©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

Hundert Jahre Protoplasmaforschung

Von Univ.-Prof. Dr. Karl Höfler

Vortrag, gehalten bei der Hundertjahrfeier des Vereins am 13. Jänner 1960

Vor hundert Jahren, im Jahre 1860, war die deutsche Naturwissenschaft in eine Periode hoher Blüte eingetreten. Die Biologie hat damals ein Zeitalter erlebt, das, von weiterer zeitlicher Warte betrachtet, vielleicht einmal dem Newtonschen Zeitalter in der Physik verglichen werden wird. Die Entdeckungen folgten in raschem Fluß. In der allgemeinen Botanik sind drei Forscher führend: Hugo von Mohl in Tübingen, Franz Unger, bei Leutschach in der Steiermark geboren, der 1849 unsere Wiener Lehrkanzel für Anatomie und Physiologie gegründet hat, und Carl von Nägeli, aus Zürich gebürtig, Professor in München. — Wohl hatte Schleiden, an Robert Browns Entdeckung des Zellkernes (1831) anknüpfend, die Zellforschung energisch in Fluß gebracht und dem Satz zur Anerkennung verholfen, daß sich der Pflanzenkörper zur Gänze aus Zellen aufbaut;

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

aber seine eigenen Beobachtungen waren oberflächlich, seine Theorie der Zellteilung und Zellenvermehrung war grundfalsch. Was um den Kern herum in der Zelle liegt, erschien ihm nur als eine gummiähnliche Substanz. Unger hat als erster widersprochen und gezeigt, daß die Zellen am Vegetationspunkt durch Teilung entstehen und nicht so, wie Schleiden gemeint hatte. Im Jahr 1845 konnte Nägeli den Satz „Omnis cellula e cellula" aussprechen, und daß es keine Urzeugung der Zelle gibt, hat nachher Pasteur bewiesen. Die wichtigste Entdeckung aber ist Hugo von Mohl im Jahr 1844 bzw. 1846 gelungen. Es war die Entdeckung des „Erstgebildes", des Protoplasmas. Er hat Begriff und Namen in die Wissenschaft eingeführt.

Nun, das Jahr 1860 ist denkwürdig dadurch, daß Max Schultze in der ersten von vier ausgezeichneten Schriften den endgültigen Nachweis erbrachte, daß das Protoplasma der Pflanzen und die Sarcode der tierischen Einzeller, die Dujardin 1835 für Rhizopoden beschrieben hatte, gleichartige und wesensgleiche Gebilde sind. Auf botanischer Seite hatten schon Unger und Ferdinand Cohn auf die Wesensgleichheit hingewiesen. — Hatte Schwann, durch Schleiden angeregt, die Zellenlehre in die Medizin und Zoologie eingeführt, so hat Schultze die Lehre vom protoplasmatischen Aufbau der tierischen und menschlichen Zellen geschaffen. Er hat ja 1861 die Zelle, unter Beibehaltung dieses alten Namens, defi-

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

niert als ein Klümpchen Protoplasma, in welchem ein Zellkern liegt. Im selben Jahr hat in Wien Ernst Brücke, der an dem Worte Klümpchen Anstoß nahm, die Zelle treffend als Elementarorganismus bezeichnet.

Wohl war das, was die Welt seit Mohl Protoplasma nennt, schon vorher gesehen worden; vom Italiener Corti (1774), von Treviranus (1806) und dem Schweden Ågardh (1827) in der Armleuchteralge Chara, welche Plasmaströmung zeigt, und wie erwähnt von Dujardin — aber doch stets nur an Einzelobjekten. Mohl's, des größten Pflanzenanatomen seiner Zeit, Verdienst ist die Verallgemeinerung, daß Protoplasma überall vorkommt, wo sich in Pflanzenzellen Leben abspielt, und daß es, da allgegenwärtig, wohl für das Leben notwendig ist — ein schönes Beispiel einer vollständigen Induktion in der Wissenschaft.

Wir halten fest, daß Protoplasma als physiologischer Begriff in die Wissenschaft eingeführt worden ist, nicht als chemischer, auch nicht als morphologischer Begriff. Es bietet ja im Lichtmikroskop dem Auge nicht viel. Es erscheint als homogene, farblose, zähflüssig-schleimige Substanz, die stärker lichtbrechend ist als Wasser und mit Wasser nicht mischbar ist, und es zeigt das bis heute unerklärte Phänomen der aktiven Strömung.

Die erste Blüte der Protoplasmaforschung reicht etwa bis 1870. Dann kam für drei Jahrzehnte eine

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

Epoche, in der wir heute eine Zeit des Rückschlages sehen müssen. Man hat Fixierungs- und Färbungsmethoden, angeregt durch die Erfolge der Zellkern- und Chromosomenforschung, auch auf das Zytoplasma angewandt. Dieses in lebenden Zellen zu untersuchen, wurde geradezu unmodern (in England ist das noch heute so), es mußte erst getötet, fixiert und gefärbt werden. Und dann hat man die an fixierten Präparaten wahrgenommenen Bildungen und Strukturen dem Plasma als solchem zugeschrieben. So entstanden die Theorien von der reticulären, der granulären, der fibrillären Struktur und als die langlebigste, Bütschli's Lehre von der Wabenstruktur. Viele von diesen Vorstellungen wirkten jahrzehntelang und wirken auf zoologischem Gebiet noch heute fort. Aber was jene Forscher mit ihren besten Lichtmikroskopen sahen, das waren großenteils Kunstprodukte, durch Veränderung bei der Fixierung entstanden. Man hatte recht, nach einer Organisation im Plasma zu suchen. Aber der heuristische Fehler war, daß man in der jeweils letzten mikroskopisch sichtbar gemachten Differenzierung diese Organisation gefunden zu haben glaubte, ein Fehler, der uns nahegerückt ist, weil er sich jüngst in der Frühzeit der Elektronenmikroskopie in verstärktem Maße wiederholt hat. —

In jene Periode fällt auch der erste Versuch chemischer Analysen. Die Schleimpilze oder Myxomyceten, schon 1859 von de Bary als Protoplasma-Organismen ohne Zellwände empfohlen, wurden von Reinke der

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

chemischen Analyse zugeführt — und es war immerhin ein Verdienst solcher verfrühter Versuche, daß er das Protoplasma als ein Gemenge zahlreicher Stoffe erkannt hat und Schluß damit gemacht hat, daß man im Plasma „lebendes Eiweiß" sah. — Uns ist heute klar: Würde man alle Stoffe, die das Plasma zusammensetzen, kennen, in der Retorte herstellen und im richtigen Verhältnis mischen, so käme noch kein lebensfähiges Produkt, kein Protoplasma zustande, denn auf die Anordnung der Stoffe und auf die Organisation kommt es ja an. —

Im ersten Jahrzehnt unseres Jahrhunderts ist man zur Untersuchung der lebenden Zelle und des lebenden Plasmas zurückgekehrt. Die Erneuerung kam von zellphysiologischer Seite. Plasmaforschung und Zellkernforschung haben damals ihre Wege getrennt. Man hat es als die vornehmste Art, Lebenserscheinungen zu erklären, erkannt, wenn es gelang, sie auf Zustände und Veränderungen im Plasma selbst zurückzuführen. Es waren jetzt nicht morphologische, sondern in erster Linie physiko-chemische Eigenschaften des Plasmas, die der Lebenduntersuchung zugänglich wurden.

Die großen Vorläufer waren de Vries, Wilhelm Pfeffer und Ernst Overton, die schon in der vorangegangenen Epoche die Permeabilität des lebenden Plasmas untersucht hatten.

Lebendes Plasma ist halbdurchlässig oder semipermeabel, d. h. leicht wegsam für Wasser, undurchlässig für die im Zellsaftwasser gelösten Stoffe. Auf der

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

Semipermeabilität beruht der Turgor, beruht auch die wohlbekannte Erscheinung der Plasmolyse, der Loslösung des lebenden Protoplasmas von der Zellwand unter der Einwirkung wasserentziehender Mittel. Da das Plasma beim Tode seine Halbdurchlässigkeit und Plasmolysierbarkeit verliert, kann die Plasmolyse als Lebensreaktion dienen. — Man hat nun zahlreiche zellfremde aber lebensunschädliche Stoffe kennen gelernt, die doch langsamer oder schneller permeieren. Overtons klassische Lipoidtheorie und Collanders heute in der Botanik geltende Lipoidfiltertheorie besagen, daß das Permeiervermögen der meisten Stoffe von ihrer Lipoidlöslichkeit abhängt und ihrem Verteilungskoeffizient in Lipoid und Wasser annähernd proportional ist, daß aber kleinmolare Stoffe schneller, als ihrer Lipoidlöslichkeit entspricht, durchs Plasma permeieren. Es verhält sich also das Plasma, das einen Eiweiß-Lipoid-Komplex darstellt, hindurchdringenden Stoffen gegenüber wie ein lipoides Lösungsmittel.

Es waren dann weitere physiko-chemischeEigenschaften des Plasmas, die um 1915—1920 in den Vordergrund traten. Friedl Weber in Graz hat die Viskositätsforschung begründet. Das Plasma kann dünnflüssig sein, strömendes und ruhendes, oder zähflüssig oder gelartig fest, es zeigt dann auch elastische Eigenschaften. Genial und einfach ist Weber's Methode, aus der Plasmolyseform und dem Tempo der Abrundung der Protoplasten die Zähigkeit zu beurteilen. Konkave Plasmolyse weist auf ein zäheres,

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

konvexe Plasmolyse bzw. baldige Abrundung, auf ein dünnflüssigeres Plasma. Die beste quantitative Methode besteht darin, die Brownsche Molekularbewegung von Kleinkörperchen (Mikrosomen) im Plasma zu messen (die Amplitude der BMB ist der Viskosität des einbettenden Mediums umgekehrt proportional). Webers Schüler Pekarek hat mit der von Fürth in Prag entwickelten Methode der doppelseitigen Erstpassagen gearbeitet und gezeigt, daß lebendes gesundes Plasma (in Wurzelhärchen von Chara) so dünnflüssig sein kann, daß es nur 5—6mal zäher ist als reines Wasser bei gleicher Temperatur. Damit ist die erstaunliche Tatsache bewiesen, daß die Feinstruktur und Organisation des Protoplasmas mit solch flüssigem Zustand vereinbar sein muß. — Im lebenden Plasma, im physiologischen Lebensbereich kann die Viskosität starke und zum Teil reversible Veränderungen erfahren, so von der Jugend zum Alter, zur Zeit der Geschlechtsreife, ja während der Zellteilung.

Wir können da nicht Lebenserscheinungen aus Viskositätsänderungen „erklären", aber es ist auch schon viel gewonnen, wenn wir die Gleichzeitigkeit von dispositionellen Zuständen und physiologischen Veränderungen des Organismus mit Zustandsänderungen im Plasma exakt nachzuweisen vermögen.

Versuche an leblosem Modell, an Gelatine u. dgl., haben für die Quellungserscheinungen am Plasma vieles gelehrt. Ich zeige im Bild die im Wiener Arbeitskreis recht bekannte Kappenplasmolyse (gekennzeich-

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter.www.biologiezentrum.at

net durch eine vital reversible Aufquellung des Plasmas), die an Zwiebelzellen durch reine Kochsalz- oder Kaliumchloridlösung herbeigeführt wird; der Zusatz von $^1/_{10}$ Volumen Calziumchlorid verhindert diese Aufquellung und bewirkt eine normale Plasmolyse. Nachträgliche Behandlung mit Kalium-Calzium-Mischlösung bewirkt an Kappenzellen eine Wiederentquellung des Plasmas. Es handelt sich um antagonistische Erscheinungen, wie sie zuerst an Pflanzenwurzeln von Böhm, dann an zahlreichen biologischen Objekten, wie Cilien, Eiern von Meerestieren, Blutkörperchen usw. eingehend studiert worden sind. Reine Lösungen der Alkalisalze wirken giftig, aber schon ein geringer Zusatz von Erdalkalisalzen reicht aus, die Schädigung auszuschalten. Es hat sich ergeben, daß die durch Salzlösungen verschiedener Art bewirkten Quellungsvorgänge vielfach am Gelatinemodell und am lebenden Zytoplasma ähnlich verlaufen. Da und dort gelten oft die bekannten Hofmeisterschen Ionenreihen.

Man hat die so fruchtbare Zeit von 1910—1935 wohl als die kolloidchemische Periode der Plasmaforschung bezeichnet. Es ist dies nur zum Teil richtig. Manche Begriffe sind von der Kolloidchemie, die damals blühte, herübergeholt. Aber die zellphysiologische Forschung hat sich durchaus selbständig entwickelt und ungerecht wäre der Vorwurf, daß die Betrachtung des Plasmas als kolloidaler Substanz und die Untersuchung seiner physikochemischen Eigen-

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

schaften mit exakter Methodik eine Verkennung der Lebensorganisation bedeutet hätte.

Immerhin wurde aber in jener Epoche die zytomorphologische Richtung von manchen Forschern unterschätzt. Da war es Ernst Küster, der die Morphologie des lebenden Protoplasmas neu zu Ehren gebracht hat.

Die gestaltliche Betrachtung des Protoplasten, die Zytomorphologie, ist in unserer österreichischen Schule neben der Kolloidphysik nicht zu kurz gekommen. Ich erwähne Germ's schöne Untersuchungen über Plasmaverlagerung und über vitale Entmengung des Plasmas, wobei sich fädig-fibrilläre Komponenten, wohl reich an Eiweiß-Fadenmolekülen, und flüssig-hyaline Komponenten, wohl lipodreich, trennen.

Wir dürfen von einer vierten zytomorphologischen Epoche sprechen, die an die kolloidchemische anschließt. Sie reicht herüber in die Gegenwart. Um Gestaltliches zu sehen, sind die optischen Hilfsmittel von großer Bedeutung. Wir nennen die wichtigsten: die Dunkelfeldbeleuchtung (samt dem Gebrauch der Spierer-Objektive), die schon in der Kolloidperiode gezeigt hat, daß lebendes Plasma optisch leer, absterbendes, nekrotisches aber trüb und aufhellend ist. Weiter die Fluoreszenzmikroskopie, in Österreich von Carl Reichert 1911 technisch begründet und von unserem unvergeßlichen Mitglied, Oberst Haitinger, mächtig gefördert, den Phasenkontrast und als fünften

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

Schritt, abschließend nachher zu behandeln, die Elektronenmikroskopie.

Das Fluoreszenzmikroskop hat der Vitalfärbung, jener so fruchtbaren Methode der experimentellen Zellforschung gewaltigen neuen Auftrieb gegeben. Die Färbung mit „Fluorochromen" bietet große methodische Vorteile vor der Hellfeldfärbung. Sie wird im UV-Licht schon bei starker Verdünnung und nach kurzer Färbezeit sichtbar, welche die lebende Zelle weitgehend ungeschädigt läßt. Und chemisch einheitliche Farbstoffe bringen verschiedene Teile des Gewebes oder der Zelle zum Leuchten in verschiedenen Farben. Solche Fluoreszenzmetachromasie ist allgemein bunter, farbenprächtiger, kontrastreicher als jene, die man mit Hellfeldfarbstoffen erzielt. — Über die Ergebnisse der Färbung mit basischen Farbstoffen ist im Kreise unseres Vereins oft gesprochen worden. Einige Bilder sollen ihnen Bekanntes ins Gedächtnis rufen.

Neueren Datums sind unsere Färbungen mit sauren Farbstoffen, vorzüglich mit Fluoreszeinen. Das Uranin ist Natriumfluoreszein. Es wird vom lebenden Plasma selbst immer und überall konkurrenzlos gespeichert, wenn nur der richtige Säuregrad, d. h. ein Farbbad vom richtigen pH auf die Zelle einwirkt. Was uns am meisten interessiert: Lebendes Plasma speichert, aufgequollenes speichert verstärkt und totes Plasma speichert gar nicht, nicht im mindesten, sodaß wir hier eine sehr leistungsfähige neue Lebensreaktion gewinnen. Wir denken uns das lebende Plasma als

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

einen Eiweiß-Lipoid-Komplex. Beim Tode, so sagt Lepeschkin, trennt sich Lipoid und Eiweiß. Vielleicht, so sagen wir mit aller Zurückhaltung, kann das Uranin-Molekül am lebenden Plasma mit seinen komplexen Molekülen haften, nicht am zerfallenen, toten.

Nun, die letzte und fünfte Hauptepoche setzt ein mit dem Gebrauch des Elektronenmikroskops. Früher konnte man 2000fach vergrößern, jetzt reicht die Vergrößerung bis ans 100.000-fache. Damit werden uns neue Größenordnungen eröffnet. Kein Wunder, wenn sich Enthusiasmus, ja wenn sich so was wie ein Ekstasezustand des Forschers an der Schwelle dieser neuen Welt im Kleinsten bemächtigt.

Auf dem Gebiet der Zellwandforschung hat die Elektronenmikroskopie ihre ersten Erfolge erzielt. Die pflanzliche Zellmembran, aus Zellulose und Pektin gebaut, besteht nicht aus quaderförmigen Mizellen, wie Nägeli einst geistvoll postuliert hatte (und die Röntgenuntersuchungen zu bestätigen glaubten), sondern sie besteht aus feinen Mikrofibrillen von etwa 250 bis 300 Å, d. i. $^1/_{40000}$ bis $^1/_{30000}$ mm Durchmesser. Diese sind wirr verflochten bei der Pektin-, mehr minder parallel gelagert in der doppelbrechenden Zelluloselamelle. — Das ist Zellwand-, nicht Protoplasma-Anatomie. Aber das lebende Plasma baut ja die Zellwand auf und es scheidet dabei diese feinen, gleichmäßig dicken Fäden aus, eine Tatsache von fundamentaler Bedeutung.

Erst in jüngster Zeit, seit 1950—53 etwa, ist nach

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

Ausarbeitung einer entsprechenden Schneide- und Fixierungstechnik auch das Protoplasma selbst der elektronenmikroskopischen Untersuchung zugänglich geworden; da kann ich nach meinem Besuch in New York im September 1959 aussagen, daß das dortige Rockefeller-Institut führend und allen anderen Arbeitsstätten um ein Stück voran war. Diese fünfte Periode der Plasmaforschung ist nun freilich wieder auf die Verwendung fixierter, vorzüglich mit Osmiumsäuregemischen behandelter Zellen angewiesen.

Es hat gewaltige Überraschungen gegeben. Die Chondriosomen, die auch im Lichtmikroskop (Phasenkontrast) sichtbaren kleinen „Kraftwerke" der Zellen, zeigen einen charakteristischen inneren Bau, die cristae mitochondriales. Im durchsichtigen Plasma, dem Hyaloplasma selbst aber haben Porter und Palade zwei Phasen unterscheiden können, ein flüssigkeitserfülltes, oft netz- und amöbenartig verzweigtes endoplasmatisches Retikulum und dazwischen die Grundmasse des Zytoplasmas. Aber auch diese erscheint jetzt nicht mehr homogen zusammengesetzt, sondern wir sehen (am besten in jungen Wurzelzellen und in geeigneten tierischen Zellen) massenhaft kleine, stark osmiumspeichernde Kügelchen und Körnchen von bestimmter Größe (140 bis 150 Å, d. i. $^1/_{70\,000}$ mm im Mittel), die ausgezeichnet sind durch hohen Gehalt an der im Zelleben so wichtigen Ribonukleinsäure. Diese ist also nicht diffus im Plasma verteilt, sondern in einer dispersen Phase lokalisiert. Sollten diese Körn-

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

chen, für die ich den Namen Meiosomen vorschlug, vielleicht das lange gesuchte, genetisch wirksame Element im Plasma sein?

Das Plasma dazwischen, der Eiweiß-Lipoid-Komplex bleibt auch bei der Prüfung mit modernster Elektronenoptik homogen und nicht auflösbar. Erfreulicher Weise haben wir dank der Vorsorge unseres Ministeriums schon beste Elektronenmikroskope auch in Wien. Ich kann ihnen Dr. Klimas schöne Aufnahmen von Planaria alpina vorführen, die das endoplasmatische Retikulum, die Meiosomen und das Grundplasma zeigen, und Bilder vom strömenden Plasma unserer Alge Chara stehen vor der Veröffentlichung. —

Sie sehen, alt geworden ist die Protoplasmaforschung auch nach 100 Jahren noch nicht.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Schriften des Vereins zur Verbreitung naturwissenschaftlicher Kenntnisse Wien

Jahr/Year: 1960

Band/Volume: 100

Autor(en)/Author(s): Höfler Karl

Artikel/Article: Hundert Jahre Protoplasmaforschung. 71-83