dem Mittel der Interpretation entstand mit der Biologie eine eigenständig arbeitende Disziplin, die losgelöst vom gemeinsamen Dach der Disziplinen wie Naturphilosophie, Anthropologie, Psychologie, Ethik, unabhängig den Bereich der belebten Natur zu ergründen sucht. Das deutsche Wort Biologie, eine Neubildung, wird erstmalig um die Jahrhundertwende des 18. zum 19. Jahrhundert von einzelnen Forschern verwendet, zunächst mit verschiedenen Begriffsumfängen. Der Bremer Arzt und Professor der Mathematik und Medizin, **Gottfried Reinhold Treviranus** (1779-1864) bezeichnete als Absicht der neuen Wissenschaft:

*„Die Gegenstände unserer Nachforschungen werden die verschiedenen Formen und Erscheinungen des Lebens seyn, die Bedingungen und Gesetze, unter welchen dieser Zustand statt findet, und die Ursachen, wodurch derselbe bewirkt wird. Die Wissenschaft, die sich mit diesen Gegenständen beschäftigt, werden wir mit dem Namen Biologie oder Lebenslehre bezeichnen“* (Treviranus 1802: 3; Orig. gesperrt gedr.).

Mit dieser Definition für einen eigenständigen Forschungsbereich unter dem Titel Biologie war in der Wissenschaft von der belebten Natur ein Paradigmenwechsel gegeben. Wie die Historikerin der Naturwissenschaften, **Brigitte Hoppe** (Jg. 1935), erläutert, rückte *Treviranus* unter Berufung auf **Kants** *„Metaphysische Anfangsgründe der Naturwissenschaft“* (1786) an die Stelle des einzelnen Lebewesens den naturphilosophischen Begriff *Leben* in den Mittelpunkt der wissenschaftlichen Betrachtung, eine Auffassung von belebter Substanz, die aus Kants dynamischer Materietheorie folgte (Hoppe 1975: 137). Nahezu zur gleichen Zeit tauchte der Terminus Biologie in den Werken von drei weiteren Autoren auf. Nach **Ilse Jahn** (1922-2010) waren es vor Treviranus der Braunschweiger Arzt und Anatomieprofessor **Theodor Gustav August Roose** (1771-1803) (Roose 1797) und der Leipziger Privatdozent **Karl Friedrich Burdach** (1776-1847) mit jeweils einer beiläufigen Erwähnung (Burdach 1800). Im Jahr 1802, somit im selben Jahr wie Treviranus, habe

**Jean Baptiste de Lamarck** (1744-1829) bereits begrifflich auf eine wissenschaftliche Disziplin gedeutet (vgl. Jahn 2002: 283ff). Lamarck bezeichnete die systematische Stellung der neuen Disziplin Biologie und umriss ihr Aufgabenfeld folgendermaßen:

*„C'est une des trois parties de la physique terrestre; elle comprend tout ce qui a rapport aux corps vivans, et particulièrement à leur organisation, à ses développemens, à sa composition croissante avec l'exercice prolongé des mouvemens de la vie, à sa tendance à créer des organes spéciaux, à les isoler, à en centraliser l'action dans un foyer“* (Lamarck 1802: 134).

Treviranus und Lamarck waren noch weit entfernt vom Gedanken einer inneren Beeinflussbarkeit derjenigen Bereiche, die sie einer künftigen Biologie zuwiesen.

Moderne angewandte Naturwissenschaft jenseits theoretischer Grundlagenforschung, nicht anders als die althergebrachte Praxis der Züchtung von Pflanzen und Tieren, empfindet sich in dem Bedürfnis, die Handlungsfähigkeit des Menschen zu erweitern, wenn Strukturen der Natur aufgedeckt werden, um technisch imitiert werden zu können. Aus vergangenem und gegenwärtigem soll künftiges Leben erschlossen und ermöglicht werden. Dem Nabel des Lebendigen am nächsten zu sein scheinen weniger Chemie und Physik als die Biologie.

Mit der biologischen und humanmedizinischen Vererbungslehre begann ein Instrumentarium zu entstehen, das die Kontingenz des Wechsels mit einem kontinuierlichen Prinzip in Einklang zu bringen versucht. *„Die Lehre von der Vererbung bildet gewissermaßen den Mittelpunkt aller biologischen Wissenschaften“*, äußerte 1906

**William Bateson** (1861-1926) schon in der frühen Etablierungsphase der Genetik (Bateson 1906: 157). Bereits im Jahr darauf warnte er zur Frage der Einheit der Biologie, die Genetik werde eines Tages zu einer riesigen Sphäre anwachsen und möge sich niemals von ihrem elterlichen Körper lösen, sei es nur *„als Satellit oder die Sonne“* (Bateson 1907: 650).

Vererbung wurde demnach zur zentralen Frage der Biologie. Sie lautet wie folgt: Warum ist dieses oder jenes Lebewesen gerade so beschaffen, wie es ist? Oder, anthropozentrisch gefasst: Woher hat dieser Mensch, warum habe ich genau diese Eigenschaften und nicht andere? In weiterem Sinn wird die Frage zumeist als ein Problem der Arten gestellt: Warum und wodurch bleiben sich die Lebewesen in der Fortpflanzung gleich, wie verändern sie sich? Gibt es einen Artenwandel? Was ist Art? Die Frage besitzt unverkennbar metaphysische Struktur: Seiendes ist nicht einfach so, wie es ist, sondern es gilt als Erscheinung, das heißt, als Wirkung einer im

Verborgenen hinter ihm liegenden bestimmenden Kraft; diese gilt es zu erkunden. Die Voraussetzung der Möglichkeit, eine solche Frage stellen zu können, ist Distanz zum Sosein des Gegebenen. Im geschichtlichen Verlauf hat sich der Inhalt der metaphysischen Antworten verändert. Mit der als richtig empfundenen Antwort verändert sich das Bild von Natur. Waren einstmalig Gottheiten, später Gedanken des einzigen Gottes, in eher wenn auch nicht nur seelischmoralischem Zusammenhang zu berücksichtigen, so wird seit der rationalen Aufklärung mit der Frage zu der erblichen Herkunft von Eigenschaften ausschließlich nach selbsttätigen Wirkkräften *aus Natur* gefragt. Die naturwissenschaftliche Wende in der Weltsicht nahm Kräfte an, die nach naturimmanenten Gesetzmäßigkeiten agieren, welche konsequenterweise von einer Wissenschaft der Natur unter eigenständiger Prämisse zu entdecken seien.

Der solchermaßen verwendete Naturbegriff kennzeichnet Natur als Objekt. Natur wird objektiv betrachtet, indem Natur nicht ursprünglichst in uns selbst kontemplativ oder erlebend befragt, sondern eine äußere Umgebung experimentell vergegenständlicht wird. Statistische Mittelwerte führen zu Begriffen, die Sehen und Wahrnehmen anleiten, Wahrheit beschreiben und den diätetischen Umgang mit Nahrung, Fortpflanzung und Gesundheit anleiten. Die Methode des wissenschaftlichen Experiments prägt den Begriff der Praxis. Und doch ist die Praxis wissenschaftlichen Experiments nicht ursprüngliche Praxis. Der handelnde Umgang mit dem Gegenstand Natur ist bereits Theorie, die es sich gestattet, theoretisch voreingenommen auf die Objekte zu blicken durch das Hilfsmittel eines geschichtlich entstandenen Instrumentariums an Begriffen und Wahrheitsannahmen.

**Martin Heidegger** (1889-1976) unterschied eine instrumentelle Auffassung von Technik gegenüber einer anthropologischen. Instrumentell sei Technik ein Mittel für Zwecke. Anthropologisch sei sie wesentliches menschliches Tun. Technik komme keineswegs nur instrumentelle Bedeutung zu. Sie *„ist also nicht bloß ein Mittel. Die Technik ist eine Weise des Entbergens“* (Heidegger 1953:16). *„Die Technik west in dem Bereich, wo Entbergen und Unverborgenheit, wo ἀληθεια, wo Wahrheit geschieht“* (ibid. 17). *„Das Entbergen entbirgt ihm selber seine eigenen, vielfach verzahnten Bahnen dadurch, daß es sie steuert“* (ibid. 20). In der Frage der Kraft der Wirklichkeit gab Heidegger sich hier als Platoniker: *„Allein, über die Unverborgenheit, worin sich jeweils das Wirkliche zeigt oder entzieht, verfügt der Mensch nicht. Daß sich seit Platon das Wirkliche im Lichte von Ideen zeigt, hat Platon nicht gemacht. Der Denker hat nur dem entsprochen, was ihm zusprach“* (ibid. 21).

Die „Weise des Entbergens, die im Wesen der Technik waltet und selber nichts Technisches ist“, nannte Heidegger „Ge-stell“ (ibid. 24). Die Physik der Neuzeit stelle Natur, „sich als vorausberechenbaren Zusammenhang von Kräften darzustellen, deshalb wird das Experiment bestellt“ (ibid. 25). Das Gestell verlange „Bestellbarkeit der Natur als Bestand“. Damit finde sich der Mensch „immerfort am Rande der Möglichkeit, nur das im Bestellen Entborgene zu verfolgen und zu betreiben und von daher alle Maße zu nehmen“ (ibid. 29). Sogar Gott könne, wo alles Anwesende sich im Licht des Ursache-Wirkung-Zusammenhangs darstellt, für das Vorstellen alles Heilige und Hohe, das Geheimnisvolle seiner Ferne verlieren und zu einer Ursache, zur causa efficiens herabsinken (ibid. 30). Folge: Auch der Mensch werde als Bestand genommen. Entgegenwirken könne eine Kunst ähnlich der hellenischen, nicht ästhetisch genossenen, nicht wie die moderne Kunst bloß artistischen Kulturschaffens eines Sektors, sondern als einer ‚tékne‘ der Entbergung (ibid. 38f). Denn der zum Zweck der Bestellbarkeit geschaffene Bestand sei, anders als ein „Vorrat“ nicht mehr als ein Gegenstand herauslösbar und lenke die Wahrnehmung der Wirklichkeit, da er im Gestell die Fragestellungen miteinander verzahne.

Die vorliegende Arbeit hat sich zur Aufgabe gesetzt, die Entstehung eines dieser Instrumente zu untersuchen und konzentriert sich auf einen biologischen Grundbegriff, der einen Naturgegenstand von merkmalsbestimmender Kraft beschreiben soll: das Gen. Gene gelten als verantwortlich dafür, wie Lebewesen werden. Gegenüber einer äußerlich einwirkenden Umwelt bildeten Gene den innersten Bestand des Organismus, der sein Aufwachsen lenke, seine materielle Erneuerung konform halte und eine in Grenzen variable Konstanz bei der Fortpflanzung ermögliche. Die moderne Formulierung der Entstehung von Lebewesen als eines Problems der Wirkungsweise und Beschaffenheit von Genen fragt nach den Kräften, die *organische* Werdeprozesse innerlich steuern. Die Terminologie richtet ihr Augenmerk auf Stofflichkeit in ihrem chemisch-physikalischen Bezug. So entstand eine Vererbungsvorstellung von hoher Praktikabilität. Sie verspricht die Heilung für bisher kaum beherrschbare und in ihren Ursachen naturwissenschaftlich vielfach noch unvollständig gedeutete Erkrankungen, beispielsweise Formen des Krebses oder der Degeneration, sowie von Erkrankungen, deren Genese als bekannt gilt, etwa des Stoffwechsels, der Fortpflanzung und des Bewegungsapparates. Körpereigene Eigenschaften werden veränderbar, Pflanzen und Tiere den aktuellen Bedürfnissen des Menschen passlicher gestaltbar denn je zuvor.

Die philosophisch-historische Analyse der gegenwärtigen Vererbungsvorstellung soll aufzeigen, durch welche Annahmen hindurch sich ein Begriff materieller Erbinheiten bilden konnte, der zu gentechnisch handhabbaren Bestimmungskräften des genetischen Geschehens führte. Die allgemeinere Geschichte der Vererbungslehren interessiert dabei insoweit, als sie den Gedanken eines Prinzips Gen von eigenständiger Wirkursächlichkeit beförderte.

Zu Beginn steht ein Abriss von frühen biologischen Vorstellungen über die Fortpflanzung, noch bevor die Biologie sich in verschiedene Bezugssysteme unterteilte und die Vererbung zum Problem erhob. Ein Abschnitt ist der Entstehung der physiologischen Auffassungsweise gewidmet. Mit ihr erreichte die Biologie eine neue Definition ihres Bereiches. Die veränderte Auffassung einer Wissenschaft des Lebendigen führte zu einem neuartigen Modell des Lebewesens, das **Herbert Spencer** (1820-1903) in seiner Schrift „*The Principles of Biology*“ zusammenfasste (Spencer 1864). Die folgenden Abschnitte führen durch die spekulativen Vererbungslehren **Darwins**, **Haeckels**, **Nägelis**, **Weismanns**, **Weigerts**, **De Vries'** und **Haackes**. Ihre Systeme entfalten spekulativ die Vorbegrifflichkeit dessen, was später *Gen* heißen sollte. **Gregor Mendel** (1822-1884) löste durch seine statistische und experimentelle Merkmalsanalyse eine Wende in der Betrachtung aus. Er definierte das körperliche Merkmal rein formal als eine Zusammensetzung aus zwei inneren „*Elementen der Keimzellen*“, ohne sich in spekulativen Erörterungen zu verlieren, da er auf die Mechanismen der Merkmalsentwicklung in der Embryonalperiode nicht einging (Mendel 1866). Weil seine Veröffentlichung, obwohl nahezu gleichzeitig mit **Darwins** publiziert, erst nach 1900 in die maßgeblichen Erörterungen über vererbungsbestimmende Kräfte einbezogen wurde, folgt die Darstellung der Mendelschen Merkmalsgenetik nach Aufführung der Denkergebnisse der Forscher, die zunächst im wissenschaftlichen Diskurs über die Kräfte der Vererbung allein bestimmend waren.

Der modernen Vorstellung ist der nächste Teil des Abrisses gewidmet. 1903 führte **Wilhelm Ludwig Johannsen** (1857-1927) das „*Gen*“ als einen Terminus der Biologie ein, um eine Arbeitshypothese zu schaffen, aufgrund derer ohne ungesicherte spekulative Vorannahmen geforscht werden könne. Sie führte zum sogenannten klassischen Genbegriff, einer Chromosomentheorie der Vererbung. Nach Kreuzungsversuchen an der Taufleiege und strahleninduzierten Mutationen wurde das Gen mit

einem umschriebenen Chromosomenabschnitt identifiziert. „Gen“ hieß nun sowohl materielle Einheit als auch Einheit der Funktion. Als dessen Merkmale gelten Selbstreplikativität und Selbstselektivität. Eine biochemische Beschreibung für den Vorgang der Vererbung identischer Selbstverdoppelung gaben 1953 **Francis Harry Compton Crick** (1916-2004) und **James Dewey Watson** (geb. 1928), gestützt auf eine bildliche Darstellung des Erbmaterials mittels Röntgenbrechungsanalysen durch **Rosalind Franklin** (1920-1958) und **Maurice Hugh Frederic Wilkins** (1916-2004). Mit dieser Darstellung war das Gen und seine Mutation nicht mehr nur physikalisch erschlossen, sondern auch chemisch in Form austauschbarer Basentriplets einer Desoxyribonukleinsäure gedeutet, eine Deutung, die selbst wiederum eine neue chemische Gesetzmäßigkeit nahelegte, die sich nur in der belebten Natur findet und zur Erklärung des Bestandserhaltes von Lebewesen dient: die Affinität bestimmter Basen zu Paaren, aus deren Abfolge sich die Eigentümlichkeit von gewissen Körpermerkmalen und -funktionen ableiten lässt. Die chemische Gesetzmäßigkeit gilt somit – durch ihre Bestimmung der Vererbungsabläufe – als eine *bio*chemische. Sie wird für die Naturwissenschaft der Moderne zu derjenigen *differentia specifica*, die den Artunterschied zwischen lebenden Wesen und unbelebter Stofflichkeit kennzeichnet.

Da eine genzentrierte Auffassung der Vererbung schon in frühen Anfängen vereinzelt, später zunehmend, nicht unwidersprochen blieb, werden im letzten Teil Hinweise auf wissenschaftliche Einwände gegeben, die in den Abschnitten zuvor aus ihren Anfängen entwickelt wurden, um im Anschluss daran Voraussetzungen und Konsequenzen einer auf dem Genbegriff beruhenden Auffassung des Lebewesens betrachten zu können.

**BESCHREIBUNGEN DER FORTPFLANZUNG,  
DIE DAS SPÄTERE BIOLOGISCHE VERSTÄNDNIS  
DER VERERBUNG PRÄGTEN**

Lange bevor Vererbung als ein biologisches Problem aufgefasst wurde, hatte man Detailkenntnisse von Befruchtung und Fortpflanzung entwickelt. Der holländische Arzt **Reignier de Graaf** (1641-1673) stellte 1672 in „*De mulierum organis generationis inservientibus*“ eine Ähnlichkeit zwischen Vogeleiern und Eierstockfollikeln von Kaninchen fest und hielt den Follikel für das Ei des Säugetiers (Graaf 1672). Erst **Karl Ernst von Baer** (1792-1876), Professor der Zoologie in Königsberg, konnte 150 Jahre später an Hunden zeigen, daß Follikel und Ei nicht identisch sind, sondern dass Säugetiereier eigene Gebilde innerhalb der Follikel darstellen (Baer 1828: „*Über die Entwicklungsgeschichte der Thiere*“). Noch Baer nahm in den organischen Gebilden eine zielstrebige Wirkung nach Zwecken an. Er widersprach **Johann Friedrich Meckel** (1781-1833) aus Halle, der in einer Vorform des biogenetischen Grundgesetzes behauptete, dass durch pathologische Unterbrechungen in der frühen Embryonalentwicklung des Menschen Lebewesen mit Organen niedrigerer Tiere entstünden.

1673, ein Jahr nach de Graaf, zeichnete der spätere Leibarzt von Papst Innocens XII, **Marcello Malpighi** (1628-1694), das Bild der ersten Entwicklungsschritte des Eies („*De ovo incubato observationes*“, London 1675, und „*Dissertatio epistolica de formatione pulli in ovo*“, London 1673). Nach ersten Hinweisen auf Spermatozoen des Menschen berichtete 1677 **Antonij van Leeuwenhoek** (1632-1723) in Briefen an die Royal Society von Samentierchen, die er bei zahlreichen Tieren beobachtet hatte. Er gilt zugleich als Entdecker der roten Blutkörperchen. Neben **Robert Hooke** (1635-1702), einem Begründer des Zellbegriffs, und Malpighi, gehört Leeuwenhoek zu den ersten, die auch die pflanzliche Zelle sahen, noch ohne diese als ein Elementargebilde des Lebendigen aufzufassen. Leeuwenhoek war zudem einer der Pioniere, die frühzeitig Protozoen und Bakterien mikroskopierten („*Ontledingen en Ontdekkingen*“, Leiden und Delft 1693-1718).

Für das Verständnis der Entwicklung eines Lebewesens bestand in der ersten Hälfte des 18. Jahrhunderts die herrschende Sicht in einer Präformationstheorie. Alle Lebewesen müßten als Keime zugleich mit der Erschaffung der Welt angelegt worden sein. Folglich sei auch jedes neue Geschöpf in unsichtbar kleiner Form, aber strukturell vollständig in allen seinen Teilen schon in der elterlichen Keimzelle vorhanden. Entwicklung sei nichts als ein Größenwachstum bis zum ausgewachsenen Organismus, eine Entfaltung im engen Wortsinn. **Malpighi** und **Lazzaro Spallanzani** [(1729-1799; er erkannte 1789 durch künstliche Insemination eines Kröteneies die Bedeutung der Befruchtung], sowie **Jan Swammerdam** [(1637-1680; „*Miraculum naturae, sive uteri muliebris fabrica*“ 1672)], glaubten das Jungtier in der Eizelle vorgebildet (*Ovisten*). Swammerdam nahm eine so extreme Einschachtelung an, dass die Keimzelle, in immer kleinerer Größe ineinander geschachtelt, alle Nachfolgezellen der Generationenreihe enthalten müsse. In dieser Sicht entsteht das neue Lebewesen nicht durch Zeugung, sondern durch eine Fortpflanzung im engen Sinn. Adam und Eva müßten in den Fortpflanzungsorganen sämtliche späteren Menschen vorgebildet enthalten haben, biologisch die Grundlage der Erbsünde.

*Animalkulisten* hingegen wie **Leeuwenhoek** oder **Gottfried Wilhelm von Leibniz** (1646-1716) sahen eine Präformation nicht in der Eizelle, sondern im männlichen Samen gegeben. „*Auch habe ich mehr als einmal gesagt, dass in Folge Gottes Weisheit in seinen Werken alles harmonisch sein müsse und dass die Natur mit der Gnade gleichlaufend sei. Ich glaube deshalb, dass alle Seelen, die einmal menschliche Seelen werden werden, wie auch die der andern Arten von Geschöpfen, in dem Samen und in den Vorfahren bis hin zu Adam schon bestanden und daher seit Anfang der Dinge immer in der Weise eines organischen Körpers bestanden haben. [...] Auch ist diese Lehre durch die mikroskopischen Beobachtungen des Herrn Leuwenhoek und anderer guter Beobachter genügend bestätigt worden*“ (Leibniz 1710: 159).

Als **Caspar Friedrich Wolff** (1734-1794) die Embryonalentwicklung von Kükeneiern untersuchte, stellte er fest, dass Blutgefäße nicht einfach auswachsen, sondern sich erst nach und nach entwickeln. Wolff untersuchte das unbebrütete Ei, bevor ein pulsierender Punkt („*punctum saliens*“) auftaucht und durch sein Schlagen den ersten Hinweis auf das sich entwickelnde Herz gibt. Aus der ungeordneten Anordnung von Kügelchen in dem betreffenden Keimfleck und der Unmöglichkeit, weitere mikroskopische Auflösung erreichen zu können, schloss Wolff auf einen nicht organisierten Zustand dieses Bezirks, aus dem das Herz hervorginge. Die Organe durchliefen in ihren frühen Entwicklungsphasen verschiedene Formen, ehe sie ihre

endgültige Gestalt erreichten. Da sie nicht von vornherein den erwachsenen Gliedern gleichen, widersprach Wolff einer Präformation im Keim und stellte dieser die erneuerte Lehre einer *Epigenese* der Embryonalentwicklung entgegen. Der anfänglich formfreie organische Stoff werde erst sukzessiv bis in seine endgültige Gestalt geformt (Wolff 1759). Im 19. Jahrhundert konnte sich diese epigenetische Sicht nach lang währenden Auseinandersetzungen gegenüber dem Präformismus durchsetzen, doch noch der molekularbiologischen Genvorstellung des 20. Jahrhundert wurde immer wieder entgegengehalten, ein präformationistisches Konzept zugrunde zu legen.

Fast ein Jahrhundert dauerte es, bis der Schweizer Anatom **Rudolf Albert von Koelliker** (1817-1905) glaubhaft beweisen konnte, dass Spermatozoen keine Parasiten sind, sondern im elterlichen Organismus entstehen (Koelliker 1841). Er nahm an, dass erbliche Eigenschaften durch Zellkerne übertragen werden („*Die Bedeutung der Zellenkerne für die Vorgänge der Vererbung*“, 1885). Der französische Botaniker und Algologe **Gustave Adolphe Thuret** (1817-1875) schloss aus Beobachtungen der Vereinigung der Ei- und Spermazellen von Seetang, dass Eizellen für die weitere Entwicklung einer Befruchtung bedürfen. Einzelheiten der Befruchtung wie Kernverschmelzung, Halbierung und gleichmäßige Verteilung der elterlichen Kernsubstanzen auf die Tochterzellen hatte **Eduard van Beneden** (1846-1910), Professor für Zoologie in Liège, gezeigt („*Recherches sur la maturation de l'oeuf et la fécondation*“, 1883).

Vererbung als solche war jahrhundertlang nicht als ein fragwürdiger Begriff gesehen worden. Die Vorstellung einer für sich bestehenden Gesetzmäßigkeit der Vererbung entstand erst mit der Sicht einer prinzipiellen Veränderlichkeit der tierischen und pflanzlichen Arten (**Krumbiegel** 1933).

Etwa einhundert Jahre vor Einführung des Terminus Genetik zur Benennung der neuen Grundlagenwissenschaft der Biologie findet sich in der biologischen Literatur das Wort *genetisch*, das **Johann Wolfgang von Goethe** (1749-1832) und die Naturphilosophie um die Wende in das 19. Jahrhundert zur Kategorie erhoben hatten (**Jahn, Löther, Senglaub**: 2002). Indem Goethe das Wort genetisch in die Methodenfrage der Naturbetrachtung aufnahm, verwendete er es als einen wissenschaftlichen Terminus. Im Zusammenhang mit den Arbeiten zur Morphologie nannte er die ihm für Naturphänomene angemessen scheinende Auffassungsweise eine

„genetische Behandlung“ und erklärte: „Wenn ich eine entstandne Sache vor mir sehe, nach der Entstehung frage und den Gang zurück messe, so weit ich ihn verfolgen kann, so werde ich eine Reihe Stufen gewahr, die ich zwar nicht neben einander sehen kann, sondern mir in der Erinnerung zu einem gewissen idealen Ganzen vergegenwärtigen muß“ (Goethe 1891: 303f).

Die Erstausgabe von 1891 („Sophienausgabe“) führte im Kapitel „Vorarbeiten zu einer Physiologie der Pflanzen“ einen eigenen Abschnitt mit dem Titel „Genetische Behandlung“. **Dorothea Kuhn** (Jg. 1923) schlug vor, diesen Abschnitt unter „Versuche einer Methodologie der Wissenschaft von den Lebewesen“ zu gruppieren. Kuhn datiert die Entstehung des Textabschnitts, einer Handschrift, die erst mit Goethes Nachlass im Druck veröffentlicht wurde, in die späten 90er Jahre des 18. Jahrhunderts, die Zeit, in der Goethe mit **Schelling** zu naturwissenschaftlichen Erörterungen zusammengetroffen sei. Schellings dynamisches Naturkonzept sei der Bemühung Goethes um eine ganzheitliche Sicht entgegen gekommen, der zu gleicher Zeit, im Jahr 1797, ein Handexemplar von **Kants** „*Metaphysischen Anfangsgründen der Naturwissenschaften*“ erwarb. Goethe hob darin durch Unterstreichungen Kants Unterscheidung von atomistischen und dynamischen Naturwirkungen hervor (Kuhn 1987: 1013f).

## DIE VERÄNDERTE AUFFASSUNG EINER WISSENSCHAFT VOM LEBEN

Das 19. Jahrhundert war eine Epoche, in der sich Naturwissenschaften und Philosophie trennten. Nach der Physik bildeten sich weitere zunehmend selbständig unter eigener Prämisse arbeitende Disziplinen. In Folge der wachsenden Kritik an den Annahmen der Naturphilosophie setzte sich ein empiristisches Konzept durch, mit dem erkenntnistheoretischen Programm, Erkenntnis ausschließlich aus „Erfahrung“ herzuleiten. Verneint wurde jede wissenschaftliche Relevanz der Naturphilosophie. Deren deduktiver Weg, aus Begriffen und Oberbegriffen ein vollständiges System der Natur abzuleiten, galt den Vertretern der sich von der Philosophie abhebenden Naturwissenschaften als spekulativ und dogmatisch. Die Orientierung an Zweckkausalitäten sei auf metaphysische Fragestellungen einzuschränken, um jener Anthropomorphie im Naturverständnis zu entgehen. Der philosophische Zugang zum Naturverstehen wurde isoliert. Beherrschend dagegen wurde die Forderung nach einem fachbezogen arbeitenden Wissenschaftsverständnis, das aus experimentell untersuchten Einzelheiten der Naturbeschreibung nach *induktiver Methode* das Bild von größeren Ganzheiten bis hin zur Einheit der Natur zu entwerfen habe.

**Rudolf Ludwig Karl Virchow** (1821-1902), 1849 Professor für Pathologische Anatomie an der Universität Würzburg, 1856 in Berlin, richtete das Pathologische Institut der Charité ein und wurde dessen Vorsteher. Er begründete mit der *Zellularpathologie* eine Lehre, die Krankheit aus einer Störung der Lebensabläufe in den Zellen der Organismen ableitet. In den letzten Lebensjahren **Schellings** gab **Virchow** (1847) ein prägnantes Beispiel für die kritische Einstellung der Naturwissenschaft und Medizin seiner Zeit gegenüber der Naturphilosophie. Diese sei eine solche Abwendung von der Natur, dass sie eine „*Rückkehr zur Natur nur dadurch möglich mache, dass sie sich selbst auflöste*“. Wie konsequent urteilte der Pathologe zum Beweis seiner These, eine Auflösung werde sich im wissenschaftshistorischen Verlauf in drei Stadien bewahrheiten: Naturphilosophie – Naturgeschichte – Naturwissenschaft (Virchow 1847). **Carl Friedrich Philipp Ritter von Martius** (1794-1868), 1826 Professor für Botanik und Direktor des Botanischen Gartens in München, 1840 Sekretär an der Königlich Bayerischen Akademie der Wissenschaften, nannte die Kritik an deren Methode: die Naturphilosophie sei ein „*Zurechtlegen der Thatsachen aus a*

*priori angenommenen Principien*". So werde ein „*Dogmatismus in der Medicin*“ beherrschend, aufgrund der „*damals alles geistige Leben absorbirenden speculativen Philosophie der Schelling, Hegel und Anderer*“ (Martius 1878). Ähnlich sah es **Emil Heinrich Dubois-Reymond** (1818-1896). Er lehrte seit 1846 als Privatdozent Anatomie an der Akademie der Künste in Berlin, wurde 1855 Professor der Physiologie an der Universität und 1867 Sekretär der mathematisch-naturwissenschaftlichen Klasse der Preußischen Akademie der Wissenschaften. Dubois-Reymond beschrieb drastische Folgen einer „*falschen Naturphilosophie*“. „*Die Spekulation verdrängte die Induktion aus dem Laboratorium, ja fast vom Seziertisch*“. Entgegen hielt er die Forderung nach einer induktiven Darstellung, da diese in der Physiologie die Beste sei. Die Philosophie müsse aus der naturwissenschaftlichen Methode lernen, nicht aber umgekehrt (Dubois-Reymond 1872). Ein weiterer prominenter Kritiker der Naturphilosophie war der deutsche Arzt und Psychiater **Wilhelm Griesinger** (1817-1868). Griesinger wurde 1849 Professor und Direktor der Universitätsklinik in Kiel, im Jahr darauf, als Leibarzt des ägyptischen Vizekönigs, Leiter der medizinischen Schule in Kairo und Präsident des Gesundheitswesens von Ägypten. In Tübingen übernahm er 1854 eine Professur für Klinische Medizin, leitete 1860 in Zürich die Klinik für Innere Medizin und wurde 1864 Direktor der psychiatrischen Klinik an der Charité in Berlin. Griesinger begründete eine Anordnung der psychischen Erkrankungen auf anatomisch-pathologischer Grundlage. Für ihn war unter den medizinischen Schulen der zwanziger und dreißiger Jahre des 19. Jahrhunderts „*die unfähigste und hochmütigste die aus der Schellingschen Romantischen Medizin hervorgegangene*“ (Griesinger 1864). Für seine heftige Ablehnung der romantischen Medizin war Griesinger in seinen Studienjahren vorübergehend der Universität verwiesen worden.

Auch der spätere Direktor des Physikalischen Institutes Berlin und der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt in Charlottenburg, Chirurg, Physiologe und Pathologe, **Hermann Ludwig Ferdinand von Helmholtz** (1821-1894) (1848 Anatomielehrer an der Kunstakademie von Berlin, 1849 Professor für Physiologie in Königsberg, 1855 Bonn, 1858 Heidelberg, 1871 Berlin, 1888 Direktor der Reichsanstalt) forderte das induktive Denken als grundlegend für Naturwissenschaften und Medizin. Er sah in der deduktiven Methode von **Platon** bis **Hegel** einen „*psychologischen Anthropomorphismus*“, dem gegenüber **Sokrates** „*die induktive Begriffsbildung in der lehrreichsten Weise entwickelt habe*“ und doch unverstanden geblieben sei. Dem allzulangen metaphysischen Dogmatismus sei durch keine andere Methode zu

begegnen gewesen, „als daß wir die Gesetze der Tatsachen durch Beobachtung kennenzulernen suchen; [...] durch Induktion, durch sorgfältige Aufsuchung, Herbeiführung, Beobachtung solcher Fälle, die unter das Gesetz gehören.“ Erst daraufhin sei ein Naturgesetz in seinen Konsequenzen wieder deduktiv auf Gültigkeit und Umfang an der Erfahrung zu prüfen, „eine Arbeit, die eigentlich nie aufhört“ und niemals eine „unbedingte Wahrheit“, sondern nur „hohe Grade der Wahrscheinlichkeit, daß sie praktischer Gewißheit gleichstehen“, liefere (Helmholtz 1877).

Das neue und vehement geforderte Wissenschaftsideal blieb nicht unwidersprochen. **Friedrich Adolf Trendelenburg** (1802-1872), ab 1833 Philosophieprofessor in Berlin, 1846 Mitglied der Königlich Preußischen Akademie, lehnte entgegen seiner Kritik an **Hegel** weiterhin eine anorganische Naturauffassung ab, in der Wirkursachen nicht die Triebkräfte für ideale Zwecke wären. „Die organische Ansicht sieht die Welt unter dem Gesichtspunkte des Zweckes und der vom Zweck durchdrungenen Kräfte wie einen lebendigen Leib.“ Äußere Entwicklungen verliefen ebenso zweckgerichtet wie die körperlichen Vorgänge (Trendelenburg 1870: 500).

**Friedrich Wilhelm Joseph von Schelling** (1775-1854) hatte bereits im Alter von 16 Jahren mit **Hegel** und **Hölderlin** das Tübinger Stift besucht. Auf **Goethes** und **Fichtes** Fürsprache lehrte er seit 1798 als Professor an der Universität Jena in einem Kreis von von führenden Literaten seiner Zeit, wie **Friedrich von Hardenberg** (Dichternamen **Novalis**; Mitglied der Preußischen Akademie der Wissenschaften; „Hymnen an die Nacht“), den Brüdern **August Wilhelm** und **Friedrich Schlegel** (Shakespeare-Übersetzung), **Ludwig Tieck** (übersetzte Cervantes und vollendete die Übersetzungsarbeit Schlegels), einem Kreis, aus dem sich die sog. Romantische Schule entwickelte. **Schelling** erhielt 1803 einen Ruf nach Würzburg, wurde in München Mitglied der Akademie der Wissenschaften und bekleidete von 1807 bis 1823 das Amt des Direktors der Akademie der Bildenden Künste. 1820 war er Professor in Erlangen, 1827 Professor an der neuen Münchner Universität, ehe er 1841 schließlich, zehn Jahre nach dem Tod **Hegels** an Cholera, vom preußischen König nach Berlin berufen wurde. Über Philosophie las er hier, zugleich Mitglied der Preußischen Akademie der Wissenschaften, in den Jahren 1842-1848. **Schelling** richtete seine Lehre auf die Frage nach den ersten Bewegungskräften von Natur, wenn diese als eine Totalität aufgefasst würde, die *aus sich selbst* erklärbar sei. Mit seiner Frage nach

ursprünglichen und letzten Bewegungsursachen, nach Natur in ihrem Charakter als wirkendem Subjekt, einem Subjekt reiner Produktivität, meinte Schelling weiter zu fragen als die empirische Physik, der er entgegnete, bei mechanisch vorgestellter Bewegungsursächlichkeit nur zu sekundären, mathematischen Bewegungen vorstoßen und Natur lediglich als Objekt in ihrer Außenseite erfassen zu können. In naturphilosophischer Frageweise stellt sich für **Schelling** Natur als in sich selbst bewegter Makroorganismus dar. *„Die Natur ist schlechthin tätig, wenn in jedem ihrer Produkte der Trieb einer unendlichen Entwicklung liegt“* (Schelling 1799a: Entwurf, Erster Hauptabschnitt Sp. 13). Natur wirke in sich und konstitutiv nach teleologischem Prinzip und nicht, wie auch in heutiger Einschränkung, teleonomisch nur im Sinne eines heuristischen Behelfs der Darstellung einer Als-ob-Frage.

Nach **Schellings** Darlegungen ist ein Verstehen von Natur in ihrer Einheit ohne Anthropomorphie nicht möglich. Natur sei uns gleichartig, wie ein System des Geistes zu begreifen. Sie stelle sich dar als Entwicklungssystem sich widerstreitender Kräfte, gegliedert in Stufen von Materie als unreifem, noch schlummerndem Geist, bis hin zur höchsten Stufe, dem Bewusstsein ihrer selbst. Die in der historischen Naturentwicklung angeschauten Naturprodukte gingen aus einer Einheit der Natur hervor, die für die Natur ursprünglich sei und die mit dem Prinzip der Polarität zugleich entgegengesetzte Tendenzen enthalte. Jedes Werden trifft auf einen hemmenden Gegensatz, jeder Naturkörper ist ein Produkt treibender und hemmender Kraftwirkungen. Natur entwickelt sich durch Trennung in Gegensätze mit Wiedervereinigung, von *„Antithesis“* zu *„Synthesis“*, ohne dass verbleibend starre Gleichgewichtszustände, dem Anschein nach rein unorganische Körper, entstünden. Die Chemie der Vorgänge gehe nicht allein auf Mechanik zurück, sondern sei Resultat des Einflusses einer höheren Stufe der Natur, die organische Gebilde produziert. Denn das Lebendige sei das Produkt derselben Natur. Die Bereiche der anorganischen und organischen Natur seien durch dasselbe Prinzip miteinander verbunden. Schelling nennt sein System der Wissenschaften das *„Identitätssystem“*, wenn er wie Hegel den Aufbau der Natur mit Begriffen apriori aus der Erfahrung des Geistes deduktiv herleitet und von daher eine Begründung der Möglichkeit von Natur zu geben versucht: *„Die ganze Natur, nicht etwa nur ein Theil derselben, soll einem immer werdenden Produkte gleich seyn. Die gesammte Natur also muß in beständiger Bildung begriffen seyn, und alles muß in jenen allgemeinen Bildungsproceß eingehen“* (Schelling 1799b: Entwurf, Erster Hauptabschnitt, III, Sp. 33). Die Voraussetzung apriorischer Naturerkenntnis sieht

Schelling mit der Apriorizität der Natur gegeben und damit die Rechtfertigung für den Ansatz der Naturphilosophie: *„Nicht also wir kennen die Natur, sondern die Natur ist a priori, d. h. alles Einzelne in ihr ist zum Voraus bestimmt durch das Ganze oder durch die Idee einer Natur überhaupt. Aber ist die Natur a priori, so muß es auch möglich seyn, sie als etwas, das a priori ist, zu erkennen“* (Schelling 1799c: Einleitung, III, Sp. 279).

Ebenso einflussreich auf das Denken der Epoche wie **Schelling** war sein Zeitgenosse **Georg Wilhelm Friedrich Hegel** (1770-1831). 1801 habilitierte er sich in Jena. Eine 1805 erlangte außerordentliche Professur (100 Taler Jahresgehalt) gab er auf und wurde 1808 Direktor des Ägidiengymnasiums in Nürnberg. 1816 übernahm er in Heidelberg eine Philosophieprofessur, die Erfüllung seines höchsten Lebenswunsches, wie Hegel sich ausdrückte. Seit 1818 bis zu seinem Tod lehrte Hegel in Berlin, wo er zum Rektor der Universität avancierte und mit seiner Staatsphilosophie Einfluss auf führende Politiker und das kulturelle Leben gewann.

Hegels Lehre ist gekennzeichnet von einem Streben nach umfassender Systembildung in einem panlogischen Idealismus. Hegel folgt **Platons** Definition der Idee als der wahren Wirklichkeit. Die Idee ist Urbild, bleibendes Wesen der Dinge. Die sinnlich erscheinenden Dinge besitzen nicht die volle Wirklichkeit, sie nehmen nur defizitären Anteil daran. Für Hegel ist die Welt Entfaltung eines objektiven Denkens, sie ist *„Begriff“*. Aufgrund der treibenden Kraft des Gegensatzes, dem *„Widerspruch“*, verwirklicht sich die Idee, im Bewusstsein wie in der Natur, stufenweise und jeweils in drei Schritten, These, Antithese, Synthese. Jeder Gegensatz der Entwicklung wird in einem höheren Begriff *„aufgehoben“*. Ihm steht wieder ein neuer Gegensatz entgegen. Die Entwicklung der Wirklichkeit ist, wie die des Bewusstseins, eine *„dialektische“*.

Hegel entwickelte seine Naturphilosophie in der *„Enzyklopädie der philosophischen Wissenschaften im Grundrisse“*. Darin ist Natur *„als ein System von Stufen zu betrachten, deren eine aus der anderen notwendig hervorgeht und die nächste Wahrheit derjenigen ist, aus welcher sie resultiert, aber nicht so, daß die eine aus der anderen n a t ü r l i c h erzeugt würde, sondern in der inneren den Grund der Natur ausmachenden Idee.“* (Hegel 1817: Enzyklopädie § 249). 1830 ergänzte **Hegel** und widersprach den schon vor **Darwins** Veröffentlichung *„On the Origin of Species“* gängigen Entwicklungsvorstellungen. Es sei eine ungeschickte Vorstellung, *„die Fortbildung und den Übergang einer Naturform und Sphäre in eine höhere für eine äußerlich-wirkliche Production anzusehen, die man jedoch um sie d e u t l i c h e r zu machen, in das D u n k e l der Vergangenheit*

zurückgelegt hat. Der Natur ist gerade die Äußerlichkeit eigentümlich, die Unterschiede auseinander fallen und sie als gleichgültige Existenzen auftreten zu lassen; der dialektische Begriff, der die *S t u f e n* fortleitet, ist das Innere, das nur im Geiste hervortritt. Solcher nebuloser, im Grunde sinnlicher Vorstellungen, wie insbesondere das *H e r v o r g e h e n*, z. B. der Pflanzen und der Tiere aus dem Wasser und dann das *H e r v o r g e h e n* der entwickelteren Tierorganisationen aus den niedrigeren usw. ist, muß sich die denkende Betrachtung entschlagen“ (Hegel 1830: Enzyklopädie § 249; Hervorhebg. i. Orig.).

Schon ohne die idealistische Hypothese teilen zu müssen erinnert Hegels Kritik an moderne Einwände auf naturwissenschaftlich-realistische Antworten zur Frage der *missing links* in der Artendifferenzierung.

Der Ideenrealismus Hegels setzt ein teleologisches Prinzip voraus und greift damit *Aristoteles* Fassung der Idee als einer Entelechie auf. Das Lebendige „ist nur, indem es sich zu dem macht, was es ist; es ist vorausgehender Zweck, der selbst nur das Resultat ist“ (Hegel 1830: Enzyklopädie § 352). Die Natur ist aus der Idee entlassenes „*Anderssein*“, die Natur strebt die verlorene Einheit wiederzugewinnen. Die wiederentstandene Einheit ist der Geist, das Ziel der Natur.

Das Prinzip des metaphysisch-logischen Systems *Hegels* besteht darin, die Wirklichkeit als Entwicklungsergebnis einer absoluten Vernunft, der Idee, zu begreifen. Aufgabe der Naturphilosophie sei deshalb, „beweisen, daß Vernunft in der Natur ist“, nicht empirische, sondern begriffliche Darstellung der Natur. So ergibt sich für die Wissenschaften eine Trennung ihrer Aufgaben. Empirische Wissenschaften sollten Struktur und Bau der Natur darlegen, die Naturphilosophie müsse den Aufbau der Natur als Notwendigkeit beweisen.

Im Verlauf der Reaktion auf den sog. Deutschen Idealismus beschränkten die Naturwissenschaften innerhalb sich differenzierender Einzeldisziplinen, bei empirisch und induktiv vorgehender Methode und unter mechanistisch-atomistischen Voraussetzungen einen Weg nach neu gefasster Exaktheit, wobei auch der Begriff des Exakten sich wandelte (*König* 1966).

In der Erforschung der Lebewesen verwendet eine sich verselbständigende Biologie des 19. Jahrhunderts zunehmend Termini aus Energielehre, physikalischer Mechanik, Chemie. Die Eigengesetzlichkeit des Lebendigen wird mehr und mehr in die inneren Zusammenhänge der unbelebten Stofflichkeit eingefügt und tritt nicht nur als

Erklärungsziel, sondern auch für die Frage nach der Anordnung des Lebendigen im Gefüge der Natur als einer Ganzheit in den Hintergrund.

**Theodor Ambrose Hubert Schwann** (1810-1882), Entdecker des Pepsins, wirkte seit 1839 als Professor für Anatomie und Physiologie in Leuven und ab 1848 in Liège. Er hatte als Assistent an der Universität in Berlin zusammen mit **Matthias Jacob Schleiden** (1804-1881) die Theorie der Zelle aufgestellt (Schleiden 1883: 137-176). Schleiden, Dr. jur. et phil., wurde 1840 außerordentlicher Professor für Botanik in Jena, wo er das Physiologische Institut gründete. Er erwarb 1850 eine Medizinprofessur, wurde Direktor des Botanischen Gartens, trat jedoch 1863 von seinem Lehrauftrag in Jena zurück und nahm an der Universität von Dorpat vorübergehend eine Professur der Anthropologie an, ehe er sich dem Leben eines Privatgelehrten widmete. Schwann und Schleiden gaben mit der Zellenlehre der wissenschaftlichen Auffassung über Lebewesen eine bedeutende Wende, eine Voraussetzung für die spätere Annahme eines gemeinsamen Ursprungs von Pflanzen- und Tierwelt. Das Prinzip Zelle sei eine den Pflanzen und Tieren gemeinsame Grundstruktur (Schwann 1839). **Schwann** wies darauf hin, dass die Entstehung neuer Zellen „*innerhalb der schon fertigen Zellen, und zwar auf eine höchst merkwürdige Art und Weise von dem bekannten Zellkern aus*“ geschehe “(Schwann 1839, S. 4) und deutete dieses „*Prinzip der Zellenbildung*“, das bei allen pflanzlichen und tierischen Zellen verwirklicht sei, für einen Beweis der „*Analogie*“ der tierischen und pflanzlichen Zelle.

Schwann stellte zur Frage der „*Grundkräfte der Organismen*“ die „*teleologische Ansicht*“ einer „*physikalischen*“ entgegen, die nur aus der Gestaltungskraft der „*blinden Notwendigkeit der Naturgesetze*“ bestehe: Ist „*die Kraft der Organismen ebenso wie die physikalischen Kräfte in der Materie als solcher enthalten, und wird sie nur durch eine gewisse Kombination der Moleküle frei, wie etwa durch Kombination einer Zink- und Kupferplatte Elektrizität frei wird, so kann durch die Zusammenfügung der Moleküle zu einem Ei auch die Kraft frei werden, wodurch das Ei neue Moleküle anziehen imstande ist, und diese neu zusammengefügte Moleküle erhalten eben durch diese Zusammenfügungsweise wieder dieselbe Kraft, neue Moleküle anzuziehen*“ (ibid. S. 186f). Eine teleologisch wirkende Kraft im Organismus, welche das Lebewesen nach einer „*ihr vorschwebenden Idee formt, welche die Moleküle so zusammenfügt, wie sie zur*

*Erreichung gewisser, durch diese Idee gesetzter Zwecke notwendig sind*“, (S. 184) vollständig zu widerlegen, sei *„überhaupt nicht möglich, wenn man nicht alle Erscheinungen nach der physikalischen Ansicht wirklich erklärt“*. Der Physikalismus gilt ihm als vorrangig. Zulässig seien teleologische Deutungen erst, *„wenn man die Unmöglichkeit der physikalischen nachweisen kann“* (S. 187).

Ein vitalistischer Gedanke zweckgerichteter Kräfte wird in den Schlussfolgerungen der *„Mikroskopischen Untersuchungen über die Übereinstimmung in der Struktur und dem Wachstume der Tiere und Pflanzen“* weitestgehend ausgeschlossen. Dennoch bleibt ein auf die Zellebene verlagertes vitalistisches Moment insofern erhalten, als die Spezifität auf der Ebene der Zelle die kennzeichnenden Vorgänge des Lebendigen verbürgt. *„So müssen wir überhaupt den Zellen ein selbständiges Leben zuschreiben, d. h. die Kombinationen der Moleküle, wie sie in einer einzelnen Zelle vorhanden sind, reichen hin, die Kraft frei zu machen, durch welche die Zelle in der Lage ist, neue Moleküle anzuziehen. Der Grund der Ernährung und des Wachstums liegt nicht in dem Organismus als Ganzem, sondern in den einzelnen Elementarteilen, den Zellen“* (S. 190). Im II. Abschnitt seiner Untersuchung hingegen hatte Schwann entwicklungsbestimmende Kräfte in beiden Ebenen gesehen. *„Die Zelle, einmal gebildet, wächst durch ihre individuelle Kraft fort, wird aber dabei durch den Einfluß des ganzen Organismus so geleitet, wie es der Plan des Ganzen erfordert. Dies ist das Grundphänomen der ganzen tierischen und pflanzlichen Vegetation“* (S. 39).

Um ein erweitertes Verständnis von Entstehung, Fortpflanzung, Vererbung, Wachstum und Metabolismus der Organismen zu erforschen, wären somit zuerst die baulichen, funktionellen und molekularen Gesetzmäßigkeiten der Zellen zu entschlüsseln. Die Strukturen im Mikroskopischen sollen zu einer umfassenden Erklärung des Lebensphänomens verhelfen, ohne auf teleologische Deutungsmuster wie den Begriff der Entelechie als Lebenskraft zurückgreifen zu müssen, den ein Jahrhundert später **Hans Driesch** (1867-1941) ein letztes Mal zum systematischen Programmentwurf einer Vererbungslehre verwendete (Driesch 1909, 1921). In der Folge wurde der Kraftbegriff der mechanischen Physik auf die belebte Natur ausgedehnt. *„Leben ist nur eine besondere Art der Mechanik, und zwar die allerkomplizierteste derselben“* schloss der schon zu seiner Zeit hochgeehrte Arzt und Pathologe **Virchow** in diesem Sinn (Virchow 1865).

Die Stärke der Tendenz zu einer materialistischen Formulierung der Wirklichkeit war bis in das populäre Bewusstsein von einer Durchschlagskraft wie die desjenigen sich verbreitenden Psychologismus im späten 20. Jahrhundert, in dem nicht allein Anthropomorphie, sondern subjektivistische Anthropozentrik als unvermeidlich zur Beschreibung aller Bereiche der Wirklichkeit vorausgesetzt wird.

**Schelling** hatte einen Kraft- und Bewegungsbegriff vorbereitet, der nicht aus der physikalischen Mechanik von Druck und Stoß abgeleitet wird, sondern, aufbauend auf **Kants** dynamischem Konzept von Materie zum Begriff einer inneren Dynamik von Materie führt.

**Immanuel Kant** (1724-1804) lehrte ab 1770 in Königsberg auf einer Professur für Logik und Metaphysik, nachdem er, neben anderen Berufungen, während 15jähriger Privatdozentur eine Professur für Dichtkunst in Jena ausgeschlagen hatte.

1786 – 1788 war er Rektor der Universität, an der er bis 1796 las, mit Vorlesungen über Enzyklopädie und Geschichte der Philosophie, Metaphysik, Moralphilosophie, Naturrecht, Religion, Logik, Mathematik, Physik, Geographie, Mineralogie, Anthropologie und Pädagogik.

Unter Ablehnung des überlieferten Materiebegriffes als dem „*Soliden*“, „*absoluter Undurchdringlichkeit*“, der als ein „*leerer Begriff*“ aus der Naturwissenschaft zu verweisen sei (Kant 1786, *Metaphysische Anfangsgründe* A 81), entwarf er eine Definition, die der Materie innere Bewegungskräfte beimisst. Materie erfüllt einen Raum durch eine „*besondere bewegende Kraft*“, nicht „*durch ihre bloße Existenz*“. Sie leiste „*allem Eindringen*“ Widerstand mittels einer in entgegengesetzter Richtung und bewegungsursächlich wirkenden „*Zurückstoßungskraft*“. Dieser korrespondiere als „*Ursache der Annäherung anderer zu ihr*“ eine „*Anziehungskraft*“. Auf beide Kräfte, „*ziehender*“ und „*treibender*“, seien sämtliche Bewegungskräfte der materiellen Natur zurückzuführen (A33 - 35). Die „*expansive Kraft*“ einer Materie heißt Kant „*Elastizität*“, Materie ist „*ursprünglich elastisch*“ (A 37). „*Durch bloße Anziehungskraft, ohne Zurückstoßung, ist keine Materie möglich*“ (A 57).

Mit der naturphilosophisch beschriebenen Forderung nach Einführung einer „*dynamischen Erklärungsart*“, die „*der Experimentalphilosophie weit angemessener und beförderlicher*“ sei, weil sie „*darauf leitet, die den Materien eigene bewegende Kräfte und deren Gesetze auszufinden*“ (A 102), gibt Kants Naturphilosophie theoretisch eine

Begründung desjenigen Konzepts, das im 19. und 20. Jahrhundert umgesetzt wird. Nicht ohne Widersprüche wurde in der Konsequenz die Vorstellung der äußeren mechanischen Bewegung durch den Gedanken innerer *chemischer* Bewegung ergänzt und mit den neuentdeckten Phänomenen von Galvanismus, Magnetismus und Elektrizität in Verbindung gebracht. Grundbegriffe der Dynamik, Bewegung und Kraft, erhalten die Bedeutung einer eigenständigen Qualität, die nicht mehr auf die Wirkung von Körpern zurückgeführt wird. Das neue Bewegungskonzept eröffnete einer Chemie den Raum, ihrerseits nach Bewegungsursächlichkeiten zu suchen. Indem Materie in anorganische und organische Materie (*Protoplasma*) unterschieden wird, für deren Beschreibung biologischer Vorgänge schließlich eine spezielle *organische* Chemie zuständig wird, werden die Ursächlichkeiten der Bewegung der belebten Substanz in Eigenheiten der neu spezifizierten Materie gesehen, — ein Denkmodell, nach dem auch die Naturwissenschaft der Gegenwart ihre Vorstellungen entwickelt.

Verschiedene Faktoren beeinflussen die Entwicklung einer wissenschaftlichen Disziplin. Neben dem Forscher als Mensch in seiner Vorbildung und Interessenlage liegen in jeder wissenschaftlichen Richtung eigene Entfaltungstendenzen, die sich aus der Art der Vergegenständlichung ihrer Objekte ergeben. Sodann sind es die Entwicklungen in den Grund- und Nachbardisziplinen einer Wissenschaft, die auf sie selbst zurückwirken (**Rothschuh** 1969: 155). Zu erwähnen ist, dass auch die ideelle Einstellung historischer Wandlung unterliegt, die nicht nur politisch und wirtschaftlich motiviert ist, sondern mit einem Wandel der metaphysischen Grundannahmen die Meinung darüber ändert, welches die Grundlagenwissenschaften seien.

Wie **Karl Edmund Rothschuh** zeigt [(1908-1984); 1948 Professor für Physiologie an der Universität Münster, 1949-1951 Universität Würzburg, 1960 Direktor des Instituts für Medizingeschichte in Münster], hatte sich das Nachdenken über Lebewesen seit jeher in Analogmodellen bewegt. *Psychomorph* gedacht waren es Strebungen einer Tier- oder Pflanzenseele, welche zielstrebig Vorgänge im Organismus aufeinander hinwirken lässt. *Technomorph* ähnelten Lebensabläufe handwerklichen und technischen Geräten. Die gegenseitige Abstimmung der Organe des Lebewesens konnte wie die Zweckbeziehungen der Teile einer Apparatur dargestellt werden. Mit der verselbständigten Biologie im 19. Jahrhundert wandelte sich das Vorverständnis grundlegend. Es entstand das Ziel, ohne Rückgriff auf Technik, Psyche, völlig eigenständige Gesetzmäßigkeiten nachzuweisen, eine *Biomorphie*.

**Rothschuh** nennt einen weiteren Tendenzwechsel dieser Epoche. Man habe sich einer *quantitativen* Erfassung und Einordnung von Lebensabläufen zugewandt. Während zuvor experimentelle Untersuchungen kaum quantitativ arbeiteten, sondern den Wert der Forschung vor allem in *qualitativen* Erkenntnissen sahen, entwickeln sich bis zum Ende des 19. Jahrhunderts eine physikalische und eine chemische Richtung, die „*experimentell, messend, analytisch eine Reduktion der physiologischen Zusammenhänge auf die Gesetze der Physik und Chemie anstreben*“ (Rothschuh 1969: 161).

Noch im Beginn des 19. Jahrhunderts wurden physiologische Versuche, z.B. in der Sinnesphysiologie des Sehens, durch Selbstbeobachtung überprüft. Dieser Maßstab, der zuvor noch als der sicherste galt, wurde zugunsten von Tierexperimenten unter „kontrollierten Bedingungen“ aufgegeben, geleitet von der Absicht, Subjektivität auszuschließen. Das Interesse erstreckt sich auf stoffliche Zusammensetzungen und ihre quantitative Analyse, von deren Zahlenverhältnissen Rückschlüsse auf Naturkonstanten erwartet werden. Der Verlauf von Körpertemperatur, Blutdruck, Nervenleitungsgeschwindigkeit, Muskelaktion und Stoffwechselvorgängen wird exakt quantifiziert und physikalisch objektiviert. Körperliche Abläufe in einem mathematisch-physikalischen Kalkül darzustellen, wurde zum Ideal der Erkenntnis. **Emile Dubois-Reymond** (1818-1896) hatte vorausgesagt: „*Es kann nicht fehlen, daß dereinst die Physiologie, ihr Sonderinteresse aufgebend, ganz aufgeht in die große Staatseinheit der theoretischen Naturwissenschaften, ganz sich auflöst in organische Physik und Chemie*“ (zit. nach Rothschuh 1969: 166).

Nicht mehr nach zielgerichteten Lebenskräften solle gesucht werden, sondern nach Kräften der anorganischen Natur, die in der Materie begründet seien und zweckfrei auch die organischen Abläufe bestimmten. Um 1870 entsteht eine physiologisch-chemische Richtung, die sich durch ihre eigene Arbeitsweise rechtfertigt. Schon 1826 hatte **Christian Friedrich Nasse** (1778-1851; 1815 Professor in Halle, 1819 in Bonn; Einführung der Vivisektion in Deutschland) das Ziel umrissen: Physiologie habe den Gegenstand „*nach seiner Wirksamkeit, nach seiner Entwicklungsweise, nach seinen Gesetzen*“ zu bestimmen und habe dabei „*sich selbst zum Zweck*“. Denn ihre Forschung werde verfälscht, „*sobald Ansichten und Deutungen, die nicht aus ihr selbst entnommen sind, ihr beigemischt werden*“ (zit. nach **Lohff** 1990: 31).

Ihrer eigenen Methode folgend will Physiologie ohne jedes teleologische Ansinnen nach der Wirksamkeit der Natur in den einzelnen Körperteilen und den wechselseitigen Abhängigkeiten der Wirkungen, *Funktionen* fragen. Die empirische Physiologie

entwickelt im Rahmen der Grundlagenwissenschaften Physik und Chemie Annahmen und bestätigt oder negiert sie durch das Experiment. Nicht aus naturphilosophischer Methode, sondern im fachwissenschaftlichen Zusammenhang, aus dessen Axiomatik die Grundlagen der Theorie abgeleitet werden, wird auch die Stiftung der allgemeinen Zusammenhänge erwartet. Der neue Systemgedanke beabsichtigt dies sogar für die Wissenschaft vom Menschen. Die akademische Ausbildung des Arztes konzentriert sich in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts auf naturwissenschaftliche Fächer. Bei Kenntnis des Latein entfallen hingegen die Vorlesungen über Logik, philosophische Anthropologie und Psychologie sowie Rhetorik. Ein Physikum ersetzt das Philosophikum in der Propädeutik.

Eine weitere Tendenz ist die Ersetzung einer unmittelbarer einsichtigen Begrifflichkeit durch Fachsprachen, welche mit der Wissenschaftsdifferenzierung einhergeht. Der sukzessive Zuwachs an Fachtermini ist Folge der Hinwendung zur induktiven Methode, die der Verallgemeinerung von Einzelforschungen zunächst größeres Gewicht beimisst als der deduktiven Erkenntnis aus Prinzipien. Die Evolutionsvorstellung bot sich als das neue Prinzip an, das immer wieder in Einzeluntersuchungen zu bestätigen sei, und unter dem alle Vorgänge der Organismenwelt zu subsumieren seien.

**Brigitte Hoppe** weist darauf hin, dass die Biologie zu Beginn des 19. Jahrhunderts eine neue Definition ihres Bereichs erhalten habe, durch welche ihr heutiges Verständnis begründet werde. Neben der Aufgabe des früheren ontologischen Fundaments sei ein neues Bewusstsein der Kluft zwischen unbelebten und belebten Naturkörpern entstanden, welches in anhaltenden Diskussionen aus den Antworten des 18. Jahrhunderts nach „*erkennbaren Kriterien für ihre Eigenart*“ fragte (Hoppe 1975: 134).

Mit den letztendlich entwickelten Attributen von Selbstreproduktion, eigenständiger Regeneration und Selbsterhaltung, in Abhängigkeit vom chemisch-physikalischen Gesetz als der ersten Bedingung für die Lebendigkeit der Materie, wurde Leben zu einem neu abzugrenzenden Begriff. Alle Lebenserscheinungen - auch die Vererbung - werden *physiologisch* gesucht in der stofflichen Zusammensetzung von anatomischen und histologischen Strukturelementen und deren Abläufen. Der Materiebegriff scheint einerseits genügend Evidenz und andererseits hinreichend Dunkelheit für alle weitere Nachforschung in sich zu bergen, um das naturwissenschaftliche Interesse an den Lebenserscheinungen ganz auf sich zu konzentrieren. Mit dem materialistischen Konzept ist der Plan gegeben zu den präzisierenden Forschungen der Epoche. Der

ursprünglich *platonische* Gedanke einer zugrundeliegenden umfassenden Idee wird in einer bestimmten Hinsicht ausgerichtet. 1853 fordert **Carl Wilhelm Nägeli** für den Aufgabenbereich der Biologie: „So wie Wasser nicht ein Gemenge von Wasserstoff und Sauerstoff ist, [...] sondern in den uns noch unbekanntem allseitigen Beziehungen der genannten Atome liegen muss, ebenso kann das Wesen des Organismus nicht durch die Summe von soviel Atomen organischer und anorganischer Verbindungen, sondern allein durch den noch unerforschten innern Zusammenhang derselben bezeichnet werden. Dieser innere Zusammenhang, diese Resultierende von freien und gebundenen Bewegungen, wir mögen sie Wesen, Idee, Lebenskraft nennen, ist in jeder individuellen Entwicklung vorhanden. [...] Da jede dieser Lebenskräfte nichts anderes als eine Totalität von eigenthümlich combinirten, unserer Forschung und Erkenntniss zugänglichen, manifesten und latenten Bewegungen der kleinsten Theile ist, so eröffnet sich uns auch die Aussicht, einst das Wesen jeder materiellen Erscheinung zu erfassen, indem dieselbe in ihre nähern und fernern, endlich in die letzten Bestandtheile zerlegt und daraus wieder construirt werden kann“ (zit n. Hoppe 1975: 163, Unterstreichungen v. Kurt Plischke).

Mikroskopische Anatomie und Entwicklungsphysiologie erfassen nach und nach einzelne Lebensvorgänge und überführen sie im chemisch-physikalischen Zusammenhang in eine mathematische Ausdrucksweise. Biologie denkt physiologisch, sobald Lebenserscheinungen als Funktionen physikalischer und chemischer, jetzt biochemisch genannter Materiekräfte begriffen werden.

Eine dieser Lebenserscheinungen ist Vererbung. Wie die anderen Erscheinungen wird sie als eine Resultante beteiligter Elementarteilchen aufgefasst.

Als den ordnenden Zusammenhang hinsichtlich eines Geschehens zwischen ganzen Lebewesen entwickelte später **Charles Robert Darwin** (1809-1882) ein Theorem, das hier vorläufig nur kurz skizziert werden soll, eine Entwicklungshypothese, die eine Durchschlagskraft für das moderne und postmoderne Naturverständnis bis zu einer weltbildprägenden Allgemeinvorstellung nach sich zog. Sie wurde nachmalig auch von anderen Wissenschaften als der Biologie verwendet und weiterentwickelt. Die *Evolutionstheorie* genannte Entwicklungsvorstellung führt das Vorkommen der anatomischen Baupläne der Lebewesen auf einen Wettbewerb um Nahrung und

Fortpflanzung und eine sich anschließende Selektion zurück. In dieser Sicht gelten der jeweilige Bestand an Eigenschaftskonstellationen, die Lebewesen, als zeitlich begrenztes Äquilibrium gegenüber einem völligen Aussterben der betreffenden Konstellation. Der somit nicht zielgerichtete Vorgang wirke sich über die Weitergabe der sich durchsetzenden Eigenschaften der Lebewesen im Weg fortwährend neu erbrachter Anpassungen an veränderte Umwelten bis in die partikulären, materiell gedachten Vererbungsträger aus. Die solchermaßen ererbten Merkmale erscheinen als alleiniges Ergebnis eines allein sich selbst und den nicht eingrenzenden Umweltveränderungen unterworfenen vorangegangenen Geschehens. „*Der Typus der Entwicklung*“ ist nicht eine Naturkonstante, sondern die Folge eines „*Erbgangs*“ (Hoppe 1975: 184).

In der Sicht der von *Darwin* gegebenen Theorie handelt es sich um eine Ereigniskette gewisser Teilchen entgegen deren Vergehen. Erbgang ist ein Ereignisverlauf in der Materie.

Historisch gesehen beschrieb diese Hypothese, auch bei anderen Autoren dieser Zeit, einen Funktionsmechanismus von Teilchen noch vor einer chemisch anerkannten und experimentell gestützten Definition spekulativ. Der hypothetische Charakter der Evolutionshypothese wird heute von weiten Kreisen der Biologie zwar nicht bestritten, aber in Klammern gesetzt – eine Hypothese zweiter Ordnung. Indem nur *namentlich* eine Hypothesizität angesetzt wird, entsteht ein Asylum ignorantiae, welches eine Falsifizierbarkeit der Theorie verhindert, und ein Circulus im Aufweis von Kategorien des Erkennens.

**SPENCER: PHYSIOLOGISCHE EINHEITEN  
LEBEWESEN ALS BELEBTE MATERIE**

Als Sohn einer englischen Lehrerfamilie hatte *Herbert Spencer* (1820-1903) keinen Schulunterricht erhalten, sondern war im elterlichen Haus vor allem in Mathematik und Naturwissenschaften ausgebildet worden. Mit 17 Jahren wurde er Eisenbahningenieur, ein Jahrzehnt später begann sein schriftstellerisches Schaffen, aus dem ein zehnbändiges Lebenswerk hervorging. In „*A System of Synthetic Philosophy*“ (Spencer: 1862-1892) verwendet er die evolutionstheoretischen Vorstellungen *Darwins* nicht nur für Prinzipien der Biologie, sondern auch für Psychologie, Soziologie, Ethik und Philosophie insgesamt.

Im Band der „*Principles of Biology*“ nennt Spencer Vererbung ein Gesetz im Sinn eines Naturgesetzes. Es besteht für ihn darin, dass jede Pflanze oder jedes Tier andere Lebewesen von derselben Art wie es selbst produziert. Die Erhaltung der Gleichheit der Art, die Übernahme derselben allgemeinen Struktur, weniger die Wiederholung einzelner Eigenschaften mache das Wesen der Vererbung aus (Spencer 1864:238). Spencer fordert nicht induktiv wie *Mendel*, aus dem Verlauf einzelner Merkmale auf eine Gesetzmäßigkeit zu schließen.

Einen Hinweis für die angeborene Tendenz zur Erhaltung gleicher Strukturen findet er in der Regenerationsfähigkeit von Pflanzen und Tieren: Ein Stück eines Begonienblattes wächst in fruchtbarer Erde wieder zu einer vollständigen Begonie heran. Auch ein abgetrenntes Fragment eines Polypen bildet sich wieder zu einem vollkommenen Individuum, wenn auch nicht alle Teile der höheren Lebewesen über diese Fähigkeit verfügen. Spencer gibt eine Erklärung für Regeneration, die den Grund in hypothetische Untereinheiten der lebendigen Substanz verlegt und ihnen eine zweckgerichtete Kraft zuspricht. Die lebenden Partikel der regenerationsfähigen Anteile besitzen eine angeborene Tendenz, sich selbst in die Form des Organismus zu versetzen, in die sie gehören. Daher sei anzunehmen, dass ein Lebewesen aus spezifischen Einheiten aufgebaut ist, die mit der „*intrinsischen Fähigkeit*“ (*intrinsic aptitude*) versehen sind, sich zur Form der betreffenden Species zu vereinigen.

In der Frühphase genetischer Beschreibungsversuche von Eigenschaften materieller Einheiten zeigt sich immer wieder das Bestreben, organische Abläufe mit anorganischen Vorgängen zu vergleichen, um gegebenenfalls eine in beiden Bereichen wirkende gesetzmäßige Kraft entdecken zu können. Auch *Spencer* denkt sogleich an ein anorganisches Kristall. Die Atome eines Salzes besitzen für ihn in ähnlicher Weise die intrinsische Fähigkeit, in einer speziellen Weise zu kristallisieren. Und so würden auch die „vitalisierten“ Moleküle eines Gewebes eine Neigung zu einer bestimmten Organisation zeigen, sei es in der Reproduktion eines ganzen Organismus, sei es im Ersatz verlorener Teile.

Für diese Fähigkeit sei bislang keine adäquate Bezeichnung gegeben. Spencer schlägt den Terminus einer „organischen Polarität“ vor, einer „Polarität der organischen Einheiten“. Daraus ergibt sich für ihn die entscheidende Formulierung des biologischen Problems, eine Frage, die ein ganzes Jahrhundert beschäftigen und einen eigenen biologischen Wissenschaftszweig, die Genetik, ins Leben rufen sollte: Was sind diese Einheiten selbst, und durch welchen Namen können sie angemessen benannt werden?

Die nächsten vierzig Jahre, bis zur buchstabengemäßen Formulierung der Bezeichnung des Erb„faktors“ durch *Wilhelm Johannsen*, die bis auf den heutigen Tag von Biologen als ausreichend erachtet wird, sind angefüllt mit spekulativen Systemen von Forschern, die sich in Gegensatz zu aller Naturphilosophie und ihrer Konsequenzen sehen. Ob der spätere Gang, ein Agens der Genesis der Welt der Lebewesen zu fixieren, auf diese Weise nicht weiterhin spekulativen Prämissen unterliegt, bleibt ein Desiderat wissenschaftstheoretischer Untersuchung.

*Spencer* bekennt einerseits, dass es nicht die Atome von Albumen, Fibrin, Gelatine oder der damals noch hypothetischen Proteinsubstanz sind, die sich zu den organischen Gestaltungen formieren könnten. *Chemische* Einheiten seien eindeutig nicht die Inhaber dieser Fähigkeit. Andererseits wohne die betreffende Fähigkeit auch nicht in dem, was bislang *morphologische* Einheiten genannt werde, nämlich der Zelle. Obwohl die Zelle die letzte sichtbare Einheit der Organismen ist, müsse auch die Zellbildung wieder als ein Ausdruck einer Fähigkeit zu organischer Gestaltung angesehen werden. Wenn aber die Fähigkeit zu organischer Polarität weder von chemischen noch von morphologischen Einheiten eingenommen werde, so seien intermediäre Einheiten zu vermuten, die im Übergangsbereich zwischen den chemischen und morphologischen Einheiten zu finden wären. Für diese Gebilde schlägt

der englische Philosoph deshalb einen eigenen Namen vor. Sie sollen „*physiologische Einheiten*“ heißen (Spencer 1864: 180ff).

Damit liegt eine erste Definition des Erbfaktors als eines vererbungsbestimmenden Elements vor: Eine physiologische Einheit ist etwas, das aufgrund seiner chemischen Konstitution morphologische Fähigkeiten besitzt. Mit dem Begriff des Physiologischen will Spencer Grundbedingungen des Lebens erfassen, die in chemischen Materialeigenschaften eine notwendige Bedingung finden. Unter Bezugnahme auf physikalische Kategorien wie Kraft, Bewegung und Materie wird die Eigenart des Lebendigen im Begriff des Physiologischen aufgehoben, mit dessen Gesetzlichkeit dann auch die hinreichende Bedingung erfüllt wäre.

In seinem Werk wendet Spencer den Evolutionsgedanken **Darwins** an. Dieser hatte 1859 die als sein Hauptwerk geltende Schrift „*On the Origin of Species by Means of Natural Selection, or the Preservation of Favoured Races in the Struggle for Life*“ veröffentlicht. Es ist der Gedanke einer Variabilität aller Arten unter dem Primat des Umwelteinflusses, den Darwin entwickelt, wobei er auch die artefizielle Pflanzen- und Tierzucht mit den Abläufen der Natur gleichsetzt. In Darwins Theorie war zunächst die Frage offengeblieben, wie die Veränderungen in der Substanz der Lebewesen entstehen und wie die materielle Grundlage ihrer Vererbung vorzustellen sei. Dazu lieferte der Urheber der auch gegenwärtig herrschenden Auffassung von Evolution eine Darstellung in seinen späteren Schriften.

## IV 2

### DARWIN: TÄTIGKEITSZENTREN DER PANGENESIS EINE PROVISORISCHE HYPOTHESE

**Charles Robert Darwin** (1809-1882) studierte Medizin in Edinburgh und Cambridge, sowie Naturwissenschaften. Im Anschluss daran nahm er an einer Forschungsreise auf der „Beagle“ teil, die ihn nach Südamerika und Australien führte. Seine Beobachtungen legte er in Tagebucheintragungen nieder und entwickelte Jahre später daraus ein Paradigma von der Abstammung der Lebewesen. Es führte bis in die

1920er Jahre zu heftigen Kontroversen, wird jedoch von heutiger Naturwissenschaft kaum mehr bezweifelt, bei behauptet hypothetischem Charakter.

Individuell eingetretene Abweichungen vom allgemeinen Bauplan einer Tier- oder Pflanzenart sieht Darwin als das Rohmaterial der Evolution an. Für diese kleinen „*Variationen*“ sucht er einen Ansatzpunkt in der Erbmasse der Lebewesen. „*Die individuellen Unterschiede sind von höchster Bedeutung für uns, weil sie vererbt werden*“ (Darwin 1859:39, Übers. v. Kurt Plischke). Darwin setzt für seine Betrachtung der Vererbung eine Erbllichkeit erworbener Eigenschaften voraus. Seine Hauptthese: Die generationsweise Akkumulation geringfügiger Unterschiede durch umweltbedingte Selektion führe zu Veränderung der Arten und zu Entstehung neuer Arten, die durch stärkeres Angepasstsein besser zur Fortpflanzung gelangen.

Darwins Wegweisung liegt abseits von **Mendel**. Andere Vererbungstheorien bleiben unberücksichtigt und Mendels Erklärung der Hybridenbildung hätte **Darwin** vermutlich nicht geschätzt, da die beständige Variation einer sich summierenden Evolution daraus zunächst nicht abzuleiten ist, sondern regelmäßige Wiederholungen älterer Formen begründet werden (**Olby** 1966: 62). Nach der Wiederentdeckung von Mendels Theorien im Jahr 1900 entstand ein langwährender Streit, in dem sich die Parteien in Mendelisten und Darwinisten gruppierten.

Für sein Modell des Lebewesens beruft sich **Darwin** auf eine „große deutsche Autorität, auf Virchow“, der, ein Jahr vor Darwins „*Entstehung der Arten*“, im Jahr 1858 mit „*Die Cellularpathologie in ihrer Begründung auf physiologische Gewebelehre*“ den zellulären Bau der Lebewesen (*omnis cellula e cellula*) hervorhob. 1878 führt Darwin an, dass ein Organismus aus unzähligen Elementen bestehe, die er „*Thätigkeitscentren*“ nennt. Jedes übe eine eigene besondere Tätigkeit aus. Es werde dazu von anderen Teilen angeregt, und doch gehe die eigentliche Leistung von ihm selbst aus. Jedes Tätigkeitselement lebe seine Zeit, sterbe und werde ersetzt (Darwin 1878: 401). In dieser Sicht gilt eine organische Einheit als „*in einer gewissen Ausdehnung von allen übrigen unabhängig*“ (Darwin 1878: 403). Genannt ist hier ein gewichtiges Kriterium des späteren Gens.

Sein Modell des Organismus überträgt Darwin auf die Vererbung und nennt seine Vorstellung eine „*provisorische Hypothese der Pangenesis*“. Sie besagt, jedes „*Theil der*

*Organisation*" trage zur Reproduktion des Ganzen bei, denn alle Teile gäben „*Gemmulae*“, „*kleine Keimchen*“ ab, die durch den Körper zirkulierten und in den Keimorganen konzentriert würden. Sie würden in einem Strom transportiert, der unaufhörlich den ganzen Körper durchfließe (Darwin 1878: 385). Dabei sei es nicht notwendig, dass die *Gemmulae* auch im Blut aufträten. Jedes von ihnen, die Darwin an anderer Stelle auch als „*kleine Körnchen*“ und „*Atome*“ bezeichnet, werde mit „*gehöriger Nahrung*“ versorgt, durch Teilung vervielfältigt und sei in der Lage, wieder zu den gleichen Zellen heranzuwachsen, aus denen es stamme. Die Keimchen besäßen „*in ihrem schlummernden Zustande eine gegenseitige Verwandtschaft zueinander*“ und könnten sich deswegen in den Geschlechtsorganen zu „*Sexualelementen*“ vereinigen. Noch unentwickelt vermehrten sie sich zunächst durch „*Selbsttheilung*“ (Darwin 1878: 407).

Vererbung, so definiert Darwin, sei letztlich nichts anderes als eine Form von Wachstum. „*Ein Organismus ist ein Microcosmus, - ein kleines Universum, das aus einer Menge sich selbst fortpflanzender Organismen gebildet wird, welche unbegreiflich klein und so zahlreich wie die Sterne am Himmel sind*“ (Darwin 1878: 438f).

Da er Arten für unbegrenzt variierbar hält, kann Darwin mit diesem Lebensmodell eine einfache Erklärung für Variation geben: Veränderung beruht auf zwei „*distincten*“ Ursachengruppen, entweder auf Mangel, Überschuss oder Umstellung der Keimchen, oder auf ihrer Wiederentwicklung aus zuvor ruhendem Zustand (Darwin 1878: 429).

**Robert Spaemann** [(Jg. 1927); wiss. Assistent am Collegium Philosophicum von Joachim Ritter/Münster; ord. Professuren Stuttgart, Heidelberg; bis 1993 Inhaber des Lehrstuhls I der Philosophie, Ludwig-Maximilians-Universität/München; Ehrendoktor der Universitäten Fribourg, Washington, Navarra] und **Reinhard Löw** [(1949-1994); Geschäftsführender Direktor an der Universität München Phil. Lehrstuhl I 1993/1994; Partington Prize für Wissenschaftsgeschichte/London; Internationaler Preis für Anthropologie/Barcelona] weisen darauf hin, dass die in der Evolutionstheorie angenommene unbegrenzte Variationsbreite unbewiesen blieb. Die naturwissenschaftlichen Befunde, „*die Darwin zu seiner Stützung heranzog – Paläontologie, das biogenetische Grundgesetz, neue Erkenntnisse aus der Pflanzengeographie, der vergleichenden Anatomie, der menschlichen Zuchtwahl [...] konnten, einzeln genommen auch gegen Darwins Theorie angewendet werden*“ (Spaemann, Löw 1985: S. 214, Sperrdr. i. Orig. kursiv), und: „*Zuchtwahl heißt: menschliche Selektion innerhalb einer*

Tierart, etwa durch Domestikation“ (ibid. S. 234, Anm. 10). Die von Züchtern ausgeübte Selektion mittels Domestikation und Tierzucht hat jedoch niemals zu einem echten Artenwandel geführt. Ein Rückschluss auf eine artenmutierende „objektive“ Natur im Sinne der Kraft eines Beweises ist folglich nicht einzusehen.

Gleich *Mendel* verwendet *Darwin* eine Vorstellung partikulärer Einheiten der Vererbung, nur hatte *Mendel* keine materielle Beschreibungsweise gewählt. *Darwin* bezieht die Erbelemente nicht auf allgemeine Eigenschaften, sondern auf Zellen und ihre Teile, die er als Tätigkeitszentren begreift. Erbeinheiten verlangen für Darwin Keimchen, die sie übertragen und sich wieder zu voll ausgebildeten Strukturen auswachsen. Die Keimchen sind ähnlich den modernen Erbfaktoren schon als etwas gedacht, das der Selbstteilung fähig ist, um sich identisch fortzupflanzen. Allerdings bedürfen schon die im Körper zirkulierenden, erblich weitergegebenen „Atome“ einer Nahrungszufuhr und stehen daher wie das ganze Lebewesen gemäß der Prämisse der Evolutionstheorie in einem struggle for life. Wenn auch die Annahme einer Zirkulation selbständiger Teilchen bald fallengelassen wurde und stattdessen die Idee einer Organisation der Erbanlagen entstand, so hielt sich noch diese Vorstellung: Die Erbträger sind ähnlich wie ganze Lebewesen zu Ernährung, Wachstum und Vermehrung ihrer selbst fähig und konkurrieren untereinander um ein Überleben.

#### IV 3

#### HAECKEL: THEORIE DER PLASTIDE

*Ernst Haeckel* (1834-1919), Dr. med. et phil., ist ein klassischer Vertreter materialistischer Weltanschauung. Er hatte als Assistent bei *Virchow* gelernt und wurde 1865 ordentlicher Professor der Zoologie in Jena, später auch Direktor des zoologischen Instituts der Universität. Er führte selbst keine eigenen Versuche zur Vererbung durch, sondern entwickelte theoretisch Vorstellungen dazu, indem er die neuen Beschreibungsweisen von Physiologie und Zytologie mit *Darwins* Evolutionstheorie zusammenführte. Darüberhinaus war sein Bestreben, die biologischen Auffassungen zu einem allgemeinen philosophischen Weltbild zu erheben. *Darwins* provisorische Hypothese der Pangenesis lehnte er entgegen seiner Hochschätzung der neuen Evolutionsvorstellung ab und ersetzte sie unter Berufung

auf *Aristoteles* durch eine „*Perigenesis der Plastidule*“. Sein Leitbegriff der Materie erhält an vielen Stellen Züge aus dem seelischen Erfahrungsbereich, die auf Anorganisches projiziert werden. *Haeckels* Absicht ist es, den Dualismus von Stoff und Geist aufzuheben und eine pantheistische Naturreligion zu begründen. Er führte damit in seiner Sicht Gedanken *Spinozas* und *Goethes* weiter. Sein religiöser Anspruch führte sogar zu einer freikirchlichen Vereinigung, dem *Monistenbund*.

Mit *Darwin* und *Haeckel* entstehen neue und entscheidende Weichen für die weitere Genbiologie, in der das Urphänomen der Genesis ohne Bezugnahme auf Seele, Geist vermeintlich ohne metaphysischen Standpunkt nach empirischem Objektivitätsideal dargestellt werden soll. Die Sicht kehrt sich um: Denken, Kultur, Geistiges wird zum Epiphänomen der Materie, ein phylogenetisches Entwicklungsprodukt. Menschliches wird aus Tierischem abgeleitet, Organisches steht in der natürlichen Hierarchie neben dem Anorganischen und soll aus letzterem historisch-genetisch und kausalmechanisch abgeleitet werden. Basis der Eigenschaftsentwicklung werden die materiellen Vererbungspartikel, die – erst einmal hypostasiert – in der Wissenschaftssprache definiert und schließlich chemisch formalisiert werden. Damit wird der Blick hinweggelenkt von der in vormaligem Verständnis zentralen Tatsache, der Mensch nehme eine für den Erkenntnisvorgang unhintergehbare und in der natürlichen Hierarchie herausgehobene Stellung ein, einer Sicht, nach der die materiellen Erbträger allenfalls *Potentiae* im Sinne notwendiger Begingungen sind, die - zumindest für den Menschen - ihre Verwirklichung schließlich durch Geist, Denken, Entscheidung finden, in einem lebenslang währenden Prozess der „Genexpression“, einem Gespräch einer Seele mit sich selbst darüber, was ihr zukomme und was ihr nicht zukomme.

In seiner „*Generellen Morphologie der Organismen*“, hatte *Haeckel* als einer der Ersten Wert gelegt auf eine Aufgabenteilung zwischen Zellkern und Zelleib, dem Plasma (*Haeckel* 1866). Der Kern sei der Grund für die Vererbung von Eigenschaften, das Protoplasma sei das Organ der Anpassung an die Verhältnisse der Außenwelt. Es erfährt dabei stoffliche Veränderungen, leitet sie an den Kern der Zelle weiter, der sie speichert und erblich reproduzieren läßt. *Haeckel* regt den Gedanken an, dass der Kern die stoffliche Grundlage der Vererbung liefere. *Oskar Wilhelm August Hertwig* (1849-1922) kam 1885 in „*Das Problem der Befruchtung und die Isotropie des Eies, eine Theorie der Vererbung*“ darauf zurück. Auch *Eduard Adolf Strasburger* (1844-1912) ging mit „*Neue Untersuchungen über den Befruchtungsvorgang bei den Phanerogamen*“

als Grundlage für eine Theorie der Zeugung" im selben Jahr darauf ein. Dass der Kern materiell Erbmasse in sich speichern könne, hatte viele Jahre als unmöglich gegolten, da das Auflösungsvermögen damaliger Lichtmikroskopie von einem völligen Zergehen des Zellkerns in der Interphase zwischen den Kernteilungen zu zeugen schien.

1870 griff der Jenaer Zoologe **Haeckel** mit „*Beiträge zur Plastidentheorie*“ **Darwins** provisorischer Hypothese vor, unter Beibehaltung der sonstigen Prämissen der Evolutionstheorie (Haeckel 1870). Da die Konzentration auf den Zellkern als dem Substrat der Vererbung zum bleibenden Gedanken in der Biologie wurde, kann zugleich von einem ersten Ersatz der darwinschen Pangenesis-Vorstellung gesprochen werden.

„*Plastiden*“, „*Bildnerinnen*“ nennt Haeckel zwei Formen von Elementarorganismen, das seien „*selbständige Individuen erster Ordnung*“, eine Zählung, in der wiederum die oben erwähnte Umkehrung in der Ableitung der Lebewesen zu sehen ist, woraufhin das ehemals Unterste nach oben gestellt wird.

Sowohl kernlose Plasmastücke, „*Cytoden*“ bzw. „*Cellinen*“, als auch kernhaltige Einzeller setzen in Haeckels Vorstellung die Gruppe der Plastiden zusammen. Die Cytoden seien durch Urzeugung entstanden. Sie gingen in der historischen Entwicklung in kernhaltige Zellzustände über. Neben der Urzeugungstheorie greift Haeckel auf zwei weitere, noch junge Theorien zurück: die Lehre eines Protoplasmas als dem Entstehungsstoff der Lebewesen und die Lehre eines Kohlenstoffs als dem wesentlichen Element der Plasmachemie. In allen Organismen sei ohne Ausnahme „*überall eine eiweissartige, festflüssige, contractile Substanz, das Plasma oder Protoplasma, der wichtigste Körperbestandtheil und der eigentliche Träger der Lebenserscheinungen*“ (Haeckel 1870: 496). Diese Theorie könne jetzt als „*fast allgemein anerkannt gelten*“. Der Kern gilt als ein „*histologisches Element von grösster Bedeutung*“, wenn auch seine „*specielle Function noch heute fast eben so dunkel ist, wie zu Schleidens und Schwanns Zeiten*“. Die Vermutung liegt nahe: „*Der Kern dient der Fortpflanzung und Vererbung, das Protoplasma vermittelt die Ernährung und Anpassung*“ (Haeckel 1870: 497). Die „*tiefsten Abgründe des Meeres*“ seien bedeckt mit „*ungeheuren Massen von feinem lebenden Protoplasma*“. Es verharre hier in der „*einfachsten und ursprünglichsten Form*“ in 5000 Fuß Tiefe wie der Urschleim **Lorenz Okens** [(1779-1851); auf Empfehlung Goethes 1807 apl. Professor für Medizin an der

Friedrich-Schiller-Universität Jena, 1812 ord. Professor für Naturwissenschaften, 1819 Aufgabe der Professur wegen seiner liberalen politischen Einstellung, 1822 Gründer der *Versammlung Deutscher Naturforscher und Ärzte*, 1828 Professor für Physiologie in München, 1832 Rektor der Universität Zürich und Professor für Allgemeine Naturgeschichte, Naturphilosophie und Physiologie. Einige der von ihm eingeführten Fachbegriffe sind noch heute gebräuchlich].

Für **Haeckel** ist erst in den „*ausgedehnten Abgründen des offenen Oceans*“ um 20.000 Fuß Tiefe eine Nahrungsaufnahme aus aufgelösten organischen Stoffen nicht mehr möglich. Hier sei es fraglich, ob das Protoplasma nicht fortwährend durch Urzeugung entstehe (Haeckel 1870: 519). Haeckel identifiziert den so beschriebenen Urschleim mit dem zellulären Protoplasma. Dieses, der „*Bildungsstoff*“, von ihm auch „*Zellstoff*“ genannt, sei die „*einzig materielle Grundlage, an welche ausnahmslos und nothwendig alle sogenannten Lebenserscheinungen ursprünglich*“ geknüpft seien. Vier „*unzerlegbare*“ Elemente setzten den Stoff des Lebens zusammen: Kohlenstoff, Sauerstoff, Wasserstoff und Stickstoff. Häufig trete Schwefel als ein fünftes Element hinzu. Der Kohlenstoff gilt Haeckel als derjenige „*Grundstoff, welcher vermöge seiner eigenthümlichen physikalischen und chemischen Eigenschaften den verschiedenen Kohlenstoffverbindungen ihren eigenthümlichen organischen Charakter aufprägt und insbesondere das Protoplasma, den Lebensstoff zur materiellen Basis aller Lebenserscheinungen gestaltet. [...] Die sämtlichen Eigenschaften der Organismen sind demnach in letzter Instanz durch die physikalischen und chemischen Eigenschaften des Kohlenstoffs und der mit ihm verbundenen übrigen Elemente ebenso mit Nothwendigkeit bedingt, wie die sämtlichen Eigenschaften jedes Salzes und jeder anorganischen Verbindung durch die physikalischen und chemischen Eigenschaften der sie zusammensetzenden Elemente bedingt sind*“ (Haeckel 1870: 546f).

Dem monistischen Ansatz seiner Methode folgend wird die belebte Natur zunehmend in die Paradigmen der Chemie und Physik eingepasst, um ein einheitliches Weltbild zu schaffen. Haeckel fragt: Gelten „*überall und jederzeit dieselben nothwendigen Gesetze*“, so dass es nur eine Natur gäbe? „*Oder gibt es zwei grundverschiedene Naturgebiete, eine anorganische Natur, in welcher nothwendig wirkende Ursachen (Causae efficientes) ausschließlich thätig sind, und eine organische Natur, in welcher daneben noch zweckmässig schaffende Ursachen (Causae finales) thätig sind?*“ Nach Haeckel votieren die Anhänger der Entwicklungslehre im ersten Sinn.

Zufolge dieser Revolutionierung der Auffassung stellte sich die Aufgabe, eine „genetische Molecular-Theorie“ auszubilden. In „Die Perigenesis der Plastidule oder die Wellenerzeugung der Lebenstheilchen“ nahm Haeckel das neue wissenschaftliche Ziel in Angriff. Künftig solle „die Gesamtheit der organischen Entwicklungsphänomene streng mechanisch, aus physikalisch-chemischen Elementar-Vorgängen“ erklärt werden (Haeckel 1876: 17). Leben heißt dann „die Summe von physikalischen und chemischen Processen“ (Haeckel 1876: 34), und die Eigenschaften, welche die „hergebrachte oberflächliche Naturauffassung“ nur den Organismen zuschreibt, kommen ebensogut den „Anorganen“ zu als ein Gemeingut aller „Naturkörper“, oder, um es genauer auszudrücken, aller Atome, „der kleinsten Körpertheilchen, welche die neuere Chemie einstimmig als die letzten Bestandtheile aller Körper“ betrachtet (Haeckel 1876: 37). „Jedes Atom besitzt eine inhärente Summe von Kraft und ist in diesem Sinne beseelt. Ohne die Annahme einer Atom-Seele sind die gewöhnlichsten und allgemeinsten Erscheinungen der Chemie unerklärlich. Lust und Unlust, Begierde und Abneigung, Anziehung und Abstossung müssen allen Massen-Atomen gemeinsam sein; denn die Bewegungen der Atome, die bei Bildung und Auflösung einer jeden chemischen Verbindung stattfinden müssen, sind nur erklärbar, wenn wir ihnen Empfindung und Willen beilegen“ (Haeckel 1876: 38).

In der Frühphase der Biochemie wird also die Anthropomorphie der Formalisierung ausgesprochen. Nachdem der Formelzusammenhang voll ausgebildet ist, entsteht für die begriffliche Umschreibung der Formelaussage ein scheinbarer Verzicht auf Ausdrücke der unmittelbaren Lebenserfahrung.

Als Vererbungsträger denkt sich Haeckel eine besondere Art von Molekül, das „Plastidul“. Es unterscheide sich von den übrigen Molekülen darin, dass es die Eigenschaften des Lebens in sich vereinige: „Als wichtigste dieser Eigenschaften erscheint uns die Fähigkeit der Reproduction oder des Gedächtnisses, welche bei jedem Entwicklungs-Vorgang und namentlich bei der Fortpflanzung der Organismen wirksam ist. Alle Plastidule besitzen Gedächtniss; diese Fähigkeit fehlt den anderen Molekülen“.

Haeckel nennt Eigenschaften des späteren Gens. Entscheidend ist die Auffassung eines „Gedächtnisses“. Ein solches wurde später in chemischen Termini umschrieben: Erbgedächtnis als eine individuell verschiedene Basensequenz in Form einer Nukleinsäurekette mit der Merkfähigkeit, aus welchen Aminosäuren ein körperspezifisches Eiweiß zusammengesetzt ist. Den Fehlern dieses Gedächtnisses wird die innovative Kraft der Mutation zugesprochen — ein in sich sinnloses Ereignis, das seinen Sinn erst qua Auslese erhalte.

*„In der Tat überzeugt uns jedes tiefere Nachdenken, dass ohne die Annahme eines unbewussten Gedächtnisses der lebenden Materie die wichtigsten Lebensfunktionen überhaupt unerklärbar sind. [...] Nur die Plastidule sind reproductiv, und dieses unbewusste Gedächtnis der Plastidule bedingt die charakteristische Molekularbewegung derselben“* (Haeckel 1876: 41ff).

Vererbung besteht somit in einer Übertragung von Bewegungsmustern der Moleküle durch sie selbst. Die „*Molekular-Bewegung der Plastidule*“ müsse in den Tochterzellen „wesentlich dieselbe sein“ wie in den Mutterzellen. „*Die Vererbung ist Uebertragung der Plastidul-Bewegung, Fortpflanzung der individuellen Molekular-Bewegung der Plastidule von der Mutter-Plastide auf die Tochter-Plastide.*“ Anpassung besteht somit in veränderten Plastidulbewegungen. Sie geschehen durch einen Wechsel in der „ursprünglichen Ernährung“ des „elementaren“ Organismus, wodurch eine „*theilweise Abänderung der ursprünglichen Plastidul-Bewegung*“ eintrete. Durch „*Umlagerung der Atome*“ würden die Plastidule selbst verändert. Jede Plastidulbewegung setze sich zusammen aus der „überwiegenden Reihe der alten Plastidul-Bewegungen welche durch Vererbung getreu von Generation zu Generation sich erhalten haben“ und einem „geringen Antheil von neuen Plastidul-Bewegungen, welche durch Anpassung erworben wurden.“

Der Kampf um Dasein herrscht auch unter den Molekülen (Haeckel 1876: 45ff).

Hier erhebt sich die Frage, wie die Eigentätigkeit des Vererbungsträgers Plastidul eine Arbeitsteilung verschiedener Gewebe entstehen läßt. Was löst gewebliche Differenzierung aus? Haeckel bemerkt damit ein Problem, das auch die Wirkung von Genen in einer omnipotenten Genausstattung betrifft. Er löst das Problem durch ein allgemeines Gesetz, das Ontogenese und Phylogenese miteinander verbindet. Die

*„ontogenetische Arbeitsteilung der Zellen [...] ist nur die rasche, nach dem biogenetischen Grundgesetz erfolgende Wiederholung der langsamen phylogenetischen Gewebebildung“* (Haeckel 1876: 49). Einzelheiten darüber, wie ein historisches Gedächtnis in den Plastidulen wirksam wäre und von diesen in morphologische Bautätigkeit umgesetzt würde, vermag er nicht anzugeben. Mit der Annahme eines Besitzes eines phylogenetischen Gedächtnisses wird für das Plastidul eine historische Kategorie unterstellt, die aus den chemischen und physikalischen zeitlich invarianten Gesetzmäßigkeiten zunächst nicht ohne weiteres abzuleiten ist. Ihr obliegt das Zustandekommen der in sich zweckvollen Organisation der Bestandteile des Lebewesens, während für die Einzeleigenschaften Plastidule haftbar gemacht werden.

Die naturwissenschaftliche Theorie erhebt Anspruch, alle Erfahrungsbereiche zu beschreiben. So führt Haeckel aus, die geschlechtliche Zeugung sei *„weiter Nichts, als die Verwachsung zweier Plastiden, welche durch weitgehende Arbeitsteilung ihrer Plastidule sich sehr verschiedenartig entwickelt haben. In der That wird so das dunkle Mysterium der geschlechtlichen Fortpflanzung in der einfachsten Weise aufgeklärt, und das wunderbare Rätsel der weltbewegenden Liebe in der nüchternsten Form gelöst“* (Haeckel 1876: 52). *„Die innige Neigung, welche durch die chemische Wahlverwandtschaft der beiden liebenden Zellen bedingt ist, führt beide nothwendig zusammen. Die neu entstandene Zelle ist das Kind der mütterlichen Eizelle und der väterlichen Spermazelle“*, da eine *„vollständige Verbindung der verschiedenen Molecular-Bewegungen“* stattfindet. Die Bewegung der ersten Plastide des neuen Lebewesens, welche die *„ganze weitere Entwicklung bedingt, ist die Resultante aus den beiden verschiedenen Plastidul-Bewegungen der weiblichen Ei-Plastide und der männlichen Sperma-Plastide“*. Die Lebensbewegung des Kindes *„ist die Diagonale zwischen der mütterlichen und der väterlichen Lebens-Bewegung“* (Haeckel 1876: 54).

Das Erkenntnisideal des Mathematikers und rationalistischen Philosophen **René Descartes** [*de Quartis*](1596-1650), durch Erklärung *more geometrico* Gewissheit zu gewinnen, findet spätestens hier Eingang in die biologische Genetik.

Auch auf diesem Weg verbleibt eine Restdunkelheit. Die Plastidulbewegung sei zwar die *„wahre bewirkende Ursache“* der *„Mechanik des biogenetischen Processes“* aber *„unserer unmittelbaren Erkenntniss verschlossen“*. Haeckel fordert daher vorläufig einen Analogievergleich mit anderen Bewegungserscheinungen: Das *„anschaulichste*

*Analogon*" sei die „verwickelte Wellenbewegung“. **Darwins** Stammbaum der Abstammung erhält nunmehr das Bild einer verzweigten Wellenbewegung, einer „ramifizierten Undulation" (Haeckel 1876: 60ff).

Es ist naheliegend, daß der enzyklopädisch orientierte **Haeckel**, phantasievollen Konsensen nicht abgeneigt, auf seine Wellenvorstellung der Plastidulbewegung durch die Entwicklung in einem ganz anderen Bereich stieß. Seit Newton hatte die Erörterung der Frage nach der Natur des Lichts kein Ende gefunden. **Isaac Newton** (1643-1727) hatte sich vorgestellt, Licht bestehe aus einem Strom von Teilchen, der sich geradlinig fortpflanze. Im 18. Jahrhundert wurde diese Korpuskulartheorie des Lichtes weithin anerkannt. Im 19. Jahrhundert indes griff der Arzt und Professor für Naturphilosophie aus London, **Thomas Young** (1773-1829), die Wellentheorie des Lichts von **Christian Huygens** (1629-1695), Mathematiker und Physiker in den Niederlanden, auf. Nach dieser Theorie dehnt das Licht sich wellenförmig in einem Äther aus. Später konnten strittige Phänomene, die einem gewellten Vorgang zu widersprechen schienen, durch die Annahme einer zusammengesetzten Longitudinal- und Transversalschwingung beseitigt werden. In den fünfziger Jahren des 19. Jahrhunderts wurde die Annahme einer solchen Bewegung der Lichtstrahlen nicht mehr bestritten. Da es sich durchaus um eine Korpuskelbewegung verwickelter Art handelt, zusammengesetzt aus verschiedenen Schwingungsrichtungen, über die in den wissenschaftlichen Journalen lebhaft debattiert wurde, könnte Haeckel Anleihen bei der Optik genommen haben. Diese Hypothese kann hier nicht weiter verfolgt werden.

Ein wesentlicher Charakterzug von **Haeckels** Theorie besteht darin, dass er die Frage der Bewegung in den Vordergrund rückt. Vererbung ist ihm eine Übertragung von Abläufen von Bewegungsformen. Passend zur Denkweise seiner Zeit mussten diese nun mechanisch erklärt werden. Die Voraussetzung seiner „Hypothese von der Perigenesis der Plastidule" sei das „mechanische Princip der übertragenen Bewegung", das schon **Aristoteles** als die „wichtigste Ursache der individuellen Entwicklung" angesehen habe (Haeckel 1876: 71). Wenn die „schwingende Molecular-Bewegung dieser Plastidule" sich bei der Vermehrung der Plastiden als Vererbung auf die neugebildeten Plastiden übertrage, „gestaltet sie sich zu einer verzweigten Wellenbewegung".

In der Formulierung seiner Kernaussage übernimmt **Haeckel** die Redewendung einer ähnlich lautenden Aussage von **Aristoteles** in „De generatione animalium“ und ersetzt einzelne Begriffe durch seine eigenen: *„Darwin sagt ausdrücklich, dass alle Formen der Reproduction abhängen von der Aggregation von Gemmulae, welche von allen Theilen des Körpers abgeleitet sind. Wir sagen hingegen: Alle Formen der Fortpflanzung hängen ab von der Uebertragung der Plastidul-Bewegung, welche bloss von dem zeugenden Theile des Körpers auf die erzeugten Plastiden direct übertragen wird, aber weiterhin vermöge des Gedächtnisses und der Arbeittheilung der Plastidule die Wellenbewegung der Vorfahren in den Nachkommen ganz oder theilweise reproduciren kann“* (Haeckel 1876: 72f).

Die Übernahme der Redewendung zeugt davon, daß Haeckel völlig davon überzeugt war, im aristotelischen Sinn zu argumentieren, in der Bemühung, eine außerordentliche Autorität heranzuziehen, um **Darwin** in der Vorstellung von Pangenesis zu widerlegen. Doch bei **Aristoteles** heißt es dazu: *„Man muß es also gerade umgekehrt darstellen, wie die Alten es taten. Sie sagten, Same bilde sich aus allen Gliedern, wir werden sagen, Same sei, was seiner Natur nach zu allem werden könne“* (Aristoteles, De generatione animalium I 723, 20a ff). Allerdings besteht bei Aristoteles ein gravierender Unterschied: In seiner Lehre wird Same gerade nicht aus einer Idee stofflicher Gesetzmäßigkeiten abgeleitet, sondern als Ursprung von Bewegung aufgefasst, die ihrerseits auf vorhergehende Bewegung zurückgeführt wird. Geformte Bewegung ist nach Aristoteles nicht von vornherein aus Prinzipien der Materie ableitbar. Erstaunlich ist, dass **Haeckel** keine Zweifel entstanden waren, denn durch ein einfaches Argument erteilt **Aristoteles** jeder Pangenesis-Vorstellung eine Absage. Bei ihm heißt es nämlich: *„Warum soll nicht aus dem Samen eine solche Umwandlung möglich sein, so daß sich aus ihm Blut und Fleisch bilden könnten, ohne daß er selber Blut und Fleisch enthielte? [...] Denn in diesem Falle müßte jedes am besten sein Wesen am Anfang haben, wenn es noch unvermischt ist, in Wirklichkeit jedoch erreicht Fleisch und Knochen sein rechtes Wesen erst später, ebenso jedes andere Glied. Vom Samen aber zu behaupten, einer seiner Teile sei Sehne, ein anderer Knochen, geht allzu sehr über unser Fassungsvermögen“*. Aristoteles ersetzt Pangenesis durch Epigenesis und erklärt Präformation dadurch für nicht möglich.

Anders als **Darwin** jedoch negiert **Haeckel** in seiner Sicht eine durchgängige Präformation. Jener behauptete eine „materielle Übertragung wirklicher Moleküle durch die ganze Reihe der blutsverwandten Generationen und somit die materielle Zusammensetzung jedes Keims aus körperlichen Theilchen seiner sämtlichen Vorfahren.“ Er dagegen nehme „eine unmittelbare Übertragung der körperlichen Moleküle nur von den zeugenden Individuen auf das Erzeugte“ an.

Die „monistische“ Naturwissenschaft seiner Zeit stelle „an uns mit Recht die Anforderung, [...], alle Naturerscheinungen mechanisch zu erklären und mit Ausschluß jeder Teleologie auf bewirkende Ursachen, auf *causae efficientes* zurückzuführen“. Dieser ersten Anforderung genüge die Perigenesis-Theorie. „Denn rein mechanisch sind die Prinzipien von der übertragenen Massenbewegung und von der Erhaltung der Kraft, welche derselben zu Grund liegen“ (Haeckel 1876: 78).

Sogar „der ganze uns erkennbare Weltprocess in seiner unbegrenzten Ausdehnung, die Gesamtentwicklung der Sonnensysteme und Planeten nach Kant, die anorganische Entwicklung des Erdballs nach Lyell und die organische Entwicklung auf demselben nach Darwin sind in gleicher Weise durch feste und unabänderliche Gesetze der Mechanik mit Nothwendigkeit bedingt.“ Seine Ablehnung von Teleologie führt Haeckel zu universalmechanistischem Verständnis. Es sei auch „die Entwicklungsgeschichte der Menschheit und jedes einzelnen Menschen durch dieselben festen Gesetze der Bewegungslehre geregelt“, denn der „Entwicklungs-Process“ der organischen Natur beruhe „wie derjenige der anorganischen Natur im Grunde doch nur auf Massen-Bewegungen, und diese Massen-Bewegungen sind sämtlich auf Anziehungs- und Abstossungs-Verhältnisse der Moleküle und der sie zusammensetzenden Atome, sowie des die Atome verbindenden Aethers zurückzuführen“ (Haeckel 1876: 60). „So fügt sich der biogenetische Process, als eine besondere und höchst verwickelte Form der periodischen Massen-Bewegung, ohne Zwang in den gesetzmässigen Gang des gesammten Weltprocesses ein, und die bewirkende Ursache derselben ist die Perigenesis der Plastidule“ (Haeckel 1876: 79).

Bereits hier ist zu sehen, wie sich die Streichung der Pan-Vorstellung für den späteren Genbegriff vorbereitet, die schließlich bei **Johannsen** erfolgt. Doch noch immer ist nicht geklärt, wie aus einem materiellen Speicher, dessen atomare Bausteine nur

regellose Gitterbewegungen ihrer chemischen Elementenklasse durchführen, eine organisch geformte Bewegung zur Zusammensetzung eines lebenden Wesens entstehen kann — ein Vorgang, zu dessen Verstehen nach *Aristoteles* auf die Kategorie einer Kausalität nach Zwecken nicht verzichtet werden kann.

#### IV 4

### NÄGELI : IDIOPLASMA EINE MECHANISCH-PHYSIOLOGISCHE THEORIE

*Carl Wilhelm von Nägeli* (1817-1891) war durch sein Studium der Medizin und der Biologie bei *Oken* in Zürich mit der Naturphilosophie *Hegels* vertraut. Bei *Augustin de Candolle* (1778-1841), Botaniker in Genf, erlernte er Botanik, über die er selbst später in Zürich, Freiburg und München lehrte. Nägeli war der Ansprechpartner *Mendels*, ohne dessen Ausführungen größere Bedeutung beizumessen, obschon auch seine Fachrichtung in der Botanik lag, in der er sich gleichfalls mit umfangreichen Hybridisierungsexperimenten beschäftigte.

Im Jahr 1884 veröffentlichte *Nägeli* das zusammenfassende Werk seiner Forschungen, die „*Mechanisch-physiologische Theorie der Abstammungslehre*“. Für ihn gehört die Entstehung der organischen Welt zum „*innersten Heiligthum der Physiologie*“. Denn eine Lehre davon sei „*rein physiologischer Natur*“. Deren Hilfswissenschaften seien Zoologie, Anatomie, Histologie, Botanik, Paläontologie, Geologie und Anthropologie (Nägeli 1884: 1). Zugleich fügte er ein Kapitel über die „*Schranken der naturwissenschaftlichen Erkenntnis*“ ein. Auch Nägeli ist Mechanist. In der Einleitung zählt er die Voraussetzungen dieses Naturverständnisses auf. Das Kausalgesetz bestehe in einem allgemeinsten mechanistischen Prinzip: dem Gesetz der Erhaltung von Kraft und Stoff. Danach komme jede natürliche Erscheinung durch von Kräften beeinflusste Bewegungen zustande. Auf dem Gebiet des Stofflichen müsse ein ursächliches Erkennen mechanistisch denken, da Mechanik die Wissenschaft sei, die solche Bewegungen erfasse. Naturwissenschaft sei umso vollkommener, je mehr die mechanistischen Prinzipien angewendet würden. Da alles nach Ursache und

Wirkung „natürlich“ entstehe, sei die „*Entstehung der organischen Welt aus der unorganischen eine Gewißheit*“ (Nägeli 1884: 2).

Vererbung wäre damit in demselben Kontext zu sehen. Für Nägeli ist es **Darwin**, der die argumentative Lücke ausgefüllt hat, da dieser mit der natürlichen Zuchtwahl ein mechanistisches Prinzip in die Naturgeschichte eingeführt habe, aus dem sich die Entstehung und Höherzüchtung der Lebewesen erklären lasse. Diese könnten damit als die „*Verdrängung des weniger Befähigten durch das Befähigtere*“ verstanden werden, wobei nach dem Vervollkommnungsprinzip das Kind die Eigenschaften der Eltern als mechanische Notwendigkeit erbe (Nägeli 1884: 15).

Nicht Massenbewegungen, sondern Bewegungen der kleinsten Teilchen würden die Mechanik des organischen Lebens ausmachen. Die Vererbungslehre müsse sich deshalb „*vorzugsweise auf das molecularphysiologische Gebiet begeben*“, um Kongruenz mit den chemischen und physikalischen Gesetzen im Rahmen der neuen Abstammungslehre zu erlangen. Aus diesem Zusammenhang heraus bleibt nur noch eine Hypothese möglich: „*Dass das Wesen der Organismen in der Beschaffenheit und Anordnung der kleinsten Theilchen derjenigen Substanz bestehe, welche die Vererbung bei der Fortpflanzung und die spezifische Entwicklung des Individuums bedingt.*“ Nur so seien auf „*realem Boden*“ bestimmte „*mechanische Vorstellungen*“ zu gewinnen.

Das Annehmen einer molekularbiologischen Auffassung markiert eine Wende in der Geschichte von Biologie und Medizin. Auf dem Grund von **Darwins** Selektionshypothese, einer Auswahl der Besten als der Bestangepassten, bei der jede Transzendenz in der Auffassung von *gut* als Solchem unberücksichtigt bleibt, konzentriert sich das Interesse nun auf einen Mikrobereich von Molekülen, aus deren Analyse vollkommener Aufschluss und die Heilbarkeit der lebendigen Phänomene erwartet wird. Die Medizin beginnt allmählich, ausschließlich naturwissenschaftliche Deutungsmuster zu verwenden. Körperliche Vorgänge werden *physiologisch* d.h. als *Funktionen* beschrieben, und zwar in chemisch-physikalischem Zusammenhang. Partikel bewegen sich entlang oder durch Membranbarrieren, solitär oder im Strom, Gradienten entstehen und werden abgebaut, elektrisch geladene Teilchen verändern Spannungen und Potentiale, woraufhin etwas Bestimmtes passiert. Eine nicht leicht einzuordnende, aber *mechanische* Reaktion in einem komplexen Kontinuum von Funktionsabläufen setzt ein. Sie verändert die Abläufe bis hin zur Krankheit. In dieser

Weise wird dargestellt, wie das Herz schlägt, Tränen und Schweiß fließen, Nerven leiten, Gedanken und Gefühle in einem Gehirn entstehen. Und auf diese Weise wirkt das Medikament an seinem Rezeptor.

In der Vererbungslehre führte die Vorstellung wirksamer Partikel in mechanisch-kausalem Konnex zu neuen Fassungen der Idee von etwas Angeborenem, Angelegtem, dessen Verwirklichung nicht bereits mit der Anlage gegeben und gesichert ist. Im 19. Jahrhundert erhält der Substanzbegriff in der Vererbungslehre eine Grundlage, die uneingestanden von einem metaphysischen Materialismus ausgeht. Der Stoff enthält „*das Wesen der in der organisirten lebenden Substanz befindlichen unsichtbaren Anlagen für die sichtbaren Erscheinungen des entwickelten Zustandes*“ (Nägeli: 1884: 19). Ein Gedanke des Grundbuches des Abendlandes wird beibehalten, jedoch nicht als Sinnbild und ohne Jenseitsbezug. Der Gedanke heißt nun: Das organische Leben auf der Erde ist in der Urzeit aus anorganischen unbelebten Verbindungen entstanden – wenn auch nicht mehr aus einem Klumpen Erde.

*Nägeli*, an der Wende zur darwinistischen Vererbungsauffassung, konnte vor einem Jahrhundert noch einen Einwand erheben, den heute kein Naturwissenschaftler mehr bereit wäre, mit ihm zu teilen: Eine „*irrhümliche Folgerung*“ enthalte die Hypothese von der natürlichen Zuchtwahl dennoch. Sie schließt von der Differenzierung von Rassen auf eine Entstehung der Arten.

Mit zunehmender Differenzierung und abstrakter werdender Begrifflichkeit konnten Widersprüche eliminiert, in die entferntesten Winkel einer zu Unübersichtlichkeit herangewachsenen Theorie verdrängt, oder dem Bereich ewiger „provisorischer“ Hypothesizität zugeordnet werden. Einer der Voraussetzung gebenden Schritte auf diesem Weg ist die Theorie von einem „*Idioplasm*“ als Ursache der erblichen Anlagen.

Auch *Nägeli* fordert einen besonderen Stoff der Vererbung, ein Plasma aus „*Albuminaten*“. Dessen Moleküle sind zu verschiedenen „*krystallischen*“ Gruppen aneinandergelagert, den „*Micellen*“, einer „*meist halbflüssigen schleimartigen Masse, die lösliche und unlösliche Molekülaggregate gemischt enthält*“. Nur ein Teil davon stellt „*wirkliche*“ Anlagen dar. Schon die unorganische Materie ist voller „*Spannkraft*“, „*potentieller Energie*“, und bringt von selbst Bewegung hervor, „*soweit sie ausgelöst wird*“. Nach diesem Muster stellt sich Nägeli auch die Anlagen vor, doch mit dem

Unterschied, dass eine Anlage nicht wie die unorganisierte Materie von selbst Bewegung hervorbringt. Die Tätigkeit einer Anlage besteht nur darin, einer schon bestehenden Bewegung von Entwicklung die Richtung zu geben. Bewegt ist der Anlagenstoff schon zuvor allein durch den Umsatz von Nahrung (Nägeli 1884: 23).

Da die aus dem Anlageplasma sich ergebende Entwicklungsbewegung „bestimmt und eigenthümlich“ ist, führt Nägeli dafür den Ausdruck „*Idioplasma*“ ein. Es enthält die Anlage für jede „*wahrnehmbare Eigenschaft*“. Die verschiedenen Molekülkonfigurationen, „*Modifikationen*“ der Albuminate, legen jede Eigenschaft und die zugehörigen Materiebewegungen ihrer Ausbildung fest. Es bestehen ebensoviele Idioplasmaarten, wie individuelle Kombinationen von Eigenschaften der Lebewesen.

Der Anlagebegriff wird differenziert. **Nägeli** unterscheidet Anlagen in entwicklungsfähigem „fertigen“ Zustand von solchen, die sich noch in einer unfertigen Entwicklungsphase befänden und anderen, die schon kurz vor ihrem Verschwinden stünden. Das Idioplasma, auch „*Stereoplasma*“ genannt, enthalte deswegen unterschiedliche Kräfte. Sie seien bedingt durch die Anordnung der Micelle. Höhere Organismen enthielten aufgrund ihrer Micellen eine Arbeitsteilung, die niederen blieben zeitlebens nur einfache „*Plasmatropfen* wie eine „*wenig disciplinierte Truppe [...] mit losem Verbands, wie sie im Mittelalter unter ihrem Feldhauptmann in den Kampf zog*“. Das komplizierte Idioplasma höherer Organismen gleiche dagegen einer „*regelmässigen Armee, in der die verschiedenen Ober- und Unterabteilungen einem einheitlichen Plane folgen, sodass jede bis herunter auf den einzelnen Mann in bestimmter Beziehung zu den übrigen und zum Ganzen steht*“. Den Befehlshabern und ihren Befehlen entsprechen im Nägelischen Idioplasma anziehende und abstoßende Beziehungen der Plasmateilchen.

Die Micellen seien scharweise aneinander gelagert. Ihre Ordnung bilde mikrokosmisch den Makrokosmos aus Organen, Geweben und Zellen ab, ohne eine analoge Anordnung zu besitzen, d.h. ohne eine direkte Entsprechung zu den Zellen des ausgebildeten Organismus. Wie **Haeckel** als Ordnungsprinzip einen übergeordneten Einfluss, eine Art phylogenetischen Gedächtnisses annimmt, so berücksichtigt auch **Nägeli** eine Grauzone zwischen materieller Anlage und materieller Körpereigenschaft.

Das Idioplasma besitze ein festes Gefüge. Mit der Unterstellung einer reihenförmigen Lage der Micellen kommt Nägeli der späteren Auffassung über die Anordnung der Basen nahe. Jedoch blieben die Micellen nicht an ihrem Ort, während der Organismus sich entwickle. In der Entwicklungsperiode, in der Anfang und Ende der Entwicklungsvorgänge durch das Idioplasma bestimmt würden, ändere sich auch dieses. Micellen träten aus ihm aus und wanderten ständig zu den Bildungsstätten. Die Zellen der Gewebsbildung enthielten einen „*eigenthümlichen Bildungstrieb*“, den das Anlageplasma modifiziere. Erst am Schluss der Entwicklung nehme es wieder seine ursprüngliche Beschaffenheit an und bilde Keimzellen mit gleichem Idioplasmagefüge. Der Wandel des Bildungstriebes ergebe sich aus einem Zusammenwirken der inneren Ursachen des Idioplasmas mit äußeren Einflüssen. Das Idioplasma sei keine autonome, sondern eine bedingte Erbsubstanz. „*Bildungstrieb*“ sei erst die Wirksamkeit eines „*beeinflussten Idioplasmas*“, ein „*Nisus formativus*“ (Nägeli 1884: 31).

Welche Vorgänge finden statt, wenn sich die „*Modificationen*“ des Idioplasmas im Vollzug der Entwicklung zum ausgewachsenen Lebewesen ändern? *Nägeli* nimmt an, dass mit der sukzessiven Entfaltung von Anlagen auch das Idioplasma wachse. Da die Micellen in parallelen Reihen lägen, träten endständig oder innerhalb einer Reihe weitere Micellen hinzu. Einer Anlage entspreche eine Micellengruppe in Längsrichtung einer Reihe. Weil die Micellreihen verschieden schnell wüchsen, würden ihre Anlagen zu unterschiedlichen Zeiten verwirklicht. Das Idioplasma könne durch seine Micellen das Protoplasma direkt beeinflussen, weil dieses strukturell dem micellaren Aufbau entspreche. Dessen Albuminate bestünden aus Reihen von „*Kristalloiden*“, die allseitig von einer Wasserhülle umgeben seien. Anders als die idioplasmatischen Zellreihen überkreuzten sie sich in verschiedenen Richtungen. Als Vorbild für seine Plasmavorstellung dient Nägeli der körnige Aufbau von Stärke, die aufgrund „*mechanischer Prämissen*“ weitere Körner anlagere und wachse (Nägeli 1884: 36f).

Die meisten Merkmale seien generationenlang unveränderlich. Nägeli fordert deshalb, dass die anlagebestimmenden Micellreihen zumindest während der Ontogenese streng parallel bleiben. Nur im Verlauf der Phylogenese würden sie bisweilen umgelagert, so dass neue Anlagen entstünden. Die sich einlagernde Micelle besitze eine „*etwas andere Natur*“ (Nägeli 1884: 40).

Aus *Haeckels* biogenetischem Grundgesetz übernimmt *Nägeli* die Erklärung für einen Einschaltmechanismus der Anlagen: Das Idioplasma rekapituliert die Geschichte der Bauformen des Lebewesens und vollzieht die Phylogenese des Stammes nach (Nägeli 1884: 50). Aber auch Nägeli kann nicht angeben, wie eine immaterielle, historische Kategorie mit den materialistischen Prinzipien in Verbindung zu bringen ist, so dass auch noch die historische Ordnung aus Materialursachen abgeleitet werden könnte.

Wie setzt das Idioplasma seine Anlagen in protoplasmatische Entwicklungsvorgänge um? Für die Wirkweise des Erbmaterials entsteht eine Analogie.

Gemäß Nägelis grundlegender Unterscheidung von Vererbungsplasma (Idioplasma) und Ernährungsplasma (Protoplasma) besteht die erste Leistung des Idioplasmas darin, ein „weicheres Ernährungsplasma“ zu erzeugen, „ein nicht albuminartiges Baumaterial, dem es eine bestimmte Gestalt verleiht“. Die ihm korrespondierenden Micellengruppen würden aktiv, indem sie in einen „Zustand besonderer Erregung“ gerieten. Nägeli entlehnt die Vorstellung materieller Erregung den damaligen Ansichten über eine Erregung von Nervenzellen und ihrer Ausbreitung in Nervenfasern. Jedoch übe die Erregung der Micellreihen eine anhaltendere Wirkung auf ihre Umgebung aus, da sie langsamer abklinge als die Erregung der sensiblen und motorischen Nerven. Auch bewirke sie ein Längenwachstum ganzer Micellreihen. Latente Anlagebezirke vollzögen das Wachstum „in passiver Weise“ mit. Die Erregtheit der Anlagesubstanz bestehe in „Spannungs- und Bewegungszuständen seiner Micelle“, sie selber werde aus der Nachbarschaft beeinflusst und verursache ihrerseits die „chemischen und plastischen Vorgänge der nächsten Umgebung“. Während seines Wachstums verändere das Idioplasma nicht seine Beschaffenheit, sondern nur seine Spannungs- und Erregungszustände. Da es sich durch alle Zellen hindurch „in unmittelbarer gegenseitiger Berührung“ befinde, werde eine jede Veränderung überall „wahrgenommen“, so dass auch ein lokal einwirkender Reiz „sofort überallhin telegraphirt“ werde und überall die gleiche Wirkung habe. Die idioplasmatischen Spannungen und Bewegungen glichen sich stetig untereinander aus (Nägeli: 1884: 53ff).

Das Vererbungsplasma scheint mithin fähig, seine Homöostase selbst zu regulieren.

Mit der Parallelsetzung von Vererbungsleistung und Nervenaktivität versucht Nägeli gleichwie eine spirituelle Komponente zu berücksichtigen, wobei er Geist und Stoff als Abstufungen derselben Sphäre sieht, in der sich die eine aus der anderen entwickelt habe. Bereits Nägeli verwendet damit eine Interpretation, die sich noch im 20.

Jahrhundert gestiegener Beliebtheit erfreute. Er bewegt sich an der Übergangsstelle von spekulativer Naturwissenschaft zu einer Erfahrungsweise, die Sinnlichkeit auf experimentell gewonnene Vorstellungen und daraus gewonnene Begriffe zurückführt – ein Weg, der zur Entstehungszeit solcher Wissenschaft als Offenbarung von Erscheinungen aufgefasst wurde. Das Idioplasma, so heißt es bei Nägeli, sei ein *„System dynamischer Leitungen in einer einfacheren und mehr materiellen Sphäre, während die Nervensubstanz ein solches Leitungssystem in einer complicirteren und mehr geistigen Sphäre darstellt“*. Für den Übergang der Sphären macht er die Naturgeschichte verantwortlich. Wahrscheinlich sei im Tierreich *„die eine Hälfte des idioplasmatischen Systems nach und nach zum Nervensystem geworden“*(Nägeli: 1884: 59).

Termini aus dem nichtmateriellen Bereich wurden im Verlauf der weiteren Naturbeschreibung so einbezogen, dass sie später in der Differenzierung des Genbegriffes darin nicht mehr ohne weiteres erkennbar werden. Ein ähnlicher Ersatz liegt vor, wenn *Verstand* (oder *Denken* oder *Geist*) in *Nervenzellsubstanz* bzw. *elektrochemische Funktion* übersetzt wird, ohne Deutungen zuzulassen, in denen die Herkünfte aus Anthropomorphien erkennbar bleiben.

Die biologisch denkende Sicht der Vererbung begann, das dem Lebendigen eigentümliche Moment, zugleich dessen Besonderheit einebnend, in den Rahmen von Chemie zu verlegen. Begriffliche Anpassungen von auf verschiedene Bereiche und Aspekte gerichteten Denk- und Arbeitsweisen - späterhin eigenständige wissenschaftliche Disziplinen - sahen sich unter dem Erfordernis einer noch zusammenzuführenden kohärenten Beschreibung dessen, was als Naturgesetzlichkeit aufzufassen sei.

**Nägeli** vergleicht seinen Vererbungsbegriff mit der zu seiner Zeit herrschenden Auffassung von Körpereiweiß. Er unterscheidet bereits Atomsorten, die auch heute für die Zusammensetzung von Aminosäuren und Nukleinsäuren namhaft gemacht werden. Die *„grosse Mannigfaltigkeit und Complicirtheit der Anordnung“* sei bei der Kleinheit der Vererbungspartikel am besten gewährleistet, wenn *„die hypothetische Formel der Chemiker mit 72 oder mehr Atomen Kohlenstoff nicht das Eiweißmolekül, sondern ein aus mehreren Molekülen mit je 24 oder 12 Atomen C krystallisch gebautes*

*Micell darstellt*". Verschiedene Moleküle könnten „aus 12 C, 3 N mit oder ohne S und aus ungleichen Mengen H und O zusammengesetzt sein" (Nägeli 1884: 63ff). Aus welchem Grund Nägeli auf einen Unterschied in der Schwefelhaltigkeit aufmerksam wurde, spricht er in seiner Idioplasmatheorie nicht aus. Jedoch fiel ihm damit ein Kriterium auf, das in die heutige Formulierung eines Vererbungsstoffes als Unterschied von Purinen und Pyrimidinen der basischen Grundstoffe einging.

Da Nägeli eine Anlage als nicht allein durch einzelne Micellen und Micellreihen vorgegeben versteht, sondern erst durch ihre „Zusammenlagerung zu Gruppen, die durch ihre Configuration auf den Querschnitt der Körper (gemeint sind die Micellenkörper; Anm. K. Plischke) sich charakterisieren" zeigt der Vererbungstheoretiker auf den internen Zusammenhang der Vererbungsregionen für die Entstehung von Eigenschaften (Nägeli 1884 ibid.). Ähnliches gab später **Richard Benedict Goldschmidt**, Professor am Kaiser-Wilhelm-Institut für Biologie in Berlin-Dahlem, immer wieder zu bedenken, nachdem schon das Gen als der Anlageträger formuliert war. Goldschmidt wandte noch in den fünfziger Jahren des 20. Jahrhunderts ein, dass die verantwortliche Vererbungsgröße nicht in einzelnen Genen zu sehen sei, sondern im ganzen Chromosom, wenn nicht gar Genom. In den Kapiteln zur Etablierung des Genbegriffes wird darauf eingegangen.

**Nägeli** kritisiert die Hypothesen von **Darwin** und **Haeckel**. Den Pleonasmus **Darwins** der *provisorischen Hypothese* sieht **Nägeli** als eine in zweiter Potenz hypothetische Vermutung an. Die Keimchen der Pangenesis seien falsch bezeichnet, wenn **Darwin** sie als Körnchen oder Atome identifiziere. Einzelne Kohlenstoffatome, einzelne Eiweißmoleküle könnten nicht Eigenschaften ihrer Herkunftszelle tragen, sondern behielten immer und überall ihre chemischen Eigenschaften. Zusammengesetzte Albuminate wiederum besäßen nicht die von **Darwin** angenommene Vermehrungsfähigkeit. Insgesamt könne daher die Pangeneshypothese Vererbung nur plausibel machen, wenn den Keimchen nicht physische, sondern metaphysische Qualitäten zugesprochen würden. Die Vorstellung einer unmittelbaren Entsprechung von Keimchen und Plasmaportionen führe die ganze Hypothese ad absurdum.

*„Wir bedürfen, um die Erbllichkeit zu begreifen, nicht für jede durch Raum, Zeit und Beschaffenheit bedingte Verschiedenheit ein selbständiges besonderes Symbol, sondern eine Substanz, welche durch die Zusammenfügung ihrer in beschränkter Zahl vorhandenen*

*Elemente jede mögliche Combination von Verschiedenheiten darstellen und durch Permutation in eine andere Combination derselben übergehen kann"* (Nägeli 1884: 69ff). Genau diese Forderung wurde mit der Beschreibung des Erbgutes als einer *Erbinformation* aus Basentriplets vier verschiedener, in wechselnden Kombinationen auftretender basischer Grundstoffe, eingelöst. Die heutige Molekulargenetik verwendet mit dieser Sicht eine Substanz, wie sie schon **Nägeli** verlangt, „*welche durch die Zusammenfügung ihrer in beschränkter Zahl vorhandenen Elemente jede mögliche Combination von Verschiedenheiten darstellen*" kann, „*um die Erbllichkeit zu begreifen*".

Es wird hier deutlich, dass eine rein theoretisch erdachte Beschreibung von Vererbung später experimentell in die Tat umgesetzt wurde, die die wissenschaftliche Vorstellung von Vererbung bis ins Allgemeinverständnis seither lenkt.

So wie **Nägeli** an **Darwins** Vorstellung eine direkte Korrespondenz zwischen partikulärem Erbräger und Zell- bzw. Körperregion ablehnt, so tritt er auch **Haeckel** entgegen. Dieser setze Bewegung und materielle Beschaffenheit derartig in eine kausale Beziehung, dass ein Molekül nicht nur Bewegung, sondern „*das ganze Wesen des Organismus in sich vereinigen soll*". **Nägeli** kritisiert, dass **Haeckelsche** Plastidule für sich bestehende isolierte Gegebenheiten darstellen, um biogenetische Schwingungen zu erklären. Der damalige Stand der Chemie zeige aber, dass die Moleküle in den organischen Körpern nicht vereinzelt seien. **Darwin** und **Haeckel** hätten auf der Basis der damals noch jungen Atomvorstellung die organisierenden Kräfte der Vererbung im einzelnen Atom und Molekül erblickt. Die Micellenvorstellung dagegen mache dafür den „*organisirten*" Molekülverband verantwortlich. „*Entweder sind die kleinsten Theilchen der Keimsubstanz in Folge besonderer und übernatürlicher Begabung die individuellen Träger der Eigenschaften des Ganzen und dadurch im Stande, diese Eigenschaften wieder ins Leben zu rufen, oder die kleinsten Theilchen sind gewöhnliche Moleküle, die bloss mit ihren natürlichen Kräften und Bewegungen ausgestattet sind und die einen specifischen Organismus nur dadurch hervorzubringen vermögen, dass sie der Entwicklung desselben durch ihre besondere Zusammensetzung mit Nothwendigkeit eine eigenthümliche Bahn anweisen*" (Nägeli 1884: 81).

So zugespitzt ist sogar **Darwin** ein Metaphysiker und **Haeckel** ein Poet (Nägeli 1884: 75). Ein „*Kind ist die Resultierende aus Kraft und Stoff der Eltern und stellt seinem*

*Wesen nach die geeinte Fortsetzung ihrer Ontogenien dar. Die Entfaltungsmerkmale des Kindes aber hängen ab von der Entfaltungsfähigkeit der Anlagen in dem gemischten Idioplasma, in welchem sich ein neues Gleichgewicht gebildet hat"* (Nägeli 1884: 540).

Die Auffassung aller Genetik fasst ihr früher Theoretiker **Nägeli** zusammen in dem Satz. „*Nur in den idio-plasmatischen Anlagen ist das vollständige Wesen der Organismen enthalten*" (Nägeli 1884: 275).

Selbiges erwartet man heute vom Gen.

#### IV 5

### EINE NEUE PERSPEKTIVE FÜR DEN UMGANG MIT NATUR

Am 28. März 1865 war **Nägeli** geladen, vor der Königlichen Akademie der Wissenschaften Bayerns anlässlich der 106. Feier ihrer Gründung eine Festrede vorzutragen. Der Redner hält als das Wesentliche der neuen Wissenschaft fest: „*Wir tauschen die alte Poesie des Wunders an die neue Poesie der Gesetzmäßigkeit*" ein, „*dass auch der Ursprung und das Bestehen der Arten, dass der Anfang und die Existenz der organischen Welt durch die einfachen und allgemeinen Naturkräfte bedingt werden, dass das ganze materielle Sein nur Eines ist und auch in seinen complizirtesten Gebieten sich dem Prinzip der Causalität unterwirft*" (Nägeli 1865: 37). Ausgehend von seiner Überzeugung einer Generatio spontanea, der umstrittenen Urzeugung von Lebewesen, sagt Nägeli eine menschliche Imitation der Natur voraus. Wenn „*ausserhalb der Organismen die gleichen chemischen und morphologischen Prozesse stattfinden wie innerhalb derselben, dass sich eiweissartige und zuckerartige Stoffe bilden und dass aus ihnen sich eine Zelle organisire*", würden die Bedingungen für eine Urzeugung vorliegen. Aufgrund der Entdeckungen der Chemie seien „*mit Sicherheit*" eines Tages alle organischen Verbindungen im Labor herzustellen (Nägeli 1865: 13f).

Ansonsten ist die Rede ein Beispiel für ein *teleologisches* Argumentieren, in der sich ihr Autor zugleich vehement gegen ein solches von ihm als unwissenschaftlich angesehenes Verhalten verwendet. Zudem fordert Nägeli, die *Darwinsche* Nützlichkeits-theorie um ein Vervollkommnungsprinzip zu erweitern. **Darwin** lege das

Gewicht der Umgebungseinflüsse nicht auf klimatische Verhältnisse, sondern auf die „mitconcurrirende belebte Umgebung“. Gerade für die Entstehungszeit der ersten Lebewesen auf der Erde könne das Nützlichkeitsprinzip nicht verständlich machen, weshalb „zusammengesetztere und höher organisirte Wesen sich entwickelten“. Denn Mitbewerber seien nicht vorhanden und die äußeren Bedingungen gleich gewesen.

**Nägeli** stellt sich einer Theorie richtungsloser Mutation entgegen. Denn Veränderungen seien nicht unbestimmt und gleichmäßig „nach allen Richtungen“. Sie zielten stattdessen „mit bestimmter Orientierung nach Oben, nach einer zusammengesetzteren Organisation“ (Nägeli 1865: 27).

Eine solche Um-zu-Erklärung ist am Ende des 20. Jahrhunderts von Erklärung durch Zufälligkeit verdrängt worden, in welcher Funktionalität die Rolle von Kausalität übernimmt, nicht nur in der Biologie, auch in der Medizin.

Wenn hingegen das Werden von Lebewesen nur unter Berücksichtigung einer Zieltendenz begriffen werden kann, dann müßte ein entwicklungsbestimmender „Erbfaktor“ nach derselben Prämisse aufgefasst werden. **Nägeli** zieht diesen Schluss nicht explizit. Für ihn gestaltet das Nützlichkeitsprinzip die physiologischen Vorgänge. Es führe durch Summation geringer Unterschiede zur Entstehung der Arten. Das Vervollkommnungsprinzip dagegen veranlasse eine diskontinuierliche sprunghafte Veränderung der Morphe. Alle Eigenschaften seien durch das „Gesetz der Erblichkeit“ festgehalten (Nägeli 1865: 29).

Für die Nachwelt prophezeite er Düsteres. Ehemals sei die Physiognomie von Pflanzendecke und Tierwelt gestaltet gewesen durch ein selbständiges Auftauchen neuer Organisationsformen wie auch durch klimatische Wechsel. Zu seiner Zeit sei jede Revolution durchgreifender. Denn inzwischen sei es der Mensch, der sie mit Absicht und Intelligenz erzeuge. Kulturpflanzen ersetzen wildwachsende Pflanzen, Haustiere wilde Tiere. Durch Bevölkerungswachstum würden vor allem Raubtiere untergehen, sodann die größeren Gewächse. „Selbst der deutsche Eichenwald [...] scheint bestimmt, fast nur noch in der Sage und im Liede fortzuleben, und schließlich sterben die Arten zu Hunderten“ (Nägeli 1865: 36).

Nach dem Wechsel der Poesie erscheint eine alte Prosa im Naturverstehen.

**HERTWIG UND STRASBURGER:  
DER AUFENTHALTSORT DES VERERBUNGSPLASMAS**

*Nägeli* zufolge ist das Idioplasma im Organismus ubiquitär verbreitet: Es durchziehe netzartig das Zellplasma, verlaufe in Zellwänden und -membranen und sei im Kern der Zelle konzentriert. Partikel lösten sich ab, träten ins Protoplasma ein und lagerten sich an seine kristallinen Körner an, um ihren erblichen Einfluss auszuüben. Den Befruchtungsvorgang hatte Nägeli theoretisch so dargestellt: Die parallelen Längsreihen von Micellen „stehen seitlich in enger Berührung, so dass durch diesen Contact gleichsam Leitungen zwischen ihnen hergestellt werden, welche ähnlich wie Nervenleitungen functionieren. Sowie nun das männliche System sich an das weibliche angelegt hat, so geht die Leitung aus einem System in das andere hinüber, und indem jede bestimmte Micellgruppe oder Anlage des weiblichen Systems mit der gleichnamigen des männlichen Systems gleichsam in Nervenverbindung sich befindet, so ist den sich ablösenden und hinüber wandernden Micellen des männlichen Systems der Weg, sowie der Ort der Bestimmung genau vorgezeichnet“ (Nägeli 1884: 222).

Die Anthropomorphie in Nägelis Bild ist nicht zu übersehen. Doch liegt die Beschreibung bereits nahe an der Vorstellung eines crossing-over mit Faktorenaustausch der benachbarten Tetradenfäden.

Im selben Jahr, in dem Nägeli seine „*Mechanisch-physiologische Theorie der Abstammungslehre*“ veröffentlichte, teilten **Eduard Adolf Strasburger** in Bonn [(1844-1912); Professor für Botanik, 1869 Universität Jena, 1880-1912 Universität Bonn, 1891 Mitglied der Royal Society, 1891/1892 Rektor der Universität Bonn; Entdecker der Kernteilung pflanzlicher Zellen] und **Oskar Wilhelm August Hertwig** in Berlin [(1849-1922); lernte bei Haeckel, 1881 Professor für Anatomie der Universität Jena, 1888 Direktor des Anatomischen Instituts II der Universität Berlin; erkannte die Kernverschmelzung von Ei- und Samenzellkern am Seeigel] zytologische Befunde über Befruchtungsabläufe mit. Aus ihrer Entdeckung schlossen sie auf die Lage des hypothetischen Vererbungsstoffes. Strasburger hatte Pflanzen untersucht, Hertwig Tiere.

Beinahe zehn Jahre zuvor hatte **Hertwig** beobachten können, wie ein Samenfaden in ein Ei eindringt, der Kopf des Samenfadens zu einem Kern wird und mit dem Eikern verschmilzt (Hertwig 1875). 1885 schloss Hertwig, die Befruchtung müsse in einer Verschmelzung von geschlechtlich differenzierten Zellkernen bestehen und nicht das Protoplasma, sondern die Kernsubstanz sei der befruchtende Stoff. Daher sei zu folgern, „*dass die Kernsubstanzen zugleich die Träger der Eigenschaften sind, welche von den Eltern auf die Nachkommen vererbt werden*“ (Hertwig 1885: 276). „*Die Ähnlichkeit der Kinder mit den Eltern muss vorzugsweise, wenn nicht ausschließlich, materiell erklärt werden, weil in dem kindlichen Organismus nachweislich eine innige Vermischung der von beiden Eltern herstammenden Zellkerne stattgefunden hat*“ (Hertwig 1885: 276f Anm.2).

Aus den Befruchtungserscheinungen zieht **Hertwig** den entscheidenden Schluss für die Vererbungstheorie: Die Kernsubstanzen sind „*zugleich die Träger der Eigenschaften, welche von den Eltern auf ihre Nachkommen vererbt werden*“. Allein die Kernsubstanz sei der Stoff, „*welcher die Entwicklungsprozesse erregt*“ (Hertwig 1885: 276).

Damit stellte sich das Problem der Vererbung als ein Problem des Charakters dieses Stoffes dar. Hertwig fragt: Wirkt der Befruchtungsstoff auch in „*gelöstem Zustand*“, oder nur „*organisirt*“? Ist die Befruchtung ein „*rein physiologischer*“ oder bereits ein „*morphologischer Vorgang*“? Sein Grundgedanke lautet: Die von ihm beobachtete Kernsubstanz der Geschlechtszellen ist identisch mit dem von **Nägeli** theoretisch erschlossenen Idioplasma, mitsamt dessen Eigenschaften (Hertwig 1885: 286). Das Nuklein befruchte nicht nur, sondern vererbe auch die Eigenschaften (Hertwig 1885: 290). **Nägeli** hatte dem Idioplasma eine feste morphologische Struktur zugeschrieben. **Hertwig** schloss, auch das Nuklein befinde sich vor, während und nach der Befruchtung in einem organisierten Zustand. Daher sei die Befruchtung nicht nur ein chemisch-physikalischer Vorgang, sondern zugleich ein morphologischer. „*Geformte Teile des Spermakerns verbinden sich mit geformten Teilen des Kerns der Eizelle. Die Befruchtungsstoffe wirken als morphologische Theile, das heisst in organisirtem Zustand*“ (Hertwig 1885: 291).

Das morphologische Moment sei für die Vererbung gegenüber dem chemischen und physikalischen das Entscheidende. **Nägeli** habe daher die Stoffe des Idioplasmas als

Micellen bezeichnet. Erwiesen sei, daß die Vererbungsstoffe sich nicht in Lösung befänden, sondern geformt und organisiert seien.

Die Organisation des Stoffes scheint dauerhaft. Der Spermakern steht wie der Eikern in kontinuierlichem Zusammenhang mit den vorausgegangenen Kerngenerationen. Ihre Kontinuität sei niemals unterbrochen, Neubildungen fänden nicht statt (Hertwig 1885: 298). Die mütterliche und väterliche Organisation werde beim Zeugungsakt auf das Kind durch Substanzen übertragen, die ebenfalls organisiert seien. Die Organisation denkt sich Hertwig nach Art des Idioplasmas von Nägeli. Die Entwicklungsreihe der Lebewesen sieht er als nicht durch desorganisierte Zustände unterbrochen. Denn diese würden intermittierend Urzeugungen voraussetzen, während deren Organisationen neu entstehen.

Dennoch finden Wandlungen in der Organisation statt. Sie entfalten „*neue Spannkräfte*“. Bei der Kopulation, Entwicklung und Reifung der Geschlechtsprodukte bilden sich die Kernsubstanzen zwar um, aber lösen sich nicht auf. Die Art ihrer Wandlung bleibt daher ein offenes Problem (Hertwig 1885: 301f).

**Hertwig** konnte ein Argument für den grundsätzlichen Unterschied zwischen Nährplasma und Kern- bzw. Vererbungsplasma, den **Nägeli** eingeführt hatte, hinzufügen. **Hertwigs** Lehre von der „*Isotropie*“ des Eies besagt, dass die im Ei enthaltene Dottersubstanz nicht wie das Kernplasma „*gesetzmäßig*“ angeordnet sei. Die spätere Organisation des Lebewesens könne deshalb aus der Anordnung der Dotterkugeln nicht abgeleitet werden.

Über den Ablauf der Befruchtung hatte auch **Strasburger** weiteres gefunden. Beide Kernfäden bestünden aus einem Gerüstwerk. Sie träten zwar unmittelbar zueinander, aber „*sie durchdringen sich nicht gegenseitig, sondern legen sich nur an einander. Es findet somit nicht ein Vermischen der Substanz der beiden Kernfäden statt, die beiden Gerüstwerke treten vielmehr nur in Contact ohne thatsächlich zu verschmelzen*“ (Strasburger 1884: 84f). Es vermischten sich nur die Kernsäfte, gegebenenfalls auch die Kernkörperchen. **Strasburger** zieht aus seiner Beobachtung dieselbe Konsequenz wie **Hertwig**: „*Da das Kind somit nur durch Vermittlung des Zellkerns die Eigenschaften vom Vater erbt, so müssen in den Eigenschaften der Zellkerne die spezifischen Charaktere des Organismus begründet sein*“ (Strasburger 1884: 104).

In der Vererbung stehen sich folglich ein konservatives und ein mutatives Prinzip gegenüber. Dieses wirkt von außen auf den Organismus ein. Es ist nicht als solches in den Erbträgern angelegt, die von innen her erhaltend wirken und in festen Korrelationen zueinander stehen. „*Träger der erblichen Eigenschaften ist der Zellkern*“ und besitze daher, so führt **Strasburger** aus, ein „*festes Gefüge*“. Zwar habe auch das ungeordnetere Zytoplasma insgesamt die Dignität von Idioplasma, jedoch nur „*zweiten Ranges*“. Der Zellkern verkörpere das „*starre, conservative Princip in dem Organismus*“, während das fügsame „*Cyto-Idioplasma [...] Organ der Anpassung*“ sei (Strasburger 1884: 110f).

Auch Strasburger schlägt eine dynamische, nicht eine chemische erste Wirkung des Erbmaterials vor. Er sagt, die Wechselwirkung zwischen Zellkern und Zytoplasma sei eine „*dynamische, das heisst, sie findet ohne Stoffwanderung statt*“. „*Molekulare Erregungen*“ pflanzen sich vom Kern in das umgebende Plasma weiter und beeinflussten den Stoffwechsel. Die molekularen Erregungen würden sogar die Spezieseseigentümlichkeit der Vorgänge garantieren. Umgekehrt könnten die vom Kern angeregten Entwicklungsvorgänge auf ihn zurückwirken. Das Zellplasma trete an den Kern heran, dringe zwischen die Windungen des Kernfadens und veranlasse ihn zur Teilung. Jedes in der Entwicklung folgende Organ sei das „*Resultat der stoffbildenden Thätigkeit der vorausgehenden Organe*“ (Strasburger 1884: 111ff).

## IV 7

### WEISMANN: DETERMINANTEN UND BIOPHOREN

Die Frage nach der Natur des Erbgutes, nach den Modalitäten seiner generationsweisen Weitergabe und seiner Verwirklichung zu *Eigenschaften* hat zu einer neuen Vorstellung geführt: Erbe wird als ein stoffliches Material angesehen. Aus

der Faktorenanalyse dieses Materials erwartet sich der Biologe Aufschluss über die Entstehung der Formen des Lebewesens. Da man eine physikalisch wirksame Kraft vermutet, soll diese in der Begrifflichkeit der aktuellen Naturwissenschaft formuliert werden. Der zugrundeliegende Naturbegriff hat sich gewandelt. Die unmittelbare Selbsterfahrung wird als Erkenntnisquelle abgelehnt. Natur wird nicht mehr als ein Selbstsein erfahren, das dem Menschen von dem ihm eigenen Selbst her erschließbar wäre. Die Natur wird zu einem vermeintlich *reinen*, d.h. bar jeder Anthropomorphie erfassbaren, *realistischen* Objekt. Deduktive Ansätze der Identitätsphilosophie werden zurückgewiesen. Die Faktoren der Vererbung werden in den Prämissen der Mechanik, Chemie und Physiologie gesucht, welche Bewegungsabläufe als Funktionen stofflicher Gesetzmäßigkeiten deuten. Der Erbfaktor ist ein chemisches Agens, das über morphologische, will sagen gestaltbildende Fähigkeiten verfügt und sich in einem festen Ordnungsverhältnis zu den anderen Erbfaktoren befindet. Die Erbfaktoren beeinflussen Wachstums- und begleitende Ernährungsprozesse der Körpersubstanz. Da der darwinistische Wettbewerb um Selektionsvorteile auch an der Ernährung dieses Plasmas angreift, beeinflusst er sogar die hypothetischen Erbfaktoren. Sie liegen im Zellkern, sind bis ins Zytoplasma beweglich und bewahren die Stabilität der Form mittels Anlagen. Der Zeitpunkt der Verwirklichung jeder Anlage wird durch ein phylogenetisches Gedächtnis vorgegeben. Über seine Natur besteht Unklarheit.

*Hertwig* hatte darauf hingewiesen, daß die Kerngenerationen kontinuierlich in Verbindung stehen müssten, damit die Organisation der Vorfahren auf ihre Nachfahren übertragen werden könne. Diese Gegebenheit müsse also auch im Vererbungsplasma ihren Niederschlag finden. Eine Theorie dafür gibt *August Friedrich Leopold Weismann* (1834-1914) in einem Modell des Keimplasmas. Seine Lehre veränderte sich im Lauf der Jahre wie die Anschauungen der Forschung. Zu Beginn hatte er eine Ausbreitung des Keimplasmas durch die ganze Zelle angenommen und sich darin *Nägeli* angeschlossen. Später beschränkte er das Keimplasma auf den Zellkern.

*Weismann* lehrte als Professor der Zoologie an der Universität von Freiburg im Breisgau. Er sah die Kontinuität des Keimplasmas in der Fortpflanzung durch eine „*Keimbahn*“ begründet, in der ein unsterbliches Ahnenplasma erhalten bleibe. Es unterscheidet sich damit vom Somatoplasma höherer Organismen, das mit ihrem Tod zugrundegehe. „*Potentiell*“ unsterblich sei hingegen der Einzeller, der sich durch

Zweiteilung seines Zelleibes vermehre und an beide Tochterzellen dasselbe Erbgut weiterreiche.

Die Vererbungstheorie eignet sich auch die Vorstellung der Unsterblichkeit an; dieses Wichtigste, das dem Wesensbegriff entspringt, teilt sie dem stofflichen Erbmaterial zu. Durch die Vorstellung radikaler Mutabilität aller Art und Eigenschaft wird freilich auch der Wesensbegriff für das Lebewesen fallengelassen; dies zichtet Konsequenzen für das ethische Selbstbildnis, das der Mensch sich zu geben vermag.

**Weismann** fragt: „*Wie kommt die einzelne Zelle dazu, das Ganze mit ‚Portrait-Ähnlichkeit‘ reproduzieren zu können?*“ (Weismann 1885: 197). „*Wie kann sie „die sämtlichen Vererbungstendenzen des gesammten Organismus in sich vereinigen?“* (Weismann 1885: 200). Die Antwort seiner Lehre ist: Es besteht nicht eine Kontinuität der Keimzellen, sondern des Keimplasmas. Mit diesem Begriff und seiner Entfaltung will Weismann grundsätzlich klären, ob „*Selectionsprozesse allein die Entwicklungsprozesse der Organismenwelt*“ bestimmen, oder ob erworbene Veränderungen, die „*durch die Fähigkeit der Organe selbst*“ entstehen, die maßgebliche Rolle im Vererbungsgeschehen spielen (Weismann 1895: VI).

Weismann hebt vom Idioplasma als dem eigentlichen Keimplasma ein „*histogenes*“ Kernplasma ab. Im Keimplasma seien alle Anlagen zur Arterhaltung aufbewahrt. Das histogene Kernplasma sei durch Zerlegung des Keimplasmas entstanden und enthalte nur Bruchstücke desselben. Weismann bedenkt, dass sich bei jeder Keimzellverschmelzung das Ahnenplasma verdoppeln müßte, wenn die Keimzelle das komplette Erbmaterial ihrer Ahnenreihe enthielte. Er nimmt daher an, dass bei den Reifeteilungen der Keimzellen eine Reduktionsteilung eintritt, in der sich die Mutterchromosomen ungeteilt auf der Äquatorialplatte in zwei Gruppen anordnen, ehe sie auseinanderweichen, so dass die Tochterzellen nur den halben Chromosomensatz enthalten. Alle anderen Zellteilungen seien Äquationsteilungen, wobei die Chromosomen durch eine Längsspaltung exakt halbiert würden. In den vorangegangenen Reifeteilungen sieht Weismann die individuelle Variation gegeben. Die Chromosomenzahl der Zellen reduziere sich auf die Hälfte und werde zu verschiedenen Anteilen auf die Tochterzellen verteilt. Deshalb enthielten die Keimzellen zuletzt je nach Anordnung der Chromosomen verschiedene Ahnenplasmen. Erst bei der Befruchtung könnten die auf solche Weise weitergegebenen Ahnenplasmen erneut zu einem vollständigen Erbgut kombinieren.

Mit dieser Auslegung muss Weismann, ohne dass zu seiner Zeit der Genbegriff bereits entwickelt gewesen wäre, als ein Urheber der heute für gültig befundenen Chromosomentheorie der Vererbung gesehen werden.

Als Materialist leitet Weismann den Kraftbegriff vom Materiebegriff ab: *„Alle Kraft ist an Materie gebunden“* (Weismann 1885: 275). Folglich enthält Keimplasma für ihn die Kraft der Entwicklung. Keimplasma sei eine Materie, *„deren beherrschende Organisation den Aufbau des Embryos durch Umwandlung blossen Nährplasmas zu Stande bringt“* (ibid.).

Schon zwei Jahre vor Veröffentlichung seiner grundlegenden Schrift *„Die Continuität des Keimplasmas“* deutete er auf den inneren Zusammenhang der Erbsubstanz: Es gebe keine einzelnen und voneinander geschiedenen Träger der erblichen Eigenschaften, denn das erkläre nicht, wie solche Moleküle die Anordnung des Keimplasmas beibehalten können (Weismann 1883: 16). Denn Vererbung beruhe auf der Kontinuität der *„Keimmoleküle“* durch die Generationen hindurch (Weismann 1892c: 76). Sie wüchsen und ernährten sich gleich den sonstigen Zellbestandteilen, doch im Lauf der Entwicklung veränderten sie sich nicht. *„Wie wir allen Plasma-Molekülen die Fähigkeit zu wachsen, d.h. Nahrungsstoffe zu assimilieren und sich durch Theilung zu vermehren, theoretisch zuerkennen müssen, so werden auch die Moleküle des Keim-Plasma's unter günstigen Ernährungsbedingungen wachsen und sich vermehren können, ohne dass aber dadurch schon ihr Wesen geändert, ohne dass also dadurch die Vererbungstendenzen, deren Träger sie sind, geändert würden“* (Weismann 1892c: 82).

Mit dieser Setzung über das Erbmaterial gewinnt er die Möglichkeit, **Darwins** Pangenesisprinzip für die Keimmoleküle zu verwenden. *„Man braucht blos anstatt Moleküle ‚Keimchen‘ zu sagen, so hat man den Grundgedanken der Darwin'schen Pangenesis“* (Weismann 1892c: 86). Daraus folgt weiter, dass das Keimplasma der Selektion untersteht. Wenn man *„alle im Laufe der Ontogenese eintretenden Differenzierungen von der chemischen und physikalischen Molekularstruktur abhängig denken“* muss, ergibt sich: *„Variationen in der Molekularstruktur der Keimzellen werden bei jeder Art stets vorkommen und müssen durch Selection gesteigert und fixiert werden können“* (Weismann 1892c: 89). Bei Veränderung der Lebensbedingungen wird sich jedes Individuum *„entsprechend seinen Kräften“* den neuen Bedingungen anpassen.

„Das Mass dieser Kräfte aber beruht eben auf der Keimesanlage, und sobald dann Selection eintritt, so findet sie nur scheinbar zwischen den ausgebildeten Individuen, in Wahrheit aber zwischen den stärkeren und schwächeren Keimesanlagen statt" (Weismann 1892c: 96). **Weismann** bereitet hier den Gedanken vor, dass die **Darwinsche** Selektion auf die Gestaltungskräfte des Lebewesens selbst einwirkt, auf das, was später als Gen ausgegrenzt wird. „Dann operirt also die Naturzüchtung nur scheinbar mit den Qualitäten des fertigen Organismus, in Wahrheit aber mit den in der Keimzelle verborgenen Anlagen dieser Eigenschaften" Weismann 1892c: 119). Er glaubt sogar, „dass alle Instinkte rein nur durch Selection entstehen, dass sie nicht in der Uebung des Einzellebens, sondern in Keimesvariationen ihre Wurzel haben" (Weismann 1892c: 104).

Die Theorie des Keimplasmas als einer im Inneren des Lebewesens verborgenen Entität von Molekülen, auf die das gesamte Werden und der Eigenschaftsbestand der Organismen zurückzuführen seien, stiftet eine neue Metaphysik. Sie grenzt in zuvor ungekannter Definition ein jenseitiges Prinzip aus, aus dem die Eigentlichkeit der Lebewesen begründet werden soll und bereitet einem neuen Paradigma den Weg. **Weismann:** „Wollte man aber meine Erklärung deshalb zurückweisen, weil sie in das Dunkel des Keimplasmas hinabsteigt, von dessen Bau und Lebensvorgängen wir direct Nichts erfahren können, so bedenke man, dass die Wurzel der Veränderungen nirgends anders liegen kann, als hier, dass wir uns also irgend eine Vorstellung davon bilden müssen, wollen wir nicht auf ein tieferes Eindringen in die Räthsel der Phylogeneese ganz verzichten" (Weismann 1892c: 17).

Weismann stellt sich das Keimplasma als ein „Ahnenplasma" vor; er bezeichnet es außer als „Biophorengruppen“ vereinzelt auch als „Id". Es sei aus Untereinheiten aufgebaut, die weder als „kleinste Lebenstheilchen" wie **Spencers** physiologische Einheiten aufgefasst werden dürften (Weismann 1892a: 16), noch als Pangene und Gemmulae im Sinne **Darwins**. Denn sie würden nicht in den Körperzellen erzeugt und nicht in den Fortpflanzungszellen gesammelt. Das Keimplasma sei vielmehr eine „eigens dazu bestimmte Substanz", die sich nicht immer wieder neu zusammensetze, sondern sie „wächst nur, vermehrt sich und überträgt sich von einer Generation auf die andere" (Weismann 1892a: XII). Es sei aufgebaut aus „gleichwerthigen Lebenseinheiten". Sie könnten nicht „chemische" Moleküle sein, da solche nicht

imstande seien zu assimilieren und sich zu vermehren. Weil sie „*Grundkräfte des Lebens*“ seien, müsse für sie ein eigener Name gewählt werden: „*Lebensträger*“ oder „*Biophoren*“ (Weismann 1892a: 52f). Diesen Faktoren, ursächlich für Vererbung, spricht Weismann Eigenschaften zu, wie sie für Lebewesen aufs Ganze bekannt sind, Stoffwechsel, Assimilation, Wachstum und Vermehrung (ibd.). Weismann lehnt sich für den Begriff des Biophors an **Haeckels** Plastidultheorie an. Die Deutung des Vererbungsträgers ist in gewisser Weise vitalistisch. Das Keimplasma sei ein „*Magazin von den verschiedenen Biophoren-Arten, welche in den betreffenden Zellkörper eintreten und ihn umgestalten*“. Gewebsspezifische Biophoren veränderten die anfänglich noch undifferenzierte Embryonalzelle zu Nerven, Drüsen und Muskelzellen und vermehren sie (Weismann 1892a: 65). Jede Zellgruppe sei ein „*Vererbungsstück*“, eine „*Determinate*“, der ein „*Bestimmungsstück*“ im Keimplasma als „*Determinante*“ gegenüberstehe (Weismann 1892a: 76). Die Architektur des Keimplasmas sei „*historisch überliefert*“. Seine Lebenseinheiten seien hierarchisch gestaffelt. Mehrere Biophoren bildeten Determinanten, die ebenfalls gruppenweise organisiert seien, die Ide. Dieser Name solle Anklang nehmen an **Nägels** Idioplasma (Weismann 1892a: 82ff).

Als nächstes muss **Weismann** erklären, auf welche Weise die Hierarchie der Biophoren das heranwachsende Lebewesen entstehen läßt. In der Embryonalentwicklung werde das Keimplasma-Id fortlaufend in kleinere Determinantengruppen zerlegt, die immer einfacher aufgebaut seien und weniger Determinanten enthielten. Drei Einflussgrößen wirkten auf den Vorgang der Differenzierung ein: die „*Architektur*“ des Keimplasmas, eine unterschiedliche Vermehrungsgeschwindigkeit jeder Determinante und eine Anziehungskraft bestimmter Determinanten untereinander, die ihnen aufgrund ihrer spezifischen Natur als Lebenseinheiten zukomme. Ein Chromosom setze sich aus einer ganzen Reihe von Iden zusammen (*Idant*). Bei der Kernteilung werde jedes Id in zwei identische Hälften zerlegt, die gleichmäßig auf die Tochterzellen verteilt würden. Bei Regenerationsprozessen erhielten die Teilungszellen die gleichen Determinanten wie die Mutterzellen. Hingegen würden in den Zellteilungen der Embryonalperiode verschiedene Determinanten-Kombinationen verteilt. Die Entwicklung in die Gewebevielfalt ergebe sich aus einer normierten Reifung der Determinanten mit festgelegten Inaktivitätsphasen für jede Determinante (Weismann 1892a: 86-95).

Mit seiner Vorstellung einer Zweiteilung der Ide zu gleichartigen Tochteriden nennt Weismann bereits ein Prinzip identischer Reduplikation, das später seinen Niederschlag in einer Doppelhelix mit Genen findet. Die Annahme von Aktivität und Inaktivität der Determinanten, die nachmals ebenfalls in Modellen der Genaktivierung anzutreffen ist, kann auch als eine teleologische Komponente seiner Theorie gelesen werden. Denn **Weismann** denkt Entwicklungsprozesse auf ein Ende hin, das er durchaus auch teleologisch verankert: Jede Determinante gelange „*an den ihr bestimmten Platz im Körper*“ (Weismann 1892a: 100).

Weismann ist von einer rein naturgesetzlichen Formulierung der Phänomene noch entfernt, wenn er zum Ausdruck bringt, dass über die „*Kräfte, welche in und zwischen den Biophoren walten, noch so gut wie Nichts*“ bekannt sei, denn „*es giebt noch eine ganz andere Art der Correlation, darin bestehend, dass die Abänderung eines Theils die eines anderen nach sich zieht, der in keinem anatomischen oder auch nur funktionellem Zustand mit ihm steht*“ (Weismann 1892a: 113f). Das Id sei „*nicht ein Miniaturbild des Körpers, sondern ein Bau ganz eigener Art*“, dessen Baueinheiten so zueinander angeordnet seien, „*wie sie zunächst in der Ontogenese gegen ihr Endziel hin*“ weiter befördert würden. „*Es sind keine Abbilder der fertigen Theile, welche das Keimplasma zusammensetzen, es sind nicht einmal Theilchen, welche ausschließlich für die Bildung der entsprechenden Theile des fertigen Körpers vorhanden sind. Ein jedes von ihnen (den Biophoren und Determinanten) nimmt vielmehr an vielen andern der vorhergehenden Entwicklungsstadien auch einen gewissen und zwar bedeutsamen Antheil, indem es die Architektur jeder Id-Stufe mit bestimmen hilft und somit auch die weitere ontogenetische Vertheilung der Determinanten auf die weiteren Zellstufen. [...] Es sind Theilchen, von deren Beschaffenheit die Beschaffenheit des correspondierenden Theils des fertigen Körpers abhängt*“ (Weismann 1892a: 121).

In der Weise dieses geistigen Ringens um vererbungbestimmende Faktoren, mit den Festlegungen über das, was sie umfassen sollen und was dabei außer Acht zu bleiben hat, wird das Fragekonzept vorbereitet, aus dem sich dann das „Gen“ als der Faktor der Vererbung herauskristallisiert.

Die These von der Kontinuität des Keimplasmas fordert, dass die Keimzelle des Kindes dieselben Ide enthält, „welche in der Keimzelle enthalten waren, aus welcher der Elter sich entwickelte“ (Weismann 1892: 241). **Weismann** denkt sich das Keimplasma so, dass es sich mit der Entwicklung des Lebewesens ebenfalls verändert. Es leitet den zellulären „Teilungsprozess der Ontogenese“, wobei es selbst „sich in gesetzmässiger Weise verändert“. Dennoch müßten auch die Keimzellen des Kindes wieder denselben Inhalt besitzen, wie die seiner Eltern. Die Schwierigkeit behebt der Autor durch die Annahme, dass nur ein Teil des Keimplasmas „direkt“, ohne Änderung seiner Zusammensetzung auf die Keimzellen der Nachkommen übertragen werde. Er bleibe während der gesamten Ontogenese unverändert, weil er in einer eigenen Keimbahn weitergegeben werde. Er befinde sich in einem „inaktiven Zustand“ und verteile sich bei den Zellteilungen der Organogenese „nicht in Gruppen in die Tochterzellen“. Vom Stadium des Einzellers bis zum Urkeimzellen entwickelnden Vielzeller werde eine gewisse Portion des Keimplasmas identisch weitergereicht, welche alle Qualitäten anlagemäßig enthalte, ohne sie zu verwirklichen. Sie werde „passiv den Urkeimzellen zugeführt“ (Weismann 1892a: 253). Der aktive Teil des Keimplasmas scheidet sich davon während der Ontogenese ab und verursache die gewebliche Differenzierung. Die gewebespezifizierenden Kräfte wirkten sich erst aus, „wenn die Substanz des Keimplasmas zerlegt und ihre Bestandtheile, die Determinanten, neu gruppiert werden“, wie es für das jeweilige Organgewebe erforderlich sei (Weismann 1892a: 268). Weismann nimmt an, dass sich die Spaltungen der Determinantengruppen so lange fortsetzen, „bis nur noch eine Determinantenart in der betreffenden Zelle vorhanden ist“. Die übrigen Gruppen würden sich nach ihrem eigenen Rhythmus vermehren und die Architektonik des Ids verändern, wodurch die weiteren Zerlegungen vorausbestimmt seien (Weismann 1892a: 296).

Modern mutet die Aussage an, „das Keimplasma des durch Vereinigung der Geschlechtskerne gebildeten ‚Copulationskerns‘ besteht zur Hälfte aus Idanten der Mutter, zur Hälfte aus solchen des Vaters, und diese Combination zweier Vererbungsubstanzen leitet nun die Ontogenese“ (Weismann 1892a: 307).

Weismann kann nicht angeben, woraus letzten Endes die Dominanz bestimmter Erbfaktoren des einen Elternteils gegenüber der Rezessivität der anderen abzuleiten ist. Er nimmt einen Kampf der Erbteilchen an und bleibt hierin in **Darwins** Vorstellungswelt: „Der Bau des Kindes ist das Resultat des Kampfes sämmtlicher im

*Keimplasma enthaltenen Ide*" (Weismann 1892a: 340). Eine Determinante löse sich in ihre Biophoren auf, die in das Zellplasma einwanderten, sich vermehrten und die Zellstruktur gestalteten. Die einander entsprechenden väterlichen und mütterlichen Determinanten nennt er „*homolog*“ (Weismann 1892a: 346) „*Sie zielen auf die Bestimmung derselben Körperstelle hin*“, könnten aber trotzdem „*heterodynam*“ sein und verschiedene Merkmale an derselben Stelle intendieren. „*Sobald also in demselben Zellkörper solche bestimmenden Biophoren einwandern, welche in ihrer Wachstumsenergie nicht ganz gleich sind, wird ein Kampf der Theile [...] entstehen müssen, in welchem der Stärkere siegt und der Schwächere mehr oder weniger unterdrückt, ja völlig beseitigt wird*“ (Weismann 1892a: 349).

**Weismann** wendet **Darwins** Vererbungsmechanismus sogar auf sich selbst an: „*In meinem Fall scheint nicht das ganze Gehirn der Mutter gefolgt zu sein, denn in dem betreffenden Charakter kommen auch sehr prägnante väterliche Züge vor*“ (Weismann 1892a: 371). „*Es kann der Intellekt von der Mutter, das Wollen vom Vater stammen, die dichterische Begabung von der Mutter, Selbstlosigkeit vom Vater sich miteinander verbinden, und Alles dies in einem Schädel enthalten sein, dessen, Form wesentlich der einen der Eltern gleichtue*“ (Weismann 1892a: 377). So sei der Kampf der „*beiden homologen Anlagen von Vater und Mutter*“ eine „*Ganomachie*“. **Weismann** nennt hier einen Begriff, der vom Wortlaut an **Platons** Gigantomachie erinnert, die Riesenschlacht um das Sein. Für Weismann endet der Kampf homologer elterlicher Anlagen „*mit dem Untergang, dem völligen Aufgezehrtwerden (Gamophagie) des einen*“. Diesen Begriff habe er **Josef Müllers** Werk „*Über Gamophagie, ein Versuch zum weiteren Ausbau der Theorie der Befruchtung und Vererbung*“ aus dem Jahr 1892 entlehnt.

Nachdem Lebewesen nicht als Geschöpfe, sondern als evolutionistisch variable Einheiten aufgefasst waren, die aus rein materieller Herkunft zu verstehen seien, musste für die Seite der organischen Substanz gegenüber dem unbelebten Stoff ein neues Prinzip dargestellt werden. Für dieses boten sich nun Vorstellung und Begriff eines Plasmas an, als eines Substrats, auf das dessen eigene Art biologischer Kausalität zurückzuführen sei, und welches sowohl die Eigentümlichkeit der belebten Materie gegenüber der unbelebten als auch den dunklen Entstehungsgrund der Lebewesen in sich vereinige.

Wissenschaftsphilosophierend warnt *Weismann* drei Jahre später in „*Neue Gedanken zur Vererbungslehre*“ davor, zu vergessen, daß Begriffe wie „*Atom*“, „*Weltäther*“, „*Elemente*“ nur Symbole sind „für das, was wir nicht wissen“ (Weismann 1995: VI).

Hier scheint sich der Wissenschaftler einer Gefahr bewusst, zu glauben, wissenschaftliche Formalisierung erfasse die Gesamtwirklichkeit.

## IV 8

### WEIGERT: AKTIVIERUNG VON ANLAGEN

1887 gab *Carl Weigert* (1845-1904), Professor der Pathologie und Direktor der Senckenbergischen Stiftung in Frankfurt, in seiner Schrift „*Neuere Vererbungstheorien*“ einen Überblick über die Theorien von *Darwin*, *Haeckel*, *Nägeli* und *Weismann* und ließ vor allem *Weismanns* Sicht gelten. *Weigert* stellte der Forschung seiner Zeit ein heute noch ähnlich aktuelles Problem, wenn er fragt: „*Unter welchen Umständen*“ wird die „*schlummernde Keimplasmawirkung*“ geweckt? Denn es erhebe sich mit der Anlagetheorie eines in Iden geordneten Keimplasmas, dessen Anlagen durch materielle Bewegungsabläufe der Biophoren zu vorbestimmten Zeiten verwirklicht würden, folgende Schwierigkeit: Woraus entstehen die unterschiedlichen Aktivitätszustände der als selbsttätig angenommenen Vererbungssubstanz? Was ruft den Übergang vom Passiven ins Aktive und umgekehrt hervor, so dass eine gewebliche Differenzierung resultiert? Weigert interpretierte *Weismanns* Keimplasma gleichwie epigenetisch. Der Keim enthalte nicht Anlagen, „*sondern nur die Anlagen zu den Anlagen, oder eigentlich zu den Anlagen der Anlagen ...*, wobei man sich das Wort *Anlagen* so oft wiederholt denken muß, als Zwischenstufen zwischen dem Keime und den fertigen Gebilden vorhanden sind“ (Weigert 1887: 103).

Eine Anlage sei eine „*Wachstumstendenz*“. Tendenzen seien nicht „*reell*“, sondern „*potentiell*“ in der Substanz der Vererbung enthalten. Während *Weismann* die Verifizierung eines Merkmals von der Zahl dessen Anlagen im Idioplasma abhängig mache, sieht *Weigert* eine noch unterschiedliche „*Energie*“ der einzelnen Anlagen gegeben, eine „*idioplastische Kraft*“ geringeren oder größeren Ausmaßes. Die Folge sei, dass die idioplastische Wirkung ganz oder teilweise erlöschen könne. Dass rote

Blutkörperchen bei voller Funktionsfähigkeit keine Zellkerne mehr enthalten, nimmt **Weigert** als Beispiel für einen völligen Schwund einer ehemals gegebenen idioplastischen Wirkung, die im Normalfall zu einer vollständigen kernhaltigen Zelle führt. Als Exempel für nur eine noch bruchstückhaft verbliebene idioplastische Wirkung nennt er die Regeneration der Ganglienzellen des Zentralnervensystems. Im Gegensatz dazu bleibe zum Ersatz des abgetrennten Schwanzteiles bei Eidechsen die gesamte idioplastische Kraft wirksam (Weigert 1887: 89-104).

Nach **Weigert** erfordert die Lehre vom Idioplasma die Annahme einer eigenen Gesetzlichkeit. Diese sei im ganzen Reich der organisierten Wesen dieselbe. Für die Vererbungsforschung stellt sich somit die Aufgabe, nach allgemein für alle Lebewesen bestehenden Grundgesetzen in dem wie beschrieben terminierten Idioplasma zu suchen.

#### IV 9

### DE VRIES: INTRAZELLULÄRE PANGENESIS

Auch der Direktor des Botanischen Gartens von Amsterdam und Professor für Pflanzenphysiologie **Hugo De Vries** (1848-1935) kritisierte an **Weismann**, dass „*uns die Theorie des Keimplasmas bei der Erklärung der Organdifferenzierung im Stich läßt*“ (De Vries 1889: 110). Nicht die Organismen, sondern die Zellen seien die Einheiten der Erblchkeitslehre. Unter Konzentration der Pangene nur auf die Zelle sollte jetzt die Hypothese von Pangenen die Annahme eines Keimplasmas überflüssig machen. **De Vries** hatte sich seit einigen Jahren mit dem Problem der Mutation beschäftigt und war darauf gestoßen, dass die einzelnen Erbeigenschaften unabhängig voneinander variieren. Er teile deswegen die seit **Darwin** „*herrschende Ansicht*“, dass die „*erblichen Eigenschaften einer Art*“ als „*prinzipiell selbständige Einheiten*“ anzusehen sind.

Forschungsziel sei eine mechanisch-materialistische Vererbungslehre, welche Vorgänge im Protoplasma „*aus der Gruppierung seiner Moleküle und aus der Zusammensetzung dieser letzteren aus Atomen*“ ableite. Diese Erklärung der

Lebenserscheinungen sei „endgültig“ (De Vries: 1889: 34). Die Existenz von Lebewesen sei zurückzuführen auf die „*chemischen Eigenschaften, welche das Kohlenstoffatom bei unserer Erdtemperatur hat*“. Bei allem Physikalismus merkte **De Vries** dennoch eine weitere Kategorie an: Neben physikalisch und chemisch definierter Gesetzmäßigkeit seiner Merkmale sei die Eigentümlichkeit des Protoplasmas auf die im geschichtlichen Entwicklungsverlauf entstandene Besonderheit zurückzuführen. Da die Vererbungsforschung ihre Aufmerksamkeit auf die Zelle zu richten habe, seien die Stammbäume von Zellen zu betrachten. Hierfür griff De Vries **Weismanns** Unterscheidung von Keimplasma und Somatoplasma auf und schlug vor, die Generationsfolgen körperlicher Zellen gegenüber Keimbahnzellen „*somatische Bahnen*“ zu nennen (De Vries 1889: 86). Er legte fest: „*Nie entsteht, nach meiner Definition, eine Keimbahn aus einer somatischen Bahn*“ (De Vries 1889: 88).

Erblichkeit ist somit auf den Begriff der Keimbahn zu beziehen. **Weismann** hatte den Gedanken geäußert, die Naturzüchtung setze nur scheinbar an den Qualitäten des fertigen Organismus an, sondern verändere stattdessen die in den Keimzellen verborgenen Anlagen dieser Eigenschaften. **De Vries** übernahm den Gedanken und die Formulierung **Weismanns** und führte die Vorstellung sogar auf **Darwin** zurück. Denn auch dieser nehme für die Weitergabe eines Charakters und dessen nachheriger Entwicklung im Lebewesen gesonderte Vermögen in der erblichen Substanz an. Die Generationsfolge von der befruchteten Eizelle bis zu den neuen Keimzellen bezeichnete **De Vries** als „*Hauptkeimbahn*“. Sie gebe „*wohl stets auf ihrer ganzen Länge somatische Zweige ab*“ (De Vries 1889: 90). Nur bei Pflanzen und niedrigeren Tieren kämen auch Nebenkeimbahnen vor. Die Hauptkeimbahn verästele sich in einer Weise, dass die Mehrzahl der somatischen Bahnen nicht dem Hauptstamm der Keimbahn, sondern „*Keimbahnästen*“ entspringe. In diesem Bereich träten Übergänge zwischen den beiden Arten der Keimbahnen auf.

**De Vries** war später einer der Wiederentdecker der Vererbungsregeln **Mendels**, die nach ihrer Veröffentlichung im Jahr 1865 weithin unbeachtet geblieben waren. Noch vor ihrer Kenntnis entwickelt De Vries ähnliche Vorstellungen über etwaige Gründe der Erblichkeit: 1. Eine Art ist zusammengesetzt aus einzelnen *Faktoren*, den *erblichen Eigenschaften* oder *Anlagen*. 2. Verschiedene Arten von Lebewesen entstehen in den ihnen gemeinsamen Anteilen aus denselben Einheiten. 3. Da die Einheiten

selbständige Wesenheiten sind, sind sie zeitlich getrennt voneinander entstanden. Sie sind unabhängig voneinander, in jedem Verhältnisse miteinander mischbar und können jede für sich in beliebigem Grad ausgeprägt sein, sowie einzeln verloren gehen (De Vries 1889: 31-33).

**De Vries** schloss sich **Darwin** an, der für Erbeigenschaften eine stoffliche Grundlage angenommen hatte, und folgte ihm durch die Bezeichnung *Pangene*. Diese „lebendige Materie“ besitze unsichtbare Eigenschaften, die verantwortlich seien für die sichtbaren Merkmale. Die biologisch gedachten Hauptattribute des Lebens: Assimilation, Ernährung, Wachstum, Vermehrung durch Teilung, „müssen wir einfach in sie verlegen, ohne sie erklären zu können“ (De Vries 1889: 70). **De Vries'** Annahme von molekular gestalteten Pangenen deckt sich mit **Weismanns** Begriff keimplasmatischer Biophoren. Insgesamt aber dachte **De Vries** noch 1889 pangenetisch wie **Darwin**: Die gesamte „lebendige Materie des Kindes ist aus denselben Pangenen aufgebaut, als die seiner Eltern“. **De Vries** deutete die Entwicklungsreihe insgesamt pangenetisch. **Weismann** hingegen wollte die unmittelbare materielle Kontinuität nur auf das Keimplasma der Keimzellen beschränken — eine Auffassung, die sich später in der Gentheorie durchsetzte.

Die Pangenesis-Vorstellung nach **De Vries** nahm an, „die lebendige Materie des Kindes“ sei „aus denselben Pangenen aufgebaut [...] als die seiner Eltern“. Vererbung geschehe dadurch, dass bei der Zellteilung „alle vorhandenen Arten von Pangenen auf die beiden Tochterzellen übergehen“. Die Pangene könnten „bei ihren successiven Theilungen ihre Natur mehr oder weniger ändern“, so dass neue Arten von Pangenen entstünden (De Vries 1889: 73), also Mutabilität.

Nach **De Vries** verläuft der Strom von Keimchen trotz allem nicht mehr wie bei **Darwin** durch den ganzen Organismus, sondern bleibt auf jede einzelne Zelle beschränkt. Zwar bestehe das gesamte lebendige Protoplasma aus Pangenen, doch würden sich die Pangene des Zellkerns nur während der Kernteilung aktiv verhalten. Ansonsten ernährten und vermehrten sie sich in Vorbereitung auf die nächste Teilung der Zelle, ohne erblichen Einfluss auf die Zelltätigkeit zu nehmen (de Vries 1889:211).

Ein Pangen sei eine Partikel, die aus „zahllosen“ Molekülen bestehe. Ihre Wirksamkeit aber sei „anderer Ordnung wie die chemischen Moleküle“. **De Vries** stellte bereits an

dieser Stelle, in der Frühzeit genetischer Theoretisierung, eine Transport-Hypothese auf, die der späteren Vorstellung von einem unidirektionalen Informationsfluss ähnelt: Die Weitergabe von erblichen Aktivitäten könne nur als *„eine Übertragung der erblichen Eigenschaften vom Kern auf das Cytoplasma stattfinden“*. De Vries führte die Vielfalt der Lebewesen theoretisch zurück auf Kombinationen einer *„verhältnismässig geringen Anzahl von Faktoren“* (De Vries 1889: 188f). Im Kern seien alle Arten von Pangenen der betreffenden Species versammelt, *„im übrigen Protoplasma in jeder Zelle aber wesentlich nur diejenigen, welche in ihr in Thätigkeit gelangen sollen“* (de Vries 1889: 195). Zur Frage nach dem Zeitpunkt ihres Transportes nahm De Vries an, *„dass sowohl kurze Zeit nach der Befruchtung, als auch während oder nach jeder Zelltheilung ein solcher Transport stattfindet“* (de Vries 1889: 199).

Mit der Annahme, dass im Kern *„alle Arten von Pangenen der betreffenden Species“* vorliegen würden, entwickelte **De Vries** bereits eine Vorstellung von omnipotenten Zellkernen. Er glaubte, dass sogar ein *„Stammbaum“* der Pangene im Zellkern aufbewahrt sei. Da sich die Pangenesis nach seiner Auffassung nur intrazellulär abspielt, brauche er *„ein Eindringen der ausgewanderten Pangene oder ihrer Nachkommen in andere Kerne [...] nicht anzunehmen“* (De Vries 1889: 207).

Omnipotenz — er verwendete diesen Namen noch nicht — ist eine Eigenschaft, die sich zwischen Möglichkeit und Wirklichkeit bewegt, kein „empirisches“ Faktum. Für De Vries besitzen die erblichen Anlagen die Fähigkeit, Merkmale *„über Tausende von Generationen“* latent zu erhalten. Es handle sich um Anlagen, die andererseits befähigt seien, aus unbekanntem Grund als Merkmale aus ihrer Latenz herauszutreten und wirksam zu werden. Die dafür verantwortlichen Faktoren seien zu *„kleineren oder grösseren Gruppen vereinigt“*. Bei ihrer Aktivierung werde im Normalfall die ganze Gruppe *„in erhöhte Thätigkeit gesetzt“*, ähnlich *„wie ein Gallenreiz eine bestimmte Eigenschaft zum Vorherrschen“* bringe. Die Expressivität des Merkmals sah De Vries durch die Quantität der an ihm beteiligten Pangene bedingt. Denn die Gewebe- und Organdifferenzierung beruhe nicht auf einer bestimmten Verteilung von Pangenen mit von vornherein verschiedener Kompetenz, sondern darauf, *„dass einzelne Pangene oder Gruppen von solchen sich stärker entwickeln als andere“* (De Vries 1889: 68ff).

Entgegen **Hertwig**, der aufgrund seiner Entdeckung der Kernverschmelzung von Ei- und Samenzellkern bei der Befruchtung die Träger der erblichen Eigenschaften nur auf den Zellkern beschränken wollte, hielt **De Vries** eine solche Annahme für eine „*viel zu weitgehende und durch nichts berechtigte Folgerung*“. Bewiesen sei zwar, dass alle Eigenschaften im Zellkern „*vergegenwärtigt*“ seien, hingegen nicht ihr Fehlen im Protoplasma. „*Das ganze lebendige Protoplasma besteht aus Pangen*“ (De Vries 1889: 190).

Die Theorie von den Plasmagenen wurde im 20. Jahrhundert wieder aufgegriffen, so in der Lehre von eigenen Genen der Mitochondrien. Zunächst aber richtete sich das Interesse auf den Zellkern und seine Chromosomen.

Auch für die Theorie der Plasmagene bot **De Vries** ein Modell an (De Vries 1889: 190-193). Im Rahmen der neu etablierten zellulären Denkweise sprach er den „*Zellorganen*“ (er nannte sie auch „*Vacuolen*“ und „*Chromatophoren*“ – Termini, die sich bis heute behaupten, während die Vriesschen Zellorgane jetzt Zellorganellen genannt werden) einen eigenen „*Stammbaum*“ zu, der unabhängig sei von den Zellkernen. Diese Gebilde, obwohl „*Organe*“ der Zelle, würden durch eigenständige Teilungen auf die Tochterzellen übertragen. In jeder Zelle sei während ihrer phylogenetischen Frühgeschichte eine Arbeitsteilung eingetreten. Im Zellkern befänden sich seither alle inaktiven Pangene, während die aktiven ins Plasma der Zelle gewandert seien und ihm dadurch seine Eigenschaften verliehen hätten.

Das Erbgedächtnis der Zelle sei gewissermaßen inaktiv in ihrem Kern versammelt. Aktivierte Pangene flössen aus dem Kern zu den Zellorganellen, vereinigten sich hier „*mit den bereits vorhandenen Pangen*“, *vermehrten sich und fangen ihre Tätigkeit an*“ (De Vries 1889: 211f). Die Pangenesis trägt „*dem Bau der Zelle Rechnung*“, sie ist „*intrazellulär*“.

**HAACKE: ZELLEIB ALS VERERBUNGSTRÄGER  
EINE OPPOSITIONELLE LEHRE**

Der von *Haeckel* promovierte *Wilhelm Johann Haacke* [(1855-1912) (Direktor des Zoologischen Gartens in Frankfurt, habilitierter Dozent für Zoologie an der Technischen Hochschule von Darmstadt)] ging von zwei Annahmen aus: erstens einer Vererbung im Plasma entstandener Eigenschaften, zweitens Pangenesis. Das Keimplasma werde von jeder Körperzelle beeinflusst (Haacke 1893). Er modifizierte *Darwins* Pangenesisvorstellung insofern, als er eine dynamische Übertragungsweise annahm, die nicht von materiellen Pangenese ihren Ausgang nimmt. Da die Weitergabe von Eigenschaften dynamisch geschehe, sei der Zelleib und nicht der Kern Träger der Vererbung. Denn die Zellen berührten sich nicht an den Kernen, die im Inneren der Zelle liegen, sondern mit ihrem Leib (Haacke 1893: 49). *Haacke* widersprach mit seiner Auffassung der Lehre *Weismanns* und anderen Forschern seiner Zeit. Er entwarf mit der Vorstellung eines *Dynamischen* der Vererbung bereits ein Konzept, das später, nach Formulierung des klassischen Genbegriffes, und noch später, nach biochemischer Formalisierung, in den Vordergrund rückte.

Das Plasma der Eizelle sah *Haacke* aus „*Individualitäten*“ von bestimmten Formen so aufgebaut, dass sich die Form der Eizelle ergebe. „*Gemmarien*“ nennt er deren Plasmaelemente. Die Form der Gemmarien wechsele mit der Tierart. Doch als kleinste morphologische Elemente des Plasmas sah er nicht jene Gemmarien an, sondern hielt diese wiederum für zusammengesetzt aus einheitlichen „*Gemmen*“, die sich regelmäßig zu rhombenförmigen Säulen ausbilden würden. Sämtliche „*Grundverhältnisse*“ des Tierkörpers seien erklärbar durch die Zusammenfügung der Gemmen an ihren Grund- oder Seitenflächen. Die Rhombenform dieser Gemmen sei, ähnlich wie auch die hexagonalen Kristallisationsmuster von Wasser, nicht weiter abzuleiten. Eine Gemme entstehe als „*chemische Zusammensetzung*“ von Molekülen wie ein „*Kalkspatkristall aus den Molekülen des kohlensauren Kalks, an welche Kristallwasser gebunden ist*“. Haacke wählte den Ausdruck „*Gemme*“, um den Baustein der Gemmarien zu unterscheiden von *Darwins* „*Gemmulae*“ (Haacke 1893: 119).

Die Vererbung geerbter und neu erworbener, im Plasma gespeicherter Eigenschaften sei beeinflusst durch Akteure der Vererbung, die nicht in den morphologisch sich ewig gleichbleibenden Bausteinen der Erbpartikel, den Gemmen zu sehen seien, sondern in den Gemmarien. Erstere zögen sich indessen gegenseitig an und stünden miteinander in einem Gleichgewicht wie die Einheiten, aus denen sie bestünden. Das Gleichgewicht sei labil. Äußere Einflüsse, Wärme, Nahrung, physikalische und chemikalische Kräfte würde es stören, die Ordnung der Gemmarien verschieben und durch Formänderung des Organismus in das Erbgedächtnis eingehen. Hierin beruft **Haacke** sich auf Ergebnisse **Nägelis** (Haacke 1893: 312). Dieser hatte bereits aus Molekülen zusammengesetzte vererbungsrelevante Plasmaelemente angenommen, die *Micellen*. Anders als **Haacke** Gemmen stellte sich **Nägeli** kleine Erbeinheiten multipel geformt vor. Micellen mit der Eigenschaft, Vererbungsträger zusammensetzen und sich selbst beständig umzugruppieren, schienen gemäß Nägelis Theorie eine interne Kraft dieser Bewegungen zu enthalten. Nicht so die Gemmarien Haackes, diese würden durch äußeren Anstoß verändert.

Neben **Haeckel**, der schon den Plastidulen dynamische Eigenschaften verliehen hatte, ist hier **Spencer** zu erwähnen. Ihn nennt **Haacke** den Urheber seiner Vererbungsauffassung, da dieser mit dem Modell „*physiologischer*“ Einheiten zu solchem Verständnis die Lehre gegeben habe.

Entgegen aller entwicklungsmechanischen Fundierung seines Konzeptes erklärt Haacke materialistische Deutungen für unzureichend, um die Gestalt der Lebewesen beschreiben zu können. Die „*spezifische Formbildung*“ sei „*in letzter Linie transcendental*“, und „*allein diessseits der allerletzten Elemente der Materie vermag ich das Transcendentale der Formbildung nicht anzuerkennen*“ (ibid.).

Die Geschichte der Formulierung einer Vererbungssubstanz aus materiell definierten partikulären Einheiten war an einen Punkt gelangt, an dem die Zweckvorstellung bereits verlassen ist. Voraussetzungen der Theorie waren in den Hintergrund getreten. Hatte noch **von Baer** 1827 nach Entdeckung des Säugetiereies in den Eifollikeln der Eierstöcke von Hunden für die Entstehung organischer Gebilde eine zielstrebige Wirkweise nach Zwecken angenommen, so wurde dieser Gedanke fortan ersetzt durch die Hypothese eigenständig wirksamer Erbeinheiten, aus deren *immanenten*

*chemikophysikalischen* Gegebenheiten nun Vererbungsgesetze einer solchen Natur sowohl die Regelmäßigkeiten als auch die Abweichungen der Gestalt- und Eigenschaftsbildung von Lebewesen zu erklären suchten, denn Chemie und Physik der Moderne geben sich prinzipiell bar jeder *causa finalis*, jeder Zweckursächlichkeit.

Den Gedanken übergeordneter Größen, aus denen Baupläne der Arten abzuleiten wären, übernahm eine noch vage Gesetzlichkeit nach Art eines *bio - genetischen* Grundgesetzes im Rahmen der Vorstellung, dass jeder Artcharakter in langfristigen Perioden historisch vollkommen relativ aus einer Wettkampfgeschichte von um ihr Überleben rivalisierenden Pflanzen und Tieren zu verstehen sei. Die Organismen und die sie zusammensetzenden Partikel seien gesteuert von Zufälligkeiten sowohl in ihren Baustoffen selbst, als auch den Umwelteinflüssen, die aber beide bedingt seien von den Regelmäßigkeiten der Grundlagenwissenschaften Physik und Chemie. In der Metaphysik der Stofflichkeit vereinigte eine physiologisierte Chemie die Physik mit Chemie zu einer Biologie der kleinsten belebten Teilchen. Sie ermöglichte für die Interpretation des makroskopisch und zunehmend mikroskopisch Gesehenen einen egalisierenden Zusammenhang zwischen belebter und unbelebter Substanz. Die Herkunft aller Bewegung ist verlegt in die Prinzipien von Materialien, die, in der modernen Metaphysik der Stofflichkeit, in anscheinend regional autonomen Naturbereichen, von den Einzelwissenschaften zu werten seien und eine veränderte Methodik der Nachforschung erfordern.

**DIE ERSTE EXPERIMENTELL ENTWICKELTE VERERBUNGSLEHRE  
MENDEL: MERKMALE SIND ZUSAMMENGESETZT AUS ELEMENTEN**

In vorauseilendem Unterschied zur Fachbiologie seiner Zeit steht der Gelehrte *Johann Gregor Mendel*.

Über den Lebensweg Mendels berichtet *Ingo Krumbiegel* (Krumbiegel 1955):

Geboren ist Mendel am 22. Juli 1822 im österreichischen Schlesien in Heinzendorf, aufgewachsen auf dem bäuerlichen Gut seiner Eltern in einer Umgebung, die seine Neigung zu lebenslanger Beschäftigung mit Pflanzen weckte. Sein Vater, ein begeisterter Pflanzenbauer und Obstzüchter, und der Pfarrer seiner Heimatgemeinde, der ebenfalls mit Vorliebe Fruchtbäume pflegte, versorgten die Dorfbewohner mit Pflanzensamen. Sie unterwiesen sie in der Technik der Veredelung und den neuesten Kenntnissen der Obstbaumhaltung. In einem Schulgarten des Gutes Waldburg lernten die Schulkinder allgemeine Naturkunde und praktischen Umgang mit Bienen und Pflanzen. Nach der Volksschule und einer Schule des Piaristenordens besuchte Mendel das Gymnasium. Missernten und der Umbau des elterlichen Hofes hatten zur Folge, dass Mendels Eltern das Schulgeld nicht mehr zahlen konnten. Mendel war mit 16 Jahren allein auf sich gestellt. Während der Schulzeit gab er Privatunterricht, in den Ferien arbeitete er auf dem Hof seiner Eltern. Ein Vorbild für das auch später von ihm ausgeübte lernende Lehren fand er in dem Onkel seiner Mutter, der es als Autodidakt zum ersten Lehrer von Heinzendorf gebracht hatte. In seiner Kinderzeit war Mendels liebste Spielgefährtin die jüngere Schwester Theresia. Sie mochte ihren Bruder über alles und verzichtete auf einen Teil ihres Erbes, um ihm das Studium zu ermöglichen. An der Universität Wien interessierte sich Mendel besonders für Biologie und Physik. Es war denn auch sein Physikprofessor, der ihn durch Fürsprache dem Orden der Augustiner empfahl. 1843 wurde er als Novize in das Kloster von Brünn aufgenommen und erhielt den Namen Gregor. Er kam in einen Kreis von hervorragenden Gelehrten der Sprachen, Philosophie, Naturwissenschaften und Musik. Außer Latein und Griechisch lernte er Hebräisch, Chaldäisch, Syrisch und Arabisch, sowie Tschechisch für die Predigt. 1847 wurde er Diakon und bald darauf Priester. Schon ohne offiziellen Studienabschluss war es ihm gestattet, am Gymnasium von Znaim zu unterrichten. 1848 wurde Mendel promoviert, doch zwei Jahre später missglückten ihm die Abschlussprüfungen in Zoologie und Physik für das Universitätsexamen. Dementgegen hatte er als Neunundzwanzigjähriger von seinem Abt und Bischof die Erlaubnis zum

Studium in Wien erhalten. Drei Jahre später wurde er Lehrer an der Realschule von Brünn. Er gelangte nicht nur zu hervorragenden Lehramtszeugnissen, sondern war auch unter seinen Schülern ungewöhnlich beliebt. Sein Examen 1856 in Wien endete schließlich erfolglos, ohne dass bekannt wäre, ob Mendel aus eigenem Antrieb davon zurücktrat oder durchfiel.

Die nächsten sieben Jahre begründeten seinen Nachruhm. Mendel widmete sich während dieser Zeit ganz dem Studium der Gartenerbse. Er hatte die Entstehung von Bastarden als ein Kernproblem der Vererbung entdeckt; **Darwin** hingegen sah in seiner Theorie, welche Mutabilität ad infinitum beweisen sollte, sämtliche Konstanz prinzipiell als vorübergehend an. Der nachmalig führende Grundlagentheoretiker der Biologie seiner Zeit erhielt allem Anschein nach keine Kenntnis von **Mendels** Argumentation. Mendel setzte sich mit Darwins Begründung in ganzem Umfang auseinander. In der Klosterbibliothek sind sämtliche Schriften des Evolutionstheoretikers heute noch vorhanden, versehen mit Randnotizen von Mendels Hand. Aus seinen Ergebnissen ist eine Neubildung von Arten durch Entstehung von Bastarden nicht abzuleiten, da Kreuzungen keine Merkmale neu kreieren, sondern nur vorherbestehende Eigenschaften in regelmäßiger Folge neu kombinieren lassen. **Bateson**, Begründer des Namens *Genetik*, erklärte 1914, „daß die Entwicklung der Evolutionsbiologie einen ganz anderen Verlauf genommen hätte, als wir ihn beobachtet haben, wenn Mendels Werk *Darwin in die Hände gefallen wäre*“ (**Krumbiegel** 1955: 55 zit. n. **Bateson** 1914).

1868 wurde Mendel Abt seines Klosters und stellte sich in Rom dem Papst vor. In seiner neuen Amtswürde blieb ihm nur wenig Zeit für wissenschaftliche Arbeit. 1874 belastete ein neues Religionsfondgesetz das Kloster mit Abgaben, denen das Klostervermögen nicht gewachsen war. Während andere Klöster sich beugten, leistete Mendel bis an sein Lebensende hartnäckigen Widerstand. Er stellte die Rechtsgültigkeit des Gesetzes an sich infrage. Nach schweren Auseinandersetzungen musste Mendel Pfändung hinnehmen, obwohl er vom Landtag Mährens in den Verwaltungsrat der Hypothekenbanken gewählt und vom Finanzminister zum Mitglied der Landeskommission für Grundsteuer berufen war. Mendel fühlte sich verfolgt. Er vereinsamte. 1884 starb er mit einer geschädigten Niere und einem insuffizient gewordenen Herz.

In den einleitenden Bemerkungen zu seinen Versuchen bezeichnet **Mendel** sein Ziel: eine Frage zu lösen, „*welche für die Entstehungsgeschichte der organischen Formen von nicht zu unterschätzender Bedeutung ist*“. Denn bisher sei es nicht gelungen, „*ein allgemein gültiges Gesetz für die Bildung und Entwicklung der Hybriden aufzustellen*“ (Mendel 1866: 3). Schon die systematische Einreihung der Leguminosen sei „*schwierig und unsicher. [...] Wollte man die schärfste Bestimmung des Artbegriffs in Anwendung bringen, nach welcher zu einer Art nur jene Individuen gehören, die unter völlig gleichen Verhältnissen auch völlig gleiche Merkmale zeigen, so könnten nicht zwei davon zu einer Art gezählt werden*“ (Mendel 1866: 6).

In der Betrachtung von Vererbungserscheinungen führte Mendel als erster das äußere Gesamtbild einer Pflanze auf wenige streng unterschiedene Einzelmerkmale zurück (Mendel 1866: 7). Er hoffte, so das Verschwinden und Wiederauftreten eines von ihm definierten Merkmales statistisch festhalten zu können (Mendel 1866: 4). Somit verglich er nicht, wie es die Methode seiner Vorgänger einzig zugelassen hatte, das Gesamterscheinungsbild zwischen Vor- und Nachfahren. Sie hatten sich in ihrem Ähnlichkeitsvergleich zumeist darauf beschränkt darzulegen, wie weit ein Einfluss der väterlichen oder mütterlichen Seite auf die Nachkommen festzustellen sei. Die zahlenmäßige Merkmalsverteilung auf große Zahlen von Individuen blieb dabei außer acht. Historiker der Genetik sehen hierin den Grund dafür, daß Erbgesetze nicht früher entdeckt wurden (**Bowler** 1989: 96; **Cremer** 1985: 210; **Dunn** 1965: 5).

**Mendel** wählte einen anderen Weg. Zunächst bestimmte er nach rein äußerlichem Aspekt, was als ein Merkmal gelten sollte. In ausgedehnten Zuchtreihen musste sich die betreffende Eigenschaft erst einmal als merkmalskonstant erweisen, damit die Trägerpflanze für den Hauptversuch verwendet werden konnte. Eine Tatsache der Vererbung sei bekannt: Konstante Merkmale, die beiden Elternpflanzen gemeinsam sind, gehen unverändert auf die Nachkommen über (Mendel 1866: 7). Mendel schlug daher folgende Versuchsanordnung vor. In einem ersten Experiment sollten diejenigen Eigenschaften zweier Stammpflanzen, die als different definiert werden können und dasselbe Merkmal betreffen – heute als Allele eines Gens bezeichnet – zu einer einheitlichen Eigenschaft vereinigt werden („Hybridengeneration“). Danach sollte mittels Selbstbefruchtung der Hybriden untereinander und ihrer Nachkommen das weitere Erbverhalten des hybridisierten Merkmals beobachtet und statistisch erfasst

werden. Nur in solcher Anordnung sei eine präzise Beobachtung wohldefinierter Merkmale über längere Generationsfolgen hinweg möglich.

Indem er zweigeschlechtliche Pflanzen, sowohl als männliche Samenpflanzen wie auch als weibliche Pollenpflanzen verwendete, wollte Mendel prüfen, ob auch die geschlechtliche Herkunft erblichen Einfluss auf die Merkmalsausprägung nimmt (Mendel 1866: 9).

Als Versuchsobjekt wählte Mendel Erbsen der Art *Pisum sativum*. Diese Pflanze sei konstant und übersichtlich in ihren Merkmalen, leicht vor einer irreführenden Fremdbestäubung zu schützen und fruchtbar in den Nachkommen. Zur Befruchtung öffnete er die noch unausgereifte Knospe, entfernte mit einer Pinzette alle Staubfäden, und belegte die Narbe mit dem Pollen der anderen, ein „*differirendes*“ Merkmal tragenden Pflanze (Mendel 1866: 6). Er erzielte hohe Nachkommenszahlen und listete die Veränderung einzelner Merkmalspaare gegenüber dem elterlichen Stammpaar in der Erbfolge exakt auf. Für das Auftreten, Verschwinden und Wiedererscheinen einer Merkmalsausprägung ergaben sich in jeder Generation – in statistischer Variationsbreite – feste Zahlenverhältnisse, die auf alle Merkmale zuträfen. Diese Tatsache führte Mendel dazu, etwas Regelmäßiges anzunehmen, das der Vererbung zugrunde liegen müsse. Insbesondere vermutete er, dass es für die nach sinnlichem Aspekt abgrenzbaren Merkmale schon in den Pollen und Keimzellen der Pflanzen innere „*Elemente*“ geben müsse. Offenbar handelte es sich bei diesen um etwas bislang Unsichtbares von noch unerforschter Daseinsweise.

Die folgenden Merkmalspaare verwendete er als differierende Stammeigenschaften:

1. grüne gegenüber gelben Albumina der Samen,
2. runde Erbsen mit allenfalls seichten Einsenkungen gegenüber unregelmäßig gekanteten, tief gerunzelten Erbsen,
3. weiße Samenschalen versus graubraunen,
4. nicht verengte gegenüber deutlich eingeschnürten, reifen Samenhülsen,
5. hellgrüne gegenüber „*lebhaft*“ gelben Hülsen,
6. achsen- gegenüber endständig angeordneten Blüten,
7. kurze gegenüber langen Blütenachsen.

Jeweils zwei Pflanzen mit gegensätzlichem Merkmal bildeten ein Stammpaar für die Kreuzung. In getrennten Versuchsreihen verfolgte Mendel die Veränderung nur von einem Merkmalspaar oder eine Kombination von zweien, dreien und mehreren, um

einen gegenseitigen Einfluss der Merkmalspaare auf die hybriden Merkmale erkennen zu können (Mendel 1866: 8-11).

Die Nachkommen der ersten Generation waren allsamt in dem betrachteten Merkmal einheitlich und glichen nahezu vollkommen nur dem einen der beiden *differierenden* Stammerkmale des Elternpaares. Als nächstes kreuzte Mendel die uniformen Merkmalsträger untereinander. Dabei ergab sich etwas Erstaunliches. Die Nachkommen der zweiten Generation trugen wieder genau diejenigen Eigenschaften, von denen Mendel in der Stammgeneration ausgegangen war. Das herrschende Merkmal, das sich in der ersten Filialgeneration einheitlich durchgesetzt hatte, musste sich also wieder in die Ausgangsmerkmale aufgespalten haben. Für alle der sieben untersuchten Merkmalspaare fand sich in der Spaltungsgeneration dasselbe Zahlenverhältnis von 3 : 1. Dasjenige Merkmal, das sich in der Hybridengeneration als dominierend erwiesen hatte, war jetzt nurmehr dreifach häufiger vertreten als die alternierende, zunächst verschwundene und nun wieder aufgetauchte Eigenschaft. Die Vererbung auf die ersten Nachfahren sei demzufolge durch eine „*Uniformitätsregel*“ geleitet, während im zweiten Vererbungsgang eine „*Spaltungsregel*“ wirke.

In strenger Begrifflichkeit sprach Mendel von *Regeln*; der Titel eines *Gesetzes* wurde erst später parallel gebräuchlich („Erbgesetze“).

Auch in den weiteren Generationen übte die Spaltung ihren Einfluss aus. Der Proporz blieb stets derselbe. Um die Natur eines Merkmals zu prüfen, überließ Mendel jeweils Erbsen gleichen Merkmals wiederholt der Selbstbefruchtung. Sein Ergebnis: Die zuerst dominierende Eigenschaft spaltete sich in allen folgenden Generationen immer wieder im Verhältnis von 3 : 1 auf. Die Merkmalsträger hingegen, die das in der uniformen Hybridengeneration verschwundene Merkmal erneut aufwiesen, bildeten seit der Spaltung des dominierenden und uniformen Merkmals in sämtlichen Nachfolgenerationen untereinander nur immer wieder dieses eine, in erster Generation überdeckte Merkmal aus. Genau besehen zeigt das in erster Generation völlig zurückgewichene Merkmal nachherig sogar ein recht dominantes Verhalten, da es, mit seinesgleichen gekreuzt, weiterhin unterschiedslos auftritt, während hingegen das dominierende Merkmal fortwährend Merkmalsträger an die Gruppe der gegenteiligen verliert. Je nach dessen Durchsetzungskraft definiert Mendel einen Merkmalstyp als „*dominant*“ oder als „*recessiv*“: „*In der weiteren Besprechung werden jene Merkmale, welche ganz oder fast unverändert in die Hybride-Verbindung übergehen, somit selbst die Hybridenmerkmale repräsentieren, als dominierende und jene, welche in der Verbindung latent werden, als recessive bezeichnet. Der Ausdruck recessiv wurde deshalb gewählt,*

*weil die damit benannten Merkmale an den Hybriden zurücktreten oder ganz verschwinden, jedoch unter den Nachkommen derselben, [...], wieder unverändert zum Vorschein kommen"* (Mendel 1866: 7).

Ein Name erklärt noch nicht ein seltsames Phänomen: Wieso konnte eine Eigenschaft wie die grüne Erbsenfarbe in der zweiten Filialgeneration plötzlich wieder auftreten, obwohl die Angehörigen der vorangegangenen Generation ausschließlich gelbe Erbsen getragen hatten? Und woher dieses Wiederauftreten einer zuvor verschwundenen Eigenschaft in jeder weiteren Generation in einem ganz bestimmten Zahlenverhältnis? Mendel kam auf einen einfachen Gedanken, den vor ihm noch niemand entwickelt hatte. Dieser Gedanke läßt sich so formulieren: Jedes Merkmal, statistisch begriffen, setze sich – gewissermaßen im Verborgenen – aus zwei Komponenten zusammen. Seien die beiden inneren Bestandteile eines Merkmals einheitlich, so ergebe sich auch ein einheitliches äußeres Erscheinungsbild, entweder des dominanten oder des rezessiven Merkmals. Bei einer inhomogenen Zusammensetzung im Vererbungsverlauf dagegen falle das Ergebnis innerlich verschieden aus. Äußerlich sichtbar werde nur die dominante Eigenschaft, die über den rezessiven Anteil des Merkmals infolge ihrer Dominanz überwiege [l. c.]. Der Unterschied zwischen dominant und rezessiv unterliegt damit selbst noch einmal einem *Innen-/Außen-Unterschied*. Um diesen Unterschied, der für Dominanz und Rezessivität verantwortlich ist, zu beschreiben, lagen Mendel keine sprachlichen Kriterien vor, die eine wissenschaftliche Formalisierung erlaubt hätten, in der die Anthropomorphie der Beschreibung nicht mehr nachzuweisen gewesen wäre wie in biochemischer Terminologie. Er verwendete rein abstrakt Groß- und Kleinbuchstaben des Alphabets.

Der neue Merkmalsbegriff birgt in seiner weiteren Verwendung eine Neuheit. In Hinsicht auf die Vererbung wird nicht zwischen wesentlicher bzw. substantieller Eigenschaft und akzidentell d.h. unwesentlicher unterschieden. Gleichgültig, ob es sich um einen Farbcharakter oder das Bauprinzip eines lebensnotwendigen Organs handelt, als „erblich“ wird thematisiert, was über mindestens einen Generationswechsel als konstant beobachtet wird, ohne Bezugnahme auf sein Wozu für das Lebewesen. In der neuen Relativität erscheint jedes *Merkmal* als ein den anderen gleichwertiges einer Art, einer Gattung, eines Individuums. Ein ursächlich bedingendes Eingehen von allgemeinen Merkmalen in spezielle, von übergeordneten in untergeordnete, eine Hierarchie von Eigenschaften und ein kausaler Einfluss der Hierarchieprinzipien auf die Einzeleigenschaft wird auf diese Weise nicht ersichtlich.

Die Thematisierung dieser Probleme entfällt für die Frage nach der Vererbung; sie wurde später hin und wieder eine der Aufgaben der Physiologie, doch ohne deren vorrangige Aufgabe zu bilden – biologische Teildisziplinen, die nur teils zueinander finden.

Mendel zählt weitere Merkmale auf, deren Erbverhalten zu vernachlässigen sei, weil Grenzen nicht klar und deutlich zu ziehen wären: Unterschiede in der Länge der Pflanzenstengel, von Größe und Gestalt der Blätter, in Anordnung, Größe und Farbe der Blüten und Hülsen (Mendel 1866: 7). Die Abgrenzung relevanter und irrelevanter Merkmale entscheidet nicht im Voraus darüber, was als erblich und nicht erblich angesehen wird. Das Entscheidungsverfahren folgt nicht einem *wissenschaftlich* begründeten Merkmalsbegriff, aus dem erschlossen werden kann, was eigentlich als ein Merkmal gelten darf, sondern bleibt zu gewissen Teilen willkürlich, trotz seiner objektivierenden Absichten. Mendel schränkt daher ein, dass die Merkmale wegen der Schwierigkeit der Bestimmung eines *mehr oder weniger* eine sichere Trennung nicht zulassen. Erst aus dem Erfolg der Versuche will er ableiten, ob die Merkmale „*in hybrider Vereinigung sämtlich ein übereinstimmendes Verhalten zeigen*“ und ob daraus auch das Verhalten der Merkmale „*von untergeordneter typischer Bedeutung*“ zu beurteilen sei. Mendel ist sich der Schwierigkeiten eines Merkmalsbegriffs in seiner quantitativen und qualitativen Abgrenzung also durchaus bewusst.

Der von ihm noch tastend und vage gebrauchte Begriff eines Merkmals wurde später ausgedehnt auf die Vorstellung der erblichen Körperfunktion. In dieser Sicht erblich sind nicht nur Eigenschaften wie Farbe, Größe und Gestalt, sondern auch stoffliche Bewegungen oder Bewegungsmuster von Organen.

Das Problem der erblichen Herkunft von Eigenschaft verlagert sich somit auf das Problem der Differenz von dauerhaft gedachter Erbinheit und Bewegung. Wie kann aus einem materiell gedachten Erbfaktor Bewegung entstehen, eine Funktion des Faktors? Mendel nähert sich zwar der Problematik, wenn er die Schwierigkeit einer Ausgrenzung von Eigenschaften bemerkt, doch fehlen Termini wie die der *physiologischen Funktion* oder der *biochemischen Stoffwechselreaktion*. In der Schlussbemerkung seiner Untersuchung gebraucht er den Begriff des Elements als des vererbungsbestimmenden Prinzips, ohne ihn näher zu bestimmen. „*Die unterschiedlichen Merkmale zweier Pflanzen können zuletzt doch nur auf Differenzen in der Beschaffenheit und Gruppierung der Elemente beruhen, welche in den*

*Grundzellen derselben in lebendiger Wechselwirkung stehen"* (Mendel 1866: 42; Sperrdruck v. Kurt Plischke).

Mit dieser Bestimmung ist der Vererbungsforschung das Paradigma gesetzt. Mendel überträgt als Erster zwingend den Elementbegriff auf das Phänomen der erblichen Weitergabe von Eigenschaften.

Die Aufgabe der sich verselbständigenden Wissenschaft von der Vererbung – der Name *Genetik* bestand noch nicht – war somit gestellt: Ist das Vererbungselement elementar im Sinne einer Urhebung der Bewegungen der sich ihm anschließenden *Funktionen*? Oder ist das Element nur ein Erstes in dem Sinn, dass es eine Matrix für die Körperbausteine bildet, also für das, was bei Mendel etwaig Eigenschaft heißt? Und: Ist das Element elementar kraft seiner selbst, oder ist es Element immer nur dank eines anderen, vorhergehenden Elements? Was wäre in diesem Fall das durch die Elementwirkung übertragenen Allgemeine in den zahlreichen Elementen der Vererbung?

Die Elementarisierung des Erbgedankens wurde wiederum zwingend eingeführt durch die Idee Mendels, generationenübergreifend den Verlauf zuvor abgegrenzter Einzeleigenschaften zu verfolgen. Mendel konnte daraufhin den einzelnen Eigenschaften jeweils für sich bestehende Ursachen zusprechen. Da er dann eine Eigenschaft nicht als ein unteilbares Ganzes auffasste, sondern noch einmal als zusammengesetzt durch zwei eigenschaftsevozierende Momente, war eine neue Beschreibung für den altbekannten Unterschied von äußerer Erscheinung und innerer Ursache gefunden.

Für das von innen heraus bestimmend Wirkende gebraucht Mendel nicht nur den Begriff *Element*, den er erst in der Schlussbemerkung zu seinen Versuchen einführt, sondern auch die Ausdrücke *Anlage*, *Faktor* und *Keimzell-* bzw. *Pollenform*. Konstante Nachkommen könnten nur dann gebildet werden, „wenn die Keimzellen und der befruchtende Pollen gleichartig, somit beide mit der Anlage ausgerüstet sind, völlig gleiche Individuen zu beleben" (Mendel 1866:24). „Wir müssen es daher als notwendig erachten, dass auch bei Erzeugung der constanten Formen an der Hybridpflanze vollkommen gleiche Factoren zusammenwirken" (ibid.), also mindestens zwei Faktoren verschiedener Herkunft. Mendel hatte schon damit eine Entdeckung gemacht, die für

den weiteren Verlauf der Geschichte der Genetik von nicht zu überschätzender Bedeutung ist. Und noch mehr: „*Indessen wird es nach den Regeln der Wahrscheinlichkeit im Durchschnitte vieler Fälle immer geschehen, dass sich jede Pollenform A und a gleich oft mit jeder Keimzellform A und a vereinigt*“ (Mendel 1866: 29). Nach Wiederentdeckung der Mendelschen Ergebnisse wurde diese von Mendel eingeführte Unterscheidung zu einem der Merkmale des Genbegriffs: Jedes Gen tritt in zwei *allelen* Formen auf.

Mendel gewann eine weitere Einsicht, die mit seiner Herleitung der Eigenschaftsbildung von Lebewesen aus eigenständigen Partikularursachen in Einklang steht. Die Vererbung eines jeden gemischten „*hybriden*“ Merkmals sei unabhängig von der Vererbung der anderen Eigenschaften der Pflanze, da deren Ausbildung gleichfalls eigenständig nur der Spaltungsregel unterliege (Unabhängigkeitsregel). Die Frage nach dem Zusammenhang der Eigenschaften zu einer Organisation und deren Vererbungsweise ist nicht gestellt.

Für die Methodik der Fragestellung einer biologischen Suche nach dem wirksamen Vererbungsfaktor bleibt festzuhalten: Die beschriebenen Regularitäten der Vererbung ergeben sich allein aus den Gesetzen der Kombinatorik. Jeder Nachkomme eines Pflanzenhybrids wird als ein Glied einer Folge von Kombinationen angesehen, die sich wiederum als Ergebnis zweier vorangehender Entwicklungsreihen ergeben. Die Vorgeschichte jedes Merkmalsanteils geht so in das aktuelle Merkmal ein, allerdings regelhaft und nicht regellos *post regulam per selectionem* als der der Willkür unterliegenden Überregel. Doch auch die von Mendel eingeführte Betrachtungsweise leitet die faktische Existenz eines Merkmals aus dessen Geschichte ab, einer exakten Kombinationsgeschichte seiner Bestandteile. Alle Charakteristika, er nennt sie Merkmale, werden als sukzessive, von Generation zu Generation sich aufbauende Zusammensetzung begriffen. Ein Merkmal ist auch hier das Produkt seiner Geschichte, doch völlig anders als bei Darwin, dessen Theorie auch Dominanz und rezessive Unterordnung kennt. Bei Mendel beherrschen Dominanz- und Rezessivitätsverhältnisse ebenfalls unbekannter Herkunft das statistische Auftreten von Merkmalen von vornherein zu einem weiten Grad *regelhaft* und nicht erst im Nachhinein darwinisch selektiert. Beide Anthropomorphien haben eine verschiedene Berechtigung, aber bei Darwin ist die Anthropomorphie viel ersichtlicher. Umso erstaunlicher, dass gerade dies von der Biologie heute noch bestritten wird – eine

kontingent historisch entstandene Folge, die sich anscheinend selbst selektioniert hat im wissenschaftlichen, damals sogar antireligiös motivierten struggle for life.

Mit **Mendels** und **Darwins** Beschreibung wird Vererbung als ein selbständiges Prinzip vorgestellt, das eine Wissenschaft eigener Provenienz erfordert. Denn bewiesen scheint nun, dass Vererbung eine irgendwie geartete Gesetzmäßigkeit besitzt, die ihr eigenständig innewohnt. Gemäß **Mendel** besteht diese Gesetzmäßigkeit aufgrund der Weitergabe spezifischer Erbelemente mittels Keimzellen, weil, wie er sagt, die Keim- und Pollenzellen *„in gleicher Anzahl allen konstanten Formen entsprechen, die aus der Kombination der durch Befruchtung vereinigten Merkmale hervorgehen“* (Mendel 1866: 25). Nach Vereinigung einer Keim- mit einer Pollenzelle zu einer einzigen Zelle entwickle sich *„durch Stoffaufnahme und Bildung neuer Zellen“* ein selbständiger Organismus. *„Diese Entwicklung erfolgt nach einem konstanten Gesetze, welches in der materiellen Beschaffenheit und Anordnung der Elemente begründet ist, die in der Zelle zur lebensfähigen Vereinigung gelangten. Sind die Fortpflanzungszellen gleichartig und stimmen dieselben mit der Grundpflanze der Mutterzelle überein, dann wird die Entwicklung des neuen Individuums durch dasselbe Gesetz geleitet, welches für die Mutterpflanze gilt. Gelingt es, eine Keimzelle mit einer ungleichartigen Pollenzelle zu verbinden, so müssen wir annehmen, dass zwischen jenen Elementen beider Zellen, welche die Ungleichheit bedingen, irgendeine Angleichung stattfindet. Die daraus hervorgehende Vermittlungszelle wird zur Grundlage des Hybriden-Organismus, dessen Entwicklung nothwendig nach einem anderen Gesetze erfolgt, als bei jeder der beiden Stammarten“* (Mendel 1866: 41; Unterstreichung v. Kurt Plischke).

Den Merkmalsformen, nunmehr als eine Zusammensetzung aufgefasst, gehen ursachengebend spezialisierte Keimzellen voraus, die den entwickelten Merkmalen in für eine Wissenschaft der Vererbung noch fragwürdiger Weise inhaltlich und zahlenmäßig entsprechen. Die Art und Weise der Entsprechung des so gefassten Innen-/Außen-Unterschieds fordert, ja eröffnet eine neue Beschreibung, um das Phänomen der Eigenschaftsbildung zu ermitteln. Das Problem der Vererbung liegt wieder auf einer Ebene hinter der äußerlich sichtbaren Eigenschaft, diesmal in statistisch erschlossenen, biologischen Elementen. Mendel konzentriert die Ursächlichkeit der Vererbung daraufhin, dass auf der Basis etwaiger Keim- und Geschlechtszellen, die

man später *Gameten* nennt, eine Spezialisierung eintrete, die für die Ausgestaltung jedes Merkmals maßgebend sei. Mit dieser Formulierung konnte der artbildende Faktor als ein eigenes biologisches Wesen aufgefasst werden und stellt sich dar als ein intrazellulärer, noch geheimnisvoller Bürge von Konstanz im sich wiederholenden Wechsel des äußeren Erscheinungsbildes. Trotz ihrer äußerlich so unauffälligen Ähnlichkeit wären die Keimzellen innerlich verschieden. Die statistische Merkmalsanalyse stellte für Medizin und Biologie die Aufgabe, für das hinter den Merkmalen Vermutete eine neue Formalisierung zu schaffen, auf die der begriffliche Zusammenhang der Naturwissenschaft des Lebendigen dann ausgerichtet werden musste. Ob in diesem neu gefundenen Beieinander von Formel und durch sie verstandenem Sein nicht wieder eine metaphysische Diskrepanz verbleibt, kann an dieser Stelle der Geschichte des Gens nicht entschieden werden.

Aus *Mendels* Ansatz ergeben sich folgende Regelmäßigkeiten:

1. Alle Nachkommen unterschiedlicher Elternpflanzen sind in denjenigen differierenden Merkmalen, die sich zu einer reinen Linie herauskristallisiert hatten, uniform. Entweder setzt sich zunächst ein dominierendes Merkmal einheitlich durch (dominant-rezessiver Erbgang), oder es entwickelt sich eine Mittelstellung zwischen den elterlichen Stammerkmalen (intermediärer Erbgang).

2. In der zweiten Filialgeneration kommen die differierenden Ausgangsmerkmale wieder einzeln zum Vorschein. Mendel erklärt die elterlichen Merkmale deshalb zwar als in einer Hybride vereinigt, doch nicht als „*verschmolzen*“ (*Correns* 1905: 201; *Stubbe* 1963: 108). Im engeren Wortsinn ist die Hybride der ersten Filialgeneration daher gar keine echte Hybride, nicht, was die in ihr weiterwirkenden Entstehungsgründe ihrer nur einheitlich scheinenden Eigenschaft anlangt. Mendel gebraucht für die Ursachen der Eigenschaft im Abschluss seiner Untersuchung den Ausdruck *Element*. Die Eigentümlichkeit des wieder auflösbaren Mischungszustandes der elementaren Vererbungsfaktoren klingt anders als in dem Ausdruck *Hybride* im Ausdruck *Bastard* an.

3. Die merkmalsbildenden Entitäten liegen somit in den Keimzellen, Pollen und Samen, getrennt vor, so dass sie zufällig kombinieren können. Auch sie sind daher als distinkte Einheiten zu betrachten, wie die definitorisch abgegrenzten Merkmale der äußeren Erscheinung, von denen Mendel anfangs ausgegangen war. *Correns* erklärte *Mendels* Nachweis „*getrennter und beliebig verschiebbarer Anlagen für die später am*

*Organismus sich zeigenden Merkmale im Keimplasma der Fortpflanzungszellen"* zum wichtigsten Ergebnis der Versuche Mendels (Correns 1905: 190).

4. Auch die Frage nach der geschlechtlichen Abhängigkeit einer Merkmalsausprägung war jetzt beantwortet. Die Herkunft von der Samen- oder Pollenpflanze, den als männlich oder weiblich geltenden Stammpflanzen, hatte sich für das Dominanzverhältnis als gleichgültig herausgestellt. *„Es wurde ferner durch sämtliche Versuche erwiesen, dass es völlig gleichgültig ist, ob das dominierende Merkmal der Samen- oder Pollenpflanze angehört; die Hybridform bleibt in allen Fällen genau dieselbe"* (Mendel 1866: 11).

5. Die schwächere Eigenschaft ergibt sich nur aus der Reinform ihrer Elemente, während die stärkere Eigenschaft sowohl in Reinform, als auch in Mischform vorliegen kann, die beide äußerlich nicht voneinander zu unterscheiden sind. Dem Verhältnis von 3:1 dominanter gegenüber rezessiven Merkmalsträgern in ihrem Aussehen liegt ein inneres Verhältnis von 2:1:1 zugrunde. Ein Teil der Pflanzen ist rein dominant, ein Teil rein rezessiv, und zwei Teile sind gemischt dominant-rezessiv, da sie jeweils aus einem dominanten und einem rezessiven Erbfaktor zusammengesetzt sind. Weil sich in ihrem Fall äußerlich der dominante Charakter durchsetzt, ergibt sich dem Aussehen nach das Verhältnis von 3:1.

Die betreffenden Proportionen werden von der modernen Biologie als die *Mendelschen Erbgänge* behandelt. Die Genetik subsumiert darunter Erbgänge von Eigenschaften, deren Auftreten im Erbgang den Mendelschen Zahlenverhältnissen entsprechen. Für Merkmale, die einem *Mendelschen Erbgang* unterliegen, kann die Humangenetik eine Prognose über die Wahrscheinlichkeit geben, nach der Eltern einer bestimmten genetischen Konstellation, welche aus den Merkmalsträgern in der Reihe ihrer Vorfahren abgeleitet wird, ein krankes oder gesundes Kind erwarten dürfen.

Der Grundgedanke in alledem ist der folgende. Für sämtliche Charakteristika eines Lebewesens sieht Mendel zwei ursächliche Anteile gegeben, einen mütterlichen und einen väterlichen bzw. einen weiblichen und einen männlichen Beitrag, der sich jeweils durch ein eigenes Element in den Keimzellen Geltung verschaffe. Je nach den Dominanzverhältnissen der Elemente der beiden Geschlechter ähnelt der Nachwuchs merkmalsweise (aufgrund der Unabhängigkeitsregel) einer der beiden Seiten. Die Aufteilung jeder Eigenschaft in ein mütterliches und ein väterliches Element und die freie Kombinierbarkeit der Elemente nach den Zufallsregeln der Kombinatorik legt eine zwingende Kopplung der Erbfaktoren zu Nachbarschaftsgruppen nicht nahe.

Theoretisch beinhaltet diese Vorstellung von Vererbung also eine prinzipielle Mischbarkeit der Eigenschaften von allem zu jedem, sofern nur die Lebendigkeit des neuen Lebewesens gewährleistet ist. Dieser radikale Schluss wurde von der damaligen Vererbungsbiologie jedoch nicht in die Praxis umgesetzt. Erst in technologischer Perspektive erscheint er naheliegend. Eine gezielte Eigenschaftsübertragung wurde später aufgrund der Vorstellung von Genen als dem leibhaftigen Fundament der Mendelschen Merkmalfaktoren gentechnisch entwickelt, nachdem das Wesen des Erbfaktors durch eine Molekularvorstellung in biochemischer Formulierung umschrieben und als hinreichend verstanden angesehen wurde.

## DIE ENTSTEHUNG EINES ENTTELEOLOGISIERTEN VERERBUNGSBEGRIFFS

Auf den Seiten 40 bis 43 seines epochemachenden Werkes zieht *Mendel* die Schlussfolgerung aus seinen Untersuchungen der Hybridisierbarkeit von Pflanzen. Mendel - wie *Darwin* ein in Biologie und Medizin kenntnisreicher Gelehrter ohne die Ordination an einer Universität - entwickelte Grundgedanken, die erst später von einer eigenständigen Vererbungswissenschaft entfaltet wurden. In diesem Abschnitt gebraucht Mendel wiederholt den Ausdruck Element. Aus heutiger Sicht ist man geneigt, hierfür den Terminus Gen zu setzen.

Mendel erläutert, die Entwicklung der zu einer einzigen Zelle verschmolzenen Keim- und Pollenzelle aufgrund von Stoffaufnahme und Bildung neuer Zellen erfolge „nach einem constanten Gesetze, welches in der materiellen Beschaffenheit und Anordnung der Elemente begründet ist, die in der Zelle zur lebensfähigen Vereinigung gelangten“. Seine Versuche hätten erwiesen, „dass die Hybriden verschiedenartige Keim- und Pollenzellen bilden, und dass hierin der Grund für die Veränderlichkeit ihrer Nachkommen liegt“.

„Elemente“ also seien es, die eine Bildung konkreter Eigenschaften und die Gesetzmäßigkeiten der Vererbung bestimmen. Die Art und Weise dieser Determination sieht Mendel begründet 1. in den Materieeigenschaften dieser biologischen Elemente (ihrer „materiellen Beschaffenheit“) und 2. in ihrer „Anordnung“. In diesen Satz wird die ganze Novität von Mendels Vererbungsanschauung zusammengefasst. Alle Bestimmungsstücke der Vererbung liegen vor in einem regionalen Mikrobereich, der somit die biologischen Forschungen auf diesen sich konzentrieren lässt.

Für seine Erklärung der Vererbung aus dem Zusammenwirken paariger Elemente musste Mendel als gesichert voraussetzen, daß bei der Bildung der Zygote „eine vollständige Vereinigung der Elemente beider Befruchtungszellen“ stattfindet. Das galt damals keineswegs als gesichert. Mendel beruft sich auf die Ansicht „berühmter Physiologen“. Als Alternative sei nur denkbar, dass der Keimsack auf die Pollenzelle rein äußerlich wirke, wie die „Rolle einer Amme“. Doch daraus würde sich ergeben, dass die Hybride immer nur der Pollenzelle ähnele.

**Lily Kay**, Professorin am Department of Human Genetics and Biometry des University College London, weist auf eine wichtige Aussage von **Hans Kalmus**: *Mendels* Denken in paarig angelegten Eigenschaften gehe zurück auf dessen Vorbildung in scholastischer Philosophie und auf eine Rezeption von **Aristoteles** Substanzlehre. Entgegen der in der Geschichte der Naturwissenschaften herrschenden Auffassung deute **Mendel** gerade nicht auf materielle erbliche Einheiten in der Verursachung der einzelnen Merkmale, sondern auf eine Bestimmung der Erscheinungen durch gegensätzliche Essenzen. Mendels Konzept der Dominanz entspringe einer Umwandlung der Wesens-Philosophie von **Aristoteles**. Die Mendelsche Auffassung des Gegensatzes von Dominanz und Rezessivität gehe zurück auf Aristoteles Unterscheidung von Wirklichkeit und Möglichkeit. Dessen Aussage, so führt **Kalmus** aus, dass das Mögliche nicht immer realisiert werde, sei "*direkt anwendbar auf Rezessivität; ein rezessives Merkmal, obwohl es nicht in der ersten Hybridengeneration manifest werde, müsse nichts desto trotz potentiell gegenwärtig sein, da es in späteren Generationen wiedererscheinen könne.* [...] *Schließlich ist Mendels grundsätzliche Erkenntnis der Tatsache, daß die Gegensätze seiner Merkmalspaare nicht miteinander verschmelzen, vorweggenommen in der Darlegung der verschiedenen Arten von Verbindung in der Metaphysik. Aristoteles unterscheidet zwischen zwei Arten der Verbindung: Mischung und Synthese. In der ersten kommen zwei oder mehr 'Prädikate' zusammen, um eines - ein Neues - zu bilden, während letztere weniger enge Verbindungen verschiedener Art betrifft. Mendel verwendet, wenn er über 'eine dauernde oder vorübergehende' Verbindung spricht [...] ebenfalls solche Notationen"* (Kalmus 1983: 67, Übers. von Kurt Plischke). Bezeichnenderweise benutze **Mendel** in seiner Darstellung keine Konzepte der Chemie seiner Zeit. Die Analogie zwischen chemischen Atomen und physiologischen Einheiten der Vererbung sei viel später erst durch **William Bateson** im Jahr 1902 eingeführt worden (Kalmus 1983: 74). Erst die Wiederentdecker Mendels im Jahr 1900 hätten seine Theorie durch Termini partikulärer Vererbungseinheiten dargestellt, nachdem **Weismann** die von **Wilhelm Waldeyer** beschriebenen Chromosomen als die Träger der Erbeigenschaften vorgeschlagen hatte, mit der zufälligen Chromosomenverteilung während der Meiose als dem Grund der Aufspaltung von Erbeigenschaften (ibid. S. 79). Singuläre, partikuläre, alternative Vererbungsträger, *Allele*, seien nicht **Mendels** Terminologie zuzuschreiben, wenn er

*differierende Elemente* in den Zellen als die möglichen Ursachen für die Unterschiede der Hybridenpflanzen bezeichnet.

Grundlegend für Mendels Sicht sei die Auffassung einer teleologisch zielgelenkten Natur der bestimmenden Substanzen. „*Die Definition des Möglichen muß immer enthalten/ enthält immer die/ eine Notation des Wirklichen. Ähnlich fasst Mendel Anlage bzw. Faktor als ein mögliches Etwas auf, das bezogen ist auf ein manifestes Wirkliches bzw. Eigenschaft.*“ (ibid. S. 66; Übers. v. Kurt Plischke).

Für die Entwicklung der Jungpflanze nach Verschmelzung des Pollens mit der Keimzelle - **Mendel** unterscheidet sich hierin von **Aristoteles** – sind Mendel zufolge zwei Möglichkeiten denkbar. Zum einen könne zwischen den Elementen, „*welche die gegenseitigen Unterschiede bedingen*“, eine Angleichung stattfinden. Wäre sie vollständig, dann wären die Differenzen der elterlichen Elemente „*bleibend vermittelt*“. In diesem Fall müßte das hybride Merkmal unter allen späteren Nachkommen unverändert erhalten bleiben. Wäre hingegen die Angleichung der „*widerstrebenden Elemente*“ von Keim- und Pollenzelle bloß vorübergehend, so wäre die Vermittlung zwar soweit vorangeschritten, dass noch „*die Bildung einer Zelle als Grundlage der Hybride möglich*“ werde, aber nicht „*über das Leben der Hybride hinaus*“ reiche.

Auch Mendel nimmt also für die von ihm hypothetisch angenommenen, erblich weitergereichten Elemente einen prinzipiellen Wettstreit an. Das Ergebnis dieses Konkurrenzverhaltens bestimme die Eigenschaften des Nachwuchses in ihrer Ausprägung gleichwie die Dauer ihres Bestehens. Im Fall des fehlenden Ausgleichs gelinge es dem gegensätzlichen Element bei der Bildung der neuen Befruchtungszellen wieder, aus der erzwungenen Verbindung herauszutreten. Jedoch verläuft der Mendelsche Wettstreit der Elemente nach einer festen und vorhersagbaren Regel.

Die Vorstellung einer gewissen Beliebigkeit der Kombination der Erbelemente, eine Auffassung, die **Aristoteles** nicht teilen würde, stellte einen Vorgriff auf die mit dem späteren Genbegriff verknüpfte Mutationsvorstellung dar und gibt wieder, wie sich die Biologie die Gametogenese bis heute vorstellt. „*Bei der Bildung dieser Zellen beteiligen sich alle vorkommenden Elemente in völlig freier und gleichmäßiger Anordnung*“. Es entstünden daher ebensoviele Arten von Befruchtungszellen, „*als die bildungsfähigen Elemente Combinationen zulassen*“. Die verschiedenen Faktoren, *Elemente* eines

Merkmals, trafen zufällig aufeinander, und alle Merkmalsausprägungen, die für die Merkmale bekannt sind, könnten in vielfältiger Mischung auftreten: Der Erbfaktor untersteht dem Zufall.

Mit dieser Herleitung der genetischen Ereignisse ist nicht erklärt, weshalb sich Faktorenunionen so ausbilden, dass verschiedene Typen, *Arten* von Lebewesen auftreten. Zwar wäre *Mendels* Erklärung der Vererbung von Eigenschaften noch vereinbar mit *Darwins* Hypothese, dass auch die Arten im Ganzen nur zufällige, bloß vorübergehend sich artgemäß erhaltende Einheiten sind. Doch in einem *struggle for life* könnte das genetische Moment des Arterhalts, der Erbfaktor, nicht als eine Kraft der Anpassung angesehen werden, da ja die ganze Art nur ein Zufallsprodukt und in keiner Weise Ziel des Lebensgeschehens wäre - eine Frage, die bei Mendel offenblieb, während Darwin sie für beantwortet hielt.

Ob der hier zwischen Mendel und Darwin bestehende und nur kurz skizzierte Unterschied tatsächlich bereits mit dem Hinweis behoben ist, die Unabhängigkeitsregel von Mendels Ergebnissen entstehe nur durch die Anordnung der Gene der von ihm untersuchten Merkmale auf verschiedenen Chromosomen, bleibt zu klären.

Ein weiteres Problem beantwortet eine Erklärung von Erbgeschehen als eines in rein *Darwinscher* Weise zufallsdirigierten nicht. Weshalb ist jede Faktorenkonstellation gerade so, dass aus all den zufällig koinzidierenden Merkmalskombinationen immer wieder ein lebensfähiges Gebilde entsteht? Woher stammt das Lebendige der Lebewesen? Eine organisierende, also gerichtete Kraft im Sinne der Lebendigkeit kann weder aus einem zufälligen Zusammenspiel vieler Einzelkräfte noch aus physikalischen und chemischen Gesetzmäßigkeiten von Elementen, von unbelebter Stofflichkeit, abgeleitet werden. Ohne den Zufallsbegriff grundsätzlich zu erörtern, tritt dieses Problem auch in der modernen Form entteleologischer Biologie wieder auf, unter dem Terminus einer Selbstorganisation der Materie (*Eigen* 1981; *Eigen/Winkler* 1981), wenn sie eine Definition des Begriffs Leben meidet.

Den Beobachtungen der Naturwissenschaften entsprechend, in biologischen Experimenten, und auch phänomenologisch, zeigen die selbstorganisierten Molekülkomplexe Bestrebungen: zu Lebendigkeit, zu Lebenserhaltung, zu Nahrungsaufnahme (Stoffwechsel), zu Fortpflanzung/Vermehrung.

Die Evolutionsbiologie nennt das Beharrungsvermögen der Natur mit der Tendenz, Typen von Lebewesen entsprechend ihren je eigenen Bauplänen immer wieder

gleichartig entstehen zu lassen, *Arterhalt*. Sind Naturkörper, die durch möglichen Zufall im mutativen Augenblick ihrer Fortpflanzung dem genannten Zusammenhang mehr entzogen zu sein scheinen als in allen anderen Entwicklungsstadien, homines aut homunculi? Wie könnte *Tendenz*, eine kennzeichnende Eigentümlichkeit von Lebewesen, in einer modernen Biologie aus einer *causa materialis* abgeleitet werden, ohne *anthropomorph* gedacht zu sein? Als Möglichkeiten der Theoriebildung bieten sich an: erstens, die Gleichsetzung alles Lebenden untereinander, von Mensch und Tier und Pflanze, innerhalb einer Ebene, ohne hierarchisches Prinzip. Zweitens: paradigmatische Unterschiedslosigkeit von Lebendigkeit mit unbelebter Substanz.

Die Leistung *Mendels* besteht in der theoretischen Entwicklung und experimentellen Entfaltung einer neuen Auffassung von Merkmal bzw. Eigenschaft von Pflanzen. Sie wurde von der Biologie weiterentwickelt als anwendbar auf alle Gattungen von Lebewesen. In solcher Auffassungsweise wird Eigenschaft zunächst weder aus ihrer Beziehung zu den Nachbarschaftsentitäten abgeleitet, aus *differentiae specifica* scholastischer Sichtweise, noch auf Wesenheiten bezogen. Nivellierte Eigenschaften erhalten essentiellen Wert für die Erklärung von Vererbung, obwohl der Wesensbegriff als teleologisch abgelehnt wird: Prinzip Nihilismus auf unterster materieller Ebene, das auf alle höheren Ebenen übertragen wird, oder: Ablehnung jeder Über-/ Unterordnung, also Verzicht auf Ordnung. Das widerspricht aber der Vorstellung von Lebewesen als Organismen. Und konsequenterweise wird beharrlich zu untermauern versucht, die von Aristoteles entwickelte Theorie verlassen zu haben, mehr noch, in 150-Jahrfeiern Darwins beginnt der Vortrag mit einem selbstsicher vorgetragenen Hinweis darauf, dass die moderne Biologie sich erst und gerade dadurch befähigt habe, indem die *Wesensphilosophie* des Aristoteles aufgegeben worden, ja als falsch bewiesen sei. Der Begriff Hypothese ist hypothetisch gebraucht, eine Falsifizierbarkeit steht in der Gegenwart nicht mehr unterstellt.

In biologisch-materialistischer Akzentverschiebung der Biologie verblieb Eigenschaft als eine Zusammensetzung von zwei inneren Elementen, die in einem Wettstreit von Substanzen das Aussehen der Eigenschaft bestimmen, selbst bei dem scholastisch, dialektisch und philosophiehistorisch polyglott geschulten Augustinermönch Gregor Mendel: „*Die unterscheidenden Merkmale zweier Pflanzen können zuletzt doch nur auf Differenzen in der Beschaffenheit der Elemente beruhen, welche in den Grundzellen*

*derselben in lebendiger Wechselwirkung stehen"* (Mendel 1866: 42). Dem würde niemand widersprechen. Außer, dass es mit an Sicherheit grenzender Wahrscheinlichkeit weitere Faktoren gibt, die dicht schon im Mikromolekularen benachbart sind und ebenfalls Einfluss nehmen.

Wo fängt die wissenschaftliche Willkür des *abstrahere, definire* an? Wohin führt sie?

Die an dieser Stelle eingeführte Verwendungsweise des solcherart gebrauchten Elementbegriffs zur Erklärung von Eigenschaft bekräftigte für die sich verselbständigende Vererbungsforschung eine neue Aufgabe: innerhalb von Naturgesetzen eines physikalisch-chemischen Mikrokosmos ohne das heuristische Prinzip von in der Vererbung wirksamer Zwecke nach Mustern der Weitergabe von Eigenschaften zu suchen. Sowohl die Eigenschaften, als auch die Muster sind als Ergebnisse nicht nur bedingt durch die methodisch-statistische Empirie, sondern aufgrund gleichlautender Annahmen über die Untereinheiten der erblichen Materie.

Wie jedes „hybrid“ kombinierte Merkmal als zufälliger Kreuzungspunkt zweier Anlagereihen des Merkmals angesehen wird, so der historische Ursprung von Lebewesen: ein zufällig kombiniertes Ensemble von Merkmalen, die sich alle in einer Zufallsnatur von eigenen Anlagereihen ableiten. Das einzelne Lebewesen wird wie jedes seiner Merkmale zur Folge einer Historie von Zufällen. Und dies gilt nicht erst für das Merkmal in toto, sondern schon für seine Untereinheiten. Woraus dann die Zusammensetzung aller Merkmale eines Lebewesens aus allen seinen Anlagereihen rührt, wird auf diese Weise notwendigerweise unüberschaubar komplex. Eine solche Auffassung eröffnet das Feld für eine veränderte Nachforschung der Lebewesenhaftigkeit von Organismen. So genetisch organisiert erscheinen sie mit einer Qualität versehen, die zuvor weder wissenschaftlich beschrieben, noch in eine Alltagspraxis für Vermehrung von Pflanzen, Zeugung von Tieren und Menschen umgesetzt werden konnte. Mit dem Namen Genetik entstand darauf in der Geschichte von Biologie und Medizin eine eigenständige Forschungsauffassung, um den apokryphen Agens der Genesis auf den Grund zu gehen. Mit der statistischen Merkmalsauffassung hatte sich eine neue Handlungsweise biomedizinischer Forschung den Weg gebahnt, ehe der Terminus Gen gefasst war. Den Namen gab sich die neue Wissenschaft, nachdem drei Jahre zuvor der Oberbegriff ihrer Forschungstätigkeit gefunden war.

In Hinsicht auf das spätere Verständnis der Vererbung als eines gegelenkten Vorgangs bewirkte *Mendel* eine richtunggebende Wende:

1. Elementarität der Erbsachen. Mendel elementarisiert Erbllichkeit, indem er sie nicht mehr auf ein weiteres Ordnungsgefüge bezieht.
2. Historisierung. Die infolge ihrer Elementarität eigenständigen Erbelemente werden als geschichtlich bedingt angesehen. Voraussetzung dafür ist die Unabhängigkeit des einzelnen Erbfaktors bei seiner Weitergabe.
3. Scheinbare Mutation. Der Erbfaktor ist nicht das letzte Element, sondern zusammengesetzt aus Untereinheiten. In Verbindung mit seiner Geschichtlichkeit erklärt sich die Möglichkeit wechselnder Erscheinungsbilder trotz Vorhandenseins identischer Ursachen.
4. Zufall. Das Aufeinandertreffen der erblichen Elemente, die als Wirkursachen aufgefasst werden, ist von Zufall beherrscht, nicht erklärbar aus dem Zusammenhang der ansonsten als gesetzlich determiniert angesehenen Natur. Kausalvorstellungen der Vererbung verlieren ihren teleologischen Zusammenhang: Ursächlichkeit besteht in statistischen Regeln von Wahrscheinlichkeiten.

## DAS SCHICKSAL DER ENTDECKUNGEN MENDELS

Abgesehen von einem Briefwechsel mit *Nägeli* (vgl. *Correns* 1905: 189-265) und drei bibliographischen Erwähnungen (*Hoffmann* 1869; *Focke* 1881; *Bailey* 1891) hat *Mendels* Arbeit von 1866 den wissenschaftlichen Diskurs fünfunddreißig Jahre lang nicht beeinflusst. Die Gründe sind vielfältig und sollen hier nicht im einzelnen nachvollzogen werden. Eine Übersicht gibt *Jahn* (Jahn 1957/1958: 215ff).

Von Mendel selbst ist als einzige Bemerkung zum Schicksal seiner Schrift überliefert: „*Meine Zeit wird kommen*“ (vgl. *Gasking* 1959: 77).

Zur Zeit ihrer Veröffentlichung trafen die entscheidenden Gedanken *Mendels*, die Unabhängigkeit der Merkmale voneinander und ihre Spaltbarkeit infolge ihrer zufälligen Zusammensetzung aus vermuteten Teilfaktoren in den Keimzellen, auf ein noch sehr unvollständiges zytologisches Bild von der Vererbung. Es bot noch nicht die Einzelheiten, um die von ihm rein rechnerisch erschlossenen Merkmalselemente materiell nachvollziehen und begründen zu können. Bis 1900 wurde es durch eine Reihe von Entdeckungen erweitert. Man beobachtete Verschmelzung von Samen- und Eikern, erkannte Zellteilung und Reduktionsteilung, ein nach Mendel zu postulierendes Phänomen. So war zu verstehen, dass jeder Befruchtung mit Kernverschmelzung eine Reduktionsteilung vorausgehen muss, damit die Menge an Erbmaterial, erfassbar an der Chromosomenzahl, konstant bleiben kann. Die sich ergebende Darstellung der Haploidie der Gameten gegenüber diploider Zygote erklärte Mendels Umschreibung desselben Tatbestandes als einer Aufteilung und Zusammenfügung von angenommenen Merkmalsfaktoren, wie auch die Kernverschmelzung jetzt den Grund für die Idee der Zusammensetzung jedes Merkmals aus einer mütterlichen und väterlichen Komponente gab (*Gasking* 1959: 78). Doch die Absicht, das Bestehen von Arten auf spezifische Essenzen zurückzufahren, wurde seit *Darwin* häufig von dem Bestreben übertönt, die Möglichkeit und den Umfang von Mutationen zu ermitteln.

Drei Vererbungsforscher erkannten im Jahr 1900 unabhängig voneinander die Bedeutung von Mendels Erklärung der Spaltbarkeit von Merkmalen, nachdem sie selbst Forschungen in derselben Richtung angestellt hatten und dabei auf ähnliche Zahlenverhältnisse gestoßen waren. Sie entwickelten ebenfalls die Vorstellung einer

Merkmals-spaltung. So hatte später *de Vries* 1889 in der Abhandlung über „Intrazelluläre Pangenesis“ eine Unabhängigkeit der Merkmale angenommen. Strenggenommen handelt es sich elf Jahre darauf nicht um eine „Wiederentdeckung“ Mendels, sondern um die Entdeckung seiner Ergebnisse, die jetzt entfaltet wurde (*Jahn* 1957/1958: 215). Dabei ist der Aufweis seiner Monographie abzuheben von der „experimentellen Neu-Entdeckung“ derselben Gesetzmäßigkeit, wie Mendel sie fand, durch *de Vries*, *Carl Erich Franz Joseph Correns* (1894-1933) und *Erich von Tschermak-Seysenegg* (1871-1962) (*Jahn* *ibid.*).

Der erste von ihnen war *De Vries*. In einer „vorläufigen Mitteilung“, die bei der Deutschen Botanischen Gesellschaft am 14. März 1900 eintraf, erklärt dieser das „Spaltungsgesetz der Bastarde“: „Im Bastard liegen die beiden ontogenetischen Eigenschaften als Anlagen nebeneinander. Im vegetativen Leben wird gewöhnlich nur die dominierende sichtbar. [...] Bei der Bildung der Pollenkörner und Eizellen trennen sie sich. Die einzelnen Paare antagonistischer Eigenschaften verhalten sich dabei unabhängig voneinander. Aus dieser Trennung ergibt sich das Gesetz: Die Pollenkörner und Eizelle der Monohybriden sind keine Bastarde, sondern gehören rein dem einen oder anderen der beiden elterlichen Typen an. Für Di-Polyhybride gilt dasselbe in Bezug auf jede Eigenschaft für sich betrachtet“ (*de Vries* 1900: 86). Daher gelinge es oft, „durch die Spaltungsversuche einfache Eigenschaften in mehrere Faktoren zu zerlegen. So ist z. B. die Farbe der Blüthen häufig zusammengesetzt, und erhält man nach der Kreuzung die einzelnen Factoren theilweise getrennt, theilweise in verschiedenen Mischungen“ (*De Vries*: 1900: 89). Damit war bündig formuliert, was *Mendel* schon 1866 in den Verhandlungen des Naturforschenden Vereins Brünn dargelegt hatte. Von dieser Grundlage sollte die Frage nach dem Agens des Werdens von Lebewesen nun ihren Ausgang nehmen.

*Nägeli*, der einzige, mit dem Mendel seinerzeit wissenschaftlich korrespondierte, hatte bezweifelt, dass Mendels Ergebnisse an der Gartenerbse im Pflanzenreich verallgemeinert werden könnten. *De Vries* hielt jetzt eine hohe Allgemeingültigkeit entgegen: „Aus diesen und zahlreichen weiteren Versuchen folgere ich, dass das von MENDEL für Erbsen gefundene Spaltungsgesetz der Bastarde im Pflanzenreich eine sehr allgemeine Anwendung findet, und dass es für das Studium der Einheiten, aus denen die

*Artcharaktere zusammengesetzt wird (sic!), eine ganz prinzipielle Bedeutung hat" (De Vries 1900: 90).*

**Correns** bezeichnete am 13. Dezember 1911 in einem Vortrag vor dem Wissenschaftlichen Verein in Berlin den Wert von Mendels Bemühungen: *„Die Zeit des ‚Gedankenexperimentes‘ in der Vererbungslehre ist vorbei. Mühsam, in jahrelanger oder jahrzehntelanger Arbeit muß jetzt Baustein für Baustein gesichert werden. Dafür hoffen wir aber auch, ein festes Gebäude aufzurichten, das nicht dem Schicksal der bisherigen Vererbungstheorien verfallen soll. Es ist gewiß eigenartig, daß den Grundstein dazu ein Mönch gelegt hat, Gregor Mendel" (Correns 1912: 75).*

## VIII

### DIE AUSGESTALTUNG DES GENBEGRIFFES IN SEINER MODERNEN FORM

Dem im 20. Jahrhundert etablierten Genbegriff ging die Formulierung eines einprägsamen Terminus voraus. Die Art, wie er begründet wird, gibt Hinweise auf die Abstraktion.

## VIII 1

### BEGRÜNDUNG DES HEUTIGEN TERMINUS TECHNISKUS DURCH WILHELM JOHANNSEN

Die Naturwissenschaft prägte eine Vorstellung des Gens als einer die Gestalt des Organismus verursachenden, materiellen Einheit. Diese würde in der Eigentümlichkeit ihrer Existenz von der Bausubstanz des Organismus getrennt vorliegen. Solche Sichtweise entstand, während sich in der Biologie ein neuer Forschungszweig verselbständigte. Er arbeitet gemäß dem Oberbegriff der Theorie unter dem Namen Genetik.

*Darwin* hatte zwischen erblichen und nicht erblichen Merkmalen nicht streng geschieden (*Babcock* 1954: 220). Doch aufgrund seiner Studien wurden biologische Erscheinungen zu einem Problem ihrer erblichen Weitergabe erhoben, da sie nun als ein unabdingbares Subjekt der Variation erschienen (*Dunn* 1965: 215).

1906 schlug *Bateson* den Namen *Genetics* vor, als Titel eines Kongresses für die von den Teilnehmern betriebene Art biologischer Forschung und als die Bezeichnung der neuen biologischen Disziplin. Nachdem bereits eine neue Terminologie als das Werkzeug der solchermaßen arbeitenden Wissenschaftler entstanden sei, fehle noch ein Name für diese Wissenschaft. „*To meet this difficulty I suggest for the consideration of this Congress the term G e n e t i c s, which sufficiently indicates that our labours are devoted to the elucidation of the phenomena of heredity and variation: in other words, to*

*the physiology of Descent, with implied bearing on the theoretical problems of breeders, whether of animals or plants"* (Bateson 1907: 91, Sperrdr. v. Kurt Plischke).

Das neue Aufgabengebiet der Biologie, die Genetik war also umrissen.

Möglich geworden sei die Begründung einer Wissenschaft der Genetik mit dem Konzept der Einheitlichkeit und Abgegrenztheit von Merkmalen (Bateson 1907: 93), das Bateson auf **Mendel** zurückführt.

1911 definierte **Goldschmidt** mit seiner in Leipzig und Berlin erschienenen „*Einführung in die Vererbungslehre*“ ebenfalls den neuen Arbeitstitel und führte die Bezeichnung *Genetik* in den deutschen Sprachraum ein. Das *Gen* definierte er darin folgendermaßen: „*Ein Gen ist also ein Etwas, dessen Gegenwart in den Geschlechtszellen dafür sorgt, daß in dem Organismus der sich aus den Geschlechtszellen entwickelt, eine bestimmte Eigenschaft auftritt; es ist der Erbträger der Einzeleigenschaft [...]. Nun soll zwar einem bestimmten Gen eine bestimmte Eigenschaft zugeordnet sein. Das besagt aber nicht, daß auch die Eigenschaft in ihrer definitiven Ausprägung mathematisch genau festgelegt ist*“ (Goldschmidt 1911, zit. nach Goldschmidt 1920<sup>3</sup>: 69).

Das Gen ist für Goldschmidt eine „*erbliche Reaktionsnorm*“, d. i. „*eine erbliche Anlage für das Auftreten einer bestimmten Eigenschaft in bestimmter Stufe unter bestimmten Bedingungen*“. Daraus folgt, dass mit ein- und demselben Gen unter verschiedenen Bedingungen verschiedene Phänotypen verwirklicht werden. Die in den Genen liegenden Reaktionsmöglichkeiten auf jeweilige Bedingungen der Außenwelt bestimmen die Breite der Reagibilität, denn das im Vererbungsweg entstehende Resultat „*geschieht im Rahmen der ererbten Reaktionsnorm, nicht etwa durch Beeinflussung dieser*“ (ibid. S.105f).

**Goldschmidt** war es, der sich später als einer der schärfsten Kritiker eines lokalistischen Genbegriffes erweisen sollte.

Die zytologische Vererbungskunde war bis zur Jahrhundertwende fortgeschritten. 1888 prägte der Leiter der Abteilung für systematische und topographische Anatomie an der Friedrich-Wilhelms-Universität Berlin, **Heinrich Wilhelm Gottfried Waldeyer** (1836-1921), für die beobachteten Stäbchen im Zellkern die Bezeichnung *Chromosom* und wählte dafür eine begriffliche Doppelbildung aus griechisch *chroma*, die Farbe, und *soma*, der Körper, da es sich um körperliche Gebilde handele, die durch Farben

dauerhaft zu fixieren seien (Waldeyer 1888). **Strasburger** konnte die Zahlenkonstanz der Chromosomen bezeugen. **Theodor Boveri** (1862-1915) bewies ihre Individualität. **Wilhelm Roux** (1850-1924) hatte bereits aufgrund ihrer präzisen Teilung und Verteilung der entstehenden Hälften auf die Tochterzellen vermutet, die Kernstäbchen seien die Überträger der Vererbungseinheiten (Roux 1883).

So abweichend wie die Vorschläge über dasjenige, was als genetische Ursache angesehen werden könne, waren die Bezeichnungen. **Karl Friedrich von Gärtner** [(1772-1850); Arzt und Botaniker in Calw] hatte von „*Faktor*“ gesprochen, darunter aber noch die gesamte Zutat eines Elternteils aufgefasst (Gärtner 1849). **Darwin** hingegen stellte sich Keimchen und Pangene als singuläre materielle und strukturidentische Partikel zu den Körperbestandteilen ihrerer Ahnen vor, die sich nur noch auszuwachsen bräuchten. **Haeckel** wollte *Pangene* durch *Plastidule* ersetzen, denn nicht eine materielle Kontinuität, sondern Bewegungserscheinungen würden vererbt. Mit **Nägeli** war eine Beschreibung gefunden, nach der die Vererbung an eine kontinuierliche Grundsubstanz gebunden sei, an ein *Idioplasma* aus *Micellen*. **Weismann** machte daraus ein *Keimplasma* von *Biophoren* und *Potentiae*. *Vererbungsstoffe* mit *Anlagen* führte **Haacke** ein. **De Vries** vermutete 1889, die Gemmulae oder Pangene der Darwinschen Pangenesislehre seien zelluläre Elemente und Qualitäten, die zwar aus dem Zellkern ins Zytoplasma wandern könnten, niemals aber in umgekehrter Richtung. Er gab damit einer Vorstellung Ausdruck, die fast ein Jahrhundert später als *unidirektionaler Informationstransfer* von DNS zu Protein wiederkehrte. Für seine Auffassung von Vererbungsträgern verwendete er **Haeckels** *Plastidul*, indem er diese Bezeichnung auf die neuen Kenntnisse der Zytologie anwendete. Alle diese Theorien waren gedankliche Schöpfungen. **Mendel** hingegen war zurückgekehrt zum Begriff *Faktor*, nicht wie bei **Gärtner** den gesamten Erbteil eines Elters bezeichnend, sondern doppelt angelegte Determinanten für einzelne Merkmale, und gab mit seiner Sicht einer doppelten Anlage für jedes Merkmal in zwei Grundgesetzen der Genetik den Anstoß für die spätere wissenschaftliche Genetik. Als Namen für erbeinheitliche Wirkkräfte wurden gebräuchlich auch *Faktoreneinheiten* und **Batesons** *Merkmals-Einheiten*, unter denen eine atomistische Sicht wie diejenige **Mendels** sich durchzusetzen began.

1896 fasste der Direktor des Zoologischen Institutes der Columbia Universität von New York, **Edmund Beecher Wilson** (1856-1939), die bis dahin gediehene Auffassung von Vererbung folgendermaßen zusammen: „*Vererbung ist die Wiederkehr, in aufeinanderfolgenden Generationen, von gleichen Formen des Metabolismus, und dies wird verursacht durch die Übertragung einer spezifischen Substanz oder Idioplasma von Generation zu Generation, für die wir Grund gefunden haben, sie mit Chromatin zu identifizieren. Das bleibt wahr, wie wir auch immer die morphologische Natur des Idioplasmas erfassen mögen, sei es als einen Mikrokosmos unsichtbarer Germe oder Pangene, wie es de Vries, Weismann und Hertwig annehmen, oder als ein Warenhaus von spezifischen Fermenten, wie Driesch vorschlägt, oder als einen Komplex molekularer Substanz, gruppiert in Mizellen, wie in Nägelis Hypothese*“ (Wilson 1896: 362f).

In der begrifflichen Verworrenheit dieser Situation unterbreitete 1903 in einer Vorlesung **Wilhelm Johannsen** (1857-1927), Professor für Botanik in Kopenhagen, in philologischer Maßnahme den Vorschlag, „*bloß die einfache Vorstellung soll Ausdruck finden, daß durch ‚etwas‘ in den Gameten eine Eigenschaft des sich entwickelnden Organismus bedingt, oder mitbestimmt, oder mitbestimmt werden kann. Keine Hypothese über das Wesen dieses ‚etwas‘ soll dabei aufgestellt oder gestützt werden. Darum scheint es am einfachsten, aus Darwins bekanntem Wort die uns allein interessierende letzte Silbe ‚Gen‘ isoliert zu verwerten; um damit das schlechte Wort ‚Anlage‘ zu ersetzen.*“ Das von jeder Hypothese „*völlig freie*“ Wort drücke nur „*die sicher gestellte Tatsache aus, daß jedenfalls viele Eigenschaften des Organismus durch in den Gameten vorkommende besondere, trennbare und somit selbständige ‚Zustände‘, ‚Grundlagen‘, ‚Anlagen‘ – kurz, was wir eben Gene nennen wollen – bedingt sind*“ (nach Johannsens schriftlicher Darlegung 1909: 124).

So einfach ist der Kern des Gedankens *Gen*, der auch heute bedacht werden sollte. Das durch den Ausdruck "*Gen*" Bezeichnete sei etwas, das Eigenschaften von Lebewesen bedingen, mitbestimmen könne, indem es selbst ein Mitbestimmtes sei, nicht mehr, nicht weniger. Buchstabengetreu streicht Johannsen Pan aus Pangen hinweg und erhält Gen. Und das Gen selbst ist bedingt. Es ist nicht von sich aus einzige Quelle des Werdens.

Eine ausschließliche Konkurrenz um die Weitergabe von Genen als Ansatz einer darwinistischen Rivalität (*Dawkins* 1976) ist aus diesem Grundgedanken jedenfalls nicht abzuleiten, der ebenfalls eine neue Möglichkeit anbot, die Bedingtheit lebendiger Wesen zu beschreiben.

Die schriftliche dänische Ausgabe der Vorlesungen *Johannsens* erschien 1905, zwei Jahre nach seiner für die Biologie epochemachenden Formulierung in Kopenhagen. Die deutsche Übersetzung seines Werks stammt ebenfalls von Johannsen. Im Vorwort legt er Wert auf die Feststellung, dass die neu eingeführten Bezeichnungen „Gen“, „Genotyp“, „Phänotyp“ gerade nicht nur „Wörter“ seien, welche, „wo Begriffe fehlen“, sich eingestellt hätten. Für Goethekenner ein geflügeltes Wort und nicht nur ein Verweis auf die berühmte Quelle dieser Worte, sondern auf die Autorität ihres Stifters. Welche Sicherheit *Johannsen* seiner Begriffsgebung beimessen möchte, wird an der betreffenden Textstelle in *Goethes* dramatischer Dichtung deutlich, der das Zitat entnommen ist. Der Lehrling des Doktor Faustus erhebt Mephistopheles gegenüber Einwand, den es zu entkräften gilt, wenn jener von diesem *begriffsrealistisch* fordert, es müsse doch ein Begriff bei dem Worte sein. Darauf antwortet Mephistopheles sophisticated entwaffend:

*„Schon gut! Nur muß man sich nicht allzu ängstlich quälen;  
Denn eben wo Begriffe fehlen,  
Da stellt ein Wort zur rechten Zeit sich ein  
Mit Worten läßt sich trefflich streiten,  
Mit Worten ein System bereiten  
An Worte läßt sich trefflich glauben,  
Von einem Wort läßt sich kein Jota rauben.“* (Verse 1994-2000)

Kann solchen Unsicherheiten der Wortwahl und Phonetik durch begriffliche, wissenschaftliche Terminierung entgangen werden?

*Johannsen* stellt sich explizit einem solchen Problem mit seinem Vorschlag innerhalb der Wissenschaft von der biologischen Vererbung, wie er im folgenden die Wahl desjenigen Namens, der sich bis in die Gegenwart bewährt hat, begründet.

Er hat mit der Wortwahl Gen einen Begriff angedeutet, dessen Umfang und Inhalt bis auf den heutigen Tag erörtert wird, einen Begriff, nach dem sich eine Wissenschaft bezeichnet, die als Grundlegung von Biologie angesehen wird, und zugleich einen

Begriff, der an seiner wachsenden Umstrittenheit für die Theorie der Vererbung nichts eingebüßt hat (vgl. das letzte Kapitel), während der Begriff zugleich ein wachsendes Instrumentarium für die medizinische Therapie und die industrielle Herstellung von Nahrungsmitteln bereithält, das sich von der vorwissenschaftlichen Kultivierung von Pflanze und Tier so schnell abgehoben hat, wie die Differenzierung und Begriffsbildung der modernen Leitwissenschaften, hier am Beispiel Genetik ersichtlich – dies mit neuen Wertsetzungen für das Menschenbild (etwa *Präimplantationsdiagnostik* unter sog. *Embryonenverbrauch*, sog. *Wertwandel* von Elternschaft, Erkrankung, mit Einfluss auf Prognostik).

Doch was entfernte *Johannsen* aus der Vorläufervorstellung des neuen Hauptbegriffs über die Genesis von Lebewesen, wenn er die Jotai *Pan* streicht, um *Gen* zu erhalten? Er begründet seine Wahl philologisch. Das Wort *Pangen* sei eine ungünstige Doppelbildung, da sie zwei verschiedene Stämme vereine, den Stamm *Pan*, das Neutrum von griechisch ‚pas‘, „all“, „jeder“, mit dem Stamm *Gen* aus  $\gamma\iota-\gamma(\epsilon)\nu-\omicron\mu\alpha\iota$ , „entstehen“ bzw. „werden“. Nur den Sinn des letzteren möchte *Johannsen* durch den biologischen Begriff *Gen* vermittelt wissen. Der Vorzug bestehe überdies in der leichteren Kombinierbarkeit mit anderen Bezeichnungen. An die Stelle von „*das Gen, welches die Eigenschaft bedingt*“ könne nun der Ausdruck „*das Gen der Eigenschaft*“ treten (*Johannsen* 1909: 124, *Johannsen* 1926: 165).

Der neue Begriff gibt den Anspruch auf, eine räumliche Herkunftserklärung für Gene zu geben. Die von *Darwin* gewählte Vorsilbe hatte darauf deuten sollen, dass es sich um Partikel handle, die aus allen Teilen des Körpers stammten und materiell in die Keimzellen eingehen würden. Indessen entsteht gerade diese Unsicherheit. Der bloße Bedingungscharakter eines Merkmals durch Gene, den *Johannsen* betont, gerät außer Sicht, indem durch die Abkürzung *das Gen der Eigenschaft* anstelle von *das Gen welches die Eigenschaft bedingt* ein Bild von einlinearer Ursachenbeziehung entsteht.

Erst mit dem erneuten Zusammenwachsen der später auseinandergewichenen biologiegenetischen Teildisziplinen der Evolutionsgenetik und der Entwicklungsbiologie über die Fragen der Embryonalentwicklung zu einer „evolutionären Synthese“ in dem Fach „evolutionäre Entwicklungsbiologie“ (*Evolutionary Developmental Biology*), abgekürzt *Evo-Devo* in der jüngsten Zeit, wurde die Biologie genau auf diesen

Unterschied wieder aufmerksam und fordert erneut, es dürfe nicht ein „Gen für eine Eigenschaft“ heißen, sondern man müsse sagen, „Gen, das die Eigenschaft bedingt“.

Innere Ursache und äußere Erscheinung, sind enger zusammengerückt. In rein materiellem Blickwinkel findet sich kein Unterschied mehr zwischen einem Innen und einem Außen. Ob Nukleinsäuren Eiweiße kodieren oder umgekehrt, ist gleichgültiges und zufälliges Ergebnis irgendwelcher evolutionärer Vorgänge. Funktionen, Epiphänomene von Stoffen bilden ihre Gesetzmäßigkeiten aufeinander ab, vermittelt durch ein zufälliges und alles entscheidendes mutatives Moment. **Johannsens** Absicht bestand jedoch genau darin, solche Konsequenzen und Prämissen auszuschließen, wenn er Worte wie Erbinheit, Erbfaktor, Determinante, ersetzt. Noch 1926 betont er, der Terminus Gen präjudiziere keine Vorstellung über die Natur dieser „Gebilde“. Auch die formelhafte Fassung in Buchstabensymbolen dürfe keine Stofflichkeit oder Substantialität vortäuschen. Denn bei den geläufigen Genformeln wie Aa, Bb, Cc vergesse man „*aber nicht den in der Formel nicht aufgenommenen Rest*“ (Johannsen 1926: 434, 535).

Hinsichtlich dessen schlägt er eine weitere Neuheit vor. Die chromosomalen Gegebenheiten wie Aa, Bb etc. sollen *Allele* heißen, weil das von **Bateson** eingeführte *allelomorph* durch die Endung -morph auf etwas Geformtes deute, für das sich keinerlei Hinweis finde.

Außer dem Begriff des Gens empfiehlt **Johannsen** in derselben Vorlesung von 1903 zwei weitere Begriffe, die Wissenschaftsgeschichte machen sollten: *Genotyp* und *Phänotyp*. Das Wort Phänotyp solle andeuten, „*daß aus der Erscheinung selbst kein weiterer Schluß gezogen werden darf*“, sondern nur „*eben was als typisch beobachtet werden kann*“ (Johannsen 1909: 123). Der Phänotypus dürfe nicht notwendigerweise als Ausdruck einer biologischen Einheit gedacht werden. Seine Erscheinung sei nur oberflächlicher Natur. Phäno- und genotypische Unterschiede sind für Johannsen keineswegs mit Notwendigkeit identisch.

Es ist zu beachten, daß der Schöpfer der Genbezeichnung dem genetischen Gefüge eine teleologische Bedeutung zumisst, auch bei Mutation. Er nennt seine Auffassung *Teleogonie*, wörtlich soviel wie zweckgerichtete Erzeugung. Die dritte, um fünf Vorlesungen erweiterte Auflage seiner „*Elemente der exakten Erblchkeitslehre*“ – inzwischen hatte **Thomas Hunt Morgan** (1866-1945) die Chromosomentheorie der

klassischen Vererbung entwickelt – erklärt 1926 in der letzten Vorlesung, „*daß Zweckmäßigkeit mit Organisation überhaupt gegeben ist*“ (Johannsen 1926: 698). Eine Neukombination der Gene reagiert „*gleich als Ganzes zweckmäßig selbsterhaltend mit den Mitteln, Charakteren und Fähigkeiten, welche die Kombination früher getrennter Gene bedingt.*“ **Johannsen** wendet sich ausdrücklich gegen **Darwins** Auffassung der erblichen Wirkung einer Selektion. Nicht ein positives, schaffendes Prinzip sei die Selektion, sondern sie spiele nur eine große negative, vernichtende Rolle. Der Gedanke ist dem Autor so wichtig, daß er ihn schon im Vorwort grundsatzhaft ausspricht (Johannsen 1926: IV).

Auch in der Mutationsvorstellung hebt sich Johannsen von Darwin ab. Während dieser für Mutanten eine Art Neubildung postuliere, können sie für Johannsen alle aus gemeinsamen Ursprungsformen entstanden sein (Johannsen 1909: 461f).

Vier Definitionsmerkmale in Bezug auf die Natur der Entität Gen und seine Wirkweise sind festzuhalten:

1. Das Gen im befruchteten Ei verkörpert nach Johannsen eine *Reaktionsnorm* des Organismus. Es bedingt sämtliche Entwicklungsmöglichkeit des durch Befruchtung gegründeten Organismus. Eine determinierende Funktion besitzt es nicht, denn: „*Duo quorum faciunt idem, non est idem*“ (Johannsen 1926: 167f).

2. Eine Ein-Gen-eine-Eigenschafts-Hypothese der Genwirkung lehnt Johannsen ab. Ein Gen müsse nicht nur eine einzelne Eigenschaft bedingen, sondern könne an weitgehenden Reaktionen beteiligt sein (Johannsen 1909: 460).

3. Für eine materielle Existenz des Gens im Sinne einer „*morphologisch-organischen Struktur*“ finde sich keinerlei Beweis (Johannsen 1909: 367f).

4. Die Trennbarkeit der Gene zahlreicher Merkmale, während andere sich „*nicht oder nicht glatt*“ trennen ließen, erinnere gleichwohl an das Verhalten „*chemischer Körper*“ (Johannsen 1909: 125). „*Biochemische Analogien*“ lägen nahe (Johannsen 1909: 377).

Nach **Arndt Michaelis** und **Rigomar Rieger** begreift Johannsen die unabhängigen, kombinierbaren und spaltbaren Erbinheiten Mendels als eine Rechnungseinheit mit der Realität einer unbekannteren Natur. Johannsen habe die Bezeichnung Gen für die „*Einzelfaktoren des Genotyps geprägt*“. Damit habe er nicht ein „*morphologisches Gebilde im Sinne von Darwins ‚gemmules‘ oder Biophoren, Determinanten u.a. spekulativ - morphologischer Begriffe anderer Autoren*“ gemeint. (Michaelis, Rieger 1954: 43).

DIE BEGINNENDE DIFFERENZIERUNG DES GENBEGRIFFS BIS  
1939

## KLASSISCHE GENETIK

Das erste Jahrzehnt des zwanzigsten Jahrhunderts diente der Etablierung von *Mendels* Konzept. Im Anschluss daran erweitert sich mit der Methodik der Untersuchung die Darstellung. Am Ende dieser folgenden Epoche ist „Gen“ physikalisch als die Grundlage der Vererbung definiert. *Johannsens* theoretisch vorbereitender Terminus erhält den Charakter einer naturwissenschaftlichen Definition sowohl mit der von ihr geforderten Exaktheit als auch der Anbindung an benachbarte Wissenschaften. Zur Leitwissenschaft für das zu formulierende neue *biologische* Gesetz mit dem Namen Gen wurde im weiteren nicht die Biologie, sondern die Physik erhoben. Wissenschaftshistorisch ergibt sich daraus die Frage nach Lücken in der Einheit der von der Wissenschaft erzielten Darstellung des Genproblems.

*Edmund Beecher Wilson*, der 1896 die Auswirkung von Erbfaktoren in generationsweise sich wiederholenden Stoffwechselfvorgängen erkannt hatte, untersuchte in jahrelanger Arbeit durch mikroskopische Beobachtung die Zellteilung von Keimzellen und ihren Chromosomen. Auf diese Weise gelang es ihm, das Geschlechtschromosom von Insekten darzustellen.

Zwei weitere Wissenschaftler, mit denen der Begriff der klassischen Genetik eng verknüpft ist, sind *Thomas Hunt Morgan* (1866-1945) und *Hermann Joseph Muller* (1890-1967), gleichfalls Mitbegründer der amerikanischen Genetikerschule. Wilsons Schüler *Morgan* entdeckte die Taufliege *Drosophila melanogaster* als ein Objekt für Kreuzungsexperimente. Die an ihr entstandene Chromosomentheorie der Vererbung schließt aus crossing-over und Mutation auf eine benachbarte Lage der Gene auf den Chromosomen. Sie trifft genaue Aussagen darüber, welches Gen für welche der untersuchten Eigenschaften sich neben welchem anderen Gen befinden müsse.

*Muller*, der Schüler von Morgan, fand in der Verwendung von Röntgenstrahlen eine Untersuchungstechnik, die mit ihren minimalen Dosisunterschieden an die Kleinheit der zytologischen Verhältnisse heranreichen sollte. Nachdem auf diese Weise Mutationen physikalisch punkthaft zielgerichtet verursacht und beschrieben waren, fanden sich Wege, sie mit gleicher Genauigkeit auch chemisch auszulösen. Im

Ergebnis stand ein physikalisches Genkonzept „in klarem Gegensatz zum abstraktem und statistischen“ der Vorzeit (**Dunn** 1965: 218).

**Morgan** wie **Bateson** hatten der Vorstellung einer Stabilität des Gens zunächst widersprochen. „*Once crossed, always contaminated*“ hatte **Morgan** 1905 erklärt (Morgan 1905: 877ff). Aufgrund der Studien in den 1920iger und 1930iger Jahren entstand ein Bild der erblichen Einheit, das nach seiner rechnerischen Begründung nun experimentell nicht nur makroskopisch, sondern auch zytologisch begründet werden konnte: das Gen als ein Element von hoher, jedoch nicht absoluter Stabilität (**Dunn** 1965: 218).

Die Leistung dieses Konzepts lag in der Möglichkeit einer genauen Lokalisation solcher Gene auf dem Chromosom. Einen bislang nicht weiter verfolgten Anstoß dazu hatte schon **Boveri** zur Zeit der Wiederentdeckung von **Mendels** Lehre gegeben, als er 1903 vor der Deutschen Zoologischen Gesellschaft seine „*Ergebnisse über die Konstitution der chromatischen Substanz des Zellkerns*“ vortrug (**Boveri** 1903 nach Boveri 1904: 117f; **Nachtsheim** 1951: 7).

Aufgrund der **Mendelschen** Unabhängigkeitsregel der Verteilung der Erbmerkmale sei entweder eine Lokalisation auf verschiedenen Chromosomen anzunehmen, oder ein Austausch von Chromosomenteilen. Mendel hatte bereits „*stillschweigend*“ eine Stabilität der merkmalsbestimmenden Einheiten vorausgesetzt (**Babcock** 1954:19).

**Boveri** befand sich mit seiner Aussage jedoch in Widerspruch zu **Johannsens** Gen von 1903, das keine stoffliche Grundlage besitzen sollte.

In den USA interessierte sich **Wilson** ebenfalls für die zytologische Seite der Vererbung. Aufgrund mikroskopischer Untersuchungen der Zellteilung von Keimzellen vertrat er schon frühzeitig, noch vor der Wiederentdeckung **Mendels**, eine Chromosomenauffassung der Vererbung (Wilson 1896: 326f). Wilson bezog sich auf **Darwins** Vorstellung von vererblichen Tendenzen in kleinen Einheiten. Seine Begründung blieb zunächst theoretisch.

Überzeugende Untersuchungen gelangen dem belgischen Zytologen **Frans Alfons Ignace Janssens** (1863-1924) im Jahr 1909 mit einer „*Theorie de la Chiasmotypie*“. Er hatte unter dem Mikroskop die Bildung von Keimzellen bei Amphibien verfolgt und

dabei beobachtet, dass die Chromosomen sich nach ihrer Paarung der Länge nach nicht nur in zwei Hälften spalten, sondern in vier *Chromatiden*. Noch vor Anordnung der Chromosomen auf der Äquatorialplatte überkreuzen sich je ein Faden der homologen, längsgespaltenen Chromosomen an mehreren Stellen. Die aus der Längsspaltung entstandenen Fäden brechen an diesen *Chiasmata* entzwei und tauschen Stücke untereinander aus (nach Johansson 1988: 49).

Ein Jahr später begann *Morgan*, der wie *Wilson* an der Columbia-Universität beschäftigt war, die Taufliege *Drosophila melanogaster* für Kreuzungsversuche zu kultivieren. Der Vorteil dieser Fliege für den Experimentator besteht in ihrer kurzen Generationsdauer von nur 14 Tagen. Jedes Weibchen kann während seines Lebens über 1000 Nachkommen in die Welt setzen.

In ausführlichen Zuchtreihen stellte Morgan ein spontanes Auftreten neuer Merkmale fest, Fliegen mit gelbem anstatt eines grauen Körpers oder mit weißen statt roter Augen. Auch die Flügel waren unterschiedlich geformt und groß. Zwar entsprach der Erbgang der neuen Eigenschaften den Mendelschen Regeln, nicht aber die Geschlechtsverteilung. Die Rückkreuzung der Fliegen ergab, dass jegliches Auftreten neuer Eigenschaften stets miteinander verknüpft war. Folglich mussten die Erbfaktoren miteinander verbunden sein, als ob sie auf einem Geschlechtschromosom, wie schon Wilsons Darstellung vermuten ließ, verbunden seien. Nach Morgans Ergebnissen sind spezielle Gene für die Geschlechtsmerkmale anzunehmen, während die sonstigen Eigenschaften von anderen Genen hervorgerufen werden. Da besondere Gene männlich und weiblich determinieren, nannte er sie Geschlechtschromosomen um solche Chromosomen abzuheben, die sowohl Geschlechtsmerkmale, als auch weitere Merkmale bestimmen. Diese betreffen nicht die Geschlechtseigenschaften, werden aber geschlechtsgebunden vererbt und weichen deshalb in der Regularität ihrer Weitergabe vom Mendelschen Erbgang ab. Männliche Fliegen erhalten die geschlechtsgebundenen nichtgeschlechtlichen Merkmale des weiblichen Elternteils, weibliche die des väterlichen.

Morgan hatte das Gesetz der Genkoppelung entdeckt. Eine feste Beziehung in der Weitergabe verschiedener Eigenschaften infolge räumlicher Nähe der ihnen korrespondierenden chemikalischen Faktoren auf dem Chromosom erschien ihm naheliegend: „*The ,association' of certain factors in inheritance is due to the proximity in the chromosome of the chemical substances (factors) that are essential for the production of those characters*“ (Morgan 1911: 365-417) – offenbar ein Hinweis für eine

chemische Substantialität der Mendelschen Faktoren auf Chromosomen. Das Chromosom scheint mittels seiner Materie die Ursache der Eigenschaftsbildung zu determinieren.

**Calvin Blackman Bridges** (1885-1938) erbrachte 1916 mit seiner Dissertation „*Nondisjunction as Proof of the Chromosome Theory of Heredity*“ die Begründung. Durch ein fehlerhaftes Auseinanderweichen der Chromosomen entstehen Irregularitäten von der Regelmäßigkeit der geschlechtsgebundenen Vererbung.

Die Gentheorie der Vererbung hatte mit der Chromosomentheorie zu einer neuen Beschreibung gefunden:

1. Chromosomen sind die materiellen Träger der Gene.
2. Jedes Gen liegt an einer bestimmten Stelle eines Chromosoms.
3. Gene werden gekoppelt weitergegeben.
4. Ein *Crossing-over*, eine stückweise Überkreuzung von Chromatiden, den Längsteilungsfiguren der Chromosomen, mit Brüchen an den Kreuzungsstellen und Austausch der Bruchstücke, führt zu einem Genaustausch zwischen den beteiligten Chromosomen: Mutation.

Morphologisch sichtbare Vorstellungen über die Lage der Gene entstanden, nachdem das Riesenchromosom in der Speicheldrüse der Taufliege entdeckt war, dessen Größe für das Auflösungsvermögen damaliger Lichtmikroskopie mikroskopische Bilder zuließ.

Schon 1916 hatten **Morgan** und sein Schüler **Calvin Bridges** das Gen zunächst prinzipiell für mutierbar erklärt. „*Aus a-priori-Gründen besteht kein Grund, weshalb verschiedene mutative Veränderungen nicht an demselben Locus eines Chromosoms Platz nehmen könnten. Wenn wir ein Chromosom als eine Kette chemischer Partikel denken, dann kann eine Anzahl möglicher Rekombinationen oder Wiederarrangierungen innerhalb jedes Partikels stattfinden. Jede Veränderung könnte einen Unterschied im Endprodukt der Zellaktivität verursachen und Anlaß zu einem neuen Mutantentyp geben*“ (zit. n. **Carlson** 1966: 75)

Die wissenschaftliche Formulierung der Genvorstellung ist ein Beispiel nicht nur dafür, wie in den Entdeckungen der Forschung Theorie und Experiment sich wechselseitig bedingen, sondern, dass die Theorie häufig dem Experiment vorausseilt, ehe sie von diesem eingeholt, „bewiesen“ wird. (Dies entgegen dem neuzeitlichen Paradigma unvoreingenommener Empirie).

Von Interesse war nun die Frage der Häufigkeit eines solchen Genaustausches durch crossing-over. *Morgan* hatte 1909 geschlossen: Wenn die Gene einen bestimmten Platz in einem Chromosom einnehmen und auf diesen linear angeordnet sein sollten, dann müsse die Entstehung von Chiasmata, Kreuzungen der Schwesterchromatiden, umso wahrscheinlicher sein, und je größer der Abstand der Gene sei, umso häufiger würden sie zwischen den Chromatiden ausgetauscht (n. Johansson 1988: 55).

Für höhere Pflanzen, Tiere und den Menschen könne in Prozenten die Mutationshäufigkeit angegeben werden. Der Prozentsatz bezeichnet eine Gesamtzahl der Genaustäusche bezogen auf die Zahl der Gameten, die die Nachkommen erzeugten, beispielsweise fünf Mutationen pro 100.000 Keimzellen. Für die einprozentige Crossingover-Wahrscheinlichkeit, einem zum angegebenen Beispiel vergleichsweise hohen Wert, wurde zu Ehren des Forschers die Einheit des *Zentimorgan* gesetzt.

Verschiedene Gene erwiesen sich als unterschiedlich stabil. Die Mutationsfrequenz schien nicht nur von den Nachbarschaftsgenen des mutierenden Gens abhängig zu sein, sondern auch von den äußeren Lebensverhältnissen des Organismus. Bislang handelte es sich um Vermutungen. Nun konnte zumindest beobachtet werden, wie Verschiebungen im Erbgefüge stattfinden, die mit Veränderungen zugehöriger Eigenschaften in Einklang stehen. Nicht gezeigt war, wie der Forscher selbst von außen so in das innerste biologische Werdeprinzip der Lebewesen eingreifen kann, um planmäßige Veränderungen ohne mutative Unsicherheiten entstehen zu lassen.

Für die Aufklärung der Genlage fand *Morgan* 1923 außer der linearen Anordnung der Gene und ihrer Bindung in Kopplungsgruppen Begrenzungen dieser Gengruppen (Morgan 1923; Morgan 1926: 32).

Das einzelne Gen ist auch in dieser Vorstellung prinzipiell als unabhängig in seiner erblichen Wirkung gedacht und gilt als die Grundeinheit der Vererbung. Es hat im wahrsten Sinne des Wortes eine materiell definierbare *Ursache* dessen zu repräsentieren, was sich an körperlichen Eigenschaften des Lebewesens bilde, ein Aktivierungsvermögen von Entwicklungen. Was im 19. Jahrhundert für ein *Plasma*

galt, schien nun in einzelnen stofflichen Einheiten gefunden zu sein. Vererbungseinheiten, die nicht mehr spekulativ gefordert, sondern in einem dauerhaften Aufenthaltsort eindeutig lokalisierbar zu sein schienen, fasslich, sogar im Moment ihrer Weitergabe, sogar bei äußerlichem Eigenschaftswechsel des neuen Lebewesens gegenüber seinen Vorfahren. „Das Keimplasma muß deshalb aus unabhängigen Elementen irgendwelcher Art aufgebaut sein. Es sind diese Elemente, die wir genetische Faktoren oder kürzer Gene nennen" (Morgan 1917: 705-711).

Seinen langgehegten Zweifel an der Integrität des Gens hatte **Morgan** 1917 beseitigt und als *materielle* Realität, nicht nur, wie noch **Johannsen**, als einen hypothetischen Faktor akzeptiert. Für die Darlegung des „*Mechanism of Mendelian Heredity*“ wurde er 1923 mit dem Nobelpreis geehrt. In der Geschichte der Naturwissenschaften ist **Morgan** der erste Biologe, der den nach dem schwedischen Chemiker und Erfinder des Dynamits benannten Preis erhielt. Seine Schrift „*The Theory of the Gene*“ von 1917 gilt als Gründungsschrift der klassischen Genetik.

Für Kopplungsgruppen – jede davon entspricht zunächst einem Chromosom – waren Genkarten erstellt worden. Die erste Karte für fünf Gene von *Drosophila* auf dem X-Chromosom entwarf 1913 **Alfred Henry Sturtevant** (1891-1970). (Vgl. **Carlson** 1966: 67; **Johansson** 1988: 60). Sturtevant war ein Schüler **Morgans**.

Eine weitere Frage konnte Sturtevant in einer neuen Weise beantworten. Wie entsteht Gendominanz? Bislang galt die Anwesenheits-/Abwesenheits-Hypothese: Ein Gen sei entweder vorhanden oder existiere gar nicht im Genom, der Summe aller Gene eines Organismus. Er ersetzte diese Hypothese durch eine Theorie multipler Allele, nach der erst das Zusammenspiel mehrerer Gruppen homologer Gene die Expression eines Merkmals bewirke und sah einen Positionseffekt des einzelnen Gens gegeben. Durch Lageveränderung von Chromosomenstücken (Inversion, Transversion, Translokation, also Eigenrotation, Teileaustausch oder Umlagerung von Bruchstücken) erhalten die zuvor an ihren angestammten Stellen ihre Wirkung ausübenden Gene eine andere Gennachbarschaft und verändern folglich ihre Wirkung.

Den Ausgangspunkt für eine Genkarte bildet ein Gen am Ende des Chromosoms. Es erhält den Zahlenwert Null. Für die benachbarten Genpositionen, die Loci, werden der Reihe nach Crossingover-Häufigkeiten notiert. Einem Abstand von einem Genlocus zum nächsten ist je eine Frequenz zugeordnet. Doch nur für dicht nebeneinander

liegende Genloci entspreche die experimentell ermittelte Rekombinationsfrequenz der tatsächlichen Häufigkeit von Crossingover-Vorgängen an dieser Stelle. Denn bei größeren Entfernungen tauschten doppelte Crossingover-Ereignisse einen niedrigeren Wert deshalb vor, weil ein zweites Ereignis das vorhergehende wieder ausgleichen könne.

In dieser Bestimmungstechnik gilt eine Einheit erst dann als Gen erwiesen, wenn sie mittels Umlagerungen aufgrund spontaner oder experimenteller Chromosomenbrüche durch Rekombination nicht weiter unterteilbar ist. Die Allele für Weißäugigkeit von *Drosophila* ließen sich durch Versuche nicht mehr in die rote *Wildfarbe* rekombinieren.

Die erwähnte Unabhängigkeit des Einzelgens besteht für Gene, die verschiedenen Kopplungsgruppen angehören, auf verschiedenen Chromosomen platziert sind. In solchen Fällen bleibt die von **Mendel** aufgestellte Unabhängigkeitsregel für Erbfaktoren erhalten. Offenbar beruhte dessen Entdeckung, die er als grundsätzlich angesehen hatte, darauf, dass er mit seiner phänotypischen Merkmalsdefinition an Erbsen nur solche Eigenschaften erwischt hatte, die zufällig von Genen verschiedener Chromosomen kodiert sind. Für eine Gengruppe innerhalb eines Chromosoms erfuhr seine Regel jetzt eine Einschränkung.

Die Besonderheit solcher Sicht für eine *Causa efficiens*, einen Wirkfaktor *Gen* dieser Erkenntnislage, bestand darin, dass die Wirkungsmechanismen weitgehend aus den experimentell erhaltenen Phänotypen erschlossen waren. Das mikroskopische Bild bot nur Anhaltspunkte. Eine Vorstellung vom Aufbau der beteiligten Materie in den von der Physik und Chemie verlangten Zusammenhängen war nicht gegeben.

Die neue Beschreibung des Gens enthielt wiederum eine Vorgabe dafür, was fortan die Wissenschaft beschäftigen musste. Das klassische Gen gewährte für **Mendels** Theorie insgesamt eine nachträgliche Begründung. **Batesons** Einspruch gegen eine Verbindung von Gen und Chromosom war widerlegt. Das Chromosom schien mittels seiner ihm eigenen und besonderen Materialität die Wirkursache für die Formbildung der Lebewesen zu enthalten.

Einen umwälzenden Aspekt fügte **Hermann Joseph Muller** (1890-1967) dem klassischen Gen hinzu. Er wählte einen gänzlich anderen Zugang zur Mutation des Gens.

Zwanzig Jahre zuvor, 1904, hatte **de Vries** vorgeschlagen, die von **Wilhelm Conrad Röntgen** (1845-1923, Nobelpreis 1901) und **Marie Curie** (1867-1934, Nobelpreis 1903/1911) entdeckten Strahlen zur Veränderung der erblichen Elemente in den Keimzellen einzusetzen. Diese Strahlen besäßen die Fähigkeit, in das Innere der Zelle einzudringen. **Muller** griff diesen Gedanken auf. Um nicht erst auf das Eintreten von Mutationen durch Kreuzungsexperimente warten zu müssen, wollte er sie selbst auslösen. Auf dem Genetikerkongress in Berlin 1927 berichtete er über eine experimentelle Verursachung von Mutationen, die er mit Röntgenstrahlen an Keimzellen der Fruchtfliege *Drosophila melanogaster* erzielt hatte (Muller 1927: „*Artificial Transmutation of the Gene*“). Einen solchen Vorgang, der zuvor noch nicht durch äußere Einwirkung künstlich herbeigeführt worden war, belegte Muller nicht nur mit dem Namen der Mutation, sondern nannte ihn *Transmutation* und verwendete mit diesem Terminus eine Bezeichnung, die Forscher des vorangegangenen Jahrhunderts nicht etwa für Abweichungen einzelner Merkmale verwendet hatten, sondern für spekulativen Artenwechsel, wie den von **Darwin** theoretisch geforderten, - ein Wort das ursprünglich für vorgebliche alchemistische Elementarumwandlungen anorganischer Substanzen gebraucht wurde. In der Biologie der Vererbung erklärte Muller nun für bewiesen, dass eine röntgeninduzierte, künstlich ausgelöste Transmutation reproduzierbar eine anhaltende, vererbliche Veränderung in der Erbsubstanz Gen bewirke, die den natürlichen Mutationen auf evolutionärem bzw. züchterischem Wege gleichkomme. Erstere verändern das Genom ebenso beständig wie letztere. „*It has been found quite conclusively that treatment of the sperm with relatively heavy doses of X-rays induces the occurrence of true ‘gene mutations’ in a high proportion of the treated germ cells. [...] More than a hundred of the mutant genes have been followed through three, four or more generations. They are (nearly all of them, at any rate) stable in their inheritance, and most of them behave in the manner typical of the Mendelian chromosomal mutant genes found in organisms generally. [...] There can be no doubt that many, at least, of the changes produced by X-rays are of just the same kind as the ‘gene mutations’ which are obtained, with so much greater rarity, without such treatment, which we believe furnish the building blocks of evolution*“ (Muller 1927: 84 f).

Die experimentelle Verwertbarkeit dieser Methode für die Theorie des Gens und dessen praktische Beeinflussbarkeit schien Muller geeignet, neue Methoden für die Belange von Züchtung und wissenschaftlicher Biologie zu eröffnen. Doch sei die Zeit nicht reif „*to discuss such possibilities with reference to the human species*“ (Muller 1927: 87).

Außer der Anwendung von Röntgenstrahlen sei eine Nutzbarkeit weiterer Methoden anzunehmen, um Bau und Verhalten von Genen zu ermitteln.

Die *Genphysiologie* rücke daher in die Nähe einer *Genphysik* und *Genchemie*.

Mullers Ergebnisse in den zwanziger Jahren des vorigen Jahrhunderts waren von einer solchen Tragweite, dass der Atomphysiker **Erwin Schrödinger** zwei Jahrzehnte darauf eine physikalische Gentheorie vorlegte, mit der er durch die Analogie eines *Genkodes* das Verständnis genetischer Wirkung auf der Basis der Elementarteilchenphysik ausrichtete.

Wie war denn zu verstehen, dass durch Strahlen und deren Einflüsse auf die Erbsubstanz dauerhafte Veränderungen entstehen? 1951, in einem Rückblick über die Entwicklung der Gentheorie, nannte **Muller** für die Mutabilität - die Indeterminiertheit des Gens - einen Wechsel molekularer „choas“ und verlegte auf diese Weise den gesuchten Vorgang in vermutete kleinste, mikroskopische oder submikroskopische Einheiten und Größenordnungen.

Der Gedanke erforderlicher Energiezufuhr für Mutationen entwickelte sich aus deren Auslösbarkeit durch energiereiche Strahlen. Da es sich um ein experimentell mit physikalischen Methoden konstant reproduzierbares Phänomen handelte, seien auch für spontane, in vivo stabil bleibende Mutationen, dieselben Ursachen anzunehmen, begründet im thermalen Ordnungszustand des Gens.

Die energetische Begrifflichkeit der Physik legte für eine Annahme über Zusammenhänge mutativer Ereignisse eine *causa efficiens* in *einer causa materialis* nahe. Jeder Versuch einer Rückführung auf irgendwelche Zielgerichtetheit von Mutationen hingegen sei als ein Relikt magischen Denkens aufzufassen, das dem Keim unterstelle, sich zwecks besserer Entwicklung in direkter Anpassung an äußere Bedingungen erblich zu verändern (Muller 1951: 91f). Denn eine zweckhaft verursachte Mutation wäre eine im Zusammenhang sich vorauslaufende Anpassung, nicht ein chemisch oder energetisch konformer, reaktiver Ablauf. Unter der Voraussetzung von physikalischer Materialität und Bestimmbarkeit des Gens schien eine Zweckvorstellung auch für das biologische Gen entgegen seiner Besonderheit endgültig ausgeschlossen.

Dem Genbegriff wurden zwei Merkmale hinzugefügt:

1. die Fähigkeit, den Aufbau einer anderen Struktur gleich der eigenen zu verursachen, wobei das Tochtergen die Mutationen des eigenen Vorläufers kopiert enthält. Eine solche Selbstreproduktivität des Gens und seiner Veränderungen beruhe auf dem ungeklärten Vermögen, einer heterogenen Umwelt Komponenten zu entnehmen, die den eigenen Bestandteilen gleichen, und diese an sich zu binden. Die Entwicklung der biochemischen Stoffe und physiologischen Abläufe des Organismus wird auf das Gen und seine Selbstreproduktion zurückgeführt. Selbst wenn dieses durch mutative Veränderungen die früheren Funktionen verloren hat, behält es seine charakteristische Fähigkeit zur Selbstreproduktion.

Diese Eigenschaft stellt die Beschreibung eines kategorialen Unterschieds zu allen anderen chemischen Substanzen dar(!).

2. Das Gen verhält sich selbstselektiv. Es tendiert zu Konjugation mit Genen derselben Struktur wie der eigenen (Muller 1951. 95ff).

Dem neu vorliegenden Begriff eines *Selbst*, schon seit der Antike (to automaton) gesucht, konnte nun mit einem als eine physikalisch bestimmbare Materie aufgefassten Gen eine chemische und physikalische Automatik zugeordnet werden, eine Terminologie, in der es schwerlich von unbelebter Materie abzuheben ist, aber zugleich als die Grundlage des Lebens gedeutet wird.

Dennoch: Das Gen verhält sich reaktiv erhaltend, reaktiv im Sinn von Tendenz. Ein weiteres lebendiges Moment liegt in dieser Sicht in einer nicht gedeuteten Spontaneität. Für die Zufälligkeit von Mutation exakt im Augenblick der Verbindung des Erbgutes der vorgängigen Generation erhebt sich indessen, physikalisch gesehen, der Anspruch, sie sei vollständig auf diese Weise zu erklären.

Mit der energetisch verursachten Mutabilität formulierte *Muller* weitere Auswirkungen. Eine einzelne Mutation brauche nicht nur ein Merkmal zu verändern, sondern könne verschiedene Änderungen hervorrufen. Mutation verringere zwar die Wirksamkeit des mutierten Gens und werde häufig nur rezessiv weitervererbt. Doch indessen entstehe in den meisten Fällen keine neue Merkmalsqualität, sondern nur eine quantitative Zu- oder Abnahme der alten (Muller 1951: 90), also keine Transmutation.

In der Interpretation seiner Entdeckung gibt Muller dem Genbegriff eine Tragweite, die Leben als solches definieren sollte. Eine Fähigkeit zu synthetischer Selbstselektivität sei in der herkömmlichen Chemie und Physik vollkommen unbekannt und werde erst durch den Genbegriff erklärlich. Mit diesem könne zwischen Leben und unbelebter Stofflichkeit unterschieden werden (Muller 1951: 98). Mit der Lebensgrundlage Gen werde das ganze Geheimnis des Lebens zu einem Geheimnis des Gens. Die historisch erste Entstehung von Leben sei die Formierung eines ersten „nackten“ Gens gewesen, das sich im Urmeer zu reproduzieren begonnen und die vorbiologische Evolution abgeschlossen habe (Muller 1922; Muller 1926).

Der neue, genbiologische Erklärungsweg führt von einer chemikophysikalisch gewonnenen Gendefinition das biologische Verständnis für Leben hin zu dessen ersten Ursachen und bleibt dabei auf einem chemisch-physikalischem Weg bis in letzte Konsequenz. Das Moment des Biologischen wird minimiert.

Zufolge *Leslie Clarence Dunn* (1893-1974), 1928 Nachfolger *Morgans* an der Columbia Universität, 1961 Präsident der American Society of Human Genetics, hatte die Neuformulierung des Gens einen befreienden Effekt auf die Wissenschaft, insofern die neue Physik eine Koalition mit der Biologie bilden und Vorstellungen biologischer Genetik zu Begründungen dienen gekonnt habe.

Die Sicht der klassischen Genetik umfasste jetzt kohärenter die drei naturwissenschaftlichen Disziplinen, Physik, Chemie, Biologie und gewichtete neu.

Pflanze, Tier und Mensch konnten gedeutet werden als die belebte Stofflichkeit einer historisch zuvor unbelebten Substanz. Ihr Vorhandensein, ihre Konstanz, ihre Veränderlichkeit wurden mit den Energiegesetzen der Physik in Verbindung gesetzt, um Beschreibungen *physiologischer Chemie* zu erhalten. Die Vorstellung der Selbstreproduktion eines Gens entspricht der Definition des Chemikers von Autokatalyse.

*„Der Physiologe nennt es Wachstum, und, wenn das Gen mehrere Generationen durchläuft, heißt der Biologe es Vererbung“ (Dunn 1965: 171f).*

Der Entwicklungsgang klassischer Genetik sei rekapituliert. Die Analyse spontaner und induzierter Mutationen führte die Biologie dazu, die bislang akzeptierten Definitionen des Gens zu überprüfen. Durch Arbeiten von *Morgan, Muller, Bridges* und *Sturtevant* entstand eine *Chromosomentheorie des Gens*. Sie entwirft ein Bild von Generationsreihen, die aus Keimzellen mit in mutierbare Regionen untergliederten

Stäbchen bestehen, die mikroskopisch sichtbar sind und sich im Zellkern befinden: Chromosomen. Regionen der Chromosomen mit ihren Mutationen sind für die Entwicklung des Organismus und seine Reagibilität verantwortlich. Gene liegen in einer linearen Anordnung auf dem Chromosom, für die Genkarten Rückschlüsse auf ihre Lagebeziehungen gestatten (Sturtevant 1951: 101-110).

Die von *Aristoteles* als der Verwunderung wert eingestufte Eigenschaft der Lebendigkeit von Organismen wurde zurückgeführt auf Materie im Sinne einer Substanz, die Gene enthält und aufgrund von Einflüssen auf diese genetisch funktioniert.

*Muller* räumte einen Vorbehalt gegenüber dieser Theorie ein. *Johannsens* Hinweis auf den bloßen Konzeptcharakter des Gens solle man nicht vergessen. Nimmt man diesen Vorbehalt ernst, ist zu berücksichtigen, dass die Vorstellung leibhaftiger Gene als dem Substrat der Eigenschaftsbildung in aller Allgemeinheit der Terminologie von Materialität ihrer Geschichte nach einen beschränkten Begriff verwendet, der aber eine höchst allgemeine, nicht nur lokale Relativität im Wissensgebäude beansprucht.

### VIII 3

#### DAS GEN ERHÄLT EINE BIOCHEMISCHE CHARAKTERISTIK

Das klassische Genkonzept war ein Resultat mechanistischer Biologie (*Bowler* 1989: 135). 1939 stand es um die Theorie des Gens wie folgt: Der merkmalsbestimmende Faktor Gen wird als ein Segment des Chromosoms angesehen. Die segmentale Einheit sei diejenige, welche sich bei Mutation und Crossing-over einheitlich verhalte. Sie steuere das Wachstum und die Ausbildung der Körpermerkmale des Organismus. Sie sei selbstreplikativ und werde als Duplikat von Zelle zu Zelle und von Eltern über Keimzellen auf ihre Nachkommen übertragen. Quelle neuer Gene seien die Mutationen. Mutative Veränderung findet nicht wie in *Mendels* Theorie innerhalb eines begrenzten Merkmalspools statt, sondern ist als unendlich gedacht. Als ein Spontanereignis, das energetisch und mechanisch bedingt sei, wird Mutation auf dreierlei Weise vorgestellt: als eine Änderung der Chromosomenzahl, der Chromosomenstruktur (Chromosomenmutation) oder eines Chromosomenlocus (Genmutation bzw. Punktmutation).

Eine Vorstellung darüber, wie Gene Entwicklungsprozesse steuern und welche Primäreffekte sie auslösen, fehlte noch, doch wurde angenommen, alle Zellen eines Lebewesens würden sämtliche Gene enthalten. Daher war zu untersuchen, auf welche Weise genetische Faktoren der Entwicklung eine Differenzierung in verschiedene Gewebearten lenken können, ein Modell für eine organspezifische *differentielle Genaktivität*. Bis dahin war es methodisch ebensowenig möglich, Unterschiede im Aktivitätszustand eines Gens festzustellen, wie auch die Zahl und die Art der Reaktionsschritte zwischen Gen und Merkmal im Dunkel lagen.

Ein ständig mahnender Widersacher einer rein mechanischen Genauffassung, **Richard Benedict Goldschmidt** (1878-1958), verlangte, für jede Vererbungsleistung die Dynamik des Organismus als Ganzem zu berücksichtigen. Als Gen wollte er mindestens das Chromosom fassen oder sogar das Genom insgesamt. Denn die Aktivität der Zelle könne nicht auf einzelne Stoffe und unabhängig agierende Gene begründet werden. Goldschmidt forderte eine *physiologische* Betrachtung des Gens (Goldschmidt 1938: 268-273). Er entwickelte diese Vorstellung am Beispiel der Bildung der Geschlechtsmerkmale. Aus Studien über die Entwicklung von Intersexen schloss Goldschmidt, dass die männliche oder weibliche Entwicklungsrichtung bis zu einer kritischen Periode durch die Geschlechtschromosomen vorgegeben sei. Von einem Wendepunkt an müßten infolge eines Einschaltvorganges die Gene des anderen Geschlechts überwiegen und die weitere Entwicklung dominieren. Goldschmidt lieferte für seine dynamische Gentheorie eine Reihe von Beschreibungen, aber es fehlte ein empirisch überprüftes Modell im Rahmen chemikophysikalischer Kausalität, in deren Abhängigkeit sich auch die physiologische Auffassung sah.

Eine Genauffassung, die die Genaktivität in Beziehung zu den aktuellen Stoffwechselerfordernissen des Organismus setzt, bot später das Rückkopplungsmodell von **Francois Jacob** (geb. 1920) und **Jaques Lucien Monod** (1910-1976). Es leitete aus einer Einteilung der Gene in Typen mit verschiedenen Aufgaben eine gegenseitige Beeinflussung der Erbfaktoren im Verbund ab und beschreibt einen Weg, wie Genaktivitäten einsetzen und durch Produkte ihrer Wirkung gehemmt oder beendet werden (Jacob, Monod 1961).

## EIWEISS ODER NUKLEINSÄURE ?

Erst die biochemische Deutung des Gens führte zu einer Definition, die Erklärungen für die zeitlich gestufte Dynamik von Genaktivitäten hervorbringt und Aktivitätsmuster der Gene beschreibt. Diese Definition ist es, die gentechnologische Zugriffe ermöglicht.

Der Medizinhistoriker und Präsident der Nordrhein-Westfälischen Akademie der Wissenschaften **Hans Schadewaldt** [1923-2008] wies darauf hin, dass mit der Ausprägung der Biochemie seit Ende des 19. Jahrhunderts Erkenntnisse über den Mechanismus der Fermente dazu veranlassten, diese Stoffe im Zusammenhang mit dem Wirkungsverlauf der Gene zu sehen. Er zeigte, dass die Existenz von Stoffen solch differenzierter biochemischer Leistungen wie der Katalyse – zuvor ein industrielles Artefakt – als erstem von dem bei Brüssel lebenden Arzt **Johan Baptist van Helmont** (1577-1644) aus theoretischen Gründen auch für biologische Vorgänge gefordert wurde (Schadewaldt 1991: 303). Noch in den zwanziger Jahren unseres Jahrhunderts sei die chemische Natur katalytisch wirkender Substanzen keineswegs sicher gewesen. Die Mehrzahl der Chemiker habe jedoch vermutet, Fermente seien Proteine.

Da es sich bei den Biokatalysatoren um Funktionsproteine handelt, ohne deren Vorhandensein die betreffenden chemischen Reaktionen zwar *in vitro*, aber nicht *in vivo*, biochemisch, ablaufen können, und nicht um Eiweiß als Baumaterial von Körpersubstanz, nehmen sie eine Mittelstellung ein, zwischen dem erblichen Bauplan Gen und dessen Produkt. Sie gelten als die Werkzeuge der Verwirklichung des in Genen gespeicherten Wissens.

1874 hatte **Johann Friedrich Miescher** (1844-1895), Professor für Physiologie an der Universität Basel, entdeckt, dass der Zellkern von Fischspermien eine besondere Substanz enthält. Er bezeichnete sie als das *Nuclein* (Miescher 1874). **Richard Altmann** (1852-1900) hielt Nukleinsäuren in Reinform für eiweiß- und schwefelfrei (Altmann 1889). **Wilson** nahm bereits 1896 an, Nukleinsäure sei die Erbsubstanz. Vererbung galt ihm später als eine Wiederholung gleicher Formen des Metabolismus in aufeinanderfolgenden Generationen (Wilson 1928), eine modern anmutende Sicht, die sich auch mit **Aristoteles** Darstellung in „De generatione animalium“ vereinbaren läßt,

die aus erblichen Bewegungskräften die organisierenden Muster für stoffliche Assimilation ableitet.

Zur Wende in das zwanzigste Jahrhundert schied man zwei Arten von Nukleinsäure, deren eine sich sowohl im Zytoplasma als auch in den Chromosomen befindet, deren andere nur in den Chromosomen vorkommt. 1902 beschrieb **Archibald Edward Garrod** [(1857-1936); u.a. Medizinprofessor in Oxford, Mitglied der Royal Society] eine erbliche Erkrankung, die ihm folgend mit Screening-Tests diagnostiziert wird, die Alkaptonurie. Sie entsteht durch den Ausfall eines Enzyms, das den Benzolring in Alkapton spaltet. Als Ursache sah Garrod eine Genmutation (Garrod 1909: 1-7). **Lucien Cuenot** [(1866-1951), Professor für Zoologie an der Universität von Nancy] nahm an, Gene würden Enzyme produzieren (Dunn 1965: 133), ein Prinzip nahe der Auffassung gegenwärtiger Biologie.

Für **Johannsen**, den Begründer der Bezeichnung Gen, liefen „*die Andeutungen über die Natur der Gene mehr und mehr darauf hinaus, daß chemische Zustände maßgebend sind*“ (Johannsen 1926: 426). Er verglich das Spalten und Nichtspalten der Merkmale mit schwierig zu trennenden Körpern, etwa Fetten. Auch **Garrod** hatte 1909 das Prinzip des Gens mit einer ungeklärten Beziehung zwischen Gen und metabolischer Reaktion erklärt.

Die Nukleinsäure des Zellkerns konnte 1924 nach der Entdeckung einer spezifischen Farbreaktion durch **Joachim Wilhelm Robert Feulgen** (1884-1955) und **H. Rossenbeck** markiert werden.

Dennoch vertraten bis in die zwanziger Jahre des 20. Jahrhunderts die meisten Biochemiker weiterhin die Auffassung, Gene seien Enzyme und damit Eiweiße. Eine chemische Darstellung des Gens war weiterhin nicht gegeben.

Während die klassische Genetik um **Morgan** und seine Mitarbeiter die Chromosomentheorie des Gens weiterentwickelte, wurden zunehmend Erkenntnisse gewonnen, die zur chemischen Charakterisierung einzelner Kernbestandteile beitrugen. Durch mikroskopische Ultraviolettanalyse der Zellen konnte 1936 **Torbjörn Oskar Caspersson** (1910-1997) Pentosenukleinsäure in den Bändern der Riesenchromosomen der Speicheldrüsen von *Drosophila* nachweisen.

Auf der anderen Seite ergab sich, dass Viren als Ganze mit der Fähigkeit der Selbstreplikation versehen sind, dem Merkmal, das **Muller** als das wesentliche des Gens herausgestellt hatte, verbunden mit der Entdeckung, dass es die Nukleinsäuren sind,

von denen die mutationsauslösenden Wellenlängen des ultravioletten Lichtes absorbiert werden. Positionseffekte des Gens wurden mit metabolischen Vorgängen der Kernsäuren in Verbindung gebracht. 1939 hielten es **Sturtevant** und **George Wells Beadle** (1903-1989), die Mitarbeiter **Morgans**, für eine „vernünftige Tatsache“, dass Gene entweder selbst Proteine oder aber mit diesen assoziiert seien (Beadle, Sturtevant 1939). Die beiden Forscher dachten sich das Gen als ein einzelnes langkettiges Molekül oder ein Aggregat mehrerer kleiner Moleküle.

Die physikalische Mutierbarkeit des Gens brachte einen Forscher vollkommen anderer wissenschaftlicher Herkunft dazu, eine Beschreibung des Gens zu entwerfen, die einer molekularen Darstellung entgegenkam. Der Atomphysiker **Erwin Schrödinger** [(1887-1961);begründete die moderne Wellenmechanik;1933 Nobelpreis] entwickelte seine Vorstellungen zu dem ihm fachfremden Thema 1943 rein theoretisch in einer Vorlesungsreihe am Trinity College in Dublin. Das Gen gleiche einem Molekül, das nach Absorption von Strahlenenergie aus einem stabilen Zustand in den nächsten mutiere. Mutation sei bedingt durch Quantensprünge in den *Genmolekülen* (Bowler 1989; Schrödinger 1987: 74)). Der Physiker schätzte die Größe des Gens auf eine bis wenige Millionen Atome, die bestimmende Genstruktur hingegen auf tausend oder nur weit weniger (Schrödinger 1987: 70). Diese sehr kleinen Größenverhältnisse seien es, die der „höchst regelmäßigen und gesetzmäßigen Wirksamkeit“ und der „Dauerhaftigkeit oder Beständigkeit“ des Gens angesichts aller bislang bekannten physikalischen Ordnungsverhältnisse entgegenstünden (Schrödinger 1987: 91). Atomgruppen dieser Art seien zu klein, als dass sie aus statistischer Gesetzmäßigkeit abgeleitet werden könnten, aber würden dennoch die „großmaßstäblichen Merkmale“ des Organismus und die wesenhaften Eigenschaften seiner Funktion jahrhundertlang stabil bewstgimmen (Schrödinger 1987: 54, 71). Wenn ein Gen verändert werde, so könne dessen Veränderung nur un stetig durch isomere Lageveränderungen der Atome erfolgen, mittels Überschreitung der Energieschwellen der jeweiligen Atomkonfigurationen. Als Beispiel konnten Spontanmutationen dienen.

Entscheidend für Schrödingers Gedankengang ist folgende Annahme: Aufgrund der in statistischer und physikalischer Sicht geringen Zahl genetisch beteiligter Atome sei weder durch die Gesetze der statistischen Physik noch der Gesetze der Physik überhaupt ein „geordnetes Verhalten“ erklärbar (Schrödinger 1987: 70), „nicht deswegen, weil eine 'neue Kraft' oder etwas ähnliches das Verhalten der einzelnen Atome innerhalb eines lebenden Organismus leitete, sondern weil sich dessen Bau von allem

*unterscheidet, was wir je im physikalischen Laboratorium untersucht haben*“ (Schrödinger 1987: 133). *„Wir müssen hier bereit sein, physikalische Gesetze einer ganz neuen Art am Werk zu sehen*“ (Schrödinger 1987: 139).

**Benjamin Lewin** (Gründungsherausgeber der Zeitschrift „Cell“) in seinem Lehrbuch zur Genetik entnimmt Schrödinger die Vermutung eines prinzipiell neuen Erkenntniswegs. Schrödinger habe erwartet, eine Erforschung des Gens könne der Physik als solcher neue Gesetze offenbaren. Die Wissenschaft vom Lebendigen könne Hinweise geben für die Lehre von der unbelebten Natur (Lewin 1988: 3).

In der Konsequenz bestätigte sich jedoch die historisch gewohnte Gewaltenteilung. Für die naturwissenschaftliche Hierarchie blieb die Physik unumstritten die übergeordnete Prinzipienlehre der Naturerkenntnis. Ein Exempel, aus dem die Physik der Genetik als neuer Grundlegung der Biologie unbekannte Prinzipien hätte entlehnen müssen, blieb die Genetik schuldig. **Schrödinger** hatte für die Wissenschaft der Materie eine Orientierung an besser erkannten Prinzipien der Biologie zwar für möglich gehalten, aber die weitere Erforschung des Gens bekräftigte die Antithese. *„In allem, was es tut, gehorcht es jedoch den Gesetzen der Physik und Chemie, und es wurde auch nicht nötig, neue Regeln einzuführen“*, beschreibt **Lewin** 1988 die später für lange Zeit fraglos gewordene Etablierung der *molekularen* Genetik (ibid.). Die biologischen Modelle fügten sich in die Ordnungsprinzipien der Physik. Die Annahme einer biologischen Eigengesetzlichkeit mit Einflussnahme auf chemisch-physikalische Verursachung ist verlassen. Dass auch Zellen den Gesetzen der Physik und Chemie folgen, gehört zu denjenigen Prämissen der Vererbungslehre, mit denen sich die späte Biologie von den Annahmen ihrer Frühzeit abhebt.

Bliebe eine Differenz wie in dem erwähnten Sinn erhalten, könnte das 1943 entdeckte Problem hilfreich bleiben. Das von **Schrödinger** vorgeschlagene Prinzip könnte dazu dienen, als ein weiteres Frageprinzip auf die durch Praxis und Methodik anschwellenden Antworten – der bei aller durch Anwendungserfolge nur a posteriori legitimierten Bestimmtheit der Evolutionsbiologie - Lösungswege zu vermitteln.

**Klaus Mainzer** (geb. 1947), Inhaber des Lehrstuhls für Philosophie und Wissenschaftstheorie an der Technischen Universität München, gibt zu bedenken, **Schrödinger** gehöre *„zu den Anregern der modernen Molekularbiologie, insbesondere der molekularen Genetik, obwohl sich die hier vertretenen Auffassungen im Detail als wenig tragfähig erwiesen“* hätten (Mainzer 2004: 732)).

Die Sprachregelung, die Schrödinger durch seine Wortwahl nahelegt, benutzt Begriffe der Nachrichtentechnik. Diese stellen in heutigem Sprachgebrauch eine selten bezweifelte Gewohnheit dar. Dementgegen erklärte Schrödinger eine solche Begrifflichkeit für zu eng, als dass sie genetisch ursächliche Strukturen vollständig erfassen könnte. Denn diese unterschieden sich von den nachrichtentechnischen Elementen wesentlich. Die wirksamen Substrate der Genetik würden sowohl über die erzeugende als auch die ausübende Gewalt verfügen. Sie seien gleichermaßen „*Plan des Architekten und Handwerker des Baumeisters*“ (Schrödinger 1987: 57).

Termini der Nachrichtentechnik wurden in der Computerwissenschaft so gebräuchlich wie in der Linguistik. Die Übersetzung der biologischen Formalistik bedient sich ihrer ebenfalls. Gene gelten als kodierte Information mit kodegemäßen Vorschriften für Entstehung, Wachstum, Erhalt und Funktionen eines Organismus. Analogien berufen sich auf Ausdrücke wie Urschrift, Schrift, Abschrift, Vervielfältigung und Lesen der Schriften. Im Fortschritt dieser Darstellungsweisen nach Herkunft aus vorwissenschaftlichen Sprechweisen zu forschen führt auf die Frage nach Ausschlüssen in der gebräuchlichen Wissenschaftsterminologie.

**Schrödinger** folgend erfordert die naturwissenschaftliche Absicht ein *molekulares* Modell des Gens. Weshalb aber nur ein solches, und nicht ein spezifisch biologisches? Denn das Gen, - so Schrödinger - das neben dem Bauplan zugleich die Fähigkeit zu seiner Verwirklichung enthalte, verfüge wie ein umfassender Verstand über sämtliche Details, der alles aus einer genetischen Urschrift der Chromosomen ersehen könne. Das von Schrödinger verwendete Bild des Gens säkularisiert eine deterministische religiöse Vorstellung. Ein universeller Geist sei imstande, aus dem Gen jede weitere Entwicklung abzulesen, „*ob sich aus einem Ei ein schwarzer Hahn entwickle oder eine bunte Henne, eine Fliege, eine Maispflanze, ein Käfer, eine Maus oder eine schöne Frau*“. Abgesehen von solcher Metaphorik weist der Atomphysiker neben Begriffen der Nachrichtentechnik auch auf juristische Termini, um die Urschrift der Chromosomen zu umschreiben.

Biophysikalische Stringenz verlangt, dass ein Lebewesen ununterschieden von allen Gegenständen der Natur mit den bekannten Gesetzmäßigkeiten der Natur übereinstimmt. Für die Besonderheit von Lebewesen im Vergleich zu unbelebten Körpern erfordert ein materiell lückenloser Zusammenhang, dass die sterblich verweslichen Körper eine über ihre Lebenszeit hinausweisende irgendwie geartete

Gesetzlichkeit in ihrer Materie aufweisen, durch die sie sich in materieller, nicht allein chemisch-physikalischer, sondern lebendiger Kontinuität befinden. Die Auffassung über die Gesetzmäßigkeiten der Kontinuität unbelebter Substanz wird für das Verständnis der lebenden Stofflichkeit zum Vorbild. Lebewesen gelten als diejenige Substanz, die, zusammengesetzt aus unzähligen Generationen eines in Grenzen freier sich wandelnden Erscheinungsbildes als das der unbelebten Materie, trotz Sterblichkeit ihrer Individuen, eine auch aus ihrer eigenen Gesetzmäßigkeit abzuleitende Tendenz zu Selbsterhaltung und zu artweiser Beständigkeit ihrer Bau- und Formeigentümlichkeit aufweist.

Biochemisch dargestellt lautet das Problem dann: Wie kann der lebenden Materie, dem durchgängigen Prinzip im Wechsel, eine Speicherung stattgefunder Veränderungen eingegeben sein, so dass ein Zusammenhang von prinzipiellem Wechsel und Dauer durch alle Stadien der Veränderung gewährleistet wäre? Anthropomorph gesagt, wie gelingt es einer lebendigen Substanz, ihre Erfahrungen zu speichern und weiterzugeben, zu verewigen, als auch sich dabei zu verändern, zu vergehen und doch weiterzubestehen? Eine Antwort lag in der Genvorstellung. Das Gen wird Träger von zuvor unvereinbar erscheinenden Gegensätzen für die neuzeitliche wissenschaftliche Vorstellung von Materie. Die gefundene Abstraktion der Frage wurde nicht allein gefunden in den chemikalischen und physikalischen Prinzipien von Energetik und Atomtheorie. Sie entstand aus dem – spekulativ erarbeiteten – biologischen Vorbegriff eines *Vererbungsplasmas* als dem Substrat dessen, das die Ursächlichkeit von Art- und Eigenschaftsbildung in sich enthalte, der Darstellung der Biologie des 19. Jahrhunderts.

Mit *Schrödinger* war für das physikalisch-biochemische Verständnis das Bild eines Kode-Mechanismus vorgezeichnet. Von einem solchen Mechanismus musste im weiteren zweierlei gezeigt werden. Erstens habe er die Bedingungen zu erfüllen, die bislang vom Gen gefordert waren, Gewähr einer Eigenschaftskonstanz durch eine sich gleichbleibende Vervielfältigung des Gens im Fortpflanzungsfortgang mit zugleich der gegenläufigen Möglichkeit einer Veränderlichkeit, die auch Merkmalswechsel zulässt. Zweitens müßte die bauliche Beschaffenheit einer solchen Maschinerie eine Lenkung all derer Folgereaktionen des Organismus während Entwicklung und Lebensverlauf ermöglichen können, die im Gegenstandsbereich der Physiologie und Biochemie erfasst sind.

Die Frage nach der Materialität des im Chromosom befindlichen Gens hatte somit das Problem zu berücksichtigen, ob eine *chemische* Basis die Spezifität *biologischer* Funktionen bedingen kann und musste dafür eine chemische Formulierung finden. Die in Verbindung mit Entdeckungen über die Enzymwirkung des Gens entwickelte Eiweiß-Annahme für die Gensubstanz erschien noch nicht fraglich.

1936 wiesen **Linus Carl Pauling** [(1901-1994) Chemienobelpreis 1954 für seine Arbeiten über die chemische Bindung, Friedensnobelpreis 1963]) und seine Mitarbeiter darauf hin, dass es Wasserstoffbrücken in den Proteinen sind, die deren Konfiguration bestimmen. Die *biologische* Spezifität der Proteine sei durch diesen Bindungstyp gegeben (Pauling 1936).

Wie die Wissenschaftshistorikerin **Lily Kay** ausführt, habe Linus Pauling mit seiner Entdeckung das fundamentale Bindeglied zwischen molekularer Struktur und biologischer Funktion gesetzt und das ältere Konzept einer Stereokomplementarität um eine neue Perspektive erweitert. Überdies habe **Paulings** Eiweißchemie in der Anwendung für die Immunforschung zur Lösung des langwährenden Problems der Spezifität der Antikörperbildung wesentlich beigetragen (Kay 2000: 50).

**Pauling** und **Max Ludwig Henning Delbrück** [(1906-1981) Nobelpreis 1969 für Entdeckungen zum Vermehrungsmechanismus und zur genetischen Struktur von Viren] entwickelten die Kenntnisse über chemische Bindungskräfte weiter, um sie auf biologische Abläufe anwenden zu können. 1940 gelang es ihnen, Synthese und Faltungsvorgänge hochkomplexer organischer Moleküle auf elektrostatische Anziehungen, Wasserstoffbrücken-Bindungen und Van-der-Waalsche Kräfte (schwache Anziehungskräfte zwischen neutralen Atomen und Molekülen) zu beziehen, neben den bis dahin bekannten kovalenten Bindungen durch Elektronenpaare. Als Wirkung gerade jener schwächeren Bindungsarten entstehe die Festigkeit der biologischen Substanzen. „*To give stability to a system with complementary structures in juxta-position.*“ Diese Sicht legte die Vorstellung eines Prinzips der Komplementarität nahe, das für Erbsubstanz erst zwölf Jahre später Anwendung fand: „*We accordingly feel that complementarity should be given primary consideration in the discussion of the specific attraction between molecules and the enzymatic synthesis of molecules*“ (Pauling, Delbrück 1940: 77ff).

**Pauling** nannte diejenigen Bindungstypen, die 1952 für das endgültige Modell der Erbsubstanz entscheidend wurden. In der Doppelhelix verbinden Wasserstoffbrücken und Van-der-Waals-Kräfte komplementäre Moleküle der Erbsubstanz. Sie ermöglichen durch ihre chemische Besonderheit bei Zellteilungen eine Lösung der Moleküle mit Reproduktion des genetischen Materials.

Bis zur Erkenntnis der beteiligten Molekülbestandteile und ihrer räumlichen Anordnung war es noch ein weiter Weg. Eingesehen werden musste, dass die strukturbewahrende Vervielfältigung der Erbsubstanz nicht allein durch die Kenntnis ihrer chemischen Formel verstanden werden kann, sondern des Aufschlusses der exakten räumlichen Verhältnisse der Atome bedarf. Zunächst waren die Bausubstanz, das Eiweiß (als Enzym zugleich eine funktionelle Substanz) und seine Struktur aufzuklären, ehe Nachweise über Tatsache und Art der Steuerung von Enzymen durch Gene erbracht werden konnten. Dass die Gensubstanz in sich unterteilt ist in komplementäre Abschnitte, die sich abschnittsgetreu sowohl bei der Fortpflanzung als auch in den Synthesefunktionen von Eiweiß verdoppeln können, war ein Resultat der Einsicht in ein Zusammenspiel von Bindungskräften und stereochemischen Raumverhältnissen mit den biologisch geforderten Merkmalen des Gens.

**Pauling** veröffentlichte ein Buch, das zum Schlüsselwerk über chemische Bindungskräfte wurde: „*The Nature of the Chemical Bond*“ (Pauling 1939). **Watson** teilt in seiner Rückschau mit, **Crick** und er hätten in ihren Vorarbeiten zum Modell der Erbsubstanz Paulings Werk eingehend studiert (Watson 1973: 74).

Nachem **Torbjörn Caspersson** ein lokalisiertes Auftreten von Thymusnukleinsäuren während der Chromosomenteilung beobachtet hatte (Caspersson 1936), sahen er und sein Kollege **Hammarsten** zwei Jahre später in der Analyse dieser Säuren eine Möglichkeit, mehr über die Chromosomenstruktur herauszufinden. Sie schlugen bereits eine senkrechte Anordnung der Basen zur Molekülachse vor (Caspersson, Hammarsten 1938: 122). Mit **Jack Schultz** stellte **Caspersson** fest, dass zwischen dem Aufbau von Nukleinsäuren und der Reproduktion der Gene eine Verbindung bestehen könne. „*It seems hence that the unique structure conditioning actively self-reproduction [...] may depend on the nucleic acid portion of the molecule*“ (Caspersson, Schultz 1938: 294f). Jedoch nahmen die Forscher weiterhin an, dass es die Eigenschaften der Eiweiße seien, die deren Vervielfältigung und letztlich auch die Synthese der Nukleinsäuren verursachen würden. Aufgrund von Untersuchungen an Geweben verschiedener Herkunft mit einer schnellen Zellteilung, wie den Wachstumszonen von Pflanzenwurzeln, Drosophila-Larven, Hefe, Embryonalzellen von Roggen, hielten sie

für gewiss, dass die beobachtete Basophilie von Embryonalzellen durch Nukleinsäuren verursacht sei. In jedem proliferierenden Gewebe müsse eine hohe Konzentration von Pentose-Nukleotiden vorliegen (Caspersson, Schultz 1939: 602f).

**Caspersson** bekundete aufgrund der ihnen vorliegenden Studien zumindest eine Sicherheit, dass alle selbstreproduzierenden Elemente Nukleotide enthielten oder aufbauten (Caspersson 1941: 38). Daraufhin sah er die Eiweißbildung im Zytoplasma in Beziehung zu Ribosenukleotiden, den Chromosomenstoffwechsel hingegen zu Desoxyribosenukleotiden. Den Thymusnukleinsäuren entsprechende Nukleinsäuren seien „*innerhalb des gesamten Pflanzen- und Tierreichs elektiv an diejenigen Organteile gebunden, welche Träger der Gene sind*“. Bei den Zellteilungen verteilten sie sich gleichförmig auf beide Tochterzellen, „*während die Ribosenukleotide auftreten, wenn es sich um Vermehrung oder Produktion einheitlicher Eiweißsubstanzen handelt, was einer gewissermaßen vereinfachten Genfunktion entspricht*“ (Caspersson 1941: 42) Mit dieser Darstellung entwickelte **Caspersson** also bereits 1941 eine Vorstellung über die beiden Hauptfunktionen der Nukleinsäuren, ohne ihre chemische Struktur und Einzelheiten der Selbstreproduktion zu kennen. Der Zellkern sei das Zentrum des Eiweißstoffwechsels der Zelle. Für den Eiweißaufbau sei die Gegenwart von Nukleinsäuren erforderlich. Im *Spezialfall* des Gens lägen diese in einer Linearstruktur vor, ein *Desoxyribosotyp*, der wie eine Strukturunterlage der Gene im Chromosom einen *Chromosomenmechanismus* veranlasse. Die Verbreitung des beschriebenen Mechanismus erstreckte sich über alle Ebenen, das einfache Pflanzenvirus, die Hefe- oder Bakterienzelle und die höher organisierten Zellen.

Die Hierarchie der Lebewesen löste sich für das Verständnis von Fortpflanzung und Erzeugung der Bausubstanzen auf, in einen einheitlichen plastischen Mechanismus: Bis auf geringe chemische Unterschiede reihen sich gleiche Substanzen nach demselben Prinzip – den Grundgedanken **Darwins** in den Entstehungsmoment der Lebewesen führend.

Während der Cold Spring Harbor Symposia on Quantitative Biology 1941 fragte **Schultz** in „*The Evidence of the Nucleoprotein Nature of the Gene*“, ob auch die selbstreproduzierenden Eigenschaften der Erbsubstanz auf die Nukleoproteine des Zellkerns zurückzuführen seien (Schultz 1941: 55f). Denn die Erbsubstanz müsse eine spezifische Verbindung zum zellulären Synthesapparat aufweisen. Sie sei fähig, ihre Wirkungen auf die Synthesen zu verändern, ohne ihre Selbstreproduktivität zu

verlieren. In sich halte diese Substanz eine lineare Struktur aufrecht und gebe über die meiotischen Zellteilungen ihre Spezifika an die homologen Stoffe weiter. [Die Reduktionsteilungen sind Reifeteilungen bei der Entstehung der haploiden Gameten aus diploiden Urkeimzellen. Sie reduzieren den doppelten Chromosomensatz auf den halben: 1. Chromosomenpaarung der homologen Chromosomen, die jeweils von einem Elternteil stammen, 2. zweimalige Trennung der längsgespaltene und gepaarten Chromosomen zu vier homologen Zellen; Anm. Kurt Plischke].

Damit stellten sich zwei Fragen: Wodurch ist das Nukleoprotein in seiner Zusammensetzung variierbar, und ist es dies genügend, um der Vielfalt spezifischer Gene zu entsprechen? Wie bedingen die physikalischen Eigenschaften der Nukleoproteine die lineare Anordnung der Gene?

Die Lösung dieser Fragen beanspruchte ein Jahrzehnt, während dessen aussichtsreiche Ansätze verlorengingen und wiederzuentdecken waren, weil die Gemeinschaft der Wissenschaftler, in unterschiedliche Lager fallend, militärischen Aufgaben zu dienen hatte. Die folgende Aussage *Schultz*' mag ein Beispiel für die Weitsicht früherer Einsichten geben: „*It may be and we shall return to this point, that protein production and nucleic production at a given locus in the chromosome are inversely correlated.*“

Die Eigenschaften der Gene und des Nukleoproteins seien offensichtlich parallel. So müsse an einer Physiologie des Gens auch dessen Wirkungsweise entwickelt werden.

**Delbrück** monierte die Unkenntnis der chemischen Reaktionen, in die das Gen involviert sei, und arbeitete seinerseits über die Synthese und Struktur der Eiweiße. Wie die Katalyse der Proteinsynthese nicht auf mysteriösen Anziehungskräften gleicher Moleküle, sondern auf Wechselwirkungen kurzer Distanzen beruhe, so sei auch die Paarung homologer Chromosomen in der Meiose als eine Wirkung dieser Kräfte zu prüfen. In der sich an seinen Vortrag anschließenden Diskussion wies Delbrück für die chemische Bindung nichtpolarer Reste auf *geometrische* und *chemische* Affinitäten von Gruppierungen, die keine stärkere Bindungskraft als schwache Van-der-Waals-Kräfte ausüben könnten. Auch Delbrück bezeichnete hier Eigenschaften, auf die später **Crick** und **Watson** ihr Modell zurückführten. 1941 sah **Delbrück** für die wissenschaftliche Beantwortung der Genfrage ebenfalls die Aufklärung des *Genprodukts* als den ersten Schritt an: „*How can we know what a gene looks like when we do not know what globulin looks like?*“ (Delbrück 1941: 122-126).

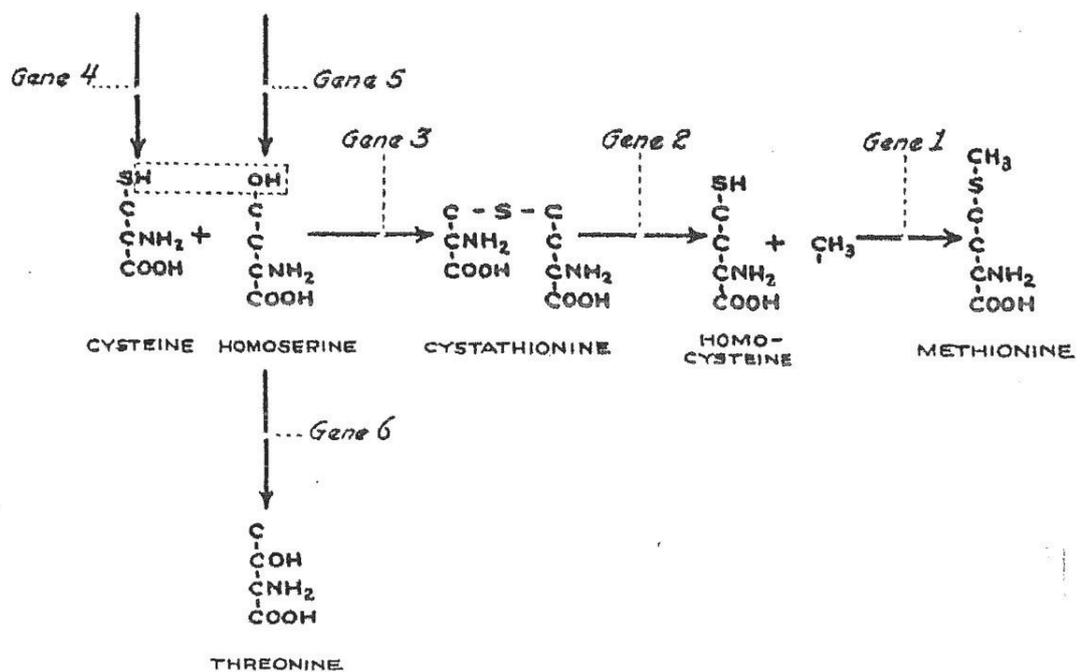
Einer der Urheber des klassischen Genbegriffs und der Chromosomentheorie der Vererbung, **Muller**, fasste die bis zu diesem Jahr vorliegenden Kenntnisse zusammen. Das Nukleoprotein des Gens könne ein Enzym der Proteinsynthese sein, worüber jedoch Unsicherheit bestehe. *„We do not class here as necessarily the activity of the gene in the formation of the ‘gene products’ whereby the work of the gene in the cell is carried out.“* Das genetische System als ein *Nukleoprotein* könne aus fertigen Baueinheiten von Polypeptiden der Proteine bestehen, deren finale Zusammensetzung in einem Muster, das dem Genmuster entspreche, andere Bindungstypen als die Peptidbindung erfordere. Für die Genaktivität hingegen seien chemische Reaktionen sogar mit Verbrauch der Genmoleküle denkbar. Offen bleibe die Frage der Eigenkopie und der Autokatalyse des Gens. Ein plausibles Schema von der Funktionsweise der Nukleinsäure liege nicht vor, zudem – mit Verweis auf **Delbrück** – unter den physikalischen Kräften solche mit *spezifischen* Anziehungskräften zwischen Stoffen unbekannt seien, wie sie von Genetikern und Zytologen gefordert würden. Die Substantialität des Gens verlangt nach besonderen Kräften. **Muller** schloss die Existenz solcher Kraftarten nicht aus. *„I wonder however, whether we can get be sure of the negative proposition, that forces of specific attraction, at distances greater than the ordinary atomic spaces, cannot exist between genes.“* Die Erkenntnis befinde sich in Regionen, *„where angels fear to tread“* (Muller: 1941: 306).

Nach dem Krieg untersuchte **Beadle** Stoffwechselerkrankungen, um Aufschlüsse über die Genwirkung zu erhalten. Er kam zu dem Ergebnis, die Genaktivität bestehe in einer Regulierung spezifischer chemischer Reaktionen (Beadle: 1946: 31-53 u. 76). Aus einem Vergleich von mutationsauslösenden Wellenlängen des UV-Lichts mit dessen Absorption durch Nukleinsäuren zog er den zwingenden Schluss *„that nucleic acid is the component responsible for absorbing the energy producing mutational changes“*.

Gene wie Viren könnten den Stoffwechsel beeinflussen und diese Fähigkeit spontan verändern, ohne die Kraft zur Selbstverdopplung zu verlieren. Beide Entitäten erschienen mutabel. In quantitativ grober Schätzung vermutete Beadle die Größe der Gene nahe der Größenordnung von Viren. Die Tatsache gemeinsamer Fähigkeiten in Verbindung mit dem neugewonnenen Nachweis von Nukleoprotein als dem Baumaterial auch der Viren könne als ein zusätzlicher Hinweis auf eine Nukleoproteinatur der Gene gewertet werden. Unter der Voraussetzung, dass Gene Proteine enthalten, müsse ein Teil ihrer Selbstreproduktion auf dem Weg der Proteinsynthese

verlaufen. Demzufolge sei anzunehmen, dass auch die Bildung von Nichtgen-Proteinen wie Strukturelementen, Muskelfasern, Enzymen und Antigenen der Kontrolle von Genen unterstehe, die den Eiweißkomponenten in Körpereiwießen in spezifischer Weise korrespondierten (Beadle 1946: 52).

1948 hielt Beadle die klassische Definition des Gens als Einheit der Vererbung für unbefriedigend (Beadle 1948: 69-74). Inzwischen habe sich gezeigt, dass einzelne Gene eine *unmittelbare Kontrolle* auf bestimmte Reaktionsschritte in der Serie chemischer Reaktionsabläufe ausübten. Er schlug daher eine neue provisorische Definition vor: das Gen, funktionell gefasst, als diejenige Einheit, die eine Synthese von Replikaten seiner selbst steuert und die zugleich als ein Modell von Nichtgen-Einheiten mit einer ihr korrespondierenden Spezifität dient. Als ein Beispiel für einen Syntheseverlauf, der stufenweise genkontrolliert sei, nannte er die Herstellung der Aminosäure Methionin durch den Schimmelpilz *Neurospora* (Abb.1).



**Abb.1** „Postulated genetically controlled steps in the biosynthesis of methionine and related amino acids in the red bread mold *Neurospora*. The formulas given show carbon skeletons with hydrogen atoms omitted” (Beadle 1948: 70).

Gemäß diesem Modell der Biosynthese von Methionin steht jeder einzelne Reaktionsschritt des Reaktionsablaufs unter der Kontrolle eines eigenen, reaktionsspezifischen Enzyms. Die Synthese jedes Enzyms werde von einem eigenen Gen gesteuert.

Die Beteiligung der Nukleinsäuren am Vererbungsvorgang gilt somit als dasjenige, welches das biologische Moment in der Chemie der Vererbung birgt.

1944 stellten **Oswald Theodore Avery** (1898-1961), **Colin MacLeod** und **Maclyn Mc Carty** (1911-2005) Ergebnisse über die Umwandlung von Pneumokokken vor (Avery, MacLeod, Mc Carty 1944: 137-159). Die Untersuchung chemischer Vorgänge in der Erzeugung konstant reproduzierbarer Veränderungen von Zellstrukturen und Zellfunktionen der Mikroorganismen sollte Hinweise geben über die erbliche Weitergabe von Eigenschaften der höheren Lebewesen.

Der Forschergruppe gelang es, aus Typ-III-Pneumokokken mit Kapsel eine hochgereinigte eiweißfreie Nukleinsäurefraktion zu erhalten, die aus uneingekapselten Typ-II-Pneumokokken beständig Nachkommen wiederum mit Kapsel hervorgehen ließ. Das jeweils aus diesen extrahierte und gereinigte Material erwies sich als eiweißfrei. Es bestand nahezu ausschließlich aus Desoxyribonukleinsäure mit der Fähigkeit, aus Typ-II-Pneumokokken ohne Kapsel Varianten mit einem kapsulären Polysaccharid von identischer Spezifität zu produzieren, wie dasjenige der Pneumokokken, aus denen die induzierende Substanz entnommen war. Die umwandelnde Kraft zeigte sich als konstant, typenspezifisch und vererblich. Die Antwort auf die Ausgangsfrage lautete somit: *„If it is ultimately proved beyond reasonable doubt that the transforming activity of the material described is actually an inherent property of the nucleic acid, one must still account on a chemical basis for the biological specificity of its action.“* Und: *“Then nucleic acids of this type must be regarded not merely as structurally important but as functionally active in determining the biochemical activities and specific characteristics of pneumococcal cells“* (Avery, MacLeod, Mc Carty 1944: 155). Das Pneumokokken erblich verwandelnde Prinzip im Gen wurde somit als eine der Nukleinsäure inhärente Eigenschaft angesehen. Auf einer *chemischen* Basis verursache sie *biologische* Spezifitäten in der Entwicklung der Zellfunktionen des Lebewesens.

Die Autoren vermuteten in dem gefundenen Sachverhalt Anwendungsmöglichkeiten für medizinische Genetik, Virologie und Tumorforschung.

**Alfred Day Hershey** (1908-1997) und **Martha Chase** (1927-2003) untersuchten mit dem Eindringen von Bakteriophagen in das Bakterium *Escherichia Coli* den nachfolgenden Lebenszyklus der Viren ebenfalls auf eine Beteiligung von Proteinen

und Nukleinsäuren. 1952 fanden sie an T2-Bakteriophagen heraus, dass die virale DNS während der Infektion des Bakteriums die Proteinhülle des Virus verläßt und in die Bakterienzelle eindringt. *„When a particle of bacteriophage T2 attaches to a bacterial cell, most of the phage DNA enters the cell, and a residue containig at least 80 per cent of the sulfur-containig protein of the phage remains at the cell surface [...] and it plays no further role in infection. [...] We infer that sulfur-containig protein has no further function in phage multiplication. [...] These facts suggest that the phage DNA forms part of an organized intracellular structure throughout the period of phage growth.”* Der Lebenszyklus des Virus scheine bestimmt zu sein durch seine DNS, jedoch sei eine genauere Kenntnis noch nicht gelungen. *“Further chemical inferences should not be drawn from the experiments presented”* (Hershey, Chase 1952: 36-56).

1953 stellten die beiden Forscher gemeinsam mit **June Dixon** Ergebnisse über die Zusammensetzung der bakteriellen und viralen DNS vor. Die DNS von E. Coli enthalte in gleichen Mengen Guanin, Adenin, Thymin und Cytosin. Die Phagen-DNS bestehe aus Guanin, 5-Hydroxymethylcytosin mit im Verhältnis dazu hohen Mengenanteilen von Adenin und Thymin, jedoch ohne Cytosin aufzuweisen. Mit dieser Untersuchung sei das zuvor unbekannte Verhalten der DNS während des Infektionsverlaufs aufgeklärt. *„Infected bacteria contain DNA of a composition, that varies systematically during the course of viral growth. At all times it resembles a mixture of bacterial and viral DNA. The characteristic bacterial DNA is decomposed after infection. [...] The characteristic viral DNA increases in amount“* (Hershey, Dixon, Chase 1953: 777-789). Die Virus-DNS ist damit erwiesenermaßen zugleich das infektiöse Agens. Sie gliedert sich in die bakterielle DNS ein und verändert deren Zusammensetzung.

**Erwin Chargaff** [(1905-2004) Biochemiker und Essayist. Habilitation in Berlin, 1933 Emigration, Frankreich, Institut Louis Pasteur, 1935 Emigration, USA, 1952 Professor für Biochemie, Universität von Columbia] ermittelte 1952 mit seinen Mitarbeitern an drei verschiedenen E. Coli-Stämmen einer Spezies nahezu gleiche relative Mengenverhältnisse von Adenin zu Guanin und Cytosin zu Thymin. *„It is noteworthy that three different strains of the same species, varying as to origin and biochemical characteristics, yielded DNA preparations that resembled each other so closely with respect to their composition“* (Gandelman, Zamenhof, Chargaff 1952: 399-401). Um Beziehungen von der chemischen Zusammensetzung der DNS zu biologischen Funktionen, sowie zu Taxonomie und Phylogenie herstellen zu können, empfahl Chargaff die Entwicklung

zusätzlicher Untersuchungsmethoden, die sich aus physikalischen Unterscheidungen und aus einer Analyse der Nukleotidsequenz zu ergeben hätten (Zamenhof, Brawerman, Chargaff 1952: 402-405).

Die nachmalig alsbald an anderen Species bestätigte Tatsache fester Proportionen zwischen Pyrimidin- und Purinbasen hieß fortan die *Chargaffsche Regel*. Zur Wichtigkeit dieser Entdeckung wurde noch im Jahr 2000 in Tagespresse und Fachliteratur die Frage gestellt, ob die Erkenntnis dieser Regel nicht ebenso wie der Nachweis der DNS-Struktur, deren entscheidenden Anhaltspunkt sie geliefert hatte, eines Nobelpreises würdig gewesen wäre (**Harms** 2000 weist erneut darauf hin, dass die Erstveröffentlichung **Cricks** und **Watsons** über die Doppelhelix die Hilfestellungen von **Chargaff** unerwähnt lasse. **Müller-Hill** 2000 deutet ebenfalls die Bedeutung von Chargaffs Vorleistung. Akademie 2000, S. 267, vermerkt: „*Es war Chargaff, der erkannte, dass von diesen vier Basen jeweils A und T sowie G und C im gleichen molaren Verhältnis vorkommen. Watson und Crick entwickelten daraus das Konzept der Basenpaarung, was das Vorkommen der DNA als Doppelhelix erklärt*“. Vgl. auch: Frankfurter Allgemeine Zeitung 2000a, 2000b).

Das gesuchte biochemische Modell, das die für eine Erbsubstanz aufgrund experimenteller Ergebnisse geforderten Eigenschaften zu erfüllen hatte, musste ein Strukturmodell der DNS sein. In seinen wesentlichen Grundzügen wurde es bestimmt durch **Crick** und **Watson**, wie bereits erwähnt, und ebenso maßgeblich durch **Maurice Hugh Frederic Wilkins** (1916-2004) und **Rosalind Elsie Franklin** (1920-1958).

Mit einer Darstellung von nur einer Seitenlänge in der Zeitschrift „Nature“ vom 25.4.1953 begründeten schließlich **Crick** und **Watson** 1953 die seither gültig gebliebene Beschreibung der „*Molecular Structure of Nucleic Acids*“ (Watson, Crick 1953a: 737/738), unmittelbar gefolgt von **Wilkins**, in derselben Ausgabe von Nature mit ebenso bedeutenden Ausführungen einer „*Molecular Structure of Deoxyribose Nucleic Acids*“ (Wilkins, Stokes, Wilson 1953: 738-740). Sie erläutern – so **Crick** schon in der Vorgeschichte der Arbeiten – das vollkommene biologische Prinzip. Gezeigt werde die identische Verdopplung des Gens als der Fähigkeit, während der Zellteilung, wenn die Chromosomenzahl sich verdoppelt, eine exakte Kopie seiner selbst hervorzubringen (vgl. Watson 1973: 104).

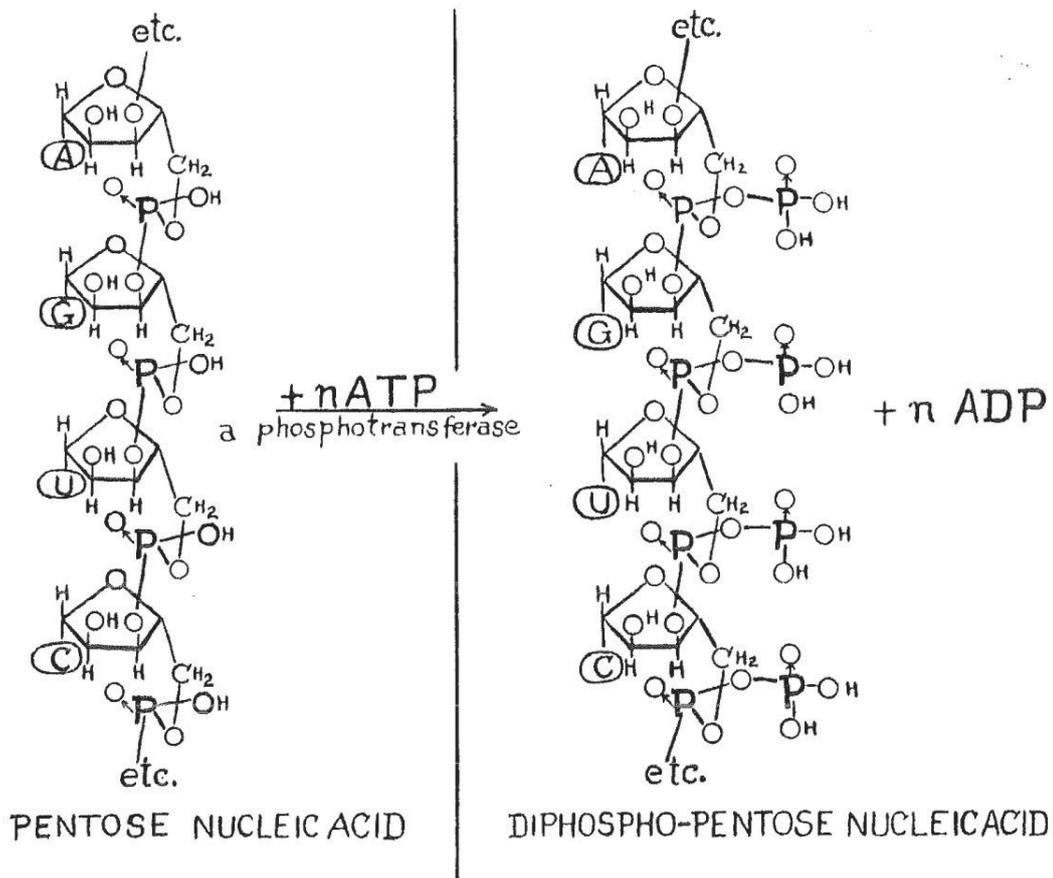
1952 zu Beginn seiner Untersuchungen der Gensubstanz hatte **Watson** Kenntnisse über die Einzelheiten der Invasionsphase bei der Infektion von Bakterien durch Bakteriophagen. Die bakterielle Synthese von Desoxyribonukleinsäure werde blockiert, gefolgt von der Unfähigkeit des Bakteriums, adaptive Enzyme zu bilden, weil das Virus den Zellkern seiner Wirtszelle zerstöre.

Watson bestrahlte das Virus experimentell mit Röntgenstrahlen und erhielt Aufschluss über die Fähigkeiten der inaktivierten Virussubstanz. Das Ergebnis war gestuft. Auch die inaktiven Viruspartikel verlieren nicht ihre Fähigkeit zur Adsorption an die Bakterienwand, und trotz Verlustes ihrer Killer-Eigenschaften gibt die Substanz ihre lytischen Fähigkeiten nicht auf. Für geringe Mengen beobachtete Watson sogar umgekehrt eine Multiplikation und Photoreaktivierung der zerstörten Phagen (Watson 1950: 697-718).

Ausgehend von der Tatsache einer Transformation der genetischen Typen von Pneumokokken durch Desoxyribonukleinsäure, wie sie die Versuche von **Avery**, **MacLeod** und **Mc Carty** ergeben hatten, und **Beadles** Arbeiten, nach denen Gene Protein- bzw. Enzymsynthesen zu veranlassen schienen, schlug **Alexander Dounce** im Jahr 1952 exakte chemische Formeln eines Mechanismus für die Bildung von Peptidketten und für die Entstehung von Nukleinsäuren vor (Dounce 1952: 251-258). In der Interpretation seiner Ergebnisse nahm er eine Reihe von Einzelheiten vorweg, die mit der nachfolgend erkannten Nukleinsäurestruktur bestätigt wurden. Auch wenn sein Formelmodell von anderen Bindungstypen und Bindungspartnern ausging, nahm es bereits einen Doppelstrang zweier Pentoseketten an.

Mit gewisser Vorsicht nannte **Dounce** zur Klärung der entscheidenden Schwierigkeiten eine Methode, die schließlich zum Durchbruch verhalf. „*Possibly some work with atomic models would be desirable*“. Die Hypothese für Peptidketten- und Nukleinsäuresynthese „*should of course take into account the geometry and spatial arrangements of the molecules in question*“. Stereochemie und räumliche Lageverhältnisse der Nukleinsäuren sollten, solange quantitative Daten nur unzureichend verfügbar seien, an *Modellkörpern* entwickelt werden.

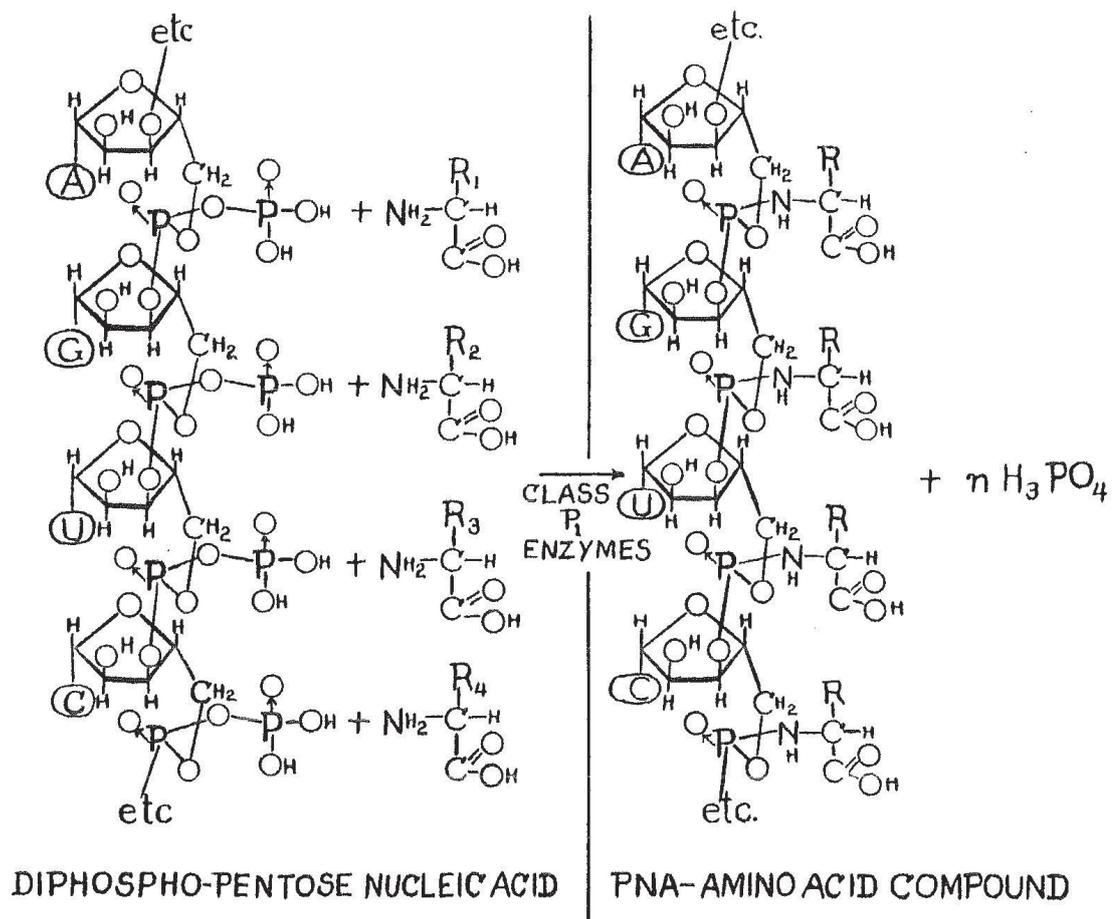
Das von Dounce vorgeschlagene System des Eiweißaufbaus nimmt bereits eine spezifisch enzymvermittelte Synthese des Eiweißes aus Aminosäuren an einem Nukleinsäurestrang an, dessen Baubabschnitte einer Sequenz der Aminosäuren korrelieren. Das Modell geht von phosphorylierten Pentoseketten aus, deren Pentosen über die Phosphatgruppen miteinander verbunden sind (Abb. 2).



**Abb. 2** „Formation of diphosphonucleic acid. A encircled = Adenine G encircled = Guanine U encircled = Uracil C encircled = Cytosine” (Dounce 1952: 252).

Die Nukleinsäure besteht aus einer Längsreihe von Pentoseringen. Sie sind über Phosphatreste in den Seitengruppen miteinander verbunden. Ebenfalls Substituenten an den Pentosen sind die Basen Adenin, Guanin, Uracil und Cytosin. Aus ATP stammende Phosphatgruppen binden sich über Sauerstoffbrücken an ein Phosphoratom in den Phosphorsäureresten der Pentosen (rechte Seite der Abbildung).

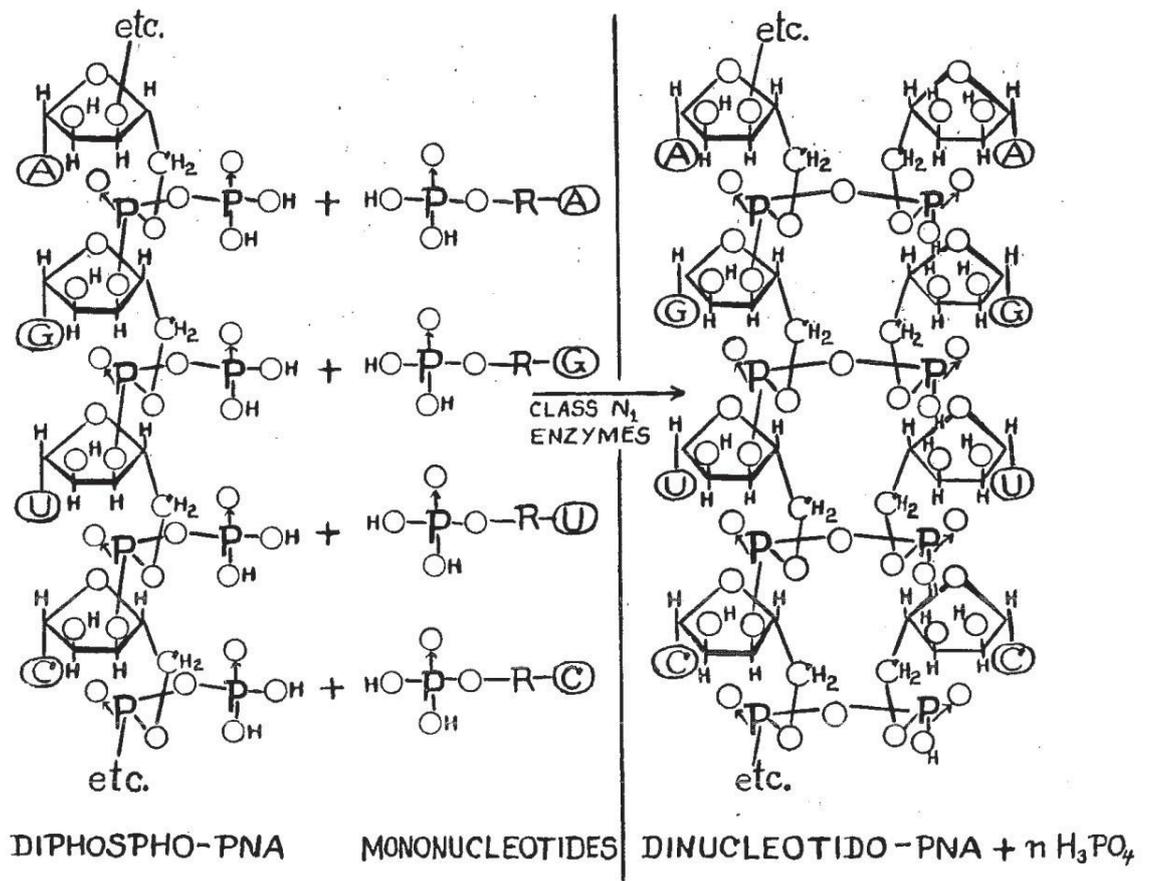
Im zweiten Reaktionsschritt bindet sich das Reaktionsprodukt enzymvermittelt an jeden Phosphatrest, unter Abspaltung jeweils einer Phosphatgruppe pro Aminosäure. Es entsteht ein Polynukleotid-Aminosäuren-Komplex. *Dounce* führte aus, dass für die Auswahl der Aminosäuren eine Enzymspezifität verantwortlich sei. Die betreffenden Enzyme nannte er P1-Klassenzyme. Jedes besitze zwei Spezifitäten, eine für ein bestimmtes Segment der Nukleotidkette, eine andere für die jeweilige Aminosäure zum Einbau in das Peptid. In der Reaktionsfolge für ein Eiweiß würden daher ebenso viele Enzymklassen existieren, wie Aminosäuren an der Synthese des betreffenden Eiweißes beteiligt seien. Das Enzym wähle ein Nukleotid nur unter den Bedingungen der für das Eiweiß erforderlichen Anordnung von Nachbarnukleotiden aus. Die Nukleotide seien je nach Basengehalt in Purine und Pyrimidine unterschieden. Im Ergebnis der Reaktion liege schließlich eine Nukleinsäurenkette vor, die an jedem Nukleotid eine Aminosäure trage. Die Sequenz zeige dieselbe Reihenfolge an Aminosäuren, wie das fertige Peptid (Abb3).



**Abb. 3** "Reaction of diphosphonucleic acid with amino acids under the influence of class  $P_1$  enzymes (diphosphonucleo-amino acid phosphorylases)" (a.a.O. S. 253).  
 Enzymspezifitäten sowohl für Aminosäuren als auch für die jeweiligen Abschnitte der Nukleotidsequenz vermitteln die Verbindungen von Aminosäuren und Nukleinsäure. Dounce nimmt für die vier möglichen Nukleotide eine komplette Beliebigkeit ihrer Reihenfolge an. Er entspricht darin einer wesentlichen Voraussetzung des späteren Modells von Watson und Crick.

Im weiteren Verlauf löse sich über „*P2-Klassenenzyme*“ die vollständige Peptidsequenz von dem Molekülkomplex und lasse den ursprünglichen Nucleotidstrang zurück, indem unspezifische „*Peeling-off-Enzyme*“ die Phosphoamino-Bindungen zwischen den Aminosäuren und der Nucleinsäurekette trennen und in einer Katalyse von Carboxylamino-Bindungen die entstehende Peptidkette vereinigen. Dounce schlug für den zugrundeliegenden Vorgang hypothetisch detailgetreu Umlagerungen von Elektronen zwischen den Bindungen vor.

Im Anschluss an seine Vorstellungen über den Eiweißaufbau im Organismus beschrieb **Dounce** ein Synthesemodell der für den Eiweißaufbau verantwortlichen Nucleinsäuren. In diesem Modell entstehen die Nucleinsäuren ebenfalls über spezifische Synthesenzyme, sog. N1-Enzyme. Ein Diphosphonucleotidstrang tritt mit Mononucleotiden zu einem Doppelstrang zusammen. Die Verbindung zwischen den Strängen werde gehalten durch Sauerstoffbrücken zwischen sich gegenüberstehenden Phosphatgruppen, so dass je zwei Nucleotide paarweise über die Phosphatreste aneinander fixiert sind. Auch die Nucleotide innerhalb der Stränge seien über Phosphatgruppen miteinander verbunden. In Dounces Modell weisen die Basen an jedem Strang nach außerhalb. Sie sind nicht an der Doppelstrangbindung beteiligt (Abb. 4). Diese Stellung der Basen und der Phosphatgruppen war es, die bis in die Endphase ihrer Arbeit auch von **Crick** und **Watson** favorisiert wurde. Erst die Erkenntnis der sich daraus ergebenden Unstimmigkeiten gestattete den späteren Nobelpreisträgern die Korrekturen, die notwendig waren, um ihr Modell mit den Ergebnissen radiologischer Analysen in Einklang bringen zu können.



**Abb. 4** "Formation of dinucleotido nucleic acid under the influence of class N<sub>1</sub> enzymes (diphosphonucleo-phosphorylases)" (a.a.O. S. 255).

Im DNS-Modell von Dounce sind zwei Nukleotidreihen durch Sauerstoffbrücken verknüpft, welche die Phosphatreste der Pentoseringe verbinden. Die Basen des Doppelstrangs sind nach außen gerichtet.

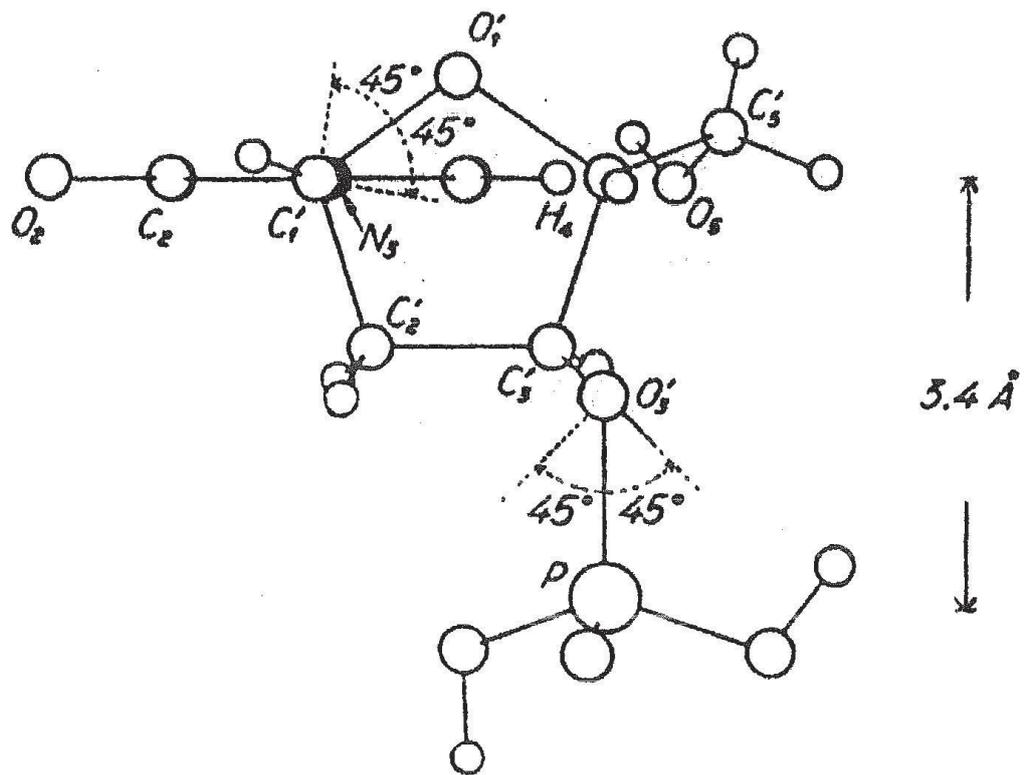
Für den abschließenden Reaktionsschritt verwendete **Dounce** wiederum die Annahme einer regulierenden Enzymklasse. Durch Wirkung von N2-Klassenenzymen werde die entstandene „*Dinukleotido-PNA*“ erneut in Einzelstränge getrennt.

Die in seinem Schema richtungweisend aufgestellte Parallele zum endgültigen Modell der DNS-Struktur besteht in der grundsätzlichen Annahme, dass es die Nukleotid-Reihung der Nukleinsäure sei, die sowohl die Anordnung der Aminosäuren im Eiweiß, als auch die Folge der Nukleotide im Nukleinsäurestrang über eine Enzymwirkung bedinge.

Im selben Jahr schlug auch **Sven Furberg** eine Formel der chemischen Struktur der Nukleinsäuren vor, unter Hinweis darauf, dass zuvor weder Bestimmungen über die Kristallstruktur der Nukleotide, noch über die räumliche Orientierung der Phosphatgruppen gegenüber dem Restmolekül veröffentlicht seien (Furberg 1952: 634-640).

Als bekannt setzte er die Bindungsverhältnisse zwischen den Nukleotiden voraus: Phosphat-Ester-Bindungen zwischen den Hydroxylgruppen zweier benachbarter Pentoseringe, in C3-Position an dem einen und C5-Position am anderen Ring. Ebenfalls dem Kenntnisstand entsprechend könne vorausgesetzt werden, dass Nukleotidketten unverzweigt oder nur geringfügig verzweigt seien.

Mit der Beschreibung der von ihm angenommenen *Standard-Konfiguration* des einzelnen Nukleotids gab Furberg einen weiteren richtungweisenden Vorschlag. Die Ebene der Basen stehe näherungsweise senkrecht zur Ebene des Pentoseringes, wobei die Zucker-Basen-Bindung (die Base über Stickstoff an das Kohlenstoffatom C1 der Pentose gebunden) in der Basenebene liege und tetraedische Winkel zu den benachbarten Ringverbindungen des Ribosezuckers bilde (Abb 5.). Furbergs Vorgaben wichen nur noch gering von den Eigenschaften des letztlich anerkannten Modells ab.



**Abb. 5** "A pyrimidine nucleotide of the 'standard' configuration. The plane of the pyrimidine ring, as well as the bond  $N_3-C_1'$ , is perpendicular to the plane of the paper" (Furberg 1952: 635).

Nach Furberg sei es wahrscheinlich, dass die Nukleotide auch innerhalb der Nukleinsäure diese Form annehmen. Gemäß dem Modell müssten sich die Basen in nahezu rechtem Winkel zur Ebene der Pentosezucker befinden.

Nach *Furberg* ist die Annahme eines senkrechten Winkels für die Stellung der Phosphatgruppe zum Restmolekül genau dann zu bestätigen, wenn Van-der-Waalsche Bindungskräfte in Betracht gezogen werden.

Die vermuteten Grundzüge einer senkrechten Stellung der Basen und Phosphatgruppen konnte *Crick* später in mathematischen Analysen der Stereochemie der Nukleinsäure belegen.

Als ein zentrales Problem stellte sich daraufhin die Frage nach der Richtung der Basen am Doppelmolekül. Sie wurde Teil der Hauptfrage, wie die beiden Molekülstränge zueinander angeordnet sind, welche Bindungskräfte diese zusammenhalten und wie regelmäßig oder unregelmäßig eine Basenfolge im Verlauf eines Nukleinsäurestrangs sein müsse, so dass unter Beibehalt aller chemischen Eigenschaften zugleich die unterste *differentia specifica*, der Individualunterschied, begründet ist.

Dass Lebendigkeit als *Akzidens* der Eigenschaften von Materie erscheint, ist nicht erst Ergebnis der verbleibenden Genvorstellung. Wenn der wissenschaftliche Blick sich auf die Domäne von Materieeigenschaften konzentriert, und dabei die Besonderheiten des Biologischen auf chemische und physikalische Tatbestände reduziert, kann freilich leicht übersehen werden, dass eine weitere Kausalität wirksam ist. Während Evolution in der Stofflichkeit von Fossilien als materiell gesicherte Tatsache imponiert, sind die Eigentümlichkeiten der lebendigen Stoffe mit genbedingter Selbsterhaltungstendenz gegenüber der unbelebten Stofflichkeit nicht auf chemische Eigenschaften zurückgeführt worden. Die biologisch lebende Materie befindet sich nach wie vor in einem evolutionistischen Wettstreit um Untergang oder Erhalt, wie es einst *Heraklit* oder später *Darwin* beschrieben, beherrscht von einer physikochemischen Gesetzmäßigkeit, aus der eine Grenze zwischen belebter und unbelebter Stofflichkeit nicht ableitbar ist, obwohl die Evolutionsvorstellung gerade sie als maßgebend voraussetzt, indem theoriemäßig ein fitness-struggle for life des Lebendigen entgegen einem Untergang in unbelebte Stofflichkeit (Tod) die Kriterien für Selektioniertsein liefert. Die historische Modellentwicklung richtete sich auf die Chemie der Erbsubstanz und differenzierte diese.

## DER GEDANKENGANG VON WATSON UND CRICK

Zwei Laboratorien wurden federführend für die Ausarbeitung der DNS-Struktur. **Crick** und **Watson** arbeiteten am *Cavendish-Laboratorium* in Cambridge, **Franklin** und **Wilkins** am *Royal-College* in London. Die Methodik der Forschenden zur Bestimmung der räumlichen DNS-Struktur setzte sich zusammen aus stereochemischer Berechnung, Kristallographie durch Röntgenbrechungsanalyse und chemischen Erwägungen über Bindungstypen und Bindungspartner. Ohne die enge fachübergreifende Zusammenarbeit so verschiedener Disziplinen wie der von Genetik, Physik und Chemie, wie sie **Schrödinger** in seinen Vorlesungen 1944 gefordert hatte, war die Aufgabe nicht zu bewältigen.

In dem Rückblick „*Die Doppelhelix*“ gibt **Watson** Einblick in die Fragestellungen, die von **Crick** und ihm innerhalb von zwei Jahren zu lösen waren (Watson 1973).

Im Frühjahr 1951 habe er, in Kristallographie noch ungeschult, auf einer Tagung in Neapel einen Vortrag des Physikers und Kristallographen **Maurice Hugh Frederic Wilkins** (1916-2004) zum Röntgenbild der DNS gehört. Wilkins Bildbeschreibung, die Annahme eines kristallinen Zustandes der Erbsubstanz stützend, habe den Hinweis gegeben, Nukleinsäuren seien von regelmäßiger Struktur. Folglich habe angenommen werden können, dass sie mit direkten Mitteln prüfbar seien. Als weitere Erkenntnishilfe der eigenen Studien nennt **Watson** seine Teilnahme an einer Vorstellung **Paulings** von dessen Ergebnissen zur Proteinstruktur. Paulings Nachweis einer  $\alpha$ -Struktur (Einfachspirale einer Peptidkette aus Aminosäuren mit H-Brückenbindungen innerhalb der Kette) habe später **Crick** auf den Gedanken gebracht, in jener Arbeit nach methodischen Kunstgriffen zu suchen, um zu prüfen, ob sie auf Probleme der Nukleinsäurestruktur übertragbar seien. Der Mathematiker **Crick** entdeckte, dass **Pauling** in Zügen seines Untersuchungsgangs nicht auf eine mathematische Beweisführung gesetzt, sondern bei der Suche nach den atomaren Nachbarschaftsbeziehungen die möglichen Anordnungsweisen mit Hilfe von Molekülmodellen verglichen hatte. Mit Hilfe der Sichtbarkeit am Modell hatte 1939 **Pauling**, der Verfasser des damals als Standardwerk geltenden „*The Nature of the Chemical Bond*“,

die von ihm vermuteten räumlichen Verhältnisse erproben und mit den stereochemischen Gesetzmäßigkeiten in Einklang bringen können.

*Watson* bezeichnet *Paulings* Lehrbuch zwar als eines der Hilfsmittel für seine eigenen Studien, doch hätten sich Hinweise auf Hauptmerkmale der DNS, wie *Basenstellung* und *Wasserstoff-Brückenbindungen* der Helix eines Doppelmoleküls nicht darin finden lassen.

Der Cambridger Kollege, Chemiker in organischer Chemie, *Alexander Robert Todd* [(1907-1997) Chemienobelpreis 1957], sei es gewesen, der *Cricks* und *Watsons* Vermutung über eine streng regelmäßige Anordnung von Nukleotiden bekräftigt habe. Sämtliche Verbindungen des Nukleinsäureskeletts zwischen den Riboseringen an deren C3- und C5-Atomen könnten durch Phosphatester verursacht sein.

Sodann habe *Wilkins* in Röntgenmessungen für die Nukleinsäurestruktur die Unwahrscheinlichkeit einer *Einfachspirale* gezeigt, wie sie im Protein vorlag, und deshalb für die Nukleinsäure einen erheblich größeren Moleküldurchmesser vorgeschlagen, mit der Folge, dass mehrere umeinander gewickelte Spiralstränge ein DNS-Molekül bilden müßten. Daraus sei das Problem entstanden, welche Bindungsarten imstande seien, die Molekülketten eines solchen Gebildes zusammenzuschließen, Wasserstoffbrücken oder Salzbrücken. Letztere würden negative Ladungen an den Phosphatgruppen voraussetzen.

Erst aufgrund der Annahme von vier Nukleotidtypen, unterschieden in den Stickstoffbasen, mit Beteiligung nur der Phosphat- und Zuckergruppen als Bindungspartner in der Nukleotidkette, habe das bis dahin gediehene Modell der erforderlichen Regelmäßigkeit des Zucker-Phosphat-Skeletts entsprechen können. Hingegen unregelmäßig und auf diese Art anordnungsfähig – wenn auch noch nicht völlig widerspruchsfrei – sei daraufhin die Reihung der Basen zu erwarten gewesen, das erste bauliche Prinzip der DNS für ihre biologischen Erfordernisse. Auf diese Weise habe die *Basenfolge* als der *Garant einer chemischen Verschiedenheit der Gene* erscheinen können.

Zur Erzielung von Widerspruchsfreiheit wählten *Crick* und *Watson*, nach dem Vorbild *Paulings* bei der Aufdeckung der Proteinstruktur, den Weg des Ausschlusses des Gegenteils. Falsche Anordnungen sollten neben dem Nachweis ihrer mathematischen Falschheit am Modell erschlossen und mit den Röntgenbeugungsanalysen verglichen werden. Prüfung mit dem Röntgenbild ergab ein Fehlen von Reflexen im Bereich der Mittelachse des Moleküls und zeigte Vereinbarkeit mit einer Spiralstruktur. *Wilkins*,

der wie **Franklin** die radiologischen Aufnahmen durchgeführt hatte, stellte die These auf, bei der Spirale könne es sich um eine *Dreifachspirale* handeln, doch zufolge der Befunde seien auch mehr als drei Stränge nicht auszuschließen. **Crick** schloss zunächst irrtümlich aus den strukturellen Regelmäßigkeiten der Kristallogramme, dass das Zucker-Phosphatgerüst im Zentrum der Spirale liegen müsse, mit dem erneut sich ergebenden Problem einer Formunregelmäßigkeit im Umriss des Moleküls, dessen Basen nach außen zu zeigen schienen.

Der Gedankengang hatte mit der, wenn auch in ihren Einzelheiten noch unbekanntem Spiralstruktur, für die Nukleinsäure eine Parallele zum Protein entdeckt. Das Molekülskelett mit seinen Bindungen war nachgewiesen und deutete für dieses Modell auf eine chemische Genspezifität, die nicht durch die Anordnung der Ribosen und Phosphate, sondern durch die Basen ermöglicht sein könne. Unbekannt blieb die Zahl der Spiralstränge, fraglich auch die Ausrichtung der Basen im Molekül gegenüber einer Molekülsilhouette, wie sie nach Röntgenanalyse vorliegen musste.

Bei allen chemischen Einzelheiten durfte das entscheidende genetische Merkmal nicht außer acht gelassen werden. Biologisch war von der Chemie einer Gensubstanz zu fordern, dass sie einem *Selbstverdopplungsmechanismus* entsprechen müsse, der, wie **Crick** gesagt hatte, die *Vollkommenheit des zugrundeliegenden biologischen Prinzips* bedinge, die Fähigkeit, eine genaue Kopie seiner selbst hervorzubringen.

**Chargaffs** Regel konstanter Proportionen zwischen Purin- und Pyrimidinbasen musste berücksichtigt und daraufhin die Frage spezifischer Bindungskräfte beantwortet werden. Da nicht auszuschließen gewesen sei, dass die von Chargaff erkannten Regelmäßigkeiten durch *genetische* Gesetzmäßigkeit verursacht sind, habe sich die entscheidende Vermutung für das neue Modell der Erbsubstanz angeboten: Die Gruppierung der Nukleotide könne für die Aminosäurespezifität verantwortlich sein.

**John Griffith**, im Tätigkeitsschwerpunkt Theoretische Chemie am selben Laboratorium beschäftigt, stand mit **Crick** im Austausch über chemische Bindungskräfte. Aufgrund **Cricks** Berechnungen äußerte **Griffith** einen Verdacht. Es könne spezifische Anziehungskräfte geben, die Adenin mit Thymin sowie Guanin mit Cytosin verbinden. **Watson** bestärkte sich in einer Literaturrecherche in der Annahme, dass die *Richtung des genetischen Informationsflusses* von den DNS-Nukleotidsequenzen zu den Aminosäurefolgen der Proteine verlaufen müsse und somit an einer DNS-Schablone RNS-Ketten entstehen könnten, die ihrerseits als Formen der Eiweißsynthese dienten. In der Zwischenzeit legte **Pauling** bereits ein DNS-Modell vor: eine Dreifachspirale, in

der Wasserstoffatome in gebundener Form die Molekülbindungen zwischen den Strängen verursachen würden. Nach dieser Vorstellung wären die Phosphatgruppen nicht ionisiert, also ungeladen. **Watson** entdeckte unverzüglich die Fragwürdigkeit des Modells, denn eines war bislang gesichert: DNS ist eine mäßig starke Säure. Ihre Phosphatgruppen enthalten die Wasserstoffatome nicht in gebundener Form.

Einen entscheidenden Anstoß zu einer Wende in der Modellbildung gab **Rosalind Franklin**. Sie war wie **Wilkins** in Oxford mit kristallographischen DNS-Analysen befasst. Sie war es, die nach anfänglichem Zögern für die Anordnung der Basen nicht die Außenseite der Spirale vorschlug, sondern die Basen innenliegend vermutete, ein zweites Strukturprinzip der DNS. **Watson** wendete sich wieder dem Modellbau am Molekülmodell zu. In dieser Entwicklungsphase lieferte die Werkstatt seines Cambriger Colleges zunächst nur Blechmodelle für die Bestandteile des Zuckerskeletts. Die Bausteine der Basen trafen sieben Tage später ein. Watson experimentierte vorläufig an Modellen mit fiktiv außenseitigem Skelett und sah sich mit der Sorge konfrontiert, für Ketten mit unregelmäßigen Basenfolgen eine unbegrenzt mögliche Zahl von Modellen zulassen zu müssen. Denn das neue Modell löste weiterhin die Fragen nach den *Bindungskräften* zwischen den Strängen und den Molekülgrößen der Basen nicht. Die radiologisch ebenmäßig erscheinende Silhouette des Gesamtmoleküls verlangte nach einer gleichmäßigen und identischen Form aller Zuckerphosphat-Gruppen. Demgegenüber schien der Größenunterschied der Basen bei gepaarten Basen Lücken zwischen den Berührungspunkten zusammenpassender Paare zu bewirken. Watson sah das Kernproblem in der Bindungsart. Sie sollte erklären, wie die Nukleinsäureketten, falls die Basen nach innen gerichtet wären, über die Basen miteinander verbunden sein können. Daraus entstand die Frage, ob alle Basen über Wasserstoff verbunden sein können. Watson habe deshalb nach einem *Gesetz von Wasserstoffbindungen zwischen Basen* gesucht, dem dritten neuartigen Strukturprinzip für ein DNS-Molekül.

Im ersten Gedankenexperiment für ein solches Gesetz nahm Watson identische Basenpaare gleicher Bindungspartner an. Auch die Basenfolgen beider Nukleinsäureketten wären dann einander gleich. Diese fälschlich angenommene Gleichheit habe den richtigen Gedanken entstehen lassen: die eine Kette könne genetisch eine Vorform der anderen sein und damit das geforderte genetische Prinzip erfüllen. Bei der Selbstverdopplung des Gens in der Zellteilung würden sich die beiden Stränge trennen und jeder einzelne könne dann basenweise über Wasserstoff-Brückenbindungen identische Basen zu einem neuen Doppelstrang aufnehmen. Doch

ein Einwand des Kristallographen **John Donahue** ließ **Watson** an seiner Gleiches-mit-Gleichem-Theorie der Basenpaarung zweifeln. **Donahue** machte geltend, dass die Tautomerie der Basen Guanin und Thymin in den Lehrbüchern willkürlich angegeben sei. Sie bevorzuge die Enol-Form. Wahrscheinlicher sei jedoch die Keto-Form. Bei einer Keto-Position der H-Atome entstehen indessen noch größere Abstandsunterschiede in Purin- und Pyrimidinpaaren, und die Drehungswinkel von Base zu Base werden zu gering, um die mathematisch geforderten Windungslängen der Spirale aufrechterhalten zu können. Grundsätzlich betrachtet kam ein weiterer Einwand hinzu. Bei einer mengenmäßigen Gleichheit aller Basen wären die konstanten, aber verschiedenen Proportionen von Purinen und Pyrimidinen untereinander, wie **Chargaffs** Regel sie forderte, nicht zu ermöglichen.

Beim Probieren zufällig entstehender Basenanordnungen mit dem Molekülmodell entdeckte **Watson**, „daß ein durch zwei Wasserstoffbindungen zusammengehaltenes Adenin-Thymin-Paar dieselbe Gestalt hatte, wie ein Guanin-Cytosin-Paar, das durch wenigstens zwei Wasserstoffbrücken zusammengehalten wurde“ (Watson 1973: 150). Eine nach außen hin glatte und regelmäßige Molkülsilhouette wurde auf diese Weise möglich.

Mit dieser Entdeckung entstand das von Watson gesuchte *Gesetz der Wasserstoffbindung in Nukleinsäuren*. Die Gestaltnotwendigkeit mit zugleich dem Erfordernis von Bindungen aus Wasserstoff lasse nur bestimmte Basenpaarungen zu, Guanin-Cytosin, Adenin-Thymin, wobei eine beliebig unregelmäßige Abfolge im Einzelstrang regelhaft mit den Basen des Partnerstrangs verbunden sein könne. Die **Chargaffsche** Regel werde genau dann zu einer Konsequenz der Struktur der Doppelspirale, wenn deren Basenfolgen in komplementären Reihen angeordnet sind. **Cricks** stereochemische Berechnungen bestätigten die Idee. Alle Bindungen der Glykoside mit den Basen weisen senkrecht zur Molekülachse, Glykosidbindungen in basenpaarweisen Doppelachsen. Die *Gleichmäßigkeit der Lage der Bindungen* bedingt die *Austauschbarkeit der Basenpaare*, Voraussetzung für *Individualität der Basenfolge*.

Die wiederholt konditionale Form im Verlauf des Gedankengangs, der die Einzelheiten der Strukturformel aus ehemals spekulativ gefundenen Genmerkmalen entwickelt hatte, wurde bekräftigt mit chemischen Gesetzmäßigkeiten, die selbst nur unvollständig vorgelegen hatten und im Entwurfsvorgang des Modells weiterentwickelt wurden. Der biologische Vorgang von Genverdopplung bei Zellteilung und Einweißsynthese enthält einen neu gefundenen chemischen Ablauf.

Mit Hilfe des Blechmodells untersuchten **Crick** und **Watson**, wie die Bindungsverhältnisse stereochemisch eingehalten werden und welche Atome entsprechende Positionen einnehmen können. Sie verglichen die experimentellen Röntgenbefunde „mit den Beugungsmustern, die sich aufgrund des Modelles voraussagen ließen“ (Watson 1973: 164).

Watson bezeichnet seinen Institutsvorgesetzten **William Lawrence Bragg**, (1890-1971), den Mitbegründer der Kristallographie und Nachfolger des Atomphysikers **Ernest Rutherford** (1871-1937) am Cavendish-Laboratorium, als den Entdecker derjenigen Röntgenmethode von vierzig Jahren zuvor, auf die bei der Strukturklärung der DNS zurückgegriffen werden konnte.

Bevor in der Ausgabe von „Nature“ des 25. April 1953 die Erstveröffentlichung der Ergebnisse erfolgte, kündigte **Watson** sie gegenüber **Delbrück** an und wies auf die stereochemische Stichhaltigkeit der Resultate. Zugleich betonte er, dass die Korrektheit der Wasserstoffbrücken durch *Van-der-Waalsche Bindungskräfte* noch nicht hinreichend gewährleistet sei.

Die Wasserstoffbrücken zwischen beiden Spiralen verbinden Moleküle. Zwischen Molekülen sind, wie zwischen Edelgasen, chemische Bindungen im engeren Sinn nicht möglich. Eine Bindung durch Van-der-Waals-Kräfte ist schwächer als die Anziehungskräfte einer kovalenten Bindung oder zwischen Ionen. Sie liegt in den meisten organischen Bindungen vor, eine Kraft zwischen nach außen hin ungeladenen Molekülen, eine Anziehung von Dipolen. In der Wasserstoffbrücke bildet das von seiner Ausdehnung her kleine Wasserstoffatom den positiven Pol gegenüber einem elektronegativeren Element. Während die chemische Bindung vorgestellt ist als elektromagnetische Kraft zwischen ganzen Atomen, wird die Wasserstoffbrücken-Bindung als Dipol-Dipol-Anziehung aufgefasst. Den negativen Pol können nur Elemente der letzten Achterperiode des Periodensystems (Fluor, Sauerstoff, Stickstoff) bilden, da sie nichtbindende Elektronenpaare in den Hybridorbitalen (Räume der Aufenthaltswahrscheinlichkeit der Elektronen) besitzen (**Wachter, Hausen** 1975).

## DIE VORSTELLUNG DER ERGEBNISSE 1953

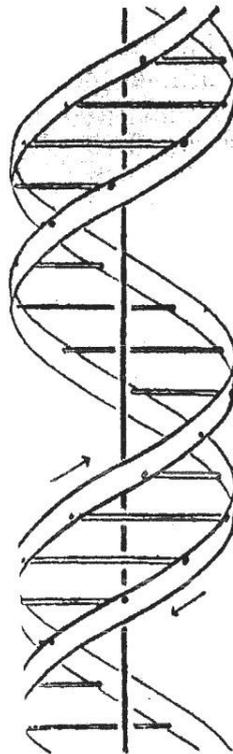
Vier Veröffentlichungen markieren den Grundstein zum seither gültigen Bild der Erbsubstanz. Den Anfang macht die oben erwähnte Darstellung in der Ausgabe des Wissenschaftsjournals „Nature“ vom 25. April 1953 (Watson, Crick 1953a: 737/738). Zwei Spiralen mit in entgegengesetzter Richtung korrespondierender Basenfolge sind über Wasserstoffbrücken zu einer Doppelspirale vereinigt (Abb. 6). **Crick** und **Watson** weisen ausdrücklich darauf hin, dass die einzelnen Spiralstränge denjenigen in **Furbergs** Modell ähneln, mit der Spirale außenständigen Phosphatresten und innenständigen Basen. Die Konfiguration von Pentosen und Atomnachbarschaft mit senkrechter Stellung der Pentosezucker befinde sich nahe der Standardkonfiguration gemäß Furberg, auch unter Berücksichtigung von Richtungswinkeln und Distanzen innerhalb der Nukleinsäureketten.

Als neue Struktureigenschaften werden angeführt: 1. Zusammenhalt der Ketten durch Wasserstoffbrücken zwischen den in senkrechter Stellung zur Molekülachse gepaarten Basen. Exakte Regelmäßigkeit entstehe durch doppelte Wasserstoffbrücken in jedem Paar jeweils zwischen der 1-er Position der Purinbase und der 6-er Position der Pyrimidinbase. 2. Strenge Spezifität der Basenpaarung, welche in Ketoposition nur die Verbindungen Adenin–Thymin und Guanin–Cytosin gestatte. 3. Durch keine Gesetzmäßigkeiten beschränkte Nachbarschaftslage der Basen im ausgänglichen Nukleinsäurestrang als chemische Voraussetzung von Eiweißindividualität.

Aus chemischen Gegebenheiten folgert das Modell eine biologische Konsequenz. Da mit der festliegenden Paarungsmöglichkeit der vier Basen durch die Reihenfolge der einen Nukleotidsequenz zugleich die Folge der anderen Sequenz vorgegeben sei, ergebe sich ein *Mechanismus für die Selbstverdopplung* der Erbsubstanz.

Die Autoren weisen ausdrücklich darauf hin, dass ein vollständiger Beweis aus den Röntgendaten nicht erbracht werden könne. Stattdessen beruhe die Begründung auf experimentellen Daten und stereochemischen Argumenten.

Nachdem die Vorgaben von **Furberg** schon anfangs des Artikels unter den Voraussetzungen genannt sind, erwähnt die Danksagung am Ende den Kristallographen **Donahue**, sowie **Wilkins** und **Franklin**, die mit ihren Detailarbeiten die Weichenstellungen gegeben hatten.

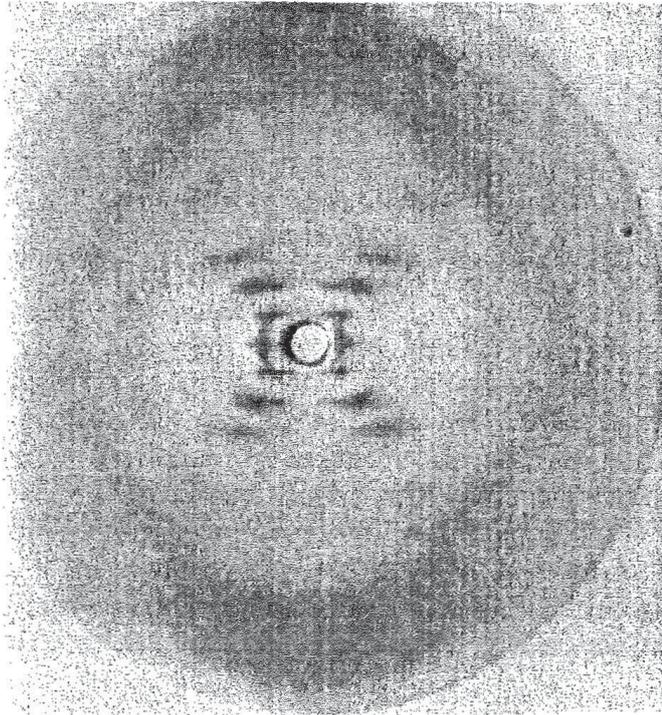


**Abb.6** „This figure is purely diagrammatic. The two ribbons symbolize the two phosphate-sugar chains, and the horizontal rods the pairs of bases holding the chains together. The vertical line marks the fibre axis” (Watson/Crick 1953a: 737).

Im Schema der DNS-Doppelhelix werden die beiden Pentosephosphatketten, welche das Skelett des Doppelmoleküls bilden, durch zwei Spiralbänder dargestellt. Die horizontalen Linien zwischen den Spiralbändern stehen für die Basenpaare, die jeweils über Wasserstoffbrücken die Ketten miteinander verbinden. Wie die Pfeile andeuten, sind die Reihenfolgen der an jeder Zuckerphosphatkette angehefteten Basen gegenläufig. Während die Basen im DNS-Molekül zur Molekülachse hin angeordnet sind, richten sich die Phosphatreste der Pentosen nach außen, was in diesem Model zeichnerisch nicht angedeutet ist.

Am selben Tag wie Watson und Crick reichen auch die beiden Forschergruppen **Wilkins**, **Stokes**, **Wilson** und **Franklin** mit **Gosling** ihre Artikel bei der Redaktion von „Nature“ ein. In derselben Ausgabe von „Nature“ legen sie die radiologisch gewonnenen Erkenntnisse vor. **Wilson** beschreibt das Röntgendiagramm von DNS-Extrakten, die an E. coli erhalten wurden. Trotz Mehrdeutigkeit der Befunde sei ein Ergebnis zu bestätigen. *„In general there appears to be reasonable agreement between the experimental data and the kind of model described by Watson and Crick“* (Wilkins, Stokes, Wilson 1953: 738-740).

**Franklin** schließt aus ihrem Bild ebenfalls auf eine helikale Struktur der DNS (Abb. 7). Sie gibt einen Überblick über die jüngste Entdeckungsgeschichte dieser Struktur: *„The X-ray diagram of structure B (see photograph) shows in striking manner the features characteristic of helical structures, first worked out in this laboratory by Stokes (unpublished) and by Crick, Cochran and Vand. Stokes and Wilkins were the first to propose such structures for nucleic acid as a result of direct studies of nucleic acid fibres, although a helical structure had been previously suggested by Furberg (thesis, London, 1949) on the basis of X-ray studies of nucleosides and nucleotides“* (Franklin, Gosling 1953: S. 740).



**Abb 7.** "Sodium deoxyribose nucleate from calf thymus" (Franklin/Gosling 1953: 749)  
„The X-ray diagram of structure B (see photograph) shows in striking manner the features characteristic of helical structures." [...] It "provides a further indication that the phosphates lie on the outside of the structural unit. [...] The sugar and base groups must accordingly be turned inwards towards the helical axis. [...] Our general ideas are not inconsistent with the model proposed by Watson and Crick" (a.a.O S. 740f).

Die Achse des DNS-Moleküls befindet sich in Bildmitte. Sie zeigt keine Reflexe, da die DNS-Probe dort fixiert ist. Weil sich in der DNS solche Atome und Molekülgruppen in regelmäßigen Abständen befinden, welche die Röntgenstrahlen besonders stark streuen, werden die Strahlen durch die hintereinander angeordneten Fasern der Probe zickzackweise reflektiert. Als Folge entstehen auf der Fotoplatte entweder wechselseitige Auslöschungen oder Verstärkungen. Aus ihnen ergibt sich die charakteristische X-Form in der Fleckenanordnung, ein Beugungskreuz. Dieses ist der Hinweis auf eine Helix-Struktur der DNS-Riesenmoleküle.

**Rosalind Franklin** zufolge waren es **Wilkins** und **Stokes**, die als erste aufgrund von direkten Studien einen Strukturvorschlag unterbreitet hätten, nachdem **Furberg** schon 1949 mit Röntgenaufnahmen von Nukleosiden und Nukleotiden eine Spiralstruktur postuliert habe. Folgende Rechnungsergebnisse legten **Franklin** und **Gosling** ebenfalls mit selbiger Ausgabe von „Nature“ vor: Die Nukleotide verursachen helikale Windungen eines Durchmessers von etwa zwanzig Angström. Bei außenständigen Phosphatresten sei zu vermuten, dass jede strukturelle Einheit aus zwei co-axialen, nicht gleichmäßig entlang der DNS-Achse angeordneten Molekülen bestehe.

Die Forscher bekräftigen die Aussagen von **Crick** und **Watson** und fassen die Existenz einer Spiralstruktur als hochwahrscheinlich auf, ebenfalls mit der Einschränkung, dass die radiologisch gewonnene Evidenz bislang nicht für den *direkten Beweis* ausreiche (Franklin, Gosling 1953: 740/741).

Einen Monat später veröffentlichen **Crick** und **Watson** Schlussfolgerungen aus ihrem Modell mit Bezug auf die Genvorstellung:

*„DNS is the genetic specificity of the gene itself“* (Watson, Crick 1953b: 964-967).

#### Das Genprinzip verursacht die biologische Besonderheit der chemischen Substanz.

Die beiden Genforscher sehen in der Determinierbarkeit der Basensequenz den Hinweis, in der Reihenfolge der Basen liege das tragende Prinzip der Erbinformation. Im Verlauf des genetischen Reduplikationsvorgangs würden sich nach der Basenpaarungsregel die neuen Nukleotidstränge wie bei einer Polymerisierung von Monomeren bilden. Der Vorgang werde von sterischen Gesetzen beherrscht, unter Beteiligung von spezifischen Polymerisationsenzymen. Für deren Funktion seien Einzelenzyme denkbar oder eine Wirkung des gesamten Stranges als eines einzigen Enzyms. Die *Proteinfunktion* könne in einer Kontrolle oder Stabilisierung von Spiralisierung und Verbindung der Nukleinsäuren bestehen. Offen bleibe, ob das Chromosom nur aus einem Paar von Nukleinsäureketten bestehe oder mehrere solcher Paare enthalte.

Auch zum Verständnis der *Meiose* trage das DNS-Modell bei, denn die Paarung von homologen Chromosomen werde von der Basenspezifität bestimmt.

Dieser Vorstellung zufolge können chemische Eigenschaften nicht nur räumliche Bewegungen in der Größenordnung von Molekülen beeinflussen. Sie wirken sogar in Größen wie der Kernkörperchen.

Das DNS-Modell erweitert auch die Kenntnis des zentralen Ereignisses, aus dem die *Deszendenztheorie* eine Wandelbarkeit der Arten ableitet, die Mutation. Spontanmutationen könnten entstehen, so *Crick* und *Watson*, wenn zufälligerweise einzelne Basen in weniger wahrscheinlichen tautomeren Formen aufträten.

Der wissenschaftliche Gewinn des Modells für die Biologie liegt in seinem Beitrag für die Definition des Gens. Die Genwirkung ist verortet in komplementären Paaren von Basenmustern einer Nukleinsäure, deren eine Hälfte nach dem Muster der anderen, räumlich gegenüberliegenden, entsteht. Die *Wirkursächlichkeit* von Genen ist auf chemische Eigenschaften bezogen.

Die Chemie des Gens begründet die Besonderheit organischer Stofflichkeit.

## ERWEITERUNG DER KENNTNISSE BIS 1962

Ohne die Ausführungen *Cricks* und *Watsons* zu erwähnen, jedoch unter Bezugnahme auf *Dounce* und andere, bezweifelten im Juni 1953 *Campbell* und *Work* das Konzept von einer Peptidketten-Synthese unter dem Postulat einer direkten Entsprechung von Eiweiß und Erbsubstanz in den Nukleinsäuren. Eine Genkontrolle des Proteinaufbaus durch Nukleinsäuremuster erscheine nicht möglich (Campbell, Work 1953: 997-1001). Als Grund für ihre Auffassung führten die Autoren an, Eiweiß- und Nukleinsäuresynthese könnten getrennt gehemmt werden, ohne dass die Blockaden sich gegenseitig beeinflussen.

*Dounce* hingegen machte in einer Untersuchung geltend, Ribonukleinsäure sei die Substanz, die als Schablone der Eiweißbildung fungiere, sowohl im Zytoplasma, als auch innerhalb des Zellkerns. Das Gen müsse nicht unmittelbar als Vorlage dienen, sondern wirke gegebenenfalls über die Vermittlung von RNS, die nach Genmustern der DNS aufgebaut werde (Dounce 1953: 541).

Die Hinweise von Dounce bezeichnen Funktionsunterschiede der Nukleinsäurearten, und bekräftigen die mit dem DNS-Modell gegebene Theorie.

Im Verlauf des Jahrzehnts nach Veröffentlichung der richtungsweisenden Arbeiten von *Crick* und *Watson*, *Franklin* und *Wilkins* wurden die frühen strukturellen Befunde bestätigt und der radiologische Nachweis gestärkt. Es wurden Indizien gefunden für eine universelle Verbreitung der DNS-Struktur im Tierreich.

*Hamilton*, *Barclay*, *Wilkins* und Mitarbeiter konnten 1959 zeigen, dass die DNS unabhängig von Zelltypus und -aktivität in Form einer Doppelspirale vorliegt, sowohl in gesunden, als auch in entarteten Zellen. Sie wiesen nach, dass von Leukämie befallene Leukozyten beschleunigt Eiweiße und Nukleinsäuren umsetzen, sei es bei akuter Stammzell-Leukämie und akuter monozytärer Leukämie, sei es bei den chronisch myeloischen und chronisch lymphatischen Formen der Erkrankung. Ein Hinweis *Wilkins* zu Beginn des Artikels auf seine Veröffentlichung von 1953 weist auf den Anspruch seiner Mitbeteiligung an der Erstveröffentlichung der DNS:

*„The early and somewhat surprising result of the identity of the X-ray pattern given by DNA from a wide variety of species was an important consideration in the initial proposal for the structure of DNA“ (Hamilton, Barclay, Wilkins et al. 1959: 397ff).*

In den folgenden Jahren wurde die Helix-Struktur der DNS in verschiedenen Stämmen und Arten von Lebewesen nachgewiesen. Daraus erwuchs die Erwartung, die biologische Funktion der DNS könne in der gesamten Natur einheitlich gegeben sein, da die DNS aufgrund ihrer identischen Reduplikation den prinzipiellen Kodemechanismus für die Aminosäuresequenz von Eiweiß vorgebe.

Eine solche Universalität entspricht der Auffassung *Cricks* von der DNS als eines vollkommenen biologischen Prinzips. Die Vollkommenheit des Prinzips liegt somit zum einen in der chemisch-biologischen Funktionsweise, einer Selbstreferenz, zum anderen in der Allgemeinheit der Verbreitung des Prinzips. Sie scheint wie eine Notwendigkeit der Evolution zu sein, indem sie die Lebewesenhaftigkeit der belebten Substanz bedingt.

An der Entstehungsstelle von Notwendigkeit einer Anschauung entsteht Frageverlust oder aber Glaube. Hier, im Fall der *genbedingten* Entstehung von Lebendigem ist es die Frage: Wie verändern sich Arterhalt und Mutativität im Entstehungszeitpunkt eines Lebewesens? Ist die im modernen *Evolutionismus* gegebene Selektionsthese der Deszendenztheorie geeignet, mehr als nur a posteriori zu klären, was ein Grund für die Konstanz und der Veränderlichkeit der Baupläne der Lebewesen sein könne? Darf aus Konditionalität auf eine Kausalität für die Ursprünge geschlossen werden?

In den nächsten Jahren folgte die Genforschung den Konsequenzen ihrer selbstgeschaffenen Voraussetzungen.

Den Kenntnisstand über die genetische Verschlüsselung von Eiweißen in der Nukleinsäure beschrieben *Crick* und Mitarbeiter 1961 zusammenfassend wie folgt. Eine Folge von drei Basen, das *Basentriplett*, kodiere die Anweisung an den Zellstoffwechsel für die Bereitstellung einer bestimmten Aminosäure. Da von vier möglichen Basen jeder der drei Plätze eines solchen Triplets innerhalb jeder beliebigen Dreierkombination besetzt sein könne, stehe rechnerisch für die in der Natur existierenden zwanzig Aminosäuren eine Mehrzahl von  $4 \times 4 \times 4 = 64$  Möglichkeiten der Kodierung, Anordnungsweisen der Basen, zur Verfügung. Wollte man nicht 44 Kombinationen davon als *Nonsense-Triplets* auffassen, dann müsse der Kode

degeneriert sein: Verschiedene Triplets können den Einbau ein- und derselben Aminosäure in die betreffende Stelle einer Aminosäuresequenz veranlassen.

Der Kode sei nicht überlappend. Eine Base könne nicht zugleich zwei benachbarten Triplets angehören. Indessen sei nicht sicher geklärt, ob auch geringzählige Vielfache an Triplets ebenfalls den Einbau einer Aminosäure veranlassen könnten.

Nach diesem Schema erfolge die genetische Ablesung der Basenfolge von einem Startpunkt aus, ohne Lesezeichen nach Art von Kommata, die den Lesemechanismus zur Auswahl der richtigen Base beeinflussen würden. Denn bei einer experimentell erzeugten Verschiebung des Startpunkts werde die Ablesung der Triplettfolge unweigerlich falsch.

Aus dieser Tatsache ergebe sich für die Forschung ein neuer Weg der Entdeckung. Wenn es möglich werde, Nukleotidketten definierter Sequenzen herzustellen, könne mit deren Wirkung der Basenkode für die Aminosäurezusammensetzung der Eiweiße vollständig entschlüsselt werden (Crick, Barnett, Brenner, Watts-Tobin 1961: 1227-1232).

Im Jahr darauf gab *Crick* eine Übersicht des mit dem neuen Genmodell erweiterten Verständnisses auch von Mutationen. In Kreuzungsexperimenten an Bakteriophagen war durch gezielte Mutierung unterschiedlicher Stellen der Nukleotidkette eine lokalisierbare Auslösung des Mutationsereignisses möglich geworden. Die Veränderungen der Nukleotidketten bestanden in Verlust oder überzähligem Auftreten von Einzelbasen oder Basengruppen. Wenn Mutation solcherart an einer einzelnen Stelle auftrete, erläuterte Crick, würde sie ausnahmslos den Wegfall der Genfunktion nach sich ziehen. Bestimmte Doppelmutationen hingegen könnten die verlorene Funktion wiederherstellen. Crick unterschied deshalb Mutationen in Typen mit gegensätzlicher Wirkung, die er Plus- und Minusmutationen nannte. Eine experimentelle Verknüpfung von zwei gleichsinnigen Defekten in der Basenfolge führe regelmäßig zum Funktionsverlust der kodierten Wirkung. Träfen jedoch eine Plus- und eine Minusmutation aufeinander, werde die Genfunktion wiederhergestellt, vorausgesetzt, der Abstand der mutierten Stellen in der Basenfolge sei nicht zu groß. Crick folgerte, im Basenverlauf liege ein *schrittweiser* Ablesungsmechanismus vor. Singuläres Fehlen wie singuläre Überzahl unterbrächen die genetisch festliegende Sequenz. Nach geeigneter Doppelmutation verschiebe sich die Ableseapparatur wieder in den richtigen Ablesungsrhythmus, weil die zur ersten Mutation gegensinnige zweite Mutation die vorangegangene neutralisiere. Nur innerhalb der Strecke zwischen den beiden fehlerhaften Basen verursache dann eine verschobene Ablesung den Einbau

falscher Aminosäuren in das Eiweiß. Ohne Kenntnis der biochemischen Vorgänge im einzelnen könne somit logisch die These einer von einem Startpunkt aus beginnenden triplettweisen Ablesung begründet werden (Crick 1962: 66-74).

*Wilkins* befasste sich weiterhin mit der Frage der Röntgenaufklärung von Nukleinsäuren. 1962 arbeitete er mit *Spencer, Fuller* und *Brown* an Studien über funktionelle Ribonukleinsäuren verschiedener Species. Hierin dienten RNS-Proben verschiedener Species zu einer experimentellen Untersuchung der In-vivo-Proteinsynthese der Zelle als das Transportmolekül der Aminosäuren. Proben aus Colibakterien, Hefe, Retikulozyten von Kaninchen und aus dem Tabakmosaikvirus ergaben eine sehr regelmäßige und ähnliche Struktur der Transportmoleküle, die dem Bau der Desoxyribonukleinsäure gleichkommt. Die Autoren schlossen deshalb für die RNS auf eine gleiche Basenpaarung wie für die DNS. Baulich abweichend von der DNS sei jedoch die Nukleotidkette der RNS in sich selbst zurückgefaltet, wiederum überwiegend mit senkrechter Basenstellung zur Molekülachse gleich der DNS. Im Unterschied zu dieser seien die untersuchten RNS-Moleküle aufgrund von Winkelbildung jedoch asymmetrisch.

Diesen Nachweis einer Spiralstruktur erklärten die Autoren für beweisend: „*We have now obtained conclusive evidence that RNA molecules are helical and have determined the structure of the helix*“ (Spencer, Fuller, Wilkins, Brown 1962: 1014-1020).

**DAS JAHR DER NOBELPREISVERLEIHUNG  
WEITERFÜHRENDE FRAGEN**

1962 erhielten **Crick, Watson** und **Wilkins** „für ihre Entdeckungen über die Molekularstruktur der Nucleinsäuren und ihre Bedeutung in lebender Substanz“ den Nobelpreis der Medizin und Physiologie. Die Laudatio skizziert neben der Erläuterung und wissenschaftlichen Einordnung der Ergebnisse, welchen Anteil die Preisträger an den Entdeckungen haben. Es heißt: *„Die Entdeckung der dreidimensionalen Molekularstruktur der Desoxyribonucleinsäure (DNS) ist von großer Tragweite, denn sie zeichnet die Möglichkeiten für das Verständnis der molekularen Konfiguration in ihren kleinsten Details vor, welche die allgemeinen und individuellen Eigenschaften der lebenden Materie bestimmen. Die DNS ist die als Trägerin des Erbgutes für höhere Organismen zuständige Substanz. Die DNS ist eine hochpolymere Verbindung, zusammengesetzt aus ein paar Typen von Bausteinen, die überall in großer Menge vorkommen. Diese Bausteine bestehen aus einem Zucker, einem Phosphat und aus stickstoffhaltigen chemischen Basen. Für die Entdeckung der Art und Weise, wie diese Bausteine zusammengesetzt sind, wurden Crick, Watson und Wilkins mit dem Nobelpreis ausgezeichnet. Wilkins untersuchte DNS verschiedener biologischer Herkunft mit Hilfe von Röntgenkristallographietechniken. Wilkins röntgenkristallographische Aufzeichnungen machten deutlich, daß die äußerst langen Molekülketten der DNS in Form einer Doppelspirale angeordnet sind. Watson und Crick wiesen nach, daß die organischen Basen in den beiden miteinander verschlungenen Spiralen (Helices) auf spezifische Weise gepaart sind und erkannten die Bedeutung der Anordnung.“* Nicht erwähnt ist **Rosalind Franklins** Beitrag.

Für den Fortschritt von Wissenschaft und Medizin, sowie für das Verständnis des Lebens als solchem bekundet die Laudatio eine revolutionierende Perspektive. *„Hier sieht die Wissenschaft Möglichkeiten auf sich zukommen, Krankheiten auszurotten, die Wechselwirkungen zwischen Vererbung und Umwelt besser verstehen zu lernen und den Mechanismus der Entstehung von Leben besser zu erfassen“* (Verzeichnis 1988: 150).

Wie ist nun dieses Ergebnis in den ideengeschichtlichen Werdegang bis dahin einzuordnen?

Mit der 1859 vorgelegten Deszendenztheorie wurde eine gemeinsame Abstammung der Lebewesen von Urformen angenommen. Sie schien allein mit den evolutionstheoretischen Hypothesen begründbar, wenn die fraglichen Vererbungsprozesse in einer Substanz verortet werden könnten, die den Vorgaben von Physik und Chemie als dem letztgültigen Wahrheitsmodell mit seinem Kausalitätsbegriff genügt. In diesem Rahmen wurden stoffliche und singuläre Erbeinheiten postuliert, denen sukzessiv bestimmte vererbungsbiologische Fähigkeiten zugesprochen wurden, Begriffsmerkmale, welche in die spätere Gendefinition mündeten. 1953 lag die Beschreibung eines universellen genetischen Mechanismus für Fortpflanzung und Entwicklung in der Konsequenz der im 19. Jahrhundert entwickelten Sicht einer eigengesetzlichen, partikulär gegliederten Erbsubstanz. Wie seinerzeit die Deszendenzlehre, berührte auch die Theorie des Gens wiederum das menschliche Selbstverständnis. Sie begann Einfluss zu nehmen auf das Bild von Krankheit und Gesundheit mitsamt therapeutischem und prognostischem Zugriff, Eigenschaften der Lebewesen, Entstehung von Leben, dessen Rechtfertigung. Die Vorgeschichte der neuen Verbildlichung reicht weiter zurück. Bis spät in die Neuzeit hatte das Verständnis der Arten noch ihre Hierarchie berücksichtigt, und, noch nach der Aufklärung, einen Selbstzweckcharakter des Lebendigen als begründet angesehen, der sich im neuen Terminus der Subjektivität niederschlug. Es ist hier nicht der Ort, dies im einzelnen nachzuweisen. Doch nach Aufkommen der Klassifikation durch **Carl von Linné** (Schaffung der heute gebräuchlichen binären Benennung mit Gattungs- und Artnamen; „*Systema naturae sive regna tria naturae systematice proposita per classes, ordines, genera & species*“ 1735), mit **Lamarck** (Vermutung einer Vererbung von durch Gebrauch entstandenen, erworbenen Eigenschaften und Verneinung der Konstanz der Arten; „*Philosophie zoologique, ou exposition des considérations relatives à l’histoire naturelle des animaux*“ 1809) oder mit **Georges-Léopold-Chrétien-Frédéric-Dagobert Baron de Cuvier** (Begründung der neuzeitlichen Wirbeltierpaläontologie; „*Le règne animal distribué d’après son organisation*“ 1817) war seitens der Biologie ein veränderter Blickwinkel begünstigt. Er lenkte die Perspektive zunehmend auf die Herrschaft von Übergängen und Ähnlichkeiten in den Bauprinzipien, und ist neben funktionalistischem Physikalismus und Systemdenken der physiologischen Orientierung eine derjenigen wissenschaftsphilosophischen Voraussetzungen für die nachmalige Rückführung und Vereinheitlichung der Lebensphänomene,

die letztlich in eine chemische Terminologie mit Egalisierung der Ebenen führte. Letztere ist nicht eine wissenschaftlich verifizierbare Theorie, sie ist philosophische Annahme.

Nach dem Vortrag *Engströms*, des Repräsentanten des Nobelpreiskomitees, trugen die Laureaten vor. *Wilkins* gab einen historischen Überblick und erwähnte sein wissenschaftliches Schlüsselerlebnis. Die Lektüre von *Schrödingers* „*What is Life?*“ habe ihn, ebenfalls Physiker, auf das Studienfeld der Genetik geführt. Für *Crick* hatte dasselbe Buch den Anstoß für seine Hinwendung zur Biologie gegeben. Ursprünglich hatte er als Physiker an Problemen der Radardarstellung und während des Krieges in der britischen Admiralität an der Verbesserung von Wasserminen gewirkt.

*Wilkins* betonte für seinen eigenen Anteil der Arbeiten an der DNS-Struktur den Nachweis, dass die DNS kein artefizielles Gebilde sei. Der Großteil seiner Arbeit erstreckte sich auf die Frage nach der Verbreitung der helikalen DNS-Gestalt in natürlich vorkommenden Materialien. Die Röntgenanalysen hätten zunächst zur Beschaffung von Informationen für das Modell von *Crick* und *Watson* beigetragen. Später hätten die Röntgenergebnisse zeigen können, dass der Vorschlag in seinen Grundzügen zutreffe, und schließlich durch Nacheinstellungen die Modellverfeinerung ermöglicht.

Eine besondere Würdigung sprach *Wilkins* für *Rosalind Franklin* aus. „*Who, with great ability and experience of X-ray diffraction, so much helped the initial investigations of DNA.*“ Er beendete seine Nobelpreisrede mit einem ehrenden Hinweis auf die Bedeutung *Chargaffs*. Dieser habe mit seinen analytischen Arbeiten und der Entdeckung der Gleichheit des DNS-Basengehalts die Grundlegung für die Nukleinsäurestudien gelegt (Wilkins 1977: 177/178).

Zu erwähnen ist, dass *Wilkins* 1988 zum Leiter des *Human Genome Project* ernannt wurde, mit der Aufgabe, die Gensequenzen des menschlichen Genoms zu entschlüsseln. Zu den Initiatoren dieses Projekts gehörte *Watson*.

*Watson* begründete sein Interesse an der Genetik mit der Aussage, das Gen und seine Rolle im Metabolismus der Zelle bilde das Zentrum der biologischen Fragestellung (Watson 1977: 179).

*Crick*, den *Watson* in seinem schriftlichen Rückblick als nur selten frage- und spekulationsmüde bezeichnet, betonte in seiner Ansprache die zur Zeit der Preisverleihung offen stehenden Kernprobleme des DNS-Modells. Unbekannt sei ein

Zusammenhang innerhalb der genetischen Organisation des Nukleinsäurekodes. Weiterhin müsse untersucht werden, ob ein allgemeines Gesetz die kodierenden Basentriplets gruppieren, oder ob deren Anordnung das Ergebnis historischer Zufälle sei (nach Crick 1977: 210 u. 212).

Im Jahr darauf zählte er weitere Fragen auf, die in den zehn Jahren seit der Erstveröffentlichung des Modells entstanden und fortan zu lösen seien. 1. Nicht geklärt sei, welche Aminosäure welchem Basentriplett zugeordnet ist. 2. Das Ausmaß an Degeneriertheit des Kodes habe ebensowenig ermittelt werden können, wie dessen funktioneller Zweck. 3. Über die Frage der universellen Verbreitung des kodierenden Mechanismus bestehe kein Aufschluss.

**Crick** definierte Universalität als die Übereinstimmung von ein- und demselben Triplett mit ein- und derselben Aminosäure in der gesamten Natur. Da die zwanzig Aminosäuren universell seien, könne gleichfalls eine Universalität des Kodes ihrer Zusammensetzung zu Eiweißen zumindest vermutet werden.

Um eine stereochemische Beschreibung der Strukturbeziehungen zwischen den essentiellen Aminosäuren und den Basen zu ermöglichen, werde neben der Analyse von Naturgegenständen eine neue Methode entwickelt, eine Proteinsynthese anhand zellfreier Systeme. Wenn beispielsweise durch In-vitro-Synthese von Hämoglobin an Ribosomen aus Kaninchenretikulozyten, denen die Transport-RNS von Colibakterien hinzugefügt wird, ein Hämoglobin entstehe, das dem Kaninchenhämoglobin nahezu gleiche, so lasse das Ergebnis auf Identitäten der Codes für Säugetiere und Mikroorganismen schließen. Mit dem zellfreien System sei ein direktes Studium von genetischen Abläufen in der belebten Materie experimentell möglich geworden. Dabei werden synthetisch erstellte Polynukleotide mit zellfreien Systemen verschiedener Organismen kombiniert. Gewaschene Ribosomen, sRNA, synthetische Polynucleotide oder synthetische RNA werden zunächst mit einer Lösung der Energieträger ATP und GTP sowie Magnesium fünfzehn Minuten bei 37°C inkubiert. Darauf werden dem Gemisch radioaktiv markierte Aminosäuren hinzugefügt. Ihr Einbau in das entstehende Protein kann verfolgt und das Protein nach Fällung und Reinigung quantitativ bestimmt werden.

Für die DNS-Synthese *in vivo* nahm **Crick** eine hohe Spezifität an. Die Nukleinsäure im Organismus werde Base für Base aus ihren Bausteinen zusammengesetzt.

Crick vermutete aufgrund funktioneller Erfordernisse unterschiedliche Bereiche in der DNS. Neben eiweißkodierenden Abschnitten forderte er Anteile, die einen Synthesebeginn und ein Ende markieren, Codeschlüssel für Kontrollmechanismen, und

fragte, ob der Organismus Aufgaben dieser Art in derselben Kodesprache niederlege wie den Eiweißkode.

Für den Eiweißaufbau postulierte Crick zwei aufeinanderfolgende Lesevorgänge. In einer ersten Ablesung werde der DNS-Kode in eine Boten-RNS übertragen, aus deren Ablesung in einem zweiten Vorgang der korrespondierende Peptidstrang entstehe. Transport-RNA-Moleküle mit jeweils einer Aminosäure lagerten molekülweise die transportierten Aminosäuren an den jeweiligen Wachstumspunkt des Peptidstrangs. Dies sei eine biochemische Reaktion, die von einem Polymerisationsenzym gesteuert werde, das es noch zu entdecken gelte. Bei unbekanntem Kode sei nicht einmal die Gesamtzahl an Basentriplets, die Aminosäuren kodieren können, ermittelt.

Ein Basentriplett, das eine Aminosäure des aufzubauenden Eiweißes bedingt, wird als *Codon* bezeichnet. Codone, die keine Aminosäure kodieren, heißen Nonsense-Codone. Da zahlreiche Codone bei einigen Lebewesen Nonsense, bei anderen hingegen graduell Sinnhaftigkeit codierten, sei **Crick** zufolge eine gewisse Einschränkung der Kode-Universalität anzunehmen. Crick relativierte zugleich den Begriff des Nonsense-Codons bzw. Nonsense-Triplets. Das absolute Nonsense-Triplett unterbinde die Bildung jeglichen Teils einer Peptidkette, während nicht absolute Nonsense-Triplets eine abschnittsweise Kettenbildung zuließen. Eine weitere Gruppe bestehe in Missense-Codonen. Sie verursachten einzelne falsche Aminosäuren in der Sequenz (Crick 1963).

Für den Genbegriff ist festzuhalten: Mit dem DNS-Modell wurde die Proteinspezifität zu einem Indikator für das Gen.

Dass die Deszendenztheorie mit der chemischen Darstellung der Erbsubstanz eine in der Konsequenz der Lehre liegende Bekräftigung erhielt, ist oben erwähnt worden. **Crick** geht in seinen Ausführungen auch auf dieses Problem ein. Die evolutionistische Annahme von primitiven Stadien der Evolutionsgeschichte mit einheitlichem Kode für alle historischen Organismen weist er zwar nicht zurück. Aber er wendet sich gegen Aussagen über weit zurückliegende Zeiträume unbekannter Voraussetzungen. Er widerspricht der Behauptung einer ursprünglich identischen Regeneration mit vermuteter Einmaligkeit der Entstehung des Systems. Ebenso könne ein Kode in einer Serie getrennter Additionen zu einem einfachen System entstanden sein, und dies ohne eine evolutionäre Diversifikation.

Zwanzig Jahre später neigte Crick zu weitergehenderen Annahmen über Natur und Ursprung des Lebens. Soweit untersucht, sei der Kode in allen lebendigen Entitäten, mit Ausnahme der Mitochondrien, identisch. Irdisches Leben könne folglich aus

Mikroorganismen entstanden sein, die durch das Weltall von einem anderen Planeten verstreut worden waren. Crick nennt diese Theorie „Panspermie“ (Crick 1981).

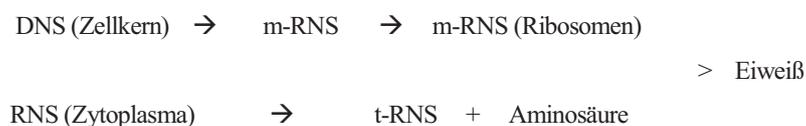
Seine früheren Aussagen deuten auf geniale Züge der Gedankengebung, wenn er in der Biologie des Gens Nonsense nicht als Fehlen von Sinngehalten, Zwecken, Funktionen begreift. Die Degeneration des Codes sei in einer *semisystematischen* Weise erfolgt. Sie scheine ebenso universell zu sein, wie der Kode als solcher. Crick ordnet die Befunde theoretisch:

1. *“It seems highly unlikely, that the code is completely nondegenerate. This is contradicted both by data from the cell-free system and from the TMV nitrous acid mutants.”* [TMV = Tabakmosaikvirus; Anm. v. Kurt Plischke].
2. *“The amount of degeneracy may be small, i.e., perhaps thirty or fewer of the sixty-four possible triplets may stand for amino acids. The evidence from the cell-free system, the amino acid replacement data, and the fractionation of sRNS, could all, at the amount, be compatible with this.”*
3. *“The amount of degeneracy may be very much higher. This is suggested by the wide range of DNA composition and by the genetic studies. It is not contradicted by the more direct evidence, though this suggests that if the code is highly degenerate it is unlikely to be degenerate at random. I favor the third alternative”* (Crick 1963: 203).

Im Addendum schließt *Crick* seine Ausführungen mit dem Hinweis darauf, dass bei einer Kodierung einer Aminosäure durch verschiedene Codone diese nicht unvermittelt dieselbe Kodierung betreffen, sondern in – von ihm nicht näher bezeichneter – Relation zueinander stünden.

**Bernhard Kupfer** (Kupfer 2001: 207) und **Renate Wagner** (Wagner 1998: 337) sehen in der Entwicklung des DNS-Modells eine der kühnsten Taten der neueren Naturwissenschaften. **Tyler Wasson** (Wasson 1987: 231) hebt aus der Leistung der Forscher hervor, sie hätten, nachdem 1961 mit Boten-RNS, Ribosomen-ständiger RNS und Transport-RNS drei RNS-Arten bekannt gewesen seien, auch einen Weg für die Umsetzung des Erbmaterials gezeigt.

Die Zeitschrift „Kosmos“ veröffentlichte bereits 1962 auch für die breitere Öffentlichkeit ein Schema:



Der klassische Genbegriff sei ersetzt worden durch eine neue Einheit. Gegenüber der alten Beschreibung des Gens als Erbfaktor orientiere sich die Zellgenetik aufgrund des DNS-Modells an einem Nukleinsäureabschnitt mit der Information für ein bestimmtes Eiweiß (Kosmos 1962: 522).

Das *Dogma der Genwirkung*, eine einmal auf Eiweiße übertragene genetische Information könne das Eiweiß nicht mehr verlassen, die Richtung des Informationsflusses verlaufe nur von Nukleinsäure zu Eiweiß oder zwischen den Nukleinsäuren, niemals vom Eiweiß zurück zur Nukleinsäure oder innerhalb der Eiweiße, beschreibt die Nichterblichkeit erworbener Merkmalsänderungen, eine überlieferte Lehrmeinung. Biochemisch zeige sich, dass eine durch Umwelteinfluss verursachte Abänderung der Aminosäuresequenz des Eiweißes die kodierende Basenfolge der Nukleinsäurekette nicht verändert, eine Sicht, die heute infrage steht.

Als maßgebendes Prinzip enthält das Erbmaterial die Basenfolge. Aufgrund der statistisch zahllosen Verschiedenheiten ihrer Anordnungen wird diese materielle Ursache der Individualität des Lebewesens in der Zusammensetzung seiner Baustoffe im ersten Schritt ihrer Entstehung als zufällig aufgefasst. Die Folgeabläufe gelten, abgesehen von Umwelteinflüssen mit dem Status von Randbedingungen, als weitgehend determiniert.

Eine Nukleotidreihe stellt die eine Längshälfte des Doppelstrangs der Helix dar, während die andere Hälfte aus einer Negativkopie der ihr gegenüber liegenden Seite besteht. In den Zygoten zweigeschlechtlicher Lebewesen ist eine Hälfte mütterlicher Herkunft, die andere stammt vom väterlichen Elternteil. Die Längsreihenfolge der Basen ist es, die alle genetische Information für den Aufbau von Eiweißen in eine individualtypische Reihenfolge von Aminosäuren verschlüsselt. Sie gilt für jedes Lebewesen als einzigartig, so dass es unter allen auf der Erde vorkommenden Exemplaren nicht zwei mit derselben Anordnung der zwanzig beteiligten Aminosäuren gebe. Da mit dieser Beschreibung Individualität als Eiweißindividualität gedeutet ist, betreffen Unversehrtheit oder Störung der Individualität, Gesundheit und Krankheit mit ihren allergischen Vorgängen in einem als Immunsystem verstandenen Organismus, eine überschießende Abwehr eines 'allon ergon', eine Reinhaltung *körpereigenen Eiweißes* in einem Wettbewerb von Zellen, die vorgestellt sind als Einheiten, die sich an ihren Oberflächenstrukturen gleichwie erkennen und Eiweißpartikel bis zur vollständigen Abwehr von *Fremdeiweißen* in entzündliche Areale

entsenden. Die pathogenetische Sicht nennt in den Kardinalsymptomen von inflammatorischen Prozessen, Rubor, Tumor, Calor, Dolor und Functio laesa, einen *Abwehrvorgang* als Ursache der Symptomatik, Abwehr von Erregern, Abwehr von Krankheit zwecks *restitutio ad integrum* gemäß einem genetischen Programm. Die Wiederherstellung von Gesundheit ist mithin chemisch beschrieben und zurückgeführt auf *Funktionen* einer organischen Stofflichkeit, die als Primärfunktion von Zellen aufgefasst wurde.

Die Fähigkeit zur Erhaltung der Identität des Gens durch es selbst hatte **Muller** in den dreißiger Jahren des Jahrhunderts als das wesentliche des Gens postuliert. Das Genmodell von **Crick** und **Watson** deutet, biochemisch veranschaulicht, die Hypothese einer Selbstreproduktion von biologischem Material: Bei der Zellteilung zwecks Vermehrung der Zelle entspiralisiert sich eine Doppelhelix. Wegen geringeren optischen Auflösungsvermögens der Mikroskope erschien dieses Phänomen um die Jahrhundertwende zuvor als eine vollständige Auflösung der Chromosomen, mit der Annahme, ein Chromosom bilde sich erst vor der Kernteilung neu und könne daher nicht der Garant für eine stoffliche Kontinuität der Merkmalsträger sein. Jetzt war eine mechanistische Darstellung möglich geworden, wie sich ein Chromosom identisch verdoppeln könne, ohne dass es *dieselbe* Materie sein müsse, die in die Tochterzelle eingeht. Nur von der Formel her ist sie als dieselbe, von der Materie her ist sie als die gleiche gedacht: identische Reduplikation. Zwei Ursachen, *causa formalis* wie *causa materialis* ist Rechnung getragen. Als *causa efficiens* gelten die evolutionär treibenden Kräfte der Fortpflanzungsgeschehnisse, Art- und Selbsterhalt, Vermehrung, Trieb, Instinkt, und die chemisch-physikalischen Bewegungskräfte der Materie. Allein die *causa finalis* wird als anthropomorph bezweifelt. Zweckfrei erscheinen nicht nur die *mutatio principii individuationis*, sondern alle Vorgänge im Moment der Fortpflanzung der Gene.

Daraus stellt sich die Frage: Hat dieses Verständnis nicht Anthropomorphien in seiner Grundlage, denen durch die Theorie der Vererbung mit **Darwin** entgangen werden sollte?

Die Beschreibung des Gens als einem Codon wurde noch einmal differenziert in die Begriffe Recon, Muton und Cistron (**Benzler** 1962: 70-84). Eine kleinste Einheit, die durch Rekombination nicht mehr unterteilbar ist, wird Recon genannt. Muton heißt derjenige Abschnitt, der nach einer Strukturveränderung des Chromosoms den neuen

Phänotyp festlegt. Ein Segment des Chromosoms, das durch bestimmte Tests feststellbare Funktionen determiniert, wird Cistron genannt.

Dass nicht alle Gene gleichzeitig *aktiv* zu sein scheinen, weil gewisse der durch die betreffenden Gene bestimmten Funktionen nur phasenweise erforderlich sind, deutet auf das Problem, auf welche Weise ein Gen aktiviert und in Ruhe versetzt wird. **Goldschmidt** hatte 1938 einen Einschaltmechanismus vermutet, der den Stadien der Ontogenese zu entsprechen habe. Die Frage entsteht, ob die Ordnungsprinzipien ihrerseits genetisch zu erklären sind. Die Evolutionstheorie begreift das Vorhandensein von organischen Ordnungsprinzipien als zufällige Anpassungen an die zwingenden Bedingungen, welche die Gesetzmäßigkeit der unbelebten Materie vorausgibt.

1961 legten **Francois Jacob** (geb. 1920) und **Jaques Lucien Monod** (1910-1976) mit einem *Operon-Modell* ein Bild vor, um die Regulation der Genfunktion zu erklären. Sie erhielten 1965 den Medizinnobelpreis für Entdeckungen auf dem Gebiet der genetischen Kontrolle von Enzymen und Viren.

In der Eiweißsynthese würden verschiedene Arten von Genen zusammenwirken. Strukturgene, die in größerer Zahl nebeneinander lägen, steuern eine Kette von aufeinanderfolgenden chemischen Reaktionen. Ein weiteres Gen, das benachbarte *Operatorgen*, ordne die Zusammenarbeit der *Strukturgene*. Dem *Operatorgen* übergeordnet bestimme ein auf dem Chromosom entfernter gelegenes *Regulatorgen*, wann *Operatorgen* und *Strukturgene* aktiv seien. Zusammen bilden sie das Operon, wie in diesem Modell die funktionelle Einheit des Genstrangs heißt. Die Regulation der genetischen Aktivität, Veranlassung einer Enzymproduktion zu gewebsspezifischer Herstellung von Eiweißen, geschehe durch das Endprodukt, das betreffende Eiweiß. Sei es im Überschuss vorhanden, lagere es sich dem *Regulatorgen* an, wodurch dieses beeinflusst werde, die Aktivität des ganzen Operon zu blockieren. Das Blockadeprinzip bestehe in einem System der *Endprodukthemmung* (Jacob, Monod 1961: 318-356). Eine Mutation betrifft nach diesem Modell nicht nur ein einzelnes Gen, sondern zieht ein gesamtes Operon in Mitleidenschaft.

Die Entwicklung der biochemischen Epoche des Gens war wie folgt. Der ursprüngliche Blickwinkel gleichwie eines *Von-Selbst*, der für das Gen angenommen wurde, sah auf partikuläre schöpferische Entitäten in einem Plasma, einer Substanz von Keim- und Körperzellen. Dieser Autonomiegedanke wurde durch biochemische Formulierungen relativiert. In der sich anschließenden, nunmehr über 100jährigen Geschichte des

Genbegriffs nach der Terminierung des Namens „Gen“ durch *Wilhelm Johannsen*, taucht die gesuchte Entität phasenweise als eine unabhängige Einheit auf, um dann doch wieder im Licht eines komplexen genetischen Regelsystems zu erscheinen, wie es ein Außenseiter unter den Genetiktreibenden durch eine *physiologische* Genetik zu begründen versucht hatte, ohne zunächst Gebör zu finden. In den Arbeiten zur Entdeckung der Ribonukleinsäuren als der Substanz der Gene setzte in der Naturwissenschaft eine disziplinenübergreifende Forschungsgemeinschaft ein, die sich von Mathematik über Physik, Biochemie, Mikrobiologie und Embryologie zu einer Genetik als Wissenschaft eigener Frageweisen und Methodiken etablierte. Die Beschreibung des Gens als Anordnung von Basen-Tripletts doppelter Ausführung gab eine Formulierung für Erstprinzipien des lebendigen Werdens, die als genetischer Kode bezeichnet wird. Faktoren der Eigenschaftsbildung, das Werdeprinzip Gen, heißen entschlüsselt, wenn die Reihenfolgen an Tripletts aufgedeckt sind. Ihnen gegenüberstehend, das ehemalige *Mendelsche Merkmal* von Lebewesen ersetzend, findet sich in molekulargenetischer Sicht ein art- und individualspezifisches Polypeptid, dessen Eigenart mit seiner unverwechselbaren Anordnung von Aminosäuren gegeben sei, die sowohl Lebensvorgänge als auch Erkrankungen, nunmehr ausschließlich als Funktionalitäten aufgefasst, bedingt.

Die vorhergehende Frage über die Natur des Gens in der biochemischen Perspektive war, ob es Eiweiße oder Nukleinsäuren seien, welche die für das Gen geforderten Eigenschaften bewirken. Mit der Antwort Nukleinsäure war nicht nur dargestellt, dass es sich beim Eiweiß um das Genprodukt handelt, einem Eiweiß als Bausubstanz und als Enzym, das streng geschieden wäre vom Gen. Gezeigt wurde auch, dass das Produkt des Gens, ein Enzym, als ein Funktionsprotein somit ein Eiweiß, auf dem Weg durch Genkontrolle selbst quantitativ steuernd an der Genwirkung beteiligt ist. Die Erkenntnis dieser Tatsache ermöglichte, mittels sequenzierender Enzyme sowohl bei der genetischen Entschlüsselung von zahlreichen Arten der Pflanzen- und Tierwelt, als auch schließlich in einem Humangenom-Projekt eine präzise Unterteilung des menschlichen Genoms in Eigenschaften bestimmende Abschnitte vorzunehmen (*Sequenzierung*). Die Kenntnis gewebetypischer Genmuster verspricht eine kausale Beeinflussung von zuvor nur symptomatisch therapierbaren Erkrankungen wie Diabetes mellitus, Morbus Parkinson, Amyotropher Lateralsklerose und Malignomen.

IX

**WISSENSCHAFTLICHE EINWÄNDE ZUM GENKONZEPT  
DER VERERBUNG**

Neben dem Urheber des Begriffes Gen in dessen Wortlaut, *Wilhelm Johannsen*, der wiederholt vor einer Einschränkung des Begriffs auf eine materialistische Vorstellung gewarnt hatte, war auch die führende Kraft der englischen Genetikerschule, *William Bateson* gegenüber einer Einengung auf eine Chromosomenlehre der Vererbung trotz aller üblich gewordenen Verallgemeinerung ablehnend geblieben. Ebenso verhielt es sich mit *Carl Correns*, Wiederentdecker und Verfechter der Mendelschen Formallehre. Er bevorzugte eine rein formalistisch genetische Erklärung ohne Bezugnahme auf das Chromosom, um alle erblichen Erscheinungen zu deuten.

Der prominenteste Kritiker des klassischen Vererbungskonzeptes wurde ebenfalls schon erwähnt: *Richard Benedict Goldschmidt* (1887-1958). Er wirkte zwischen 1914 und 1936 zunächst als Mitarbeiter, dann als Direktor des *Kaiser-Wilhelm-Instituts für Biologie* in Berlin. Bis 1950 bekleidete er einen Lehrstuhl für Zoologie an der Berkeley-Universität von Kalifornien, war Mitglied der Akademien von Halle, Heidelberg, München, Uppsala, Kopenhagen, Bologna, Toronto, Philadelphia und Washington. Der Stil seiner Vorträge zeigt eine polyglott humorvolle Beredsamkeit, nach Einfachem im Komplexen et vice versa sich vorwärtstastend.

Goldschmidt entwickelte eine Art Feingenetik des klassischen Genbegriffs. Genetische Vorgänge setzten sich aus einer Reihe von Prozessen zusammen, deren Wesen in einem zeitlichen und räumlichen Ineinandergreifen von sehr genau abgestimmter Koordination bestünde, ein Zusammenhang, der nicht auf begrenzte Chromosomenabschnitte zurückgeführt werden könne. Erforderlich sei ein Ordnungsgefüge, das Goldschmidt physiologisch nennt. Ein Zellkern, Chromosomen mit Genen, könne nur innerhalb eines Zelleibes arbeiten, der auf einen weiteren Zusammenhang ausgerichtet sei, von dem er selbst gleichermaßen beeinflusst werde.

Rückkoppelungseffekte und wechselseitige Einflüsse verschiedener Ebenen erkannte die Theorie damaliger Biologie an.

Welche Unterschiede ergeben sich für eine „*physiologische Theorie der Vererbung*“, wenn man von dem genannten Zusammenhang ausgeht, um einzelne Abläufe zu bewerten?

In seiner Lehre stellt **Goldschmidt** zwei Arten vor, mit Vererbungsphänomenen umzugehen (Goldschmidt 1954: 703-710).

1. Jedes Phänomen wird als das Ergebnis von Selektion und Anpassung aufgefasst. Eine solche Theorie erkläre ihre Beobachtungen durch Einführung spezifischer Modifikationssysteme, die durch Selektion entstanden seien.
2. Die andere Sicht konzentriere sich bei jeder Erscheinung als erstes auf die Vorstellung einer Entwicklung. Sie vermeide so, für ein neu entdecktes Phänomen sogleich ein zusätzliches, spezielles und selektives genetisches System einzuführen, insofern sie genetische Aktivität nur in Termini einer spezifischen äußeren und inneren Umgebung beschreibe.

Der Standpunkt des klassischen Genkonzeptes nehme stattdessen eine statistische und statische Sicht ein, die versuche, jeweils nach Generalisierung einer neuen Gruppe von Tatsachen diese durch Hypostasierung immer weiterer Einheiten zu interpretieren, um sie in den statistischen Rahmen einfügen zu können. Das statistische Denken bemühe sich, alle Grundzüge genetischer Phänomene durch Einführung weiterer Gene zu verstehen, durch „Modifikationssysteme“, die sich als Folge des Selektionsprinzips herausgebildet hätten. Die Konsequenz dieses Denkens sieht Goldschmidt in einem „*Hyperatomismus*“ und „*Hyperselektionismus*“, der zu einer astronomischen Zahl erblicher Einheiten und einer ähnlichen Zahl winziger, dann spezifisch genannter Anpassungen führen müsse – ein Ergebnis, wie es tatsächlich die weitere Geschichte der Biologie mit sich brachte. Die statistisch ausgerichtete Methode suche, so Goldschmidt, nach Systemen verbundener Gene, die für einen bestimmten Wettbewerb selektioniert sind, ein Standpunkt, der genötigt sei, für jeden möglichen Entwicklungsschritt spezielle Gene anzunehmen, dem Trend folgend, jede beobachtete Tatsache auf eine Selektion zurückzuführen. Das so vorgestellte Entwicklungssystem gebe sich zwar einer eindrucksvollen mathematischen Behandlung hin, vernachlässige aber die Tatsache, daß *die Grundlage aller Evolution der Organismus* sei. Indessen sei keine evolutionäre Veränderung denkbar, die nicht in den Möglichkeiten des Organismus selbst enthalten wäre.

Die Alternative zu der klassisch gewordenen Sicht bestehe darin, die statistische atomistische Auffassung durch eine dynamische relativierende zu ersetzen. Das bedeute: Mutative Anpassungen sollten innerhalb von Entwicklungsmöglichkeiten begriffen werden, die auf den Begriff des Organismus zurückgehen. Das Chromosom erweise sich dann als ein hierarchisches System polarer Strukturen, deren Anteile wiederum auf der Basis von Untereinheiten mit ebenfalls hierarchischer Architektur

agierten. Auf diese Weise entfalle das Erfordernis, eine wachsende Zahl von „Schaltgenen“ und „selektierten Modifikatoren“ einzuführen. Mutative Inversionen seien als selektive Zufälle nicht verstehbar, sondern auf ihren Zweck und ihre möglichen Funktionen zu befragen, eine Fragemethode, orientiert an Begriffen der genetischen Entwicklung und Wirkung, nicht an solchen einer Umverteilung fixer Gene. Während die statistische Auflistung lediglich Raum lasse für eine steigende Zahl von Genen, suche sie ihre Erklärungen im Vordringen ins Submolekulare. Das dynamische Verstehen hingegen suche die verschiedenen Tatsachen unter einem Prinzip zu vereinen, etwa Regionen von Grundaktivitäten, integriert in die nächst höheren hierarchischen Einheiten usf., die in absteigender Folge wiederum sich verzweigende Reaktionsketten steuerten, die ebenfalls jeweils Abschnitte des Entwicklungsprozesses lenkten. Zum Verständnis von genetischen Abläufen hält Goldschmidt den Genbegriff nicht einmal für nötig, weil die Essenz der lebendigen Natur in ihrer hierarchischen Ordnung liege. Nicht die Einheiten, sondern die Ordnungsprinzipien zwischen jenen seien das Entscheidende. Diese seien aus Komponenten und deren Summe nicht abzuleiten. Genau das aber fordere die klassische Theorie des Gens. Die Herkunft dieses Genkonzeptes erklärt Goldschmidt für offensichtlich: Denn die Vorläufer der klassischen Gentheorie, die *„älteren Vererbungstheorien von Darwin, de Vries und auch die ihnen weit überlegene von Weismann wurzelten hauptsächlich in der Deszendenztheorie und waren als Hilfstheorie für diese gedacht“* (Goldschmidt 1927: 241).

1957 beleuchtet **Cyril Norman Hinshelwood** (1897-1967) die Beziehungen zwischen physikalischer und biologischer Wissenschaft. Hinshelwood hatte über die Chemie des Wachstums von Bakterien und Viren gearbeitet, Basislebewesen für die Vererbungsforschung der Zeit. Hinshelwood betrachtet biologische Kennzeichen des Lebendigen. Er führt an, das Bild von Referenzen zwischen Fähigkeiten der Zelle und Genstrukturen, wie fruchtbar solche Ermittlungen auch seien, bleibe statisch. Wachstum, Anpassung und Reproduktion seien nur durch eine *„dynamische“* Auffassung wirklich zu verstehen (Hinshelwood 1956: 1263-1266). Denn keine Struktur sei isoliert *„autosynthetisch“*. Jede Zellfunktion basiere auf *„Rhythmus und Harmonie ihrer reziproken Aktion“*.

Beispielsweise werde die Resistenzentwicklung von Bakterien in der Gentheorie zwar ausschließlich auf eine Selektion von zufällig entstehenden Mutationen zurückgeführt, obgleich auf der Grundlage von physikalisch-chemischen Voraussetzungen viel leichter

gezeigt werden könne, dass der Resistenzeffekt quasi automatisch eintrete, weil die adaptierenden Zellen einfach ihre Reaktionsmuster wiederherstellten. Bei jeder Mutation, die eine Zelle erleide, fördere sie adaptive Veränderungen durch dynamischen Wechsel ihrer Anordnung. Resistenz auf Pharmaka entwickle eine Zelle, indem sie als ein Ganzes auf die Anwesenheit des Präparats reagiere. Die biochemischen Anpassungen der Zellen seien also auf innere Reorganisationen zurückzuführen.

Für Hinshelwood präsentiert Natur sich als eine gewaltige und umfassende Hierarchie von Systemen: subatomare Einheiten, Atome, Moleküle, Micellen, Kolonien, Gewebe, Individuen und Gemeinschaften von Individuen. In einem solchen Aufbau könne nicht der Ursprung aller Phänomene nur in einer partikulären Ebene angenommen werden, auch nicht in der Ebene der Gene. Die Auffassung, dass Zellstruktur auf Genstruktur zurückzuführen ist, bleibe daher „*unvollständig und statisch*“.

Bemerkenswert ist, dass genau diejenige Methode angezweifelt wird, die von Biologie, Pharmazie, Medizin, aber auch den geisteswissenschaftlichen Forschungsrichtungen Soziologie, Pädagogik, Psychologie, Marktforschung, Politik bis hinein in die Ethik, als Errungenschaft sowohl für das wissenschaftliche Experiment, als auch der Erkundung des gesunden Menschenverstandes angesehen ist, die statistische Evaluation. Die statistische Methode als dem Mittel der Wahrheitsfindung gilt den genannten Kritikern gerade nicht als ein Ausweis von Beweglichkeit, sondern als das Anzeichen einer mit dem Prinzip der Erkenntnismethode vorgegebenen Statik der Auffassungsweise und somit ihrer Ergebnisse.

Weitergehend als *Hinshelwood* und *Goldschmidt* hatte 1920 schon *Karl Peter* von der Universität Greifswald argumentiert. In seiner Gratulationsadresse zu *Hertwigs* siebenzigstem Geburtstag begründete er eine „*finale Erklärung embryonaler und verwandter Gebilde und Vorgänge*“ in der Absicht, „*neben dem phylogenetischen und kausalen Standpunkt auch den finalen in seine Rechte einzusetzen*“ (Peter 1920). Während eine phylogenetische Sichtweise sich mit der Antwort zufrieden gebe, die fraglichen Gebilde müssten in der Ontogenie auftreten, weil die Ontogenese die Phylogenese wiederhole, werde verkannt, dass erst der *Zweck* eines Organs Grund seines Auftretens sei. Nicht nur nach dem Woher und Wodurch, sondern zugleich nach dem dem Wozu sei zu fragen. Die Funktion eines Organs sei „*stets mit seiner höchsten Ausbildung verbunden*“ (Peter 1920: 90). Die Kardinalfrage in der Biologie der Organismen hieße dann: Welchen Wert haben ein Gebilde oder seine Teile für den

ganzen Organismus? Nach **Peter** seien Nichterblichkeit und Erblichkeit für Lebewesen gleichwertig (Peter 1920: 240). Die Entstehung bestimmter Organe könne nicht nur auf eine *causa efficiens* zurückgeführt werden. Da der gängigen Erblichkeitsvorstellung dies entgehe, erkenne sie nicht, weshalb ein Merkmal bei einer Form vererblich sei, bei einer anderen nicht. Dieses Modell der Vererbung zeige nur, dass die eine Form einen bestimmten Vererbungsfaktor besitze, der anderen Formen fehle, ohne ein Gegebensein oder Fehlen im Zusammenhang begründen zu können. Was wäre die Alternative? Wenn Nichterblichkeit von Eigenschaften kein Gegensatz von Erblichkeit ist, müssen sie durch Übergänge miteinander verbunden sein. Die Stärke der Vererbung schwanke in weiten Grenzen (Peter 1920: 245).

In einem finalistischen Modell der Vererbung ist zu fragen, weshalb nicht-nützliche Veränderungen weitervererbt werden können. Der Biologe hielt die weniger zweckvollen Eigenschaften aus angeborenen Missbildungen wie Oligodaktylie, Syndaktylie, Spalthand deswegen für erblich, weil „*wir sie züchten*“.

Betrifft dies also eine Weitergabe von Merkmalen ebenso wie ein erstes Entstehen, eine Herstellbarkeit neuer Eigenschaften?

Für die Notwendigkeit finaler Betrachtung nannte **Peter** ein weiteres Beispiel, das sich aus **Mendels** Vererbungslehre ergeben hatte, den *Valenzwechsel*. Das Umschlagen der Dominanz könne nur verstanden werden, wenn „*finale Gesichtspunkte berücksichtigt werden*“ (Peter 1920: 251).

**Peter** bezweifelte nicht nur die statistische Methodik. Auch die Favorisierung des Experiments stellte er infrage. Das Experiment könne „*zur Lösung manchen Problems herangezogen werden*“, doch sei es „*nicht das vornehmste Mittel zum Studium [...], denn den letzten Aufschluß wird uns für unsere Frage immer die Beobachtung der Thiere in ihrer Umwelt geben*“ (Peter 1920: 311).

Die Wahl der Methode enthält ein wertendes Moment. Wenn auch unser „*anthropozentrisches Denken*“ oft genug auf Irrwege führe, so bleibe es das Ziel, „*ein embryonales Gebilde in jeder Hinsicht erklären zu wollen*“. Biologisch aufgefasst sei Finalität gleichbedeutend mit *Zweckmäßigkeit*.

In dieser Sicht ist es eine *physiologische* Zweckmäßigkeit, die ab initio Einfluß nehme auf die Vererbung. Die Vererbungsvorstellung nähert sich der physiologischen Auffassung von Funktion, deren Begriff Zweckhaftigkeit enthält, eine lokale Gleichgewichtigkeit zwischen *causa efficiens* und finalis.

Im Licht moderner Biologie relativiert **Günter P. Wagner** den *Realitätsanspruch* des Genkonzepts. [(Jg. 1954); Professor für Ökologie und Evolutionsbiologie an der Yale-Universität/USA; 1992 MacArthur Prize, 2005 Humboldt-Preis; Mitglied der Österreichischen Akademie der Wissenschaften und der American Academy of Arts and Sciences; erstes mathematisches Modell genetischer Bahnung; Untersuchungen von Geninteraktion und Entwicklung komplexer Eigenschaften mittels evolutionärer Entwicklungsbiologie und Populationsgenetik].

Wagner greift eine Unterscheidung im Begriff des Realismus in der Biologie auf. In der Mendel-Genetik, dem „Musterbeispiel“ für einen *hypothetischen Realismus*, erscheine das Gen als ein „hypothetisches Objekt“, gegenüber dem Genkonzept ein vermutetes reales Objekt im Sinne einer materiellen Einheit. Es sei nicht allein spekulativ, sondern *operational* definiert aufgrund einer „Anleitung zu einem Experiment, das für den Nachweis von Genen gedacht ist“ (Wagner 1988: 241). In der Molekulargenetik, einer „direkten Folge der realistischen Interpretation des Genkonzepts“ (ibid.), löse sich die strukturelle Einheitlichkeit der Gene auf, und in der Populationsgenetik seien Geneffekte nicht „theoriefrei und kontextunabhängig“ definierbar. „Damit wird aber der Inhalt des Genbegriffs in einem viel stärkeren Maß theorieabhängig, als das beim klassischen Genbegriff der Fall war“. Von dem Anspruch auf eine reale Entsprechung ist Abstand zu nehmen. „Der Genbegriff wird zu einem viel stärker theoretisch beladenen Konzept, das nur noch mit der Auffassung des internen Realismus vereinbar ist. Wenn man dagegen auf dem hypothetischen Realismus bestehe, „dann müsste man die Elimination des Genbegriffs hinnehmen“. Ein Verzicht auf den Genbegriff scheine jedoch „in der heutigen Biologie nicht denkbar, wohl aber eine Veränderung der mit dem Genbegriff verbundenen Realitätsauffassung“ (S. 245f).

Damit bleibt ein im biologischen Kontext als Ordnungsfaktor der weiteren Nachfrage sich rechtfertigendes Relikt. Der interne Realismus gilt gegenüber dem Genbegriff als die angemessene Einschätzung von dessen Realitätsgehalt. „So lange es geht, scheint aber der hypothetische Realismus die heuristisch fruchtbarere Alternative zu sein“ (ibid.).

In der klassischen Genetik waren Gene als die strukturelle und funktionelle Einheit der Vererbung angesehen, als stabile materielle Einheiten, von denen jede einen ganz bestimmten Effekt erzeuge. Diese Vorstellung musste fallengelassen werden. Schon der Positionseffekt zeigte ja, dass die Wirkung eines Gens von seiner Nachbarschaftslage abhängig ist. Hier ist es nicht erst ein äußerer Umwelteinfluss, der

einer genetischen Erstursache im Körperinneren entgegenzusetzen wäre, sondern schon der genetische Umgebungseinfluss unter Genen. Die vorher so offenkundige Grenze zwischen Umwelt und Gen, beide materialistisch definiert, verschwindet bei genauerer Betrachtung der beteiligten Materie.

**Wagner** weist darauf hin, nach zunehmender Kenntnis der molekularbiologischen Wirkungen seien Gene oft mit einer bestimmten physiologischen Wirkung identifizierbar, ohne eine Einheit der Funktion zu sein. Genetische Effekte würden sich vielfach durch ein Zusammenwirken vieler Gene einstellen (*Polygenie*). Die Merkmalsausprägung beruhe oft auf indirekten Effekten und nicht auf der spezifischen Wirkung bestimmter Genprodukte. Damit könne das Gen nicht mehr als die fundamentale Einheit des Erbmaterials aufgefasst werden. Er steht „für das simple Resultat von komplexen Ursachen, die MENDEL-Regeln, und ist nicht mehr selbst die Erklärung dieses Phänomens. Nur im Rahmen des erweiterten Bezugssystems der modernen Genetik bleibt der Genbegriff sinnvoll. Sein Realitätsanspruch ist nur noch mit dem Konzept des internen Realismus vereinbar“ (S. 249).

Nachdem das Gen wie ein atomares Zentrum der biologischen Kräfte in den Mittelpunkt der Eigenschaftsbildung gestellt war, wird das Genmodell verantwortlich für einen letzten Wirklichkeitsbezug auf nurmehr in sich relative Territorien, eine kopernikanische Wende wie des des Fernrohrs oder des Mikroskops.

Nach welchen Kriterien für eine Abgrenzung kann entschieden werden, was als ein Merkmal aufzufassen ist? Die Antwort auf diese Frage enthält eine ontologische Gewichtung.

In Beantwortung der Frage nach dem Status des Organismus für die Identifikation von Merkmalen in der Evolutionsbiologie deutet **Wagner** auf die Problematik biologischer Modelle, die theoretische Objekte postulieren: Population, Gen, lebensgeschichtliches Merkmal. Welche Eigenschaften legitimieren ein biologisches Objekt als Instanz eines wissenschaftlichen Modells? Erbllichkeit sei auf der Ebene des Phänotyps definiert. „Neither the gametes nor the single alleles are the objects of ontological primacy“ (Wagner/Laubichler 2000a: 29). Die Einheiten der Vererbung seien Abstraktionen des ontologisch primären Objekts Organismus.

Merkmale würden definiert durch eine funktionale Aufgabe innerhalb eines Modells oder einer Theorie. Die konstituierenden Teile von biologischen Systemen, Moleküle einer Zelle, Zellen eines Organismus, charakteristische Loci eines Genotyps, seien

nicht notwendig die funktionell entscheidenden Merkmale des im Zusammenhang integrierten Systems. *„In a trivial sense molecules as material parts are ontologically prior to cells and organisms, but in the case of functional characters this relation is inversed. Here the whole or the integrated system is ontologically prior to its characters (functional parts)“* (Wagner/Laubichler 2000b: 294). Wagner und seine Kollengen setzen das Untersuchungsziel in ein Konzept des Organismus, das ihn in seinem operativen Zusammenhang berücksichtigt, um für die Abgrenzung von Merkmalsqualitäten deren funktionelle Abhängigkeiten berücksichtigen zu können.

Im 19. Jahrhundert bildete sich ein Verständnis von Vererbung, demzufolge die Eigenschaftsbildung der Lebewesen von einer spezifischen Materie und in Form von einzelnen Einheiten vermittelt ist. Über Struktur, Organisation und Wirkart dieser Substanz entstand hypothetisch eine Begrifflichkeit, welche Eigenschaften und Funktionsweise postulierter Vererbungspartikel zu beschreiben versuchte. Hatte noch *Gärtner*, Vorläufer *Mendels* und Verfasser eines Standardwerkes über Hybridisierungs-Experimente, unter *Faktor* die Zutat eines gesamten Elternteils in den Übertragungsvorgang begriffen, postulierte *Darwin* hingegen singuläre materielle, gegenüber den Körperteilen strukturidentische kleinste Partikel, noch ohne ein gesondertes Vererbungsplasma anzunehmen. *Haeckel* entsprach den Hypothesen in Darwins Evolutionsauffassung, doch forderte er mit dem Begriff des *Plastiduls* nicht eine materielle Kontinuität, sondern eine der Bewegungserscheinungen. *Nägeli* war es, der die Existenz eines gesonderten *Keimplasmas* begründete, für das *Weismann* eine unabhängige, über den Generationenverlauf durchgängige *Keimbahn* beschrieb. *De Vries* schloss sich zwar grundsätzlich *Darwins* Vorstellung von Erbpartikeln einer *Pangenesis* an, sah jedoch die Wirkung der *Pangene* beschränkt auf den intrazellulären Raum in Vorgängen zwischen Zellkern und Plasma. *Mendel* ließ sich auf Spekulationen über die Materialität von Erbsachen nicht ein. Durch Beobachtung des Entwicklungsverlaufs hybridisierter Merkmale konnte er deren Auftreten, Verschwinden und Wiedererscheinen in regelmäßigem Zahlenproporz erfassen. Er schloss daraus, dass innere Elemente der Zellen in doppelt angelegten Faktoren bestünden, jeweils von einer der beiden Elternpflanzen stammend, gemeinsam ursächlich für die Ausprägung jedes Merkmals. Schon *Mendel* verwendet neben *Merkmalseinheit* auch die Begriffe *Element* und *Faktor*. *Bateson* (1906 mit *Genetics* der Namensgeber des neuen Wissenschaftszweigs) gebrauchte bereits den Terminus *Merkmalseinheit* im Sinn einer Wirkung von Faktoren.

Diese Vorstellungen griff *Johannsen* 1903 in einer Vorlesung in Kopenhagen

auf. Sie wurde 1905 in dänischer Sprache veröffentlicht (Johannsen 1905), 1909 deutsch (Johannsen 1909). Er verfolgte die Absicht, mit einer rein hypothetischen Formulierung, einen Terminus „frei von Vorannahmen“ über die Beschaffenheit der Erbinheiten zur Verfügung zu stellen. Die Begründung dieses Terminus gibt einen Gedankengang vor, auf den im 20. Jahrhundert wiederholt zurückgegriffen wird:

1. Das *Gen* ist kein morphologisches Gebilde wie *Pangene*, *Determinanten*, *Biophoren*.
2. Ein „etwas“ in den Gameten „bedingt“ eine Eigenschaft in der Entwicklung des Lebewesens, „bestimmt sie mit“ oder „kann sie mitbestimmen“.
3. Die Bezeichnung *Gen* erfasst „in den Gameten vorkommende besondere, trennbare und somit selbständige ‚Zustände‘, ‚Grundlagen‘, ‚Anlagen‘“.

Mit diesem Ausdruck übernimmt **Johannsen** jedoch eine Sicht, die in den spekulativen Vorarbeiten des 19. Jahrhunderts herausgearbeitet wurde, wenn auch sich beschränkend: ohne Aussage über eine „Materialität“, ohne Aussage „über die Herkunft dieser Gene“. Deshalb streicht er den Wortanteil Pan aus **Darwins** *Pangen* und belässt *Gen*. Er setzt die Genformel Aa Bb für Allele, aber er betont zugleich: Es besteht ein „in der Formel nicht aufgenommener Rest“. Das Prinzip der Zweckmäßigkeit sei mit Organisation überhaupt gegeben, denn eine Neukombination der Gene reagiere „gleich als Ganzes zweckmäßig selbsterhaltend mit den Mitteln, Charakteren und Fähigkeiten, welche die Kombination früher getrennter Gene bedingt“.

Das *Gen* bedinge eine Reaktionsnorm des Organismus. Es besitze keine determinierende Funktion.

Nicht nur eine einzelne Eigenschaft müsse bedingt sein. Ein *Gen* könne an weitgehenden Reaktionen beteiligt sein.

Diesen Rahmen füllte die nachfolgende Geschichte der Biologie über einen Weg von Jahrzehnten. Darin wechselten Sichtweisen des Gens als eines Gens für etwas Bestimmtes einander ab.

Mit dem Verlauf des Verständnisses von Vererbung ändert sich die Vorstellung von Natur. In der Naturphilosophie **Hegels** ist das Lebendige

*„nur, indem es sich zu dem macht, was es ist; es ist vorausgehender Zweck, der selbst nur das Resultat ist“* (Hegel 1830: Enzyklopädie § 352).

Mit **Kants** Begriff des Organismus als *Selbstzweck*, in dessen Einheit das sich erschaffende Prinzip und der Zweck der Erhaltung in einem übereinkommen, im Unterschied zur Erzeugung von Artefakten durch einen menschlichen Baumeister, sind Lebewesen genau durch dieses teleologische Prinzip gekennzeichnet. Sie sind nicht nur Organismen, sondern *selbstorganisierte* Organismen (Kant 1790):

*„Ein Ding existiert als Naturzweck, wenn es von sich selbst Ursache und Wirkung ist“* (Kritik der Urteilskraft § 64). [...] *„In einem solchen Produkte der Natur wird ein jeder Teil, so wie er nur durch alle übrigen da ist, auch als um der anderen und des Ganzen willen existierend, d. i. als Werkzeug (Organ) gedacht [...], als ein die anderen Teile (folglich jeder den anderen wechselseitig) hervorbringendes Organ, dergleichen kein Werkzeug der Kunst, sondern nur der allen Stoff zu Werkzeugen (selbst denen der Kunst) liefernden Natur sein kann; und nur dann und darum wird ein solches Produkt als organisiertes und sich selbst organisierendes Wesen ein Naturzweck genannt werden können“* (§65; Sperrdr. i. Orig.).

Diese Eigengesetzlichkeit des Lebendigen wurde nun, mit einer partikularistischen Erbvorstellung, mehr und mehr an die inneren Zusammenhänge der unbelebten Stofflichkeit angeglichen, die gerade der relativen Eigengesetzlichkeit des Lebendigen entbehrt, um kompatibel in die unbelebte Stofflichkeit eingefügt werden zu können, und musste schließlich, sowohl als Erklärungsziel, als auch für die Frage nach der Anordnung des Lebendigen im Gefüge einer ganzheitlichen Natur in den Hintergrund treten.

**Spencer**, auf dem Weg zu einem materialistisch vereinheitlichenden Reduktionismus, schlägt den Terminus einer *organischen Polarität* vor. Organische Einheiten seien im Unterschied zu chemischen und morphologischen Einheiten in sich polare, *vitalisierte Moleküle* mit Neigung zu einer bestimmten Organisation. Aufgrund dieser *intrinsic* Fähigkeit stehen sie als *physiologische Einheiten* intermediär zwischen den chemischen und organischen Einheiten (Principles of Biology 1864).

Für **Darwin** trägt jedes *„Theil der Organisation“* zur Reproduktion des Ganzen bei. Alle Teile gäben *„Gemmules“*, *„kleine Keimchen“*, ab, die durch den Körper zirkulieren und

in den Keimorganen konzentriert würden, in einem Strom, der unaufhörlich den ganzen Körper durchfließe (Darwin 1878). Vererbung geschehe durch solche „*kleinen Körnchen*“ und „*Atome*“, die mit „*gehöriger Nahrung*“ versorgt werden, sich durch Teilung vervielfältigen, befähigt, wieder zu den gleichen Zellen heranzuwachsen, aus denen sie stammen. Sie stehen wie das ganze Lebewesen gemäß der Prämisse der Evolutionstheorie in einem *struggle for life*. Darwins Annahme verzichtet nicht auf Anthropomorphien.

**Haeckel** dagegen will „*die Gesamtheit der organischen Entwicklungsphänomene streng mechanisch, aus physikalisch-chemischen Elementar-Vorgängen*“ erklären. Doch sind ihm „*ohne die Annahme einer Atom-Seele die gewöhnlichsten und allgemeinsten Erscheinungen der Chemie unerklärlich*“, und „*ohne die Annahme eines unbewussten Gedächtnisses der lebenden Materie die wichtigsten Lebensfunktionen überhaupt unerklärbar*“. Eine besondere Art von Molekül, das *Plastidul*, vereinige Eigenschaften des Lebens in sich. „*Als wichtigste dieser Eigenschaften erscheint uns die Fähigkeit der Reproduction oder des Gedächtnisses.*“ Vererbung wird ausschließlich an die Wirkung dieses Partikels gebunden: „*Nur die Plastidule sind reproductiv, und dieses unbewusste Gedächtniss der Plastidule bedingt die charakteristische Molecularbewegung derselben*“. Vererbung besteht somit in einer Übertragung von Bewegungsmustern der Moleküle durch sie selbst. In dieser Vorstellung wird den Vorgaben der historisierten Naturvorstellung entsprochen und zugleich auf eine materialistische Perspektive eingeeengt. Das Erbgedächtnis bestehe in der „*Reproduktionskraft der Plastide*“, eine „*Function*“, die durch die „*atomistische Zusammensetzung der Plastidule bedingt ist*“. Mit dem Besitz eines phylogenetischen Gedächtnisses setzt **Haeckel** für das *Plastidul* eine historische Kategorie an und geht damit frühzeitig auf das Problem der Aktivierung von Anlagen ein:

*„die ontogenetische Arbeitsteilung der Zellen [...] ist nur die rasche, nach dem biogenetischen Grundgesetz erfolgende Wiederholung der langsamen phylogenetischen Gewebebildung“* (Haeckel 1876).

Für **Nägeli** gilt,

*„dass das Wesen der Organismen in der Beschaffenheit und Anordnung der kleinsten Theilchen derjenigen Substanz bestehe, welche die Vererbung bei der Fortpflanzung und die spezifische Entwicklung des Individuums bedingt.“*

Nur so seien auf „*realem Boden*“ bestimmte „*mechanische Vorstellungen*“ zu gewinnen. Der Stoff enthalte „*das Wesen der in der organisirten lebenden Substanz befindlichen unsichtbaren Anlagen für die sichtbaren Erscheinungen des entwickelten Zustandes*“ als ein besonderer Stoff der Vererbung, ein Plasma aus „*Albuminaten*“. Die Moleküle dieses Anlageplasmas seien zu verschiedenen kristallähnlichen Gruppen aneinandergelagert. **Nägeli** nennt sie *Micellen*. Nur ein Teil davon stelle „*wirkliche*“ Anlagen dar. In verschiedenen Molekülkonfigurationen, aufgrund „*Modifikationen*“ der Albuminate, seien jede Eigenschaft und die erforderlichen Materiebewegungen ihrer Ausbildung festgelegt. Die unterschiedlichen Kräfte eines solchen *Idioplasmas* seien durch die Anordnung der *Micellen* verursacht. Diese würden mikrokosmisch den Makrokosmos an Organen, Geweben und Zellen widerspiegeln, ohne eine analoge Anordnung zu besitzen. **Nägeli** nimmt hierin **Johannsens** Unterscheidung von *Genotyp/Phänotyp* vorweg und nähert sich mit der hypothetisch für ihre Wirkweise angenommenen reihenförmigen Lage von *Micellen* der späteren Auffassung über die Längsanordnung der Basen als dem genetischen Prinzip des Nukleinsäurestrangs. Einer Anlage entspreche eine *Micellengruppe* in Längsrichtung einer Reihe. **Nägeli** kritisiert die Hypothesen von **Darwin** und **Haeckel** und stellt sich einer Theorie richtungsloser Mutation entgegen. Auch hätten **Darwin** und **Haeckel** auf der Basis der damals noch jungen Atomvorstellung die organisierenden Kräfte der Vererbung im einzelnen Atom und Molekül erblickt. Die *Micellenvorstellung* dagegen mache dafür den „*organisirten*“ Molekülverband verantwortlich.

*„Wir bedürfen, um die Erbllichkeit zu begreifen, nicht für jede durch Raum, Zeit und Beschaffenheit bedingte Verschiedenheit ein selbständiges besonderes Symbol, sondern eine Substanz, welche durch die Zusammenfügung ihrer in beschränkter Zahl vorhandenen Elemente jede mögliche Combination von Verschiedenheiten darstellen und durch Permutation in eine andere Combination derselben übergehen kann“.*

Die moderne Molekulargenetik verwendet in entsprechender Weise eine Substanz, wie sie schon **Nägeli** verlangt:

*„welche durch die Zusammenfügung ihrer in beschränkter Zahl vorhandenen Elemente jede mögliche Combination von Verschiedenheiten darstellen“ kann, „um die Erbllichkeit zu begreifen“.*

Die Voraussetzung zu solcher Auffassung liegt darin, den Wirkungskreis in der Entstehung der Lebewesen auf einen Mikrobereich zu beschränken:

*Nur in den idio-plasmatischen Anlagen ist das vollständige Wesen der Organismen enthalten" (Nägeli 1884).*

Analog dieser Betrachtung erscheint heutzutage das Gen. Doch hält **Nägeli** es noch für erforderlich, die **Darwinsche** Nützlichkeitstheorie um ein *Vervollkommnungsprinzip* zu erweitern.

**Weismann** griff für die Eigenschaften des Vererbungsplasmas und seiner abzugrenzenden Einheiten auf **Haeckels** Vorstellung eines phylogenetischen Gedächtnisses zurück. Vererbung beruhe auf der Kontinuität von *Keimmolekülen*, bestehe in einer generationenübergreifenden *Keimbahn* aus einem *Keimplasma*, das er auch als *Ahnenplasma* bezeichnet. Es sei aus Untereinheiten aufgebaut, die weder als „*kleinste Lebensteilchen*“ wie **Spencers** *physiologische Einheiten* aufgefasst werden dürften, noch als *Pangene* und *Gemmulae* im Sinne **Darwins**. Denn sie würden nicht in den Körperzellen erzeugt und nicht in den Fortpflanzungszellen gesammelt. Das Keimplasma sei vielmehr eine „*eigens dazu bestimmte Substanz*“. Als „*Grundkräfte des Lebens*“ müsse ein eigener Name gewählt werden: „*Lebensträger*“ oder „*Biophoren*“. Die Architektur solchen Keimplasmas sei „*historisch überliefert*“, die Lebenseinheiten hierarchisch gestaffelt. Mehrere Biophoren bilden Determinanten, die ebenfalls gruppenweise organisiert seien - „*Ide*“ - in Anlehnung an das Idioplasma **Nägelis** -, die sich in Fortpflanzung und Entwicklung zu gleichartigen Tochteriden zweiteilen. Weismann nennt bereits ein Prinzip identischer Reduplikation.

Eine Selektion finde nicht zwischen ausgebildeten Individuen statt, sondern zwischen stärkeren und schwächeren Keimesanlagen, zwischen in der Keimzelle verborgenen Anlagen für die äußerliche Eigenschaft (Weismann 1892).

**Weismann** nimmt mit einem evolutionären Kampf der Erbteilchen eine Vorstellung vorweg, die **Dawkins** 1978 mit dem Prinzip der *Genkonkurrenz* ausführen sollte.

Mit auf Partikel verteilten Ursachen von Erbeigenschaften, die einen historischen Speicher der *Phylogenese* zu enthalten scheinen, der in der *Ontogenese* stufenweise in Erscheinung tritt, war das Problem gegeben, wie und wodurch Teile dieses Speichers aktiv werden und zeitliche Koordinierungen gesteuert sind.

**Weigert** schlug eine *idioplastische Kraft* vor. Die Anlage im Keim könne nicht eine endgültige Beschaffenheit aufweisen. Gespeichert seien „*nur die Anlagen zu den Anlagen, oder eigentlich zu den Anlagen der Anlagen*“.

Die Lehre vom Idioplasma als einer gesonderten Substanz der Erbvorgänge fordert für die Vererbung eine eigenständige Gesetzmäßigkeit, die im ganzen Reich der organisch verfassten Lebewesen dieselbe sein müsse. Als das universelle Prinzip der Pflanzen und höheren Lebewesen war eine Strukturierung in Zellen unbestritten.

*De Vries* wandte dieses Prinzip konsequent auf *Darwins* provisorische Hypothese einer Pangenesis an. Nicht die Organismen, sondern die Zellen seien die Einheiten der Erblchkeitslehre. Jede Art sei zusammengesetzt aus einzelnen *Faktoren*, den *erblichen Eigenschaften* oder *Anlagen*. Diese Einheiten seien als selbständige Wesenheiten zeitlich getrennt voneinander entstanden. Sie seien unabhängig voneinander, „in jedem Verhältnisse miteinander mischbar“ und könnten jede für sich in beliebigem Grad ausgeprägt sein oder einzeln verloren gehen: *Pangene*, die wie diejenigen *Darwins* zu Assimilation, Ernährung, Stoffwechsel, Teilung befähigt sind. Doch sie würden nur innerhalb der Zelle zirkulieren. Aktivierte *Pangene* flößen aus dem Kern zu den Zellorganellen, vereinigten sich hier „mit den bereits vorhandenen *Pangenen*, vermehren sich und fangen ihre Tätigkeit an“. Bei der Zellteilung gehen „alle vorhandenen Arten von *Pangenen* auf die beiden Tochterzellen über“. Im Kern seien alle Arten von *Pangenen* der betreffenden Spezies versammelt, „im übrigen Protoplasma in jeder Zelle aber wesentlich nur diejenigen, welche in ihr in Thätigkeit gelangen sollen“. Erbgedächtnis bestehe in der Fähigkeit der *Pangene*, Merkmale „über Tausende von Generationen“ latent zu erhalten (de Vries 1889). Auch in heutiger Sicht zirkulieren mRNS, tRNS, rRNS intrazellulär.

*Haacke* lehnte eine so unmittelbare Weitergabe morphologischer Wirkungen ab und nahm eine dynamische Übertragungsweise an, die nicht von materiellen *Pangenen* ihren Ausgang nimmt. Infolge der Dynamizität der Weitergabe von Erbeigenschaften sei der Zellleib und nicht der Kern Träger der Vererbung. Das Eizellplasma sei aus *Individualitäten* aufgebaut, *Gemmarien* bestimmter Gestalt, die sich aus rhombenförmigen *Gemmen* zusammensetzen würden. Nicht die kleinsten Einheiten, *Gemmen*, sondern die *Gemmarien* würden erblich weitergegebene sowie erworbene Eigenschaften speichern.

**Mendel** zieht aus seinen Hybridisierungsversuchen über die Erbsachen bei der Gartenerbse folgenden Schluss:

*„Die unterschiedlichen Merkmale zweier Pflanzen können zuletzt doch nur auf Differenzen in der Beschaffenheit und Gruppierung der Elemente beruhen, welche in den Grundzellen derselben in lebendiger Wechselwirkung stehen“.*

*Elemente* seien es, die die Bildung konkreter Eigenschaften und die Gesetzmäßigkeiten der Vererbung bei der Gartenerbse bestimmen.

**Mendel** verwendet auch die Ausdrücke *Faktor, Anlage, Keimzellform, Pollenform*. Die merkmalsbildenden Entitäten liegen in den Keimzellen, Pollen und Samen, getrennt vor, so dass sie zufällig kombinieren können. Auch sie sind daher als distinkte Einheiten zu betrachten, wie die zuvor definitorisch abgegrenzten Merkmale der äußeren Erscheinung. Die Vererbung jedes Merkmals geschieht durch ein Zusammenwirken paariger Elemente, jeweils zwei ursächlichen Anteilen, einem mütterlichen und einem väterlichen Beitrag, der sich jeweils durch ein eigenes Element in den Keimzellen Geltung verschaffe. Die weitere Entwicklung der zu einer einzigen Zelle verschmolzenen Keim- und Pollenzelle aufgrund von Stoffaufnahme und Bildung neuer Zellen erfolge

*„nach einem constanten Gesetze, welches in der materiellen Beschaffenheit und Anordnung der Elemente begründet ist, die in der Zelle zur lebensfähigen Vereinigung gelangten“* (Mendel 1866).

Die Art und Weise solcher Determination ist demzufolge begründet in:

1. Materieeigenschaften dieser biologischen Elemente, der *materiellen Beschaffenheit*
2. ihrer *Anordnung*.

Indem er Anordnung und materielle Beschaffenheit innerer Elemente für ihre Wirksamkeit verantwortlich macht, nennt **Mendel** frühzeitig eine Anschauung, die in den spekulativen Lehren **Weismanns, Nägelis** und anderer später ebenfalls herausgearbeitet wurde. Diese Prinzipien wurden bestimmend für das moderne Verständnis der Gene, die wirksam seien durch die vererbliche Anordnung ihres Baues, mit dessen Abfolge von Bestandteilen die Körpereigenschaften bestimmt seien.

An dieser Stelle des geschichtlichen Verlaufs erweist sich bereits eine enge Nähe und Kohärenz: Das 19. Jahrhundert nahm in der hier beschriebenen Begrifflichkeit, und zwar keineswegs nur mit den Auffassungen Mendels, Merkmale des späteren Genbegriffs vorweg. Es bereitete in wechselseitiger Erörterung das spätere Begriffs-

verständnis in detaillierten Einzelheiten vor.

Auf dieser Basis definierte **Johannsen** Erblichkeit als

*„the presence of identical genes in ancestors and descendants”* (Johannsen 1911).

Mit seiner Unterscheidung von *Genotyp* und *Phänotyp* konnte eine Suche nach einer genetischen Wirksamkeit zugrundeliegender Einheiten stattfinden, ohne Erfordernisse zeitlicher Regulationen während der Entwicklung und Abläufe in der Zelle einbeziehen zu müssen. Dem soeben entstandenen Wissenschaftszweig Genetik war der Verständnisraum für eine neu zu begreifende, in der Abstraktion gegebene Gesetzmöglichkeit, gegeben. Er ermöglichte empirisch-experimentell gewonnene Ergebnisse mit einer hohen Erklärungskraft, die von einem – neu - begründeten Abstraktionsprinzip Gen gesichert schien, dem Paradigma für Genetik.

1916 erklärten **Morgan** und **Bridges** das Gen für mutierbar.

*„Aus a-priori-Gründen besteht kein Grund, weshalb verschiedene mutative Veränderungen nicht an demselben Locus eines Chromosoms Platz nehmen könnten. Wenn wir ein Chromosom als eine Kette chemischer Partikel denken, dann kann eine Anzahl möglicher Rekombinationen oder Wiederarrangierungen innerhalb jedes Partikels stattfinden. Jede Veränderung könnte einen Unterschied im Endprodukt der Zellaktivität verursachen.“*

Was im 19. Jahrhundert für ein *Plasma* galt, schien nun in einzelnen stofflichen Einheiten gefunden zu sein, Vererbungseinheiten, die nicht mehr spekulativ gefordert, sondern in einem dauerhaften Aufenthaltsort eindeutig lokalisierbar zu sein schienen:

*„Das Keimplasma muß deshalb aus unabhängigen Elementen irgendwelcher Art aufgebaut sein. Es sind diese Elemente, die wir genetische Faktoren oder kürzer Gene nennen”* (Morgan 1917).

Weil er in Kreuzungsversuchen an der Taufliege *Drosophila melanogaster* entdeckte, dass bestimmte neue Eigenschaften wie Augenfarbe und Flügelform regelmäßig miteinander verknüpft auftraten, schloss **Morgan** auf eine Genkoppelung: verbundene Erbfaktoren. Er sah hierin einen Hinweis für eine chemische Substantialität der **Mendelschen** Faktoren auf den Riesenchromosomen von *Drosophila*. 1923 ermittelte er eine lineare Anordnung der Gene, Kopplungsgruppen ihrer Verbindung und Begrenzungen dieser Gengruppen. Sein Schüler **Bridges** konnte Irregularitäten in der Regelmäßigkeit der geschlechtsgebundenen Vererbung durch ein fehlerhaftes Auseinanderweichen der Chromosomen nachweisen, ein neuer Beweis der Lehre vom Gen:

„Nondisjunction as Proof of the Chromosome Theory of Heredity“.

Die Gentheorie hatte mit der „Chromosomentheorie der Vererbung“ zu einer neuen Beschreibung gefunden:

1. Chromosomen sind die materiellen Träger der Gene.
2. Jedes Gen liegt an einer bestimmten Stelle eines Chromosoms.
3. Gene werden gekoppelt weitergegeben.
4. Ein *Crossing-over*, eine stückweise Überkreuzung von Chromatiden, den Längsteilungsfiguren der Chromosomen, mit Brüchen an den Kreuzungsstellen und Austausch der Bruchstücke, führt zu einem Genaustausch zwischen den beteiligten Chromosomen: Mutation.

Bislang galt die *Anwesenheits-/Abwesenheits-Hypothese*: Ein Gen sei entweder vorhanden oder es existiere nicht im *Genom*, der Summe aller Gene eines Organismus. *Sturtevant* ersetzte diese Hypothese durch eine Theorie multipler Allele, nach der erst das Zusammenspiel mehrerer Gruppen homologer Gene die Expression eines Merkmals bewirke und sah einen *Positionseffekt* des einzelnen Gens gegeben. In dieser Bestimmungstechnik gilt eine Einheit erst dann als Gen erwiesen, wenn sie mittels Umlagerungen aufgrund spontaner oder künstlich erzielter Chromosomenbrüche durch *Rekombination* nicht weiter unterteilbar ist.

*Muller* stellte an den Keimzellen der Fruchtfliege fest, dass sich durch Röntgenstrahlen experimentell und regelhaft Mutationen verursachen lassen. Aufgrund solcher physikalischen Bestimmbarkeit hielt er eine physikalische Materialität des Gens für erwiesen. Die *Genphysiologie* rücke daher in die Nähe einer *Genphysik* und *Genchemie*. Unter dieser Voraussetzung schien eine Kausalität nach Zwecken auch für das biologische Gen entgegen seiner Besonderheit endgültig ausgeschlossen.

Dem Genbegriff waren zwei Merkmale hinzugefügt:

1. *Selbstreproduktivität*, eine Fähigkeit, den Aufbau einer anderen Struktur gleich der eigenen zu verursachen. Das Tochtergen enthält kopierte Mutationen des eigenen Vorläufergens, beruhend auf dem ungeklärten Vermögen, einer heterogenen Umwelt Komponenten zu entnehmen, die den eigenen Bestandteilen gleichen, und diese an sich zu binden.

2. *Selbstselektivität*. Ein Gen tendiert zu Konjugation mit Genen derselben Struktur wie der eigenen.

Für die Lebendigkeit des Lebenden entsteht ein neues Definitionsmerkmal: Da eine Fähigkeit zu synthetischer Selbstselektivität in der herkömmlichen Chemie und Physik vollkommen unbekannt und erst durch den Genbegriff erklärlich werde, könne mit ihm zwischen Leben und unbelebter Stofflichkeit unterschieden werden (Muller 1951).

Mit einer Herleitung der Eigenschaften des Gens aus chemischen und physikalischen Vorgängen und der neuen Abgrenzung der biochemischen Substanz gegenüber chemikophysikalisch bestimmter Materie durch eine vermittelnde Genvorstellung umfasste jetzt die Sicht der klassischen Genetik kohärenter die drei naturwissenschaftlichen Disziplinen Physik, Chemie, Biologie.

Die Besonderheit der biochemischen Stoffe und der zeitlich abgestimmten physiologischen Abläufe in Lebewesen wird auf das Gen und seine *Selbstreproduktion* zurückgeführt. Jene erscheint in die chemisch-physikalischen Abläufe eingeordnet und stellt nurmehr eine Besonderheit unter ihnen dar. Das Gen ist auch in dieser Vorstellung prinzipiell als unabhängig in seiner erblichen Wirkung gedacht. Es gilt als die Grundeinheit der Vererbung. Es hat im wahrsten Sinne des Wortes eine materiell definierbare *Ursache* dessen zu repräsentieren, was sich an körperlichen Eigenschaften des Lebewesens bilde, ein Aktivierungsvermögen von Entwicklungen. Seine Eigenschaften sind unter dem Paradigma Genotyp/Phänotyp aus den experimentell erhaltenen Phänotypen erschlossen. Die Anforderung an das wissenschaftliche Wahrheitskriterium einer experimentellen Beobachtbarkeit scheint erfüllt.

Das *klassische Genkonzept* definiert Gen als eine segmentale Einheit, welche sich bei *Mutation* und *Crossing-over* einheitlich verhalte. Sie steuere das Wachstum und die Ausbildung der Körpermerkmale des Organismus. Sie sei *selbstreplikativ* und werde als Duplikat von Zelle zu Zelle und von Eltern über Keimzellen auf ihre Nachkommen übertragen. Quelle neuer Gene seien Mutationen in der Folge von Umarrangierungen der Reihe segmentaler Einheiten. In dieser Sicht entspricht das Gen detailliert Vorstellungen, die schon *Nägeli* und *Weismann* erarbeitet hatten. Auch konnte es als ein Element von hoher, nicht absoluter Stabilität gelten.

Ein ständiger Widersacher der lokalisierend und partikularistisch denkenden Auffassung war *Goldschmidt* mit seiner Mahnung, für jede Vererbungsleistung müsse die Dynamik des Organismus als Ganzem berücksichtigt werden. Um das Dynamische, Prozesshafte, um Bewegungsabläufe in der stofflichen Differenzierung

erfassen zu können, sei eine Hinwendung zu Erbeinheiten eine allzu statische Sicht, wenn es gelte, die Entwicklung von Ordnungsgefügen in ihren zeitlichen Abläufen zu verstehen.

Doch in chemisch-physikalischer Perspektive erschien für die Suche nach dem Genprinzip eine Darstellung in chemischen Termini vorrangig, um sowohl den Gesetzen der Physik, als auch der biologischen Besonderheit einer Selbstreproduktion zu genügen. Der Stoff des genetischen Materials wurde im Protein gesehen. So hielten *Sturtevant* und *Beadle*, Mitarbeiter *Morgans*, 1939 für eine „vernünftige Tatsache“, dass Gene entweder selbst Proteine oder aber mit diesen assoziiert seien.

Der Atomphysiker *Schrödinger* sah „*physikalische Gesetze einer ganz neuen Art am Werk*“, weil sich der Bau des Gens von allem unterscheidet, was je im physikalischen Laboratorium untersucht worden sei und erwartete, eine Erforschung des Gens könne der Physik als solcher neue Gesetze offenbaren. Denn die wirksamen Substrate der Genetik würden sowohl über die erzeugende als auch die ausübende Gewalt verfügen. *Schrödinger* schlug Begriffe der Nachrichtentechnik vor, um zu verstehen, wie es der lebendigen Substanz Gen gelinge, neben dem Bauplan zugleich die Fähigkeit zu dessen Verwirklichung zu enthalten, ihre Erfahrungen zu speichern und weiterzugeben, zu verewigen, als auch sich dabei zu verändern. Ein Kode-Mechanismus erfülle die Bedingungen, die vom Gen gefordert sind. Er gewähre Eigenschaftskonstanz durch eine sich gleichbleibende Vervielfältigung des Gens im Fortpflanzungsfortgang, mit zugleich der gegenläufigen Möglichkeit einer Veränderlichkeit, die auch Merkmalswechsel zulasse.

Wieder liegt die Antwort zuvor unvereinbar erscheinender Gegensätze für die moderne Vorstellung von Materie in der Genvorstellung. Die gefundene Abstraktion der Frage ergab sich nicht allein aus chemikalischen und physikalischen Prinzipien der Energetik und Atomtheorie. Sie entstand aus den – spekulativ erarbeiteten – Merkmalen des biologischen Vorbegriffs eines partikularisierten *Vererbungsplasmas* als dem Substrat dessen, das die Ursächlichkeit von Art- und Eigenschaftsbildung in sich enthalte, der Darstellung der Biologie des 19. Jahrhunderts.

Die Frage nach der Materialität des im Chromosom befindlichen Gens hatte nun das Problem zu klären, wie eine *chemische* Basis die Spezifität *biologischer* Funktionen bedingen kann und musste eine *biochemische* Formulierung dafür finden.

**Pauling** zeigte für Eiweiß als der grundlegenden biochemischen Substanz der Kohlenstoffchemie einen speziellen Bindungstyp der Moleküle: die Wasserstoffbrücke. Brücken zwischen Wasserstoffatomen mit nur schwachen Bindungskräften bestimmen die Proteinkonfiguration. Durch diesen Bindungstyp sei die *biologische Spezifität* der Proteine gegeben. Gezeigt war ein Prinzip chemischer Bindung, das für die Erbsubstanz 17 Jahre später im Nukleinsäuredoppelstrang Anerkennung fand:

*To give stability to a system with complementary structures in juxtaposition"*  
(Pauling 1936).

Vier Jahre später bekräftigten **Pauling** und **Delbrück** erneut:

*„We accordingly feel that complementarity should be given primary consideration in the discussion of the specific attraction between molecules and the enzymatic synthesis of molecules“* (Pauling, Delbrück 1940).

Das Komplementärprinzip fand 1953 im DNS-Modell komplementärer Basen seinen Niederschlag.

1936 wies **Casparsson** in den Bändern der Riesenchromosomen der Speicheldrüsen von *Drosophila* *Pentosenukleinsäure* nach und sah mit **Hammarsten** zwei Jahre später in der Analyse dieser Säure eine Möglichkeit, mehr über die Chromosomenstruktur herauszufinden. Sie schlugen bereits eine senkrechte Anordnung der Basen zur Molekülachse vor. **Jack Schultz** und **Caspersson** stellten fest, dass zwischen dem Aufbau von Nukleinsäuren und der Reproduktion der Gene eine Verbindung bestehen könne.

*„It seems hence that the unique structure conditioning actively self-reproduction [...] may depend on the nucleic acid portion of the molecule“* (Caspersson, Schultz 1938).

Jedoch nahmen sie weiterhin an, dass es die Eigenschaften der Eiweiße seien, die deren Vervielfältigung und auch die Synthese der Nukleinsäuren verursachen würden.

Das Jahr 1944 führte zu einem Wendepunkt. **Avery**, **MacLeod** und **Mc Carty** entdeckten bei der Umwandlung der Zellwände von Pneumokokken, dass das verwandelnde Prinzip in der Nukleinsäure liegen müsse.

Nach dem 2. Weltkrieg untersuchte **Beadle** Stoffwechselerkrankungen. Für den Stoffwechselweg von Methionin kam er zu dem Ergebnis, die Genaktivität bestehe in einer Regulierung einzelner chemischer Reaktionen in einer Reaktionskette (Beadle 1946).

Außerdem verglich er experimentell die mutationsauslösenden Wellenlängen des UV-Lichts mit dessen Absorptionsspektren durch Nukleinsäuren. Er zog daraus den Schluss: „*nucleic acid is the component responsible for absorbing the energy producing mutational changes*“. 1948 erklärte er die klassische Definition des Gens als Einheit der Vererbung für unbefriedigend. Es habe sich gezeigt, dass einzelne Gene eine *unmittelbare Kontrolle* auf bestimmte Reaktionsschritte in der Serie chemischer Reaktionsabläufe ausüben. Er schlug daher eine neue provisorische Definition vor:

1. Ein Gen in funktioneller Hinsicht ist diejenige Einheit, die eine Synthese von Replikaten seiner selbst steuert.
2. Diese Einheit dient mit einer ihr korrespondierenden Spezifität zugleich als ein Modell von Nichtgen-Einheiten.

Als ein Beispiel für einen Syntheseverlauf, der stufenweise genkontrolliert sei, nannte er die Herstellung der Aminosäure Methionin durch den Schimmelpilz *Neurospora crassa*.

1952 ließen **Hershey** und **Chase** Bakteriophagen in das Bakterium *Escherichia Coli* eindringen und untersuchten Protein und Nukleinsäure daraufhin, wie der weitere Lebenszyklus des Virus beeinflusst wird. Sie stellten fest, das Virus werde durch seine DNS bestimmt. Das Protein habe keine Funktion bei der Multiplikation des Phagen. Das gesuchte biochemische Modell, welches die für eine Erbsubstanz aufgrund experimenteller Ergebnisse geforderten Eigenschaften zu erfüllen hatte, musste ein Strukturmodell der DNS sein. In seinen letzten Grundlagen wurde es 1953 bestimmt durch **Watson** und **Crick**, **Franklin** und **Wilkins**.

In der identischen Verdopplung des Gens, in seiner Fähigkeit während der Zellteilung, wenn die Chromosomenzahl sich verdoppelt, um eine exakte Kopie seiner selbst hervorzubringen, bestehe das vollkommene biologische Prinzip. Aus *chemischen* Gegebenheiten folgert das Modell eine *biologische* Konsequenz. Da mit der festliegenden Paarungsmöglichkeit der vier Basen durch die Reihenfolge der einen Nukleotidsequenz zugleich die Folge der anderen Sequenz vorgegeben sei, ergebe sich ein *Mechanismus für die Selbstverdopplung* der Erbsubstanz.

Die wiederholt konditionale Form im Verlauf des Gedankengangs, der die Einzelheiten der Strukturformel aus ehemals spekulativ gefundenen Genmerkmalen entwickelt hatte, wurde bekräftigt mit chemischen Gesetzmäßigkeiten, die selbst nur unvollstän-

dig vorgelegen hatten und im Entwurfsvorgang des Modells weiterentwickelt wurden. Der *biologische* Vorgang von Genverdopplung bei Zellteilung und Einweißsynthese enthält ein neu gefundenes *chemisches* Gesetz.

**Crick** und **Watson** zogen Schlussfolgerungen aus ihrem Modell mit Bezug auf die Genvorstellung:

„*DNS is the genetic specifity of the gene itself*“ (Watson, Crick 1953b: 964-967).

Das Genprinzip verursacht die biologische Besonderheit der chemischen Substanz.

Die Genwirkung ist verortet in komplementären Paaren von Basenmustern einer Nukleinsäure, deren eine Hälfte nach dem Muster der anderen, räumlich gegenüberliegenden, entstehe. Die *Wirkursächlichkeit* von Genen ist auf chemische Eigenschaften bezogen.

Die Chemie des Gens begründet die Besonderheit organischer Stofflichkeit.

Als maßgebendes Prinzip enthält das Erbmaterial die Basenfolge. Aufgrund der statistisch zahllosen Verschiedenheiten ihrer Anordnungen wird die materielle Ursache der Individualität des Lebewesens in der Zusammensetzung seiner Baustoffe im ersten Schritt ihrer Entstehung als zufällig aufgefasst. Die Folgeabläufe gelten, abgesehen von Umwelteinflüssen mit dem Status von Randbedingungen, als weitgehend determiniert.

Die Fähigkeit zur Erhaltung der Identität des Gens durch sich selbst hatte **Muller** in den dreißiger Jahren des Jahrhunderts als das wesentliche des Gens postuliert. Das Genmodell von **Crick** und **Watson** deutet, biochemisch veranschaulicht, die Hypothese einer Selbstreproduktion von biologischem Material. Jetzt war eine mechanistische Darstellung möglich geworden, wie sich ein Chromosom identisch verdoppeln könne, ohne dass es *dieselbe* Materie sein müsse, die in die Tochterzelle eingeht. Nur von der Formel her ist sie als dieselbe, von der Materie her ist sie als die gleiche gedacht: identische Reduplikation. Zwei Ursachentypen, *causa formalis* wie *causa materialis* ist Rechnung getragen. Als *causa efficiens* gelten die evolutionär treibenden Kräfte der Fortpflanzungsgeschehnisse, Art- und Selbsterhalt, Vermehrung, Trieb, Instinkt. Allein die *causa finalis* wird als anthropomorph bezweifelt. Daraus stellt sich die Frage: Übernimmt diese Art von Ursächlichkeitsverständnis finale Elemente aus seinen vorausliegenden Modi der Vorstellung? Hat das im Gefolge der evolutionstheoretischen Genvorstellung entstandene Verständnis verdeckte Anthropomorphien

in seiner Grundlage, denen durch die Theorie der Vererbung mit *Darwin* entgangen werden sollte?

Das Gen gilt als eine Einheit, die eine Synthese von Replikaten seiner selbst steuert, sei es als ein redundantes Entwicklungssystem, sei es unter epigenetischem Einfluss. Hier spiegelt sich nicht allein die Auffassung des entwickelten Mendelismus oder der klassischen Genetik. *Kant* hat sie schon im 18. Jahrhundert im Begriff des *Naturzwecks* vorgelegt, doch mit dem Nachweis, dass Selbstorganisation und Selbsthervorbringung nicht ohne Zweckkausalität *gedacht* werden können, wenn man sie auf lebendige Organismen bezieht. Einer auf lokale Mikrobereiche sich restringierenden Sicht, wie „d e m“ Gen, entgeht das sich selbst organisierende Wesen in seiner Anbindung an die Gesamtheit interner Bezüge, indem sie sich auf die Einzelabläufe chemisch sich wiederholender Teile richtet. Die betreffenden Vorgänge erscheinen wie eine chemisch-physikalische Reaktion allein durch die Gattung der Herkunftsursachen und Wirkkausalitäten bewirkt, die fortwährend weiter zu entschlüsseln seien. Es entsteht eine Forschung, die immer neue Relativitäten aufwirft, jedes Paradigma umstürzt, sich per definitionem für ewig unabgeschlossen gibt, in selbstgewollter *Nietzscheanischer Polyreflexivität*. Jedem Blickwinkel kann ein eigenes Ursachenfeld zugesprochen und ein System daraus abgeleitet werden.

Der Gegenentwurf besteht in *Kants* Vorschlag, die Kausalität nach Zwecken als ein *regulatives* Prinzip der Urteilskraft zu gebrauchen. Es begründet die Richtigkeit, sich für eine Wissenschaft des Lebendigen auf anthropomorphe Ähnlichkeitsbeziehungen zu stützen.

Im folgenden wird versucht, einen Prinzipiengebrauch dieser Art abzuleiten und Anforderungen an eine Wissenschaft vom Gen darzulegen.

**1.** Der Genbegriff, wie er bisher besteht, ist in seiner Beschreibung von Ursächlichkeit weitgehend kontraintuitiv. Er entspricht darin den modernen Disziplinen von Physik und Chemie. Für die Wissenschaft des Lebendigen ist aber die Grundkenntnis intuitiv. Von uns selbst, im Selbsterleben wissen wir, was es heißt, lebendig zu sein. Wir erkennen es nicht erst anhand von wissenschaftlichen Definitionen, sondern sind uns unserer Intentionalität gewiss, von Grund auf durchwirkt von intentionalem Gerichtetsein, zu dem wir Abstand, Stellung nehmen können, einer Aufgabe von lebenslanger Dauer, mit den zwingenden, intentionalen Lebenskräften umzugehen, Hunger, Durst, Erhaltung des eigenen Lebens, Angst, Furcht, Freude. Unaufhörlich spürend ist dem Lebewesen Mensch als Lebewesen bewusst, wie sehr Leben aus Wollen und Absichten des Erhaltens seiner selbst, der Familie, der Freunde, der

Kollegen, der Mitmenschen, der Menschheit, der Natur usw. besteht: in ursprünglicher Ausrichtung auf die Mittel-Zweck-Relation. Ähnliches wird an Tieren beobachtet, an Menschenaffen und Elefanten, schon an Mücken, an Bakterien mit selbsterhaltender Entwicklung von Immunresistenzen, an Mutationen des Genoms von Viren. All dies wird mit lebensweltlicher Erfahrung und wissenschaftlichem Modell getestet auf graduelle und qualitative Unterschiede. In Analogie zu uns können wir Lebewesen ein Selbstsein zusprechen, ohne die Eigenerfahrung wäre es gar nicht zu kennen. Wenn nach moderner Voraussetzung im Erbllichkeitsprinzip Gen das Kennzeichen des Lebendigen liegt, wenn auf dieses die Grundzüge der Lebendigkeit: Entwicklung, Selbstsein, Selbsterhalt, Fortpflanzung zurückgeführt werden, sollte es dann nicht die Komponente finalen Bewirkteins enthalten, die doch mit den Grundzügen gegeben ist? Dem zu entsagen hieße, eine Paradoxie zu begehen. Lebendigkeit bleibt nicht mehr das Digma, sie wird zum Paradigma, wir selbst werden uns in der Wissenschaft zur Anthropomorphie.

**2.** Gezeigt wurde, wie die spekulativen Frühphasen des Begriffs aus der Entstehungszeit der Biologie – diese wurde 1800 zu einem unter eigenständiger Prämisse arbeitenden naturwissenschaftlichen Aufgabengebiet erhoben – unter Verselbständigung der Disziplin strikten Einfluss nehmen auf die spätere Begriffsentwicklung und *experimentelle* Modellbildung der im modernen wissenschaftlichen Verständnis selbstverständlich werdenden Wirklichkeitssicht. In der Weise, in der sich im Verlauf der Abstraktion die Auffassung zunehmend auf singuläre materielle Erbträger als *dem* Gen und schon auf dessen Vorläuferbegriffe konzentrierte, änderte sich das Verständnis von der Lebendigkeit des Lebenden und von Vererbung gemäß den wissenschaftlichen Leitbildern, die in der Wissenschaftsdifferenzierung wechselweise auseinandertraten und zusammengeführt wurden. Der naturwissenschaftliche Blick richtete sich von der lebensweltlich orientierten, *mesoskopisch* angeleiteten Sicht [**Löffler** 2007] hinweg in mikroskopische Richtung auf chemische, physikalische Gesetzmäßigkeiten der Materiepartikel, um daraus die gesamte Regularität der Vererbung abzuleiten. Hatten noch **Charles Darwin** und **Gregor Mendel** äußerliche Aspekte zum Ausgangspunkt genommen, um innere unsichtbare Einheiten als ursachgebend zu postulieren (*Gemmulae, Keimchen, Faktoren, Elemente*), so führte letztendlich die Chemikalisierung und Physikalisierung der Begrifflichkeit, welche noch der Urheber des Terminus Gen im Jahr 1903, **Wilhelm Johannsen**, abgelehnt hatte, zu einer Begründung des Erbgeschehens durch Strukturbeziehungen im molekularen Bereich, - bei vollkommenem

Ausschluss teleologischer Ursächlichkeiten aus übergeordneten hierarchischen Prinzipien der Lebewesenhaftigkeit, abgesehen von der universellen Tendenz des Biologischen zum Prinzip der Fortpflanzung.

In der Nachfolge des von **Darwin** als *prima causa* aller Eigenschaftsbildung angelegten Prinzips einer *A-posteriori-Auslese*, einer Verstehensweise, die sich anscheinend als nicht-anthropomorph zu geben vermag, kann nicht angegeben werden, weshalb und worin Lebensprinzipien gegenüber der unbelebten Materie bestehen. Nicht nur scheinen Überordnungs-Unterordnungsverhältnisse Pflanze-Tier-Mensch am einzig verbleibenden Maß *fitness for survival* in einem *struggle for life* eingeebnet, auch lebendig und nicht lebendig treten in der genetisch chemisch-physikalischen Perspektive nur noch graduell, nicht grundsätzlich unterschieden auf: In der Spätphase der Begriffsentwicklung, nach Etablierung des *DNS-Modells*, besteht die Lebendigkeit des Lebendigen in einer zufällig entstandenen Wechselwirkung zwischen den Stoffgruppen Eiweiß und Nukleinsäure (Eigen 1981), wobei das Eiweiß und dessen Funktionen stellvertretend für die frühere mesoskopisch wahrgenommene „Eigenschaft“ bzw. „Körpereigenschaft“ stehen, und Nukleinsäure mittels ihrer chemikophysikalisch definierten Abhängigkeiten für die innere Ursache des Äußerlichen, beide bis zur Unkenntlichkeit aneinander gerückt und daher neuen Grenzziehungen geöffnet, und dies bis auf den heutigen Tag unter den biologischer Disziplinen umstritten. Mit der Biochemikalisierung des Innen/Außen-Unterschieds traten letztenendes die Relativität und der hypothetische Charakter der mit dem Genbegriff gegebenen Vererbungsvorstellung gegenüber dem Eindruck einer naturgesetzlichen Vorgegebenheit weiter in den Hintergrund – ebenfalls eine Entwicklung, die in der verdeckten, obschon noch ausformulierten Provisorizität von Darwins *Evolutionshypothese* von 1859 [„*On the Origin of Species*“], in Verbindung mit den von ihm 1878 als *provisorisch in zweiter Ordnung* bezeichneten *Pangen* angelegt ist [„*Das Variieren der Thiere und Pflanzen*“]. Dies ist genau derjenige Fachbegriff, an den angelehnt **Johannsen** den heute noch bei allen Widersprüchen verwendeten *Terminus technicus* *Gen bildete*, und zwar wiederum als eine „reine Arbeitshypothese“, der er von vornherein jegliche Aussagekraft über eine etwaige Substanziierung im Sinn von chemischen Körpern bereits im Grundsatz vorenthalten wollte.

**3.** Mit dem Bild einer durch identische Verdopplung sich selbst reproduzierenden *DNS-Doppelhelix*, das **Francis Crick**, **Rosalind Franklin** und die späteren Leiter

des Humangenom-Projekts *James Watson* und *Maurice Wilkins* im Jahr 1953 vorstellten, entstand in Verbindung mit dem hermeneutischen Modell einer chemischen Kodierung von verschlüsselten Informationen (Informationsmodell) eine einheitliche Arbeitshypothese, die sich im folgenden Jahrzehnt auf die gesamte belebte Natur ausdehnen zu lassen schien: eine universelle Entsprechung zwischen Nukleinsäurebestandteilen, als dem vererblichen Prinzip, gegenüber Proteinen, als dem genetisch daraus abgeleiteten Baustoff auf der Eigenschaftsseite des Organismus. Dem entgegen begannen in den 70ziger Jahren des Jahrhunderts sich Einwände Gehör zu verschaffen. Einer allzu direkten Entsprechung von Gen und Eigenschaft wurde widersprochen, bis hin zu der Vermutung, das Genmodell insgesamt habe nur die Geltungskraft eines zwar nützlichen, aber *hypothetischen Realismus* bis auf den Nachweis einer Alternative. Die Abhängigkeit von historischen Kontingenzen der wissenschaftlichen Modellbildung trat mehr und mehr in den Blick. Was in der frühen, spekulativen Phase der Begriffsentwicklung angelegt war und in späteren Experimentalsystemen inhaltlich entfaltet, eingeschränkt oder verändert wurde, zeigte dennoch, entgegen allen Einwänden über den Realitätscharakter der Vorstellung, weiterhin eine erhebliche Antriebskraft in der Ausbildung neuer Fragestellungen sowie für die unter therapeutischer oder kommerzieller Absicht angestrebte technische Beeinflussung, sogar Imitation der Natur. In der Folge warfen Gentechnologie und Genkartographie ethische Probleme auf, für die bis heute keine Übereinstimmung gefunden werden konnte.

**4.** Für das Wissenschaftsverständnis ist ein weiteres Beispiel geliefert, dass der seit dem 19. Jahrhundert sich durchsetzende *naturalistische Reduktionismus*, mit seiner monistischen Ausrichtung, nur die naturwissenschaftlich definierten Gegenstandsbereiche als wahrheitsfähig zuzulassen und die naturwissenschaftliche Methode zur einzigen Forschungsweise zu erheben, nicht alle Implikationen der Begriffsbildung berücksichtigen kann, sondern zu Ausblendungen führt, die über lange Perioden hinweg Widersprüche in der Vorstellung verdecken können, bis sie zutage treten. Auf der anderen Seite zeigte sich wieder einmal, wie ein sich isolierender Bezug auf hypostasierte Mikrobereiche und Substrukturen für eine wissenschaftliche Fragestellung zu sich verändernden Arbeitshypothesen führt. Auch für die Genauffassung ergibt sich, in der Zusammenführung verschiedener Blickwinkel die Historizität von Forschung nicht zu vernachlässigen (Rheinberger 2007).

**Labisch** weist auf die in jüngster Zeit entstandene „*Dynamisierung des Verständnisses von genetischem Programm (=Genotyp) und lebensweltlicher Ausformulierung (=Phänotyp)*“ und nennt eine Schlussfolgerung:

*„Aus all diesem folgt, dass wir die individuelle Ausprägung eines Gens einerseits und andererseits das Verhalten von Individuen und die Einflüsse der Umwelt in einer völlig neuen Sicht wahrnehmen und bewerten müssen. Eine kausale programmatische und hierarchische Beziehung zwischen Genom und Organismus gibt es nicht. Das Wort ‚Gen für ...‘ trifft nicht zu. Vielmehr findet die Genregulation in einer Wechselwirkung von genetischen und nicht-genetischen Faktoren statt. Gene, Individuum und Umgebung sind also mindestens als gleichwertige Faktoren zu begreifen“ (Labisch 2000, S. 221f).*

Der Vererbungslehre stellt sich die Aufgabe einer Suche nach verdeckten *Anthropomorphien* in Modellen und Begriffsbildung. Bildet die lang geübte Praxis der Ausrichtung des Konzepts an die Vorstellung eines Mutations/Selektions-Mechanismus ausreichend Leitfaden und Rahmen für die evolutionäre Fragestellung? Sollte daneben, wie **Kant** im zweiten Teil der *Kritik der Urteilskraft* darlegt, die Zweckvorstellung als heuristische Methode Möglichkeit bieten, Prinzipien des Lebendigen aufzuweisen? Welche Kriterien für Lebewesenhaftigkeit werden zugrunde gelegt? Diese wären auf Unterschiede zu Charakteristika des Nichtlebendigen zu untersuchen, systematisch im Vererbungsprinzip Gen zu verorten, in umfassende und zwingende Korrespondenz damit zu setzen. Eine pure Perspektive der Ableitung aus physikalischen und chemischen Gesetzmässigkeiten, oder gar die gezielte restlose Konformisierung mit diesen kommt einer *petitio principii* gleich. Sie ist als alleinige heuristische Perspektive schwerlich aufrecht zu erhalten, wenn dem Lebenden weiterhin spezifische Eigentümlichkeiten zugesprochen werden sollen. Die offenbar gewordenen Widersprüche im Genbegriff scheinen darauf zu deuten, dass sich die Prinzipien der chemischen Stofflichkeit als unzureichend erweisen könnten, um die Abhängigkeiten der Vererbungsvorgänge, um die Abhängigkeiten des Prinzips Gen herzuleiten, insofern mit den *biologischen* Klassen von Stofflichkeiten die mit dem Lebendigen vorgegebene *Selbstbewegtheit* dargestellt werden soll, wenn lebendige und damit plastische Ordnungsgefüge von Arten zu begründen sind. Die relative Selbstorganisiertheit und Selbstreproduktivität, die mit dem Genbegriff als zwei kennzeichnende Merkmale lebender Stofflichkeit

hervorgehoben wurden, weisen auf einen Kardinalunterschied gegenüber der unmittelbaren physikalischen Eingebettetheit der unbelebten Stoffgruppen. Mit dessen intentionaler Struktur ist ein kategorialer Unterschied des Lebendigen gegeben. Diese Strukturiertheit ist es, die in Grenzen die Unmittelbarkeit enger Substanzgebundenheit variiert und solcherart entrückt, dass in der belebten Natur ein relativ eigenständiger *Stoffwechsel* entstanden ist: Weitergabe, Veränderlichkeit, Erhalt individueller Materiestrukturen auf einer *vegetativen* Ebene, Assimilation, Fortpflanzung, Vererbung. Die Fortpflanzung ist ein gerichteter, und somit zweckhafter Vorgang, Vererbung aber nicht? Die wissenschaftliche Abstraktion hat das Lebensprinzip intentionaler Strukturiertheit („Funktion“ - „Selbstreplikativität“ - „Selbstorganisation“) für den Gedanken des Vererbungsprinzips Gen nicht außer acht zu lassen, ebenso, wie der Mensch - und sei es der wissenschaftliche Mensch - im Erkenntnisvorgang auf reflektierte, sich selbst durchsichtige Anthropomorphien angewiesen ist und bleibt, um der Gefahr begrifflicher Selbsttäuschung in den eigenen Fachbegriffen begegnen zu können. Historisch scheint eine solche Reflexion für den aristotelischen Begriff der *Substanz* eingetreten zu sein, für den neuzeitlichen Begriff der *Materie* nicht und bleibt gerade für den die Lebewesenhaftigkeit charakterisierenden Genbegriff ein Desiderat weiterer Forschung.

## DIE FRAGE DER ERZEUGUNG IN GENETIK UND TECHNOLOGIE

Um eine gentechnische Vorstellungswelt, die Voraussetzung gentechnologischen Produzierens, begreifen zu können, ist Genetik in ihren Zusammenhängen zu betrachten. In der natürlichen Genesis gegenüber dem künstlichen genetischen Eingreifen spielt der Begriff von Zeugung die Rolle, die in der Technologie einer *Erzeugung* entspricht. Die biologisch definierende Betrachtungsweise von Fortpflanzung und ihrer Genetik entwickelt in Abhängigkeit von den ihrer Wissenschaft zugrundeliegenden Oberbegriffen und Prämissen das begriffliche Inventar, das zum gentechnologischen Eingriff befähigt – eine Weise menschlicher Freiheit.

Gentechnologie als Praxis leitet sich wie Genetik als Wissenschaft vom Begriff *Gen* her. Er soll eine gestaltbildende Kraft beschreiben, die sich einerseits über endlos währende Generationen artbildend gleiche, zugleich aber im Prinzip ohne Einfluss von Herkunft und Ziel in einem Mutationszeitpunkt zur Zeit der Vereinigung mütterlicher und väterlicher Kraft radikal mutabel sei. Je nach ihrem Verhältnis zwischen Dominanz und Rezessivität könnten diese Gene generationenlang verborgen bleiben, ohne kodierte Merkmale sichtbar werden zu lassen. Je nach ihrer Expressivität, der Ausdruckskraft, ein Merkmal tatsächlich in Erscheinung treten zu lassen, seien es diese Gene, die früh oder spät im Verlaufe eines Lebens Merkmale oder Krankheiten hervorrufen. Die wirksame Eigenkraft in der Entwicklung eines Lebewesens, eine Art von Spontaneität, wird in der Biologie in materiell gedachten Einheiten gesehen, die auf der einen Seite die fortwährende Dauer der Artmerkmale, auf der anderen Seite zugleich jedoch deren grundsätzliche Mutierbarkeit bis zum Verschwinden der betreffenden Eigenschaft ins Nichts auf sich vereinigen sollen. Der wirksame Faktor des Genesisverlaufs heißt somit modern das Gen. Die kontinuierliche Beeinflussung eines Merkmals im Leben zumindest der höheren Lebewesen durch Lernen oder Älterwerden kulminiert in genetischer Sicht bei zweigeschlechtlichen Lebewesen in einem Mutationszeitpunkt radikal, nämlich dann, wenn väterliche und mütterliche Seite das betreffende Merkmal des Nachwuchses wie in einer chemischen Reaktion unter Säuren und Basen bestimmen, miteinander verschmelzen. Eine Mutation dabei ist in ihrer Gesamtheit anders als eine „normale“ biochemische Reaktion von Woher und Wohin unbedingt vorgestellt.

Der Akt der Überführung von Nichts in Etwas zu Beginn der Zeugungsreihe war ein einmaliger Akt und wurde Schöpfung genannt. Einmaligkeit und Unumkehrbarkeit dieses Geschehens galten bis zur wissenschaftlichen Revolution des Abendlandes ohne jeden Zweifel. Diese Auffassung vom Umfassenden spiegelt sich gleichermaßen in der Selbsterfahrung von persönlicher Herkunft: Die Entstehung des eigenen Lebens und sein Verlauf ist irreversibel und einmalig, nicht eine Reaktion quasi chemisch. So ist es mit dem höchsten Gut, Liebe. Sie wird von einem Lebewesen schon in dem Sinne autonom gesucht, dass es nicht erst der Erfahrung ihres Wesens bedarf, um Echtheit und Wahrheit fühlen zu können. Denn gesucht wird bereits in einer ahnenden Vorkenntnis. Was für die Schöpfungsreihe insgesamt gelte, kennt der Glaube nicht nur für die Entstehung der Erde, sondern für jeden Menschen. Jeder ist ein einmaliger Entwurf und doch gleich vor dem Schöpfergott. Nicht ganz zu recht ist die Vorstellung der Schöpfung für das Tun von Technik, Industrie und Künsten übernommen worden, denn es besteht ein grundlegender Unterschied. Künste schaffen nicht aus Nichts, sondern reflektieren. Reflektiert wird Inneres, Erlebtes, für wahr oder kritikwürdig Befundenes, Ersehntes. **Pablo Ruiz Picasso** (1881-1973) sagte zwar, in den Künsten verhalte es sich wie mit Gott. Er habe den Löwen, den Elephanten, die Giraffe geschaffen, und so verhalte sich auch der Künstler. Und doch erscheint seine Aussage ein wenig anmaßend. Technik revolutioniert oder entwickelt Vorbestehendes, bereits existierende Pläne und Methoden aufgreifend, verändernd, weiterbildend. Wie die hierauf einsetzende industrielle Produktion nicht allein vom Menschen erschaffene Ressourcen verwenden muss, so greift Kunst auf einen Stoff zurück, der nicht der Erzeugung des Künstlers allein entspringt, sondern einer Vorgeschichte.

Im Unterschied zur Schöpfungsvorstellung heißt das menschliche Tun nur Zeugung. Etwas darin *pflanzt* sich fort und hält sich durch, dass nämlich aus einem Lebewesen ein neues Lebewesen entspringt, wie *Aristoteles* sagt. In Wirtschaft und Industrie wird angemessen an Zeugung von Erzeugung gesprochen, und der Eindruck entsteht, als werde etwas völlig Neues geschaffen, wenn sich die Lebensmode ändert. Nach evolutionstheoretischer Vorgabe ändern sich die Tiere und ihre Arten sogar ins Unermessliche, in jedem einzelnen Fortpflanzungsvorgang sprunghaft mutierend, Mensch wie Tier. Soweit ersichtlich, bleibt es jedoch im menschlichen und tierischen Tun bei einem bloßen Zutun, und dieses scheint das wesentliche Tun der Lebewesen zu sein. Eine Klage über diese Nacktheit, verbunden mit Erkenntniswunsch, bildet den Anfang der Geschichte. Dass das Eine dem Anderen dienen soll, Wirtschaft, Wissenschaft und Künste haben dem Menschlichen zum Sein zu verhelfen und nicht

umgekehrt, zeigt schon die Gerichtetheit von Trieb und Antrieb. Geschichte ist gerichtet und verläuft nicht rückwärts, ein Lebewesen wird älter und nicht jünger. In welcher Weise bietet Vergangenheit dann Zukunft, so dass Gewesenes ist? Nach *Darwin* ließ sich jede Eigenschaftsbildung als das Ergebnis von konkurrierender Wechselwirkung beschreiben. Nach Wiederentdeckung *Mendels* Darlegungen sind es konkurrierende Gene zwischen Selbst- und Arterhalt ihrer Lebewesen.

## SCHLUSSBETRACHTUNG

Entgegen allen Einwänden und Vorbehalten hat sich die wissenschaftliche Genvorstellung zu einer Errungenschaft entwickelt, die zugleich als eine Bereicherung lebenserhaltender und fördernder Maßnahmen anzusehen ist. In einer gewachsenen Menschheit bietet sie Chancen, beschränkte Nahrungsressourcen zu sichern, wenn z.B. ein Gen für die Widerstandsfähigkeit gegen Schädlinge in einer Pflanze definiert, isoliert und auf eine andere Sorte übertragen wird, um auch ihr Resistenz zu verleihen, sofern man das Ausmaß an Folgewirkungen im Gleichgewicht der sogenannten Schädlingswelt berücksichtigen kann. Auch für Krankheiten des Menschen, erworbene und angeborene, eröffnen sich neue Therapien.

Anders verhält es sich bei Diagnostik und Eingriff in die menschliche Keimbahn. Hier sind Bedingungen der Anwendung zu bedenken, die nicht allein, und schon gar nicht in erster Linie dem Begriff des Biologischen unterstehen. Die biochemische Formulierung des Gens im Jahr 1953 erfüllt bereits innerwissenschaftlich eine außergewöhnliche Dimension. *Mario Lunadei* von der Universität „La Sapienza“ in Rom macht darauf aufmerksam, dass mit der Leistung von *Watson* und *Crick* die Kriterien einer wissenschaftlichen Revolution gegeben seien. Doch leider, so *Lunadei*, könne sie dazu führen, dass die alten Probleme archiviert werden, oder gar vergessen. „*Schade für uns*“ (Lunadei 1990. Der betreffende Textauszug in italienischer Sprache wurde mir von Hans Schadewaldt persönlich übergeben; dtsh. Übers. Kurt Plischke). Antworten auf Fragen kategorischer Unterschiede zwischen einem Gebrauch adulter oder embryonaler Stammzellen zur *Erzeugung* von Ersatzgewebe für Organschäden, Instrumentalisierung von Embryonen früher Lebensstadien durch Erzeugung von Klonen zu Therapie Zwecken, folgen aus entsprechender Bezugnahme der zugrundeliegenden Genvorstellung auf das Menschenbild. Eine Reihe von Definitionen, die Neutralisierung oder Nichtneutralität ethischer Fragen schwer erkennbar werden lassen, schließt sich an und konnte in ihrer Widersprüchlichkeit von Ethikkommissionen seit Jahren nicht zu befriedigenden Lösungen geführt werden, die einen Konsens ermöglicht hätten; von allen Seiten wird die *Menschenwürde* reklamiert. Ermöglicht wurde ein solcher Konflikt erst, nachdem sog. überzählige Embryonen für künstliche Befruchtungen gebildet und natürlich entstandene Embryonen im Mehrzellstadium ihrer Entwicklung vor der Einnistung in die Gebärmutter für eine Diagnostik mit allen Konsequenzen herangezogen wurden, somit strenggenommen für neutral

erklärt, in ihrem Selbstsein für relativierbar erachtet, nicht vernichtet, sondern wohlbehütet als eine Grundsubstanz für Wissenschaft zur Untersuchung der genetischen Entfaltung der Zygote zu organspezifischen Geweben. Nicht ihr Status als Lebewesen wurde bezweifelt, sondern ihr Menschsein von personaler Würde, die eine Verzweckung ausschließt.

Andererseits erfolgte eine fast vollständige Sequenzierung der Basenfolge des menschlichen Genoms in einem nationenübergreifenden Human Genome Project und rückte die zuvor nur literarische Fiktion des Homo Faber in den Bewusstseinshorizont von Ökonomie und politischer Öffentlichkeit, zum Biorohstoff. Je feinsinniger die Begrifflichkeit der Lebenswelt entrückte, umso mehr wurde Mensch zu Material industrieller und auch elterlicher Wünsche nach einer medizinischen Verwendbarkeit, der sich schließlich die Bundesärztekammer entgegen zu stellen hatte.

Eine Wertung des historisch neuen Phänomens setzt die Kenntnis seiner geschichtlichen Entwicklung voraus, aber nicht nur dies. Sie untersteht den Kategorien der Ethik in ihrer religiösen Dimension.

Lebendige Körper sind nicht allein nur *Überlebensmaschinen* von egoistischen Genen, wie **Richard Dawkins** (geb. 1941) es formuliert (Dawkins 1976), die durch ein technomorphes Modell verstanden wären. Schon Hunde haben mehr zu tun, als um die Vermehrung ihrer Gene zu konkurrieren. Nach Dawkins hätten sich Lebewesen in Urzeiten aus ehemals selbständigen Molekülen entwickelt, sich zunächst zu „*Replikatormolekülen*“ gewandelt, ehe sie sich mit einem lebendigen Körper umgeben hätten, in dessen Innersten sie als der einzige Garant seiner Stabilität fungierten. „*Sie haben einen weiten Weg hinter sich, diese Replikatoren. Heute tragen sie den Namen Gene, und wir sind ihre Überlebensmaschinen*“. Denn die einzelnen Gene seien von „*potentiell einer sehr hohen Lebensdauer*“, nicht aber die Genkombinationen als Einzellebewesen. Ein Gen sei diejenige Einheit, die viele Generationen überlebe (Dawkins 1978: 21ff).

Das Prinzip dieser Vererbungsvorstellung besteht in der Annahme, die Selektion wähle unter Genen aus. Das Gen gilt in dieser Theorie als ein Molekül mit dem Namen Replikator: „*Irgendwann bildete sich zufällig ein besonders bemerkenswertes Molekül. Wir nennen es Replikator*“, ein Molekül, das Kopien seiner selbst herstellen kann (ibid. S. 56). „*Unter den Replikatormolekülen spielt sich der Kampf ums Dasein ab*“ (S. 62). Die Replikatoren seien die „*Agenzien, die überleben oder nicht überleben, die Ahnenreihen identischer Kopien mit gelegentlich auftretenden Zufallsmutationen bilden [...], DNA-Moleküle*“, und der Körper sei deren „*Vehikel*“, die „*Überlebensmaschine*“, die arbeite,

um die Replikatoren zu vermehren (S. 413). Dawkins ergänzt die Zoomorphie seiner Maschinentheorie des Lebens mit einer Kosmogonie des zufälligen Zusammentreffens kleinster Teilchen, die sich ähnlich bereits bei **Heraklit** („der Dunkle“, um 540-480 v. Chr.) findet. *„Lassen Sie mich mit einem kurzen Manifest enden, mit einer Zusammenfassung der gesamten Sicht des Lebens aus dem Blickwinkel des egoistischen Gens beziehungsweise des erweiterten Phänotyps. Es ist eine Sicht, so behaupte ich, die auf Lebewesen überall im Universum zutrifft. Die grundlegende Einheit, der Hauptmotor alles Lebens, ist der Replikator. Replikatoren sind alles im Universum, wovon Kopien gemacht werden. Replikatoren entstehen durch Zufall, durch das zufällige Zusammenprallen kleinerer Partikel“* (ibid. S.429).

Anders als Heraklit beschränkt Dawkins sich in seiner Sicht zwar auf die belebte Natur. Die Hypothese des egoistischen Gens sei ihr Paradigma schlechthin. *„It is probably the only theory that can adequately account for the phenomena that we associate with life“* (Dawkins 1983: 403).

In *„The necessity of Darwinism“* (1982), einer erneuten Auseinandersetzung mit der Theorie der Vererbung erworbener Eigenschaften, unternimmt **Dawkins** den Versuch, alle denkbaren Alternativen zur **Darwinschen** Selektionshypothese zu widerlegen. Die Darstellung zeigt mit einer Stammbaumzeichnung ähnlich wie bei **Haeckel** in einem missionarischen Bild einen kräftigen alten Baum, aus dessen Stamm drei mächtige Äste wachsen. Zwei davon sind berstend abgebrochen, sie tragen die Bezeichnungen „*God*“ und „*Lamarck*“, der dritte Ast wächst stabil bis an den oberen Bildrand, ohne dort zu enden. Er scheint in den Himmel zu reichen und enthält die Aufschrift „*Darwin*“ (Dawkins 1982).

In der Konsequenz der **Dawkinschen** Auffassung wäre der Organismus nicht mehr als die fundamentale Einheit aufzufassen, mit der biologische Theorien zu beginnen hätten. Auch intentionale Erklärungen von Verhalten als eine Funktion für das Lebewesen verlieren dann ihren heuristischen Wert (*Hampe, Morgan 1988: 137f*).

Die Aufgabe biologischer Genetik ist jedoch nicht, heranzureifen zu einer Wissenschaft, die erst, wie **Steve Jones** meint, ein ungewöhnliches Bild dessen enthüllen könne, *„who we are, what we were, and what we may become“* (Jones 2000: 18). Sie entdeckt weitaus mehr als Triviales. **Jones** gibt zu bedenken, viele seien

vorsichtig geworden mit der Behauptung, die Essenz der Humanität liege in der DNS. Aber entgegen auch seiner Auffassung beginnen wir nicht erst zu verstehen, „*what sex really means, why we age and die, and how nature and nurture combine to make us what we are*“ (Jones 2000: XI). Allerdings wird von der neuen Sicht sogar das Verhalten von Mensch zu Mensch in seinem Ursprung betroffen, das, worin der Mensch sich selbst am nächsten kommt: Zeugung und Empfängnis, die „Fortpflanzung“. Die Veränderung der Bilder ist hier nicht allein Werk der Künstlerkunst.

Nachdem das Lebewesen als evolutionistisch variable Einheit aufgefasst war, sprach die Vererbungslehre der Seite der organischen Substanz in Form des Gens ein eigenständiges Keimplasma zu, das von außen eine Steuerung der Merkmale bei der Fortpflanzung erlaube, chemisch und physikalisch, in Einzelheiten planbarer als in der uralten Haltung und Züchtung von Pflanzen und Tieren. Nach der Größenordnung *statistischer Strukturgesetzlichkeit* gemessen erscheint jedes Mittel gleichberechtigt. Erst die Dimension *dynamischer Geschehensgesetzlichkeit* gehe von Finalität oder Teleologie aus (*Alwin Diemer* 1964: 768). Sie kann daher in den Lebewesen ein ihnen zukommendes Selbstsein achten, zu dem ihnen zu verhelfen ist.

Dem „*Dictionary of Genetics*“ folgend ist das Gen in der klassischen Literatur definiert als eine „*erbliche Einheit, die einen spezifischen Patz (Locus) innerhalb des Genoms oder Chromosoms einnimmt; eine Einheit, die einen oder mehrere spezifische Effekte auf den Phänotyp oder den Organismus ausübt; eine Einheit, die in verschiedene allele Formen mutieren kann, und eine Einheit, die mit anderen solchen Einheiten rekombinieren kann*“ (*King, Stansfield, Mulligan* 2007: A Dictionary of Genetics, Artikel „gene“, dt. Übers. Kurt Plischke).

Jeder Bezug einer punktuellen Definition bedarf einer Gesamtschau von Geschichte und Zusammenhang der Definition, wenn sie so weitreichende Konsequenzen mit sich führen soll, wie *Dawkins* und *Jones* anregen. Der wirksame Faktor des Genesisverlaufs heißt modern das Gen. Die das Gen beeinflussenden Faktoren, letztlich das ganze Leben, erhalten den Status von Randbedingungen des Gens. Genetisch ist die Fortpflanzung eine Reaktion zweier Genome. Die Abstraktionsweise in dieser Betrachtung gleicht der Art, wie in der Chemie von einem prozessualen Gesamtzusammenhang auf die Reaktion von zwei oder mehreren Reaktionspartnern unter mehr oder weniger weitläufig einkalkulierbaren Randbedingungen gesehen wird, so dass allein die chemischen Reaktionspartner, abhängig von ihren elementaren Gesetzmäßigkeiten, den Prozess nach den Gegebenheiten der Stöchiometrie unter sich ausmachen. Bezogen auf Lebewesen läßt die biologisch-genetische Sichtweise,

in ihrer Terminologie verbleibend, eine Frage offen: ob für die wesentliche Gesamtorganisation eines Lebewesens wirklich die Gene verantwortlich zu machen sind, oder ob diese nur Träger von Reaktionsweisen sind, die sich auch in der Entwicklung des Lebewesens neben den sonstigen Bezügen geltend machen. In solcher Sicht wären die Gene nicht die Erstinstanz bei der Entstehung von Eigenschaften, sondern selbst nur einflussnehmende Zwischen- und Randbedingungen, die ein Wesentliches aufrechtzuerhalten helfen. Dessen Anlage wäre an anderer Stelle als auf einem Chromosom vorauszusetzen, und dessen sonst als prinzipiell und schier unendlich angenommene Mutabilität könnte in Frage stehen.

Eine Antwort ist nicht leicht zu geben. Die Erfolge der Wissenschaft zeigen, dass mit dem Fachwort Gen verschiedene Eigenschaften präzise und reproduzierbar beeinflusst und verändert werden können. Zu ersehen ist auch, dass in einem technischen Fortpflanzungsverhalten die Grenze zur Monsterbildung schnell überschritten ist. Vorausgesetzt, moralfreie Experimente einer Kindeszeugung in der Retorte zur Vorherbestimmung von Eigenschaften, Gesundheit, Geschlecht und zwecks größerer Freiheit der Eltern von Lasten der Geburt und Erziehung wären eines Tages nicht nur statthaft, sondern als technische Schicksalshilfe sogar gefordert. Auch ein universeller Beschluss, Kinder nicht mehr in einer liebevollen, wenn auch anstrengend aufzubauenden persönlichen Beziehung zu empfangen, kann nicht den menschlichsten Auftrag verbergen, sondern nur hässlich transformieren. Die moralische Leitfigur wäre nur noch eine funktionalistische *Lebensqualität*.

Menschen erzeugen Leben nicht, sondern empfangen resp. zeugen, sie geben Leben von Leben weiter. Mit dem Begriff des Gens gesprochen: Gene werden weder erzeugt, noch schöpfend einem Nichts entnommen. Ein schaffendes erzeugendes Prinzip, eine Kraft, die nicht aus uns stammt, wird im Allgemeinen nicht bezweifelt. Eher fraglich scheint ihre Herkunft und Richtung, die Angemessenheit ihrer Benennung, die den Umgang mit diesem wesentlich Wirksamen lenkt.

Der bloße Zutunscharakter im zentralen, vielleicht bedeutungsvollsten, natürlichen Tun bedeutet uns eine nur eingeschränkte Freiheit. Diese Tatsache ist in einer technomorphen Beschreibung von Erstprinzipien leicht zu übersehen. Die gefährvolle Möglichkeit liegt in den fortwährend schrankenloser imponierenden Kombinationen, deren Erlaubtheit und Unerlaubtheit auf technischem Erzeugungswege schwerer einzusehen ist. Gefährvoll vor allem dann, wenn in vom Urphänomen distanzierter fachwissenschaftlich angeleiteten Einzelhandlungen, in deren mühevollen Verstrickungen, die eigentlich bestimmende Beziehung dazu unbewusst bleibt, nach Dürfen und Sollen nicht mehr gefragt wird oder werden darf. Einem Frageverlust in

den Grundbegriffen der Praxis ist vorzubeugen, den vornehmlichen Aufgaben des Menschen folgend.

Wenn **Jones** in der Schrift der Gene gelesen zu haben meint, alle Genetik widerlege den platonischen *Mythos* eines Absoluten, gemäß dessen ein Idealbild menschlichen Seins besteht, von dem die faktisch bestehenden Formen deszendente Abweichungen darstellen, so ist ihm eine andere Vorstellung des Begriffs von Erbe entgegenzuhalten. Sie verwendete ihn als Erste. Es ist die Vorstellung eines *peccatum originale*. Sie beinhaltet unsere Idee eines ursprünglich heilen Zustandes, an dem gemessen alles uns real Vorfindliche defizitär erscheint. Sie ist überhaupt urhebend für Handlung, Willen, Wünschen und Hoffen. Der in ihr enthaltene, nicht natural in unserer Lebenswelt erfahrene Zustand gibt das voraus, auf das hin und von dem her sich alle Mutation ereignet, - weder „*naturalistisch erklärbar*“, noch „*evolutionistisch ableitbar*“ (**Robert Spaemann**). Der Begriff des Gens neutralisiert diese Vorstellung. Er beschränkt sie auf einen funktionellen, anscheinend nicht weiter hinterfragbaren Zusammenhang scheinbarer Erstinstanzialität.

Die auf der Basis einer bestimmten Theorie von Evolution selbstverständlich gewordene Einordnung des Menschen unter Tiere wird zu revidieren sein. Sie widerspricht unserer täglichen Praxis und sie widerspricht unserer Selbsterfahrung. Die herausgehobene Stellung des Menschen zeigt sich darin, dass es der Mensch ist, der das Gen als Gen definiert, und dass von der Definition, ihren Einschlüssen und Ausblendungen, sein Handeln abhängt, Entscheidungen über wünschenswert und nicht wünschenswert. So wenig, wie ein Sollen aus Sein abzuleiten ist, so wenig können wünschenswerte Eigenschaften nur in einem „fittest for survival“ einer Lebensvorstellung liegen, die sich ausschließlich im Glauben einer evolutionistischen Auseinandersetzung nährt. Die kritisch gereinigte Vernunft werde sich gerade in der Biologie darauf besinnen, „*dass eine ihrer Unterabteilungen, die instrumentelle Vernunft, da und dort überschwenglich geworden ist*“, so wie die letzte unter den Naturwissenschaften, die noch stolz mit Objektivitätsansprüchen auftreten könne, die Evolutionsbiologie, noch ihren Beobachterstandpunkt zu entdecken habe (**Reinhard Löw** [1949-1994] 1990/1991: 100). Das gilt auch für die Genetik des Menschen, wenn diese als eine biologische Disziplin gehandhabt wird.

Die Deutung der Seele als der *ersten Entelechie* des Körpers, seines genetischen Prinzips, steht infrage. Der Pathologe **Franz Büchner** ([1895-1991], von 1936 bis 1963 Nachfolger von **Karl Albert Ludwig Aschoff** (1866-1942) als Direktor des Pathologischen Instituts der Universität Freiburg/Br., merkt in der „*Allgemeinen*

*Pathologie und Ätiologie*" an, **Aristoteles** habe vor 2300 Jahren gefolgert, „daß Mensch und Tier in ihrer Entwicklung durch eine immaterielle Entelechie gesteuert werden. Thomas von Aquin hat vor 700 Jahren das gleiche gelehrt" und noch **Hans Driesch** (1867-1941) habe 1908 diese These erneuert. „Seit 1953 wissen wir aber, daß die Entelechie der Organismen in ihren Chromosomen inkarniert ist" (Büchner 1975: 3). Seele wird zu Gen, einem Stückchen *caro* aus chemikophysikalischen Mechanismen, komplexer, aber einstellbarer Automatismen der Eigenschaftsbildung? Am Ende seiner Einleitung der „*Pathologie als Biologie und als Beitrag zur Lehre des Menschen*“ schränkt ihr Autor ein: Im letzten Kapitel der Gesamtdarstellung von Pathologie würden „wir erkennen, daß Gesundheit und Krankheit des Menschen nicht ausschließlich organismische Phänomene sind. [...] Wir werden erfahren, daß die Gesundheit des Menschen auch der Geborgenheit seiner Geistseele bedarf, und daß er auch von Krankheit seines Organismus bedroht wird, wenn er in seinem personalen Dasein Schaden an seiner Seele leidet" (Büchner 1975: 9). Das, was eine organbezogene Denkweise, und sei das Gen das gründende Organ, als ein *Auch* behandeln muss, gilt in anderer dogmatischer Hinsicht für wesentlich, und darüber hinaus. Die Philosophie der Medizingeschichte berücksichtigt die Theorie der Medizin in ihrer historischen Dimension, damit die Heilkunst ihrer Aufgabe gerecht bleiben kann, der Menschenwürde dienlich zu sein.

## PERSONENVERZEICHNIS

- Adam und Eva* 38  
*Altmann, Richard* 146  
*Aristoteles* 11, 46, 61, **67f**, 70, 116, 117, 119, 137, 144, 146, 227, 235  
*Aschoff, Karl Albert Ludwig* 234  
*Avery, Oswald Theodore* 11, 14, 159, 162, 217
- Babcock, Ernest* 125, 134  
*Baer, Karl Ernst von* 37, 100  
*Bailey, Liberty Hide* 122  
*Barclay, R. K.* 183f  
*Barnett, Leslie* 185  
*Barthelmess, Alfred* 11f  
*Bateson, William* 14, 32, 103, 116, 125f, 127, 131, 134, 139, 197, 204  
*Beadle, George Wells* 14, 148, 156f, 158, 162, 215, 216  
*Beneden, Eduard van* 39  
*Benzer, Seymour* 13, 144  
*Boveri, Theodor* 17, 127, 134  
*Bowler, Peter* 104, 144, 148  
*Bragg, William Lawrence* 176  
*Brawerman, George* 161  
*Brenner, Sydney* 185  
*Bridges, Calvin Blackman* 19, 136, 143, 213  
*Brown, G. L.* 186  
*Büchner, Franz* 234f  
*Burdach, Karl Friedrich* 31
- Campbell, P. N.* 183  
*Candolle, Augustin-Pyramus* 70  
*Carlson, Elof Axel* 13ff, 136, 138  
*Caspersson, Torbjörn Oskar* 147, 153f, 217  
*Chargaff, Erwin* 160f, 173, 175, 189  
*Chase, Martha* 19, 159f, 218  
*Correns, Carl Erich Franz Joseph* 9, 112f, 122, 123, 124, 197  
*Cremer, Thomas* 17f, 104  
*Crick, Francis Harry* 13, 14, 19, 23f, 26, 36, 153, 155, **161**, 165, 166, 170-173, 175, 176, 177, 179, 181f, 183, 186-192, 218f, 222, 229  
*Cuenot, Lucien* 147  
*Curie, Marie* 140  
*Cuvier, Georges-Léopold-Chrétien-Frédéric-Dagobert Baron de* 188
- Darden, Lindley* 10  
*Darwin, Charles Robert* 9, 11, 13, 15, 20, 25, 27, 35, 45, 53f, 55, **57-62**, 67, 68f, 71, 77, 78, 79f, 87, 88, 91, 92, 93, 94, 95, 96, 99, 103, 110f, 115, 118, 119, 122, 125, 127, 128, 130, 132, 134, 140, 154, 170, 194, 199, 205, 206, 207f, 209, 210, 220, 221, 222, 228, 231  
*Dawkins, Richard* 129, 210, **230ff**  
*Delbrück, Max Ludwig Henning* 152, **155f**, 176, 217  
*Descartes, René de Quartis* [Renatus Cartesius] 66  
*Diemer, Alwin* 232

*Dixon, June* 160  
*Donahue, John* 175, 177  
*Dounce, Alexander L.* 23f, 162, **164-168**, 183  
*Driesch, Hans* 48, 128, 235  
*Dubois-Reymond, Emil Heinrich* 42, 51  
*Dunn, Leslie Cecil* 10f, 104, 125, 134, 143, 147  
  
*Eigen, Manfred* 118, 222  
*Engström* 189  
  
*Falkinham, Joseph Oliver* 19f  
*Feulgen, Joachim, Wilhelm, Robert* 147  
*Fichte, Johann Gottlieb* 43  
*Focke, Wilhelm Olbers* 122  
*Franklin, Rosalind Elsie* 36, 161, 171, 173, 174, 177, 179, 181, 183, 187, 189, 218, 222  
*Fuller, W.* 186  
*Furberg, Sven* 24, 168ff, 177, 181  
  
*Garrod, Archibald Edward* 147  
*Gärtner, Karl Friedrich von* 127, 205  
*Gasking, Elizabeth B.* 122  
*Geldsetzer, Lutz* 5f, 7  
*Goethe, Johann Wolfgang von* 39f, 43, 61, 62, 129  
*Goldschmidt, Richard Benedict* 13, 14, 77, 126, 145, 194, 195, **197ff**, 200, 215  
*Gosling, R. G.* 179, 181  
*Graaf, Reignier de* 37  
*Griesinger, Wilhelm* 42  
*Griffith, John* 173  
  
*Haacke, Wilhelm Johann* 35, 99f, 127, 211  
*Haeckel, Ernst* 11, 20, 27, 35, **60-69**, 73, 75, 77, 78, 81, 89, 93, 99, 100, 127, 205, 208, 209, 231  
*Hamilton, L. D.* 183f  
*Hammarsten, E.* 153, 217  
*Hardenberg, Georg Friedrich Philipp Freiherr von* 43  
*Hegel, Georg Wilhelm Friedrich* 42, 43, 44, **45f**, 70, 206  
*Heidegger, Martin* 33f  
*Helmholtz, Hermann Ludwig Ferdinand von* 42f  
*Helmont, Johann Baptist von* 146  
*Heraklit* 170, 231  
*Hershey, Alfred Day* 19, 159f, 218  
*Hertwig, Oskar Wilhelm August* 20, 61, **81-83**, 85, 98, 128, 200  
*Hilbert, David* 24  
*Hinshelwood, Cyril Norman* 199f  
*Hippokrates von Kos* 11  
*Hoffmann, Hermann* 122  
*Hölderlin, Johann Christian Friedrich* 43  
*Hooke, Robert* 37  
*Hoppe, Brigitte* 8, 31, 52, 53, 54  
*Horn, Wolfgang* 9  
*Huygens, Christian* 67

*Jacob, Francois* 145, 195  
*Jahn, Ilse* 8f, 31f, 39, 122, 123  
*Janssens, Frans Alfons Ignace* 134  
*Johannsen, Wilhelm Ludwig* 8, 12, 14, 25, 26, 27, 35, 56, 69, 125, **128-132**, 133, 134, 138, 144, 147, 196, 197, 205f, 208, 213, 221, 222  
*Johansson, Ivar* 135, 137, 138  
*Johnson, Lyndon Baines* 24  
*Jones, Steve* 231f, 234

*Kalmus, Hans* 116  
*Kant, Immanuel* 31, 40, **49**, 69, 105, 207, 220, 224  
*Kappert, Hans* 9, 12  
*Kay, Lily* 22ff, 116, 152  
*Keller, Evelyn Fox* 21f, 29  
*King, Robert* 232  
*Koelliker, Albert von* 39  
*König, Gert* 46  
*Krumbiegel, Ingo* 39, 102, 103  
*Kuhn, Dorothea* 40  
*Kuhn, Thomas* 17  
*Kupfer, Bernhard* 192

*Labisch, Alfons* 6, 224  
*Lamarck, Jean-Baptiste Pierre Antoine de Monet, Chevalier de* 11, 32, 188, 231  
*Leeuwenhoek, Antonij van* 37, 38  
*Leibniz, Gottfried Wilhelm von* 24, 38  
*Lewin, Benjamin* 149  
*Linné (Carolus Linnaeus), Carl Ritter von* 11, 188  
*Löbbecke, E.-A.* 13  
*Löffler, Sigrid* 221  
*Lohff, Brigitte* 51  
*Löw, Reinhard* 6f, 59, 234  
*Lunadei, Mario* 229  
*Lyell, Charles* 69

*MacLeod, Colin M.* 11, 14, 159, 162, 217  
*Mainzer, Klaus* 149  
*Malpighi, Marcello* 37f  
*Martius, Carl Friedrich Philipp Ritter von* 41f  
*Mason, Stephen Finney* 7f  
*Maupertius, Pierre-Louis Moreau de* 19  
*Mc Carty, Maclyn* 11, 14, 159, 162, 217  
*Meckel, Johann Friedrich* 37  
*Mendel, Gregor (Johann)* 8, 10, 11, 12, 13, 14, 17, 19, 20, 21, 25, 27, 35, 55, 58, 60, 70, 95, **102-124**, 126, 127, 132, 133, 134ff, 138ff, 144, 196, 197, 201, 202, 203, 205, 212, 220, 221, 228  
*Mephistopheles* 129  
*Michaelis, Arndt* 132  
*Miescher, Johann Friedrich* 15, 146  
*Monod, Jaques Lucien* 13, 145, 195  
*Montaigne, Michel Eyquem de* 19

*Moore, J. A.* 19  
*Morgan, Thomas Hunt* 14, 19, 131, 133f, **135**, 136, 143, 147, 148, 213, 216  
*Muller, Hermann Joseph* 13, 14, 19, 26, 133, **140-144**, 147, 156, 194, 214, 215, 219  
*Müller, Josef* 92  
*Müller-Hill, Benno* 161  
*Müller-Wille, Staffan* 24, 25f, 27, 28, 29  
  
*Nachtsheim, Hans* 17, 134  
*Nägeli, Carl Wilhelm von* 9, 11, 20, 35, 53, **70-83**, 85, 89, 93, 100, 122, 123, 127, 128, 205, **208ff**, 212, 215  
*Nasse, Christian Friedrich* 51  
*Newton, Isaac Sir* 67  
*Nietzsche, Friedrich* 220  
*Novalis (Georg Friedrich Philipp Freiherr von Hardenberg)* 43  
  
*Okens, Lorenz* 62  
*Olby, Robert Cecil* 15f, 58  
  
*Papst Innocenz XII (Antonio Pignatelli)*, 37  
*Pauling, Linus Carl* 152f, 171f, 173, 217  
*Peter, Karl* 200f  
*Picasso, Pablo Ruiz* 227  
*Platon* 33, 42, 45, 53, 92, 99, 234  
*Polanyi, Michael* 16  
  
*Rheinberger, Hans-Jörg* 5, 8, 18, 24, 25, 27, 28, 29, 231  
*Rieger, Rigomar* 132  
*Ritter, Joachim* 59  
*Röntgen, Wilhelm Conrad* 140  
*Roose, Theodor Gustav August* 31  
*Rossenbeck, H.* 147  
*Rothschuh, Karl Edmund* 50f  
*Roux, Wilhelm* 127  
*Russell, Bertrand Arthur Wilhelm, 3. Earl* 24  
*Rutherford, Ernest, 1. Baron Rutherford of* 176  
  
*Schadewaldt, Hans* 146, 229  
*Schelling, Friedrich Wilhelm Joseph* 40, 41, 42, **43-45**, 49  
*Schlegel, August Wilhelm von* 43  
*Schlegel, Karl Wilhelm Friedrich von* 43  
*Schleiden, Matthias Jacob* 17, 47, 62  
*Schrödinger, Erwin* 10, 24, 141, **148-151**, 171, 189, 216  
*Schultz, Jack* 153, 154f, 217  
*Schulz, Jörg* 8  
*Schwann, Theodor Ambrose Hubert* 17, 47f, 62  
*Senglaub, Konrad* 8, 39  
*Shannon, Claude Elwood* 24  
*Sokrates* 42  
*Spaemann, Robert* 6, 59, 234  
*Spallanzani, Lazaro* 38  
*Spencer, Herbert* 13, 35, **55ff**, 88, 100, 207, 210  
*Spencer, M.* 186

*Spinoza, Baruch de* 24, 61  
*Stokes, Alexander Rawson* 161, 179, 181  
*Strasburger, Eduard Adolf* 11, 61, 81, **83f**, 127  
*Stubbe, Hans* 12, 19, 112  
*Sturtevant, Alfred Henry* 14, 19, 138, 143f, 148, 214, 216  
*Sutton, Walter Stanborough* 17  
*Swammerdam, Jan* 38

*Thomas von Aquin (Hl. Thomas von Aquino)* 235  
*Thuret, Gustave Adolphe* 39  
*Tieck, Johann Ludwig* 43  
*Todd, Alexander Robert* 172  
*Trendelenburg, Friedrich Adolf* 43  
*Treviranus, Ludolf Christian* 31f  
*Tschermak-Seysenegg, Erich von* 123

*Virchow, Rudolf Ludwig Karl* 41, 48, 58, 60  
*Vries, Hugo De [de]* 12, 22, 25, 35, **94-98**, **123**, 127, 128, 140, 199, 205, 211

*Wagner, Günter P.* 202ff  
*Wagner, Renate* 192  
*Waldeyer, Heinrich Wilhelm Gottfried* 116, 126f  
*Wallace, Bruce* 19f  
*Wasson, Tyler* 192  
*Watson, James Dewey* 13, 14, 19, 23, 24, 36, 153, 155, 161f, 165, 166, **171-182**, 183  
 187, 188, 189, 194, 218f, 223, 229  
*Watts-Tobin, R. J.* 185  
*Weigert, Carl* 35, 93f, 210  
*Weismann, August Friedrich Leopold* 11, 17, 20, 22, 25, 27, 35, **84-96**, 99, 116, 127, 128,  
 199, 205, 210, 212, 215  
*Wilkins, Maurice Hugh Frederick* 36, 161, 171f, 174, 177, 179, 181, 183f, 186f, 189, 218, 223  
*Wilson, Edmund Beecher* 128, 133, 134, 135, 146  
*Wilson, Herbert R.* 161, 179  
*Winkler, Ruth* 118  
*Wolff, Caspar Friedrich* 38f  
*Work, T. S.* 183  
*Wricke, Günther* 9

*Young, Thomas* 67

*Zamenhof, Stephen* 160

## SACHVERZEICHNIS

1. Das Sachregister versucht in seinem Aufbau der Tatsache zu entsprechen, dass zur Beschreibung dessen, was im wissenschaftshistorischen Verlauf als genetische Prinzipien der Lebewesen gedacht ist, sowohl einfache, als auch zusammengesetzte Begriffe verwendet werden. 2. Ein mathematisches Präzisionsideal im Rahmen der Kausalität von Chemie und Physik gewann Einfluss auf die biologische Kausalitätsvorstellung. Auf diese Weise entstandene Unterbegriffe sind einzeln und unter den Oberbegriffen angeführt, um eine Prüfung der Zusammenhänge und Überschneidungen von Begriffsumfängen zu erleichtern. 3. Als eine der lebensweltlichen Erfahrung nahe-stehende Wissenschaft verwendet die Biologie vielfach lebensweltliche Begriffe, die im Gendiskurs einen fachsprachlichen Charakter annehmen. Sie sind daher ebenfalls in das Register aufgenommen.

### A

Abkürzung Gen 130  
Ablesungsmechanismus 185  
Absolutes 234  
Abstammung 57, 67, 188  
- Paradigma Darwins 57  
Abstammungslehre 70, 71  
Abstraktion 125, 151, 203, 213, 216, 221, 225  
Abstraktionsweise 232  
Abwehr 193f  
Abweichung 58, 101, 140, 234  
adaptive Enzyme 162  
adaptive Veränderung 200  
Adenin 160, 163, 173, 175, 177  
Agens des Werdens 123  
Ahnenplasma 85, 86, 88, 210  
Aktivierung 93, 97, 208  
- Genaktivierung 90  
Aktivierungsvermögen 138, 215  
Aktivitätsmuster der Gene 146  
Aktivitätszustand 145  
Albuminat 72f, 74, 77ff, 209  
Alkapton 147  
Alkaptonurie 147  
Allel 104, 110, 116, 131, 139, 203, 206, 232  
- Theorie multipler Allele 138, 214  
allelomorph 131  
αλλο εργον 193  
Aminosäure 23, 26, 65, 76, 157, 162, 164ff, 168, 171, 173, 184ff, **190-193**, 218  
- Anordnung der Aminosäuren 168  
Aminosäurespezifität 173  
Aminosäuresequenz 26, 184, 193  
Analogie 47, 66, 75, 116, 132, 141, 150, 221  
Anatomie 42, 47, 53, 59, 70, 81, 126  
angeborene Tendenz 55  
Animalkulisten 38

Anlage 30, **72-75**, 77, 79, 81, 85, 86, 88, **93**, 95, 97, 109, 112, 117, 123, 126ff, 206, 208f, 210, 211, 212, 233  
- Einschaltmechanismus der Anlagen 75  
- Erbanlagen 25, 60  
- erbliche Anlage 72, 97, 126  
- homologe Anlage 92  
- idioplasmatische Anlagen 210  
- Keimesanlage 88, 210  
Anlagen der Anlagen 93, 210  
Anlagebegriff 73  
Anlageplasma 73f, 209  
Anlagereihe 120  
Anlagesubstanz 75  
Anlagetheorie 93  
Anlageträger 77  
Anordnung  
- lineare Anordnung 137, 144, 155, 213  
Anordnung der Aminosäuren 168, 193  
Anordnung der Basen 153, 175, 184, 187, 190, 209, 217, 219  
Anordnung der Chromosomen 86, 135  
Anordnung der Elemente 111, 115, 212  
Anordnung der kleinsten Teilchen 71, 208  
Anordnung der Micelle 73, 209  
anorganisch 43, 50, 53, 56, 61, 63, 69, 72  
- unorganisch 44, 71, 72  
anorganische/ unlebende Natur 43, 51, 63, 69, 149  
Anpassung 54, 61, 62, 65, 76, 84, 118, 141, 198, 199  
- biochemische Anpassung 200  
- zufällige Anpassung 195  
antagonistische Eigenschaft 123  
Anthropologie 17, 31, 47, 49, 52, 70  
anthropologische Auffassung 33  
anthropomorph 119, 151, 194, 219  
nicht-anthropomorph 222  
Anthropomorphie 41, 44, 49, 64, 76, 81, 85, 107, 110, 194, 208, 219, 221, 224f  
anthropozentrisch 32  
anthropozentrisches Denken 201  
Anwesenheits-/Abwesenheits-Hypothese 138, 214  
A-posteriori-Auslese 221  
apriori 44  
Apriorizität der Natur 45  
Äquationsteilungen 86  
Äquatorialplatte 86, 135  
Arbeitshypothese 35, 222f  
Arbeitsteilung 65, 66, 73, 98, 208  
Art 28, 32, 38, 39, 55, **58f**, 79, 80, 86, 87, 94, 95, 104, 107, 116, **118**, 122, 184, 188, 196, 211, 224, 227  
- Baupläne der Arten 101  
- Biophoren-Arten 89  
- Determinantenart 91  
- Entstehung der Arten 58, 72, 80  
- Idioplasmaarten 73  
- Konstanz der Arten 188  
- Neubildung von Arten 103  
- Pflanzenart 58  
- Stammarten 111  
- Tierart 99  
- Veränderlichkeit der Arten 57, 182

- zufällige Arten 118
- Art- und Eigenschaftsbildung 151, 216
- Artbegriff 104
- artbildend 226
- artbildender Faktor 112
- Artcharakter 101, 124
- Artefakt 146, 207
- artefizielles Gebilde 189
- Arten von Pangenomenen 96f, 211
- Artendifferenzierung 46
- Artenkonstanz und Artenwandel 11, 32, 58, 60, 182, 188
- Artenwechsel, spekulativer 140
- Arterhalt 86, 118, 119, 184, 228
- Artgrenzen 28
- Artmerkmal 226
- Artnamen 188
- Artunterschied 36
- Arzt 2, 31, 37, 42, 48, 52, 67, 127, 146
- Assimilation 89, 96, 147, 211, 225
- Asylum ignorantiae 54
- Äther 67
- Atom 15, 53, 56, 59, 64, 65, 69, 76, 77, 78, 94, 116, **148**, 152, 153, 176, 177, 200, 209
  - Kohlenstoffatom 76, 77, 95, 168
  - Wasserstoffatom 174, 176, 217
- Atom-Seele 64, 208
- atomarer Baustein 69
- atomares Zentrum der biologischen Kräfte 203
- atomistisch 40, 46, 127
  - Hyperatomismus 198
- atomistische Auffassung 198
- Atomtheorie 151
- Atomvorstellung 78, 208
- Auffassung
  - anthropologische Auffassung 33
  - atomistische Auffassung 198
  - darwinistische Vererbungsuffassung 72
  - Darwins Auffassung 132
  - dynamisch relativierende Auffassung 198f
  - Genauffassung 145, 223
  - instrumentelle Auffassung 33
  - Merkmalsauffassung 120
  - molekularbiologische Auffassung 71
  - Naturauffassung 43, 64
  - physiologische Auffassung 145, 201
  - Realitätsauffassung 202
  - statistisch-atomistische Auffassung 198
  - Vererbungsuffassung 27, 72, 100, 115,
- Aufgaben des Menschen 234
- Aufklärung, rationale 33
- Augustiner 102
- Auslese 65, 221
- äußere Bedingungen 141
- äußere Erscheinung 131
- Autokatalyse 26, 143, 156
- Autonomiegedanke 195
- autosynthetisch 199

## B

- Bakterium/Bakterien 37, 159, 160, 161, 162, 199, 218, 221
  - Colibakterien 180, 186, 190
- Bakterienwand 162, 182
- Bakterienzelle 154, 160
- Base 36, 161, 167, 168, 169, 170, **173f**, **177**, 182, **184f**, 190, 226
  - Anordnung der Basen 74, 153, 174f, 184, 217
  - DNS-Basengehalt 189
  - Einzelbase 185
  - fehlerhafte Basen 185
  - komplementäre Basen 217
  - Längsanordnung der Basen 193, 209
  - organische Basen 187
  - Purinbase 161, 173, 177
  - Pyrimidinbase 161, 173, 177
  - Stickstoffbase 172, 187
  - Zucker-Basen-Bindung 168
- Basenebene 168
- Basenfolge 170, **172**, 174f, 177, 178, **185**, 193, 219, 230
  - Individualität der Basenfolge 175
- Basengehalt 164
- Basengruppen 185
- Basenkode 185
- Basenkomplementarität 26
- Basenmuster 182, 219
- Basenpaar 174f, 177, 178
- Basenpaarung 161, 175, 177, 186, 218
- Basenpaarungsregel 181
- Basensequenz 26, 65, 181
- Basenspezifität 29, 181
- Basenstellung 168, 170, 172, 186
- Basenstickstoff 169
- Basentriplett 36, 78, 184, 189, 190, 191, 196
- Basenverlauf 185
- Bastard 103, 112, 123
  - Spaltungsgesetz der Bastarde 123
- Baueinheit 90, 156
- Baumaterial 75, 156
  - Baumaterial von Körpersubstanz 146
- Baumeister 150, 207
- Bauplan 58, 150, 216
  - erblicher Bauplan Gen 146
- Baupläne der Arten 101
- Baupläne der Lebewesen 53, 118, 184
- Bauprinzip 107, 188
- Baustein 69, 99, 100, 124, 174, 187, 190
  - DNS-Baustein 26
  - Körperbausteine 109
- Bausubstanz 125, 153f, 196
- Bedingung 24, 29, 31, 52, 87, 126, 141, 151, 164, 195, 216, 229
  - äußere Bedingungen 80, 144
  - Ernährungsbedingungen 87
  - historische Rahmenbedingungen 5
  - kontrollierte Bedingung 51
  - Lebensbedingung 87
  - notwendige/ hinreichende Bedingung 57
  - Randbedingung 193, 219, 232
- Bedingung der Möglichkeit der Evolution 27

- Bedingungscharakter 130
- Befruchtung 27, 37ff, 61, **81f**, 83, 86, 97, 98, 105, 111, 122, 132
- künstliche Befruchtung 229
  - Selbstbefruchtung 104, 106
- Befruchtungslehre 17
- Befruchtungsstoff 82
- Befruchtungszelle 115, 117
- Begonie 55
- Begriff 14, 21, 22, 33, 39, 41, 45, 46, 52, 68, 76, 86, 92f, **129f**, 144, 197, 199, 201, 221
- Anlagebegriff 73
  - Artbegriff 104
  - Bewegungsbegriff 49
  - biologischer Begriff Gen 130
  - biologischer Vorbegriff 151, 216
  - Elementbegriff **108f**, 120
  - Fachbegriff 63, 222, 225
  - Genbegriff 7, 9, 10, 11, 12, 16, 20, 21, 22, 23, 24, 26-29, 36, 69, 76f, 87, 110, 117, 125, 133, 142, 143, 191, 193, 196, 197, 199, **202f**, 211, 213, 214f, 220, 222, 224, 225, 233
  - Geschichte des Genbegriffs 195
  - - Begriffsgeschichte des Genbegriffs 23
  - Grundbegriff
    - - biologischer Grundbegriff 34
    - - Grundbegriffe der Dynamik 50
    - - Grundbegriffe der Praxis 234
  - Hauptbegriff über die Genesis von Lebewesen 130
  - Kausalitätsbegriff 188
  - klassischer Genbegriff 35, 99, 156, 197
  - Kraftbegriff 48, 49, 87
  - leerer Begriff 49
  - Leitbegriff der Materie 61
  - lokalistischer Genbegriff 126
  - Materiebegriff 18, 49, 52, 87, 225
  - Merkmalsbegriff 107, 108
  - moderner Genbegriff 16
  - Naturbegriff 33, 85, 86
  - Oberbegriff 17, 41, 120, 125, 226
  - Substanzbegriff 72, 225
  - Vererbungsbegriff 76, 115
  - Vorläuferbegriffe 221
  - Wesensbegriff 86, 119
  - Zellbegriff 37
  - Zufallsbegriff 118
- Begriff der Entelechie 48
- Begriff der Gesundheit 6
- Begriff der Materie 225
- Begriff der Praxis 33
- Begriff der Substanz 225
- Begriff des Biologischen 229
- Begriff des Biophors 89, 96
- Begriff des Exakten 46
- Begriff des genetischen Kodes 23
- Begriff des Gens 226, 233
- Begriff des Naturzwecks 220
- Begriff des Organismus 198, 207
- Begriff des Physiologischen 57
- Begriff des Plastiduls 205
- Begriff des Realismus 202
- Begriff einer inneren Dynamik von Materie 49
- Begriff eines Selbst 142
- Begriff Faktor 14, 127
- Begriff Hypothese 119
- Begriff Leben 31, 118
- Begriff materieller Erbeinheiten 35
- Begriff von Erbe 234
- Begriff von Zeugung 226
- Begriffe apriori 44
- Begriffe Element und Faktor 205
- begrifflich
- begriffliche Anpassungen 76
  - begriffliche Entfaltung 8, 24
  - begriffliche Selbsttäuschung 225
  - begriffliche Umschreibung der Formelaussage 64
  - begriffliche Verworrenheit 128
  - begriffliches Inventar 226
  - begrifflicher Übergang 12
- Begrifflichkeit 30, 52, 72, 106, 150, 205, 212, 221, 230
- Frühzeit der Begrifflichkeit 29
  - Vorbegrifflichkeit 23, 35
- Begrifflichkeit der aktuellen Naturwissenschaft 85
- Begrifflichkeit der klassischen experimentellen Genetik 10
- Begrifflichkeit der Physik, energetische 141
- Begriffsarbeit 28
- Begriffsauffassung und Ideologie des Darwinismus 15
- Begriffsbestandteile 30
- Begriffsbildung 19, 23, 42, 223, 224
- Begriffsbildung der modernen Leitwissenschaften 130
  - biologische Begriffsbildung 23
- Begriffsentwicklung 5, 10, 21, 221, 222, 223
- Begriffsgeschichte 8
- Begriffsgeschichte des Genbegriffs 23
- Begriffsintention des DNS-Modells 24
- Begriffslogik 6
- Begriffsmerkmale 7, 16, 22, 28, 29, 188
- Begriffsumfang 16, 27, 31
- begriffs- und problemgeschichtlich 5
- Begriffsvergleiche 9
- Begriffsverständnis 212f
- Beharrungsvermögen der Natur 118
- belebte/ lebende/ lebendige Materie 55, 65, 92, 96, 151, 170, 187, 190, 208
- belebte Stofflichkeit 143
- belebte/ lebendige/ lebende Substanz 31, 50, 55, 72, 151, 184, 209, 216
- Benzolring 147
- Beobachterstandpunkt 234
- Beschreibung 49, 76, 78, 81, 109, 111, 127, 142, 188, 193, 214
- Anthorpomorphie der Beschreibung 107
  - biochemische Beschreibung 36
  - Mendels und Darwins Beschreibung 111
  - Naturbeschreibung 41, 76
  - technomorphe Beschreibung 233
- Beschreibung biologischer Vorgänge 50
- Beschreibung des Gens 139, 148, 193, 194, 196

Beschreibung von Ursächlichkeit 220  
 Bestrebungen 118  
 Betrachtungsweise  
 - biologisch definierende B. 226  
 - die von Mendel eingeführte B. 110  
 Beugungsmuster (radiologische) 176  
 Bewegung 27, 44, **50**, 53, 57, 64, 67f,  
 70ff, 75, **78**, 100, **108**, 182  
 - Entwicklungsbewegung 73  
 - geformte Bewegung 68, 70  
 - Gitterbewegungen 70  
 - Herkunft aller Bewegungen 101  
 - innere chemische Bewegung 50  
 - Korpuskelbewegung 67  
 - Lebensbewegung 66  
 - Massenbewegung 69, 71  
 - Materiebewegungen 73, 209  
 - Molekularbewegung/Molekularbewegung  
 65, 67ff, 208  
 - Plastidul-Bewegung 65-70  
 - Urhebung der Bewegungen 109  
 - Wellenbewegung 67ff  
 Bewegungsabläufe 85, 93, 215  
 Bewegungsbegriff 49  
 Bewegungserscheinung 67, 127, 205  
 Bewegungsformen 67  
 Bewegungskonzept 50  
 Bewegungskraft 43, 49, 194  
 - erbliche Bewegungskräfte 147  
 Bewegungslehre 69  
 Bewegungsmuster 65, 108, 208  
 Bewegungsursächlichkeit 44, 49, 50  
 Bezugssystem der modernen Genetik 203  
 Bild von Krankheit 188  
 Bild von Natur 33  
 Bildungstrieb 74  
 Biochemie 20, 26, 64, 146, 151, 196  
 biochemisch 8, 53, 99, 144, **146**, **151ff**,  
 186, 193f, 216, 219, 226  
 - physikalisch-biochemisch 151  
 biochemische Analogien 132  
 biochemische Anpassung 200  
 biochemische Beschreibung 36  
 biochemische Darstellungsweise 8  
 biochemische Epoche des Gens 195  
 biochemische Formalisierung 71, 99  
 biochemische Formelbildung 29  
 biochemische Formulierung 114, 195, 216,  
 228  
 biochemische Reaktion 191, 226  
 biochemische Stoffe 142, 215  
 biochemische Stofflichkeit 29  
 biochemische Stoffwechselreaktion 108  
 biochemische Substanz 14, 215, 217  
 biochemische Techniken 20  
 biochemische Terminologie 107  
 biochemisches Modell 9, 161, 218  
 bio – genetisch 101  
 biogenetische Schwingungen 78  
 biogenetischer Process 66, 69  
 biogenetisches Grundgesetz 37, 59, 66, 75,  
 208  
 Biokatalysator 146  
 biological specificity 159  
 Biologie 8, 9, 12, 15, 18, 19, 22, 25, 26, 29,  
 30, **31f**, 35, 39, 46, 50, 53f, 54, 62,  
 70, 77, 80, 101, 102, 103, 110,  
 112, 115, 117, **118f**, 125f, 129, 130,  
 133, 141, 143, 149, 151, 182, 188,  
 189, 197, 200, **202f**, 215, 216, 221,  
 226, 234, 235  
 - biologisch-materialistische  
 Akzentverschiebung der Biologie 119  
 - Definition der Biologie 31, 35, 52  
 - Einheit der Biologie 32  
 - entteleologisierte Biologie 118, 218  
 - Entwicklungsbiologie 27, 130, 202  
 - Evolutionary Development Biology 130  
 - Evolutionsbiologie 103, 118, 149, 202,  
 203, 234  
 - Genbiologie 61  
 - Geschichte der Biologie 8, 9, 18, 71, 120,  
 198, 206  
 - Grundlegung der Biologie 129, 149  
 - Kardinalfrage in der Biologie 200  
 - mechanistische Biologie 144  
 - Mikrobiologie 20, 196  
 - moderne Biologie 113, 119, 147, 202, 203  
 - Molekularbiologie 23, 28, 149  
 - Prinzipien der Biologie 55, 149  
 - Vererbungsbiologie 114  
 - zentrale Frage der Biologie 32  
 Biologie der Vererbung 140  
 Biologie des Gens 192  
 biologisch  
 - Begriff des Biologischen 229  
 - biologisch definierende Betrachtungsweise  
 225  
 - das Biologische 143, 170, 222  
 - innerstes biologisches Werdeprinzip 137  
 - vollkommenes biologisches Prinzip 161,  
 173, 184, 217  
 biologisch-genetische Sichtweise 232  
 biologisch-materialistische  
 Akzentverschiebung 119  
 biologische Begriffsbildung 23  
 biologische Besonderheit 181, 216, 219  
 biologische Disziplinen 28, 108, 125, 222,  
 234  
 biologische Eigengesetzlichkeit 149  
 biologische Einheit 131  
 biologische Elemente 111, 115, 211  
 biologische Erscheinungen 125  
 biologische Experimente 118  
 biologische Finalität 201  
 biologische Formalistik 150  
 biologische Forschung 12, 13, 115, 125  
 biologische Fragestellung 189  
 biologische Funktion 152, 152, 160, 184,  
 216  
 biologische Genetik 66, 143, 231  
 biologische Kausalität 92  
 biologische Klassen von Stofflichkeiten 224  
 biologische Kräfte 203  
 biologische lebende Materie 170  
 biologische Sicht 29, 76  
 biologische Spezifität **16**, 23, 26, 152,  
 159, 217  
 biologische Substanzen 152

biologische Systeme 203  
 biologische Theorien 231  
 biologische Ursache 14  
 biologische Vererbung 129  
 biologische Vererbungslehre 17, 31f  
 biologische Wissenschaft 32, 199  
 biologischer Begriff Gen 130  
 biologischer Grundbegriff 34  
 biologischer Kode 23  
 biologischer Vorbegriff 151, 155, 216  
 biologisches Denken 13  
 biologisches Gen 141, 214  
 biologisches Gesetz 133  
 biologisches Material 194, 219  
 biologisches Modell 149, 150, 203  
 biologisches Problem 37, 56  
 biologisches Wesen 112  
 biomedizinische Forschung 120  
 Biomorphie 50  
 Biophor 84, **88-93**, 96, 127, 132, 206, 210  
 Biophoren-Arten 89  
 Biophorengruppen 88  
 biophysikalische Stringenz 150  
 Botanik 11, 39, 41, 47, **70**, 81, 127, 128  
 Boten-RNS 190, 192  
 Buchstabensymbole 131

## C

Calor 194  
 causa efficiens 34, 139, 141, 194, 201, 219  
 causa finalis 101, 194, 201, 219  
 causa formalis 194, 219  
 causa materialis 119, 141, 194, 219  
 Causalität (vgl. Kausalität)  
 - Prinzip der Causalität 79  
 Cavendish-Laboratorium 171, 176  
 Celline 62  
 Cellularpathologie 58  
 Charakter 83, 92, 95, 113, 132, 206  
 - Artcharakter 101, 124, 201  
 Charakter einer naturwissenschaftlichen  
 Definition 133  
 Charakteristika des Nichtlebendigen 224  
 Chargaffsche Regel 161, 175  
 Chemie 21, 25, 26, 32, 44, 46, 50, **51f**,  
 63, 64, 76, 78, 79, 85, **101**, 116,  
 139, 143, **149**, 170, 171, 188, 208,  
**215**, 220, 232  
 - Biochemie 20, 26, 64, 146, 151, 196  
 - Eiweißchemie 152  
 - Genchemie 141, 214, 231  
 - Kohlenstoffchemie 217  
 - organische Chemie 50  
 - physiologische Chemie 16, 143  
 - physiologisierte Chemie 101  
 - Plasmachemie 62  
 - Stereochemie 162, 170  
 Chemie der Vererbung 159  
 Chemie des Gens 13, 173, 182, 219  
 Chemie von Makromolekülen 16  
 chemikalische Faktoren 135  
 chemikophysikalisch 101, 143, 215, 222  
 chemikophysikalische Kausalität 145

chemikophysikalische Mechanismen 235  
 chemisch  
 - biochemisch 8, 53, 99, 132, 144, **146**,  
 151ff, 186, 193f, 216, 219, 226  
 - - physikalisch-biochemisches Verständnis  
 151  
 - elektrochemische Funktion 76  
 - physikalisch-chemische Elementarvorgänge  
 64, 208  
 - physiologisch-chemisch 51  
 - stereochemisch 153, 169, 171, 175f, 177  
 - - stereochemische Gesetzmäßigkeiten 172  
 - - stereochemisches Prinzip 26  
 chemisch-biologische Funktionsweise 184  
 chemisch-physikalisch 34, 53, 71, 82, 143,  
 149, 151, 194, 216, 222  
 chemisch-physikalische Abläufe 215  
 chemisch-physikalische Reaktion 220  
 chemisch-physikalisches Gesetz 52  
 chemische Bindung 152, 153, 155, 173, 176,  
 217  
 chemische Darstellung 147  
 chemische Eigenschaft 63, 77, 95, 170, 182,  
 219  
 chemische Formulierung 152  
 chemische Gegebenheiten 177, 218  
 chemische Gesetzmäßigkeiten 4, 26, 118,  
 175, 218, 224  
 chemische Kodierung 223  
 chemische Körper 132, 222  
 chemische Moleküle 96  
 - Ebene der chemischen Moleküle 16  
 chemische Partikel 136, 213  
 chemische Reaktion 146, 155, 156, 195,  
 217, 226  
 chemische Reaktionspartner 232  
 chemische Stofflichkeit 29, 224  
 chemische Substantialität 136, 213  
 chemische Substanz 142, 181, 219  
 chemische Termini 65, 216  
 chemische Terminologie 189  
 chemische und morphologische Einheiten  
 207  
 chemische und physikalische Prinzipien  
 151, 216  
 chemischer Körper 132, 222  
 chemisches Gesetz, neu gefundenes 219  
 chemisches Modell des Gens 14  
 Chiasma 135, 137  
 choas 141  
 Chromatide 135, 136, 137, 214  
 Chromatin 128  
 chromatische Substanz 134  
 Chromatophoren 98  
 Chromosom 10, 14, 16ff, 77, 89, 98, 116,  
 118, , **133-139**, 144, 145, 147,  
 152, **154ff**, 181, 194f, 197, 198,  
**213f**, 216, 219, 232, 233  
 - Anordnung der Chromosomen 86, 135  
 - Bezeichnung Chromosom 126  
 - Geschlechtschromosom 133, 135, 145  
 - homologe Chromosomen 155, 181  
 - Längsspaltung der Chromosomen 86  
 - Riesenchromosom 136, 213, 217  
 - Schriftnatur der Chromosomen 18

- Segment des Chromosoms 144, 195
- Urschrift der Chromosomen 150
- Zahlenkonstanz der Chromosomen 127
- Chromosomenbruch 139, 214
- Chromosomenmechanismus 154
- Chromosomenmutation 144
- Chromosomenpaarung 155
- Chromosomensatz 86, 155
- Chromosomenstoffwechsel 154
- Chromosomenstruktur 144, 153, 217
- Chromosomenteilung 153
- Chromosomentheorie 19, 25, 136
- Chromosomentheorie der Vererbung 12, 17, 18f, 25, 35, 87, 131, 133f, 136, 197, 214
- Chromosomentheorie des Gens 10, 143 147
- Chromosomenzahl 86, 122, 144, 161, 218
- Cistron 194f
- Code (vgl. Kode)
  - genetic code 22f
- Codon 191, 194
  - Missense-codon 191
  - Nonsense-codon 191
- Cold Spring Harbor Laboratorien 19
- Cold Spring Harbor Symposia
  - on Quantitative Biology 154
- Colibakterien 180, 186, 190
- Collegium Philosophicum 59
- Computerwissenschaft 150, 235
- contractile Substanz 62
- crossing-over 81, 133, 136, 137, 139, 144, 214, 215
- Crossingover-Häufigkeit 138
- Cytode 62
- Cyto-Idioplasma 84
- Cytoplasma 97 (s.auch Zytoplasma)
- Cytosin 160, 163, 173, 175, 177
  - 5-Hydroxymethylcytosin 160

## D

- Darstellung 35f, 44, 133, 151, 154, 191, 216
  - chemische Darstellung 147
  - formelhafte Darstellung 29
  - induktive Darstellung 42
  - mechanistische Darstellung 194, 219
  - molekulare Darstellung 148
- Darstellungsweisen 150
  - biochemische Darstellungsweise 8
- Darwinismus
  - Begriffsauffassung und Ideologie des Darwinismus 15
  - neodarwinistische Evolutionstheorie 18
- darwinistische Rivalität 129
- darwinistische Vererbungsauffassung 72
- darwinistischer Wettbewerb 85
- Darwins Annahme 208
- Darwins Auffassung 132
- Darwins bekanntes Wort 128
- Darwins Evolutionsauffassung 205
- Darwins Evolutionshypothese 222

- Darwins Grundgedanke 154
- Darwins Hypothese 118
- Darwins Pangen 206
- Darwins Pangenesisvorstellung/- lehre 62, 68, 99, 127
- Darwins provisorische Hypothese 15, 58, 60, 62, 210
- Darwins Selektionshypothese 71, 231
- Darwins Stammbaum der Abstammung 67
- Darwins Theorie 57, 59
- Darwins Theorem 9
- Darwins Vererbungsmechanismus 92
- Darwins Vorstellung von Erbpartikeln 205
- Darwins Vorstellungswelt 91
- Darwinsche Pangenesislehre 127
- dauerhafte Veränderung 141
- Definition 25, 49, 54, 88, 117, 229, 231
  - naturwissenschaftliche Definition 133
  - Platons Definition der Idee 45
  - wissenschaftliche Definitionen 220
- Definition der Biologie 31, 35, 52
- Definition des Erbfaktors, erste 57
- Definition des Gens 15, 21, 24, 28, 29, 132 143, 146, 157, 182, 188, 232, 234
  - chemische und physikalische Definitionen 28
  - klassische Definition des Gens 218
  - provisorische Definition des Gens 218
- Definition von Merkmal 139
- Definitionsmerkmal 132, 215
- degenerierter Code 185, 190
- Denken 61, 76, 198
  - anthropozentrisches Denken 201
  - biologisches Denken 13
  - induktives Denken 42
  - magisches Denken 141
  - mechanistisches Denken 70
  - objektives Denken 45
  - statistisches Denken 198
- Denkmodell 50
- Denkweise 8, 67, 98, 235
- Desoxyribonukleinsäure 11, 14, 36, 159-184, 186
- Desoxyribose 154
- Deszendenztheorie 182, 184, 188, 191, 199
- Determinante 22, 30, 84, 89-92, 127, 131, 132, 206, 210
- Determinantenart 91
- Determinantengruppe 89, 91
- Determinate 89
- determinieren 26, 135, 136
- determinierende Funktion 132, 206
- determiniert 16, 121, 193, 195, 219
- Deutsche Botanische Gesellschaft 123
- Deutsche Zoologische Gesellschaft 134
- Deutscher Idealismus 46
- Deutungsmuster
  - naturwissenschaftliche Deutungsmuster 71
  - teleologische Deutungsmuster 48
- Differentia specifica 36, 119, 170
- differentielle Genaktivität 145
- Differenzierung 72, 89
  - Artendifferenzierung 46
  - gewebliche Differenzierung 65, 91, 93, 97, 145

- Organdifferenzierung 94, 97
- stoffliche Differenzierung 215
- Wissenschaftsdifferenzierung 52, 130, 221
- Zelldifferenzierung 22
- Differenzierung des Genbegriffs 76, 133
- Differenzierung und Begriffsbildung der modernen Leitwissenschaften 130
- Differenzierungen in der Ontogenese 87
- diploide Zygote 122
- diskontinuierliche Veränderung 80
- DNA 16, 18, **19**, 21, 22, **160**, 161, 184, 189, 192, 230
- DNS 7, 15, 21, 127, 160, 169, **172ff**, 179f, 181, **183f**, 186f, 190, 192, 218, 219, 232
  - bakterielle DNS 160, 180
  - Hauptmerkmale der DNS 172
  - Phagen-DNS 160
  - Strukturmodell der DNS 161, 218
  - Virus-DNS 160f
- DNS-Achse 181, 186
- DNS-Basengehalt 189
- DNS-Bausteine 26
- DNS-Doppelhelix 24, 29, 178, 222
- DNS-Gestalt 189
- DNS-Kode 191
- DNS-Master-Molekül 23
- DNS-Modell 14, 24, 28ff, 167, 173, 183, 189, 191, 192f, 217, 222
- DNS-Molekül 23, 172, 174
- DNS-Nukleotidsequenzen 173
- DNS-Schablone 23, 173
- DNS-Struktur 21, 23, 161, 168, 171, 183f, 189
- DNS-Synthese 190
- Dogma der Genwirkung 193
- Doktor Faustus 129
- Dolor 194
- Domestikation 19, 60
- dominant 106f, 113
- dominant-rezessiv 112
- dominant-rezessiver Erbgang 112
- dominante Eigenschaft 107
- dominantes Merkmal/ rezessives Merkmal 107
- Dominanz 91, 107, 110, 113, 201, 226
  - Gegensatz von Dominanz und Rezessivität 116
  - Gendominanz 138
  - Mendels Konzept der Dominanz 116
- Dominanz- und Rezessivitätsverhältnisse 110
- dominierendes Merkmal 106, 112
- Doppelhelix 8, 15, 17, 24, 29, 89, 90, 153, 161, 178, 194, 222
  - Helix 172, 186, 193
  - Helix-Struktur 184
- Doppelhelix-Modell 15
- Doppelmutation 185
- Doppelspirale 175, 177, 183, 187
- Doppelstrang 162, 166, 174, 193
  - Nukleinsäuredoppelstrang 217
- Doppelstrangbindung 166
- doppelte Anlage 127

- Drosophila melanogaster 133, 135, 138, 139, 140, 147, 213, 217
- Dürfen und Sollen 233
- Dynamik 49, 50, 146
  - Dynamik des Organismus 145, 215
- dynamisch 16, 76, 99, 215
- dynamisch relativierende Auffassung 198
- dynamische Eigenschaft 100
- dynamische Erklärungsart 49
- dynamische Gentheorie 145
- dynamische Geschehensgesetzlichkeit 232
- dynamische Naturwirkungen 40
- dynamische Übertragungsweise 99, 211
- dynamische Wirkung des Erbmaterials 84
- dynamisches Konzept von Materie 31, 49
- dynamisches Naturkonzept 40
- dynamisches Verstehen 199

## E

- egoistisches Gen 230f
- Ei 37ff, 47, 81ff, 98, 150
  - befruchtetes Ei 132
- Ei-Plastide 66
- Eierstockfollikel 37
- Eigenart des Lebendigen 22, 57
- Eigengesetzlichkeit, biologische 149
- Eigengesetzlichkeit des Lebendigen 46, 207
- Eigenkopie 156
- Eigenschaft 32f, 39, 54, 55, 60, 61, 63-66, 71, 73, 77f, 80, 82ff, 84, 86, 88, 89, 97f, 99ff, 103f, 106-120, 123, 126, 128, 130f, 132, 137f, 139, 159, 188, 196, 201, 205, 206, 208-212, 215, 222f, 226, 233, 234
  - akzidentelle Eigenschaft und substantielle Eigenschaft 107
  - Anlage der Eigenschaft 95
  - antagonistische Eigenschaft 123
  - Art- und Eigenschaftsbildung 151, 216
  - chemische Eigenschaft 63, 77, 95, 170, 182, 219
  - dominante Eigenschaft 107
  - dominierende Eigenschaft 106f
  - dynamische Eigenschaft 100
  - Erbeigenschaft 94, 96, 116, 210, 211
  - erbliche Eigenschaft 39, 87, 94, 95, 97, 98, 211
  - erworbene Eigenschaft 12, 58, 188, 231
  - Gen der Eigenschaft 130
  - Materieeigenschaft 170, 115, 212
  - ontogenetische Eigenschaft 123
  - selbstreproduzierende Eigenschaften 154
  - Stammeigenschaften 105
  - wesenhafte Eigenschaften 148
- Eigenschaften der Eiweiße 153, 217
- Eigenschaften des Gens 214
- Eigenschaften materieller Einheiten 56

Eigenschaftsbildung 101, 110, 111, 136, 144, 203, 205, 235  
 - prima causa aller Eigenschaftsbildung 222  
 Eigenschaftsentwicklung 61  
 Eigenschaftskonstanz 151, 216  
 eigenständige Wirkursächlichkeit 35  
 Ein-Gen-eine-Eigenschafts-Hypothese 132  
 Einheit(en) 28, 95, 123, 139, 193, 194, 198, 205, 211ff, 214, 216, 220, 221, 230, 231f  
 - Baueinheiten 90, 156  
 - biologische Einheiten 131  
 - chemische Einheiten 56  
 - chemische und organische Einheiten 207  
 - Erbeinheiten 26, 35, 28, 60, 100, 108, 131, 132, 188, 206, 214, 216  
 - - materielle Erbeinheiten 35  
 - - singuläre Erbeinheiten 12  
 - erbliche Einheiten 15, 25, 30, 116, 134, 198, 232  
 - Faktoreinheiten 127  
 - funktionelle Einheiten 195, 202  
 - Grundeinheit der Vererbung 137, 215  
 - hierarchische Einheiten 199  
 - Lebenseinheiten 88, 89, 210  
 - letzte Einheiten 16  
 - materielle Einheiten 36, 55, 125, 202, 226  
 - merkmalsbestimmende Einheiten 134  
 - Merkmals-Einheit 5, 10, 14, 30, 127, 205  
 - mikroskopische oder submikroskopische Einheiten 141  
 - morphologische Einheiten 56, 207  
 - organische Einheiten 56, 58, 207  
 - partikuläre Einheiten 60, 100, 116  
 - physiologische Einheiten 55, 57, 88, 100, 116, 207, 210  
 - Rechnungseinheit 132  
 - segmentale Einheit 144, 215  
 - stoffliche Einheiten 138, 213  
 - unabhängige Einheit 196  
 - Untereinheit 55, 88, 120, 121, 198, 210  
 - Vererbungseinheiten 116, 127, 138, 213  
 Einheit der Biologie 32  
 Einheit der Funktion 26, 36, 202, 203  
 Einheit der Natur 41, 44, 46  
 Einheiten der Erbliehkeitslehre 94, 211  
 Einheiten der Vererbung 157, 203  
 Einschaltmechanismus 75, 195  
 Einschaltvorgang 145  
 Ei-Plastide 66  
 Eiweiß 90ff, 146, 147, 153-157, 162, 164, 168, 183ff, **190-193**, 195, 196, 217, 221, 222  
 - Fremdeiweiß 193  
 - körpereigenes Eiweiß 65, 67, 193  
 Eiweiß-Annahme 152  
 eiweissartige (sic!) und zuckerartige Stoffe 79  
 Eiweißaufbau 154, 162, 166, 1901, 193  
 - System des Eiweißaufbaus 162  
 Eiweißchemie 152  
 Eiweißindividualität 177, 193  
 Eiweißkode 191  
 Eiweißkodierung 15, 131  
 Eiweißmolekül 76f  
 Eiweißstoffwechsel 154  
 Eiweißsynthese 162, 173, 183, 195  
 Eizelle 38f, 66, 99, 123  
 - befruchtete Eizelle 95  
 - Kern der Eizelle 82  
 Elektrizität 47, 50  
 elektrochemische Funktion 76  
 elektromagnetische Kraft 176  
 Element 25, 57, 58, 62f, 78, 93, 100, 102, 108f, 111, **112f, 115, 117f**, 119, 121, 131, 134, 138, 176, 205, 209, **212f**, 231, 215, 221  
 - Anordnung der Elemente 212  
 - biologische Elemente 111, 115, 212  
 - differierende Elemente 117  
 - Elemente der Befruchtungszellen 115  
 - Elemente der Keimzellen 35  
 - Erbelement 60, 111, 117, 121  
 - erbliches Element 14, 121, 140  
 - histologisches Element 62  
 - inneres Element 35, 105, 119, 204, 212  
 - materielle Elemente 22  
 - Merkmalselement 122  
 - morphologisches Element 99  
 - nachrichtentechnische Elemente 150  
 - paarige Elemente 115f, 212  
 - Plasmaelement 99f  
 - selbstreproduzierende Elemente 154  
 - Sexualelement 59  
 - Strukturelement 52, 157  
 - Tätigkeitselement 58  
 - unabhängige Elemente 138, 213  
 - Veränderung der erblichen Elemente in den Keimzellen 140  
 - Vererbungselement 109  
 - zelluläre Elemente 127  
 elementarer Organismus 65  
 Elementargebilde des Lebendigen 37  
 Elementarisierung des Erbgedankens 109  
 Elementarität der Erbsachen 121  
 Elementarorganismus 62  
 Elementarteilchen 6, 53  
 Elementarteilchenphysik 141  
 Elementar-Vorgänge, physikalisch-chemische 64, 208  
 Elementbegriff 108f, 120  
 Elementwirkung 109  
 Embryo 229  
 Embryologie 196  
 Embryonalentwicklung 27, 28, 37, 38, 39, 89, 130  
 embryonale Stammzelle 229  
 Embryonalperiode 35, 89  
 Empfängnis 232  
 Empirie 136  
 - faktenbezogene Empirie 5  
 - methodisch-statistische Empirie 120  
 empirisch 46, 51, 61, 97, 145, 213  
 empirische Physik 44  
 Endprodukt 195  
 Endprodukt der Zellaktivität 213, 136  
 Endprodukthemmung 195  
 Energetik 151, 216  
 energetisch 141, 142, 144

- materiell-energetisch 23
- energetische Begrifflichkeit der Physik 141
- Energie 93
  - potentielle Energie 72
  - Strahlenenergie 148
  - Wachstumsenergie 92
- Energiegesetze der Physik 143
- Energielehre 46
- Energieschwelle 148
- Energieträger 190
- Entelechie 46, 234, 235
  - Begriff der Entelechie 48
- Entfaltungsmerkmale 79
- Entstehung der Arten 58, 72, 80
- Entstehung von Leben 143, 184, 187, 188
- entteleologisierte Biologie 118
- Entwicklung (biologisch) 12, 22, 25, 38f, 43, 44, 45, 53f, 62, 66f, 69, 71, 73ff, 78, 83f, 86f, 89, 90, 91, 95, 104, 111, 115, 117, 137, 141, 142, 144, 145, 150, 151, 159, 188, 198f, 202, 206, 208, 210, 212, 213, 215, 216, 221, 226, 229, 233, 235
  - Eigenschaftsentwicklung 61
  - genetische Faktoren der Entwicklung 145
  - Merkmalsentwicklung 35
  - Resistenzentwicklung 199
  - Wiederentwicklung 59
- Entwicklungsbeziehung 73
- Entwicklungsbiologie 27, 130, 202
- Entwicklungshypothese 53
- Entwicklungslehre 63
- entwicklungsmechanisch 100
- Entwicklungsmöglichkeit 132, 198
- Entwicklungsphysiologie 53
- Entwicklungsschritte des Eies 37
- Entwicklungssystem 28, 44, 198, 220
- Enzym 26, 147, 153, 156, 157, 164, 166ff, 181, 195, 196
  - adaptive Enzyme 162
  - Polymerisationsenzym 181, 191
  - Steuerung von Enzymen 153
- Enzymproduktion 14, 195
- Enzymspezifität 164f
- Enzymsteuerung 14, 153
- Enzymsynthese 162
- Enzymtheorie des Vererbungsstoffs 15
- Enzymwirkung des Gens 152, 168
- Epigenese 39
- epigenetisch 17, 26, 27, 39, 93, 220
- Epiphänomen 61, 131
- Erbanlagen 25, 60
- Erbe 84, 234
- Erbeigenschaften 94, 96, 116, 210, 211
- Erbeinheit 28, 60, 100, 108, 131, 132, 206, 216
  - singuläre Erbeinheiten 12, 188
  - materielle Erbeinheiten 35
- Erbelemente 60, 113, 117, 121
- Erbfaktor 17, 57, 60, 80, **85**, 91, 108, 113f, 118, 121, 131, 133, 135, 145, 193, 213
  - erste Definition des Erbfaktors 57
- Erbgang 54, 113, 135
  - dominant-rezessiver Erbgang 112
  - intermediärer Erbgang 112
  - Mendelscher Erbgang 113, 135
- Erbgedächtnis 65, 98, 208, 211
- Erbgedanke
  - Elementarisierung des Erbgedankens 109
- Erbgefüge 137
- Erbgeschehen 10, 118, 221
- Erbgesetze 104, 106
- Erbgut 78, 84, 86, 142, 187
- Erbinformation 78, 181
- erblich 60, 61, **107f**, 117, 141, 159, 197, 201, 211
  - erblich und nicht erblich 108, 125
- erbliche Anlage 72, 97, 126
- erbliche Bewegungskräfte 147
- erbliche Eigenschaft 39, 84, 87, 94, 95, 97, 98, 211
- erbliche Einheit 15, 25, 30, 116, 134, 198, 232
- erbliche Erkrankung 147
- erbliche Körperfunktion 108
- erbliche Materie 120
- erbliche Reaktionsnorm 126
- erbliche Wirkung 132, 137, 215
- erblicher Bauplan 146
- erbliches Element 14, 121, 140
- Erblichkeit 77f, 95, 121, 201, 203, 209, 213
  - Gesetz der Erblichkeit 80
  - Nichterblichkeit 193, 201
- Erblichkeit erworbener Eigenschaften 58
- Erblichkeitslehre 131
  - Einheiten der Erblichkeitslehre 94, 211
- Erblichkeitsprinzip Gen 221
- Erblichkeitsvorstellung 201
- Erbmasse 58, 62
- Erbmaterial 11, 22, 36, 75, 84, 86, 87, 122, 192, 193, 203, 219
- Erbmerkmal 27, 134
- Erbpartikel 100
  - Darwins Vorstellung von Erbpartikeln 205
- Erbregeln, Mendelsche 113
- Erbsubstanz 9, 16, 25, 74, 87, 140f, 146, **152ff**, 161, 170, 171, 173, 177, 183, 188, 191, 217, 218
- Erbteilchen 91, 210
- Erbträger 60, 61, 78, 84, 126, 221
  - (vgl. Vererbungsträger)
  - partikulärer Erbträger 54, 78
- Erbursachen
  - Elementarität der Erbursachen 121
- Erbverhalten 104, 108
- Erfahrung 41, 43, 44, 61, 66, 151, 216, 221, 227
  - Eigenerfahrung 221
  - Lebenserfahrung 64
  - Selbsterfahrung 85, 227, 234
- Erfahrungsweise 76
- Erforschung des Gens 71, 109
- Erkenntnis 5, 7, 9, 17f, 23, 41, 51, 53, 66, 70, 85, 149, 156, 161, 166, 179, 225, 227
  - deduktive Erkenntnis 52
  - Naturerkenntnis
    - - apriorische Naturerkenntnis 44
    - - Prinzipienlehre der Naturerkenntnis 149

Erkenntnisideal 66  
 Erkenntnismethode 200  
 Erkenntnisquelle 85  
 erkenntnistheoretisches Programm 41  
 Erkenntnistheorie 5, 200  
 - Evolutionäre Erkenntnistheorie 54  
 Erkenntnisweg 19, 149  
 Erklärung  
 - - genetische Erklärung 197  
 - - Um-zu-Erklärung 80  
 Erklärungsweg, genbiologischer 143  
 Erkrankung 34, 42, 130, 183, 196  
 - erbliche Erkrankung 147  
 - Stoffwechselerkrankungen 156, 217  
 Ernährung 48, 60, 62, 65, 85, 96, 211  
 Ernährungsbedingungen 87  
 Ernährungsplasma 75  
 Erregung, molekulare 84  
 Erscheinung 32, 48, 53, 64, 70, 72, 76, 112, 116, 125, **131**, 197, 198, 208, 209, 210, 212  
 - Bewegungserscheinung 66, 127, 205  
 - biologische Erscheinungen 125  
 - innere Ursache und äußere Erscheinung 109, 131  
 - Lebenserscheinungen **52f**, 62, 63, 95  
 - materielle Erscheinung 53  
 - Naturerscheinungen 69  
 - Vererbungserscheinungen 104  
 Erscheinungen des Lebens 31  
 Erscheinungsbild 20, 107, 112, 121, 151  
 - Gesamterscheinungsbild 104  
 erste Lebewesen 80  
 erste Ursachen 143  
 Erstprinzipien 196, 233  
 Erstursache  
 - genetische Erstursache 203  
 erworbene Eigenschaft 12, 58, 100, 188, 211, 231  
 - Nichterblichkeit erworbener Eigenschaften 193  
 erworbene Merkmalsänderungen 193  
 erworbene Veränderungen 86  
 Erzeugung 109, 154, 159, 207, 226, 227, 229  
 - zweckgerichtete Erzeugung 131  
 Erzeugungsweg, technischer 233  
 Escherichia coli 159, 218  
 essentiell 119  
 essentielle Aminosäuren 190  
 Essenz 22, 116, 119, 122  
 Essenz der Humanität 232  
 Essenz der lebendigen Natur 199  
 Ethik 31, 55, 200, 230, 236  
 ethische Fragen 229  
 Evolution 18, 27, 29, 57, 58, 140, 170, 184, 234  
 - Grundlage aller Evolution 198  
 - vorbiologische Evolution 143  
 evolutionäre Entwicklungsbiologie 130, 202  
 Evolutionäre Erkenntnistheorie 54  
 evolutionäre Fragestellung 224  
 evolutionäre Herkunft der Erbanlagen 25  
 evolutionäre Synthese 130  
 evolutionäre Variabilität 26

evolutionäre Veränderung 198  
 evolutionärer Kampf der Erbteilchen 210  
 Evolutionary Development Biology 28, 130  
 Evolutionismus 184  
 evolutionistisch 92, 170, 191, 232, 234  
 Evolutionsauffassung Darwins 205  
 Evolutionsbiologie 103, 118, 149, 202, 203, 234  
 Evolutionsgedanke Darwins 57  
 Evolutionsgenetik 130  
 Evolutionsgeschichte 29, 191  
 Evolutionshypothese 54, 222  
 Evolutionstheorie 9, 17, 18, 29, 31, 53, 59, 60, 61, 62, 195, 208, 234  
 evolutionstheoretisch 55, 227  
 evolutionstheoretische Genvorstellung 219  
 Evolutionsvorstellung 52, 60, 170  
 Experiment (grundsätzlich) 25, 33f, 51, 52, 118, **136**, 200, **201**, 202, 233  
 - Gedankenexperiment 124, 174  
 - Hybridisierungsexperiment 70, 204, 212  
 - Kreuzungsexperiment 17, 20, 25, 133, 140, 185  
 - Tierexperiment 51  
 Experimentalsystem 25, 28, 223  
 experimentell 20, 33, 41, **51**, 54, 76, 78, 102, 119, 123, 134, 139, 140f, 161, 176, 177, 179, 190, 213, 215, 218  
 - empirisch-experimentelle Ergebnisse 213  
 - vorexperimentelle Erörterungen 27  
 - Wahrheitskriterium experimenteller Beobachtbarkeit 215  
 experimentelle Genetik 10  
 experimentelle Merkmalsanalyse 35  
 experimentelle Modellbildung 221  
 Expression  
 - Genexpression 61  
 Expression eines Merkmals 138, 214  
 Expressivität 97, 226

## F

Fachbegriff 52, 63, 222, 225, 233  
 Fachsprachen 52  
 fachwissenschaftlich 52, 233  
 Faktor 10, 14, 30, 90, 95, 97, 108, 109, 117, 120, 123, 127, **138**, 139, 144, 195, **205**, 211, 212, 221, 224  
 - artbildender Faktor 112  
 - chemische Faktoren 135  
 - Einzelfaktoren des Genotyps 132  
 - Erbfaktor 17, 56, 57, 60, 80, **85**, 91, 108, 113f, 117f, 121, 131, 133, 135, 138, 139, 145, 193, 213  
 - genetischer Faktor 138, 145, 213, 224  
 - hypothetischer Faktor 138  
 - Mendelscher Faktor 136, 213  
 - Merkmalsfaktor 114, 122  
 - Teilfaktoren in den Keimzellen 122  
 - Ordnungsfaktor 202  
 - Vererbungsfaktor 110, 112, 201  
 - Wirkfaktor Gen 139  
 Faktor der Entwicklung 145  
 Faktor des Genesisverlaufs 226, 232

Faktoren der Eigenschaftsbildung 196  
 Faktoren der Vererbung 85  
 Faktorenaustausch 81  
 Faktoreneinheiten 127  
 Faktorenkonstellation 118  
 Faktorenunion 118  
 Feingenetik 197  
 Ferment 128, 146  
 Fette 147  
 Filialgeneration 106, 107, 112  
 final 156, 201, 219  
 - causa finalis 63, 101, 194, 201, 219  
 finale Erklärung 200  
 finaler Standpunkt 200  
 finales Bewirktsein 221  
 finalistisches Modell der Vererbung 201  
 Finalität 201, 232  
 fittest for survival 234  
 Follikel 37, 100  
 Form  
 - Bewegungsformen 67  
 - Stabilität der Form 85  
 Form der Eizelle 99  
 Form der Gemmarien 99  
 Form der Species 55  
 Form des Organismus 55  
 Form von Wachstum 59  
 formal 20, 25, 35  
 - causa formalis 194, 219  
 Formalisierung 25, 29, 64, 112  
 - biochemische Formalisierung 99  
 - wissenschaftliche Formalisierung 93, 107  
 Formalistik, biologische 150  
 formalistisch genetische Erklärung 197  
 Formel 29, 112, 131, 162, 194, 206, 219  
 - chemische Formel 153  
 - Furbergs Formel 168  
 - Genformel 131, 206  
 - hypothetische Formel der Chemiker 76  
 - Modellformel 24  
 - Strukturformel 175, 218  
 Formelaussage 64  
 Formelbildung, biochemische 29  
 formelhafte Fassung 131  
 Formelmodell 162  
 Formelzusammenhang 64  
 Formulierung 34, 56, 77, 99, 100, 112, 125, 129, 196  
 - biochemische Formulierung 114, 195, 216, 229  
 - chemische Formulierung 152  
 - heutige Formulierung 77  
 - hypothetische Formulierung 206  
 - naturgesetzliche Formulierung 90  
 - Neuformulierung des Gens 143  
 - wissenschaftliche Formulierung 136  
 Formulierung der Wirklichkeit 49  
 Forschung 51, 85, 93, 136, 185, 220, 225  
 - biologische Forschung 14, 115, 125  
 - biomedizinische Forschung 120  
 - Einzelforschungen 52  
 - Evolutionsforschung 28  
 - Genforschung 184  
 - Grundlagenforschung 32  
 - Historizität von Forschung 223  
 - Immunforschung 152  
 - präzisierende Forschungen der Epoche 52  
 - Tumorforschung 159  
 - Vererbungsforschung 16, 94, 95, 109, 120, 199  
 - zeitgeschichtliche Forschung 7  
 - Zellforschung 27  
 Forschungsauffassung 120  
 Forschungsgemeinschaft 195  
 Forschungsobjekt 25  
 Forschungsprogramm 16  
 Forschungsstand 18  
 Forschungsweise 223  
 Forschungsziel 94  
 Forschungszwecke 5  
 Forschungszweig der Biologie 125  
 Fortpflanzung 32-35, 37f, 48, 54, 58, 62, 64, 68, 71, 85, 118, 119, 153, 154, 188, 194, 208, 210, 221, 225, 232  
 - geschlechtliche Fortpflanzung 66  
 Fortpflanzung der Gene 194  
 Fortpflanzungsverhalten, technisches 233  
 Fortpflanzungsvorgang 151, 216, 227  
 Fortpflanzungszelle 88, 111, 113, 210  
 Fragekonzept 90  
 Fragemethode 199  
 Frageverlust 184, 233  
 Freiheit 18, 226, 233  
 Fremdeiweiße 193  
 Friedrich-Schiller Universität Jena 63  
 Functio laesa 194  
 Funktion 20, 27, 51, 53, 71, 85, 108, 109, 131, 142, 148, 150, 185, 192, 195, 199, 200, 201, 225, 231  
 - biologische Funktion 152, 160, 184, 216  
 - chemisch-biologische Funktionsweise 184  
 - determinierende Funktion 132, 206  
 - Einheit der Funktion 26, 36, 203  
 - elektrochemische Funktion 76  
 - Genfunktion **13**, 16, 20, 26, 154, 185  
 - - Regulation der Genfunktion 195  
 - Körperfunktion 36, 108  
 - Lebensfunktion (sic!) 65, 208  
 - physiologische Funktion 108  
 - Proteinfunktion 181, 218  
 - Zellfunktion 159, 199,  
 funktionalistische Lebensqualität 233  
 Funktionalität 80, 196  
 funktionell 48, 90, 157, 189, 190, 195, 202, 204, 218, 234  
 funktionelle Einheit 195, 202  
 funktionelle Substanz 153  
 funktioneller Zustand 90  
 funktionelles Gen 157, 218  
 Funktionsabläufe 71  
 Funktionseinheit 26  
 Funktionsmechanismus von Teilchen 54  
 Funktionsprotein 146, 196  
 Funktionsverlust 185  
 Funktionsweise 22, 205  
 - chemisch-biologische Funktionsweise 184  
 Furbergs Formel 168f

## G

- Galvanismus 50
- Gameten 112, 122, 128, 137, 155, 206
- Gametogenese 117
- Gamophagie 92
- Gattung 107, 119, 188, 220
- Gedächtnis 64-66, 68, 208
  - Erbgedächtnis 98, 208, 211
  - phylogenetisches Gedächtnis 66, 73, 85, 208, 210
  - unbewusstes Gedächtnis 208
- Gedankenexperiment 124, 174
- geformte Bewegung 68, 70
- Geheimnis des Lebens 143
- geistesgeschichtlich 18
- geisteswissenschaftlich 200
- Geistseele 235
- Gemeinschaften von Individuen 200
- Gemmarie 12, 99f, 211
- Gemme 99f, 211
- Gen 8, 10, 12, 13, 16, 17-22, 21, 22, 24-30, 34-36, 58, 65, 77, 79, 88, 90, 98, 104, 110, 114, 118, 125, **126**, **128-159**, 161, 162, 172, 174, 181f, 183, 189, 191, **193-200**, **202f**, **206**, 212-221, 223, 225, 226, 228, 229-235
  - Begriff des Gens 131, 233f (s. auch Genbegriff)
  - Beschreibung des Gens 139, 148, 193, 194, 196
  - biochemische Epoche des Gens 195
  - biochemische Formulierung des Gens 229
  - Biologie des Gens 192
  - biologisches Gen 141, 214
  - Chemie des Gens 182, 219
  - Chromosomentheorie des Gens 10, 143
  - Definition des Gens 15, 21, 24, 26, 28, 29, 143, 182, 188, 232, 234
    - - klassische Definition des Gens 157, 218
  - egoistisches Gen 230f
  - Eigenschaften des Gens 215
  - Erforschung des Gens 149, 216
  - Fortpflanzung der Gene 194
  - funktionelles Gen 157, 218, 202
  - Geschichte des Gens 13, 112
  - Gesetz mit dem Namen Gen 133
  - homologe Gene 138, 214
  - identische Verdopplung des Gens 161
  - Identität des Gens 194, 219
  - Konzeptcharakter des Gens 144
  - Modell des Gens
    - - chemisches Modell des Gens 14
    - - molekulares Modell des Gens 150
  - mutiertes Gen 142
  - Nachbarschaftslage des Gens 202
  - nacktes Gen 143
  - Neukombination der Gene 132, 206
  - Physiologie des Gens 155
  - Plasmagene 98
  - Prinzip Gen 29, 35, 224
    - - Abstraktionsprinzip Gen 213
    - - Erblichkeitsprinzip Gen 221
    - - Vererbungsprinzip Gen 222
  - - Werdeprinzip Gen 196
  - provisorische Definition des Gens 157, 218
  - Schaltgene 199
  - Stabilität des Gens 134
  - Strukturgene 20, 195
  - Systemcharakter des Gens 27
  - Terminus Gen 8, 12, 115, 120, 131, 221
  - Theorie des Gens 141, 144, 188
    - - Chromosomentheorie des Gens 10, 143, 147
    - - klassische Theorie des Gens 199
  - Tochtergen 142, 214
  - Veränderung des Gens 148
- Gen der Eigenschaft 130
- Genabschnitte 22
- Genaktivierung 90
- Genaktivität 22, 145, 146, 156, 217
  - differentielle Genaktivität 145
- Genauffassung 13, 145, 223
  - mechanische Genauffassung 145
- Genausstattung 65
- Gen austausch 137
- Genbegriff 7, 9, 10, 11, 12, 16, 20, 21, 22, 23, 26, 27, 28, 29, 36, 69, 76, 77, 87, 99, 110, 117, 125, 126, 133, 142, 143, 1556, 191, 193, 199, **202f**, 212, 214, 215, 220, 222, 224, 224 (s. auch „Begriff des Gens“)
  - Begriffsgeschichte des Genbegriffs 23
  - Differenzierung des Genbegriffs 76, 133
  - Geschichte des Genbegriffs 196
  - Inhalt des Genbegriffs 202
  - klassischer Genbegriff 35, 99, 156, 193, 197, 202
  - lokalistischer Genbegriff 126
- Genbiologie 61
- genbiologischer Erklärungsweg 143
- Genchemie 141, 214
- Gendefinition 21, 26, 29, 143, 188
- Gendominanz 138
- Gene der Mitochondrien 98
- Generatio spontanea 79
- Generation 65, 69, 87, 88, 97, 105, **106f**, 110, 116, 128, 142, 143, 140, 146, 151, 211, 226, 230
  - Filialgeneration 106, 107, 112
  - Hybridengeneration 104, 106, 116
  - Kerngenerationen 83, 85
  - Spaltungsgeneration 106
- Generationenverlauf 205
- Generationsfolge 95, 105
- Generationsreihe 38, 143
- Generationswechsel 107
- Genese 34
- Genesis 56, 61, 120, 130, 226
- Genesisverlauf, Faktor des G.s 226, 232
- genetic specificity 181, 219
- genetics 21, 125, 205
- Genetik 8, 9, 10, 11, 12, 17, 19, 20, 21, 26, 27, 28, 30, 32, 56, 66, 79, 104, 113, 120, **126**, 127, 130, **143**, **149f**, 171, 189, 196, 203, 213, 216, 226, 234
  - biologische Genetik 66, 143, 231
  - Evolutionsgenetik 130
  - Feingenetik 197

- Geschichte der Genetik 9, 12, 15, 110
- Humangenetik 113
- klassische Genetik 9, 11, 25, 133, 138, 143, 147, 202, 215, 220
- medizinische Genetik 159
- Mendel-Genetik 202
- Merkmalsgenetik 35
- molekulare Genetik 149
- Molekulargenetik 8, 16, 78, 202, 209
- Name Genetik 103, 109, 120, 125
- physiologische Genetik 196
- Terminus Genetik 39
- wissenschaftliche Genetik 127
- Zellgenetik 193
- Genetik des Menschen 234
- genetisch 27, 28, 35, **39f**, 113, 118, 120, 141, 144, 148, 150, 173, 174, 184f, 190, 194, 195-199, 202, 203, 213, 222, 223, 226, 230, 232
- bio-genetisch 101
- biogenetisch 66, 69, 78
- biogenetisches Grundgesetz 37, 66, 75, 101, 208
- epigenetisch 17, 26, 27, 39, 93, 220
- genetisch chemisch-physikalische Perspektive 222
- historisch-genetisch 61
- innergenetisch 20
- molekulargenetisch 8, 16, 78, 202, 209
- ontogenetisch 66, 90, 123, 208
- pangenetisch 96
- pathogenetisch 194
- phylogenetisch 61, 200, 208
- phylogenetische Frühgeschichte 98
- phylogenetische Gewebebildung 66
- phylogenetisches Gedächtnis 66, 73, 85, 208, 210
- phylogenetischer Standpunkt 200
- polygenetisch 26
- Wort genetisch 39
- genetisch beteiligte Atome 148
- genetische Beschreibungsversuche 56
- genetische Erklärung, formalistische 197
- genetische Erstursache 203
- genetische Gesetzmäßigkeit 173
- genetische Information 193
- genetische Modellbildung 19
- genetische Molecular Theorie (sic!) 64
- genetische Organisation 190
- genetische Theoretisierung, Frühzeit der 97
- genetische Ursache 127
- genetische Urschrift 150
- genetische Verschlüsselung von Eiweißen 184f
- genetische Wirkung 141
- genetischer Faktor 138, 145, 213, 224
- genetischer Informationsfluss 173
- genetischer Kode 19, **22f**, 26, 196
- genetischer Mechanismus, universeller 188
- genetischer Umgebungseinfluss 203
- genetisches Gefüge 131
- genetisches Material 22, 153, 216
- genetisches Prinzip 174, 209, 234
- genetisches Programm 194, 224
- genetisches System 156, 198
- Genexpression 61
- Genformel 131, 205
- Genfunktion 13, 16, 20, 26, 154, 185
  - Regulation der Genfunktion 195
- Genfrage 155
- Gengruppe 137, 213
- Genkarte 14, 138, 144
- Genkode 141
- Genkonkurrenz 210
- Genkonzept 197, 199, 202
  - klassisches Genkonzept 144, 198, 215
  - physikalisches Genkonzept 134
  - Realitätsanspruch des Genkonzepts 202
  - statistisches Genkonzept 198
- Genkoppelung 26, 213
  - Gesetz der Genkoppelung 138
- Genlage 137
- Genlocus 139
- Genmerkmal 175, 218
- Genmodell 29, 185, 203, 223
- Genmodell von Watson und Crick 194, 219
- Genmoleküle 148, 156
- Genmuster 156, 183, 196
- Genmutation 144, 147
- Gennachbarschaft 138
- Genom 27, 77, 138, 140, 145, 189, 196, 214, 221, 225, 230, 232
- Genom-Analyse 8
- Genomik 26
- Genotyp 26, 129, 131, 132, 203, 209, 213, 215, 224
- Genphysik 141, 214
- Genphysiologie 15, 141, 214
- Genpositionen 138
- Genprinzip 181, 216, 219
- Genprodukt 155, 196, 203
- Genregulation 20, 224
- Genreplikation 14f
- Gensequenz 189
- Gensequenzierung 26
- Genspezifität, chemische 173
- Genstruktur 13, 21, 148, 199, 200
- Genstrukturiertheit 30
- Gensubstanz 15, 152, 153, 161, 173, 195f
- gentechnisch 34, 114, 226
- Gentechnologie 223, 226
- gentechnologisch 146, 226
- Gentheorie 13, 15, 96, 136, 188, 199, 214
  - dynamische Gentheorie 145
  - klassische Gentheorie 10, 199
  - physikalische Gentheorie 141
- Genträger 8
- Genverbände 27
- Genverdoppelung 16, 161, 175, 219
- Genverständnis 29
- Genvorstellung 9, 12, 14, 28, 30, 114, 136, 151, 170, 181, 215, 216, 219, 229
  - molekularbiologische Genvorstellung 18, 39
- Genwirkung 14, 20, 132, 156, 182, 193, 196, 219
  - Dogma der Genwirkung 193
- gerichtete Kraft 118
  - zweckgerichtete Kraft 48, 55
- Germ 128

Gesamtorganisation des Lebewesens 233  
 Geschehensgesetzlichkeit, dynamische 232  
 Geschichte 5, 25, 28, 110, 144, 148, 227, 228, 232  
 - Evolutionsgeschichte 191  
 - Naturgeschichte 41, 71, 76  
 - Wissenschaftsgeschichte 5, 7, 8, 22, 24, 131  
 Geschichte der Biologie 8, 9, 198, 206  
 Geschichte der Evolution 29  
 Geschichte der Genetik 9, 12, 15, 110  
 Geschichte der Medizin 6  
 - Medizingeschichte 5, 50, 235  
 Geschichte der Naturwissenschaften 8, 11, 116, 138  
 Geschichte des Genbegriffs 195  
 Geschichte des Gens 13, 112, 128  
 Geschichte eines Merkmals 110  
 Geschichte von Biologie und Medizin 71, 120  
 Geschichtlichkeit 121  
 geschlechtliche Fortpflanzung 66  
 Geschlechtschromosom 133, 135, 145  
 geschlechtsgebundene Vererbung 135, 136, 213  
 Geschlechtsmerkmale 135, 145  
 Geschlechtszellen 82, 111, 126  
 Geschöpf 38, 92  
 Gesetz 13f, 23, 31, 43, 49, 51, 58, 63, 64, 65, 73, 111, 115, 123, 125, 148f, 212, 216  
 - biologisches Gesetz 133  
 - chemisches Gesetz 219  
 - chemisch-physikalisches Gesetz 13, 52  
 - Erbgesetze 104, 106  
 - Grundgesetz 94  
 - - biogenetisches Grundgesetz 37, 59, 66, 75, 101, 208  
 - Grundgesetze der Genetik 127  
 - Kausalgesetz 70  
 - Naturgesetz 43, 47, 55, 120  
 - physikalisches Gesetz 71, 149, 216  
 - sterische Gesetze 181  
 Gesetz der Erbllichkeit 80  
 Gesetz der Erhaltung von Kraft und Stoff 70  
 Gesetz der Genkoppelung 135  
 Gesetz der Wasserstoffbindung 174f  
 Gesetz für die Bildung und Entwicklung der Hybriden 104  
 Gesetze der Bewegungslehre 69  
 Gesetze der Kombinatorik 110  
 Gesetze der Mechanik 69  
 Gesetze der Physik und Chemie 149  
 gesetzlich determiniert 71  
 Gesetzlichkeit 6, 49, 54, 57, **94**, 101, 109, 111, 129, 133, 151, 213  
 - Eigengesetzlichkeit 46, 94, 149  
 - Geschehensgesetzlichkeit, dynamische 232  
 - Naturgesetzlichkeit 76, 150  
 - naturimmanente Gesetzlichkeiten 33  
 - statistische Strukturgesetzlichkeit 232  
 Gesetzlichkeit der Kontinuität unbelebter Substanz 151  
 gesetzmäßig 83  
 gesetzmäßige Kraft 56

Gesetzmäßigkeit 29, 39, 55, 66, 111, 123, 131, 177, 232  
 - chemische Gesetzmäßigkeit 26, 36, 175, 218  
 - eigenständige Gesetzmäßigkeit 39, 50, 111, 211  
 - genetische Gesetzmäßigkeit 173  
 - physikalische und chemische Gesetzmäßigkeiten 95, 118  
 - physikochemische Gesetzmäßigkeit 170  
 - Poesie der Gesetzmäßigkeit 79  
 - statistische Gesetzmäßigkeit 148  
 - stoffliche Gesetzmäßigkeiten 68, 85  
 Gesetzmäßigkeit der Vererbung 39  
 Gestell 34  
 gesund 113, 183  
 gesunder Menschenverstand 200  
 Gesundheit 33, 194, 233, 235  
 - Begriff der Gesundheit 6  
 Gesundheit und Krankheit 2, 188, 193, 235  
 Gesundheitsverständnis 6  
 Gewebe 28, 56, 65, 73, 153f, 200, 209  
 - Organgewebe 91  
 - organspezifische Gewebe 230  
 Gewebe- und Organdifferenzierung 97  
 Gewebearten 14, 145  
 Gewebebildung, phylogenetische 66, 208  
 Gewebelehre 58  
 gewebespezifisierende Kräfte 91  
 gewebetypische Genmuster 196  
 Gewebevielfalt 89  
 gewebliche Differenzierung 65, 91, 93, 97, 145  
 Gigantomachie 92  
 Glaube 184, 227, 234  
 glauben 93, 129  
 Grundbegriff 50, 234  
 - biologischer Grundbegriff 34  
 Grundeinheit der Vererbung 137, 215  
 Grundgesetz 94  
 - biogenetisches Grundgesetz 37, 59, 66, 75, 101, 208  
 Grundgesetze der Genetik 127  
 Grundlagenwissenschaft der Biologie 39  
 Grundlagenwissenschaften 50, 52, 101  
 Grundlegung der Biologie 129, 149  
 Guanin 160, 163, 173, 175, 177

## H

Haeckels Theorie 67  
 Haploidie 122  
 Hauptkeimbahn 95  
 Heilkunst 235  
 helikal 181, 189  
 Helix 172, 186, 193  
 - Doppelhelix 8, 15, 17, 24, 29, 90, 153, 161, 178, 194, 222  
 Helix-Struktur 184  
 Herkunft aller Bewegung 101  
 heterodynam 92  
 heuristisch 6, 44, 120, 202, 224, 231

Hierarchie 16, 89, 107, 154, 188, 200  
 - natürliche Hierarchie 61  
 - naturwissenschaftliche Hierarchie 149  
 Hierarchieprinzipien 107  
 hierarchisch 16, 89, 119, 198, 199, 210, 222, 224  
 hierarchische Einheiten 199  
 hierarchisches System 189  
 Hilfswissenschaften 70  
 histogen 86  
 Histologie 17, 70  
 histologisch 52, 62  
 historisch 5, 6, 7, 8, 10, 11, 13, 14, 21, 25, 30, 54, 62, 89, 101, 143, 149, 170, 191, 210, 223, 225, 230  
 - kontingent historisch 111  
 - philosophisch-historische Analyse 35  
 - wissenschaftshistorisch 15, 24, 29, 41, 133  
 historisch-epistemologisch 13  
 historische Dimension 235  
 historische Epistemologie 5  
 historische Hypothesen für die Gensubstanz 15  
 historische Kategorie 66, 75, 208  
 historische Naturentwicklung 44  
 historische Ordnung 75  
 historischer Ursprung von Lebewesen 120, 143  
 historisches Gedächtnis 66  
 Historisierung 121  
 Historizität von Forschung 223  
 Höherzüchtung der Lebewesen 71  
 homolog 92  
 homologe Anlagen 92  
 homologe Chromosomen 135, 155, 181  
 homologe Gene 138, 214  
 homologe Stoffe 155  
 Homöostase 75  
 Human Genome Project/Humangenomprojekt 27, 189, 196, 223, 230  
 Humangenetik 17, 113  
 Humanität 232  
 Hund 37, 100, 230  
 hybrid 108, 120  
 Hybride 104, 107, 112f, 115, 117  
 - Di-, Polyhybride 123  
 - Monohybride 123  
 Hybridenbildung 58  
 Hybridengeneration 104, 106, 116  
 Hybridenpflanze 109, 117  
 hybrides Merkmal/Hybridenmerkmal 107, 110, 117  
 Hybridform 113  
 Hybridisierbarkeit 115  
 hybridisiertes Merkmal 104, 205  
 Hybridisierungsexperiment 70, 205, 212  
 5-Hydroxymethylcytosin 160  
 Hyperatomismus 198  
 Hyperselektionismus 198  
 Hypothese 9, 54, 67, 71, 77, **128**, 138, 162, 214  
 - Anwesenheits-/Abwesenheits-Hypothese 138, 214  
 - Arbeitshypothese 35, 222, 223

- Darwins Hypothese 118, 205, 230  
 - Ein-Gen-eine-Eigenschafts-Hypothese 132  
 - Entwicklungshypothese 53  
 - Evolutionshypothese 54, 188, 222  
 - historische Hypothese für die Gensubstanz 15  
 - idealistische Hypothese 46  
 - Micellarhypothese 13  
 - Nägelis Hypothese 128  
 - Nucleoprotein-Hypothese 15  
 - Pangeneshypothese 77  
 - provisorische Hypothese Darwins 15, 25, 58, 60, 62, 77  
 - Selektionshypothese 71, 231  
 - Sequenzhypothese 26  
 - Transport-Hypothese 97  
 Hypothese der Perigenesis der Plastidule 67  
 Hypothese des egoistischen Gens 231  
 Hypothese eigenständig wirksamer Erbinheiten 100  
 Hypothese einer Selbstreproduktion 194, 219  
 Hypothese für Peptidketten- und Nukleinsäuresynthese 162  
 Hypothese von der natürlichen Zuchtwahl 72  
 Hypothese von der Perigenesis der Plastidule 67  
 Hypothese von Pangenese 94  
 Hypothesen von Darwin und Haeckel 77, 209  
 hypothetisch 6, 58, 77, 119, 166, 209, 222  
 hypothetisch angenommene Elemente 117  
 hypothetisch-realistischer Wahrheitsanspruch 202  
 hypothetische Erbfaktoren 85  
 hypothetische Formel der Chemiker 76  
 hypothetische Formulierung 206  
 hypothetische Proteinsubstanz 56  
 hypothetische Untereinheiten der lebendigen Substanz 55  
 hypothetischer Charakter der Evolutionshypothese 54  
 hypothetischer Faktor 138  
 hypothetischer Realismus 202f, 223  
 hypothetisches Objekt 202  
 Hypothetizität, namentliche 9, 54, 72

## I

Id 88-92, 210  
 - Tochterid 89, 209  
 Idant 89, 91  
 Ideal  
 - Erkenntnisideal 66  
 - Objektivitätsideal 61  
 - reduktionistisches Ideal 16  
 - wissenschaftliches Ideal 5, 43  
 Ideal der Erkenntnis 51  
 Idealbild menschlichen Seins 234  
 Idealismus, Deutscher 46  
 Idee 33, **45f**, 47f, 53, 72  
 - Platons Definition der Idee 45  
 Idee der Zusammensetzung jedes Merkmals 122

Idee einer Organisation der Erbanlagen 60  
 Idee eines ursprünglich heilen Zustandes 234  
 Idee gesetzter Zwecke 48  
 Idee Mendels 109  
 Idee stofflicher Gesetzmäßigkeiten 68  
 ideelle Einstellung 50  
 ideelles Sinngebilde 5  
 Ideenrealismus 46  
 identische Reduplikation 90, 184, 194, 210, 219  
 identische Reduplikation des Gens 161  
 Identität des Gens 194, 219  
 Idioplasma 25, 70, **72-76**, 79, 81, 82ff, 86, 89, 93, 94, 127, 128, 209, 210, 211  
 - Cyto-Idioplasma 84  
 Idioplasmaarten 73  
 Idioplasmatheorie 9, 77  
 idioplasmatheoretische Zellreihen 74  
 idioplasmatheoretisches System 76  
 idioplastische Kraft 93f, 210  
 idioplastische Wirkung 93f  
 Imitation der Natur 79, 223  
 immateriell 75, 235  
 Immunforschung 152  
 Immunsystem 193  
 inaktive Pangene 98  
 inaktive Viruspartikel 162  
 inaktiver Zustand 91  
 Inaktivität der Determinanten 89f  
 Indeterminiertheit des Gens 141  
 Individualität 193  
 - Eiweißindividualität 177, 193  
 Individualität der Basenfolge 175  
 Individualität der Chromosomen 127  
 Individualität des Lebewesens 192, 219  
 Individualitäten 99, 211  
 Individuen erster Ordnung 62  
 Individuum 55, 69, 71, 87, 95, 104, 107, 109, 111, 151, 200, 210, 208, 224  
 Induktion 42  
 induktive Darstellung 42  
 induktive Methode 41, 46, 52  
 Industrie 30, 227  
 induzierte Mutation 35, 143  
 inflammatorisch 194  
 Information **22f**, 24, 192, 193, 222  
 - Erbinformation 78, 181  
 - genetische Information 193  
 - kodierte Information 150  
 Informationsfluss 173, 193  
 - unidirektionaler Informationsfluss/-transfer 97, 127  
 Informationsmetapher 23  
 Inhalt des Genbegriffs 202  
 Innen-/Außen-Unterschied 107, 111, 222  
 inneres Element 35, 105, 119, 205, 212  
 Insemination, künstliche 38  
 instrumentelle Auffassung 33  
 instrumentelle Vernunft 234  
 intermediäre Einheiten 56  
 intermediärer Erbgang 112  
 interner Realismus 202f  
 Intersexe 145  
 intrazellulär 97, 98, 112, 205, 211  
 intrazelluläre Pangeneses 13, 94, 123

intrinsische Fähigkeit 55f, 207  
 Inversion 138, 199  
 in vitro/ in vivo 146  
 Isotropie des Eies 61, 83

## K

Kaiser-Wilhelm-Institut für Biologie 9, 10, 77, 197  
 Kalkül, mathematisch-physikalisches 51  
 Kampf 73  
 Kampf der Erbteilchen 91, 210  
 Kampf der homologen Anlagen 92  
 Kampf der Idee 91  
 Kampf der Replikatormoleküle 230  
 Kampf der Theile 92  
 Kampf ums Dasein 65, 230  
 Kardinalfrage in der Biologie der Organismen 200  
 Kardinalsymptome 194  
 Kardinalunterschied 225  
 Katalyse 146, 155, 166  
 - Autokatalyse 26, 143, 156  
 - Heterokatalyse 26  
 kausal 78, 196, 224  
 - mechanisch-kausal 72  
 kausaler Einfluss der Hierarchieprinzipien 107  
 kausaler Standpunkt 200  
 Kausalgesetz 70  
 Kausalität 80, 170, 184 (vgl. Causalität)  
 - biologische Kausalität 92  
 - chemikophysikalische Kausalität 145  
 - Wirkkausalitäten 220  
 - Zweckkausalität 41, 70, 214, 220  
 Kausalitätsbegriff 188  
 Kausalvorstellungen der Vererbung 121  
 Keim 38, 39, 69, 93, 141, 210  
 Keim- und Pollenzellen 111, 115, 117, 212  
 Keimbahn 25, 85, 91, **95**, 204, 210  
 - Hauptkeimbahn 95  
 - menschliche Keimbahn 229  
 - Nebenkeimbahn 95  
 Keimbahnast 95  
 Keimbahntheorie 22  
 Keimbahnzellen 95  
 Keimchen 30, 59, 60, 77, 87, 96, 127, 207, 221  
 Keimesanlage 87, 210  
 Keimmoleküle 87, 210  
 Keimplasma 25, **85-89**, **91ff**, 94-96, 99, 113, 127, 138, 205, 210, 213, 232  
 - Architektur des Keimplasmas 89  
 - Kontinuität des Keimplasmas 91, 96  
 Keimplasma-Id 89  
 Keimplasmatheorie 13  
 Keimsubstanz 78  
 Keimzelle 35, 38, 66, 86-88, 91, 95, 96, 105, 109, 111ff, 117, 122, 130, 133f, 137, 140, 143, 144, 210, 212, 214, 215  
 - Molekularstruktur (sic!) der Keimzellen 87  
 - Urkeimzellen 91, 155

- Veränderung der erblichen Elemente in den Keimzellen 140
- Keim- und Pollenzelle 111, 115, 117, 212
- Keimzellform 110
- Kennzeichen des Lebendigen 199, 221
- Kern **61f**, 81, 82, 84, 97, 98, 99, 128, 211
  - Samenzellkern 81, 98
  - Spermakern 82f
  - Zellkern 39, 47, 61f, 81f, 83f, 85, 94, **96ff**, 126, 127, 134, 144, 146, 147, 154, 162, 183, 192, 197, 205
- Kern der Eizelle 82
- Kernfaden 84
- Kernkörperchen 83, 182
- Kernplasma 83, 86
- Kernsubstanz 39, **82f**
- Kernteilung 62, 81, 89, 96, 194
- Kernverschmelzung 39, 81, 98, 122
- Ketoposition 177
- klassische Definition des Gens 157, 218
- klassische Genetik 9, 11, 133, 138, 143, 147, 202, 215, 220
- klassische Vererbung 132, 197
- klassischer Genbegriff 35, 99, 156, 197, 202
- klassisches Genkonzept 144, 198, 215
- kleinste belebte Teilchen 101
- kleinstes Teilchen der Keimsubstanz 71
- Kode (vgl. code)
  - Basencode 185
  - degenerierter Code 185, 90, 192
  - DNS-Kode 191
  - Eiweißkode 191
  - genetischer Code/genetic code 19, 22f, 26, 196
  - Genkode 141
  - Nukleinsäurekode 90
  - Universalität des Kodes 190
- Kode-Mechanismus 151, 184, 216
- Kodesprache 191
- kodierte Information 145
- Kodierung, chemische 223
- Kohlenstoff 62f, 76f, 168f
- Kohlenstoffatom 77, 95, 168
- Kohlenstoffchemie 217
- Kohlenstoffskelett 158
- Kolonien 200
- Kombinatorik 110, 113
- komplementär 153, 175, 182, 217, 219
- Komplementärprinzip 217
- Konfiguration 7, 177
  - Atomkonfiguration 148
  - molekulare Konfiguration 187
  - Molekülkonfiguration 209
  - Proteinkonfiguration 152, 217
  - Standardkonfiguration 168f, 177
- Königliche Akademie der Wissenschaften Bayerns 79
- Konjugation 142, 215
- Konkurrenz 129
  - Genkonkurrenz 210
- Konkurrenzverhalten 117
- Konstanz 34, 103, 112, 143, 184
  - Eigenschaftskonstanz 151, 216
  - Zahlenkonstanz der Chromosomen 127
- Konstanz der Arten 11, 188
- kontingent 111
- Kontingenzenz 32, 223
- Kontinuität 83, 194
  - Gesetzmäßigkeiten der Kontinuität unbelebter Substanz 151
  - lebendige Kontinuität 151
  - materielle Kontinuität 127, 205
- Kontinuität des Keimplasmas 85, 87, 91, 96, 210
- kontrollierte Bedingungen 51
- Kontrollmechanismen 190
- Konzept 14, 23, 126, 152, 161, 183, 202
  - Bewegungskonzept 50
  - dynamisches Konzept von Materie 49, 99
  - empiristisches Konzept 41
  - Fragekonzept 90
  - Genkonzept 197, 199, **202**
    - - klassisches Genkonzept 144, 198, 215
    - - physikalisches Genkonzept 134
    - - Realitätsanspruch des Genkonzepts 202
  - materialistisches Konzept 52
  - Mendels Konzept 116, 133
  - Nuclein-Konzept 15
  - präformationistisches Konzept 39
  - Vererbungskonzept 197
- Konzept der Basenpaarung 161
- Konzept der erblichen Einheiten 15
- Konzept der Information 23
- Konzept der Spezifität 23
- Konzept des internen Realismus 203
- Konzept des Organismus 204
- Konzept einer Peptidketten-Synthese 183
- Konzeptcharakter des Gens 144
- kopernikanische Wende 203
- Kopie 161, 173, 218, 230f
  - Eigenkopie 156
  - Negativkopie 193
- Kopplungsgruppen 137ff, 213
- Körper 38, 50, 59, 60, 64, 68, 90, 126, 130, 147, 150, 207f, 230, 234
  - chemische Körper 132, 222
  - lebende Körper 16, 230
  - Naturkörper 44, 52, 64, 119
  - organische Körper 78
  - unbelebte Körper 150
  - unorganische Körper 44
  - Zellkörper 89, 92
- Körperbausteine 109
- körpereigenes Eiweiß 193
- Körpereigenschaft 73, 212, 222
- Körpereiweiß 76, 157
- Körperfunktion, erbliche 108
- körperlich 51, 69, 71, 95, 126, 138, 215
- körperliche Moleküle 69
- körperliche Theilchen 69
- körperliche Vorgänge 51, 71
- körperliche Zellen 95
- Körpermerkmal 36, 144, 215
- Körpersubstanz 25, 85, 146
- Körperzelle 25, 88, 99, 195, 210
- Korpuskelbewegung 67
- Korrespondenz 78, 224
- korrespondierend 75, 157, 191, 218
- korrespondierende Basenfolge 177

Kraft 33, **47-50**, 57, 64, 78, 87, 100, 148, 159, 176, 233

- atomares Zentrum der biologischen Kräfte 203
- elektromagnetische Kraft 176
- erbliche Bewegungskräfte 147
- expansive Kraft 49
- gerichtete Kraft 118
- Gesetz der Erhaltung von Kraft und Stoff 64, 70
- gesetzmäßige Kraft 56
- gestaltbildende Kraft 226
- idioplastische Kraft 93f, 210
- Lebenskraft 48, 53
- Materiekkräfte 53
- merkmalsbestimmende Kraft 34
- Prinzip der Erhaltung der Kraft 69
- physikalisch wirksame Kraft 78
- Reproduktionskraft 208
- zweckgerichtete Kraft 55

Kraft der Anpassung 118  
 Kraftbegriff 48, 87  
 Krankheit 41, 71, 187, 193, 226, 229, 235  
 (s. auch „Erkrankung“)

- Bild von Krankheit 188

Krebs 34  
 Kreuzungsversuche 135, 213  
 Kristallographie 171, 176

- Röntgenkristallographie 187

Kristalloide 74  
 Kultur 61  
 Kulturwissenschaft 6, 18  
 Kunst 34, 207, 227, 232

- Heilkunst 235

künstliche Befruchtung 229  
 künstliche Insemination 38

## L

Längsspaltung 86.135  
 latent 53, 75, 92, 106, 211  
 Latenz 97  
 Leben **23, 30ff**, 42, 48, 52, 64, 72, 78, 96, 117f, 123, **142f**, 187f, 191, 215, 220, 226, **232f**

- Eigenschaften des Lebens 64, 208
- Entstehung von Leben 143, 184, 187, 188
- Erscheinungen des Lebens 31
- Geheimnis des Lebens 143
- Grundbedingungen des Lebens 57
- Grundkräfte des Lebens 89, 210
- Lebensformen 28
- Maschinentheorie des Lebens 231
- Überlebensmaschine 230
- Ursprung des Lebens 191
- Zustand Leben 31

lebende/ belebte Stofflichkeit 151, 170, 223  
 lebende/ lebendige/ belebte Materie 65, **96**, 151, 170, 187, 190, 208  
 Lebendes 119, 224

- Lebendigkeit des Lebenden 215, 222

lebendige Kontinuität 151

lebendige/ lebende/ belebte Substanz 31, 50, 55, 72, 101, 151, 184, 187, 209, 216  
 lebendige/ organische Natur 44, 63, 69, 199  
 lebendige Wesen 129  
 Lebendiges 18, 22, 29, 32, 35, 37, 44, **46f**, 48, 112, 114, 118, 149, 170, 184, 188, 199, 202, **207, 221f, 224f**

- Eigenart des Lebendigen 22, 57, 76
- Eigengesetzlichkeit des Lebendigen 46, 207
- Elementargebilde des Lebendigen 37
- Evolution des Lebendigen 18
- Kennzeichen des Lebendigen 199, 221
- Spontaneität des Lebendigen 29
- Wissenschaft des Lebendigen 35, 112, 220

lebendiges Protoplasma 62, 96, 98  
 Lebendigkeit 12, 29, 114, **118f**, 144, 170, 215, 219ff  
 Lebendigkeit der Materie 52  
 Lebendigkeit des Lebenden 214, 219ff  
 Lebensabläufe 41, 50f  
 Lebensbedingungen 87  
 Lebensbewegung 66  
 Lebenseinheiten 88f, 210  
 Lebenserfahrung 64  
 Lebenserhaltung 118  
 Lebenserscheinungen 31, 52, 53, 62, 63, 95  
 lebensfähig 111, 115, 118, 212  
 Lebensfunction (sic!) 65, 208  
 lebensgeschichtliches Merkmal 203  
 Lebenskraft 48, 53, 220

- zielgerichtete Lebenskraft 51, 53

Lebenslehre 31  
 Lebensmodell 59  
 Lebensphänomene 188  
 Lebensprinzip 222, 225  
 Lebensqualität, funktionalistische 233  
 Lebensstoff 63  
 Lebenstheilchen 64, 88, 210  
 Lebensträger 89, 210  
 Lebensvorstellung 234  
 Lebenswelt 28, 230, 234  
 lebensweltlich 221, 224  
 Lebenswissenschaft 18, 30  
 Lebewesen

- erste Lebewesen 80
- Gesamtorganisation des Lebewesens 233
- historischer Ursprung von Lebewesen 120
- Modell des Lebewesens 35, 58

Lebewesenhaftigkeit 29, 120, 184, 222, 224, 225  
 leerer Begriff 49  
 Leguminosen 104  
 Lehre 38f, 41, 100

- Abstammungslehre 70, 71
- Aristoteles Lehre 68
- Goldschmidts Lehre 198
- Hegels Lehre 45
- Hertwigs Lehre 83
- Mendels Lehre 11, 134
- Schellings Lehre 43
- Weismanns Lehre 17, 85f, 99

Lehre der Deszendenztheorie 191

Lehre der Entstehung der organischen Welt 70  
 Lehre des Menschen 235  
 Lehre eines Kohlenstoffs 62  
 Lehre eines Protoplasmas 62  
 Lehre vom Gen 213  
 Lehre vom Idioplasma 94, 211  
 Lehre von ‚bios‘, Leben 31  
 Lehre von der unbelebten Natur 149  
 Lehre von der Vererbung 32  
 Leitbegriff der Materie 61  
 Leitwissenschaft 133  
 - Differenzierung und Begriffsbildung der modernen Leitwissenschaften 130  
 Licht 67  
 - ultraviolettes Licht 148, 156, 218  
 Lichtmikroskopie 62, 136  
 Liebe 66, 227  
 lineare Anordnung 137, 144, 155, 213  
 Locus 203, 232  
 - Chromosomenlocus 136, 144, 155, 213  
 - Genlocus 138  
 lokalistischer Genbegriff 126

## M

magisches Denken 141  
 Magnetismus 50  
 Makrokosmos 73, 209  
 Makromoleküle 15, 16  
 männliches System/ weibliches System 81  
 Marktforschung 200  
 Material 85, 101, 230  
 - biologisches Material 194, 219  
 - Baumaterial 75, 146, 156  
 - Erbmaterial 11, 36, 75, 84, 86f, 122, 192, 193, 203, 219  
 - genetisches Material 22, 153, 216  
 - stoffliches Material 84  
 Materialismus, metaphysischer 72  
 Materialist 87  
 materialistisch 100, 197, 203, 208  
 - biologisch-materialistische Akzentverschiebung 119  
 - mechanisch-materialistische Vererbungslehre 94  
 materialistische Formulierung der Wirklichkeit 49  
 materialistische Prinzipien 75  
 materialistische Weltanschauung 60  
 materialistischer Reduktionismus 207  
 materialistisches Konzept 52  
 Materialität 139, 144, 152, 205, 206, 216  
 - physikalische Materialität 141, 214  
 Materialursachen 75  
 Materie 44, **49f**, 51, 54, 57, 61, 68, 87, 100, 136, 139, 142, 144, **151**, 170, **194**, 203, 205, 215, 216, 219  
 - Begriff einer inneren Dynamik von Materie 49  
 - biologisch lebende Materie 170  
 - causa materialis 119, 141, 194, 219

- dynamisches Konzept von Materie 31, 49  
 - erbliche Materie, Untereinheiten 120  
 - lebende/ lebendige/ belebte Materie 65, 92, 96, 151, 187, 190, 208  
 - Lebendigkeit der Materie 52  
 - Leitbegriff der Materie 61  
 - neuzeitlicher Begriff der Materie 225  
 - Selbstorganisation der Materie 118  
 - unbelebte Materie 142, 151, 195, 222  
 - unorganische Materie 72f  
 - unorganisierte Materie 73  
 - Wissenschaft der Materie 149  
 Materiebegriff 18, 49, 52, 87  
 Materiebewegungen 73, 209  
 Materieeigenschaft 115, 170, 212  
 Materiekräfte 53  
 materiell 23, 25, 34, 49, 53, 54, 57, 60, 62, **63**, **69**, 75f, 79, 82, 92, 93, 100, 108, 119, 122, **130ff**, 150, 170, 219, 221  
 - Begriff materieller Erbeinheiten 34  
 - immateriell 75, 235  
 - nichtmateriell 76  
 materiell-energetisch 23  
 materielle Anlage 73  
 materielle Beschaffenheit 25, 78, 111, 115, **212**  
 materielle Einheiten 36, 56, 116, 125, 202, 226  
 materielle Elemente 22  
 materielle Erbeinheiten 35  
 materielle Kontinuität 96, 127, 151, 205  
 materielle Pangene 99, 211  
 materielle Partikel 26, 127, 205  
 materielle Träger der Gene 136, 214  
 materielle Realität 138  
 materielle Ursache 193, 219  
 - materiell definierbare Ursache 138, 215  
 materielle Vererbungspartikel 61  
 materieller Erbfaktor 108  
 Materiepartikel 221  
 Materietheorie, dynamische 31, 49  
 Mathematik 25, 195  
 mathematisch 126, 170, 171, 172, 175, 202  
 mathematisch-physikalisches Kalkül 51  
 mathematische Ausdrucksweise 53  
 mathematische Behandlung 198  
 mathematische Bewegungen 44  
 Max-Planck-Institut für Wissenschaftsgeschichte 8, 22  
 Mechanik 44, 46, 48, 49, 66, 69, 70, 71, 85  
 mechanisch 44, 50, 64, 67, 69, **71f**, 144, 208, 209  
 - entwicklungsmechanisch 100  
 - kausalmechanisch 61  
 mechanisch-atomistische Voraussetzungen 46  
 mechanisch-kausaler Konnex 72  
 mechanisch-materialistische Vererbungslehre 94  
 mechanisch-physiologische Theorie 70, 81  
 mechanische Genauffassung 145  
 mechanische Prämisse 74  
 mechanische Physik 48  
 Mechanismus 14, 26, 151, 154, 188  
 - Ablesungsmechanismus 185

- Chromosomenmechanismus 154
- Einschaltmechanismus 75, 195
- Funktionsmechanismus 54
- genetischer Mechanismus 188
- Kode-Mechanismus 151, 184, 190, 216
- Kontrollmechanismen 190
- Lesemechanismus 185
- Mutations-/Selektions-Mechanismus 224
- plastischer Mechanismus 154
- Selbstverdopplungsmechanismus 173
- Vererbungsmechanismus Darwins 92
- Vermehrungsmechanismus 152
- Wirkungsmechanismen 139
- Mechanismus der Entstehung von Leben 187
- Mechanismus der Fermente 146
- Mechanismus für die Bildung von Peptidketten 162
- Mechanismus für die Selbstverdopplung der Erbsubstanz 177, 218
- mechanistisch **70f**, 294, 218
  - universalmechanistisch 69
  - allgemeinstes mechanistisches Prinzip 70
- mechanistisch-atomistisch 46
- mechanistische Biologie 144
- mechanistische Darstellung 194, 219
- Medikament 72
- Medizin 18, 41, **42**, 71, 80, 112, 187, 200
  - Geschichte der Medizin 5, 6, 71, 120
  - Romantische Medizin 42
  - Philosophie der Medizingeschichte 235
  - Theorie der Medizin 235
- Medizingeschichte 5, 50, 235
- medizinisch
  - biomedizinische Forschung 120
  - humanmedizinische Vererbungslehre 32
- medizinische Genetik 159
- medizinische Therapie 30, 130
- Meiose 116, 155, 181
- Mendelismus 9, 10, 27, 220
- Mendels Konzept 118, 133
- Mendels Konzept der Dominanz 116
- Mendels Theorie/Lehre 11, 58, 134, 139, 144
- Mendelsche Merkmalsfaktoren 114, 136
- Mendelsche Regeln 8, 12, 95, 106, 113, 135, 203
- Mendelscher Erbgang 113, 135
- Mendelsches Merkmal 196
- Mensch **29**, 30, 31, 32, 33f, 52, **61**, 69, 80, 85, 86, 119, 143, 220f, 222, 225, 229, 230, 232, 233, **234f**
  - Aufgaben des Menschen 234
  - Genetik des Menschen 234
  - Stellung des Menschen 234
  - wissenschaftlicher Mensch 225
- Menschenbild 29, 130, 229
- menschliche Freiheit 226
- menschliche Keimbahn 229
- menschliche Seelen 38
- menschliche Selektion 59
- menschlicher Geist 18
- Menschliches 61, 227
- menschliches Genom 27, 189, 196, 230
- menschliches Sein 234
- menschliches Selbstverständnis 188
- menschliches Tun 33, 227
- menschlichster Auftrag 233
- Merkmal 14, 20, 35, 54, 55, 74, 93, 96, 97, 102, 103, 104-108, 110-114, 116-120, 122, 125, 126, 127, 130, 132, 135, 142, 145, 147, 148, 201, 203f, 205, 206, 211, 212, 214, 226, 232
  - Artmerkmal 226
  - dominantes/ rezessives Merkmal 106f, 112
  - dominierendes Merkmal 106, 112, 113
  - Entfaltungsmerkmale 79
  - erbliche/nicht erbliche Merkmale 125
  - Erbmerkmal 27, 134
  - Expression eines Merkmals 138, 214
  - Expressivität eines Merkmals 97
  - Geschlechtsmerkmal 135, 145
  - hybrides Merkmal/ Hybridenmerkmal 106, 110, 117
  - hybridisiertes Merkmal 104, 205
  - Körpermerkmal 36, 144, 215
  - lebensgeschichtliches Merkmal 203
  - Mendelsches Merkmal 196
  - Unabhängigkeit der Merkmale 122, 123
- Merkmale des Gens 153, 175, 218
- Merkmalsanalyse, statistische 35, 112
- Merkmalsänderungen, erworbene 193
- Merkmalsauffassung 120
- Merkmalsbegriff 107, **108**
- merkmalsbestimmende Einheiten 134
- merkmalsbestimmende Kraft 34
- Merkmalsdefinition, phänotypische 139
- Merkmals-Einheiten 10, 14, 30, 127, 205, 206
- Merkmalselemente 122
- Merkmalsfaktoren 114, 122
- Merkmalsgenetik 35
- Merkmalspaar 105f, 116
- Merkmalsqualität 142, 204
- Merkmalspaltung 123
- Merkmalswechsel 151, 216
- metabolische Reaktion 147, 148
- Metabolismus 48, 128, 146, 189
- Metaphysik 88, 101, 116
- Metaphysiker 78
- metaphysisch 6, 32, 33, 41, 42, 50, 61, 77, 112
- Metaphysische Anfangsgründe der Naturwissenschaft 31, 40, 49
- metaphysischer Materialismus 72
- Methionin 157f, 217f
- Methode 5, 20, 33, 41, **42**, 51, 63, 104, **141**, 162, 200, 201
  - deduktive Methode 42
  - Erkenntnismethode 200
  - Fragemethode 199
  - heuristische Methode 224
  - induktive Methode 41, 46, 52
  - naturphilosophische Methode 52
  - naturwissenschaftliche Methode 42, 223
  - statistische Methode 198, 200
- methodisch-statistische Empirie 120
- Micelle **72-75**, 77, 78, 81, 83, 100, 127, 200, **209**

Micellengruppe 74, 75, 209  
 Micellreihen 74f, 77, 81  
 Mikrobiologie 196  
 Mikrokosmos 120, 128  
 Mikroorganismen 159, 190, 192  
 mikroskopische oder submikroskopische Einheiten 141  
 Missense-Codone 191  
 Mitochondrien 98, 191  
 Mittel 5, 31, 33, 132, 200, 201, 206, 232  
 Modell 15, **23f**, 98, **145**, 153, 155, 157f, 162, **166f**, 172ff, 177, 181f, 194, 202, 203, **218f**, 224  
 - Analogmodelle 50  
 - biochemisches Modell 9, 161, 217  
 - biologisches Modell 149, 203  
 - chemisches Modell des Gens 14  
 - Denkmodell 50  
 - DNS-Modell 14, 24, 28ff, 167f, 173, 181f, 183, 189, 191, 192, 217, 222  
 - Doppelhelix-Modell 15  
 - Dounces Modell 166f  
 - finalistisches Modell 201  
 - Furbergs Modell 177  
 - Genmodell 29, 185, 194, 203, 219, 223  
 - hermeneutisches Modell 223  
 - Informationsmodell 223  
 - Lebensmodell 59  
 - molekulares Modell des Gens 150  
 - Molekülmodell 171, 174f  
 - Operon-Modell 195  
 - Rückkopplungsmodell 145  
 - Strukturmodell der DNS 161, 218  
 - Synthesemodell des Eiweißaufbaus 166  
 - technomorphes Modell 230  
 - Wahrheitsmodell 188  
 - wissenschaftliches Modell 203, 221  
 Modell der Biosynthese von Methionin 158  
 Modell der Erbsubstanz 9, 153, 173  
 Modell der Vererbung 201  
 Modell des Gens 14, 150  
 Modell des Keimplasmas 85  
 Modell des Lebewesens 35, 58  
 Modell des Organismus 58  
 Modell differentieller Genaktivität 145  
 Modell physiologischer Einheiten 100  
 Modelle der Genaktivierung 90  
 Modellformel 24  
 Modellkörper 162  
 Modellorganismen 25  
 moderne Biologie 113, 119, 202  
 moderner Genbegriff 16  
 modernes wissenschaftliches Ideal 5  
 modernes wissenschaftliches Verständnis 221  
 Modificationen des Idioplasmas 74  
 Modifikation der Albuminate 73, 209  
 Modifikationssystem 198  
 Modifikatoren 199  
 Molecular-Bewegung 65ff  
 Molecular-Theorie, genetische 64  
 molekulare Erregungen 84  
 molecularphysiologisches Gebiet 71  
 Molekül **47f**, 64, 65, 69, 71, 72, 76f, **78**, **87f**, 94, 96, 99, 100, 148, 152f, 155, 173, 176, 181, 182, 200, 203, 208f, 230  
 - Bewegungsmuster der Moleküle 65, 208  
 - Bindungstyp der Moleküle 217  
 - chemische Moleküle 16, 88, 96  
 - DNS-Master-Molekül 23  
 - DNS-Molekül 23, 172, 174  
 - Doppelmolekül 170, 172, 178  
 - Eiweißmolekül 76, 77  
 - Genmoleküle 148, 156  
 - Gruppierung der Moleküle 94  
 - hochkomplexe Moleküle 16  
 - Keimmoleküle 87, 210  
 - komplementäre Moleküle 153  
 - körperliche Moleküle 69  
 - Makromoleküle 15, 16  
 - organische Moleküle 25, 152  
 - organisiertes Molekül 25, 78  
 - Plasma-Moleküle 87  
 - Replikatormoleküle 230  
 - RNS-Moleküle 186  
 - selbständige Moleküle 230  
 - Transportmolekül 186  
 - Transport-RNA-Moleküle 191  
 - vitalisierte Moleküle 56, 207  
 Molekülachse 153, 172, 175, 177, 180, 186, 216  
 Molekülaggregate 72  
 Molekularbewegung 198, 208  
 Molekularbiologie 23, 28, 149  
 molekularbiologische Auffassung 71  
 molekularbiologische Genvorstellung 18, 39  
 molekularbiologische Wirkungen der Gene 203  
 molekularbiologische Zellforschung 27  
 molekularbiologischer Bereich 26  
 molekularchemische Modellentwicklung 24  
 molekulare chaos 141  
 molekulare Darstellung 148  
 molekulare Erregungen 84  
 molekulare Genetik 149  
 molekulare Gesetzmäßigkeiten der Zellen 48  
 molekulare Konfiguration 187  
 molekulare Struktur 16, 152  
 molekulare Vision des Lebens 23  
 molekularer Genbegriff 27  
 molekulares Modell des Gens 150  
 Molekulargenetik 8, 16, 78, 202, 209  
 Molekularstruktur der DNS 187  
 Molekularstruktur der Keimzellen 87  
 Molekularvorstellung 114  
 Molekülbindungen 174  
 Moleküldurchmesser 172  
 Molekülgrößen 174  
 Molekülketten 172, 187  
 Molekülkomplexe, selbstorganisierte 118  
 Molekülkonfiguration 73, 209  
 Molekülmodell 171, 174f  
 Molekülsilhouette 173  
 Molekülskelett 173  
 Molekülstränge 170  
 Molekülverband, organisierter 78, 208  
 Monistenbund 61  
 monistisch 63, 223  
 monistische Naturwissenschaft 69

more geometrico 66  
 morphologisch 66, 79, **82**, 100, 128, 132, 136, 206, 211  
 morphologisch-organische Struktur 132  
 morphologische Einheiten 56, 207  
 morphologische Elemente 99  
 morphologische Fähigkeiten 57  
 multiple Allele 138, 214  
 Münchner Zentrum für Wissenschafts- und Technikgeschichte 7  
 Muster 120, 182, 218  
 - Aktivitätsmuster der Gene 146  
 - Basenmuster 182, 219  
 - Beugungsmuster (radiologische) 176  
 - Bewegungsmuster 65, 108, 208  
 - Genmuster 156, 183, 196  
 - Nukleinsäuremuster 183  
 - organisierende Muster 147  
 - Reaktionsmuster 200  
 mutabel 156, 226  
 Mutabilität 86, 96, 103, 141, 142, 233  
 Mutante 132  
 Mutantentyp 136  
 Mutation 10, **26**, 35f, 65, 94, 121, 122, 131, 133, 136, **140ff**, **144**, 148, 182, **185**, 195, 199f, **213**, 214, 215, 221, 226, 234  
 - Chromosomenmutation 144  
 - Doppelmutation 185  
 - Genmutation 140, 144, 147  
 - induzierte Mutation 143  
 - Permutation 78, 209  
 - Plus- und Minusmutation 185  
 - Punktmutation 144  
 - richtungslose Mutation 80, 209  
 - röntgeninduzierte Mutation 35, 140  
 - Spontanmutation 148, 182  
 - Transmutation 140, 142  
 - Zielgerichtetheit von Mutationen 141  
 - Zufallsmutationen 230  
 Mutations-/Selektions-Mechanismus 224  
 Mutationsfrequenz 137  
 Mutationsvorstellung 117, 132  
 Mutationszeitpunkt 226  
 mutative Inversion 199  
 mutative Veränderung 136, 142, 144, 213  
 Mutierbarkeit 148, 226  
 mutiertes Gen 142  
 Mutterzelle 65, 89, 111  
 Mythos, platonischer 234

## N

Nachbarschaftslage der Basen 177  
 Nachbarschaftslage des Gens 10, 137, 138, 202  
 Nachrichtentechnik 150, 216  
 nacktes Gen 143  
 Nägelis Hypothese 128  
 Nägelis Theorie 100  
 Nährplasma 83, 87  
 Nahrung 33, 53, 59, 60, 63, 73, 87, 100, 118, 130, 208, 229  
 namentliche Hypothesizität 54

Natur 16, 22, **31-34**, 38, **41-47**, 51, 57, 63, 68, 74, 79, **84f**, 89, 96, 101, 132, 150, 184, 190, 200, **207f**, 221, 223  
 - anorganische Natur 51, 63, 69, 149  
 - begriffliche Darstellung der Natur 46  
 - Beharrungsvermögen der Natur 118  
 - Einheit der Natur 41, 44, 46  
 - gesetzlich determiniert angesehene Natur 121  
 - Imitation der Natur 79, 223  
 - materielle Natur 49  
 - organische/ belebte/ lebendige Natur 31, 36, 44, 48, 63, 69, 199, 223, 225, 231  
 - Schriftnatur der Chromosomen 18  
 - teleologisch zielgelenkte Natur 117  
 - unbelebte Natur 149  
 - Zufallsnatur 120  
 Natur des Gens/ der Gene 26, 147, 154, 156, 196  
 naturalistisch 234  
 - naturalistischer Reduktionismus 223  
 Naturauffassung 43, 64  
 Naturbegriff 33, 85  
 Naturbeschreibung 41, 76  
 Naturerkenntnis  
 - apriorische Naturerkenntnis 44f  
 - Prinzipienlehre der Naturerkenntnis 149  
 Naturscheinungen 69  
 Naturgeschichte 41, 71, 76  
 Naturgesetz 43, 47, 55, 120  
 naturgesetzlich 90, 222  
 Naturgesetzlichkeit 76  
 naturimmanente Gesetzmäßigkeiten 33  
 Naturkonstante 51, 54  
 Naturkonzept, dynamisches 40  
 Naturkörper 44, 52, 64, 119  
 Naturkräfte 79  
 natürliche Hierarchie 61  
 natürliche Zuchtwahl 71, 72  
 Naturphilosophie 31, **39-46**, 45f, 49, 56, 67, 70, 207  
 Naturprodukt 44, 207  
 Naturreligion, pantheistische 61  
 Naturverständnis 31, 70  
 - modernes Naturverständnis 13, 53  
 Naturwissenschaft 5f, 14, 18, 31f, 36, 40ff, 46, 49, 50, 58, 69, 70, 76, 85, 192, 196, 234  
 - Einheit der Naturwissenschaften 51  
 - Geschichte der Naturwissenschaften 5, 8, 11, 116, 138  
 - monistische Naturwissenschaft 69  
 - spekulative Naturwissenschaft 76  
 - theoretische Naturwissenschaften 51  
 Naturwissenschaft des Lebendigen 112  
 naturwissenschaftliche Definition 133  
 naturwissenschaftliche Deutungsmuster 48, 71  
 naturwissenschaftliche Hierarchie 149  
 Naturzüchtung 88, 95  
 Naturzweck 207, 220  
 Nebenkeimbahnen 95  
 Negativkopie 193

Neukombination der Gene 132, 206  
 Neurospora 157, 218  
 Nichterblichkeit 201  
 Nichterblichkeit erworbener Merkmals-  
 änderungen 193  
 Nichtlebendiges, Charakteristika 224  
 Nisus formativus 74  
 Nobelpreis 138, 140, 148, 152, 161, 172,  
**187f**, 195  
 Nonsense 192  
 Nonsense-Codon 191  
 Nonsense-Triplett 184, **191**  
 notwendige Bedingung 57  
 Nuclein 15, 146  
 Nucleoprotein Nature of the Gene 154  
 Nuiklein 82  
 Nukleinsäure 11, 16, 23, 26, 76, 131, 146f,  
 153, 156, **159**, 162f, 166, 193, 196,  
 217ff, 222f  
 - Desoxyribonukleinsäure  
 11, 14, 36, **159-193**  
 - Pentosenukleinsäure 147, 217  
 - Ribonukleinsäure 27, 196  
 - Thymusnukleinsäure 153f  
 Nukleinsäuredoppelstrang 217  
 Nukleinsäurekette 65, 164, 166, 174, 177,  
 181, 193  
 Nukleinsäurekode 190  
 Nukleinsäuremuster 183  
 Nukleinsäureskelett 172  
 Nukleinsäurestrang 162, 168, 170, 177, 209  
 Nukleinsäurestruktur 26, 162, 171f  
 Nukleinsäuresynthese 162, 183  
 Nucleoprotein 15, 154ff  
 Nützlichkeitsprinzip 79, 80, 210

## O

Oberbegriff 41, 120, 125, 226  
 Oberflächenstrukturen von Zellen 193  
 Objekt 33, 44, 50, 85, 202, 203  
 - biologisches Objekt 203  
 - epistemisches Objekt 25f  
 - Forschungsobjekt 25  
 - hypothetisches Objekt 202  
 Objekte des Wissens 5  
 objektives Denken 45  
 Objektivitätsanspruch 234  
 Objektivitätsideal, empirisches 61  
 Ökonomie und politische Öffentlichkeit 230  
 Oligodaktylie 201  
 omnipotent 65, 97  
 Omnipotenz 97  
 Ontogenese 65, 74, 87, **90f**, 194, 200, 210  
 ontogenetisch 90  
 ontogenetische Eigenschaften 123  
 ontogenetische Arbeitsteilung 66, 208  
 ontologisch 23, 52, 203f  
 Operon 195  
 Ordnung 62, 73  
 - hierarchische Ordnung 199  
 - historische Ordnung 75  
 Ordnungsfaktor der Nachfrage 202  
 Ordnungsgefüge 15, 121, 197, 216, 224

Ordnungsprinzipien 27, 73, 149, 195, 199  
 Ordnungsverhältnis 85, 148  
 Ordnungszustand, thermaler 141  
 Organ 28, 37, 38, 50, 61, 73, 84, 86, 98,  
 108, 201, 207, 209, 235  
 - Zellorgane 98  
 - Zweck eines Organs 200  
 Organ der Anpassung 84  
 Organdifferenzierung 94, 97  
 Organellen  
 - Zellorganellen 98, 211  
 organisch 34, 37, 38, 44, 53, **56**, 61, **63f**,  
 69-72, 78, 79, 92, 100, 104, 176,  
 187, 192, 208, 211  
 - morphologisch-organische Struktur 132  
 organische Chemie 50, 51  
 organische Einheiten 56, 58, 207  
 organische Materie 50  
 organische Moleküle 7, 25, 152  
 organische Natur 44, 63, 69  
 organische Naturauffassung 43  
 organische Ordnungsprinzipien 195  
 organische Physik 51  
 organische Polarität 56, 207  
 organische Stofflichkeit 182, 194, 219  
 organische Substanz 92, 232  
 organischer Stoff 39, 63  
 organisiert 16, 38, **82f**, 89, 154, 210  
 - genetisch organisiert 120  
 - selbstorganisiert 118, 207, 224  
 organisierte Wesen 94  
 organisierter Molekülverband 78, 209  
 Organismus 13, 27, 28, 34, 38, 39, 47f, 55,  
 56, 58f, 73f, 78, 81, 82, 83f, 88, 95,  
 96, 100, 111, 113, 125, 126, 128,  
 132, 137, 138, 142, 144f, 148, 150,  
 151, 191, 193, 198, 201, **203f**, 214,  
 215, 224, 223, 231, 232, 235  
 - Biologie der Organismen 200  
 - Dynamik des Organismus 145, 215  
 - elementarer Organismus 65  
 - Elementarorganismen 62  
 - Entelechie der Organismen 235  
 - Grundkräfte der Organismen 47  
 - Kants Begriff des Organismus 207  
 - Konzept des Organismus 204  
 - Mikroorganismen 159, 190, 192  
 - Modell des Organismus 58  
 - Status des Organismus 203  
 - Wesen des Organismus 53, 79, 210  
 Organogenese 91  
 Ovisten 38

## P

Pädagogik 200  
 Paläontologie 59, 70, 188  
 Pangen 12, 22, 30, 88, 94, **96ff**, 99, **127f**,  
 130, 205, 206, 210, **211**  
 - Arten von Pangen 96f, 211  
 - Darwins Pangen 206  
 - Stammbaum der Pangene 97  
 Pangenese 57, 68, 77, 87, 99, 205  
 - intrazelluläre Pangenese 13, 94, 123

- provisorische Hypothese der Pangenesis 58, 60, 211
- Pangenesishypothese 77
- Pangenesislehre, Darwins 127
- Pangenesisprinzip 87
- Pangenesisvorstellung Darwins 62, 68, 99, 205
- pangenetisch 96
- pantheistisch 61
- Pan-Vorstellung 69
- Paradigma 17, 18, 88, 109, 136, 213, 215, 220, 221, 231
- paradigmatische Unterschiedslosigkeit 119
- paradigmatischer Wandel der Biologie 30
- Parasiten 39
- Partikel 26, 71f, 81, 96, 101, 130, 136, 207, 208, 210, 213, 231
  - chemisches Partikel 136, 213
  - Erbpartikel 100, 205
  - lebende Partikel 55
  - Materiepartikel 221
  - strukturidentisches Partikel 127, 205
  - Vererbungspartikel 61, 76, 205
- partikuläre Einheiten 60, 100, 116
- partikulärer Erbträger 54, 78
- pathogenetisch 194
- Pathologie 235
  - Zellulärpathologie 41, 58
- pathologisch 37
- peccatum originale 234
- Pentosenukleinsäure 147, 217
- Peptidkette 162, 166, 171, 191
- Peptidketten- u. Nukleinsäuresynthese, Hypothese 162, 183
- Perigenesis 61, 64, 67, 69
- Periodensystem 176
- Permutation 78, 209
- personale Würde 230
- personales Dasein 235
- Perspektive
  - chemisch-physikalische P. 216, 222
- petitio principii 29, 224
- Pflanze 30, 32, 34, 46, 47, 55, 95, 101, 104f, 108, 110, 113, 115, 119, 120, 130, 137, 143, 211, 212, 222,
  - Hybridpflanze 109, 117
  - Samen- oder Pollenpflanze 105, 113
  - Stammpflanzen 113
- Pflanzenhybrid 110
- Pflanzenreich 123, 154, 196
- Pflanzen- und Tierwelt 47, 154, 196
- Pflanzenvirus 154
- Pflanzenzüchtung, antike 19
- pflanzliche Zelle 37
- Phänotyp 126, 129, 131, 139, 195, 203, 215, 224, 231, 232
  - Genotyp und Phänotyp 26, 131, 209, 213, 215
- phänotypische Merkmalsdefinition 139
- Pharmaka 200
- Pharmazie 200
- philologisch 128, 130
- Philosophie 5, 7, **41f**, 43, 59
  - Experimentalphilosophie 49
  - Identitätsphilosophie 85
  - Naturphilosophie 31, 39, **41f**, 45f, 49, 56, 63, 70, 205
  - scholastische Philosophie 116
  - Wesens-Philosophie 116, 119
  - Wissenschaftsphilosophie 6
- Philosophie der Medizingeschichte 235
- Phosphatgruppe 164, 166, 168, 170, 172, 174
- Phylogenese 66, 74f, 88, 200, 210
- phylogenetische Frühgeschichte 98
- phylogenetische Gewebebildung 66
- phylogenetischer und kausaler Standpunkt 200
- phylogenetisches Entwicklungsprodukt 61
- phylogenetisches Gedächtnis 66, 73, 85, 208, 210
- Physik 25, 32, 41, 51f, 63, **101**, 133, 139, **143**, **148f**, 171, 188, 215f, 220
  - empirische Physik 44
  - energetische Begrifflichkeit der Physik 141
  - Energiegesetze der Physik 143
  - Genphysik 141, 214
  - mechanische Physik 48
  - organische Physik 51
  - statistische Physik 148
- Physik der Neuzeit 34
- physikalisch 10, 28, 36, **47f**, **51ff**, 63f, 66, 82, 85, 95, 100, 133, 141ff, **148f**, 151, 155, 160, 170, 199, 214ff, 220, 224f
  - biophysikalische Stringenz 150
  - chemikophysikalisch 101, 143, 215, 222
    - chemikophysikalisch gewonnene Gendefinition 143
    - chemikophysikalische Kausalität 145
    - chemikophysikalische Mechanismen 235
  - chemisch-physikalisch 34, 52f, 143, 194, 215f
    - chemisch-physikalische Kontinuität 151
    - chemisch-physikalische Perspektive 214, 222
    - chemisch-physikalische Reaktion 220
    - chemisch-physikalische Verursachung 149
    - chemisch-physikalischer Vorgang 82
    - chemisch-physikalischer Zusammenhang 53, 71
    - chemisch-physikalisches Gesetz 52
    - mathematisch-physikalisches Kalkül 151
  - physikalisch-biochemisches Verständnis 151
  - physikalisch-chemisch 13, 64, 120, 199
    - physikalisch-chemische Elementarvorgänge 64, 208
    - physikalisch-chemische Mechanismen 23
- physikalische Gentheorie 141
- physikalische Gesetze 71, 149, 216
- physikalische Kategorien 57
- physikalische Kräfte 47, 156
- physikalische Materialität 141, 214
- physikalische Mechanik 46, 49
- physikalische Molekularstruktur (sic!) 87
- physikalische Natur des Gens 26
- physikalische und biologische Wissenschaft 199

physikalisches Genkonzept 134  
 Physikalisierung 11, 24, 221  
 Physikalismus 48, 95  
 - funktionalistischer Physikalismus 188  
 physikochemische Gesetzmäßigkeit 170  
 Physikum 52  
 Physiologie 40, 42, **51**, 60, 63, 85, 108, 151  
 - Entwicklungsphysiologie 53, 11  
 - Genphysiologie 15, 141, 214  
 - innerstes Heiligthum der Physiologie 70  
 - Sinnesphysiologie 51  
 Physiologie des Gens 155  
 physiologisch 14, **51ff**, 58, **70f**, 80, 82, 142, 145, 188, 197  
 - Begriff des Physiologischen 57  
 - mechanisch-physiologische Theorie 70, 81  
 - molecularphysiologisch 71  
 physiologisch-chemisch 51  
 physiologische Auffassung 35, 145, 201  
 physiologische Chemie 16, 143  
 physiologische Einheiten 55, 57, 88, 100, 116, 207, 210  
 physiologische Funktion 108  
 physiologische Genetik 196  
 physiologische Theorie der Vererbung 197  
 physiologische Wirkung 203  
 physiologische Zweckmäßigkeit 201  
 physiologisierte Chemie 101  
 physisch 77  
 - metaphysisch 6, 31, 32, 33, 40, 41, 42, 46, 50, 61, 72, 77, 112  
 Plasma 61, 62, **72f**, 84, 85, 92, 98, **99f**, 137, 195, 204, 2087, 213  
 - Ahnenplasma 73, 74, 85, 86, 88, 210  
 - Anlageplasma 73, 74, 209  
 - Cyto-Idioplasma 84  
 - Cytoplasma 97  
 - Eizellplasma 211  
 - Ernährungsplasma 75  
 - Idioplasma 9, 25, 70, **72-76**, 79, 81, 82ff, 86, 89, 93f, 127, 128, 210f  
 - Keimplasma 13, 25, 85, **86-92**, 93ff, 96, 99, 113, 127, 138, 205, 209, 212, 213, 232  
 - Kernplasma 83, 86  
 - Nährplasma 83, 87  
 - Protoplasma 50, 61, **62f**, 74, 75, 81, 82, 94, 96, 97, 98, 211  
 - Somatoplasma 85, 95  
 - Stereoplasma 73  
 - Vererbungsplasma 75, 81, 83, 85, 151, 205, 210, 216  
 - Zellplasma 81, 84, 92  
 - Zytoplasma 16, 84, 85, 127, 147, 154, 183, 192  
 Plasmachemie 62  
 Plasmaelemente 99f  
 Plasmagene 98  
 Plasma-Moleküle 87  
 Plasmateilchen 73  
 Plasmatrophen 73  
 Plastide 60, 62, 66, 67f, 208  
 - Ei-Plastide 66  
 - Mutter-Plastide/ Tochter-Plastide 65  
 - Sperma-Plastide 66  
 Plastidul 61, **64-69**, 78, 100, 127, 205, 208  
 - Hypothese der Perigenesis der Plastidule 67  
 Plastidul-Bewegung 65-70  
 Plastidultheorie 89  
 platonischer Mythos 234  
 Platons Definition der Idee 45  
 Plus-/ Minusmutation 185  
 Poesie der Gesetzmäßigkeit 79  
 Poet 78  
 Polarität 16, 44  
 - organische Polarität 56, 207  
 Politik 200  
 Pollen 105, 109, 112, 117, 123, 212  
 Pollenform 109, 110, 212  
 Pollenzelle 111, **115**, 117, 212  
 Polygenie 203  
 Polymerisationsenzym 181, 191  
 Polypeptid 156, 196  
 Population 28f, 203  
 Positionseffekt des Gens 26, 138, 148, 202, 214  
 Potentia 61, 127  
 Potentiale 71  
 potentiell 85, 93, 116, 230  
 potentielle Energie 72  
 Präformation 38, 39, 68  
 Präformationstheorie 38  
 Prämisse 33, 41, 56, 60, 62, 80, 131, 221, 226  
 - mechanische Prämisse 74, 85  
 Prämisse der Evolutionstheorie 208  
 Prämisse der Vererbungslehre 149  
 Praxis 32, **33**, 114, 149, 224, 226, 234  
 - Begriff der Praxis 33  
 - Lebenspraxis 30  
 Prinzip 32, 44, 52, 88, 92, 111, 147, **149**, 151, 154, 181, 193, 200, 211, 212, 219, **222**, **224**, 226, 230  
 - Abstraktionsprinzip Gen 213  
 - bauliches Prinzip der DNS 172  
 - Bauprinzip 107, 188  
 - chemische und physikalische Prinzipien 151, 216  
 - Erblichkeitsprinzip Gen 221  
 - erblich verwandelndes Prinzip 159  
 - Erstprinzipien 196, 233  
 - Frageprinzip 149  
 - genetisches Prinzip 174, 209, 234  
 - Genprinzip 181, 216, 219  
 - heuristisches Prinzip 120  
 - Hierarchieprinzipien 107  
 - hierarchisches Prinzip 119  
 - konservatives und mutatives Prinzip 84  
 - kosmologisches Prinzip 23  
 - Lebensprinzip 225  
 - materialistische Prinzipien 75  
 - mechanistisches Prinzip 70f  
 - Nützlichkeitsprinzip 80  
 - Ordnungsprinzip 27, 73, 149, 195, 200  
 - organisierendes Prinzip der Biologie des 20. Jahrhunderts 9, 29  
 - Pangenesisprinzip 87  
 - regulatives Prinzip der Urteilskraft 220

- schaffendes (erzeugendes) Prinzip 132, 233
- Selektionsprinzip 198
- sich erschaffendes Prinzip 207
- stereochemisches Prinzip 26
- Strukturprinzip der DNS 174
- teleologisches Prinzip 44, 46, 207
- universelles Prinzip der Pflanzen und höheren Lebewesen 211
- vererbliches Prinzip 223
- vererbungsbestimmendes Prinzip 108
- Vererbungsprinzip Gen 224, 225
- Vervollkommnungsprinzip 71, 79f, 210
- verwandelndes Prinzip 159, 217
- vollkommenes biologisches Prinzip 161, 173, 184, 218
- Werdeprinzip Gen 137, 196
- Prinzip chemischer Bindung 217
- Prinzip der Causalität 79
- Prinzip der Erkenntnismethode 200
- Prinzip der Genkonkurrenz 210
- Prinzip der Komplementarität 152, 217
- Prinzip der Polarität 44
- Prinzip der Zweckmäßigkeit 206
- Prinzip des Gens 35, 147
- Prinzip identischer Reduplikation 90, 210
- Prinzip Nihilismus 119
- Prinzip Zelle 47
- Prinzipien der Biologie 55, 149
- Produktion, industrielle 227
  - Enzymproduktion 14, 195
  - Selbstreproduktion 52, 142, 143, 154, 156, 194, 215, 216, 219
- Protein 15, 16, 19, 23, 26, 27, 127, 146, 148, 152, 156, 159f, 172, 173, 190, 216, 217, 218, 223
  - biologische Spezifität der Proteine 152
  - Funktionsprotein 146, 196
  - Nucleoprotein Nature of the Gene 154
  - Nukleoprotein 154f, 156
  - Nukleoprotein-Hypothese 15
- Proteinfunktion 181
- Proteinspezifität 26, 191
- Proteinstruktur 26, 171f
- Proteinsubstanz, hypothetische 56
- Proteinsynthese 23, 155, 156, 162, 183, 186, 190
- Protoplasma 50, **61ff**, 74, 75, 81, 82, 94f, 96ff, 211
- Protozoen 37
- provisorische Definition des Gens 157, 218
- provisorische Hypothese Darwins 15, 58ff
- Psychologie 31, 52, 55, 200
- Psychologismus 49
- psychomorph 50
- Punktmutation 144
- Purinbase 161, 173, 177
- Purine/ Pyrimidine 77, 164
- Pyrimidinbase/ Pyrimidinbase 161, 173, 175, 177

## Q

Qualität 50, 88, 91, 95, 120, 127

- Lebensqualität 233
- Merkmalsqualität 142, 204
- metaphysische Qualitäten 77

qualitative Abgrenzung 108

qualitative Erkenntnisse 51

Quantensprünge 148

Quantität der Pangene 97

quantitativ **51**, 108, 142, 156, 162, 196

## R

ramifizierte Undulation 67

Randbedingungen 193, 219, 232, 233

Rassen 72

Reagibilität 126, 144

Reaktion 132, 164, 206, 227, **232**

- biochemische Reaktion 191, 226
- chemische Reaktion 146, 155, 156, 157, 195, 217, 226
- chemisch-physikalische Reaktion 219
- mechanische Reaktion 71
- metabolische Reaktion 147
- Stoffwechselreaktion 108

Reaktion zweier Genome 232

Reaktionsmuster 200

Reaktionsnorm 132, 206

- erbliche/ ererbte Reaktionsnorm 126

Reaktionsweisen 233

Realismus 6, 14, 15, **202**

- hypothetischer Realismus 202, 223
- Ideenrealismus 46
- interner Realismus 202, 203

Realität 132

- materielle Realität 138

Realitätsanspruch des Genkonzepts 202f

Realitätsauffassung 202

Rechnungseinheit 132

Recon 194

Reduktionsteilung 86, 122, 155

Reduplikation, identische 90, 184, 194, 210, 219

Reduplikationsvorgang 181

Regel 139, 149, 161

- Basenpaarungsregel 181
- Chargaffsche Regel 161, 173, 175
- Mendel-Regeln/ Mendelsche Regeln/ Mendelsche Erbgelgen 8, 12, 95, 106, 113, 135, 203
- Spaltungsregel 106, 110
- statistische Regeln von Wahrscheinlichkeiten 121
- Unabhängigkeitsregel 110, 113, 118, 134, 139
- Uniformitätsregel 106
- Zufallsregeln 113

Regelmäßigkeit 101, 112, 172, 173, 177

Regeln von Wahrscheinlichkeiten 110, 121

Regeneration 52, 55, 89, 94, 191

Regulation

- Gen-Regulation 20, 224

Regulation der Genfunktion 195

Reifeteilung 86, 155  
 reine Linie 112  
 Reiz 75  
 Rekombination 25, 26, 136, 139, 194, 213, 214  
 Rekombinationsfrequenz 139  
 Relativität 8, 101, 107, 144, 220, 222  
 Reorganisationen, innere 200  
 Reproduktionskraft der Plastide 208  
 Reproduktion 56, 59, 153, 199, 207, 217  
 - Selbstreproduktion 52, 142, 154, 156, 194, 215, 216, 219  
 Resistenz 200, 229  
 - Immunresistenzen 221  
 Resistenzentwicklung 199  
 Restitutio ad integrum 194  
 rezessiv 107, 110, 113, 116, 142  
 Rezessivität 91, 107, 116, 226  
 Ribonukleinsäure 27, 183, 186, 196  
 Ribose 168, 172, 173  
 Ribosenukleinsäure 27  
 Ribosenukleotid 154  
 Riboseringe 172  
 Ribosezucker 168  
 Ribosom 192  
 richtungslose Mutation 80, 209  
 Riesenchromosom 136, 147, 213, 217  
 Rivalität, darwinistische 129  
 RNA/ RNS 23, 169, 183, 186, 190, 191, 192  
 - Boten-RNS 191, 192  
 - m-RNS 192, 211  
 - r-RNS 211  
 - t-RNS 192, 211  
 - Transport-RNS 190, 192  
 RNS-Ketten 173  
 Röntgenanalyse 173, 189  
 röntgeninduzierte Transmutation 140  
 Röntgenkristallographie 187  
 Röntgenstrahlen 26, 133, 140f, 162, 214  
 Royal-College 171  
 Royal Society 7, 37, 81, 147  
 Rubor 194  
 Rückkoppelungseffekte 197  
 Rückkopplungsmodell 145

## S

Same 38, **68**, 105, 112, 212  
 Samenfaden 82  
 Samenkern 81, 98, 122  
 Samenpflanze 105, 113  
 Samentierchen 37  
 Säure 153, 174, 217  
 Säure und Base 226  
 Schaltgene 199  
 Schöpfung 227  
 Schrift 18, 150, 234  
 - Abschrift 150  
 - kodesgemäße Vorschrift 150  
 - Urschrift 150  
 Schriftnatur der Chromosomen 18  
 Seele 38, 61, 234f  
 - Atom-Seele 64, 208  
 - Geistseele 235

- Tier- oder Pflanzenseele 50  
 segmentale Einheit 144, 215  
 Sein 92, 112, 227, 234  
 - materielles Sein 79  
 - Selbstsein 85, 221, 230, 232  
 Selbst 85, 142  
 - Von-Selbst 195  
 selbständige Einheiten 94  
 selbständige Individuen erster Ordnung 62  
 selbständige Moleküle 230  
 selbständige Substanz 9  
 selbständige Teilchen 60  
 selbständige Zustände 128, 206  
 selbständiges Leben der Zellen 48  
 Selbstbefruchtung 104, 106  
 Selbstbewegtheit 224  
 Selbsterfahrung 85, 227, 234  
 Selbsterhalt 194, 219, 221  
 selbsterhaltend 132, 206, 221  
 Selbsterhaltung 52, 151  
 Selbsterhaltungstendenz 170  
 Selbsterleben 220  
 Selbstorganisation 118, 220, 224  
 Selbstreferenz 184  
 Selbstreplikation 147  
 selbstreplikativ 144, 215  
 Selbstreplikativität 36, 225  
 Selbstreproduktion 52, **142**, 154, 156, 194, 215, 216, 219  
 Selbstreproduktivität 142, 154, 214, 224  
 selbstreproduzierende Elemente 154  
 Selbstsein 85, 221, 230, 232  
 selbstselektiv 142  
 Selbstselektivität 36, 143, 215  
 - synthetische Selbstselektivität 143, 214  
 selbsttätige Wirkkräfte aus Natur 33  
 Selbstteilung/Selbsttheilung 59, 60  
 Selbstverdopplung 36, 156, 174, 177, 218  
 Selbstverdopplungsmechanismus 173, 177  
 Selbstverständnis des Menschen 29, 188  
 Selektion 54, 58, 59, 60, 87, 88, 132, **198**, 199, 210, 230  
 - Hyperselektionismus 198  
 Selektionshypothese Darwins 71, 231  
 Selektionsprinzip 198  
 Selektionsvorteile 85  
 Sexualelemente 59  
 Sinn 65, 68  
 Sinnesphysiologie 51  
 Sinngelbilde 5, 6  
 soma 126  
 somatische Bahn 95  
 somatische Zweige 95  
 Somatoplasma 85, 95  
 Soziologie 55, 200  
 Spalthand 201  
 Spaltungsgeneration 106  
 Spaltungsgesetz der Bastarde 123  
 Spaltungsregel 106, 110  
 Species 55, 97, 141, 160f, 184, 186, 188  
 (vgl. Spezies)  
 Specieseigentümlichkeit 84  
 specificity  
 - biological specificity 159  
 - genetic specificity 181, 219

spekulativ 9ff, 27, 28, 30, **35**, 41, 54, 56,  
 132, 138, 151, 175, 202, 206, 212,  
 213, 216, 218, 221, 223  
 spekulative Naturwissenschaft 76  
 spekulative Vererbungslehren 35  
 spekulativer Artenwechsel 140  
 Spermakern 82f  
 Sperma-Plastide 66  
 Spermatozoen 37, 39  
 Spermazelle 39, 66  
 Spezies 160, 211 (vgl. Species)  
 Spezifität **23**, 26, 48, 157, 159, 177, 190,  
 216, 218  
 - Aminosäurespezifität 173  
 - Basenspezifität 29, 181  
 - biologische Spezifität **16**, 23, 26, 152,  
 157, 159, 215, 216  
 - chemische Spezifität 26  
 - Enzymspezifität 164f  
 - Genspezifität, chemische 173  
 - Konzepte der Spezifität 23  
 - Proteinspezifität 191  
 Spezifität biologischer Funktionen 152  
 Spezifität der Antikörperbildung 152  
 Spezifität der Proteine 26, 217  
 spontan 135, 139, 156, 214  
 Spontanität 29, 142, 226  
 Spontanereignis 144  
 Spontanmutation 141, 143, 148, 182  
 Sprache  
 - Fachsprachen 52  
 - Kodesprache 191  
 - Wissenschaftssprache 61  
 Sprachgebrauch 150  
 - wissenschaftlicher Sprachgebrauch 27  
 Sprachregelung 150  
 Stäbchen im Zellkern 126f, 144  
 Stabilität des Gens 22, 134, 215  
 Stammarten 111  
 Stammbaum 97, 98  
 Stammbaum der Abstammung, darwinscher  
 67  
 Stammeigenschaften 105  
 Stammzellen, embryonale 229  
 Stammzell-Leukämie 183  
 Standard-Konfiguration 168, 169, 177  
 statistisch 33, 104f, 107, 110, 111, **120f**,  
 148, 193, **198f**, 219  
 statistische atomistische Auffassung 198  
 statistische Gesetzmäßigkeit 148  
 statistische Merkmalsanalyse 35, 112  
 statistische Merkmalsauffassung 120  
 statistische Methode 200f  
 statistische Physik 148  
 statistische Quantifikation 25  
 statistische Regeln 121  
 statistische Strukturgesetzlichkeit 232  
 statistisches Denken 198  
 statistisches Genkonzept 134, 198  
 Status des Organismus 203  
 Stellung des Menschen 234  
 Sterblichkeit 151  
 Stereochemie 162, 170  
 stereochemisch 26, 153, 169, 171, 175,  
 176, 177  
 stereochemische Beschreibung 190  
 Stereokomplementarität 152  
 Stereoplasma 73  
 Steuerung von Enzymen 14, 153  
 Stickstoffbasen 172  
 Stoff 39, 61, **63**, 70, 72, 75, 78, **82f**, 92,  
 131, 142, 145, 146, 155, 156, 209,  
 207, 216, 227  
 - eiweißartige und zuckerartige Stoffe 79  
 - Vererbungsstoff 72, 77, 81, 83, 127  
 - - Enzymtheorie des Vererbungsstoffs 15  
 stoffliche Differenzierung 215  
 stoffliche Einheiten 138, 188, 213  
 Stofflichkeit 34, 131, 170  
 - belebte/ lebende Stofflichkeit 8, 143, 151  
 170, 224  
 - biochemische Stofflichkeit 29, 215  
 - chemische Stofflichkeit 224  
 - Metaphysik der Stofflichkeit 101  
 - organische Stofflichkeit 182, 194, 219  
 - unbelebte Stofflichkeit 36, 46, 118, 143,  
 170, 207, 215  
 Stoffwechsel 14, 34, 84, 89, 118, 156, 211,  
 225  
 - Chromosomenstoffwechsel 154  
 - Eiweißstoffwechsel 154  
 - Zellstoffwechsel 184  
 Stoffwechsellieferbedingungen 145  
 Stoffwechsellieferkrankungen 156, 217  
 Stoffwechselreaktion, biochemische 108  
 Stoffwechselvorgänge 51, 133  
 Strahlenenergie 148  
 struggle for life 57, 60, 111, 118, 170, 208,  
 222  
 Struktur  
 - Chromosomenstruktur 144, 153, 217  
 - DNS-Struktur 21, 23, 161, 168, 171, 183,  
 189  
 - molekulare Struktur 16, 152  
 - morphologisch-organische Struktur 132  
 - Nukleinsäurestruktur 26, 162, 171f  
 - Oberflächenstrukturen 193  
 - Proteinstruktur 26, 171  
 Strukturelemente 52, 157  
 Strukturformel 175, 218  
 Strukturgene 20, 195  
 Strukturgesetzlichkeit, statistische 232  
 strukturidentische Partikel 127, 205  
 Strukturmodell der DNS 161, 218  
 Strukturprinzip der DNS 174  
 Subjektivität 51, 188  
 Submolekulares 199  
 Substantialität, 131, 136, 156, 213  
 Substanz 10, 57, 71, 77f, 83, 88, 117, 119,  
 128, 144, 146, 151, 154, 162, 183,  
 187, 188, 195, 205, 208-211  
 - Anlagesubstanz 75  
 - anorganische Substanzen 140  
 - Bausubstanz 125, 153, 154, 196  
 - belebte/lebende/lebendige Substanz 31,  
 50, 55, 72, 151, 184, 187, 216  
 - biochemische Substanz 14, 217  
 - biologische Substanzen 152  
 - chemische Substanz 142, 181, 219  
 - chromatische Substanz 134

- contractile Substanz 62
- Dottersubstanz 83
- erbliche Substanz 95
- Erbsubstanz 9, 16, 25, 74, 87, 140f, 146, **152ff**, 161, 170, 171, 173, 177, 183, 188, 191, 217, 218
- funktionelle Substanz 153
- Gensubstanz 15, 152, 153, 161, 173
- Grundsubstanz 127, 230
- induzierende Substanz 159
- Keimsubstanz 78
- Kernsubstanz 39, **82f**
- Körpersubstanz 25, 85, 146
- molekulare Substanz 128
- Nervensubstanz 76
- organische Substanz 92, 232
- Proteinsubstanz, hypothetische 56
- unbelebte Substanz 101, 119, 143, 151
- Vererbungssubstanz 18, 91, 93, 100
- Virussubstanz 162
- Substanz der Gene 196
- Substanz der Vererbung 93
- Substanz des Keimplasmas 91
- Substanzbegriff 72, 225
- Substanzgebundenheit 225
- Substanziierung 222
- Substanzlehre, Aristoteles 116
- Symbol 77, 93, 209
- Symbolisierung 25
- Symptom
  - Kardinalsymptome 194
- Symptomatik 194
- symptomatisch therapierbar 196
- Syndaktylie 201
- Synthesemodell des Eiweißaufbaus 166
- synthetisch 190
  - autotroph 199
- synthetische Selbstselektivität 143, 215
- System 25, 27, 35, 41, 44ff, 55, 129, 152, 188, 191, 200, 204, 217, 220
  - biologische Systeme 203
  - Entwicklungssystem 28, 44, 198, 220
  - Experimentalsystem 25, 28, 223
  - genetisches System 156, 198
  - hierarchisches System 198
  - Identitätssystem 44
  - idioplasmatisches System 76
  - Immunsystem 193
  - männliches System/ weibliches System 81
  - Modifikationssysteme 198
  - Organsystem 28
  - Regelsystem, genetisches 196
  - zellfreies System 190f
- System der Endprodukthemmung 195
- System der Natur 41
- System des Eiweißaufbaus 162
- System dynamischer Leitungen 76
- Systemcharakter des Gens 27
- Systeme verbundener Gene 198
- Systemgedanke 25, 52

## T

Tabakmosaikvirus 186, 192

- Tätigkeit 58, 73, 98, 211
  - Bautätigkeit 66
  - Zelltätigkeit 96
- Tätigkeitselement 58
- Tätigkeitszentrum 57, 60
- Taufliege 35, 133, 135, 136, 213
- Technik 17, 20, 22, **33f**, 50, 102, 227
  - Bestimmungstechnik 139, 214
  - Nachrichtentechnik 150, 216
  - Röntgenkristallographietechniken 187
  - Untersuchungstechnik 133
- technisch 16, 32, 34, 50, 223, 233
  - gentechnisch 35, 114, 226
- technische Schicksalshilfe 233
- technisches Fortpflanzungsverhalten 233
- technomorph 50, 230, 233
- Teilchen 54, 60, 67, 69, 71, 78, 208, 231
  - Elementarteilchen 6, 53
  - Erbteilchen 91, 210
  - kleinste belebte Teilchen 101
  - Körpertheilchen, kleinste 64
  - Lebensteilchen 64, 88, 210
  - Plasmateilchen 73
- Teleogonie 131
- Teleologie 6, 69, 232
  - teleologisch 6, 47f, 51, 79, 90, 117, 119, 121, 131, 222
  - teleologisches Prinzip 44, 46, 207
- Tendenz 44, 118f, 142, 151, 221
  - angeborene Tendenz 55
  - Selbsterhaltungstendenz 170
  - vererbliche Tendenzen 134
  - Vererbungstendenzen 86, 87
  - Wachstumstendenz 93
  - Zieltendenz 80
- Terminus 14, 125, 133, 206
- Terminus Biologie 31, 35
- Terminus Gen 8, 12, 115, 120, 131, 221f
- Terminus Genetik 39
- Terminus genetisch 39
- Terminus Kybernetik 24
- Terminus Merkmalseinheit 205
- Terminus organischer Polarität 56, 207
- Terminus Selbstorganisation der Materie 118
- Terminus technikus 125, 222
- Tetradenfäden 81
- Theorie (grundsätzlich) 5f, 11, 18, 15, 33, 52, 54, 72, 100, 119, 125, 136, 189, 197, 198, 203
  - Anlagetheorie 93
  - Chromosomentheorie 10, 17, 19, 25, 136
  - - Chromosomentheorie der Vererbung 12, 17, 18, 35, 87, 131, 133, 136, 156, 214
  - - Chromosomentheorie des Gens 10, 143, 147
  - Deszendenztheorie 182, 184, 188, 191
  - Enzymtheorie des Vererbungsstoffs 15
  - Erkenntnistheorie 5
  - Evolutionstheorie 9, 17, 29, 31, 53, 59, 62, 195, 208
  - - Darwins Evolutionstheorie 60
  - - neodarwinistische Evolutionstheorie 18
  - - Prämisse der Evolutionstheorie 60, 208

- Gentheorie 13, 15, 96, 141, 199, 214
- - dynamische Gentheorie 145
- - klassische Gentheorie 10, 199
- - physikalische Gentheorie 141
- Haeckels Theorie 67
- Hilfstheorie der Deszendenztheorie 199
- Idioplasmatheorie 9, 77
- Keimbahntheorie 22
- Keimplasmatheorie 13
- mechanisch-physiologische Theorie 70, 81
- Mendels Theorie 58, 116, 139, 144
- Molecular-Theorie, genetische 64
- Nägelis Theorie 100
- naturwissenschaftliche Theorie 66
- Perigenesis-Theorie 69
- physiologische Theorie der Vererbung 197
- Plastidultheorie 89
- Präformationstheorie 38
- Vererbungstheorie 25, 58, 82, 86, 93, 124, 130, 199
- Wissenschaftstheorie 5, 17, 29
- Zelltheorie 17
- Theorie Darwins 15, 54, 57, 59, 103, 110, 210
- Théorie de la Chiasmotypie 134
- Theorie der Befruchtung und Vererbung 92
- Theorie der Medizin 235
- Theorie der Plasmagene 98
- Theorie der Plastide 60
- Theorie der Vererbung 61, 130, 194, 220, 231 (vgl. Vererbungstheorie)
- Theorie der Zelle 47
- Theorie der Zeugung 62
- Theorie des Gens 141, 144, 188, 230
- Theorie des Keimplasmas 88, 94
- Theorie multipler Allele 138, 214
- Theorie richtungsloser Mutation 80, 209
- Theorie von Evolution 234
- Theoriebildung 5, 119
- Theorem, Darwins 9, 53
- theoretisch
  - erkenntnistheoretisches Programm 41
  - evolutionstheoretisch 55, 227
  - wissenschaftstheoretisch 5, 18, 56
- theoretische Naturwissenschaften 51
- theoretische Objekte 203
- Therapie 30, 130, 229
- Therapieziecke 229
- thermaler Ordnungszustand 141
- These von der Kontinuität des Keimplasmas 91
- Thymin 160, 173, 175, 177
- Thymusmukleinsäure 153, 154
- Tierart 60, 99
- Tierexperimente 51
- Tochtergen 142, 214
- Tochteride 89, 209
- Tochter-Plastide 65
- Tochterzelle 39, 65, 86, 89, 91, 96, 98, 127, 154, 194, 211, 219
- Transcendentales der Formbildung 100
- Translokation 138
- Transmutation 140, 142
- Transportmolekül 186
- Transport-RNS 190, 192

- Transversion 138
- Transzendenz 71
- Trinity College 148
- Triplet 184f, 196
- Basentriplett 36, 78, 184, 190, 191, 196
- Nonsense-Triplett 184, **191**
- Tripletfolge 185
- triplettweise Ablesung 186
- Tumor 194
- Tumorforschung 159

## U

- Überlebensmaschine 230
- überschwengliche Vernunft 234
- Übertragungsweise, dynamische 99, 211
- Ultraviolettanalyse 147
- Umgebung 33, 80, 198, 224
- Umgebung der Micellreihe 75
- Umgebungseinfluss, genetischer 203
- Umwelt 28, 34, 54, 142, 187, 201, 203, 214, 224
- Umwelteinfluss 57, 101, 193, 202, 219
- Um-zu-Erklärung 80
- unabhängige Einheit 196
- Unabhängigkeit der Merkmale 122, 123
- Unabhängigkeitsregel 110, 113, 118, 134, 139
- unbelebte Körper 150
- unbelebte Natur 149
- unbelebte Stofflichkeit 36, 46, 118, 143, 170, 207, 215
- unbelebte Substanz 101, 119, 143, 151
- unbewusstes Gedächtnis
  - der lebenden Materie 65, 208
- Undulation, ramifizierte 67
- unidirektionaler Informationsfluss 97, 127
- uniform 106, 112
- Uniformitätsregel 106
- Universalität 190, 191
- Universalität des Kodes 190
- universalmechanistisches Verständnis 69
- unorganisch 44, 71, 72
- unorganisierte Materie 73
- unsterblich 85
  - potentiell unsterblich 85
- Unsterblichkeit 86
- Untereinheiten 55, 88, 120, 121, 198, 210
- Unverborgenheit 33
- unwissenschaftlich 79
- Urhebung der Bewegungen 109
- Urkeimzelle 91, 155
- Ursache 31, 34, 49, 63, 66, 67, 69, 72, 136, 194, 203, 215, 219, 220
  - Bewegungsursache 44
  - biologische Ursache 14
  - Erbürsache 121, 205, 212
  - erste Ursachen von Leben 143
  - genetische Erstursache 203
  - genetische Ursache 127
  - innere Ursache und äußere Erscheinung 109, 131, 222
  - Materialursachen 75

- materielle Ursache der Individualität 193, 219
- Wirkursache 43, 121, 139
- Ursache und Wirkung 70
- Ursache-Wirkung-Zusammenhang 34
- Ursächlichkeit 50, 121
- Bewegungsursächlichkeit 44, 50
- teleologische Ursächlichkeiten 222
- Wirkursächlichkeit 35, 182, 219, 220
- Zweckursächlichkeit 101
- Ursächlichkeit der Vererbung 111
- Ursächlichkeit von Art- u. Eigenschaftsbildung 151, 216
- Ursächlichkeitsverständnis 219
- Urschleim 62f
- Urschrift 150
- Urzeugung 62, 63, 79, 83

## V

- Vacuolen 98
- Valenzwechsel 201
- Variabilität 26, 57
- Variation 58, 59, 86, 87f, 105, 125
- Veränderlichkeit 143, 151, 225
- Veränderlichkeit der Baupläne der Lebewesen 184
- Veränderlichkeit der Nachkommen 115
- Veränderlichkeit der tierischen und pflanzlichen Arten 39
- Veränderung 25, 57, 59, 75, 136, 137, 151, 213, 232
- adaptive Veränderungen 200
- dauerhafte Veränderungen 141
- diskontinuierliche sprunghafte Veränderung 80
- erworbene Veränderung 86
- evolutionäre Veränderung 198
- konstant reproduzierbare Veränderungen 159
- mutative Veränderung 136, 142, 144, 213
- vererbliche Veränderung in der Erbsubstanz Gen 140
- Wurzel der Veränderungen 88
- Veränderung der Arten 58
- Veränderung der Erbeinheiten 12
- Veränderung der erblichen Elemente in den Keimzellen 140
- Veränderung des Gens 142, 148
- vererblich 25, 140, 159, 201, 212
- vererbliche Tendenzen 134
- vererbliches Prinzip 223
- Vererbung
- Biologie der Vererbung 140, 143
- Chemie der Vererbung 14, 159
  - Chromosomentheorie der Vererbung 12, 17, 18, 35, 87, 131, 133, 197, 214
- Einheit der Vererbung 60, 157, 202, 203, 218
- Faktor der Vererbung 85, 90

- Gentheorie der Vererbung 136, 197
- geschlechtsgebundene Vererbung 136, 213
- Grundeinheit der Vererbung 137, 215
- Kausalvorstellungen der Vererbung 121
- Modell der Vererbung 201
- Theorie der Vererbung 61, 130, 194, 220, 231
- - physiologische Theorie der Vererbung 197
- Ursächlichkeit der Vererbung 111
- Wesen der Vererbung 55
- Wissenschaft der Vererbung/ Vererbungswissenschaft 8, 12, 111, 115
- zytologisches Bild der Vererbung 122
- Vererbung als ein selbständiges Prinzip 39, 111
- Vererbungsauffassung 27, 72, 100, 115, 128
- Vererbungsbegriff 76, 115
- vererbungsbestimmendes Element 57
- vererbungsbestimmendes Prinzip 108
- Vererbungsbiologie 114
- Vererbungseinheit 116, 127, 138, 213
- Vererbungselement 109
- Vererbungserscheinungen 104
- Vererbungsfaktor 110, 112, 201
- Vererbungsforschung 16, 94, 95, 109, 120, 199
- Vererbungskonzept, klassisches 197
- Vererbungskunde, zytologische 126
- Vererbungslehre 11, 12, 48, 71, 72, 93, 124, 126, 224, 232
- biologische Vererbungslehre 17, 31, 32
- experimentell entwickelte Vererbungslehre 102
- frühe Vererbungslehre 17
- Geburt der Vererbungslehre 17
- Geschichte der Vererbungslehre 11, 35
- mechanisch-materialistische Vererbungslehre 94
- Mendels Vererbungslehre 102, 201, 202
- Prämissen der Vererbungslehre 149
- spekulative Vererbungslehren 35
- Vererbungsleistung 75, 145, 215
- Vererbungsmechanismus Darwins 92
- Vererbungspartikel 61, 76, 205
- Vererbungsplasma 75, 81, 83, 85, 151, 205, 210, 2165,
- Vererbungsregeln Mendels 12, 95
- Vererbungsstoff 77, 81, 83, 127, 208
- Enzymtheorie des Vererbungsstoffs 15
- Vererbungsstück 89
- Vererbungssubstanz 18, 91, 93, 100
- Vererbungstendenzen 86, 87, 97
- Vererbungstheorie 25, 58, 82, 86, 93, 124, 199
- Vererbungsträger 54, 64, 65, 89, 99, 100, 116, 127 (vgl. Erbträger)
- Verhalten von Mensch zu Mensch 232
- Vermehrung 60, 67, 89, 96, 118, 120, 194, 219, 230
- Vermehrungsfähigkeit 77
- Vermehrungsmechanismus 152
- Vermittlungszelle 111

Vermögen 95, 142, 214  
 - Aktivierungsvermögen von Entwicklungen 137, 215  
 - Beharrungsvermögen der Natur 118  
 - distincte Vermögen 25  
 Vernunft  
 - absolute Vernunft 46  
 - instrumentelle Vernunft 234  
 - kritisch gereinigte Vernunft 234  
 Vernunft in der Natur 46  
 Verstehen, dynamisches 199  
 Vervollkommungsprinzip 71, 79, 80, 210  
 Vielzeller 91  
 Virus 160, 162, 218  
 - Pflanzenvirus 154  
 - Tabakmosaikvirus 186, 192  
 Virus-DNS 160  
 vitalisiertes Molekül 56, 207  
 vitalistisch 48, 89  
 vollkommenes biologisches Prinzip 161, 173, 184, 218  
 Von-Selbst 195  
 Voraussetzung 28, 33, 47, 70, 100, 121, 184, 209, 215  
 - moderne Voraussetzung 221  
 - physikalisch-chemische Voraussetzungen 199  
 Voraussetzung apriorischer Naturerkenntnis 44  
 Voraussetzung des biochemischen Modells 9  
 Voraussetzung des epistemischen Objekts Gen 26  
 Voraussetzung des Modells von Watson und Crick 165  
 Voraussetzung physikalischer Materialität 141  
 Voraussetzungen des Genbegriffs 11, 14  
 Vorbegriff, biologischer 151, 216  
 Vorbegrifflichkeit 23, 35  
 vorbiologische Evolution 143  
 Vorgeschichte des Genbegriffs 22  
 Vorstellung und Begriff eines Plasmas 92  
 vorwissenschaftlich 130, 150

## W

Wachstum **48**, 60, 75, 85, 89, 96, 143, 144, 150, 199, 215  
 Wachstumstendenz 93  
 Wahrheit 21, 22, **33**, 43, 45, 227  
 - Bewahrheitung 7  
 Wahrheitsannahmen 33  
 wahrheitsfähig 223  
 Wahrheitsfindung, Mittel 200  
 Wahrheitsfrage 6  
 Wahrheitskriterium 5, 215  
 Wahrheitsmodell 188  
 Wahrscheinlichkeit 43, 110, 113, 121  
 Wasserstoffatom 174, 176, 214  
 Wasserstoffbindung, Gesetz der W. 174f

Wasserstoffbrücke 152, 153, 172, 175, **176f**  
 Wechselwirkung 16, 23, 84, 187, 222, 224  
 - konkurrierende Wechselwirkung 228  
 - lebendige Wechselwirkung 109, 120  
 Wechselwirkungen kurzer Distanzen 155  
 weibliches System/ männliches System 81  
 Wellenbewegung 67f  
 Weltäther 93  
 Weltbild 53, 60, 63  
 Wesen 45, 53, 68, 79, 128, 197, 227  
 - biologisches Wesen 112  
 - lebendiges Wesen/ lebendes Wesen 36, 70, 129  
 - organisierte Wesen 80, 94  
 - sich selbst organisierendes Wesen 220  
 Wesen der Keimplasmamoleküle 87  
 Wesen der Vererbung 55  
 Wesen des Erbfaktors 114  
 Wesen des Organismus 53, 71, 78, 79, 208, 210  
 Wesen im Stoff 72, 209  
 Wesensbegriff 86, 119  
 Wesens-Philosophie 116  
 Wettbewerb 53, 193, 198  
 - darwinistischer Wettbewerb 85  
 Wirklichkeit **14**, 21, 33f, **45f**, 49, 203, 221  
 - materialistische Formulierung der W. 49  
 - Unterscheidung Wirklichkeit-Möglichkeit 97, 116  
 - wissenschaftliche Formulierung der W. 93  
 Wirklichkeitsauffassung 14  
 Wirkung  
 - dynamische erste Wirkung 84  
 - Elementwirkung 109  
 - Enzymwirkung 152, 168  
 - erbliche Wirkung 132, 137, 215  
 - Genwirkung 14, 20, 132, 156, 182, 196, 219  
 - - Dogma der Genwirkung 193  
 - idioplastische Wirkung 93f  
 - molekularbiologische Wirkungen 203  
 - physiologische Wirkung 203  
 - Ursache und Wirkung 70f  
 - Wechselwirkung 16, 84, 120, 222, 224, 228  
 - zielstrebige Wirkung 37  
 Wirkungsmechanismen 139  
 Wirkursache 43, 121, 139  
 Wirkursächlichkeit, eigenständige 35  
 Wirkursächlichkeit von Genen 35, 182, 219  
 Wirkweise nach Zwecken 100  
 Wirtschaft 227  
 wirtschaftlich 23, 50  
 Wissenschaft **5f**, 20, 30, 46, 50, 70, 76, 79, 111, 133, 143, 187, 220f, 226, 227, 230, 231, 233  
 - benachbarte Wissenschaften 133  
 - biologische Wissenschaften 32  
 - Computerwissenschaft 150  
 - empirische Wissenschaften 46  
 - Grundlagenwissenschaft 39, 50, 52, 101  
 - Hilfswissenschaften der Physiologie 70  
 - Leitwissenschaft 130, 133

- Naturwissenschaft **5f**, 14, 18, 31, 32, 36, **40ff**, 49, 50, 51, 69, 70, 76, 192, 196, 234
- physikalische und biologische Wissenschaft 199
- Vererbungswissenschaft 8, 11, 12, 115
- Wissenschaft Biologie 31
- Wissenschaft der Genetik 120, 125f, 129, 139, 196, 213, 226
- Wissenschaft der Materie 149
- Wissenschaft der Natur 33
- Wissenschaft der Vererbung 109, 111, 129
- Wissenschaft des Lebendigen 35, 149, 220
- Wissenschaft Mechanik 70
- Wissenschaft vom Menschen 52
- wissenschaftlich
  - fachwissenschaftlich 52, 233
  - geisteswissenschaftlich 200
  - kulturwissenschaftlich 6
  - naturwissenschaftlich
    - naturwissenschaftlich definierter Gegenstandsbereich 223
    - naturwissenschaftliche Deutungsmuster 71
    - naturwissenschaftliche Hierarchie 149
    - naturwissenschaftliche Methode 42
    - naturwissenschaftliche Theorie 66
    - naturwissenschaftlicher Blick 221
  - neuzeitliche wissenschaftliche Vorstellung von Materie 151
  - unwissenschaftlich 79
  - vorwissenschaftlich 130, 150
- wissenschaftliche Abstraktion 225
- wissenschaftliche Begriffsbildung 19
- wissenschaftliche Definitionen 133, 220
- wissenschaftliche Disziplin 32, 50, 76, 215
- wissenschaftliche Erkenntnis 5
- wissenschaftliche Formalisierung 93, 107
- wissenschaftliche Formulierung der Genvorstellung 136
- wissenschaftliche Fragestellung 223
- wissenschaftliche Genetik 127
- wissenschaftliche Genvorstellung 229
- wissenschaftliche Leitbilder 221
- wissenschaftliche Revolution 227, 229
- wissenschaftliche Terminierung 129
- wissenschaftliche Vorstellung von Materie 151
- wissenschaftliche Vorstellung von Vererbung 78
- wissenschaftliche Willkür 120
- wissenschaftlicher Sprachgebrauch Gen 27
- wissenschaftliches Experiment 33, 200
- wissenschaftliches Modell 203, 221ff
- wissenschaftliches Wahrheitskriterium 5, 215
- wissenschaftliches Ziel, neues 64
- Wissenschaftsdifferenzierung 52, 221
- Wissenschaftsgeschichte 5, 7, 8, 22, 24, 59, 131
  - Max-Planck-Institut für Wissenschaftsgeschichte 8, 22
- wissenschaftshistorisch 24, 41, 133
- Wissenschaftsphilosophie 6
- Wissenschaftssprache 61
- Wissenschaftsterminologie 150

- Wissenschaftstheorie 5, 12, 29
- Wissenschaftsverständnis 41, 223
- Wort 524, 128f
- Wortwahl 18, 129, 150
  - Wortwahl Gen 25, 129
- Wunder 79

## Z

- Zahlenkonstanz der Chromosomen 127
- Zahlenverhältnis 51, 105, 106, 107, 122
  - Mendelsche Zahlenverhältnisse 113
- Zellaktivität 27, 136, 145, 213
- Zellbegriff 37
- Zelle 28, 41, **47f**, 56, 59, 60, 66, 73ff, 79, 81, 85f, 91, 94f, **96ff**, 99, 111, 115, 117, 140, 144, 145, 147, 149, 154f, 183, **199f**, 203f, 205, 208, 209, 211ff, 215
  - Eizelle 38, 39, 66, 87, 81, 84, 93, 123
  - embryonale Stammzellen 229
  - Fortpflanzungszellen 88, 111, 113, 210
  - Geschlechtszellen 82, 111, 126
  - Keimbahnzellen 95
  - Keimzelle 35, 38, 74, **86ff**, 91, 95, 96, 105, 109, **111ff**, 117, 122, 130, 133, 134, 137, 140, 143, 144, 210, 212, 214, 215
  - Keim- und Pollenzelle 111, 115, 117, 212
  - Körperzelle 25, 88, 99, 195, 210
  - Metabolismus der Zelle 189
  - Mutterzellen 65, 89, 111
  - Oberflächenstrukturen von Zellen 193
  - ontogenetische Arbeitsteilung der Zellen 66, 90, 208
  - pflanzliche Zelle 37, 47, 81
  - Pollenzelle 111, 115
  - Primärfunktion von Zellen 194
  - Spermazelle 39, 66
  - Tochterzelle 39, 65, 86, 89, 91, 96, 98, 127, 154, 194, 211, 219
  - Urkeimzelle 91, 155
  - Vermehrung der Zelle 194
  - Vermittlungszelle 111
  - Wettbewerb von Zellen 193
- Zelldifferenzierung 22
- Zelleib 61, 86, 99
- Zellenlehre 17, 47
- Zellforschung, molekularbiologische 27
- zellfreies System 190
- Zellfunktion 159, 199
- Zellgenetik 193
- Zellkern 39, 47, 61f, 82, 83f, 85, 94, 96f, **98**, 99, 127, 134, 144, 146, 147, 154, 162, 183, 192, 197, 205
  - Ei- und Samenzellkern 81, 98
  - Stäbchen im Zellkern 126f, 144
- Zellkörper 89, 92
- Zelleib 99
- Zellorgane 98
- Zellorganellen 98, 211
- Zellplasma 81, 84, 92
  - Eizellplasma 211
- Zellstoff 63

Zellstoffwechsel 184  
 Zelltätigkeit 96  
 Zellteilung 86, 89, 91, 96, 97, 122, 133,  
 134, 153, 161, 174, 175, 194, 211,  
 219  
 - Äquationsteilungen 86  
 - Reifeteilungen 86, 155  
 zelluläres Element 127  
 Zellularpathologie 41  
 Zentimorgan 137  
 zentrale Frage der Biologie 32  
 Zentralnervensystem 94  
 Zentrum der biologischen Fragestellung 189  
 Zeugung 38, 62, 120, 227  
 - Begriff von Zeugung 226  
 - geschlechtliche Zeugung 66  
 Zeugung und Empfängnis 232  
 Ziel 226  
 - Forschungsziel/ Untersuchungsziel  
 46, 94, 201, 204  
 - wissenschaftliches Ziel 64  
 Ziel der Natur 46  
 Ziel des Lebensgeschehens 118  
 zielgerichtet 133  
 zielgerichtete Lebenskräfte 51  
 Zielgerichtetheit von Mutationen 141  
 zielstrebig 37, 50, 100  
 Zieltendenz 80  
 Zoologie 70  
 Züchtung 32, 141, 232  
 - Höherzüchtung der Lebewesen 71  
 - Naturzüchtung 88, 95  
 Zuchtwahl 59  
 - natürliche Zuchtwahl 71, 72  
 Zucker-Basen-Bindung 168  
 Zufall 118f, 121, 231  
 zufällig 112, 116, **118**, 120, 122, 131, 139,  
 175, 182, 193, 212, 219, 222, 230f  
 zufällige Anpassungen 195  
 zufällige Arten 118  
 Zufälligkeit 80, 101, 142  
 Zufallsmutationen 199, 230  
 Zufallsnatur 120  
 Zufallsregeln der Kombinatorik 113  
 Zustand 31, 72, 73, 75, 82, 148, 234  
 - entwickelter Zustand 72, 209  
 - funktioneller Zustand 90  
 - inaktiver Zustand 91  
 - nicht organisierter Zustand 38  
 - organisierter Zustand 82  
 - ruhender Zustand 59  
 Zutunscharakter 233  
 Zweck 6, 33, 34, **43**, 51, 190, 199, 200, 206  
 - Idee gesetzter Zwecke 48  
 - Kausalität nach Zwecken 70, 214, 220  
 - Mittel-Zweck-Relation 221  
 - Naturzweck 207, 220  
 - Selbstzweck 207  
 - Vererbung wirksamer Zwecke 120  
 - vorausgehender Zweck 46, 207  
 - Wirkweise nach Zwecken 37, 100  
 Zweck eines Organs 200  
 zweckfrei 51, 194  
 zweckgerichtet 43  
 - zweckgerichtete Erzeugung 131  
 - zweckgerichtete Kraft 48, 55  
 zweckhaft 141, 225  
 Zweckhaftigkeit 201  
 Zweckkausalität 41, 220  
 zweckmäßig 6, 63, 132, 206  
 Zweckmäßigkeit 132, 201  
 - physiologische Zweckmäßigkeit 201  
 - Prinzip der Zweckmäßigkeit 206  
 Zweckursächlichkeit 101  
 Zweckvorstellung 100, 141, 224  
 Zygote 115, 193, 230  
 - diploide Zygote 122  
 Zytologie 12, 60, 127  
 zytologisch 81, 133, 134  
 zytologische Vererbungskunde 126  
 zytologisches Bild der Vererbung 122  
 Zytoplasma 16, 84, 85, 127, 147, 154, 183,  
 192 (vgl. Cytoplasma)

## BIBLIOGRAPHIE

*Die Bibliographie berücksichtigt folgende Gesichtspunkte:*

- \* *Biologiegeschichte in Hinsicht auf Entstehung und Veränderung der Genetik*
- \* *Geschichte des Gens/allg.*
- \* *Präzision der biochemischen Vorleistungen vor dem DNS -M o d e l l*
- \* *wissenschaftstheoretische Ansätze*
- \* *der Genbegriff in entwicklungsbiologischer Sicht/„Evo-Devo“*
- \* *der Genbegriff in populationsgenetischer Sicht*
- \* *Kritik am Genbegriff mit erneuertem Hinweis auf den Modellcharakter*

**Abhandlungen 1905:** Abhandlungen der Königlich-Sächsischen Gesellschaft der Wissenschaften. Math.-Phys. Classe, Bd. 29, Jg.3 (1905), S. 189 - 265

**Acta 1936:** Acta Medicina Scandinavica, 73, Suppl. 8 (1936), S. 1 - 151

**Acta 1952a:** Biochimica et Biophysica Acta, 9 (1952), S. 399 - 401

**Acta 1952b:** Biochimica et Biophysica Acta, 9 (1952), S. 402 - 405

**Acta 1952c:** Acta Chemica Scandinavica, 6 (1952), S. 634 - 640

**Acta 1953:** Acta Geneticae Medicae et Gemellologiae, 2 (1953), S. 237 - 332

**Akademie 1956:** Bayerische Akademie der Schönen Künste (Hg.): Die Künste im technischen Zeitalter. München 1956

**Akademie 2000:** Akademie der Wissenschaften zu Göttingen: Das Gen und der Mensch. Ein Blick in die Biowissenschaften. Im Auftrag der Akademie der Wissenschaften zu Göttingen. Hg. Gerhard Gottschalk. Göttingen 2000

**Altmann 1889:** Richard Altmann: „Ueber Nucleinsäuren“. In: Archiv für Physiologie, Physiologische Abteilung des Archives für Anatomie und Physiologie, Jg. 1889

**American Naturalist 1911:** The American Naturalist, 45 (1911), S. 129 - 159

**American Naturalist 1917:** The American Naturalist, 48 (1917), S. 705 - 711

**American Naturalist 1922:** The American Naturalist, 56 (1922), S. 32 - 50

**American Scientist 1946:** American Scientist, 34 (1946), S. 52

**American Scientist 1948:** American Scientist, 36 (1948), S.69 - 74

**Annals 1968:** Annals of Science. A quarterly review of the history of science and technology since the renaissance, 24 (1968), S. 7-20

**Archiv 1847:** Archiv für pathologische Anatomie und Physiologie, 1 (1847), S. 5f

- Archiv 1838:** Archiv für Anatomie und Physiologie und wissenschaftliche Medizin, 46 (1838), S. 137 - 176
- Archiv 1888:** Archiv für mikroskopische Anatomie und Entwicklungsmechanik, 32 (1888), S. 1- 122
- Archiv 1889:** Archiv für Physiologie, Physiologische Abteilung des Archives für Anatomie und Physiologie, Jg. 1889, S. 524-536
- Archiv 1916:** Archiv für Geschichte der Naturwissenschaften und der Technik (1916)
- Archiv 1917:** Archiv für Mikroskopische Anatomie, Abteilung II für Zeugungs- und Vererbungslehre, 90 (1917), S. 1 - 168
- Archiv 1927:** Archiv für Geschichte der Medizin, 19 (1927), S. 105 ff
- Archiv 1929:** Sudhoffs Archiv für Geschichte der Medizin, 22 (1929), S. 1 - 23
- Archiv 1935/1936:** Sudhoffs Archiv für Geschichte der Medizin und der Naturwissenschaften, 28 (1935/1936), S. 381 ff
- Archiv 1976:** Sudhoffs Archiv, Beiheft 17 (1976)
- Aristoteles 1972:** Aristotle's De Partibus Animalium I and De Generatione Animalium (with passages from II.1-3); engl. übers., komment. D. M. Balme. Oxford 1972.
- Aristoteles 1959:** Die Lehrschriften. Hg. Paul Gohlke. Bd. 8,3 Über die Zeugung der Geschöpfe. Paderborn 1959.
- Aula 1895:** Die Aula; Wochenblatt für die akademische Welt; Jg. 1 (1895)
- Avery, MacLeod, Mc Carty 1944:** Oswald [Theodore] Avery, Colin M. MacLeod, Maclyn McCarty: "Studies on the Chemical Nature of the Substance Inducing Transformation of Pneumococcal Types"; *in*: Jour. Exp. Med. 79 (1944)
- Babcock 1954:** Ernest Babcock: "The Development of Fundamental Concepts in the Science of Genetics"; *in*: Science, 120 (1954)
- Baer 1928:** Karl Ernst von Baer: Über die Entwicklungsgeschichte der Thiere. Königsberg 1928
- Bailey 1891:** Liberty Hide Bailey: Cross Breeding and Hybridization, zit. nach H. F. Bailey, Plant Hybridization before Mendel. Princeton 1929
- Barthelmess 1952:** Alfred Barthelmess: Vererbungswissenschaft. Freiburg 1952
- Bateson 1906:** W[illiam] Bateson: "The progress of genetic research. An inaugural address to the third conference on hybridization and plant-breeding". *In*: Report of the Third International Conference 1906 on Genetics: hybridization (the cross-breeding of genera or species), the cross-breeding of varieties, and general plant-breeding Bd. 3, Hg. W. Wilks. London 1906/1907
- Bateson 1907:** William Bateson: "Facts limiting the theory of heredity". Address delivered at the International Zoological Congress, before the Section of Cytology and Heredity, August 23,1907. *In*: Science, 26 (1907)

**Bateson 1914:** William Bateson: Mendels Principles of Heredity. Cambridge 1909 = dt. Übers. Mendels Vererbungstheorien". Leipzig 1914

**Beadle 1946:** G[eorge] W[ells] Beadle: "Genes and the Chemistry of the Organism", *in:* American Scientist, 34 (1946)

**Beadle 1948:** G[eorge] W[ells] Beadle: "Genes and Biological Enigmas", *in:* American Scientist, 36 (1948)

**Beadle 1963:** George Wells Beadle: "Genetics and Modern Biology", *in:* Jane lectures 1962. Memoirs of The American Philosophical Society, 57 (1963)

**Beadle, Sturtevant 1939:** George Wells Beadle, Alfred Henry Sturtevant: Genes, Cells and Organisms. Philadelphia 1939, zit. nach Beadle, Sturtevant: Genes, Cells and Organisms. An Introduction to Genenetics. Reprint London 1988

**Benzer 1962:** S[eymour] Benzer: "The fine structure of the gene", *in:* Scientific American, 206 (1962)

**Berichte 1900a:** Berichte der Deutschen Botanischen Gesellschaft, 18 (1900), S. 83-90

**Berichte 1900b:** Berichte der Deutschen Botanischen Gesellschaft, 18 (1900), S. 158-168

**Berichte 1900c:** Berichte der Deutschen Botanischen Gesellschaft, 18 (1900), S. 232-239

**Blixt 1975:** Stig Blixt, „Why didn't Gregor Mendel find linkage?", *in:* Nature, 256 (1975)

**Bibliographia 1933:** Bibliographia Genetica, 10 (1933), S. 251 - 298

**Bridges 1916:** Calvin B. Bridges: "Non-disjunction as proof of the chromosome theory of heredity", *in:* Genetics, 1 (1916)

**Böhme 1989:** Helmut Böhme: Das Gen - zur Theorie des Begriffes. Dem Andenken an Akademiemitglied Hans Stubbe gewidmet. Sitzungsberichte der Akademie der Wissenschaften der DDR. Mathematik – Naturwissenschaften - Technik. Jg. 1989, Nr. 8 N. Akademie-Verlag Berlin 1989

**Boveri 1903:** Theodor Boveri: „Ergebnisse über die Konstitution der chromatischen Substanz des Zellkerns"; *in:* Verhandlungen der Deutschen Zoologischen Gesellschaft. XIII. Jahresversammlung. Leipzig 1903

**Boveri 1904:** Theodor Boveri: Ergebnisse über die Konstitution der chromatischen Substanz des Zellkerns. Jena 1904

**Bowler 1989:** Peter Bowler: The Mendelian Revolution. The emergence of hereditarian concepts in modern sciences and society. John Hopkins University Press, Baltimore 1989

**Büchner 1975:** Franz Büchner: Allgemeine Pathologie und Ätiologie. München, Berlin, Wien 1975

**Burdach 1800:** Karl [Carl] Friedrich Burdach: Propädeutik zum Studium der gesamten Heilkunst. Leipzig 1800

**Campbell, Work 1953:** P. N. Campbell, T. S. Work: "Biosynthesis of Proteins", *in: Nature*, 171 (1953f)

**Carlson 1966:** Elof Axel Carlson: *The Gene: A Critical History*. Philadelphia, London 1966

**Carlson 1971:** Elof Axel Carlson: *Gentheorie*. Aus dem Englischen Übersetzt von E.-A. Löbbecke. Stuttgart 1971

**Caspersson 1936:** Torbjörn [Oskar] Caspersson: Über den chemischen Aufbau der Strukturen des Zellkernes, *in: Acta Medicina Scandinavica*, 73, Suppl. 8 (1936)

**Caspersson, Hammarsten 1938a:** T[orbjörn] Caspersson, E. Hammarsten: "Molecular Shape and Size of Thymonucleic Acid", *in: Nature*, 141 (1938)

**Caspersson, Schultz 1938b:** T[orbjörn] Caspersson, Jack Schultz: "Nucleic Acid Metabolism of the Chromosomes in Relation to Gene Reproduction", *in: Nature*, 142 (1938)

**Caspersson, Schultz 1939:** T[orbjörn] Caspersson, Jack Schultz: "Pentose Nucleotides in the Cytoplasm of Growing Tissues", *in: Nature*, 143 (1939)

**Caspersson 1941:** Torbjörn Caspersson: „Studien über den Eiweißaufbau der Zelle“, *in: Die Naturwissenschaften*, 29 (1941)

**Carus 1872:** Julius Victor Carus: *Geschichte der Zoologie bis auf Johann Müller und Charles Darwin*. Auf Veranlassung und mit Unterstützung seiner Majestät des Königs von Bayern Maximilian II. Hg. Historische Commission d. Kön. Akademie d. Wiss. München 1872

**Cellule 1909:** *La Cellule*, 25 (1909), S. 389 - 411

**Chargaff 1981:** Erwin Chargaff: *Das Feuer des Heraklit. Skizzen aus dem Leben vor der Natur*. Stuttgart 1981

**Cold Spring Harbor Symposia 1941:** Cold Spring Harbor Symposia on Quantitative Biology. Vol. 9. Genes and Chromosomes. Structure and Organization. Hg. Long Island Biological Association. Cold Spring Harbor, New York 1941. S. 55f

**Correns 1900:** Carl Erich Franz Joseph Correns: „G. MENDEL's Regel über das Verhalten der Nachkommenschaft der Rassenbastarde“, *in: Berichte der Deutschen Botanischen Gesellschaft*, 18 (1900a)

**Correns 1905:** Carl [Erich] [Franz] [Joseph] Correns: "Gregor Mendels Briefe an Carl Nägeli 1866-1873. Ein Nachtrag zu den veröffentlichten Bastardierungsversuchen Mendels"; *in: Abhandlungen der Königlich-Sächsischen Gesellschaft der Wissenschaften. Math.-Phys. Classe*, Bd. 29, Jg.3 (1905)

**Correns 1912:** C[arl] [Erich] [Franz] [Joseph] Correns: Die neuen Vererbungsgesetze. Nach einem Vortrag gehalten am 13. Dezember 1911 vor dem Wissenschaftlichen Verein in Berlin. Berlin 1912

**Correns 1921:** Carl [Erich] [Franz] [Joseph] Correns: Die ersten zwanzig Jahre Mendelscher Vererbungslehre; Festschrift der Kaiser-Wilhelm Gesellschaft zur Förderung der Wissenschaften zu ihrem zehnjährigen Jubiläum. Berlin 1921

**Cremer 1985:** Thomas Cremer: Von der Zellenlehre zur Chromosomentheorie. Naturwissenschaftliche Erkenntnis und Theorienwechsel in der frühen Zell- und Vererbungs-forschung. Berlin, Heidelberg 1985. (= Veröffentlichung der Forschungsstelle für Theoretische Pathologie der Heidelberger Akademie der Wissenschaften)

**Crick 1962:** F[rancis] H[arry] C[ompton] Crick: "The Genetic Code. How does the order of bases in a nucleic acid determine the order of amino acids in a protein? It seems that each amino acid is specified by a triplet of bases, and that triplets are read in simple sequence." *In: Scientific American*, 207, Oktober 1962

**Crick 1963:** F[rancis] H[arry] C[ompton] Crick: "The Recent Excitement in the Coding Problem", *in: Progress in Nucleic Acid Research*, 1 (1963)

**Crick 1977:** Francis H[arry] C[ompton] Crick: "On the Genetic Code". *In: Lectures in Molecular Biology*. Hg. David Baltimore. New York 1977

**Crick 1981:** Francis [Harry Compton] Crick: *Life Itself. Its Origin and Nature*. London 1981

**Crick, Barnett, Brenner, Watts-Tobin 1961:** F[rancis] H[arry] C[ompton] Crick, F.R. S., Leslie Barnett; S[ydney] Brenner, R. J. Watts-Tobin: "General Nature of the Genetic Code for Proteins", *in: Nature*, 192 (1961)

**Cuvier 1817:** Le Ch[evali]er [Georges-Léopold-Chrétien-Frédéric-Dagobert] Cuvier: *Le règne animal distribué d'après son organisation pour servir de base à l'histoire naturelle des animaux et d'introduction à l'anatomie comparée*. Paris 1817  
<http://www.biodiversitylibrary.org/OLBookReader/Viewer>

**Darden 1991:** Lindley Darden: *Theory Change in Science. Strategies from Mendelian Genetics*. New York, Oxford University Press 1991

**Darwin 1859:** Charles Robert Darwin: *On the Origin of Species by Means of Natural Selection, or the Preservation of Favoured Races in the Struggle for Life*. London 1859

**Darwin 1878:** Charles Robert Darwin: *Das Variieren der Thiere und Pflanzen im Zustande der Domestication*, 2. Band. Aus dem Englischen übers. J. Victor Carus. Stuttgart 1878

**Dawkins 1976:** Richard Dawkins: *The Selfish Gene*. Oxford 1976.

**Dawkins 1978:** *Das egoistische Gen*. Dt. Übers. v. Karin de Sousa Feirreira. Berlin, Heidelberg, New York 1978

**Dawkins 1982:** Richard Dawkins: "The necessity of Darwinism", *in: New Scientist*, 92 (1982)

**Dawkins 1983:** Richard Dawkins: "Universal Darwinism". *In: Evolution from Molecules to Men*. Hg. D. S. Bendall. Cambridge 1983

**Delbrück 1941:** M[ax] [Ludwig] [Henning] Delbrück: A Theory of Autocatalytic Synthesis of Polypeptides and its Application to the Problem of Chromosome Reproduction. *In: Cold Spring Harbor Symposia on Quantitative Biology*. Vol. 9. Genes and Chromosomes. Structure and Organization. Hg. Long Island Biological Association. Cold Spring Harbor, New York 1941

**Diemer 1964:** Alwin Diemer: Grundriss der Philosophie. Bd. 2 Die Philosophischen Sonderdisziplinen. Meisenheim am Glan 1964

**Dounce 1952:** Alexander L. Dounce: „Duplicating Mechanism for Peptide Chain and Nucleic Acid Synthesis“, *in:* Enzymologia, 15 (1952)

**Dounce 1953:** Alexander L. Dounce: „Nucleic Acid Template Hypotheses“, *in:* Nature, 172 (1953a)

**Driesch 1909:** Hans [Adolf] [Eduard] Driesch: Philosophie des Organischen. Leipzig 1909

**Driesch 1921:** Hans [Adolf] [Eduard] Driesch: Philosophie des Organischen. Leipzig 1921<sup>2</sup>

**DuBois-Reymond 1848:** Émile Du Bois-Reymond: Untersuchungen über tierische Elektrizität, Bd. 1, o.O. 1848

**DuBois-Reymond 1872:** Emil du Bois-Reymond [= DuBois-Reymond]: „Über Geschichte der Wissenschaft (1872)“. *In:* Deutsche Ärzte-Reden aus dem 19. Jahrhundert, Hg. Erich Ebstein, Berlin 1926, S. 86ff

**Dunn 1965:** L[eslie] C[larance] Dunn: A Short History of Genetics. The development of the main lines of thought: 1864-1939. New York, Toronto, London, Sydney 1965

**Dunn 1991:** Nachdruck der Ausgabe New York 1965. Iowa State University Press 1991

**Eigen 1981:** Manfred Eigen et al.: „Hyperzyklus; Ursprung der genetischen Information“; *in:* Spektrum der Wissenschaft 6 (1981)

**Eigen, Winkler 1981:** Manfred Eigen, Ruth Winkler: Das Spiel. Naturgesetze steuern den Zufall. München 1981

**Enzymologia 1952:** Enzymologia, 15 (1952), S. 251 - 258

**Festschrift 1921:** Festschrift der Kaiser-Wilhelm Gesellschaft zur Förderung der Wissenschaften zu ihrem zehnjährigen Bestehen. Berlin 1921

**Focke 1881:** W[ilhelm] O[lbers] Focke: Die Pflanzenmischlinge. Berlin 1881.

**Frankfurter Allgemeine Zeitung 2000a:** Frankfurter Allgemeine Zeitung, 1.7.2000, Nr. 150, S. 49

**Frankfurter Allgemeine Zeitung 2000b:** Frankfurter Allgemeine Zeitung, 11.8.2000, Nr. 185, S. 43

**Franklin, Gosling 1953:** Rosalind [Elsie] Franklin, R. G. Gosling: „Molecular Configuration in Sodium Thyminonucleate“, *in:* Nature, 171 (1953d)

**Furberg 1952:** Sven Furberg: „On the Structure of Nucleic Acids“, *in:* Acta Chemica Scandinavica, 6 (1952)

**Gärtner 1849:** Karl Friedrich von Gärtner: Versuche und Beobachtungen über die Bastardzeugung im Pflanzenreich. Stuttgart 1849

**Gandelman, Zamenhof, Chargaff 1952:** Berta Gandelman, Stephen Zamenhof, Erwin Chargaff: „The Deoxyntose Nucleic Acids of Three Strains of Escherichia Coli“, *in*: Biochimica et Biophysica Acta, 9 (1952a)

**Garrod 1908:** A[rchibald] E[dward] Garrod: "The Croonian Lectures on Inborn Errors of Metabolism", *in*: Lancet, 172 (1908)

**Gasking 1959:** E[lizabeth] B. Gasking: "Why was Mendels work ignored?", *in*: Journal of the History of Ideas, 20 (1959)

**Geldsetzer 1982:** Lutz Geldsetzer: Fragen der Hermeneutik der philosophischen Geschichtsschreibung. (Aus: La storiografia filosofica e la sua storia). Padova 1982

**Geldsetzer 1987:** Lutz Geldsetzer: Logik. Aalen 1987

**Genetics 1916:** Genetics, 1 (1916), S. 1 - 52 und S. 107 - 163

**Giornale 1990:** Giornale di Storia della Medicina - Journal of History of Medicine; gegr. v. Luigi Stroppiana, Nuova Seria Vol. III, Suppl. (1990)

**Goethe 1891:** Johann Wolfgang Goethe: Goethes Werke. Abt. II, Bd. 6. Goethes Naturwissenschaftliche Schriften. Zur Morphologie. Hg. Großherzogin Sophie von Sachsen. Weimar 1891

**Goldschmidt 1911:** Richard [Benedict] Goldschmidt: Einführung in die Vererbungslehre. Berlin, Leipzig 1911

**Goldschmidt 1926:** Richard [Benedict] Goldschmidt: „The quantitative theory of sex“, *in*: Science, 64 (1926)

**Goldschmidt 1927:** Richard [Benedict] Goldschmidt: Physiologische Theorie der Vererbung. Berlin 1927

**Goldschmidt 1938:** Richard [Benedict] Goldschmidt: "The Theory of the Gene", *in*: Scientific Monthly, 46 (1938)

**Goldschmidt 1954:** Richard B[enedict] Goldschmidt: „Different Philosophies of Genetics. Adresse des Präsidenten an den 9. Internationalen Genetik-Kongress in Bellagio 1953. Gewidmet seinem Freund Otto Hahn.“ *In*: Science, 119 (1954)

**Griesinger 1864:** Wilhelm Griesinger: „Gedenkrede auf Schoenlein (1864)“, *in*: Erich Ebstein (Hg.), Deutsche Ärzte-Reden aus dem 19. Jahrhundert. Berlin 1926, S. 36

**Gross 1925:** J. Gross: „Mendel und Darwin“, *in*: Die Naturwissenschaften, 13 (1925)

**Haacke 1893:** Wilhelm Haacke: Gestaltung und Vererbung. Eine Entwicklungsmechanik der Organismen. Leipzig 1893

**Haeckel 1866:** Ernst Haeckel: Generelle Morphologie der Organismen. Berlin 1866

**Haeckel 1870:** Ernst Haeckel: „Beiträge zur Platidentheorie“, *in*: Jenaische Zeitschrift, 5/3 (1870)

**Haeckel 1876:** Ernst Haeckel: Die Perigenesis der Plastidule oder die Wellenerzeugung der Lebenstheilchen. Ein Versuch zur mechanischen Erklärung der Entwicklungs-Vorgänge.

Berlin 1876

**Hamilton, Barclay, Wilkins, Brown, Wilson, Marwin, Ephrussi-Taylor, Simmons 1959:**

L. D. Hamilton, R. K. Barclay, M[aurice] H[ugh] F[rederic] Wilkins, G. L. Brown, H[erbert] R. Wilson, D. A. Marwin, H. Ephrussi-Taylor, N. S. Simmons: "Similarity of the Structure of DNA from a Variety of Sources", *in*: The Journal of Biophysical and Biochemical Cytology, 5 (1959)

**Harms 2000:** Ingeborg Harms: „Sie haben es genommen, es gestohlen – Die Moral eines Johann Sebastian Bach täte uns not – Verbitterung und große Vorahnung: Ein Besuch bei dem Genpionier Erwin Chargaff am Tag danach,“ *in*: Frankfurter Allgemeine Zeitung, 1.7.2000, Nr. 150

**Harenberg Lexikon 1998:** Harenberg Lexikon der Nobelpreisträger. Hg. Harenberg LexikonVerlag (sic!). Dortmund 1998

**Hauska 1984:** Günther Hauska (Hg.): Von Gregor Mendel bis zur Gentechnik. Vortragseihe Universität Regensburg zum 100. Todestag von Gregor Mendel. Schriftenreihe der Universität Regensburg Bd. 10. Regensburg 1984

**Heidegger 1953:** Martin Heidegger: Die Frage nach der Technik. Vortrag gehalten am 18. November 1953 im Auditorium Maximum der Technischen Hochschule München, in der Reihe „Die Künste im technischen Zeitalter“, veranstaltet von der Bayerischen Akademie der Schönen Künste unter der Leitung des Präsidenten Emil Preetorius. In: Martin Heidegger Gesamtausgabe. I. Abt. Veröffentlichte Schriften 1910-1976, Bd. 7 Vorträge und Aufsätze. Hg. Friedrich-Wilhelm von Herrmann. Frankfurt a. M. 2000

**Hegel 1817:** Georg Wilhelm Friedrich Hegel: Gesammelte Werke. In Verbindung mit der Deutschen Forschungsgemeinschaft. Hg. Nordrhein-Westfälische Akademie der Wissenschaften. Bd. 13, Enzyklopädie der philosophischen Wissenschaften im Grundrisse. 1817. Hg. Wolfgang Bonsiepen, Klaus Grotzsch. In Verbindung mit der Hegel-Kommission der Nordrhein-Westfälischen Akademie der Wissenschaften und dem Hegel-Archiv der Ruhr-Universität Bochum. Düsseldorf 2000

**Hegel 1830:** Georg Wilhelm Friedrich Hegel: Werke Bd. 9. Enzyklopädie der philosophischen Wissenschaften im Grundrisse. 1830. Zweiter Teil. Die Naturphilosophie. Mit den mündlichen Zusätzen. Frankfurt 1986

**Heilbronn, Kosswig 1961:** Alfred Heilbronn und Curt Kosswig: Principia Genetica. Grunderkenntnisse und Grundbegriffe der Vererbungswissenschaft. Berlin, Hamburg 1961

**Helmholtz 1877:** Hermann [Ludwig] [Ferdinand] [von] Helmholtz: „Das Denken in der Medizin (1877)“, *in*: Erich Ebstein (Hg.), Deutsche Ärzte-Reden aus dem 19. Jahrhundert. Berlin 1926, S.90-117

**Heredity 1950:** Heredity. An international Journal of Genetics, 4 (1950), S. 1 - 10

**Hershey, Chase 1952:** Alfred D[ay] Hershey, Martha Chase: „Independent Functions of Viral Protein and Nucleic Acid in Growth of Bacteriophage“, *in*: Journal of General Physiology, 36 (1952)

**Hershey, Dixon, Chase 1953:** A[lfred] D[ay] Hershey, June Dixon, Martha Chase: "Nucleic Acid Economy in Bacteria Infected with Bacteriophage T2", *in*: Journal of General Physiology, 36 (1953)

**Hertwig 1875:** Oscar [Wilhelm] [August] Hertwig: „Beiträge zur Kenntnis der Bildung, Befruchtung und Theilung des thierischen Eies“, *in*: Morphologisches Jahrbuch, 1 (1875)

**Hertwig 1885:** Oscar [Wilhelm] [August] Hertwig: „Das Problem der Befruchtung und der Isotropie des Eies; eine Theorie der Vererbung“, *in*: Jenaische Zeitschrift für Naturwissenschaft, 18, N. F. 11. (1885)

**Hertwig 1895:** Oscar [Wilhelm] [August] Hertwig: „Die Tragweite der Zellentheorie“, *in*: Die Aula. Wochenblatt für die akademische Welt, Jg. 1 (1895)

**Hertwig 1894:** Oscar [Wilhelm] [August] Hertwig: Zeit- und Streitfragen der Biologie von Oscar Hertwig. Heft 1 Präformation oder Epigenese? Grundzüge einer Entwicklungstheorie der Organismen. Jena 1894

**Hertwig 1909:** Oscar [Wilhelm] [August] Hertwig: Der Kampf um die Kernfragen der Entwicklungs- und Vererbungslehre. Jena 1909

**Hertwig 1917:** Oscar [Wilhelm] [August] Hertwig: „Dokumente zur Geschichte der Zeugungslehre: eine historische Studie“. *In*: Archiv für Mikroskopische Anatomie, Abt. II für Zeugungs- und Vererbungslehre, 90 (1917)

**Hinshelwood 1956:** Cyril Hinshelwood: "The Royal Society. Anniversary address by Sir Cyril Hinshelwood, F. R. S." *In*: Nature, 178 (1956)

**History 1983:** History of Science. A review of literature and research in the history of science, medicine and technology in its intellectual and social context, 21 (1983), S. 66ff

**Hoffmann 1869:** Hermann Hoffmann 1869: Untersuchungen zur Bestimmung des Werthes von Species und Varietät. Ein Beitrag zur Kritik der Darwin'schen Hypothese. Gießen 1869

**Hommel 1927:** Hildebrecht Hommel: „Moderne und hippokratische Vererbungstheorien“, *in*: Archiv für Geschichte der Medizin, 19 (1927)

**Hoppe 1971:** Brigitte Hoppe: „Die Beziehungen zwischen J. G. Mendel und C. W. Nägeli aufgrund neuer Dokumente“, *in*: Proc. Gregor Mendel Colloquium (Folia Mendeliana Musei Muraviae). Brünn 1971

**Hoppe 1976:** Brigitte Hoppe: Biologie, Wissenschaft von der belebten Materie von der Antike bis zur Neuzeit. Biologische Methodologie und Lehren von der stofflichen Zusammensetzung der Organismen. *In*: Sudhoffs Archiv (1976) Beiheft 17

**Hoppe 1975:** Brigitte Hoppe: „Umbildungen der Forschung in der Biologie im 19. Jahrhundert“. *In*: Alwin Diemer (Hg.), Konzeption und Begriff der Forschung in den Wissenschaften des 19. Jahrhunderts. Referate und Diskussionen des 10. wissenschaftstheoretischen Kolloquiums 1975. Meisenheim am Glan 1978, S. 104-188

**Jacob, Monod 1961:** Francois Jacob und Jaques [Lucien] Monod: "Genetic Regulatory Mechanisms in the Synthesis of Proteins", *in*: Journal of Molecular Biology, 26 (1961)

**Jahn 1957/1958:** Ilse Jahn: Zur Geschichte der Wiederentdeckung der Mendelschen Gesetze. *In*: Wissenschaftliche Zeitschrift der Friedrich-Schiller Universität Jena, mathematisch-naturwissenschaftliche Reihe, Jg. 7, pt. 2/3 (1957/1958)

**Jahn 1998:** Ilse Jahn u.a. (Hg.): Geschichte der Biologie. Theorien, Methoden, Institutionen, Kurzbiographien. Jena 1998

**Jahn 2002:** Ilse Jahn: „Konsolidierung und Neubildung von Disziplinen und Theorien im 19. Jahrhundert“. *In:* Geschichte der Biologie. Hg. Ilse Jahn u.a., 2. korrigierte Sonderausgabe 2002 der 3. Aufl. Jena 1998

**Jahrbuch 1875/1876:** Morphologisches Jahrbuch. Eine Zeitschrift für Anatomie und Entwicklungsgeschichte, 1 (1875/1876)

**Jahrbücher 1885:** Landwirtschaftliche Jahrbücher, 16 (1885)

**Jahrbuch 1955:** Jahrbuch 1954 der Max-Planck-Gesellschaft zur Förderung der Wissenschaften e. V. Göttingen 1955

**Jahrbücher 1887:** Schmidt's Jahrbücher der In- und Ausländischen Gesamten Medizin, 215 (1887), S. 89 – 104 und S. 192 - 206

**Janssens 1909:** F[rans] A[lfons] [Ignace] [Maria] Janssens, „La théorie de la chiasmotypie“, *in:* La Cellule, 25 (1909)

**Johannsen 1905:** W[ilhelm] Johannsen: Arvelighedslaerens elementer. Forelaesninger holdte ved Kobenhavns Universitet. Kobenhavn 1905

**Johannsen 1909:** W[ilhelm] Johannsen: Elemente der exakten Erblchkeitslehre. Mit Grundzügen der biologischen Variationsstatistik. Jena 1909

**Johannsen 1911:** Wilhelm Johannsen: „The genotype conception of heredity“, *in:* American Naturalist, 45 (1911)

**Johannsen 1926:** Wilhelm Johannsen: Elemente der exakten Erblchkeitslehre. Jena 1926

**Johansson 1988:** Ivar Johansson: Meilensteine der Genetik. Eine Einführung - dargestellt an den Entdeckungen ihrer bedeutendsten Forscher. Übers. Hans Otto Gravert. Berlin, Hamburg 1980

**Jones 2000:** Steve Jones: The Language of the Genes. Biology, History and the Evolutionary Future. London 2000

**Journal 1911:** Journal für Experimentelle Zoologie, 11 (1911), S. 365 - 417

**Journal 1944:** Journal of Experimental Medicine, 79 (1944), S. 137-159

**Journal 1950:** Journal of Bacteriology, 60 (1950), S. 697 - 718

**Journal 1951:** Journal of the History of Ideas, 20 (1959), S. 77/78

**Journal 1952:** The Journal of General Physiology, 36 (1952), S. 36 - 56

**Journal 1953:** The Journal of General Physiology, 36 (1953), S. 777 - 789

**Journal 1959a:** Journal of the History of Ideas, 20 (1959), S. 60 - 84

**Journal 1959b:** The Journal of Biophysical and Biochemical Cytology, 5 (1959), S. 397ff

**Journal 1961:** Journal of Molecular Biology, 26 (1961), S. 318 - 356

**Kalmus 1983:** H[ans] Kalmus: "The scholastic Origins of Mendel`s Concepts", *in*: History of Science, 21 (1983)

**Kant 1786:** Immanuel Kant: Schriften zur Naturphilosophie. Werke Bd. IX. Metaphysische Anfangsgründe der Naturwissenschaft. Riga 1786. Hg. Wilhelm Weischedel. Frankfurt a. M. 1977.

**Kappert 1978:** Hans Kappert: Vier Jahrzehnte miterlebte Genetik. Berlin, Hamburg 1978

**Kay 2000:** Lily E. Kay: Who Wrote the Book of Life? A History of the Genetic Code. *In*: Writing Science. Hg. Timothy Lenoir u. Hans Ulrich Gumbrecht. Stanford University Press 2000

**Keber 1853:** [Gotthard] [August] [Ferdinand] Keber: De spermatozoorum introitu in ovula additamenta ad physiologiam generationis auctore Gotthardo Augusto Ferdinando Keber. Ueber den Eintritt der Samenzellen in das Ei: ein Beitrag zur Physiologie der Zeugung. Königsberg 1853

**Keller 1998:** Evelyn Fox Keller: Das Leben neu denken. Metaphern der Biologie im 20. Jahrhundert. München 1998

**Keller 2001:** Evelyn Fox Keller: Das Jahrhundert des Gens. Frankfurt, New York 2001

**Keudel 1935/1936:** Karl Keudel: „Zur Geschichte und Kritik der Grundbegriffe der Vererbungslehre“, *in*: Sudhoffs Archiv, 28 (1935/1936)

**King, Stansfield, Mulligan 2007:** A Dictionary of Genetics. Hg. Robert C. King, William D. Stansfield, Pamela K[hipple] Mulligan. Oxford University Press 2007

**Koelliker 1841:** Rudolf Albert von Koelliker: Beiträge zur Kenntnis der Geschlechtsverhältnisse und der Samenflüssigkeit wirbelloser Thiere, nebst einem Versuche über das Wesen und die Bedeutung der sogenannten Samenthiere. Berlin 1841

**Koelliker 1885:** Rudolf Albert von Koelliker: „Die Bedeutung der Zellkerne für die Vorgänge der Vererbung“, *in*: Zeitschrift für wissenschaftliche Zoologie, 42 (1885)

**König 1966:** Gert König: Der Begriff des Exakten. Eine begriffsdifferenzierende Untersuchung. *In*: Georg Schischkoff (Hg.): Monographien zur Philosophischen Forschung Bd. 38, 1966

**Kosmos 1962:** Kosmos, 58 (1962), S. 522

**Krumbiegel 1933:** Ingo Krumbiegel: „Die prämendelistische Vererbungsforschung und ihre Grundlagen.“ *In*: Bibliographia Genetica, 10 (1933)

**Krumbiegel 1957:** Ingo Krumbiegel: Gregor Mendel und das Schicksal seiner Entdeckung. Stuttgart 1957

**Kuhn 1987:** Dorothea Kuhn (Hg.): Johann Wolfgang Goethe. Schriften zur Morphologie. Frankfurt a. M. 1987

**Kupfer 2001:** Bernhard Kupfer: Lexikon der Nobelpreisträger. Düsseldorf 2001

- Labisch 1989:** Alfons Labisch: Homo Hygienicus. Die soziale Konstruktion und Funktion von „Gesundheit“ in differenzierten und rationalisierten Gesellschaften. Ein historisch-sozialwissenschaftlicher Beitrag zum Problem „Medizin in der Gesellschaft“. Habilitationsschrift von Dr. med. Dr. phil. Alfons Labisch M.A. (Soz.), Kassel im Mai 1989
- Labisch 1992:** Alfons Labisch: Homo Hygienicus. Gesundheit und Medizin in der Neuzeit. Frankfurt, New York 1992
- Labisch 2000:** Alfons Labisch: "Die bakteriologische und die molekulare Transition der Medizin – Historizität und Kontingenz als Erkenntnismittel", *in*: Scientiarum Historia, 26 (2000)
- Labisch 2006:** Alfons Labisch: "Geschichte der Medizin – Geschichte in der Medizin". *In*: Geschichte der Medizin – Geschichte in der Medizin. Forschungsthemen und Perspektiven. Hg. Jörg Vögele, Heiner Fangerau, Thorsten Noack. Hamburg 2006
- Lamarck 1802:** [Jean]-[Baptiste] [Pierre] [Antoine] [de Monet] [Chevalier de] Lamarck: Recherches sur L`organisation des corps vivants. 1802. Bearb. Jean-Marc Drouin für das Centre National des Lettres. Librairie Arthème Fayard 1986
- Lamarck 1809:** Jean-Baptiste Pierre Antoine de Monet, Chevalier de Lamarck : Philosophie zoologique, ou exposition des considérations relatives à l`histoire naturelle des animaux. EA frz. Paris 1809. Dt. Jena 1876: Zoologische Philosophie, oder Darlegung von Betrachtungen bezüglich der Naturgeschichte der Tiere
- Lancet 1908:** The Lancet, 172 (1908), S. 1 – 7, S. 73 – 79, S. 142 – 148, S. 214 -220
- Leibniz 1710:** Gottfried Wilhelm von Leibniz: Essais de theodicée sur la bonté de Dieu, la liberté de l`homme et l`origine du mal. Amsterdam 1710 = Die Theodizee. Von Gottfried Wilhelm Leibniz (1710). 1925 neu übersetzt von Artur Buchenau. Versuche in der Theodizee über die Güte Gottes, die Freiheit des Menschen und den Ursprung des Übels. Philosophische Bibliothek Bd. 71. Hamburg 1968
- Lewin 1988:** Benjamin Lewin: Gene. Lehrbuch der modernen Genetik. Weinheim, Basel, Cambridge, New York 1988
- Linné 1735:** Carl Ritter von Linné, [bis 1762 Carolus Linnaeus]: Systema naturae sive regna tria naturae systematice proposita per classes, ordines, genera & species. EA lat. Leiden 1735
- Linné 1740:** Carl Ritter von Linné: Systema naturae oder die in ordentlichem Zusammenhange vorgetragenen drey Reiche der Natur nach ihren Classen, Ordnungen, Geschlechtern und Arten, lat./dt. Halle 1740
- Lohff 1990:** Brigitte Lohff: Die Suche nach der Wissenschaftlichkeit der Physiologie in der Zeit der Romantik. Ein Beitrag zur Erkenntnisphilosophie der Medizin. *In*: Medizin in Geschichte und Kultur Bd. 17. Hg. K. E. Rothschuh und R. Toellner. Stuttgart und New York 1990
- Löw 1990/91:** Reinhard Löw: „Ironie und Postmoderne“, *in*: Scheidewege. Jahresschrift für skeptisches Denken, Jg. 20. Hg. Max Himmelheber. Baiersbronn 1990/91.
- Lunadei 1990:** Mario Lunadei: "Storia dell' Evoluzione del Concetto di Gene", *in*: Giornale di Storia della Medicina - Journal of History of Medicine; gegr. v. Luigi Stroppiana, Nuova Seria Vol. III, Suppl. (1953)

**Mainzer 2004:** Klaus Mainzer: Schrödinger. *In:* Enzyklopädie, Philosophie und Wissenschaftstheorie. Hg. Jürgen Mittelstraß Bd. 3. Stuttgart. Weimar 2004

**Malpighi 1686:** Marcello Malpighi: Marcelli Malpighii Philosophi & Medici Bononiensis E Regia Societate Opera omnia. Figures elegantissimis in aes incisus illustrate tomis duobus comprehensa. Quorum Catalogum sequens Pagina exhibit. London 1686.  
[http://eebo.chadwyck.com/search/full\\_rec?SOURCE=pgimages.cf](http://eebo.chadwyck.com/search/full_rec?SOURCE=pgimages.cf)

**Mason 1961:** Stephen F[inney] Mason: Geschichte der Naturwissenschaft in der Entwicklung ihrer Denkweisen. Stuttgart 1961

**Mayer 1953:** Claudius Francis Mayer: „Genesis of genetics. The growing knowledge of heredity before and after Mendel. A brief historical synopsis written in honor of the Institutum Gregorio Mendel and the International Symposium on Medical Genetics held in Rome, 6. – 7. September 1953“. *In:* Acta Geneticae Medicae et Gemellologiae, 2 (1953)

**Meckel 1811:** Johann F[riedrich] Meckel: „ Entwurf einer Darstellung der zwischen dem Embryozustande der höhern Thiere und dem permanenten der niedern Statt findenden Parallele.“ *In:* Beyträge zu einer vergleichenden Anatomie, Hg. Johann Friedrich Meckel. Bd. 2. Heft 1. Leipzig 1811, S. 1 - 60

**Memoirs 1963:** Memoirs of The American Philosophical Society, 57 (1963), S. 1 - 70

**Mendel 1866:** Gregor [Johann]Mendel: Versuche über Pflanzenhybriden. *In:* Verhandlungen des Naturforschenden Vereins in Brünn, Bd. IV, Jg. 1865. Brünn 1865 im Verlag des Vereins (1866)

**Mendel 1965:** Gregor [Johann] Mendel: Experiments in Plant Hybridization. Engl. Übersetzung und Kommentar Ronald Fisher. Hg. J. H. Bennett. Edinburgh, London 1965.

**Meyer 1929:** Adolf Meyer: „Das Wesen der antiken Naturwissenschaft mit besonderer Berücksichtigung des Aristotelismus“, *in:* Sudhoffs Archiv für Geschichte der Medizin, 22 (1929)

**Michaelis, Rieger1954:** A[rndt] Michaelis und R[igomar] Rieger. Hg. H[ans] Stubbe: Der Züchter. Zeitschrift für theoretische und angewandte Genetik, 2. Sonderheft. Genetisches und Cytogenetisches Wörterbuch. Berlin, Göttingen, Heidelberg 1954

**Miescher 1874:** Johann Friedrich Miescher: „Die Spermatozoen einiger Wirbelthiere. Ein Beitrag zur Histochemie“, *in:* Verhandlungen der Naturforschenden Gesellschaft, 6 (1874)

**Morgan 1905:** Thomas Hunt Morgan: "The Assumed Purity of the Gene Cells in Mendelian Results", *in:* Science, 22 (1905)

**Morgan 1911:** Thomas Hunt Morgan: "An attempt to analyze the constitution of the chromosomes on the basis of sex-linked inheritance in Drosopila", *in:* Journal Exp. Zool., 11 (1911)

**Morgan 1917:** Thomas Hunt Morgan: "The Theory of the Gene", *in:* American Naturalist, 51 (1917)

**Morgan 1923:** Thomas Hunt Morgan: The Mechanisms of Mendelian Heredity. New York 1923

**Morgan 1926:** Thomas Hunt Morgan: The Theory of the Gene. New York 1926

- Müller 1892:** Josef Müller: Über Gamophagie. Ein Versuch zum weiteren Ausbau der Theorie der Befruchtung und Vererbung. O.O 1892
- Muller 1922:** Hermann Joseph Muller: "Variation Due to the Change in the Individual Gene", *in: American Naturalist*, 56 (1922)
- Muller 1926:** Hermann Joseph Muller: "The Gene as the Basis of Life", *in: Science*, 66 (1927)
- Muller 1927:** H[ermann] J[oseph] Muller: "Artificial Transmutation of the Gene", *in: Science*, 66 (1927)
- Muller 1941:** H[erman] J[oseph] Muller: „Résumé and Perspectives of the Symposium on Genes and Chromosomes“, *in: Cold Spring Harbor Symposia on Quantitative Biology*. Vol. 9. Genes and Chromosomes. Structure and Organization. Cold Spring Harbor, New York 1941
- Muller 1951:** Hermann Joseph Muller: The development of the Gene Theory. New York 1951
- Müller-Hill 2000:** Benno Müller-Hill: "Der Abtrünnige. Fackel im Herzen: Der Biochemiker Erwin Chargaff wird 95", *in: Frankfurter Allgemeine Zeitung*, 11.8. 2000, Nr. 185
- Müller-Wille, Rheinberger 2009:** Staffan Müller-Wille, Hans-Jörg Rheinberger (Hg.): Das Gen im Zeitalter der Postgenomik. Eine wissenschaftshistorische Bestandsaufnahme. Frankfurt 2009
- Nachtsheim 1951:** Hans Nachtsheim: Ein halbes Jahrhundert Genetik. Akademische Festrede zur Immatrikulationsfeier am 2. Juni 1951. Veröffentlichung der Freien Universität Berlin 1951
- Nachtsheim 1955:** Hans Nachtsheim: Die Genetik als Brückenwissenschaft. *In: Jahrbuch 1954 der Max-Planck-Gesellschaft zur Förderung der Wissenschaften e.V.* Göttingen 1955
- Nachtsheim 1960:** Hans Nachtsheim: „Die Entwicklung der Genetik in Deutschland von der Jahrhundertwende bis zum Atomzeitalter“, *in: Gedenkschrift, Studium berlinense*. Berlin 1960, S. 857 - 867
- Nägeli 1865:** Carl Wilhelm von Nägeli [Naegeli]: Entstehung und Begriff der Naturhistorischen Art. Rede in der öffentlichen Sitzung der Kgl. Bayer. Akademie der Wissenschaften am 28. März 1865 zur Feier ihres 106. Stiftungstages. München 1865
- Nägeli 1884:** Carl Wilhelm Nägeli, von: Mechanisch-physiologische Theorie der Abstammungslehre. Leipzig, München 1884
- Nasse 1826:** Christian Friedrich Nasse: Ueber den Begriff und die Methode der Physiologie. Leipzig 1826
- Nature 1938a:** Nature, 141 (1938), S. 122
- Nature 1938b:** Nature, 142 (1938), S. 294f
- Nature 1939:** Nature, 143 (1939), S. 38ff
- Nature 1953a:** Nature, 171 (1953), S. 541
- Nature 1953b:** Nature, 171 (1953), S. 737/738

**Nature 1953c** : Nature, 171 (1953), S. 738 - 740

**Nature 1953d**: Nature, 171 (1953), S. 740/741

**Nature 1953e**: Nature, 171 (1953), S. 964 - 967

**Nature 1953f**: Nature, 171 (1953), S. 997 - 2001

**Nature 1953g**: Nature, 172 (1953)

**Nature 1956**: Nature, 178 (1956), S. 1261 - 1266

**Nature 1961**: Nature, 192 (1961), S. 1227 - 1232

**Nature 1962**: Nature, 194 (1962), S. 1014 - 1020

**Nature 1975**: Nature, 256 (1975), S. 206

**Naturwissenschaften 1925**: Die Naturwissenschaften; Wochenschrift für die Fortschritte der reinen und angewandten Naturwissenschaften unter besonderer Mitwirkung von Hans Spemann; Organ der Gesellschaft Deutscher Naturforscher und Ärzte und Organ der Kaiser-Wilhelm-Gesellschaft zur Förderung der Wissenschaften, 13 (1925)

**Naturwissenschaften 1941**: Die Naturwissenschaften, 29 (1941), S. 33 - 43

**New Scientist 1982**: New Scientist, 92 (1982), S. 130 -132

**Newell 1990**: John Newell: Natur nach Wunsch? Gentechnologie heute. (Mit einer gemeinsamen Erklärung der Präsidenten der deutschen Wissenschaftsorganisation zur Gentechnik). Freiburg, Basel, Wien 1990

**Nobel Lectures 1977**: Nobel Lectures in Molecular Biology. Hg. David Baltimore. New York 1977

**Olby 1966**: Robert [Cecil] Olby: Origins of Mendelism. London 1966

**Olby 1968**: R[obert] C[ecil] Olby: "Eleven Reverences to Mendel before 1900", *in*: Annals of Science. A quarterly review of the history of science and technology since the renaissance, 24 (1968)

**Olby 1974**: Robert C. Olby: The Path of the Double Helix. London 1974

**Olby 1994**: Robert C. Olby: The Path to the Double Helix. The discovery of DNA. New York 1994

**Ostwalds Klassiker 1970**: Ostwalds Klassiker der Exakten Wissenschaften, N.F. Bd. 6 (1970)

**Pauling 1936**: Alfred Mirsky, Linus [Carl] Pauling: "On the Structure of Native, Denatured and Coagulated Proteins", *in*: Proceedings of the National Academy of Science, 22 (1936)

**Pauling 1939**: Linus [Carl] Pauling: The Nature of the Chemical Bond and the Structure of Molecules and Crystals. An Introduction to Modern Structural Chemistry. Ithaca, Cornell University Press, Oxford University Press, London 1939

**Pauling, Delbrück 1940:** Linus [Carl] Pauling, Max [Ludwig] [Henning] Delbrück: "The nature of the intermolecular forces operative in biological processes", *in: Science* 92 (1940)

**Peter 1920:** Karl Peter: Die Zweckmässigkeit in der Entwicklungsgeschichte. Eine finale Erklärung embryonaler und verwandter Gebilde und Vorgänge. Berlin 1920

**Peters 1959:** James A. Peters (Hg.): Classic Papers in Genetics. Englewood Cliffs, N. J. 1959

**Polanyi 1968:** Michael Polanyi: "Life's irreducible structure", *in: Science* 160 (1968)

**Proceedings 1936:** Proceedings of the National Academy of Science, 22 (1936), S. 439 - 447

**Proceedings 2000:** Proceedings of the 1998 Biennial Meetings of the Philosophy of Science Association. Part II Symposia Papers. Hg. Don A. Howard. *In: Philosophy of Science, Suppl.* 67 (2000), S. 289 - 300

**Progress 1963:** Progress in Nucleic Acid Research, 1 (1963), S. 163 - 217

**Punnett 1950:** R. C. Punnett: "The early days of genetics", *in: Heredity*, 4 (1950)

**Rheinberger 2007:** Hans-Jörg Rheinberger: Historische Epistemologie zur Einführung. Hamburg 2007

**Rheinberger, Müller-Wille 2009:** Hans-Jörg Rheinberger, Staffan Müller-Wille (Hg.): Vererbung. Geschichte und Kultur eines biologischen Konzepts. Frankfurt 2009

**Roberts 1929:** H[erbert] F[uller] Roberts: Plant Hybridization before Mendel. Princeton University Press 1929

**Roose 1797:** Theodor Georg August Roose: Grundzüge der Lehre von der Lebenskraft. Braunschweig 1797

**Rothschuh 1969:** K[arl] E[dmund] Rothschuh: Physiologie im Werden. Stuttgart 1969

**Roux 1883:** Wilhelm Roux: Ueber die Bedeutung der Kerntheilungsfiguren. Eine hypothetische Erörterung. Leipzig 1883

**Schadewaldt 1991:** Hans Schadewaldt: „Ernährung und körpereigene Abwehr – historisch betrachtet“, *in: Zentralblatt für Hygiene und Umweltmedizin*, 191 (1991)

**Schelling 1799a:** Friedrich Wilhelm Joseph Schelling: Historisch – Kritische Ausgabe. Im Auftrag der Bayerischen Akademie der Wissenschaften. Hg. Hans Michael Baumgartner, Wilhelm G. Jacobs, Jörg Jantzen, Hermann Krings. Werke 7. Erster Entwurf eines Systems der Naturphilosophie (1799). Hg. Wilhelm G. Jacobs, Paul Ziche. Stuttgart 2001

**Schelling 1799b:** Friedrich Wilhelm Joseph Schelling: Schellings Werke. Nach der Originalausgabe in neuer Anordnung herausgegeben. Zweiter Hauptband. Schriften zur Naturphilosophie. Unveränderter Nachdruck des 1927 erschienenen Münchner Jubiläumsdrucks, Hg. Manfred Schröter. S. 1 – 268 = Erster Entwurf eines Systems der Naturphilosophie (1799). München 1958

**Schelling 1799c:** wie unter Schelling 1799b. S. 269 – 326 = Einleitung zu dem Entwurf eines Systems der Naturphilosophie oder über den Begriff der spekulativen Physik und die innere Organisation eines Systems dieser Wissenschaft (1799)

**Schleiden 1838:** Matthias Jacob Schleiden: „Beiträge zur Phytogenesis“, *in*: Archiv für Anatomie und Physiologie und wissenschaftliche Medizin, 46 (1838)

**Schrödinger 1944:** Erwin Schrödinger: What is Life? The Physical Aspect of the Living Cell. Based on Lectures Delivered under the Auspices of the Dublin Institute for Advanced Studies at Trinity College, Dublin in February 1943. Cambridge University Press 1967

**Schrödinger 1987:** Erwin Schrödinger: Was ist Leben? Die lebende Zelle mit den Augen des Physikers betrachtet. München, Zürich 1987. Cambridge 1944 im Reprint von 1969

**Schultz 1941:** Jack Schultz: "The Evidence of the Nucleoprotein Nature of the Gene", *in*: Cold Spring Harbor Symposia on Quantitative Biology. Vol. 9. Genes and Chromosomes. Structure and Organization. Hg. Long Island Biological Association. Cold Spring Harbor, New York 1941

**Schwann 1839:** Theodor [Ambrose] [Hubert] Schwann: Mikroskopische Untersuchungen über die Übereinstimmung der Natur und dem Wachsthum der Thiere und Pflanzen (Berlin 1839). Hg. F. Hünsele. Ostwald`s Klassiker der Exakten Naturwissenschaften, 176. Leipzig 1910

**Science 1905:** Science, 22 (1905), S. 877 ff

**Science 1907 :** Science, 26 (1907), S. 649 - 660

**Science 1926:** Science, 64 (1926), S. 299/300

**Science 1927:** Science N. S., 66 (1927), S. 84 - 87

**Science 1940 :** Science, 92 (1940), S. 77ff

**Science 1954a:** Science, 119 (1954), S. 703 - 710

**Science 1954b:** Science, 120 (1954), S. 19

**Science 1968:** Science, 160 (1968), S. 1308 - 1312

**Scientiarum Historia 2000:** Scientiarum Historia, 26 (2000), S. 213 - 226

**Scientific American 1962:** Scientific American, 207 (Oktober 1962), S. 66 – 74

**Scientific Monthly 1938:** The Scientific Monthly, 46 (1938), S. 268 - 273

**Sirks 1916:** M. J. Sirks: „Die Bedeutung des Jahres 1865 für die Deszendenzlehre“, *in*: Naturwissenschaftliche Wochenschrift 31, N.F. 15 (1916)

**Sitzungsberichte 1989:** Sitzungsberichte der Akademie der Wissenschaften der DDR. Mathematik – Naturwissenschaften - Technik. Jg. 1989, Nr. 8 N. Akademie-Verlag Berlin 1989, S. 1 - 19

**Spaemann, Löw 1985:** Robert Spaemann, Reinhard Löw: Die Frage Wozu? Geschichte und Wiederentdeckung des teleologischen Denkens. München 1985

**Spaemann, Löw 2005:** Robert Spaemann, Reinhard Löw: Natürliche Ziele. Geschichte und Wiederentdeckung des teleologischen Denkens. Stuttgart 2005

**Spektrum 1981:** Spektrum der Wissenschaft, 6 (1981), S. 36 - 58

**Spencer 1862-1892:** Herbert Spencer: The Works of Herbert Spencer. 10 Vol. London 1862-1892. Reprint Osnabrück 1966

**Spencer 1864:** Herbert Spencer: The Works of Herbert Spencer Vol. II/III. A System of Synthetic Philosophy Vol. II/III. The Principles of Biology by Herbert Spencer. London 1864 = Reprint d. Ausg. v. 1899. Osnabrück 1966

**Spencer, Fuller, Wilkins, Brown 1962:** M. Spencer, W. Fuller, M[aurice] H[ugh] F[rederic] Wilkins, G. L. Brown: "Determination of the helical configuration of ribonucleic acid molecules by x-ray diffraction study of crystalline amino-acid-transfer ribonucleic acid", *in*: Nature 194 (1962)

**Strasburger 1884:** Eduard [Adolf] Strasburger: Neue Untersuchungen über den Befruchtungsvorgang bei den Phanerogamen als eine Grundlage für eine Theorie der Zeugung. Jena 1884

**Stubbe 1963:** Hans Stubbe: Kurze Geschichte der Genetik bis zur Wiederentdeckung der Vererbungsregeln Gregor Mendels. Jena 1963

**Sturtevant 1951:** A[lfred] H[enry] Sturtevant: "The Relation of Genes and Chromosomes", *in*: Genetics in the 20th century. Essays on the progress of genetics during its first 50 years. Hg. L. C. Dunn. New York 1951

**Sudhoffs Archiv 1976:** Sudhoffs Archiv 1976, Beiheft 17

**Symposia 1941:** Cold Spring Harbor Symposia on Quantitative Biology. Vol. 9. Genes and Chromosomes. Structure and Organization. Hg. Long Island Biological Association. Cold Spring Harbor, New York 1941

**Theory 2000:** Theory in Biosciences. Theorie in Biowissenschaften (früher: Biologisches Zentralblatt), 119 (2000), S. 20 - 39

**Trendelenburg 1870:** Friedrich Adolf Trendelenburg: Logische Untersuchungen Bd. 2 Leipzig 1870. Reprographischer Nachdruck. Hildesheim 1964

**Treviranus 1802:** Gottfried Reinhold Treviranus: Biologie, oder Philosophie der lebenden Natur für Naturforscher und Aerzte. Bd. 1. Göttingen 1802

**Tschermak-Seysenegg 1900:** Erich von Tschermak-Seysenegg: „Über künstliche Kreuzung bei *Pisum sativum*“, *in*: Berichte der Deutschen Botanischen Gesellschaft, 18 (1900c)

**Verhandlungen 1866:** Verhandlungen des Naturforschenden Vereines in Brünn, Bd. IV, Jg. 1865 (1866), S. 3 - 47

**Verhandlungen 1874:** Verhandlungen der Naturforschenden Gesellschaft, 6 (1874), S. 138 - 208

**Verzeichnis 1988:** Verzeichnis der Nobelpreisträger 1901-1987. Hg. Werner Martin. München, New York, London, Paris 1988

**Virchow 1847:** Rud[olf] [Ludwig] [Karl] Virchow: „Ueber die Standpunkte in der wissenschaftlichen Medicin“, *in*: Archiv für pathologische Anatomie und Physiologie, 1, (1847), S.5f

- Virchow 1856:** Rudolf Ludwig Karl Virchow: Alter und neuer Vitalismus. o.O. 1856
- Virchow 1858:** Rudolf [Ludwig] [Karl] Virchow: Die Cellularpathologie in ihrer Begründung auf physiologische Gewebelehre. Berlin 1958
- Virchow 1861:** Rudolf Ludwig Carl [=Karl] Virchow: Göthe (sic!) als Naturforscher und in besonderer Beziehung auf Schiller. Berlin 1861
- De Vries 1889:** Hugo de [De] Vries: Intrazelluläre Pangenesis. Jena 1889
- De Vries 1900:** Hugo de [De] Vries: Das Spaltungsgesetz der Bastarde: vorläufige Mittheilung. Eingegangen am 14. März 1900. *In:* Berichte der Deutschen Botanischen Gesellschaft, 18 (1900a)
- Wachter, Hausen 1975:** Helmut Wachter, Arno Hausen: Chemie für Mediziner. Berlin 1975
- Wagner 1988: G[ünter] P. Wagner:** „Der Realitätsanspruch des Genkonzepts“, *in:* Das Realismusproblem. Wiener Studien zur Wissenschaftstheorie Bd. 2, Hg. Erhard Oeser, Elfriede Maria Bonet. Österreichische Staatsdruckerei 1988, S. 239-250
- Wagner 2000a:** Günter P. Wagner, Manfred D. Laubichler: „Character Identification in Evolutionary Biology: The Role of the Organism“, *in:* Theory in Biosciences. Theorie in Biowissenschaften (früher: Biologisches Zentralblatt), 119 (2000)
- Wagner 2000b:** Günter P. Wagner, Manfred D. Laubichler: „Organism and Character Decomposition: Steps Towards an Integrative Theory of Biology“, *in:* Philosophy of Science, Supplement 67 = Proceedings of the 1998 Biennial Meetings of the Philosophy of Science Association. Part II Symposia Papers. Hg. Don A. Howard 2000
- Wagner 1998:** Renate Wagner: „Crick, Francis Harry“, *in:* Harenberg Lexikon der Nobelpreisträger. Hg. Harenberg Lexikon Verlag, Dortmund 1998
- Waldeyer 1888:** [Heinrich] [Wilhelm] [Gottfried] Waldeyer [ab 1916 Von Waldeyer-Haartz]: „Ueber die Karyogenese und ihre Beziehungen zu den Befruchtungsvorgängen“, *in:* Archiv für mikroskopische Anatomie und Entwicklungsmechanik, 32 (1888),
- Wallace 1992:** Bruce Wallace: The Search for the Gene. Cornell University Press 1992
- Wallace, Falkinham III 1997:** Bruce Wallace, Joseph O. Falkinham III: The Study of Gene Action. Cornell University Press 1997
- Wasson 1987:** Tyler Wasson: Nobel Prize Winners. New York 1987
- Watson 1950:** James Dewey Watson: "The Properties of X-ray-inactivated Bacteriophage", *in:* Journal of Bacteriology, 60 (1950)
- Watson, Crick 1953a:** J[ames] D[ewey] Watson, F[rancis] H[arry] C[ompton] Crick: "Molecular Structure of Nucleic Acids. A Structure for Deoxyribose Nucleic Acids", *in:* Nature, 171 (1953b)
- Watson, Crick 1953b:** J[ames] D[ewey] Watson, F[rancis] H[arry] C[ompton] Crick: "Genetical Implications of the Structure of Deoxyribonucleic Acid", *in:* Nature, 171 (1953e)

**Watson 1973:** James D[ewey] Watson: Die Doppel-Helix. Ein persönlicher Bericht über die Entdeckung der DNS-Struktur. Reinbek bei Hamburg 1973

**Watson 1977:** James D[ewey] Watson: „The Involvement of RNA in the Synthesis of Proteins“, *in*: Nobel Lectures in Molecular Biology. Hg. David Baltimore. New York 1977

**Weigert 1887:** C[arl] Weigert: Neuere Vererbungstheorien. *In*: Schmidt's Jahrbücher der In- und Ausländischen Gesamten Medizin, 215 (1887)

**Weiling 1970:** Franz Weiling: Gregor Mendel. Versuche über Pflanzenhybriden. Komment. Franz Weiling. Ostwalds Klassiker der Exakten Wissenschaften, N.F. Bd.6 (1970)

**Weisedel 1977:** Wilhelm Weisedel (ed.): Immanuel Kant. Schriften zur Naturphilosophie. Werke Bd. IX. Frankfurt a. M. 1977

**Weismann 1883:** August Weismann: Über die Vererbung; Ein Vortrag bei der öffentlichen Feier der Übergabe des Prorektorates der Universität Freiburg am 21. Juli 1883. Freiburg i. Br. 1883

**Weismann 1885:** August Weismann: Die Continuität des Keimplasmas als Grundlage einer Theorie der Vererbung. Jena 1885

**Weismann 1892a:** August Weismann: Das Keimplasma. Eine Theorie der Vererbung. Jena 1892

**Weismann 1892b:** August Weismann: Aufsätze über Vererbung und verwandte biologische Fragen. Jena 1892

**Weismann 1892c:** August Weismann: Über die Vererbung. *In*: Weismann 1892b

**Weismann 1895:** August Weismann: Neue Gedanken zur Vererbungsfrage. Eine Antwort auf Herbert Spencer. Jena 1895

**Wilkins 1977:** Maurice H[ugh] F[rederic] Wilkins: "The Molecular Configuration of Nucleic Acids". *In*: Nobel Lectures in Molecular Biology. Hg. David Baltimore. New York 1977

**Wilkins, Stokes, Wilson 1953:** M[aurice] H[ugh] F[rederic] Wilkins, A[lexander] R[awson] Stokes, H[erbert] R. Wilson: "Molecular Structure of Deoxyribose Nucleic Acids", *in*: Nature, 171 (1953c)

**Wilson 1896:** Edmund Beecher Wilson: The Cell in Development and Inheritance. New York 1896

**Wilson 1928:** Edmund Beecher Wilson: The Cell in Development and Inheritance. New York 1928

**Wochenschrift 1913:** Naturwissenschaftliche Wochenschrift, N. F. 12 (1913)

**Wochenschrift 1916:** Naturwissenschaftliche Wochenschrift, 31, N. F. 15 (1916), S. 681 - 692

**Wolff 1759:** Caspar Friedrich Wolf: Theorie von der Generation in zwei Abhandlungen erklärt und bewiesen. Theoria generationis. Reprographischer Nachdruck der Ausgabe Berlin und Halle 1764 und 1759. Hildesheim 1966

**Yearbook 1937:** Yearbook of Agriculture. United States Department of Agriculture. Washington (1937)

**Zamenhof, Brawerman, Chargaff 1952:** Stephen Zamenhof, George Brawerman, Erwin Chargaff: „On the Desoxyribose Nucleic Acids from Several Microorganisms“, in: *Biochimica et Biophysica Acta*, 9 (1952b)

**Zeitschrift 1870:** Jenaische Zeitschrift, 5/3 (1870), S. 496

**Zeitschrift 1884:** Jenaische Zeitschrift für Naturwissenschaft, 18, N.F. Bd. 11 (1884), S. 276ff

**Zeitschrift 1885:** Zeitschrift für wissenschaftliche Zoologie, 42 (1885), S. 174 - 186

**Zeitschrift 1957/1958:** Wissenschaftliche Zeitschrift der Friedrich-Schiller Universität Jena, mathematisch-naturwissenschaftliche Reihe, Jg.7, pt. 2/3 (1957/ 1958)

**Zentralblatt 1991:** Zentralblatt für Hygiene und Umweltmedizin, 191(1991), S. 303

## WEITERFÜHRENDE LITERATUR

Die hier angeführte Literatur behandelt:

- \* Kontroversen, die sich aus der Frage eines Reduktionismus infolge der Beschränkung auf eine molekularbiologische Sichtweise seit den 1970er Jahren ergeben
- \* Entstehungsgeschichte, Einwände zum Darwinismus
- \* weitere Chronologien und historische Abrisse zu Genetik, Vererbungslehre, Biologiegeschichte

**Beurton 2000:** Peter J. Beurton: „A Unified View of the Gene, or How to Overcome Reductionism“. *In: The Concept of the Gene in Development and Evolution. Historical and Epistemological Perspectives.* Hg. Peter J. Beurton, Raphael Falk, Hans-Jörg Rheinberger. Cambridge University Press 2000, S. 286-314

**Beurton 2005:** Peter Beurton: „Genbegriffe“. *In: Philosophie der Biologie. Eine Einführung.* Hg. Ulrich Krohs, Georg Töpfer. Frankfurt 2005, S. 195-211

**Blakeslee 1936:** Albert F. Blakeslee: "Twenty-Five Years of Genetics (1910-1935)", *in: Brooklyn Bot. Gard. Memoirs*, 4 (1936)

**Blixt 1975:** Stig Blixt: "Why Didn't Gregor Mendel Find Linkage?", *in: Nature*, 256 (1975)

**Brandt 2004:** Christina Brandt: Metapher und Experiment. Von der Virusforschung zum genetischen Code. Göttingen 2004

**Breen, Kemena 2012:** Michael S. Breen, Carsten Kemena, Peter K. Vlasov, Cedric Notredame, Fyodor Kondrashov: "Epistasis as the primary factor in molecular evolution", *in: Nature*, 490 (2012), S. 535-538

**Bowler 1989:** Peter J. Bowler: The Mendelian Revolution. The Emergence of Hereditarian Concepts. *In: Modern Science and Society.* Baltimore 1989

**Butenandt 1955:** Adolf Butenandt: „Was bedeutet Leben unter dem Gesichtspunkt der biologischen Chemie?“, *in: Universitas*, 10 (1955), S. 475-482

**Churchill 1987:** Frederick B. Churchill: "The Life Sciences in Germany. From Heredity Theory to Vererbung. The Transmission Problem, 1850-1915", *in: Isis*, 78 (1987), S. 337-364

**Cook 1937:** Robert Cook: "A Chronology of Genetics", *in: Yearbook* (1937)

**Craver 2001:** Carl F. Craver: „Role Functions, Mechanisms, and Hierarchy“, *in: Philosophy of Science*, 68 (2001), S. 53-74

**Crow, Dove 2000:** James F. Crow, William F. Dove: Perspectives on Genetics. Anecdotal, Historical, and Critical Commentaries, 1987-1998. London 2000

**Darden 1991:** Lindley Darden: Theory Change in Science. Strategies from Mendelian Genetics. New York, Oxford, Oxford University Press 1991

- Darden 2005:** Lindley Darden: „Relations among fields: Mendelian, cytological and molecular mechanisms“, *in*: Studies in History and Philosophy of Biological and Biomedical Sciences, 36 (2005), S. 349-371
- Dietrich 2000:** Michael R. Dietrich, “From Gene to Genetic Hierarchy: Richard Goldschmidt and the Problem of the Gene“, *in*: The Gene in Development and Evolution. Hg. Peter Beurton et al. Cambridge University Press 2000, S. 91-114
- Dunn 1951:** L[eslie] C[larance] Dunn (Hg.): Genetics in the 20th Century. Essays on the progress of Genetics during its first 50 years. New York 1951
- Dunn 1964:** L[eslie] C[larance] Dunn: Old and New in Genetics. *In*: Bull. N.Y. Acad. Med., 40 (1964)
- Dupré 2004:** John Dupré: “Understanding Contemporary Genomics“, *in*: Perspectives on Science, 12, 3 (2004), S. 320-338
- Falk 2000:** Raphael Falk: “The Gene – A Concept in Tension“, *in*: The Gene in Development and Evolution. Hg. Peter Beurton et. al. Cambridge University Press 2000, S. 317-348
- Falk 2001:** Raphael Falk: „The Rise and Fall of Dominance“, *in*: Biology and Philosophy, 16 (2001), S. 285-323
- Feldmann 1992:** Marcus W. Feldmann: “Heritability: Some Theoretical Ambigutities“, *in*: Keywords in Evolutionary Biology. Evelyn Fox Keller, Elisabeth A. Lloyd (Hg.). Harvard University Press, Cambridge (Mass.), London (GB) 1992
- Frolov, Pastusny 1981:** I[van] T[imofeevic] Frolov, S. A. Pastusny: Der Mendelismus und die philosophischen Probleme der modernen Genetik. Berlin 1981
- Galton 1876:** Francis Galton: “A Theory of Heredity“, *in*: Journal of the Royal Anthropological Institute of Great Britain and Ireland, 5 (1876)
- Galton 1892:** Francis Galton: Hereditary genius. An inquiry into its laws and consequences. London 1892
- Gannett 1999:** Lisa Gannett: “What`s in a Cause?: The Pragmatic Dimensions of Genetic Explanations“, *in*: Biology and Philosophy, 14 (1999), S. 349-347
- Garcia-Sancho 2006:** Miguel Garcia-Sancho: „The Rise and Fall of the Idea of Genetic Information (1948-2006)“, *in*: Genomics, Society and Policy, 2, 3 (2006), S. 16-36
- Gayon 2000:** Jean Gayon: “From Measurement to Organization: A Philosophical Scheme for the History of the Concept of Heredity“, *in*: The Gene in Development and Evolution. Hg. Peter Beurton et al. Cambridge University Press 2000, S. 69-90
- Gifford 1990:** Fred Gifford: „Genetic Traits“, *in*: Biology and Philosophy, 5 (1990), S. 327-347
- Gifford 2000:** Fred Gifford: „Gene Concepts and Genetic Concepts“, *in*: The Gene in Development and Evolution. Hg. Peter Beurton et. al. Cambridge University Press 2000, S. 40-66

**Gilbert 2000:** Scott F. Gilbert: "Genes Classical and Genes Developmental. The Different Use of Genes in Evolutionary Syntheses." *In: The Gene in Development and Evolution.* Hg. Peter Beurton et al. Cambridge University Press 2000, S. 178-192

**Glass 1958:** Bentley Glass: Heredity and Variation in the Eighteenth Century Concept of Species. Hg. Bentley Glass et. al. O.O. 1959

**Goosens 1978:** William K. Goosens: "Reduction by Molecular Genetics", *in: Philosophy of Science*, 45 (1978), S. 73-95

**Gottschalk 2000:** Gerhard Gottschalk (Hg.): Das Gen und der Mensch. Ein Blick in die Biowissenschaften. Im Auftrag der Akademie der Wissenschaften zu Göttingen herausgegeben von Gerhard Gottschalk. Göttingen 2000

**Graaf 1672:** Reignier de Graaf: De mulierum organo generationis inservientibus. Leiden 1672. Nachdruck in: Dutch Classics on History of Science, 13 (1965)

**Graham 2002:** Gordon Graham: Genes. A Philosophical Inquiry. London, New York 2002

**Hampe, Morgan 1988:** M. Hampe, S. R. Morgan: "Two consequences of Richard Dawkins' view of genes and organisms", *in: Studies in History and Philosophy of Science*, 19 (1988). Hg. Nicolas Jardine, Gerd Buchdahl et. al., S. 99-138

**Hensen 1885:** Victor Hensen: Die Grundlagen der Vererbung nach dem gegenwärtigen Wissenskreis. Landwirtschaftliches Jahrbuch, 16 (1885)

**Heredity 1950:** Heredity, 4 (1950)

**Hinshelwood 1956:** Cyril [Norman] Hinshelwood: "Some interactions of the physical and the biological sciences", *in: Nature*, 178 (1956)

**History 1983:** History of Science. A Review of Literature and Research in the History of Science, Medicine and Technology in its Intellectual and social context, 21 (1983)

**Hoffmann 1869:** Herrmann Hoffmann: Untersuchungen des Wertes von Species und Varietät, ein Beitrag zur Kritik der Darwinschen Hypothesen. Gießen 1869

**Holmes 2000:** Frederic L. Holmes: "Seymour Benzer and the Definition of the Gene", *in: The Gene in Development and Evolution.* Hg. Peter Beurton et. al. Cambridge University Press 2000, S. 115-155

**Hull 1972:** David L. Hull: "Reduction in Genetics – Biology or Philosophy?", *in: Philosophy of Science*, 39 (1972), S. 491-499

**Ibelgaufts 1990:** Horst Ibelgaufts: Gentechnologie von A bis Z. Studienausgabe. Weinheim 1990

**Keller 2000:** Evelyn Fox Keller: "Decoding the Genetic Program. Or, Some Circular Logic in the Logic of Circularity." *In: The Gene in Development and Evolution.* Hg. Peter Beurton et. al. Cambridge University Press 2000, S. 159-177

- Keyes 1999a:** Martha E. Keyes: "The Prion Challenge to the 'Central Dogma' of Molecular Biology, 1964-1991. Part I: Prelude to Prions." *In: Studies in History and Philosophy of Biological and Biomedical Sciences*, 30 C (1999), S. 1-19
- Keyes 1999b:** Martha E. Keyes: "The Prion Challenge to the 'Central Dogma' of Molecular Biology, 1954-1991. Part II: The Problem with Prions". Wie unter Keyes 1999a, S. 181-218
- Kimbrough 1978:** Steven Orla Kimbrough: "On the Reduction of Genetics to Molecular Biology", *in: Philosophy of Science*, 46 (1979), S. 389-406
- Kitcher 1982:** Philip Kitcher: „Genes“, *in: The British Journal for the Philosophy of Science*, 33 (1982), S. 337-359
- Kitcher 1992:** Philip Kitcher: "Gene: Current Usages", *in: Keywords in Evolutionary Biology*. Hg. Evelyn Fox Keller, Elisabeth A. Lloyd. Harvard University Press, Cambridge (Mass.), London (GB) 1992, S. 128-132
- Kitcher 1999:** Philip Kitcher: "The Hegemony of Molecular Biology", *in: Biology & Philosophy*, 14 (1999), S. 195-210
- Kitcher, Sterelny 1988:** Philip Kitcher, Kim Sterelny: "The Return of the Gene", *in: The Journal of Philosophy*, 85, 7 (1988), S. 339-361
- Krohs, Toepfer 2005:** Ulrich Krohs, Georg Toepfer: Philosophie der Biologie. Eine Einführung. Frankfurt a. M. 2005
- Kullmann 1981:** Wolfgang Kullmann: Die wissenschaftliche Bedeutung der aristotelischen Biologie. Gedenkschrift für Anastasios Giannarás. Hg. Aristoxenos D. Skiadas. Athen 1981
- Kulp, Kitcher 1989:** Sylvia Kulp, Philip Kitcher: "Theory Structure and Theory Change in Contemporary Biology", *in: British Journal for the Philosophy of Science*, 40 (1989), S. 459-438
- Lamprecht 1968:** Herbert Lamprecht: Die neue Genkarte von Pisum und warum Gregor Mendel keine Genkoppelung gefunden hat. Graz 1968
- Laubichler, Creager 1999:** Manfred D. Laubichler, Angela N. H. Creager: "How Constructive is Deconstruction?", *in: Studies in History and Philosophy of Biology and Biomedical Sciences*, 30/2 (1999), S. 143-180
- Laubichler, Wagner 2000:** Manfred D. Laubichler, Günter P. Wagner: "Organism and Character Decomposition: Steps Towards an Integrative Theory of Biology", *in: Philosophy of Science*, Suppl. 67 = Proceedings of the 1998 Biennial Meetings of the Philosophy of Science Association. Part II Symposia Papers, Don A. Howard (Hg.), S. 289-300
- Lehmann 1916:** E. Lehmann: Aus der Frühzeit der pflanzlichen Bastardierungskunde. Archiv für Geschichte der Naturwissenschaften und der Technik, (1916)
- Lennox 1992:** James G. Lennox: "Teleology". *In: Keywords in Evolutionary Biology*. Hg. Evelyn Fox Keller, Elisabeth A. Lloyd. Harvard University Press, Cambridge (Mass.). London (GB) 1992, S. 324-333
- Lewontin 2001:** R. C. Lewontin: The Doctrine of DNA. Biology as Ideology. New York 2001

**Lexikon 2000:** Lexikon der Bioethik. Hg. im Auftrag der Görres-Gesellschaft von Wilhelm Korff, Lutwin Beck, Paul Mikat in Verbindung mit Ludger Honnefelder, Gerfried W. Hunold, Gerhard Mertens, Kurt Heinrich, Albin Eser. Gütersloh 2000

**Maienschein 1992:** Jane Maienschein: "Gene: Historical Perspectives". *In: Keywords in Evolutionary Biology.* Hg. Evelyn Fox Keller, Elisabeth A. Lloyd. Harvard University Press, Cambridge (Mass.), London (GB), S. 123-127

**Martius 1878:** [Carl] Friedrich [Philipp, Ritter von] Martius: „Die Principien der wissenschaftlichen Forschung in der Therapie“. *In: Sammlung Klinischer Vorträge, Nr. 142-143,* Hg. Richard Volkmann. Leipzig 1878, S. 1179

**McCarty 1985:** Maclyn McCarty: The Transforming Principle. Discovering that Genes Are Made of DNA. New York, London 1985

**Mayer 1953:** C. F. Mayer: "Genesis of Genetics", *in: Acta Genet. et Gemella, 2* (1953)

**Meyer 1929:** Adolf Meyer: Das Wesen der antiken Naturwissenschaft mit besonderer Berücksichtigung des Aristotelismus in der modernen Biologie. Erweiterter Vortrag aus der Hamburger Naturforscherversammlung 1928. *In: Sudhoffs Archiv, 22* (1929)

**Moewes 1913:** Moewes: „Vorläufer Mendels“, *in: Naturwissenschaftliche Wochenschrift N. F., 12* (1913)

**Morange 1998:** Michel Morange: A History of Molecular Biology. Cambridge (Massachusetts), London 1998

**Morange 2000:** Michel Morange: „The Developmental Gene Concept. History and Limits.“ *In: The Gene in Development and Evolution.* Hg. Peter Beurton et. al. Cambridge University Press 2000, S. 193-215

**Moss 2006:** Lenny Moss: „Redundancy, Plasticity and Detachment: The Implications of Comparative Genomics for Evolutionary Thinking“, *in: Philosophy of Science, 73* (2006), S. 930-946

**Proceedings 1890:** Proceedings of the Royal Society of Edingburgh, 16 (1890), S. 91 - 116

**Progress 1963:** Progress in Nucleic Acid Research, 1 (1963), S. 163 - 217

**Portin 2002:** Petter Portin: „Historical Development of the Concept of the Gene“, *in: Journal of Medicine and Philosophy, 27* (2002), S. 257-286

**Ravin 1965:** Arnold W. Ravin: The Evolution of Genetics. London, New York 1965

**Rheinberger, Hagner 1993:** Hans-Jörg Rheinberger, Michael Hager: "Experimentalsysteme". *In: Experimentalsysteme in den biologischen Wissenschaften 1850/1950.* Hg. Hans-Jörg Rheinberger, Michael Hagner. Berlin 1993, S. 7-27

**Rheinberger 1995:** Hans-Jörg Rheinberger: "Beyond Nature and Culture: A Note on Medicine in the Age of Molecular Biology", *in: Science in Context, 8, 1* (1995), S. 249-263

- Rheinberger 2000:** Hans-Jörg Rheinberger, "Gene Concepts: Fragments from the Perspective of Molecular Biology". *In: The Gene in Development and Evolution*. Hg. Peter Beurton et al. Cambridge University Press 2000, S. 219-239
- Rosenberg 1978:** Alexander Rosenberg: „The Supervenience of Biological Concepts“, *in: Philosophy of Science*, 45 (1978), S. 368-386
- Ruse 1971:** Michael E. Ruse: "Reduction, Replacement, and Molecular Biology", *in: Dialectica*, 25 (1971), S. 39-72
- Schaffner 1969:** Kenneth F. Schaffner: "The Watson-Crick Model and Reductionism", *in: The British Journal for the Philosophy of Science*, 20 (1969), S. 325-348
- Schwartz 2000:** Sara Schwartz: "The Differential Concept of the Gene. Past and Present". *In: The Concept of the Gene in Development and Evolution*. Hg. Peter Beurton et al. Cambridge University Press 2000, S. 26-39
- Smith 2000:** John Maynard Smith: „The Concept of Information in Biology“, *in: Philosophy of Science*, 67 (2000), S. 177-194
- Sirks 1916:** M. J. Sirks: „Die Bedeutung des Jahres 1865 für die Descendenzlehre“, *in: Naturwissenschaftliche Wochenschrift*, 31, N. F. Bd. 15 (1926)
- Stegmann 2005:** Ulrich Stegmann: „Der Begriff der genetischen Information“. *In: Philosophie der Biologie*. Hg. Ulrich Krohs, Georg Toepfer. Frankfurt 2005
- Synder 1959:** L. H. Synder: "Fifty Years of Medical Genetics", *in: Science*, 129 (1959)
- Tabery 2004:** James G. Tabery: „Synthesizing Activities and Interactions in the Concept of a Mechanism“, *in: Philosophy of Science*, 71/1 (2004), S. 1-15
- Theiler 1925:** Willy Theiler: Zur Geschichte der telologischen Naturbetrachtung bis auf Aristoteles. Leipzig und Zürich 1925
- Thomson 1890:** J. Arthur Thomson: "The History and Theory of Heredity", *in: Proceedings of the Royal Society of Edinburgh*, 16 (1889)
- Ungerer 1922:** Emil Ungerer: „Der Darwinismus und die logische Struktur des Artbegriffs“, *in: Kant-Studien*, 27 (1922), S. 86-100
- Wagner 2012:** Günter P. Wagner: „Genetics: The inner life of proteins“, *in: Nature*, 490 (2012), S. 493/494
- Wagner 2009:** Günter P. Wagner: "The measurement theory of fitness", *in: Evolution*, 64 (2009), S. 1358-1376
- Wagner, Lynch 2008:** Günter P. Wagner, Vincent J. Lynch: "The gene regulatory logic of transcription factor evolution", *in: Trends in ecology and evolution*, 23 (2008), S. 377-385
- Wagner 2007a:** Günter P. Wagner: "The current state and the future of developmental evolution". *In: From Embryology to Evo-Devo. A History of Developmental Evolution*.

Hg. Manfred D. Laubichler, Jane Maienschein. MIT Press, Cambridge/USA, London/GB, S. 525-545

**Wagner 2007b:** Günter P. Wagner: "How wide and how deep is the divide between population genetics and developmental evolution?", *in: Biology and Philosophy*, 22 (2007), S. 145-153

**Wagner 2007c:** Günter P. Wagner: "The developmental genetics of homology", *in: Nature Reviews Genetics*, 8 (2007), S. 473-479

**Wagner, Larsson 2003:** Günter P. Wagner, Hans C. E. Larsson: "What Is the Promise of Developmental Evolution? III. The Crucible of Developmental Evolution". *In: Journal of Experimental Zoology*, 300B (2003), S. 1-4

**Wagner, Stadler 2003:** Günter P. Wagner, Peter F. Stadler: „Quasi-independence, homology and the unity of type: A topological theory of characters“, *in: Journal of Theoretical Biology*, 220 (2003), S. 505-527

**Wagner 2002:** Günter P. Wagner (Hg.): *The Character Concept in Evolutionary Biology*. San Diego 2002

**Wagner 2001:** Günter P. Wagner: "What Is the Promise of Developmental Evolution? Part II: A Causal Explanation of Evolutionary Innovations May Be Impossible", *in: Journal of Experimental Zoology*, 291 (2001), S. 305-309

**Wagner 2000:** Günter P. Wagner: "What Is the Promise of Developmental Evolution? Part I: Why Is Developmental Biology Necessary to Explain Evolutionary Innovations?", *in: Journal of Experimental Zoology*, 288 (2000), S. 95-98

**Wagner, Altenberg 1996:** Günter P. Wagner, Lee Altenberg: "Perspective: Complex adaptations and the evolution of evolvability", *in: Evolution. International Journal for the Study of Evolution*, 50 (1996), S. 967-975

**Wagner 1993:** Günter P. Wagner: „Final Theory in Biology“, *in: Science*, 260 (1993), S. 1531-1533

**Wagner 1989:** G[ünter] P. Wagner: "The biological homology concept", *in: Annual Review of Ecology and Systematics*, 20 (1989), S. 51-69

**Wagner 1988:** G[ünter] P. Wagner: "The Vexing Role of Replicators in Evolutionary Change", *in: Biology and Philosophy*, 3 (1988), S. 232-236

**Waters 1994:** C. Kenneth Waters: „Genes made Molecular“, *in: Philosophy of Science*, 61 (1994), S. 163-185

## ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1: *American Scientist*, 36 (1948), S. 69-74

Abbildung 2: *Enzymologia*, 15 (1952), S. 251-258

Abbildung 3: *Acta Chimica Scandinavica*, 6 (1952), S. 251-258

Abbildung 4: *Acta Chimica Scandinavica*, 6 (1952), S. 251-258

Abbildung 5: *Acta Chimica Scandinavica*, 6 (1952), S. 634-640

Abbildung 6: *Nature*, 171 (1953), S. 737

Abbildung 7: *Nature*, 171 (1953), S. 740