

# Die Lehre vom zelligen Aufbau des Tierkörpers einst und jetzt.<sup>1)</sup>

Von W. J. Schmidt

Es gibt kaum einen schöneren Weg, bei der Jugend den Sinn für die Wissenschaft zu wecken, als sie hinzuleiten zum Leben und Werk großer Forscher. Das entkleidet die Wissenschaft ihres unpersönlichen Gewandes und läßt hinter der Leistung den Menschen hervortreten, der mit Liebe — und oft auch mit Leid — um die Wahrheit gerungen hat, den Kämpfer, dessen Anblick das Herz begeisterungsfähiger Jugend höher schlagen läßt.

Und wer, ergraut im Dienste der Wissenschaft, die Taten ihrer Könige vor seinem Geiste wiedererstehen läßt, den erquickt das auf dem eigenen Wege wie ein labender Trunk, und reicher Gewinn wird ihm zuteil. Denn die Wissenschaft ist etwas Gewordenes, ja unaufhörlich werdendes. Gar manche Seiten ihres Wesens lassen sich aus geschichtlicher Kenntnis besser verstehen, als wenn nur der heutige Zustand beachtet wird. Wie aus weiter Ferne einzig die Gipfel des Hochgebirges sichtbar bleiben, wenn alles rings umher schon am Horizont versunken, so ist in der Wissenschaft nicht selten zeitlicher Abstand nötig, um das wahrhaft Große und Unvergängliche mit Sicherheit zu erkennen.

Da nun vor etwa 100 Jahren eine der tiefsten Einsichten auf dem Gebiete der Biologie sich Bahn brach, daß nämlich Tiere und Pflanzen aus wesensgleichen kleinsten Lebenseinheiten, den Zellen, bestehen, glaubte der Zoologe in dieser Feierstunde keinen anderen Gegenstand der Betrachtung wählen zu sollen wie einen Ausschnitt dieses Gebietes: Die Lehre vom zelligen Aufbau des Tierkörpers einst und jetzt.

Ein Jahrhundert ist verflossen, seitdem Theodor Schwanns „Mikroskopische Untersuchungen über die Übereinstimmung in der

<sup>1)</sup> Festvortrag zur Hochschulwoche der Universität Gießen 1939.

Struktur und im Wachstum der Thiere und Pflanzen“ (1839) erschienen sind. Damit gelangte die Zellenlehre, die Matthias Jakob Schleiden 1838 für den Pflanzkörper aufgestellt hatte, auch für den Leib der Tiere zu allgemeiner Anerkennung. Und seitdem durchdringt diese Lehre alle Bereiche der Biologie, die bisherigen Auffassungen tiefgehend wandelnd.

Wir wissen: trotz der großen Unterschiede im Bauplan, die etwa eine Qualle, einen Wurm, einen Käfer, eine Schnecke, ein Wirbeltier wie Werke verschiedener Meister erscheinen lassen, liegt überall die Zelle als letzter lebender Baustein vor, sei es, daß der Körper der Tiere nur aus einer einzigen Zelle besteht, oder aber eine Vielheit von solchen umfaßt. Wir haben erkannt: niemals entstehen Zellen neu, sondern immer gehen sie durch Teilung aus ihresgleichen hervor, so daß jede Art von Fortpflanzung letztlich Zellteilung ist, und Wachstum auf Vergrößerung oder Vermehrung von Zellen oder Lieferung von Stoffen durch sie beruht. Der vielzellige Organismus tritt einzellig sein Leben an, als Ei, und durch Teilung, Verlagerung und Unterschiedlichwerden der Zellen „entwickelt“ sich der reich gegliederte fertige Zustand. Das Geheimnis der Befruchtung, Jahrtausende lang verborgen, ist entschleiert als Verschmelzung der männlichen und der weiblichen Geschlechtszelle. Und die Vererbung, die in jeder Generation das artgemäße Bild des Organismus wieder erstehen läßt, ruht auf der Übertragung der Anlagen durch die Geschlechtszellen.

Die Lebenserscheinungen eines Organismus decken sich bei den Einzellern mit denen der Zelle und bei den Vielzellern erscheinen sie uns als das geordnete Zusammenspiel zahlloser Zellen: Jede von ihnen hat ihren selbständigen Stoffwechsel; sie schöpft aus dem Nahrungsstrom, der als Blut und Lymphe den Körper durchflutet, ihren Anteil, erbaut daraus die ihr gemäßen Stoffe und Strukturen und gibt die Schlacken ihres Stoffwechsels wieder daran ab. Die Atmung, die den Alten im Hauch der bezeichnendste Ausdruck des Lebens war, spielt sich in jeder Zelle ab; hier setzt die Einfügung des Sauerstoffs die Kräfte in Freiheit, die dem Organismus dienen. Die Bewegung, die Leistung des Muskels, ist die Summe der Tätigkeiten seiner einzelnen Zellen. Die Aufnahme der Reize und die Fortleitung und Verarbeitung der durch sie hervorgerufenen Erregungen vollzieht sich im höheren Tier durch besonders dafür bestimmte Zellen.

Wir kennen einzellige Lebewesen, die der Untersucher nach Belieben den Pflanzen oder Tieren zuweisen kann; sie bezeugen uns die gemeinsame Wurzel der beiden Reiche der lebenden Natur. Der Gang der Stammesgeschichte im Tierreich vom Einzeller zum Vielzeller dünkt uns nicht außer dem Bereich der Möglichkeit, seitdem die Bildung des vielzelligen Körpers aus dem Ei klargestellt wurde. Die Entwicklung des Einzelwesens läßt uns ebenso wie der Vergleich des zelligen Aufbaus höherer und niederer Tiergruppen auf das deutlichste erkennen, wie Bau und Leistungen der anfangs gleichartigen Abkömmlinge der Eizelle unterschiedlich werden, wie Arbeitsteilung sich einstellt: bestimmte Zellen übernehmen Einzelaufgaben im Betriebe des Organismus, während sie gleichzeitig von anderen entlastet werden, was die Lebensleistungen steigert. So ist der Zellenstaat nicht eine Vergesellschaftung von Einzelwesen gleicher Art, nicht ein Nebeneinander zahlloser gleicher und gleichberechtigter Zellen, sondern es entfalten sich höchst verwickelte Abhängigkeiten, eine mannigfache Stufung, eine Zellhierarchie.

Unsere Vorstellungen vom Wesen der Krankheit wurden durch die Zellenlehre auf eine ganz neue Grundlage gestellt: Erkrankung beruht leztlich auf Störung in der Tätigkeit und in dem Bau der Zellen; einzelne von ihnen können leiden, während andere gesund bleiben. Und der Tod ist Zellentod; der vielzellige Leib stirbt nicht mit einem Male, sondern seine Zellen verfallen nacheinander der Parze. Unübersehbar sind die praktischen Auswirkungen, welche die Zellenlehre in der Heilkunde nach sich gezogen hat: jede mikroskopische Blutuntersuchung, jede Prüfung einer Geschwulst auf gutartige oder bösartige Beschaffenheit ruht auf solchem Grunde.

Diese Hinweise mögen Ihnen ein Bild unreißen von dem, was die Zellenlehre der Biologie gab: auf Fortpflanzung, Formbildung und Leistung des Organismus hat sie helles Licht geworfen und mit der Vererbungslehre ist sie so innig verwachsen, daß die Grenzziehung schwer fällt. Eine geschichtliche Betrachtung von Botanik und Zoologie, Anatomie und Physiologie, von zahlreichen Zweigen der angewandten Biologie in Heilkunde, Eier- und Pflanzenzucht ist für das letzte Jahrhundert nicht denkbar ohne eingehende Würdigung der Zellenlehre.

So gewaltige Antriebe der Biologie erteilt zu haben, ist das unsterbliche Verdienst der deutschen Forscher Schleiden und Schwann.

Freilich waren schon vor ihnen Zellen gesehen worden, aber ohne richtige Einschätzung ihrer Bedeutung. Wenn ich mich auf den Tierkörper beschränke, so hatten in der zweiten Hälfte des 17. Jahrhunderts Malpighi und Swammerdam die Blutkörperchen des Frosches unter dem Mikroskop wahrgenommen, Borelli die Lymphkörperchen im Serum und Chylus beobachtet, van Leeuwenhoek die Fettbläschen, die Schuppen der verhornten Oberhaut, die Fasern der Augenlinse, die quergestreiften Muskelfasern gesehen und sein Schüler van Samen die „Samentierchen“ entdeckt, was alles nach späterer Einsicht Zellen sind. Aber es fehlte ganz und gar die Vorstellung, daß Gebilde von so verschiedener Größe und Form gleichen Ranges und Lebenseinheiten seien.

Erst die Entdeckung der Pflanzenzellen, deren Abgrenzung Robert Hooke 1667 an Holzkohle und Kork unter dem Mikroskop wahrnahm, und deren Allgegenwart im Pflanzenkörper Marcello Malpighi und Nehemias Grew 1671 erkannten, legte solche Gedanken nahe. So erwog C. F. Wolff 1759 die Übereinstimmung im zelligen Aufbau der Tiere und Pflanzen. Und R. J. S. Dutrochet belegte sie 1824 mit richtigen Beobachtungen; ja es finden sich bei ihm treffende Äußerungen über die physiologische Rolle der Zelle, die er einmal „Grundeinheit“ des Organismus nennt. Jedoch, solche Auffassungen konnten sich nicht durchsetzen, weil der Bereich der Tatsachen zu eng war. Naturphilosophische Gedankengebäude aber, wie Oken's Bläschenlehre, nach welcher der Körper der höheren Tiere und Pflanzen aus Infusorien sich aufbaue und beim Tode wieder darein zerfalle, mußten bald zusammenbrechen in einer Zeit, die sich mehr und mehr der Beobachtung zuwandte.

Während ein jeder dünner Schnitt durch Pflanzenteile unter dem Mikroskop die Abgrenzung der Zellen an ihren stark ausgeprägten Wänden auf das deutlichste erkennen läßt, liegen die Dinge im Tierkörper weitaus schwieriger. Hier sind die Zellen in der Regel bedeutend kleiner, so daß stärkere Vergrößerungen nötig sind, um sie überhaupt sicher wahrzunehmen. Aber selbst dann erscheinen ihre Grenzen äußerst zart umrissen, weil eine Zellwand nur ausnahmsweise gebildet wird. Weiter ist die Gestalt tierischer Zellen so mannigfach — kugelig, scheiben-, faserförmig, in wechselnder Art verzweigt — und ihre Größe so unterschiedlich — reicht sie doch von wenigen tausendstel Millimetern bis zu mehreren Zentimetern (Gelbei großer Vögel), ja in einzelnen Fällen bis über einen Meter (Nervenzellen mit dem Faser-

fortsatz) —, daß der bloße Vergleich der Form niemals zur Erkenntnis führen konnte, daß hier wesensgleiche Bauteile, geschweige Lebens-  
einheiten vorlägen. Ja, in gewissen Fällen bilden die Zellen so reichlich (nichtzellige) „Grundsubstanz“ zwischen sich aus, daß sie selbst nur einen verschwindenden und leicht übersehenen Teil der Gesamtmasse darstellen, ein Verhalten, das im Pflanzenkörper nicht seinesgleichen hat. Noch heute entlockt dieser Umstand dem Anfänger bei der mikroskopischen Untersuchung des Tierkörpers — und selbst gegenüber kunstgerecht hergestellten Präparaten! — die Frage: wo sind denn eigentlich die Zellen? Schließlich unterliegen Teile des Tierkörpers, aus dem Zusammenhang gelöst, sehr bald Veränderungen, die leicht zur Quelle von Irrtümern werden.

Aus all diesen Umständen wird begreiflich, warum im ersten Viertel des 19. Jahrhunderts, also schon vor Schleiden, zwar der Aufbau des Pflanzenkörpers aus Zellen wohl bekannt war, wenn auch ihre Bedeutung als Lebensseinheiten noch verborgen blieb, während entsprechende Beobachtungen für den Tierkörper sehr spärlich und in ihrer Vereinzelnung schwer verknüpfbar waren.

Hier führte erst kurz vor Schwann die Erkenntnis weiter, daß jeder Zelle, wie auch ihre Größe und Gestalt sein möge, ein Zellkern zugehört. Dieses meist kugelige Gebilde war von Robert Brown im Innern von Pflanzenzellen 1831 entdeckt worden. Sein regelmäßiges Vorkommen in tierischen Zellen erfaßten klar J. E. Purkinje und seine Schüler, von denen Gabriel Valentin der bedeutendste war. Purkinje hatte 1825 auf der Oberfläche des Vogeleidotter — der die Eizelle ist — ein kleines durchsichtiges Bläschen aufgefunden, das er Keimbläschen nannte, ein Gebilde, das bereits Poli (1791) gesehen hatte, dessen Entdeckung aber der Vergessenheit anheimgefallen war. Corti (1833) und der Purkinje-Schüler H. Bernhardt (1834) wiesen das Keimbläschen, nach der Entdeckung des Säugereies durch C. E. von Baer (1827), auch in diesem nach. Und Rudolph Wagner (1836) war sein Vorkommen bei Eiern verschiedener Tiergruppen bekannt. Nun fand Purkinje (1836) ein ähnliches Gebilde in den „Ganglienkugeln“, den späteren Nervenzellen. Valentin sah in den Epithelzellen der Bindehaut des Auges ohne Ausnahme einen dunklen kompakten Kern (1836), und ähnlich schildert er es für die Oberhaut des Grottenolms (1837). So war der Kern bei tierischen Zellen sehr verschiedener Art festgestellt worden.

Weiter hatte sich im Rahmen von Purkinjes Untersuchungen

ergeben, daß statt der blasigen Zellen, wie sie dem Pflanzkörper eigen sind, im Tierkörper weit häufiger kleine „Körnchen“ sich finden, was vor allem bei embryonalen Geweben deutlich erkennbar war (Valentin 1835). Auf solche Befunde gestützt, sprach Purkinje am 19. September 1837 auf der Versammlung deutscher Naturforscher und Ärzte in Prag aus, daß Speichel-, Magen- und Schleimdrüsen, Nieren, Leber, Hoden, Milz, Schilddrüse, Oberhaut und Schleimhäute sich aus eigentümlichen Körnchen aufbauen, deren jedes in seinem Innern einen von der umgebenden Substanz verschiedenen Kern besitzt.

Jetzt war der Kern zu einem wesentlichen Kennzeichen der Zelle geworden, während ihre Wand die Bedeutung eines nicht stets verwirklichten Merkmals erhielt. So hat Purkinje Großes zur Begründung der tierischen Zellenlehre beigetragen. Auch Schwann war von der Bedeutung des Kernes durchdrungen: „Der wichtigste und häufigste Umstand zum Beweis der Existenz einer Zelle ist die An- oder Abwesenheit eines Kernes“, so sprach er es aus.

Damit haben wir erst ein Stück des seltsam verschlungenen Weges zurückgelegt, den die Geschichte der Zellenlehre nahm, indem zuerst die Zellwand gesehen wurde, die sich später als entbehrlicher Teil erwies, und dann der Zellkern, während der übrige Inhalt der Zelle bis dahin kaum Beachtung gefunden hatte. Zwar waren schon Bonaventura Corti (1774) und Rudolph Treviranus (1811) in Pflanzenzellen merkwürdige Bewegungen aufgefallen, die sich an dem meist als Schleim bezeichneten Zellinhalt vollzogen. Aber erst als F. Dujardin (1841) an der Körpermasse — Sarkode, wie er sie nannte — der Infusorien und Wurzelfüßer, deren einzellige Natur erst von Siebold (1845) und andere aufklärten, ähnliche Bewegungen beobachtete und S. Mohl (1846) auf die große physiologische Bedeutung dieser zähflüssigen Masse, deren Stickstoffgehalt bereits Nägeli erkannt hatte, hinwies, da wurde auch das Protoplasma, wie Mohl es bezeichnete, Gegenstand eingehender Untersuchungen. Und damit erst brach sich die Kennzeichnung der Zelle Bahn, die auch heute noch gilt: ein Klümpchen Protoplasma, das einen Kern umschließt und mit den Eigenschaften des Lebens begabt ist (Max Schulze 1861). Später gewann dann der Begriff Protoplasma schlechthin den Inhalt von Lebenssubstrat.

Die nähere Erforschung des Protoplasmas, die in den siebziger Jahren einsetzte, hat zur Entwicklung verschiedener Vorstellungen über

seinen feinsten mikroskopischen Bau geführt, zur Netz-, Faser-, Körnchen-, Wabentheorie. Sie besitzen zwar alle einen gewissen Wahrheitsgehalt, indem solche Strukturen tatsächlich auftreten können; aber diese machen nicht, wie die Urheber jener Lehren meist wollten, den grundsätzlichen Feinbau des Protoplasmas aus. Auch der Versuch, die wechselnde, bald dünn- bald zähflüssige, bald gallertige Beschaffenheit des Protoplasmas durch den Vergleich mit emulsions- oder suspensionsartigen kolloiden Lösungen (Solen) zu klären, muß als gescheitert gelten; denn er macht nicht verständlich, warum lebendes Protoplasma durch leichten Druck abgetötet werden kann.

Solches Verhalten läßt sich vielmehr nur begreifen, wenn wir, selbst in Protoplasma, das unter stärksten Vergrößerungen keinerlei Anzeichen von Struktur verrät, ganz wie eine Flüssigkeit erscheint, einen Zusammenhang der Bausteine annehmen, der mechanisch zerstört werden kann. Wir müssen uns mit Frey-Wyßling vorstellen, daß die fadenförmigen Eiweißmolekeln, die gemäß ihrer Gestalt und bedeutenden Größe den eigentlich strukturbestimmenden Anteil des Protoplasmas darstellen, ein submikroskopisches Gerüst bilden, indem sie dort, wo sie sich berühren, aneinander haften. In den Lücken dieses Gerüsts befinden sich die anderen Bestandteile des Protoplasmas und zwar zum Teil geordnet durch die von den Proteinmolekeln ausgehenden chemischen und physikalischen Kräfte. Durch Vermehren und Lösen der Haftpunkte lassen sich die verschiedene Zähigkeit des Protoplasmas, sein Übergang von flüssig zu fest und umgekehrt und auch viele andere seiner Eigenschaften erklären. Damit dürfte nach langem Bemühen endlich der richtige Ansatz zu einer Erfassung der Protoplasmastruktur gefunden sein. —

Schwann hatte sich Schleidens Vorstellung von der Entstehung der Zellen zu eigen gemacht: sie sollten sich in den Mutterzellen aus einem formlosen Stoff, dem „Cytoblastem“ bilden, derart, daß zuerst der Zellkern auftrete, dann von ihm ein durchsichtiges Bläschen, die junge Zelle, sich abhebe, und diese schließlich sich ausdehne, bis der Kern nur noch als ein kleines in einer der Seitenwände eingeschlossenes Körperchen erscheine. Solche Bildungsweise glaubte Schwann auch für zahlreiche tierische Zellen nachweisen zu können, freilich mit der Abweichung, daß manchmal neue Zellen auch zwischen den alten entstünden. Ein guter Teil seines Beweises für die Übereinstimmung in dem mikroskopischen Aufbau von Tieren und Pflanzen beruhte auf dieser, wie sich alsbald erweisen sollte, irrigen Auffassung.

Schon Dumortier (1832), H. Mohl (1835) und andere Forscher hatten gesehen, daß Algenzellen sich durch Scheidewandbildung teilen. Und bald nach dem Erscheinen von Schwanns Werk widersprach Robert Remak der dort gegebenen Darstellung von der Zellentstehung; hatte er doch beobachtet, daß embryonale Blutkörperchen sich durch Teilung vermehren. So vertrat Remak immer entschiedener die Auffassung, daß Zellen nur durch Teilung nach vorausgegangener Zweiteilung des Kerns entstehen.

Aber erst in den siebziger Jahren wurden die Einzelheiten der Zellteilung aufgeklärt. Der Gießener Zoologe Anton Schneider hat als erster (1873) wesentliche Stadien des heute als Mitose bezeichneten Vorgangs beobachtet. Seinen Ablauf im ganzen stellten an tierischen Zellen Walther Flemming, Eduard van Beneden, Theodor Boveri und andere in den achtziger Jahren klar: aus jedem Zellkern geht eine bestimmte, bei allen Zellen des betreffenden Organismus wiederkehrende Zahl von Fäden — Chromosomen in Waldeneyers späterer Bezeichnung (1888) — hervor, die längs gespalten werden und aus deren Spalthälften sich die Tochterkerne bilden, und zwar so, daß stets die eine Spalthälfte eines Chromosoms dem einen, die andere dem anderen Tochterkern zugeteilt wird; dann schnürt sich der Zellenleib zwischen den Tochterkernen durch.

So wird das Kernmaterial in peinlich genauer Art auf die Tochterzellen verteilt. Wir kennen heute auch den Sinn dieses Vorgangs: die Chromosomen sind die Träger der Erbanlagen und durch die Längsspaltung wird dafür gesorgt, daß alle Unterschiede, welche die Kernfäden nach der Länge besitzen, auch in den Tochterchromosomen erhalten bleiben und den Tochterkernen überliefert werden. Von hier ausgehend entwickelten sich die innigen Beziehungen zwischen Zellen- und Vererbungslehre, die schließlich Th. H. Morgan und seine Schule dahin führten, den Ort bestimmter Erbanlagen in der Länge der Chromosomen festzulegen. Neuestens eröffnen sich uns auch Ansätze für das Verständnis der Beziehungen zwischen Erbanlagen und molekularem Aufbau der Chromosomen: es scheint, daß die Anlagen durch die Seitenketten dargestellt werden, welche die zum Chromosom gebündelten Eiweißmolekeln tragen.

In den siebziger Jahren wurde in den tierischen Zellen noch ein drittes allgemein vorhandenes Gebilde nachgewiesen, das sog. Centriol, ein winziges im Protoplasma gelegenes Körnchen, das bei der Zellteilung eine wichtige Rolle spielt und ähnlich wie der Kern, durch

Zweiteilung vermehrt, den Tochterzellen überliefert wird. Merkwürdigerweise ist es bei Pflanzenzellen so gut wie unbekannt. Erwähnen wir noch kurz die um die Jahrhundertwende im Protoplasma entdeckten Mitochondrien und den nach Golgi benannten Apparat, Bildungen, deren physiologische Bedeutung freilich noch ganz unbekannt ist, so haben wir in großen Zügen das Bild der tierischen Zelle, wie es sich uns heute darstellt, im allgemeinen vollendet.

Im gleichen Zeitraum aber erweiterte sich die Kenntnis von Bau, Entwicklung und Leistungen der den besonderen Aufgaben dienenden Zellen ins Unübersehbare: Deck-, Binde- und Stützellen, Muskel- und Nervenzellen wurden im ganzen Tierreich und in allen Einzelheiten erforscht, ja noch Zellformen entdeckt, die Schwann ganz unbekannt waren, wie die dem Nervensystem eigenen Gliazellen.

Auch der chemische Aufbau der Zellen und sein Wandel in Abhängigkeit von den Lebensvorgängen fand in mancher Hinsicht Klärung. Als Beispiel sei nur erinnert an den Nachweis der Nukleinsäure im Zellkern.

All' diese Fortschritte in der tierischen Zellenlehre wurden erst ermöglicht durch die Verbesserung der Instrumente und Untersuchungsmethoden. Das aus Objektiv und Okular zusammengesetzte Mikroskop, am Ausgang des 16. Jahrhunderts in Holland erfunden, hatte sich durch tastende Versuche — seit dem Anfang des 18. Jahrhunderts unter Benutzung achromatischer Linsen — zu erstaunlicher Güte entwickelt. Jedoch erst der von Ernst Abbe 1868 beschrittene Weg der rechnerischen Ermittlung aller Konstruktions-elemente des Mikroskopobjektivs, nämlich der Radien, Dicken, Abstände der Linsen unter Beachtung der Dispersion der verwendeten Gläser und die Einführung besonders geeigneten Linsenmaterials führte zu der heutigen Vollkommenheit, welche die theoretisch gegebenen Grenzen der Strahlenvereinigung, Auflösung, Helligkeit und Bild-ebnung fast erreicht. Das ermöglichte zugleich, die optischen Teile unter Erhaltung der vorgeschriebenen Güte in beliebiger Zahl herzustellen. Dies und weiter die Anwendung der Reihenherstellung auf die mechanischen Teile bewirkte eine bedeutende Verbilligung des Mikroskopes, die für die Wissenschaft von größtem Nutzen wurde. Zu Schwanns Zeiten war ein brauchbares Instrument eine nur wenigen zugängliche Kostbarkeit; heute steht jedem Anfänger im Laboratorium ein Mikroskop zur Verfügung, das weit leistungsfähiger ist als die Werkzeuge, deren sich die Heroen der Zellforschung bedienten.

Das Untersuchungsverfahren war zu Schwanns Zeiten einfach, indem frische oder auch in Weingeist aufgehobene Organe zerzupft oder von ihren Ober- und Schnittflächen Teilchen abgeschabt, auch Schnitte mit dem Rasiermesser hergestellt wurden. In der zweiten Hälfte des vergangenen Jahrhunderts entwickelte sich die Herstellung von Dünnschnitten aus dem abgetöteten und kunstgerecht in Einbettungsmassen (Paraffin, Zelloidin) eingeschlossenen Objekt mittels besonderer Vorrichtungen, sogenannter Mikrotome: sie erlauben Schnitte bis zu  $\frac{1}{1000}$  Millimeter Dicke herab herzustellen, ja neuestens Keilschnitte, die nach dem dünnen Ende hin noch zu weit größerer Feinheit auslaufen. An solchen Schnitten werden die Einzelheiten durch Färbung sichtbar gemacht, ein Verfahren, das sich zunächst bei der Untersuchung des Zellkerns und seiner Teilung entwickelte. Diese außerordentlich entfaltete Technik hat die Erkenntnis des feineren Baues tierischer Zellen ungemein gefördert, freilich auch eine Vernachlässigung der Untersuchung der lebenden Zelle nach sich gezogen. Die großen Schwierigkeiten, die hier im Vergleich zur Pflanzenzelle bestehen, konnten erst allmählich überwunden werden. Vor allem förderlich hat die Gewebekultur gewirkt, das Züchten kleiner lebender Gewebestückchen außerhalb des Körpers in Nährmedien. Dabei kommt es oft zum Auswandern und Vermehren von Zellen, die, jetzt in dünnster Schicht ausgebreitet, sich mit stärksten Vergrößerungen untersuchen und mannigfachen Eingriffen unterwerfen lassen.

Wie sich mit solchen Mitteln die weitere Entwicklung vollzog, mag am Beispiel der Nervenzellen etwas näher erläutert werden. Bei den von Dutrochet (1824) im Nervensystem von Schnecken und Ehrenberg (1833) in dem von Wirbellosen und Wirbeltieren beobachteten Ganglienkugeln hatte Purkinje nicht nur den Zellkern entdeckt, sondern auch wahrgenommen, daß der Zellkörper verzweigt ist. Schwann sprach dann die Ganglienkugeln mit aller Bestimmtheit als Zellen (Ganglienzellen) an.

Aber schon früher hatten Fontana (1781), Treviranus und Ehrenberg im Nervensystem und den davon ausgehenden Nerven Fasern beschrieben, deren Beziehung zu den Zellen zunächst dunkel blieb. Erst im Anfang der vierziger Jahre ermittelten Hannover, Helmholtz, Kölliker und später vor allem Meiters, daß je eine dieser Fasern aus einer Ganglienzelle entspringt, einen fadenartigen riesigen Fortsatz derselben — Neurit in späterer Bezeichnung — darstellt, neben dem in der Regel noch zahlreiche kurze Fortsätze,

Dendriten, vorhanden sind. Der Vergleich verschiedener embryonaler Entwicklungszustände belehrte nun His (1886), daß die Nervenzelle ursprünglich unverzweigt ist und der Neurit allmählich sich vergrößernd aus ihr hervorstößt und so schließlich sein Endgebiet, etwa einen Muskel, erreicht. Ja, G. R. Harrison (1907) konnte dieses Auswachsen an Rückenmarksstückchen von Froschembryonen, die in Lymphe lebend erhalten wurden, unmittelbar verfolgen — was der Anfang der Gewebekultur wurde. Neuestens gelang es auch, das Auswachsen der Neuriten im durchsichtigen Saum der Schwanzflosse von Kaulquappen zu beobachten. Die Wachstumsgeschwindigkeit beträgt hier etwa 15—20 Tausendstel Millimeter in der Stunde. Bei Kulturen des Nervengewebes von Hühnerembryonen ist sie etwa 5 mal so groß. Der Vorgang, welcher sich unter amöboider Bewegung des Neuritenendes vollzieht, erinnert sehr an das Auswachsen eines Pseudopodiums bei einzelligen Tieren.

Der nähere Zusammenhang der Zellen im Nervensystem ließ sich freilich mit den bis dahin üblichen Verfahren kaum klären. Erst die Färbung mit Methylenblau nach Paul Ehrlich, mit Chromsilber nach Camillo Golgi und die Versilberungs- und Vergoldungsverfahren von Ramón y Cajal, Bielschowsky, Apáthy u. a. ergaben, daß die Zellen, die Waldeyer (1891) Neuronen nannte, durch Vermittelung ihrer Fortsätze meist kettenartig hintereinander geschaltet sind; so kann die Erregung von einer Zelle auf die andere übergehen und durchläuft dabei auf den Neuriten große Strecken. Die feinere Art der Verknüpfung der Zellen in diesen Neuronenbahnen ist freilich noch umstritten, indem die einen für plasmatischen Zusammenhang, die anderen nur für Berührung eintreten. Die mikroskopische Beobachtung bewegt sich hier an den Grenzen der Leistungsfähigkeit des Instrumentes und die färberische Darstellung beginnt bei den letzten Einzelheiten zu versagen.

Nun hatte Max Schulze (1871) bei den Ganglienzellen und Neuriten der Wirbeltiere zarteste Fädchen im Protoplasma beobachtet und sie als das eigentlich Leitende angesprochen. Diese Neurofibrillen ließen sich später mit den Versilberungs- und Vergoldungsverfahren bei Wirbellosen und Wirbeltieren in großer Schärfe darstellen. Man hat sie in einzelnen Fällen auch an lebenden Zellen und Fasern wahrnehmen können und damit den Einwand beseitigt, sie entstünden erst durch die angewendeten Untersuchungsverfahren. Ob die Neurofibrillen aber wirklich das leitende Element darstellen, oder nicht

vielmehr ein Stützgerüst für die sehr großen und weichen und daher leicht verletzlichen Zellkörper und -fasern, ist nicht mit Sicherheit entschieden.

Viele Neuriten sind von sog. Schwannschen Zellen umscheidet. Diese wandern in embryonaler Zeit von ihrer Bildungsstätte aus und verteilen sich auf dem auswachsenden Neuriten. Wird das Bildungsmaterial für die Schwannschen Zellen dem Embryo genommen, so entstehen scheidenlose Neuriten (Harrison).

Die Erkenntnisse über den feineren Aufbau des Nervensystems erfuhren ihre Erweiterung durch mannigfache Versuche an der lebenden Zelle. Zwar ist Sauerstoff allen Zellen ein unentbehrliches Element, aber die Nervenzellen sind gegen seinen Mangel so empfindlich, daß sie im zentralen Nervensystem bei Unterbindung der Blutzufuhr alsbald ihre Tätigkeit einstellen, während die peripherischen Bahnen weniger unter dem Entzug des Sauerstoffs leiden. Kokain und verwandte Stoffe heben, in die Nähe einer (sensiblen) Nervenfaser gebracht, alsbald die Schmerzempfindung in dem von ihr versorgten Gebiet auf, blockieren also die Leitung in der Faser chemisch. Nikotinslösung aber schaltet bei bestimmten Ganglienzellen der Eingeweidenerven, auf den Zellkörper geträufelt, das betreffende Neuron ganz aus, während es, dem Neuriten aufgetragen, wirkungslos bleibt. Strychnin steigert die Erregbarkeit gewisser Neuronen ungeheuerlich.

Helmholtz lehrte uns die Geschwindigkeit messen, mit welcher die Erregung den Neuriten durchleitet; sie beträgt beim Menschen etwa 90 Meter, beim Frosch aber nur 30 in der Sekunde und sinkt gar bei Muscheln auf 10 Zentimeter herab. Schon aus diesen Umständen läßt sich entnehmen, daß die Erregung nicht Fließen eines elektrischen Stromes ist. Die Leitungsgeschwindigkeit zeigt auch Abhängigkeit von der Mächtigkeit der als Markscheide bezeichneten, an fettartigen Stoffen reichen Hülle des Neuriten, die nach neuerer Erkenntnis allen Nervenfäsern zukommt, aber bei den sogenannten grauen Fasern sehr schwach entwickelt ist. Auch das Kaliber der Nervenfäsern scheint eine Rolle bei der Leitungsgeschwindigkeit zu spielen. Für die Bedeutung der Markscheide spricht weiter die zeitliche Parallele zwischen ihrem Auftreten in embryonaler Zeit und dem Tätigwerden der Nerven.

In dem Protoplasma der Nervenzellen finden sich Schollen von eigentümlicher Färbbarkeit, die Nissls Namen tragen; bei langdauernder Beanspruchung der Zelle zerfallen sie und schwinden, um bei der Erholung sich wieder neu zu bilden; demnach dürften sie Reservematerial für die Zelltätigkeit darstellen.

Durchschneidet man eine Nervenfaser, so wird, wie nicht anders zu erwarten, die Leitung unterbrochen; zugleich aber stirbt das vom Zellkörper getrennte Stück der Faser ab, gemäß der allgemein bewährten Erfahrung, daß kernlose Zellteile auf die Dauer nicht leben können. Aber auch der kernhaltige Teil wird durch den Eingriff geschädigt; er schiebt langsam dahin, infolge der Untätigkeit, zu der er verurteilt wird. Jedoch setzt oft von dem kernhaltigen Zellteil Auswachsen des Neuritenstumpfs ein: er folgt dabei der degenerierenden peripherischen Bahn — vermutlich chemisch angelockt durch die hier vorhandenen Zerfallsprodukte und geleitet durch Berührungstreize — und gelangt so wieder in sein Endgebiet.

Während manche Zellen des Tierkörpers zeitlebens das Teilungsvermögen behalten und es beim Ersatz verlorengegangener Körperteile betätigen, büßen Nervenzellen mit der völligen Ausbildung die Vermehrungsfähigkeit ganz ein; daher kann Verlust an Nervenzellen nicht mehr ausgeglichen werden; und so wird auch verständlich, daß sich bei ausgepflanztem Nervengewebe Zellvermehrung bisher nicht mit Sicherheit nachweisen ließ.

Nach solchen Forschungen stellt sich uns das Nervensystem dar als ein ungeheuer verwickeltes Schaltwerk tausender, ja bei den Wirbeltieren hunderttausender Zellen, die nach Größe, Gestalt und Art der feineren Verknüpfung eine auffallende Mannigfaltigkeit zeigen; bieten doch schon die einzelnen Felder der Großhirnrinde bemerkenswerte Unterschiede nach dieser Richtung hin dar, die ohne Zweifel auf solche der Leistung verweisen. Von den Sinnesorganen empfangen die Zellen im Gehirn und Rückenmark Erregungen, sie verarbeiten sie, übertragen sie auf andere und diese treiben Muskeln und Drüsen zur Tätigkeit an oder hemmen sie. Die in Zellen der Großhirnrinde nach stattgehabter Erregung hinterbleibenden Veränderungen stellen die materielle Grundlage für das Gedächtnis dar. Auch die höheren geistigen Vorgänge sind an die Tätigkeit von Nervenzellen gebunden — wie freilich hier die Zusammenhänge im einzelnen sind, wird wohl für alle Zeit ein Geheimnis bleiben.

In ähnlicher Weise wie bei den Nervenzellen hat auch bei Muskel-, Drüsen- und anderen Zellen die Verknüpfung von Struktur- und Funktionsforschung und Versuch zu mannigfachen Einsichten in das Leben der Zellen geführt. Allerdings ist vieles heute noch ungeklärt. Manches davon wird wohl in Zukunft unserem Verständnis zugänglich werden; aber um anderes dürfte sich auch künftige Forschung vergeblich bemühen. Denn

wir dürfen nicht vergessen, daß die Zelle das Ergebnis einer unvorstellbar langen historischen Entwicklung ist, die von niederen Stufen des Lebens ausging. Wie hier der Weg war, dafür fehlt uns aber jede Erfahrung und damit auch die mächtige Stütze des Verstehens, welche in der Beobachtung des Werdens liegt.

Haben wir so die Geschichte der Lehre vom zelligen Aufbau des Tierkörpers in Kürze überschaut, dann tritt wohl von selbst der große Anteil hervor, den die deutsche Wissenschaft auch an der Fortentwicklung der Zellenlehre hat. Wir sehen auf diesem Felde die Seiten unseres Wesens sich bewähren, welche auch sonst der deutschen Naturwissenschaft Weltgeltung verschafft haben: zäher Fleiß und vollständige Hingabe an die zu lösende Aufgabe, tief eindringende Beobachtung, die auch dem kleinsten und letzten liebevolles Bemühen schenkt, und zugleich damit die Fähigkeit, unter strengster Beachtung der Tatsachen die großen Zusammenhänge zu erfassen. —

Alles auf dieser Erde ist dem Geschick unterworfen, um sein Dasein kämpfen zu müssen, und so blieben auch der Zellenlehre trotz ihrer gewaltigen Erfolge mancherlei Angriffe nicht erspart. Eine nähere Erörterung dieser Einwände würde eingehendere Darlegung der Tatsachen verlangen, als in Kürze sich geben läßt. Daher mag nur ein Vorwurf allgemeinerer Art geprüft werden, den man schon seit langem und gerade in neuerer Zeit wieder in verstärktem Maße vernommen hat: die Zellenlehre sei eine analytisch zersetzende Theorie, die dem Ganzen des Organismus nicht gerecht werde; das Ganze nämlich bestimme die Teile und so bilde auch der Organismus für seine Zwecke Zellen, und nicht bildeten die Zellen den Organismus; nicht die Zellen seien die Träger des Entwicklungsgeschehens, sondern der Keim als Ganzes sei es.

Solche Einwände erfordern eine Betrachtung des Ganzheitsbegriffs. Runo Fischer hat treffend bemerkt, der Begriff des Ganzen sei nicht denkbar ohne den der Teile — und umgekehrt. Das Ganze ist gewiß nicht die Summe der Teile; denn es kann Eigenschaften besitzen, die den Teilen fehlen, aber es können ihm auch Eigenschaften mangeln, die den Teilen zukommen. Das Ganze läßt sich aber kennzeichnen als die Gesamtheit der Beziehungen zwischen den Teilen. Diese Beziehungen sind Ursache des — verglichen mit den Teilen — neuartigen Verhaltens des Ganzen; sie drängen sich uns als die Ordnung auf, welche das Ganze beherrscht.

Der Begriff der Ganzheit beschränkt sich keineswegs auf den

Organismus, sondern ist überall anwendbar, wo Beziehungen zwischen Teilen bestehen; er reicht vom Atom, das mit seinem Kern und den umkreisenden Elektronen einen Mikrokosmos bildet, bis zu den Sternsystemen des Weltalls. Was in solch ungeheurem Raum jeweils als Ganzes gilt, wird durch den Standpunkt und das Ziel des Beobachters bestimmt und durch die Grenzen unseres Erkenntnisvermögens. Da es unmöglich ist, alle in der Natur bestehenden Beziehungen in einem Bilde zu erfassen, so bleibt jede Ganzheitsbetrachtung Stückwerk.

Um das Wesen der Ganzheit klar zu verstehen, wendet man sich am besten an einfache leblose Systeme, etwa eine Molekel, ein Bauwerk, das aus Atomen aufgeführt ist. Aus der gleichen Zahl von C-, H- und O-Atomen lassen sich Molekeln mit ganz verschiedenen Eigenschaften bilden; z. B. kommt die Formel  $C_6H_{12}O_3$  etwa 30 bereits bekannten Stoffen zu, neben denen die Theorie noch eine weit größere Zahl als möglich voraussagt. Die unterschiedlichen Eigenschaften dieser „isomeren“ Molekeln sind Folge der verschiedenen Anordnung, unter denen ihre Atome sich jeweils befinden. Diese Ordnung selbst stellt sich ein auf Grund der begrenzten Möglichkeiten, welche für die Verbindung der Atome bestehen; diese aber sind in den Eigenschaften der Atome gegeben und den äußeren Umständen, unter denen ihre Vereinigung erfolgt.

Das so gebildete Ganze der Molekel läßt sich niemals durch „Ganzheitsbetrachtung“ erforschen, sondern nur durch Analyse; d. h. die jeweilige Ordnung der Atome in der Molekel ist zu ermitteln. Dazu muß die Ganzheit zu Wirkungen veranlaßt werden, aus denen sich auf die Beziehung zwischen den Teilen schließen und ein gedankliches Bild des Ganzen gewinnen läßt. Das ist der einzige Weg für die Erforschung der Ganzheit in der Wissenschaft. Und so bleibt auch, um die Ganzheit des Organismus zu begreifen, Analyse unumgänglich; wir zerlegen aber nicht, um schließlich die Teile zusammenhanglos in der Hand zu halten, sondern um das Band zu erkennen, das sie zu einem Ganzen vereint.

Wenn wir also die Einheit des Organismus aus seinem zelligen Aufbau<sup>1)</sup> verstehen wollen, so müssen wir uns fragen, welche Beziehungen zwischen den Zellen bestehen. Hier befinden wir uns noch am Anfang der Erkenntnis; aber das schon Erreichte stärkt unsere Hoffnung, daß immer mehr unserer Einsicht zugänglich werde.

<sup>1)</sup> Selbstverständlich sind auch Ganzheitsbetrachtungen unter Beachtung anderer Teile des Organismus, etwa der Organe, möglich.

Wir wissen, daß Muskel- und Nervenzelle auf Gedeih und Verderb miteinander verbunden sind; lösen wir ihren Zusammenhang, so verfallen beide infolge der erzwungenen Untätigkeit dem Tode. Die Zellen der inkretorischen Organe geben Stoffe, Hormone, an Blut und Lymphe ab, die Wachstum und Tätigkeit anderer, oft weit entfernter Zellen bestimmend regeln. Vielfach besteht plasmatischer Zusammenhang, so daß Stoffe und Vorgänge aus einer Zelle auf die benachbarten übergehen können. Und das Nervensystem vermittelt zwischen zahllosen Zellen der verschiedensten Art.

Umpflanzung von Keimteilen hat uns belehrt, daß das Entwicklungsschicksal einer Zelle nicht nur in ihr selbst ruht, sondern auch von ihrem Ort im Organismus, also von den Nachbarzellen, beeinflusst wird; herkunft- und ortgemäße Wirkungen treten als Gegenspieler auf. In der normalen Entwicklung des Seeigeleies liefert jede der acht Zellen die, aus dem Ei durch Teilung hervorgegangen, zu einem gewissen Zeitpunkt den Keim bilden, einen bestimmten Teil des künftigen Seeigels. Trennen wir aber die Zellen auf dem 8-Zellen-Stadium, so entwickelt sich jede Zelle so, als ob sie selbst Eizelle wäre, aus jeder Zelle entsteht eine verkleinerte Ganzbildung. Damit bekunden sich ganzheitliche Beziehungen zwischen den Zellen, die nur im Versuch offenbar werden.

Solche Wege kausaler Erforschung der Beziehungen zwischen den Zellen werden uns zu einem tieferen Verständnis der Ganzheit des Organismus führen, als wenn wir ihn durch „Ganzheitschau“ begreifen wollen.

Diese Geisteshaltung, die nur im europäischen Kulturkreis erwuchs, scheidet die Wissenschaft von den Reichen der Religion und der Kunst. Der begnadete Dichter mag Wahrheiten „erschauen“, die der Wissenschaft verborgen bleiben. Aber solches Geschehen untersteht anderem Gesetz: wissenschaftliche Wahrheit muß beweisbar sein und, weil sie beweisbar ist, läßt Wissenschaft sich lehren; die Wahrheit der Religion und der Kunst verlangt nicht nach Beweis; sie will geglaubt und erlebt sein.