

SCHRIFTEN DER GESELLSCHAFT ZUR FÖRDERUNG DER
WESTFALISCHEN LANDESUNIVERSITÄT ZU MÜNSTER

29

SIEGFRIED STRUGGER

DIE HISTORISCHE
ENTWICKLUNG
UND
DER GEGENWÄRTIGE STAND
DER ZELLENTHEORIE
DES LEBENS



VERLAG ASCHENDORFF
MÜNSTER WESTF. 1953

Ne

V 9734

1954 T 433

Rede
gehalten anlässlich des Rektoratsantrittes
am 11. November 1951



B 9424, t

Druck der
Aschendorffschen Buchdruckerei
Münster Westfalen

Solange der menschliche Geist sich mit der Schöpfung Gottes auseinandersetzt und unsere Umwelt und uns selbst als Gegenstand seines Erkennens betrachtet, nimmt das Phänomen des Lebens auf der Erde eine Sonderstellung ein. Es ist ein unverkennbarer Zug aller wissenschaftlichen Bestrebungen, dem Lebendigen und allen seinen Auswirkungen näherzukommen. Hier treffen sich auch Geistes- und Naturwissenschaften. Beide untersuchen entweder die Auswirkungen des menschlichen Lebens oder das Phänomen des Lebendigen. Bei all diesen Bemühungen, die Eigenart der Lebewesen näher zu ergründen, richtet sich das Interesse der naturwissenschaftlichen Forschung vornehmlich nach zwei Betrachtungsweisen.

Es interessiert den philosophischen Menschen die Bauplanidee der Lebewesen. Sein Blick ist dahin gerichtet, den makroskopischen Bau mit freiem Auge zu erforschen und seine Gesetzmäßigkeit vergleichend festzulegen. Bald stellt sich heraus, daß das freie Auge völlig unzulänglich ist, das Problem der Feinstruktur der Lebewesen fruchtbar weiter zu entwickeln. Die physikalische Forschung hilft hier dem Erkenntnisdrange und gibt dem forschenden Biologen und Mediziner das Mikroskop in die Hand, mit dessen Entwicklung und Vervollkommnung die Erkenntnisse über den Feinbauplan der Lebewesen immer mehr anwachsen, bis schließlich große gemein-

same Züge von Medizin und Biologie erarbeitet werden, welche erkennen lassen, daß alle Lebewesen eine nach gemeinsamen Gesichtspunkten zusammenfaßbare Feinstruktur besitzen, die zur Formulierung der bedeutendsten Theorie führt, welche die Erforschung des Lebens im Zuge von Jahrhunderten gewinnen konnte, nämlich zur Formulierung der Zellentheorie des Lebens. Diese Erkenntnis deckte eine großartige Bauplanidee auf. Alle Lebewesen, seien sie in ihren Eigenschaften noch so verschieden, lassen sich auf denselben Grundbauplan zurückführen. Die elementare mikroskopisch dimensionierte Grundeinheit lebender Materie wurde erkannt und als kleinste organismische Einheit hingestellt.

Bei diesem Problem handelt es sich also um *die* Grundlage aller Lebensforschung.

Daß eine solche geistige Konzeption im Zuge einer langen und oft in die Irre gehenden Entwicklung allmählich geworden ist, erscheint uns heute als selbstverständlich. Den schwierigen und oft falschen Wegen zu folgen, ist reizvoll und lehrreich. Historische Betrachtung im Rahmen der Naturwissenschaften ist notwendig und für die Bildung unseres wissenschaftlichen Nachwuchses nicht zu entbehren.

So beklagt sich der große *Helmholtz* in einer Rektoratsrede, daß die Geschichtsbetrachtung in der naturwissenschaftlichen Forschung zu wenig Raum fände. *Josef Meurers* hat kürzlich in Bonn über das gegenwärtige Verhältnis von Natur- und Geisteswissenschaften und seine Bedeutung für die wissenschaftliche Situation der Zeit einen Vortrag gehalten, in dem er der historischen Betrachtung im Rahmen der naturwissenschaftlichen Forschung eine sehr große Bedeutung für die Rettung

der geistigen Situation innerhalb der Wissenschaften beimißt.

Die Naturwissenschaften sind geschichtlich in einem Ringen um die Erkenntnis gewachsen. Die Geschichte der Naturwissenschaften ist nicht nur eine bloße Reihenfolge von Entdeckungen. Sie ist vielmehr ein Schlüssel zum Verständnis großer Gedanken, ein sich immer mehrender Schatz von Erfahrungen in Bezug auf das Wirkliche. Ohne Geschichte kann ein naturwissenschaftliches Fach gewisse ontologische Strukturen und Bezüge der Welt nicht voll erkennen.

Die zweite, ebenfalls seit alters her verfolgte Fragestellung ist die funktionelle. Man hat frühzeitig erkannt, daß das Leben ein Ablauf von Ereignissen ist, daß sich der Körper der Lebewesen ständig verändert, daß Stoffe aus der Umwelt aufgenommen und Stoffe in die Umgebung abgegeben werden.

Die physiologische Fragestellung, bei der die Veränderungen der Lebewesen in der Zeiteinheit studiert werden, ist ebenso alt, wie die oben skizzierte morphologische Betrachtungsweise.

Beide Forschungszweige haben sich immer wieder berührt, oft sogar zu früh berührt, so daß Störungen in der Forschungsentwicklung eintraten. Erst eine zum historisch richtigen Zeitpunkt erfolgte Vereinigung dieser Betrachtungsweisen erbrachte weitere Fortschritte.

Nach solchen allgemein einleitenden Gesichtspunkten wollen wir uns dem gestellten Problem zuwenden und seine geistige Entwicklung im Zusammenhang mit den Strömungen der jeweiligen Zeit betrachten.

Im Altertum und Mittelalter gründet sich unser Wissen um die Struktur der Lebewesen in erster Linie auf die

Schriften von *Aristoteles* und seinem Schüler *Theophrast*. In überlieferten Bruchstücken wurden die gewonnenen Erkenntnisse weitergereicht. Das Tier war der Mittelpunkt der Forschung, es ist ja für das freie Auge anatomisch am besten zu studieren. Auch eine Anatomie der Pflanzen wurde angestrebt, und häufig finden wir Analogieschlüsse von tierischen Strukturen zur Betrachtung von pflanzlichen Einzelheiten. In der Nomenklatur und in der funktionalen Theoriefassung drückt sich diese Entwicklung bis in die heutige Zeit in Reminiszenzen aus. Für eine reine Strukturforschung war die Zeit nicht reif genug. Phantasievolle Deutung herrschte vor. *Theophrast* unterscheidet als Bauelemente der Pflanzen Fasern, Adern und Fleisch. Die Fasern entsprechen unseren Leitgeweben, die Adern den Harz- und Milchbehältern und das Fleisch dem Grundparenchym, etwa dem Mark und der Rinde. Diese Konzeption der Feinstruktur der Pflanzen blieb durch das ganze Mittelalter hindurch als Dogma erhalten.

Notgedrungen ermaßen mußte vor der Erfindung des Mikroskopes hier ein weiter steriler Zeitraum verstreichen, um dem Problem des Feinbauplanes der Organismen näherzukommen. Daran änderte auch die hereinbrechende Renaissance im Grundprinzip nicht sehr viel. Obzwar durch bedeutende Männer, wie *Vesal* oder *Leonardo da Vinci*, große Fortschritte um die Entwicklung der Anatomie des menschlichen Körpers gewonnen wurden, sind weitere Ergebnisse auf dem Gebiete der Feinstrukturlehre von Pflanzen und Tieren nicht zu verzeichnen. Die Pflanze als Heilmittel stand durchaus im Vordergrund. Die Lebensprinzipien der Pflanze wurden weiterhin getreu dem Aristotelischem Vorbilde

in einer ernährenden Pflanzenseele gesehen, welche ein so hervorragender Botaniker wie *Caesalpinus* in den Wurzelhals der Pflanzen verlegte.

Die Biologie von *Aristoteles* hat auch heute noch eine grundlegende Bedeutung. In philosophischer Hinsicht ist sie, wie der Baseler Zoologe *Burkhardt* es einmal formuliert hat, für die wissenschaftlichen Prinzipien der Entwicklung der Biologie noch unübertroffen.

Mit der Erfindung des zusammengesetzten Mikroskopes im 17. Jahrhundert ändert sich mit einem Schlage die Situation der morphologischen Erforschung der Organismen.

Der Mathematiker und Architekt und spätere erste Sekretär der Royal Society in London, *Robert Hooke*, konstruierte ein brauchbares, zusammengesetztes Mikroskop, mit welchem er als einer der ersten in die Welt der mikroskopischen Dimensionen vordrang. Welch ein Ereignis für den forschenden Menschen! Das Auge vermag im unbewaffneten Zustande Gebilde von einem Zehntel Millimeter Ausdehnung gerade noch zu sehen. Durch das Mikroskop ist die Leistungsfähigkeit des Auges um das mehrhundertfache plötzlich gesteigert worden. Es ist ein einschneidendes Ereignis in der Geistesgeschichte der Menschheit, welches sich plötzlich vollzog. Ohne belastendes Wissen dringt *Hooke* in die Welt mikroskopischer Dimensionen vor. Er betrachtet mit emsigem Fleiß verschiedene Körper, wie Messerschneiden, Insekten, Holz, Kork und Teile verschiedener Pflanzen. Dieser Anhänger einer „realen experimentalen Philosophie“ gibt in seinem Buch „*Mikrographia*“ 1667 Beispiele über die Erweiterungen im Bereich des menschlichen Gesichtssinnes, die völlig neu waren. So findet er,

daß Kork, Holzkohle und andere Pflanzenteile einen Aufbau aus wabenartigen Hohlräumen besitzen, die er als „little boxes“ oder „cells“ im Vergleich mit Bienenwaben beschrieb. Die poröse Struktur der Materie wird dabei zu einer allgemeinen Theorie erhoben. Er glaubt, daß diese Zellen Cavitäten seien, und die eigentliche Substanz in den Kammerwänden liege. Hier taucht zum ersten Male eine für Pflanzen einheitliche Zellstruktur auf. Obzwar *Hooke* die Zelle als Lebenseinheit nicht erkannte, steht ihm das Verdienst zu, erstmalig dieses völlig neue Bauplanprinzip gesehen zu haben.

Die Forschungen *Hookes* blieben nicht ohne unmittelbare Wirkung. *Malpighi* brachte bald darauf 1671 sein grundlegendes Werk mit dem Titel „Anatomes plantarum idea“ heraus, in dem der Aufbau der Pflanzen mit Hilfe des Mikroskopes erstmalig nach strengeren wissenschaftlichen Grundsätzen beschrieben wird. Die Zellen *Hookes* werden als „utriculi“ bezeichnet und neben den utriculi läßt *Malpighi* noch Fasern und Gefäßröhren als spezifische Bausteine der Pflanzen gelten. 1682 gibt der Engländer *Nehemia Grew* eine Pflanzenanatomie heraus, welche schon bessere Darstellungen enthält. Er unterscheidet bläschenartige Zellen, Fasern und Gefäße als Bausteine und stellt sich vor, daß der Pflanzenkörper ein Gewebe darstellt, welches ähnlich wie Textilien durch Fasern verwebt sei. Eine klare Vorstellung von der eigentlichen Natur der Zellen existiert auch in den Schriften von *Grew* nicht. Nach ihm sind die Zellen Hohlräume in einer spezifischen Pflanzenmaterie, und für die Erkenntnis der Zellen wichtige Gesichtspunkte werden nicht berührt. So fehlt die Bewertung des Zell-Inhaltes und die Verfolgung der

Lebensgeschichte, der Gesichtspunkt der Ontogenie, vollständig. Mit diesen beiden Werken hat die Erforschung der Feinstruktur der Lebewesen zunächst einen gewissen Abschluß erfahren.

Durch hundert Jahre hindurch wird Spekulation betrieben, und die Erarbeitung neuen Beobachtungsmaterials geht sogar in ihrer Qualität zurück. Dies geht am besten aus den Schriften *Wolffs* hervor, der 1774 zwar zum ersten Male den Versuch unternimmt, eine Entstehungsgeschichte der Zelle auf Beobachtungstatsachen zu entwickeln, aber ein solcher Versuch mußte in der damaligen Zeit noch zum Scheitern verurteilt sein. Wir wissen heute, daß sich die Vermehrung, also die Neubildung der Zellen in den Wurzelspitzen und sproßknospen vollzieht. Diese Gewebeteile der Pflanzen enthalten überaus kleine und zarte Zellen, welche nur mit den besten Mikroskopen erforschbar sind. Die damaligen optischen Hilfsmittel ließen außer den stark lichtbrechenden Stärkekörnern in diesen Pflanzenteilen nichts erkennen. So erklärt sich die von Wolff entwickelte „*Theoria generationis*“. Er stellt die These auf, daß die bläschenartigen Zellen in den Wachstumszonen der Pflanzen aus einer gallertartigen Urmasse entstehen, welche er „*substantia vitrea*“ nennt. Die sichtbaren Stärkekörner, welche wir heute als in den jungen Zellen gespeicherte Stoffreserven betrachten, sieht er als die Urkeime der Zellen an. Diese Konzeption führt für die nächsten 50 Jahre zu einer festgefügtten Theorie von der Urzeugung von Zellen in den Wachstumszonen der Pflanzen, welche ihren Höhepunkt bei *Matthias Jakob Schleiden* in der Cytoblastem-Theorie der Zellenentstehung findet und zugleich den Anstoß bietet, die Ontogenie

der Zellen in einem mühevollen Ringen einer Klärung näherzuführen. Bezeichnend für diese von der damaligen romanischen Naturphilosophie abhängige Theoriefassung ist eine Formulierung, welche der bedeutende Botaniker *Sprengel* im Jahre 1812 gab. In den wachsenden Geweben wurden die kugelförmigen Stärkekörner mit den damaligen Mikroskopen, wie schon oben erwähnt, allein gesehen. Vielleicht wurden auch Zellkerne beobachtet. Sprengel formuliert seine „*Theoria generationis*“, also in Wirklichkeit eine Urzeugungshypothese, folgendermaßen: „In Kugeln drückt sich die ewige Lebenskraft des Universums aus, in Kugeln tritt zuerst auch der schwache Keim des Lebens aus der Flüssigkeit hervor.“ Wir erkennen aber in dieser Konzeption *Sprengel's* doch die charakteristischen Merkmale der Methodik naturwissenschaftlicher Forschung. Sie beruht ja auf der Beobachtung und möglichst exakten Feststellung von Tatsachen und auf der ideenmäßigen Verwertung der Befunde. Experiment mit Einschluß der Beobachtung und Theorie charakterisieren in den nächsten 150 Jahren die Fortschritte biologischer Forschung. Die beobachteten Tatsachen sind konstant, nur ihre Deutung, die Erfassung der großen Zusammenhänge ist variabel und modifizierbar. Man hat im späteren Zeitalter der positivistischen Denkungsweise immer wieder über ältere überholte Theorien und Hypothesen der romantischen Naturphilosophen hochmütig gelächelt. Man hat aber in dieser überheblichen Periode der naturwissenschaftlichen Entwicklung übersehen, wie fruchtbar die Welt der Ideen gerade den Gang der Forschung beeinflußt hat. Wie viele der scheinbar unwiderleglichen Theorien der späteren Positivisten sind doch wieder modifiziert und

als einseitig erkannt worden. Sie erlitten dasselbe Schicksal wie manche Idee der Romantik. Von einer Hypothese oder Theorie ist zu fordern, daß sie aufrichtig die wahren Zusammenhänge sucht. Eine sich später als unrichtig erweisende Arbeitshypothese ist besser als ein ideenloses Gebäude von Tatsachen.

So sehen wir auch in den weiteren Jahrzehnten nach *Sprengel* diese Ideen fruchtbar weiterwirkend in Erscheinung treten. Nachdem der hervorragende Botaniker *R. Brown*, der Entdecker der Brownschen Molekularbewegung, im Jahre 1833 das konstante Auftreten eines kugelförmigen Gebildes in jeder Zelle entdeckte und diesem den Namen Zellkern gab, war die Zeit zur Konzeption einer generellen Zellentheorie des Lebens herangebrochen. Gleichzeitig nahm die Leistungsfähigkeit der Mikroskope entscheidend zu.

So war die Zeit für zwei Forscher reif geworden, denen es beschieden war, das Wesen der Zellenstruktur zum ersten Male richtig erkannt zu haben.

Die beiden Jenaer Professoren *Schleiden* und *Schwann* haben in fruchtbarer gemeinsamer Arbeit im Jahre 1838 den Grundstein zur Zellentheorie des Lebens gelegt. *Schleiden* und *Schwann* stellten die grundsätzliche These auf, nach welcher alle Lebewesen, Tiere und Pflanzen aus elementaren, selbst lebensfähigen Bausteineinheiten, den Zellen, aufgebaut sind. Angeregt durch die Beobachtungen *Robert Browns* studierte *Schleiden* in seiner *Phytogenesis* das Vorkommen der Kerne, der Cytoplasten, wie er sie nannte, auch in den jungen wachsenden Pflanzengeweben. Er war der erste, der den Kern als den Mittelpunkt des Zellenlebens betrachtete, ja zunächst völlig einseitig als den eigentlichen Träger des

Lebens hinstellte. Damit beginnt eine neue Aera der Betrachtung des Zellenproblems. Nicht die Wand ist nach *Schleiden* der für das Zell-Leben wichtige Teil, sondern der Inhalt der Cavität erscheint nunmehr in den Vordergrund gerückt. *Schleiden* weist nach, daß der Kern allen Pflanzenzellen, auch den jungen zukommt. Im Gespräch teilte er in Jena diese Beobachtung seinem anatomischen Kollegen *Schwann* mit. *Schwann*, der gerade in dieser Zeit sich mit der mikroskopischen Untersuchung der Corda dorsalis und des Kiemenknorpels der Froschlarven beschäftigte und dort erstmalig einen zellulären Bau bei Tieren feststellte, übertrug die Gedankengänge *Schleidens* auf den Tierkörper und konnte in vorbildlicher Weise durch klassische Untersuchungen zeigen, daß auch im Tierkörper Zellen als elementare Bausteine mit je einem Zellkern nachzuweisen sind. Schon 1839 erscheint sein grundlegendes Werk mit dem Titel: „Mikroskopische Untersuchungen über die Übereinstimmung in der Struktur der Pflanzen und Tiere.“

Es stand nunmehr fest, daß Tiere und Pflanzen aus gleichartig gebauten mikroskopischen Lebenseinheiten, den Zellen, bestehen, und daß alle lebende Substanz auf der Erde nur in Form von Zellen vorkommt. Damit war die wichtigste Theorie der biologisch-medizinischen Forschung ausgesprochen. Ihr weiterer Ausbau konnte die Erkenntnis fruchtbar gestalten und das Gesicht der biologischen Wissenschaften in Zukunft formen.

Schleiden hat im Hinblick auf die Zellentheorie die Aufmerksamkeit der Zeitgenossen in temperamentvollster Weise auf das Problem der Entwicklungsgeschichte der Zellen gelenkt. Noch im Banne naturphilosophischer

Vorstellungen, geradezu in Weiterführung der Gedankengänge *Wolff's* und *Sprengel's*, tritt er in der Phyto-genesis mit einer neuen Zellbildungstheorie an die Öffentlichkeit. Dem Zellkern, dem Cytoblasten, schreibt er die Rolle des Ausgangspunktes der Zellentstehung in jungen Geweben zu. Da er die Zellbildung im Embryo-sack der Angiospermen studiert, bekommt er den seltensten Ausnahmefall der Zellbildung im Pflanzenreich vor die Augen und beschreibt im wesentlichen richtig die freie Zellbildung. Vom Kern ausgehend bildet sich nach dieser Auffassung aus einer gummiartigen, rein organisch zusammengesetzten Nährlösung, dem Cytoblastem, allmählich gleichsam durch Kristallisation die junge Zelle.

Diese Theorie war anfänglich allgemein anerkannt, stieß aber bald auf den heftigen Widerstand bedeutender Zeitgenossen. Sie regte ungemein an und führte schließlich zur Richtigstellung der Verhältnisse im Zuge der nächsten Jahrzehnte.

Schleiden war von einer richtigen Auffassung der Rolle des Zellinhaltes noch sehr weit entfernt. Das was *Schleiden* unter Cytoblastem verstand, ist in seinem Sinne keine lebendige Materie. Er glaubt, daß aus einem Nahrungssaft erst diese im Zuge der Zellentwicklung entstände. Lediglich der Kern sei das wesentliche Element der Zelle. Allmählich aber wird durch verschiedene Forscher die Bedeutung der extranuklearen Materie für die Zelle erkannt und man ist geneigt, auch die schleimige außerhalb des Kernes befindliche Substanz als lebendigen Bestandteil der Zelle anzusprechen. Im Jahre 1851 wird vom Tübinger Botaniker *Hugo von Mohl* klar ausgesprochen, daß die Zelle aus dem Kern und dem

Protoplasma besteht, wobei die extranukleare Materie den Namen „Protoplasma“ erhält. *von Mohl* ist es in erster Linie zuzuschreiben, daß die Definition der Zelle allmählich ein klareres Gesicht bekam. Wenn vor *Brown* und *Schleiden* unter Zelle lediglich ein alveolarer Hohlraum verstanden wurde, und im Bereich der Botanik sich die Autoren selbst vor hundert Jahren noch nicht im klaren darüber waren, ob sie unter Zelle die Zelle mit der Haut, die Zelle ohne Haut oder die Haut ohne Zelle verstehen sollten, wird durch *Mohl*, *Remak*, *Dujardin*, *Max Schulze* die Definition so gestaltet, daß die Zelle ein elementares Lebensgebilde ist, welches aus einem Klümpchen Protoplasma und einem Kern besteht. *Hugo von Mohl* kommt das große Verdienst zu, als erster die normale Bildungsweise einer Zelle gesehen zu haben. Er entdeckte die Zellteilung. Auch *Meyen* und *Unger* konnten klar zeigen, daß Zellen nur durch Teilung entstehen. Die Kontinuität der Zellindividuen trat als neue ungemein wichtige Idee erkenntnismäßig in Erscheinung.

Die unklaren Vorstellungen *Schleidens* wurden als irrig erkannt, aber sie haben diese Entwicklung beschleunigt und ausgelöst. *Nägeli* und *Hofmeister* schlossen sich der Zellteilungstheorie an und stellten die Teilung des lebendigen Plasmas gegenüber dem Kern, der während der Teilung verschwinden soll, in den Vordergrund. Der Kern wird als mehr aksessorischer Bestandteil gewertet und so schlägt das Pendel mehr auf die andere extreme Seite gegenüber der Formulierung von *Schleiden*. *Hofmeister* geht 1867 noch nicht so weit, daß er den Zellkernen die Fähigkeit individueller Fortpflanzung völlig abspricht und nur dem Protoplasma außerhalb des

Kernes eine Individualität zugesteht. Durch die Entdeckung der Zweiteilung der Zellen in den jungen Geweben sowie durch die schon von *Schwann* und *Hofmeister* gesicherte Erkenntnis der Zellennatur der Eizelle der Tiere und Pflanzen erhält die Zellentheorie eine so gravierende Stütze, daß die Idee der Individualität und Kontinuität der Zellen im Zuge der ontogenetischen Entwicklung der Lebewesen Allgemeingut der Biologen und Mediziner wird. Die Zellentheorie erhielt somit eine grandiose geistige Konzeption. Sie gipfelt im Ausspruch *Virchows* im Jahre 1855 „omnis cellula e cellula“.

Nach solchen epochemachenden Erkenntnissen mußte die Forschung sich auf die Organisation der Zelle mit allen Mitteln konzentrieren. Die Frage nach ihrem Bau und nach der Funktion ihrer Teile wurde immer akuter. Chemische und physikalische Forschungsmethoden werden planvoll eingesetzt, um den mikroskopisch kleinen Elementarorganismus zu erforschen.

1867 entdeckte *Hofmeister* in den Pollenmutterzellen von *Lilium* erstmalig den Vorgang der Kernteilung. Die Bilder sind noch unklar, aber es wird deutlich beschrieben, daß der Kern sich auflöst und körnchenartige Gebilde entstehen, welche in den Tochterzellen den Kern wieder regenerieren. 1873 erscheint auf zoologischem Gebiet eine wichtige Arbeit von *A. Schneider*, in der die Karyokinese, das Auftreten von Chromosomen, in unserem Sinne erstmalig klar beobachtet wird. 1875 folgen die grundlegenden Beobachtungen *E. Straßburger's* auf botanischem Gebiete. Durch *Flemming* und *Waldeyer* rundet sich das Bild weiter ab. Die Längsspaltung der Chromosomen wird durch *van Beneden* 1883 und *Heuser* 1884 entdeckt, 1885 stellt *Rabl* das Gesetz von

der Zahlenkonstanz der Chromosomen auf und 1887 wird dieses Gesetz durch die bahnbrechenden Arbeiten *Boveris* durch den Lehrsatz von der Individualität der Chromosomen im Kern erweitert, so daß gegen Ende des 19. Jahrhunderts die grundlegende Bedeutung des Kerns und seiner Chromosomenindividuen für das Vererbungs-geschehen im Zuge der sexuellen Fortpflanzung evident wird. Ein weiterer Markstein ist die Entdeckung der Chromosomenreduktion durch *Flemming* im Jahre 1887. Auch das Wesen der Befruchtung wird durch die führenden Biologen dieser Zeit allgemein erkannt.

Man kann wohl sagen, daß es selten eine explosivere produktive Periode der biologischen Forschung gegeben hat, als in diesen Jahrzehnten. Diese Entwicklung war die unmittelbare Folge der Formulierung der Individualitätstheorie der Zellen. Solche Erkenntnisse mußten tief in die biologische Denkweise eingreifen und es erscheint fast wunderbar, daß in der Jahrhundertwende durch *Correns*, *de Vries* und *Tschermak-Sysenegg* die *Mendel'schen* Vererbungsgesetze wiederentdeckt wurden. Im Zuge der genetischen Forschung wurde die rechtzeitige Verbindung mit der Chromosomenlehre bis in unsere Zeit hinein mit einem hohen Aufwand an Scharfsinn und Experimentierkunst erstrebt und erreicht.

So wurde der Kern als ein System von höchst konstanten Strukturgrundlagen erkannt, welches der Träger vererbbarer Eigenschaften ist. Jeder vererbbare Faktor wird als Gen bezeichnet. Jedem Gen kommt eine submikroskopische reduplizierbare Struktur in den Chromosomen zu. Die lineare Anordnung der Gene wird durch *Morgan* und seine Schule erkannt und die schon von *Pfitzer* 1880 gesehene perlschnurähnliche Struktur entrollter

Chromosomenfäden wird reif, in die Vererbungslehre eingebaut zu werden. Es ist interessant zu erfahren, daß die wichtige Entdeckung der Chromomerenstruktur der Chromosomen anfänglich auf großen Widerstand der Zeitgenossen stieß und erst im 20. Jahrhundert zur ihr gebührenden Würdigung gelangte.

Die glückliche Vereinigung der Kernzytologie und Chromosomenlehre mit den Fortschritten der Genetik führt im 20. Jahrhundert zu den bedeutendsten Entdeckungen der Biologie. Der Nachweis, daß die mendelnden Gene im Genom des Zellkernes lokalisiert sind, bringt die Idee der karyogenetischen Beherrschung der Ganzheit Zelle. Diese karyogenetische Konzeption besagt, daß der Vererbungsprozeß sich nur über den Zellkern vollzieht, und im wesentlichen an die Sexualitätszyklen gebunden ist. Das Zellplasma außerhalb des Kernes sinkt immer mehr zurück in die Rolle einer lebendigen Substanz, welche lediglich vom Kern beherrscht und gesteuert wird.

Die Strukturforschung der 80er und 90er Jahre des vergangenen Jahrhunderts bemüht sich in klassischen Arbeiten, eine konstante Struktur des Protoplasmas zu ergründen. Alle Versuche, im Zellplasma ähnlich wie im Zellkern eine Konstanz mikroskopischer Strukturen zu erkennen, schlagen fehl. Mit der Entwicklung der Kolloidlehre hebt eine neue Periode der Zellforschung an, welche von der Jahrhundertwende bis in die Jetztzeit, etwa bis ins Jahr 1935, fällt. Das Protoplasma wird als kolloidales System von Eiweißkörpern betrachtet, dem keine bestimmte Struktur zukommt. Das homogene Sol wird zum Schlagwort der biologisch-medizinischen Forschung, während der Kern als strukturiertes Gel be-

trachtet wird. Der Strukturbegriff im Sinne klassischer Forschung wird immer mehr entwertet. Als Beispiel dieser heute noch wenig erkannten Entwicklung möchte ich die Erforschung der für Pflanzenzellen so wichtigen Chloroplasten anführen.

Nachdem durch die Klassiker in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts die Chloroplasten als bestimmt strukturierte Gebilde erkannt wurden, hat im Zeichen der kolloidchemischen Theoriefassung die Forschung einen großen Rückschritt erfahren. Das Chlorophyllkorn wurde innerhalb der ersten Jahrzehnte dieses Jahrhunderts als völlig strukturloses Solbläschen hingestellt. Der Strukturbegriff ist, wie an diesem Beispiel dargetan wird, in Mißkredit gekommen und an Stelle sorgfältiger Mikroskopierkunst werden geistreiche Analogien über das physikalisch-chemische Verhalten von Eiweißlösungen in die Betrachtung der Zellenlehre eingeführt, welche zwar sehr anspruchsvoll erscheinen, aber die Probleme der Erforschung der Struktur des Lebendigen eher gehemmt als gefördert haben. Mit einem Schlage setzt im Jahre 1935 eine Renaissance der mikroskopischen und submikroskopischen Strukturforschung ein. Man erkennt, daß das lebende Stoffsystem nicht eine chaotische kolloidale Lösung sei, sondern daß es ein hochgeordnetes Gefüge darstellt. Für die Chloroplasten wird erneut bewiesen, daß sie eine geordnete mikroskopische Struktur, ähnlich der des Zellkernes besitzen. Es wird erkannt, daß dieser Struktur eine noch höher geordnete submikroskopische Struktur zugrunde liegt. Die von *Schimper* bereits in den 80er Jahren des vorigen Jahrhunderts ausgesprochene Individualitätstheorie der Chloroplasten in den Pflanzenzellen wird auf Grund

der Renaissance der Strukturforschung im Zuge der letzten drei Jahre insofern durch eine wichtige Erkenntnis belegt, als ähnlich wie im Zellkern chromosomenartige Gebilde auch in den plasmatischen Chloroplasten entdeckt werden konnten, welche sich durch Teilung vermehren und durch Teilung die für die photosynthetische Funktion der Chloroplasten so wichtigen Strukturen liefern. Damit steht aber die Zellentheorie vor einer prinzipiellen Erneuerung.

Diese Erneuerung ergibt sich aus den jüngst erarbeiteten mikroskopischen Befunden und gerät augenblicklich in Bewegung. Es erscheint mir daher notwendig, die Entwicklung, an deren Schwelle wir stehen, zu schildern. Dies soll mit aller Vorsicht geschehen.

Unter dem Zwange neuer Tatsachen sind wir veranlaßt, die karyogenetische Fassung der Zellentheorie durch eine pangenetische Formulierung zu ersetzen. Das soll heißen, daß nicht nur der Kern ein Genkomplex ist, welcher die Zelle allein beherrscht, sondern daß alle lebende Substanz der Zelle aus Genen im weitesten Sinne des Wortes aufgebaut ist. Somit ist eine Zelle eine elementare Lebenseinheit, die ein System von Genen in allen lebenden Teilen darstellt. Das Gen oder der Elementarduplikant ist der Grundbaustein der Zelle.

Die Grundlage einer pangenetischen Neuformulierung der Zellentheorie bilden folgende Überlegungen:

Es gibt Pflanzen, deren Zellen keinen charakteristischen Zellkern mit Chromosomen besitzen. Zu diesen Anukleobionten gehören die Bakterien und die Cyanophyceen. Diese meist einzelligen Formen besitzen also lediglich Cytoplasma mit mikroskopisch dimensionierten Einschlüssen als lebenden Zellinhalt. Eine klassische

Vorstellung des Vererbungsphänomens im Sinne der unbedingten Dominanz des Genoms im Zellkern kann bei diesen Organismen sinngemäß keine Anwendung finden. Hier müssen die vererbaren Qualitäten — die Gene — im Zellplasma lokalisiert sein.

Teilt sich eine Bakterienzelle, so müssen die im Plasma lokalisierten sichtbaren und unsichtbaren Genkomplexe völlig aequal auf die Tochterzellen verteilt werden, sonst würde die Art variieren. Wir schließen daraus, daß kernlose Protophyten im Cytoplasma eine Gesamtheit von Genen besitzen müssen, welche unter dem Namen „Plasmon“ zusammengefaßt werden können. Ein Genom im klassischen Sinne einer karyogen fundierten Zelltheorie existiert bei diesen Einzellern nicht. Eine weitere sehr zu beachtende Grundlage der pangenetischen Fassung der Zelltheorie ergibt sich aus der Betrachtung des Wachstums. Dieses umfaßt nicht nur die Teilung der Zellen. Dieser geht ein viel grundsätzlicherer Prozeß voraus, den wir als Plasmawachstum zu bezeichnen haben.

Bei kernhaltigen Zellen ist dieses Wachstum der lebendigen Substanz bereits so weit erforscht, daß man den gesamten Zellkern als ein komplex gebautes, wohlgeordnetes System von submikroskopischen Elementarduplikanten betrachten muß. Ein Chromosom spaltet sich nach der heutigen Vorstellung vor der Kernteilung nicht, sondern es wird in allen seinen Einzelheiten völlig neu in Parallellage nachgebildet durch jene Vorgänge identischer Synthesen in bezug auf die Molekülgestalt und Molekülanordnung, welche wir als identische Reproduktion bezeichnen. Die identisch reduplikablen Elementarstrukturen werden dann als Elementardupli-

kanten angesehen. Was für den Kern zutrifft, muß aber auch für die extranukleäre lebende Substanz, das Cytoplasma, Geltung haben. Wächst in einer embryonalen Zelle das Cytoplasma, so muß es in allen Einzelheiten seiner individuell festgelegten Duplikantenstruktur völlig identisch wieder aufgebaut werden. Das Gefüge der Duplikanten, ihre chemische Natur und ihre vielleicht gesetzmäßig periodische Anordnung müssen erhalten bleiben, sonst kann das Individualplasma einer Zelle nicht spezifisch für die Art bleiben. Der Plasmawuchs wird geradezu zum Phänomen einer Vererbung im weitesten Sinne des Wortes. Die Plasmagene werden beim Wachstum weiter gereicht und bleiben durch Reduplikation erhalten. Es spielt sich beim Plasmawuchs in den Chromosomen und im Zellplasma sowie in den plasmatischen anderen Zellorganellen prinzipiell derselbe Vorgang ab.

Die Genetik konnte durch die Arbeiten *Wettsteins* und anderer Forscher zeigen, daß es einen nicht mendelnden Erbgang über das Zellplasma gibt, und man spricht heute von einer Plasmavererbung. Die Gesamtheit der Plasmagene wird als Plasmon auch von der Genetik zusammengefaßt.

So muß eine pangenetische Zelltheorie den Begriff Vererbung, der in der klassischen Form nur für das Genom erlaubt ist, erweitern.

Da die Existenz und der Anteil von nicht mendelnden Plasmagenen an der Merkmalsbildung experimentell sichergestellt ist, muß schon dann von einer Vererbung im weitesten Sinne gesprochen werden, wenn die Zelle wächst und sich teilt. Man kommt dann zur Formulierung, welche parallel im Zuge der Niederschrift dieses

Vortrages auch *Borris Ephrussi* auf der 131. Jahrestagung der Schweizer naturforschenden Gesellschaft in Luzern am 29. September ds. Js. gebracht hat, daß das Wachstum als ein Fall der Vererbung anzusehen sei. Nach einer solchen pangenetischen Definition der Zelle und ihres Wachstums ist auch die Differenzierung der Zellen im Zuge der Embryonalentwicklung als Fall der Vererbung anzusehen. Die Determination der Zellen erfolgt durch ungleiche Verteilung und Anordnung von Plasmaduplikanten. Nur in der Keimbahn würde dann die Teilung auch plasmatisch aequal sein. Die Zelldifferenzierung wäre sonach eine Differenzierungsfolge des cytoplasmatischen Duplikantensystems.

Auch der Begriff Gen muß im Sinne der pangenetischen Zelltheorie erweitert werden.

Unter Gen verstand man in der strengen klassischen Genetik lediglich die Erbstrukturen in den Chromosomen des Zellkernes. Man faßte ihre Gesamtheit unter den Namen Genom zusammen.

Als der Erbgang über das Plasma entdeckt wurde, mußte die Genetik selbst extranukleare Gene annehmen. Nach der neuen Auffassung vom Wesen der Zelle besteht aber die gesamte lebendige Substanz der Zelle, der ganze Protoplast, aus einem Gengefüge. Jedes Gen ist wohl identisch mit einem elementaren Duplikanten. Daher muß der Begriff Gen in Zukunft ein Oberbegriff werden. Dieser zerfällt in die Gruppe der klassischen mendelnden oder nuklearen Gene, welche in ihrer Gesamtheit als Genom weiter bezeichnet werden können, während die zweite Gruppe von Genen, die Plasmagene, extranuklear sind und nicht mendeln. Sie werden unter dem Begriff Plasmon zusammengefaßt.

Demnach besteht eine Zelle aus Duplikanteneinheiten, welche dem Genom und dem Plasmon angehören.

Das Plasmon kann aber nach dem augenblicklichen Stande der Forschung auch nur ein Oberbegriff bleiben.

Es zerfällt in folgende Duplikantenkategorien:

1. in das Cytoplasmon. Es ist die Gesamtheit aller beim Wachstum des Cytoplasmas reduplikablen Struktureinheiten. Ihre Dimension ist submikroskopisch, und das gesamte im Mikroskop sichtbare Zellplasma außerhalb des Kerns, freilich ohne die eingeschlossenen Zellorganelle, ist ein System dieser Duplikanten.

2. Das Plastidom. Es umfaßt alle Duplikanteneinheiten, welche die Plastiden der Pflanzenzelle aufbauen. Hier sind mikroskopisch sichtbare Duplikantenkomplexe in letzter Zeit entdeckt worden, welche ähnlich wie die Chromosomen vermehrt werden.

Jedes Chlorophyllkorn ist ein wohlgeordnetes System von Plastidengenen.

3. Das Chondriom. Die kleinen Chondriosomen, welche keiner Zelle fehlen, scheinen Individualitätscharakter zu besitzen, und wir können als Arbeitshypothese in Zukunft das Chondriom als ein System von Duplikanten ansehen.

4. Das Sphaerom. Auch hier liegen noch nicht endgültige Entscheidungen vor, aber als Arbeitshypothese müssen auch die Sphäro- oder Mikrosomen im Zellplasma als Duplikantensysteme mit Individualitätscharakter angesehen werden.

So stellt nach den neusten Anschauungen die Ganzheit Zelle ein System von Genen dar. Viruskörper sind dann nur vagabundierende Gene (Plasmagene). Es darf uns dann nicht mehr Wunder nehmen, wenn eine endogene

Entstehung von virusartigen Körpern in Organismen möglich ist, oder das Cytoplasma bei der Entstehung des Krebses genetisch entarten kann.

Die pangenetische Zellentheorie erweitert die Denkweise der Biologie. Sie festigt die klassische Zellenlehre und verbindet das Virusproblem mit der Zellenlehre in befriedigender Weise. Die Duplikanten oder Gene im weitesten Sinne stellen die unbelebten Bausteine, die Probioten, dar. Erst die Ganzheit Zelle lebt und bildet jene höhere Schicht materieller Organisation, welche Träger des Lebens ist.

So erscheint uns die Zelle nach einer 110jährigen Forschungsentwicklung als eine besondere Schicht des Gefüges dieser Welt. Sie ist ganz im Sinne Goethes ein Urphänomen. Ihr Wesen so weitgehend wie nur möglich zu erforschen ist ein Grundanliegen der Biologie. Weitere Fortschritte sind in Zukunft aber nur dann zu erwarten, wenn an Stelle der Isolierung der einzelnen Wissenschaften zu einer Synthese der Wissenschaften geschritten wird. Die Zelle, dieses Kompendium der Welt, ist die geordnete Integration aller materiellen und geistigen Ordnungsgesetze, welche der Materie innewohnen. Ihre Erforschung ist Angelegenheit aller wissenschaftlichen Bestrebungen. Aus der Geschichte des bisherigen Ganges der Erkenntnisse geht klar hervor, daß die Idee ebenso wichtig ist wie die Sammlung von Tatsachenmaterial, das Experiment ebenso bedeutungsvoll ist wie die philosophische Konzeption.

Erst aus einer solchen wahrhaft als Grundlagenforschung anzusprechenden Entwicklung heraus ist auch zu hoffen, daß neue Erkenntnisse über die Natur der

Zelle sich zum Wohle der Menschheit auswirken werden.

Es wird den Biologen gegenüber immer wieder die Frage gestellt, ob denn die Naturwissenschaftler imstande wären, das Phänomen des Lebens mit Erfolg zu erforschen. Dazu kann nur gesagt werden, daß es eine Vermessenheit wäre, die Behauptung aufzustellen, daß die Biologie das Lebensphänomen in allen Einzelheiten durchschauen könnte. Es ist besser, eine bescheidenere Antwort zu erteilen. Die Biologie ist bestrebt, in Zukunft die geistige und materielle Seite dieses Problems so weitgehend wie möglich einer Lösung entgegen zu führen. Die augenblickliche Lage ist so, daß jeder kleinste Fortschritt, der in mühseligem Forschen und Denken errungen wird, bereits den Anstoß zu neuen Entwicklungen geben kann. Die Biologie ist heute sicher noch in ihrer vorklassischen Periode. Wann das Zeitalter klassischer biologischer Forschung heranbrechen wird, läßt sich heute noch nicht absehen. Eine geistige Haltung wird aber auch in Zukunft den Erforscher des Lebendigen beherrschen müssen. Sie findet ihren Ausdruck in der Ehrfurcht vor der Größe der göttlichen Schöpfung.