

GRUNDRISS DER ZOOLOGIE

Eine Einführung in die Lehre vom Bau
und von den Lebenserscheinungen der Tiere

für Studierende der Naturwissenschaften und der Medizin

von

OTTO STECHE

Prof. Dr. med. et phil.

Privatdozent der Zoologie an der Universität Frankfurt a. M.

Mit 6 Abbildungen im Text und 40 mehrfarbigen Doppeltafeln



LEIPZIG
VERLAG VON VEIT & COMP.
1919

Alle Rechte, einschließlich des Übersetzungsrechts, vorbehalten.

Druck von Metzger & Wittig in Leipzig.

Vorwort.

Wer die an unseren Hochschulen üblichen Vorlesungen über „Allgemeine Zoologie“ und „Vergleichende Anatomie“ hält, wird immer in Verlegenheit kommen, wenn er den Hörern ein zusammenfassendes Werk empfehlen soll, in dem sie sich zu Hause über diese Gebiete unterrichten können. So vorzüglich unsere Lehrbücher der Zoologie sind, so bieten sie doch gerade dem, der nach einem allgemeinen Überblick über das Gebiet strebt, nicht das, was er sucht. Sie sind geschrieben für den Fachzoologen und enthalten daher eine Menge von Tatsachen, mit denen der Fernerstehende wenig anfangen kann und aus denen er das für ihn Wichtige mit unverhältnismäßiger Mühe hervorsuchen muß. Denn mit Rücksicht auf den Raum sind die allgemeinen Probleme hier so überaus knapp behandelt, daß man die Belege dazu oft erst im speziellen Teil suchen muß. Erst wer sich schon sehr eingehend mit dem Stoff vertraut gemacht hat, ist imstande, zu würdigen, wie scharf und klar z. B. in R. Hertwigs Lehrbuch die allgemeinen Fragen im ersten Abschnitt behandelt sind; der Anfänger wird an vielem achtlos vorübergehen.

Aus diesem Gefühl eines Bedürfnisses der Studierenden entstand der Wunsch, einen Grundriß der Zoologie zu schreiben, der die großen Linien der Architektur dieses Wissensgebietes nachziehen sollte. Er ist demgemäß bestimmt, eine Einführung zu geben und wendet sich vor allem an solche, die, wie Mediziner, Lehramtskandidaten und die Spezialarbeiter in den anderen Fächern der Naturwissenschaften, mehr eine klare Vorstellung der Hauptpunkte unserer Wissenschaft suchen, als Einzelkenntnisse. Für den Zoologen selbst soll das Buch keineswegs die bewährten Lehrbücher verdrängen, sondern auf sie vorbereiten.

Der Stoff ist demgemäß in wesentlich anderer Weise angefaßt, als in den vorliegenden Werken. Dem Leser wird eine möglichst knappe Auswahl konkreter Tatsachen geboten. Sie sollen vor allem dazu dienen, die innere, gedankliche Gliederung des Stoffes deutlich zu machen. Eine wirklich plastische Vorstellung der Einzelformen kann ja doch kein Lehrbuch geben, sondern nur das Betrachten der Objekte und die praktische Arbeit. Dafür ist versucht worden, den Gedankenzusammenhang möglichst lückenlos durchzuführen. Daraus ergibt sich, daß ich Hypothesen durchaus nicht mit der in Lehrbüchern üblichen Scheu behandelt habe. Wohl aber habe ich mich bemüht, scharf die Grenzen des Feststehenden und des nur Angenommenen

aufzuzeigen, die Probleme zu stellen und die zu ihrer Lösung eingeschlagenen Wege deutlich zu machen. Dabei mußte ich natürlich unter den Antworten des öfteren die mir wahrscheinlichste auswählen, das Buch hat dadurch einen stark subjektiven Charakter, was besonders bei so umstrittenen Gebieten wie Artbildung und Vererbung hervortritt.

Die Einteilung ist die gleiche, die ich meinen Vorlesungen über allgemeine Zoologie und vergleichende Anatomie in Frankfurt während dreier Jahre zugrunde gelegt habe. Ja, ich habe mich bemüht, auch inhaltlich über das darin Behandelte nicht hinauszugehen, um einen Maßstab dessen zu geben, was m. E. einem jungen Studenten in zwei Vorlesungen geboten werden kann.

Unmittelbar aus den Vorlesungen sind auch die Tafeln entstanden, die dem Buche in verhältnismäßig reicher Zahl beigegeben sind. Sie geben Reproduktionen der Zeichnungen an der Wandtafel. In den letzten Vorlesungen habe ich die Zeichnungen in Umrissen auf Bogen vervielfältigt den Hörern ausgeteilt, die dann die Ausführung mit Farbstiften nach dem Fortschreiten des Bildes an der Tafel einzutragen hatten. Auch in der Buchform habe ich absichtlich das skizzenhaft Schematische beibehalten, bin sogar oft im Schematisieren bis zum äußersten gegangen. Dabei habe ich mit Vorbedacht immer die gleichen Tiertypen wiederholt; nach meiner Erfahrung prägt sich durch die fortgesetzte Betrachtung und den allmählichen Ausbau des gleichen Tierschemas der Typus der Organisation besser ein, als durch Verwendung zahlreicher, im einzelnen manchmal geeigneterer Unterformen. Aus demselben Grunde habe ich mich auch nicht gescheut, wichtige Tatsachen im Text mehrfach, dann aber in verschiedener Beleuchtung zu bringen. Das Ganze soll ja ein Gerüst sein, dessen wichtigste Stützpunkte nicht fest genug gegründet werden können. Die Zusammenfassung der Bilder auf herausklappbaren Tafeln, die nach Möglichkeit jeweils das Anschauungsmaterial für einzelne Kapitel umfassen, so daß der Leser sie ständig beim Studium neben dem Text vor Augen haben kann, wird sich hoffentlich trotz mancherlei technischer Bedenken bewähren.

Zum Text wie zu den Abbildungen habe ich das Gute genommen, wo ich es fand. Die Figuren gehen meist, wenn auch vielfach modifiziert, auf Abbildungen der Lehr- und Handbücher zurück. Besonders viel verdanke ich der großartigen vergleichenden Anatomie von Bütschli, die allgemeine Morphologie ist stark von dem glänzenden Aufsatz Heiders über die Morphologie und Entwicklungsgeschichte der Wirbellosen in der „Kultur der Gegenwart“ beeinflusst worden. In dem Kapitel über die Biologie der Fortpflanzung leben in der Gliederung des Stoffes Anregungen aus dem bei den Studenten berühmten Kolleg meines verehrten Lehrers Chun fort, die bei ihm wieder zum Teil auf Leuckarts Vorlesung zurückgingen. So habe ich mich nicht bestrebt, um jeden Preis originell zu sein; ich hoffe, daß man trotzdem das Ganze nicht für reine Kompilation erklären wird.

Neben dem Wunsche, ein für die Studierenden nützliches Buch zu schreiben, lag für mich aber noch ein stärkerer Anreiz vor. Ich wollte versuchen, an der Lösung des Problems mitzuarbeiten, ob man nicht den Unterricht in der Zoologie etwas wirkungsvoller gestalten könnte, als dies jetzt geschieht. Wir haben in unserem Lehrplan eine ziemlich scharfe Scheidung zwischen allgemeiner Zoologie und vergleichender Anatomie einerseits und spezieller Zoologie andererseits. Meist werden ja auch beide Teile von verschiedenen Dozenten vorgetragen. Vielleicht gerade infolge dieser Trennung wird aber auch in die allgemeinen Kollegs, die ja in erster Linie die Grundlage für die Prüfungen bilden, eine übergroße Menge von Tatsachen hineingeheimnist. Der Erfolg ist, daß der Hörer davon erdrückt wird und es ihm nicht gelingt, eine klare Auffassung von den Grundformen der Tiere wie von den Problemen der Biologie zu gewinnen. Man kann dies nur allzu leicht bei den Prüfungen, besonders beim Physikum der Mediziner feststellen. Dies führt dazu, daß die Bedeutung der Zoologie gerade für den Mediziner sehr verkannt wird, geht doch in medizinischen Kreisen das Bestreben dahin, die Zoologie als Prüfungsfach ganz abzuschaffen. Und dabei sollten eigentlich die zoologischen Vorlesungen für den jungen Mediziner die Grundlage für die speziellen morphologischen und biologischen Probleme bieten, die ihm beim Menschen entgegentreten! Es ist für ihn sehr unwesentlich, die Klassen der Stachelhäuter aufzählen zu können oder zu wissen, wieviel Beine ein Krebs hat, aber von allergrößter Bedeutung, die möglichen Konstruktionsprinzipien der tierischen Maschinen und ihre Funktionsweise kennen zu lernen, ebenso wie die grundlegenden Vorstellungen über die zeitliche Entwicklung der Lebensformen und die Gesetze ihrer Umgestaltung. Erst diese allgemeinen Kenntnisse ermöglichen ihm, den Menschen und seine Lebensäußerungen im Zusammenhange mit dem gesamten Naturgeschehen zu betrachten und so eine vertieftere Auffassung seines eigentlichen Berufs zu gewinnen. Sie würden wohl auch am ersten geeignet sein, der geradezu erschreckenden Verflachung des philosophischen Geistes entgegenzuarbeiten, die man jetzt bei den Medizinern so häufig trifft.

Was hier für den Mediziner im besonderen ausgeführt wurde, gilt in ganz ähnlicher Weise auch für den Lehramtskandidaten und seine Vorbereitung für den Unterricht in den naturwissenschaftlichen Fächern. Denn diese ganze Auffassung vom Zwecke der allgemeinen zoologischen Vorlesungen steht in engem Zusammenhange mit der Richtung, welche die Ausgestaltung des biologischen Unterrichts an den höheren Schulen nimmt. Es sollen diese akademischen Vorlesungen das unter großen Gesichtspunkten zusammenfassen, was dem Schüler in Einzeldarstellungen in seiner Jugendzeit geboten wurde. Dort fehlt ihm noch die geistige Reife zum klaren Erfassen der Probleme, aber es können ihm, wenn der Unterricht nicht in öder Systematik erstickt, eine Menge wichtiger Tatsachen schon in geeigneter biologischer Beleuchtung geboten werden. Gerade hierfür ist natürlich ein

gutes Ineinandergreifen beider Unterrichtsformen und eine entsprechende Schulung der Lehrer durch die Universität von höchster Bedeutung. Die so in den Vorlesungen der ersten Semester gewonnenen Richtlinien würden dann für den den Naturwissenschaften Fernerstehenden den Abschluß bilden, für den künftigen Fachzoologen dagegen die Grundlage, auf der er in speziellen Vorlesungen und Arbeiten weiterbauen soll.

Unter diesen Gesichtspunkten ist im vorliegenden Buche die morphologisch deskriptive Behandlung der Tierformen auf das geringste Maß beschränkt, dagegen sehr breiter Raum ihrer Lebensweise sowie den Problemen der Stammesgeschichte, Artbildung und Vererbung gewidmet. Gerade letztere sind Fragen, deren Bedeutung für den Gebildeten von Tag zu Tag wächst; hier ist die Zoologie im Begriff, richtunggebend in unsere ganze Kultur-entwicklung einzugreifen. In einem besonderen Abschnitt sind — was bei der kläglichen Vernachlässigung der Physiologie in unserer Disziplin sonst niemals geschieht — allgemein physiologische Fragen behandelt, aber nicht ganz in der Art, wie es der medizinische Physiologe zu tun gewohnt ist, sondern unter Hervorkehrung der zoologisch-biologischen Gesichtspunkte. Das ganze Buch steht überhaupt unter dem Zeichen des Primats der Funktion gegenüber dem Bau der Organe.

Ob dieser Versuch im Prinzip Anklang findet, muß die Zeit lehren; m. E. ist eine Verlegung des Schwerpunktes in dies Gebiet für unsere Wissenschaft auch als Unterrichtsfach unbedingt notwendig. Hat doch schon das preußische Ministerium bei Ausgestaltung des neuen Lehrplans für Lehramtskandidaten mit weitschauendem Blick der vergleichenden Physiologie und Biologie eine sehr erhöhte Aufmerksamkeit zugewendet.

Wie weit es mir gelungen ist, in der Auswahl aus dem ungeheuren Stoff das Richtige zu treffen und ein, wenn auch knappes, doch nicht allzu lückenhaftes Bild der Probleme der tierischen Organisation zu geben, wird hoffentlich die Kritik zeigen. Jeder Beurteiler wird dabei nach seinen subjektiv vorwiegenden Interessen wohl in den einzelnen Abschnitten bald ein Zuviel, bald ein Zuwenig feststellen. Mit innerem Widerstreben habe ich selbst ja viele wichtige Punkte fallen lassen müssen, wenn ich den durch die beschränkte Stundenzahl der Vorlesungen gezogenen Rahmen nicht überschreiten wollte.

Für manchen guten Rat und unermüdliche Hilfe bei der Ausarbeitung bin ich meinem Schüler und Freund, Dr. von Frankenberg, von Herzen dankbar, ebenso wie dem Chef der Verlagsfirma, Herrn Dr. Curt Thesing. Sehr verpflichtet bin ich ferner Herrn Privatdozenten Dr. Schmitz und Herrn Dr. Schneider für ihre Durchsicht der Korrekturen. Dem Verlag Veit & Comp. endlich gebührt besonderer Dank für die Hingabe und Sorgfalt, durch welche er trotz der unendlichen Nöte der Kriegszeit das Erscheinen des Werkes in so trefflicher Ausstattung ermöglicht hat.

Inhaltsverzeichnis.

Erster Teil. Allgemeine Morphologie.

	Seite
1. Die lebende Substanz	I
2. Die Zelle	10
3. Die Protozoen	15
4. Die Entstehung der Metazoen. Die Furchung	31
5. Die Cölenteraten. Die Stockbildung. Die Spongien	37
6. Die Echinodermen. Die radiäre Symmetrie	45
7. Die niederen Würmer. Die bilaterale Symmetrie	53
8. Die gegliederten Würmer. Die Metamerie. Das Zölom	61
9. Die Arthropoden	69
10. Die Weichtiere	81
11. Die Deuterostomier. Die Zwischenformen	90
12. Die Chordaten	95

Zweiter Teil. Die stammesgeschichtliche Entwicklung der Organismen. Deszendenztheorie, Vererbung und Artbildung.

1. Die historische Entwicklung der Deszendenztheorie	104
2. Zeugnisse für die Selektionstheorie Darwins. Schützende Ähnlichkeit und Mimikry	109
3. Zeugnisse für die Deszendenztheorie. Die Paläontologie	116
4. Die Zeugnisse der vergleichenden Anatomie, Tiergeographie und Entwicklungsgeschichte	120
5. Die Vererbung. Die Zellteilung, die Reifungsteilungen und die Befruchtung	126
6. Die experimentellen Grundlagen der Vererbungslehre. Die Mendelschen Regeln	134
7. Die Beziehungen zwischen Zellforschung und Bastardforschung. Die praktische Bedeutung der Vererbungslehre	141
8. Die Variabilität und ihre Bedeutung für die natürliche Zuchtwahl	150
9. Die Anpassung als artbildendes Prinzip. Der Lamarckismus. Die Vererbung erworbener Eigenschaften	159
10. Entwicklung und Anpassung. Vererbung und Artbildung als Entwicklungsvorgänge. Mutation, Kreuzung und Orthogenese	173
11. Die Entstehung des Lebens. Die Urzeugung	179

Dritter Teil. Die Fortpflanzung.

1. Die zweigeschlechtliche Fortpflanzung. Die sekundären Geschlechtscharaktere der Männchen	183
2. Die sekundären Geschlechtscharaktere der Weibchen. Eiablage und Viviparität	191
3. Die Brutpflege	195
4. Die Staatenbildung. Hummeln, Wespen, Bienen	203
5. Die Staaten der Ameisen und Termiten	208
6. Parthenogenese, zyklische Parthenogenese und Pädogenese	216

	Seite
7. Die parasitischen Würmer	223
8. Ungeschlechtliche Fortpflanzung. Knospung und Teilung	236
9. Die Bedeutung der Befruchtung	243
10. Die Geschlechtsbestimmung	249

Vierter Teil. Allgemeine Physiologie.

1. Allgemeine Charakteristik des Lebens	258
2. Der Stoffwechsel. Die Verdauung	260
3. Die Resorption. Die Bildung arteigener Stoffe	264
4. Das Blut. Die Regulierung des osmotischen Druckes	269
5. Der Stoffwechsel der Gewebszellen. Physikalische und physiologische Permeabilität	274
6. Bau- und Betriebsstoffwechsel. Wachstum, Altern und Tod	276
7. Die Aufnahme und Übertragung des Sauerstoffs	279
8. Die Energieproduktion der Organismen. Wärme und Wärmeregulation	281
9. Die biologischen Beziehungen der Organismen zur Temperatur der Umgebung	290
10. Die Endprodukte des Stoffwechsels. Die Exkretion	296
11. Die Motilität. Plasmaströmung, Geißeln und Zilien. Das Plankton	298
12. Die Muskelbewegung	305
13. Die Bewegungsformen	309
14. Die Reizbarkeit. Die inneren Reize. Die Erregung und der Reizverlauf	314
15. Die Reizleitung. Die Leistungen des Nervensystems. Geistige Unabhängigkeit und Individualität	320

Fünfter Teil. Vergleichende Anatomie.

1. Die Methoden der vergleichenden Anatomie. Homologie und Analogie	328
2. Die Schutz- und Stützorgane. Die epithelialen Skelette der Wirbellosen	333
3. Die epithelialen Skelette der Wirbeltiere. Schuppen, Haare, Federn	339
4. Die ektodermalen Drüsengebilde. Die Leuchtorgane	345
5. Die Bindegewebsskelette	354
6. Chorda dorsalis und Wirbelsäule	358
7. Der Grundplan des Schädels. Der Fischschädel	363
8. Der Schädel der Amphibien und der Sauropsiden	368
9. Der Säugerschädel. Die Verbindung des Schädels mit der Wirbelsäule. Kiemenbögen und Zungenbein	373
10. Das Extremitätenskelett. Die Flossen	380
11. Die Tetrapodenextremität. Der Gürtelapparat	384
12. Die freie Extremität der Tetrapoden	389
13. Die Zähne	396
14. Die Muskulatur und die elektrischen Organe	401
15. Die vegetativen Organsysteme. Die Verdauungsorgane	409
16. Die Anlage des Gefäßsystems	419
17. Die Atmungsorgane	423
18. Der Ausbau des Kreislaufs für die Sauerstoffübertragung	431
19. Die Exkretionsorgane	436
20. Die Geschlechtsorgane	440
21. Das Nervensystem. Die Zentren	448
22. Die peripheren Nerven	458
23. Die Sinnesorgane. Die Organe für mechanische und chemische Reize	463
24. Die Organe des Lichtsinns	473
Register	485

Erster Teil.

Allgemeine Morphologie.

I. Die lebende Substanz.

Gegenstand der Zoologie ist die tierische Organismenwelt in ihrer Gestalt und ihren Lebensäußerungen. Sie bietet eine überwältigende Fülle von Erscheinungen; die Form der Lebewesen reicht von kleinsten Einzellern, teilweise ohne feste Gestalt wie die Amöbe, andererseits von künstlerisch feiner Durchbildung wie die Radiolarien zu den mannigfachen Formen der Vielzeller, die ebensogut im kleinsten, Raum wunderbar fein wie Präzisionsinstrumente ausgearbeitet sein können wie die Insekten oder eine riesige Größe und Massigkeit erreichen können wie die fossilen Dinosaurier und die jetzt lebenden Dickhäuter. In seiner Anpassung an die verschiedensten Bedingungen erfüllt das Leben die ganze Erde; wir finden es in den größten Tiefen der Ozeane und in der Höhe des Luftmeeres, weder die Kälte der Polargegenden und der Hochgebirge noch die Hitze und Dürre der Wüste vermögen es völlig zu verdrängen. Dazu kommt weiterhin eine für das Leben besonders bedeutungsvolle Erscheinung, die Entwicklung. Wenn wir ein einzelnes Tier ins Auge fassen, so bemerken wir an ihm eine fortwährende Veränderung, zuerst ein Heranwachsen und immer zunehmende Differenzierung von Organen und Geweben, dann einen Stillstand in der Form bei dauerndem Wechsel der Substanz, endlich einen allmählichen Rückgang bis zum Erlöschen des individuellen Daseins. Damit ist aber gleichzeitig eine Erhaltung der Form über dies individuelle Dasein hinaus verbunden durch die Erzeugung von Nachkommenschaft in irgendeiner Weise, die Fortpflanzung. Verfolgen wir endlich das Leben durch die Erdgeschichte, so sehen wir eine andere Art der Entwicklung; ein breiter Strom von Lebewesen dringt aus den tiefsten Schichten empor und verzweigt sich in allerlei Bahnen, die z. T. nach verschieden langem Fluß versickern, z. T. zu überraschender Fülle anschwellen. Innerhalb des Stromes beobachten wir ein fortlaufendes Wechseln der Gestalten und dabei eine immer zunehmende Vervollkommenung in der Durcharbeitung der Einzeltypen.

Es kann naturgemäß in einem kurzen Grundriß nur versucht werden, die Gesetze darzulegen, welche diese Vorgänge und Erscheinungsformen beherrschen, ohne daß ein Eingehen auf Einzelheiten möglich wäre. Leider ist unsere Erkenntnis dieser Gesetze noch sehr lückenhaft; wir haben kaum einen Einblick in den feineren Bau der heute lebenden Tierwelt, von den Gesetzen ihrer Lebensführung kennen wir noch wenig, und ganz unvollkommen ist unsere Vorstellung von den Entwicklungsvorgängen, die sich während der Erdgeschichte abgespielt haben.

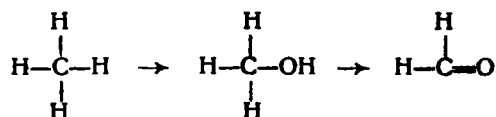
Will man an die Erforschung der angedeuteten Probleme herantreten, so ist die erste Aufgabe, das Substrat des tierischen Lebens, so wie es uns jetzt vorliegt, kennen zu lernen. Hier ist durch die Fortschritte der Physik und Chemie in den letzten Jahrzehnten ein sehr bedeutender Aufschwung erzielt worden. Zwar kennen wir auch jetzt noch nicht genau den Aufbau der lebenden Substanz, wir sind aber in der Lage, darüber einige wichtige Aussagen zu machen. Die erste lautet dahin, daß das Material, an dem sich die Lebensprozesse abspielen, sich aus den gleichen chemischen Elementen aufbaut, wie die uns umgebende, sog. unbelebte, anorganische Natur. Ein Unterschied liegt nur in der Komplikation der Zusammensetzung der Verbindungen in den Organismen. Die zweite, noch wichtigere Feststellung ist die, daß die Vorgänge im lebenden Organismus, soweit sie bisher analysiert sind, den gleichen physikalischen und chemischen Gesetzen gehorchen, wie die anorganische Welt. Im besonderen gelten auch hier die Sätze von der Konstanz der Materie und der Energie, die Gesetze der Thermodynamik usw. Man kann also auf den Gebieten, welche physikalischer und chemischer Untersuchung zugänglich sind, keinen qualitativen, sondern nur einen quantitativen Unterschied der organischen von der anorganischen Welt feststellen.

Eine Untersuchung lebender Objekte zeigt, daß überall dort, wo Lebensprozesse sich abspielen, eine eigenartige Substanz vorhanden ist, die man jetzt allgemein als Protoplasma, Urbildungsstoff, bezeichnet. Der Name wurde ihr 1861 von dem Botaniker H. v. Mohl gegeben, früher war sie oft unter der Bezeichnung Sarkode beschrieben worden. Die Untersuchung dieses Protoplasmas ist insofern mit großen Schwierigkeiten verknüpft, als es kaum gelingt, es rein zu erhalten, frei von allerlei Einschlüssen, Reservestoffen oder Produkten des Stoffwechsels, von denen es schwer zu sagen ist, ob sie wirklich „lebendig“ sind.

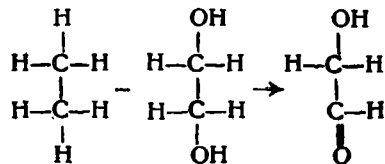
Die chemischen Körper, welche wir bei der Analyse lebender Objekte erhalten, lassen sich in mehrere große Gruppen ordnen. Die erste umfaßt die sog. organischen Verbindungen. Der Name stammt aus der Zeit, als man annahm, daß diese Körper eine spezifische Eigentümlichkeit der Organismen seien und nur durch den Lebensprozeß hervorgebracht werden könnten. Obwohl sich dieser Unterschied in zunehmendem Maße als unhaltbar herausgestellt hat, seit Wöhler 1828 zum ersten Male eine typisch

„organische“ Substanz, den Harnstoff, aus anorganischer Materie synthetisch darstellte, hält man auch jetzt noch aus praktischen Gründen an dieser Einteilung fest. Diese organischen Verbindungen kennzeichnen sich durch ihren Gehalt an Kohlenstoff (C); ihre Vertreter in den Lebewesen werden selbst wieder allgemein in drei Hauptgruppen geteilt, die Kohlehydrate, Fette und Eiweiße.

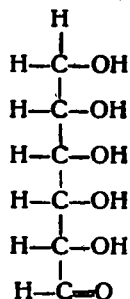
Die Kohlehydrate sind Verbindungen von Kohlenstoff mit Wasserstoff und Sauerstoff, in denen letztere Elemente im gleichen Verhältnis wie im Wasser, nämlich 2H:1O enthalten sind. Chemisch charakterisieren sie sich als Aldehyde oder Ketone mehrwertiger Alkohole. Ersetzt man in dem einfachsten gesättigten Kohlenwasserstoff, dem Methan, ein H-Atom durch eine Hydroxyl- (OH-) Gruppe, so erhält man den Methylalkohol. Aus diesem gelangt man durch Entfernung von zwei H-Atomen zum Formaldehyd



Geht man vom nächsthöheren Kohlenwasserstoff, dem Äthan, aus, so gelangt man durch Einführung von zwei OH-Gruppen zum zweiwertigen Alkohol, dem Glykol. Dessen Aldehyd, die Glykolose, ist ein einfachstes Kohlehydrat.



Nach dem Besitz von zwei C-Atomen bezeichnet man es auch als Biose. In analoger Weise lassen sich Verbindungen mit drei C-Atomen herstellen, die Triosen, solche mit vier C-Atomen, die Tetrosen, usw. Von diesen sind bei weitem am wichtigsten die mit sechs C-Atomen, die Hexosen, von der Zusammensetzung $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$. Man bezeichnet sie auch

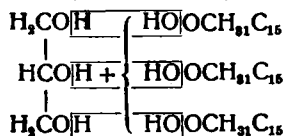


oft als Zucker im engeren Sinne oder Saccharide, da zu ihnen der weit-aus größte Teil der volkstümlich als Zucker bezeichneten Stoffe gehört.

Solche Verbindungen mit gleicher empirischer Zusammensetzung gibt es eine größere Anzahl, da, wie die Strukturformel zeigt, mehrere, vier, asymmetrische Kohlenstoffatome vorhanden sind. Je nach der Stellung der Anhangsgruppen an diesen entstehen sog. isomere Verbindungen mit gleicher Zahl der aufbauenden Atome, aber verschiedenen Eigenschaften. Ihre Zahl steigt, wie eine einfache Anwendung der Permutationsregel zeigt, mit der Zahl der asymmetrischen C-Atome in Potenzen von 2, beträgt also hier $2^4 = 16$. Die weitaus wichtigste von diesen ist der Traubenzucker, Dextrose. Wo Kohlehydrate in löslicher Form in tierischen Zellen vorkommen, erscheinen sie fast immer als Traubenzucker, bei den Pflanzen finden wir dagegen eine viel größere Mannigfaltigkeit, allerdings handelt es sich dabei nicht immer um Bestandteile des lebenden Protoplasmas.

Die einfachen Hexosen, auch Monosaccharide genannt, haben nun die Fähigkeit, zu mehreren Molekülen zur Bildung einer höheren Einheit zusammenzutreten. Dabei wird von jedem in die Verbindung eintretenden Molekül $C_6H_{12}O_6$ ein Molekül Wasser abgegeben. Durch Zusammentritt von zwei Monosacchariden entsteht ein Disaccharid: $2C_6H_{12}O_6 = C_{12}H_{22}O_{11} + H_2O$. Unter diesen ist das bekannteste der Rohrzucker, der in erster Linie im Zuckerrohr vorkommt; er entsteht durch Zusammentritt eines Moleküls Traubenzucker und eines Moleküls Fruchtzucker. In analoger Weise können nun eine größere Anzahl von Molekülen zusammentreten, dann entstehen die Polysaccharide. Unter diesen besitzen zwei besondere Bedeutung, das Glykogen und die Stärke. Ersteres findet sich vorwiegend in tierischen, letztere in pflanzlichen Geweben. Da sie in Wasser unlöslich sind, so stellen sie die Form dar, in der Kohlehydrate im Organismus als Reservestoffe gespeichert werden, bei Bedarf werden sie dann unter Wasseraufnahme wieder in Einzelmoleküle, meist von Traubenzucker, zerlegt. Wieviel Gruppen $C_6H_{12}O_6$ ein Molekül Glykogen enthält, ist bisher noch nicht festgestellt, vermutlich werden sich die Körper bei verschiedenen Tierarten auch in der Zusammensetzung unterscheiden.

Die zweite Klasse der organischen Plasmabestandteile, die Fette, entstehen durch Vereinigung mehrwertiger Alkohole mit organischen Säuren, den Fettsäuren. Der Alkohol, der im tierischen Gewebe die Hauptrolle spielt, ist das Glycerin, als Säuren kommen wesentlich drei in Betracht, die Olein-, Stearin- und Palmitinsäure. Die Vereinigung vollzieht sich auch hier unter Wasseraustritt nach dem Schema:

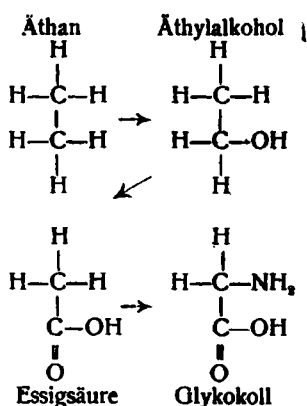


1 Molekül Glycerin + 3 Moleküle Palmitinsäure = 1 Molekül Tripalmitin.
Es können auch an ein Molekül Glycerin verschiedene Fettsäureradikale

herantreten, so daß gemischte Neutralfette entstehen, z. B. Mono-Olein-Di-Stearin u. ä. Der Schmelzpunkt des Oleins liegt niedriger als der der beiden anderen Fette, je mehr also ein Gewebe davon enthält, desto flüssiger, öltartiger ist es.

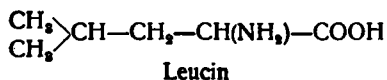
In die Verwandtschaft der Fette gehört noch eine Gruppe von Substanzen, die in den Organismen weit verbreitet sind und große biologische Bedeutung haben, die Lipoiden. Sie spielen u. a. wahrscheinlich bei dem Stoffaustausch durch die Zellmembran eine wichtige Rolle, man hat wenigstens nachgewiesen, daß solche Substanzen in die Zellen einzudringen vermögen, die in Lipoiden löslich sind (vgl. S. 275).

Die Gruppe der Eiweißkörper hat unter den organischen Verbindungen stets eine Sonderstellung eingenommen. Sie erwiesen sich als besonders kompliziert zusammengesetzt und haben am längsten der Analyse Widerstand geleistet. Sie galten daher ganz besonders als „organisch“, d. h. als Produkt der lebenden Organismen, und es ist von besonderer Bedeutung, daß wir besonders durch die Untersuchungen von Emil Fischer jetzt auch den Weg gefunden haben, Eiweißkörper synthetisch darzustellen. Chemisch charakterisieren sich diese Verbindungen zunächst durch die Gegenwart von Stickstoff im Molekül. Zerlegt man einen natürlichen Eiweißkörper in seine Bestandteile, so findet man, daß er sich aus einer Anzahl Molekülen organischer Säuren aufbaut, die durch den Besitz des Radikals NH_2 ausgezeichnet sind, die sog. Aminosäuren. Zu ihrer Ableitung kann man wieder vom Äthan ausgehen; durch Einführung einer Hydroxylgruppe erhält man daraus den Äthylalkohol und aus diesem die einfachste organische Säure, die Essigsäure. Fügt man in deren Molekül die Gruppe NH_2 ein, so entsteht die einfachste Aminosäure, Aminoessigsäure oder Glykokoll. Durch Ausgehen

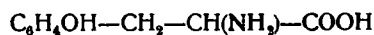


von verschiedenen Kohlenwasserstoffen und Einführung einer verschiedenen Zahl von Säure- und NH_2 -Radikalen lassen sich eine große Zahl von Aminosäuren bilden, die man etwa in folgende Gruppen einteilen kann:

1. Mono-amino-mono-karbonsäuren, mit einer NH_2 - und einer COOH -Gruppe. Dahin gehört von den im Protoplasma vorkommenden Verbindungen u. a. das Glykokoll, das Leucin und das Tyrosin.

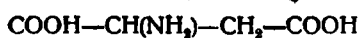


Leucin

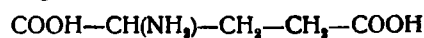


Tyrosin

2. Mono-amino-di-karbonsäuren, mit einem Amino- und zwei Säureradikalen; dahin gehören die Asparagin- und die Glutaminsäure.

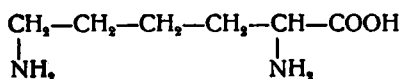


Asparaginsäure



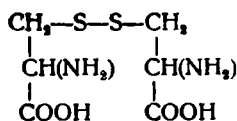
Glutaminsäure

3. Di-amino-mono-karbonsäuren, mit zwei NH_2 - und einer COOH -Gruppe; hierher das Lysin.



Lysin

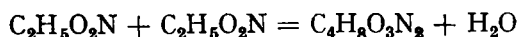
4. Di-amino-di-karbonsäuren, mit zwei NH_2 - und zwei COOH -Gruppen; ein Beispiel dafür sei das Cystin.



Cystin

Von der großen Zahl der theoretisch denkbaren Verbindungen kommen im Organismus nur verhältnismäßig wenige, etwa 15—20, mit einer gewissen Regelmäßigkeit vor. Trotzdem läßt sich durch ihre Vereinigung eine fast unvorstellbare Mannigfaltigkeit erzielen. Einmal enthalten nämlich alle höheren Aminosäuren mit Ausnahme des Glykokolls asymmetrische Kohlenstoffatome, können also in verschiedenen Isomeren auftreten, und zweitens ergibt die Kombination schon einer relativ geringen Anzahl von Bausteinen eine sehr große Zahl von Möglichkeiten.

Wie aus den Syntheserversuchen von E. Fischer, Abderhalden u. a. hervorgeht, lassen sich die einzelnen Aminosäuren miteinander vereinigen, und zwar genau nach dem gleichen Prinzip, wie die Monosaccharide unter den Kohlehydraten; jedes neue Molekül geht in die Verbindung unter Abgabe eines Moleküls Wasser ein. Zwei Moleküle Glykokoll vereinigen sich z. B. miteinander nach der Formel:



zu 1 Molekül Glyzyl-glyzin + 1 Molekül Wasser. Ganz allgemein gilt offenbar die Formel:

$$n(\text{Aminosäuren}) = [1 \text{ Aminosäure} + (n-1)(\text{Aminosäure} - \text{H}_2\text{O})] + (n-1)(\text{H}_2\text{O}).$$

Man hat dementsprechend auch analoge Bezeichnungen eingeführt wie bei den Sacchariden; wie dort von Di- und Polysacchariden, so spricht man hier von Di- und Polypeptiden. Nur sind diese Peptide viel mannigfaltiger gebaut, da sie eben nicht nur aus Molekülen der gleichen empirischen Zusammensetzung ($C_6H_{12}O_6$), sondern aus den verschiedensten Aminosäuren aufgebaut sein können. Die dadurch gegebene Kombinationsmöglichkeit schafft eine praktisch unendliche Fülle von Polypeptiden und Eiweißkörpern. Trotz der relativ geringen Menge der Bausteine ist es daher denkbar, daß nicht nur jede Tier- und Pflanzenart ihre spezifischen Eiweiße enthält, sondern sogar die Individuen einer Art sich in dieser Beziehung unterscheiden, was die neueren Ergebnisse der Immunitätsforschung als möglich hinstellen.

Trotz dieser großen Mannigfaltigkeit der Einzelbausteine ist aber die quantitative Zusammensetzung der Eiweißkörper aus Elementen eine sehr gleichmäßige. Analysen für eine große Zahl von Tieren und Pflanzen wie ihrer Produkte haben für die einzelnen Elemente der Eiweißkörper etwa folgende Zahlen ergeben:

1. C . . .	50 — 55	%
2. O . . .	19 — 24	%
3. N . . .	15 — 19	%
4. H . . .	6,5 — 7,5	%
5. S . . .	0,4 — 2,0	%

Es besteht also auch in dieser Beziehung eine bemerkenswerte Übereinstimmung zwischen Tier- und Pflanzenreich, ein Unterschied läßt sich höchstens insoweit wahrnehmen, als die Pflanzen im allgemeinen etwas mehr Stickstoff, im Durchschnitt etwa 17% enthalten.

Im Organismus sind nun die Körper der drei eben besprochenen Gruppen keineswegs scharf voneinander getrennt, wir finden vielmehr in den komplizierten Molekülen Verbindungen aller drei Typen aneinandergekettet, dadurch steigt natürlich die Mannigfaltigkeit noch weiter.

Neben diesen organischen Verbindungen hat man die anorganischen Bestandteile des Protoplasmas lange Zeit nur wenig gewürdigt. Die Pflanzenphysiologen waren allerdings seit langem von ihrer Wichtigkeit überzeugt, denn bei Kulturversuchen mit verschiedenen Böden oder Nährlösungen zeigte sich, daß die Pflanze zu ihrem Gedeihen stets einer bestimmten Menge anorganischer Stoffe bedarf, wenn sie überhaupt leben und wachsen soll: Allgemein bekannt ist ja der Kalibedarf der Pflanzen, der für die künstliche Düngung eine so wichtige Rolle spielt. Auch für das tierische Protoplasma gilt nun im Prinzip das gleiche: ohne eine gewisse Anzahl von anorganischen Salzen ist der Bestand des Protoplasmas unmöglich. Es handelt sich dabei wieder um eine verhältnismäßig kleine

Auswahl, hauptsächlich um die Chloride und Sulfate von Natrium, Kalium, Kalzium und Magnesium, sowie Phosphor- und Eisenverbindungen. In der Zahl dieser notwendigen Verbindungen und in ihren Mengenverhältnissen unterscheiden sich Tiere und Pflanzen wesentlich stärker als in den organischen Verbindungen; unter den Pflanzen finden wir dabei die größere Mannigfaltigkeit, wohl entsprechend den wechselnden Wegen ihrer Ernährung. Für beide Organismengruppen gilt aber das gleiche Gesetz, daß immer bestimmte Verbindungen in gewissen Mengen vorhanden sein müssen. Geht für eine unter ihnen die Konzentration unter diesen Wert herunter, so wird das Wachstum gehemmt und das Leben beeinträchtigt, selbst wenn die anderen in noch so großem Überschuß zu Gebote stehen. Man bezeichnet diese physiologisch überaus wichtige, zuerst von Liebig gewonnene Erkenntnis als das Gesetz des Minimums.

Nach den jetzt geltenden Anschauungen ist die Bedeutung dieser anorganischen Salze für das Leben nicht nur eine chemische, sondern ebenso sehr eine physikalische. So ist eine anorganische Verbindung die unentbehrliche physikalische Grundlage der Lebensvorgänge, das Wasser. Das Protoplasma enthält 70—90% Wasser, d. h. ein sehr großer Teil seiner Verbindungen befindet sich in wäßriger Lösung. Die Art dieser Lösung hat sich ganz besonders bedeutungsvoll für den Ablauf der Lebensvorgänge erwiesen.

Als man sich zuerst mit der Physik des Protoplasmas zu beschäftigen begann, hielt man es ziemlich allgemein für eine Flüssigkeit. Tatsächlich stimmt es auch in seinen physikalischen Eigenschaften weitgehend mit einer solchen überein. Man kann in Pflanzenzellen oder bei Amöben im Plasma der lebenden Zelle Strömungserscheinungen beobachten, die durchaus denen in einer Flüssigkeit entsprechen. Verletzt man Zellen, so daß ihr Plasma in eine indifferente Flüssigkeit austritt, so kugelt es sich darin ab, genau wie eine im Gleichgewicht schwebende Flüssigkeit. Das gleiche tun auch nackte lebende Zellen. Bei genauerer Untersuchung zeigen sich aber auch Unterschiede von echten Flüssigkeiten. Läßt man Protoplasma in eine Schale fließen, so dauert es ziemlich lange, bis es sich gleichmäßig ausgebreitet und überall auf das gleiche Niveau eingestellt hat; drückt man eine Plasmakugel oder eine Eizelle unter dem Deckglas platt und hebt nach einiger Zeit den Druck auf, so bedarf es geraumer Zeit, bis die Kugelform wieder hergestellt ist. Das Protoplasma ist also nicht vollkommen elastisch, sondern erscheint zäh und plastisch; bei der Berührung erregt es auch ein schleimiges, klebriges Gefühl.

Die neuere Physik bezeichnet Körper dieses eigentümlichen Aggregatzustandes, die in gewisser Hinsicht eine Mittelstellung zwischen flüssig und fest einnehmen, als Kolloide. Bei Kolloiden sind die Elementarteilchen nicht so klein, wie die Ionen oder Moleküle der echten Lösungen, aber auch

nicht so groß, wie die Aggregate in den festen Körpern. Demgemäß sind auch ihre Teilchen in einem Lösungsmittel nicht so fein verteilt, wie bei einer echten Lösung, aber auch nicht so enggedrängt, wie bei einem festen Körper. Innerhalb der Kolloide gehören nun die Bestandteile des Protoplasmas zum weitaus überwiegenden Teile den Emulsionskolloiden an, bei denen die Elementarteilchen selbst flüssig sind, so daß es sich also um ein Gemenge zweier Flüssigkeiten handelt. Es entsteht eine Emulsion, wie sie etwa die Fettröpfchen in der Milch darstellen. Sind die beiden Bestandteile einer solchen Emulsion äußerst fein untereinander gemengt, so entsteht eine sehr charakteristische Anordnung. Die Tröpfchen der einen Flüssigkeit sind zwischen Lamellen der anderen eingelagert, die ein Kammersystem wie die Waben eines Bienenstockes bilden. Das beste Anschauungsmittel einer solchen Verteilung bietet der Bierschaum, bei dem in Flüssigkeitswaben Luft eingelagert ist. Durch die Oberflächenspannung nehmen die Flüssigkeitslamellen dabei ganz bestimmte Flächen- und Winkelbeziehungen an, die von Plateau festgelegt sind. Es ist physikalisch nicht unbedingt notwendig, daß ein Emulsionskolloid Schaumstruktur zeigen muß, die Bedingungen dafür scheinen aber relativ oft gegeben zu sein. So ist es den Bemühungen Bütschlis und seiner Vorgänger gelungen, aus verschiedenen Flüssigkeiten, wie Olivenöl und Seifenlösung, mikroskopische Schäume herzustellen. Eine Untersuchung des Plasmas wenig differenzierter Zellen, wie der Protozoen einerseits, der Eizellen andererseits, hat nun dort die gleiche Schaumstruktur nachweisen lassen.

Man kann daher wohl mit Wahrscheinlichkeit sagen, daß für undifferenziertes Protoplasma eine schaumartige (spumoide) Struktur typisch ist.

Die eigentümliche kolloidale Lösung, die das Protoplasma darstellt und die wesentlich auf seinem Gehalt an Eiweißkörpern und Lipiden beruht, hat nun, genau wie andere Kolloide, die Fähigkeit, ihren Aggregatzustand in ziemlich weiten Grenzen zu ändern. Unter bestimmten Einwirkungen schließen sich die Elementarteilchen zu größeren Komplexen zusammen, die dann Kerne von festerer Beschaffenheit bilden, das Kolloid geht aus dem Sol- in den Gelzustand über. Diese Umwandlung ist in vielen Fällen umkehrbar, es kann ein ständiger Wechsel zwischen den beiden Zuständen stattfinden, durch weitere Steigerung der Gelbildung, die Gerinnung, können sogar feste Strukturen gebildet werden, die jederzeit wieder auflösbar sind. Gerade diese Veränderlichkeit der physikalischen Beschaffenheit ist für die Lebensvorgänge jedenfalls von größter Bedeutung; wird sie aufgehoben, gerinnt das Eiweiß ohne die Möglichkeit der Umkehr, wie z. B. unter der Einwirkung von Temperaturen zwischen 40 und 70°, so erlischt damit das Leben. Auf diese physikalischen Vorgänge haben nun die anorganischen Salze den größten Einfluß, deren Elemente vielfach

als freie Ionen sich im Plasma in Lösung befinden. Eine minimale Änderung in der Konzentration dieser freien Ionen genügt oft, um sehr erhebliche physikalische Veränderungen an den Plasmakolloiden hervorzurufen, und da die Ionenkonzentration sich ihrerseits unter allerlei chemischen Einwirkungen sehr leicht ändert, so liegt hierin ein wesentlicher Faktor für den Ablauf der Lebensvorgänge.

Die physikalisch bedingte Schaumstruktur des Protoplasmas hat nun wieder eine wesentliche Rückwirkung auf den Ablauf der chemischen Vorgänge. Zunächst wird durch die feine Verteilung der einzelnen Bestandteile eine riesige innere Oberfläche geschaffen, die Reaktionen sehr begünstigt. Durch die Einschaltung der Zwischenlamellen werden die gelösten Substanzen des Protoplasmas auf einzelne Räume verteilt, die untereinander nur durch Diffusion durch die Wabenwände in Verbindung treten können. Je nach seiner Diffusionsfähigkeit kann also ein Stoff leicht oder schwer innerhalb des Plasmas wandern, unter Umständen auch ganz in seiner Wabe festgehalten werden. Die Diffusion ist nun bei den in Betracht kommenden Substanzen äußerst verschieden; die hoch zusammengesetzten Verbindungen unter den Kohlehydraten und besonders den Eiweißen sind sehr schwer oder gar nicht diffusibel, die niederen Spaltprodukte viel leichter. Durch abwechselnden Ab- und Aufbau ihrer Verbindungen kann die Zelle sie also bald isolieren, bald wandern lassen, und eine jede Wabe des Plasmas stellt nach Hofmeisters hübschem Vergleich ein Laboratorium dar, das unabhängig von seinen Nachbarlaboratorien arbeiten, aber doch jederzeit das Resultat seiner Umsetzungen an die Umgebung weiterleiten kann.

Zusammenfassend können wir also das Protoplasma definieren als eine Substanz von sehr komplizierter Zusammensetzung aus labilen organischen Verbindungen in kolloidaler Lösung. Die chemische und physikalische Labilität ist für den Lebensprozeß von größter Wichtigkeit, sie wird vorwiegend beeinflusst von den anorganischen Salzen und ihren freien Ionen. Auch die Bewegungserscheinungen und die Reizvorgänge beruhen zum guten Teil auf den Konzentrationsänderungen der freien anorganischen Verbindungen. Wird aus irgendeinem Grunde die Labilität im Aufbau der Plasmaelemente aufgehoben, so tritt der Tod ein.

2. Die Zelle. (Taf. I.)

Die lebende Substanz tritt uns im ganzen Organismenreich mit merkwürdiger Gleichförmigkeit in einer Grundform entgegen, als Zelle, Zelle. Ihren Namen verdankt diese Einheit einer an sich ganz belanglosen Beobachtung des englischen Arztes Hooke, der 1665 den wabenartigen

Aufbau der Korkrinde beschrieb und ihn mit den Zellen eines Bienenstockes verglich. Die erste Erkenntnis der Bedeutung dieser Strukturelemente finden wir wohl bei dem großen Forscher Malpighi, der Schläuche, utriculi, als allgemeines Bauelement der Pflanzen nachwies. Die Zelle klar als Grundelement aller Pflanzengewebe bezeichnet zu haben, ist das große Verdienst von Schleiden (1838), schon ein Jahr später wurden diese Anschauungen von Schwann auch auf die Tiere übertragen. Seitdem steht die Zelle im Mittelpunkt morphologischer und physiologischer Forschung.

Die Berechtigung, die Zelle als elementare Lebenseinheit anzusehen, leitet sich aus verschiedenen Gründen her. Einmal finden wir sie, wie schon gesagt, als Baustein aller pflanzlichen und tierischen Gewebe. Wie die Entwicklung lehrt, geht der Aufbau eines neuen Organismus, wenigstens bei der geschlechtlichen Fortpflanzung, stets von einer Zelle, der Eizelle, aus. Sie vermehrt sich durch Teilung in andere Zellen und dies setzt sich während des Wachstums fort. Wohl treten uns in den Organismen auch Strukturen entgegen, die keinen zelligen Aufbau erkennen lassen, aber die Entwicklung zeigt, daß sie doch immer aus Zellen hervorgegangen sind. Dabei können diese interzellularen Strukturen eigenen Stoffwechsel und eigenes Wachstum zeigen, also durchaus lebendig sein, sie vermögen aber nur ihren einmal ausgebildeten Typus einige Zeit zu erhalten, im besten Falle an Ort und Stelle durch Spaltung zu vermehren, eine wirkliche Neubildung solcher Elemente geschieht immer auf dem Wege über Zellen.

Neben der morphologischen stellt die Zelle auch die physiologische Einheit dar; wir kennen keine Organismen, die freilebend eine niedrigere Struktur aufwiesen als die einer Zelle. Hierbei entstehen allerdings insofern Schwierigkeiten, als man zweifelhaft sein kann, was man zur Struktur einer Zelle als wesentlich hinzurechnen soll. Stellt man sich auf den Standpunkt der Deszendenztheorie, wonach alles Leben aus einfacheren Formen hervorgegangen ist, so müssen wir erwarten, auch für die Zelle Vorstufen zu finden. Die Lebensformen, die man als Protozoen bezeichnet, lassen alle Merkmale einer Zelle erkennen, besonders die Teilung in Kern und Zelleib. Bei den niedersten Protophyten, den Bakterien, wird die Sache aber zweifelhaft, von einer scharfen Trennung von Kern und Plasma ist dort noch nicht die Rede. Neuerdings hat man als Erreger wichtiger Krankheiten, der Pocken u. a., winzige Lebewesen gefunden, die man als Chlamydozoen bezeichnet hat, weil sie im Gewebe von einer besonderen Hüllsubstanz umgeben auftreten. Ihre Struktur ist noch nicht näher erforscht, sie entzieht sich auch wegen ihrer Dimensionen den augenblicklich zur Verfügung stehenden Hilfsmitteln. So mag es in diesem Sinne Vorstufen der Zelle gegeben haben und vielleicht noch geben, deren Bau einfacher als der der typischen Zelle erscheint. Anders steht es mit dem Versuch, innerhalb der Zelle selbst kleinere selbständige Einheiten aufzufinden. Man hat auf Grund mikroskopischer

Beobachtungen wie theoretischer Spekulationen oft das Bestehen solcher kleineren Einheiten (Biophoren, Granula u. a.) behauptet, es muß aber daran festgehalten werden, daß wir diese Teile als außerhalb des Zellverbandes lebensfähig niemals beobachtet haben, ihnen also das wesentlichste Merkmal der Selbständigkeit fehlt.

Die Grundeinheit der Zelle tritt nun im Pflanzen- und Tierreich in den mannigfachsten Typen auf. Bald ist ihre Form wechselnd, wie bei den Amöben oder den weißen Blutkörperchen des Menschen, bald scharf ausgeprägt und festgelegt. Dann kann sie kugelig sein, wie bei Eiern, kubisch, zylindrisch oder abgeplattet, wie bei Epithelzellen, band- oder spindelförmig, wie bei Muskeln, verästelt und sternförmig, wie bei Bindegewebs-, Pigment- und Nervenzellen, fadenförmig oder korkzieherartig gewunden, wie bei Samenfäden.

In viel engeren Grenzen als die Form schwankt die Größe der Zellen. Wenn wir von den winzigen Bakterien und manchen sehr kleinen Samenzellen einerseits, den riesigen Eiern, sowie den Muskel- und Nervenfasern der großen Säugetiere andererseits absehen, die einseitige Spezialisierungen darstellen, so schwankt die Größe der Zellen etwa zwischen 0,005 und 0,5 mm. Es handelt sich also fast immer um mikroskopische Gebilde. Der Grund hierfür ist jedenfalls ein physiologischer. Die Zelle ist zur Erfüllung ihrer Lebensleistungen auf Stoffaustausch mit der Umgebung angewiesen. Die Intensität dieses Prozesses wird bedingt durch das Verhältnis von Oberfläche zu Volumen. Nun wächst das Volumen nach bekannten Gesetzen in der dritten, die Oberfläche aber nur in der zweiten Potenz. Es muß also bei ständiger Größenzunahme ein Punkt erreicht werden, wo der Stoffaustausch gehemmt wird. Von den oben angeführten extrem großen Zellen haben die Muskel- und Nervenzellen durch ihre gestreckte und verzweigte Form eine relativ sehr große Oberfläche, die Eizellen enthalten nur eine kleine Menge wirklich lebender Substanz, zum größten Teil Reservestoffe, daher reicht ihre Oberfläche zum Stoffwechsel aus. Für die meisten Zellen ist aber in diesem physiologischen Faktor eine scharfe Grenze des Größenzuwachstums gegeben, über diese hinaus wachsen sie unter Teilung, wodurch die Oberfläche wieder vergrößert wird. Einen Versuch zur höheren Organisation größerer Plasmakomplexe hat uns die Natur gewissermaßen hinterlassen, die Siphonaceen, seltsame Algen, die nur aus einer riesigen Zelle bestehen, die sich in ähnlicher Weise in Wurzel, Stengel und Blätter gliedert, wie dies der Zellverband der höheren Pflanzen zu tun pflegt. Doch führt dieser Anlauf nicht über eine Größe von einigen Zentimetern hinaus.

Untersuchen wir eine lebende Zelle unter dem Mikroskop, so finden wir meist ein Bläschen, erfüllt mit einer strukturlosen, durchscheinenden oder milchig getrübbten Flüssigkeit. In dieser suspendiert erscheint gewöhnlich ein kleineres, scharf begrenztes Bläschen, der Kern, Nucleus.

Nur in seltenen Fällen lassen sich außerdem im Zelleib wie im Kern noch feinere Strukturen wahrnehmen. Um diese zur Anschauung zu bringen, bedient sich die mikroskopische Technik der Fixierungs- und Färbemittel. Es handelt sich dabei um mikrochemische Reaktionen, die zunächst das Protoplasma zur Gerinnung bringen, fällen, und dann einzelne Bestandteile davon dadurch hervorheben, daß sie sich mit zugesetzten Farbstoffen besonders leicht und fest verbinden. Durch diese Verfahren läßt sich in der scheinbar homogenen Zellsubstanz eine überraschende Fülle von Strukturen nachweisen, man muß aber immer im Gedächtnis behalten, daß es sich dabei um Kunstprodukte handeln kann, die durch Ausfällung gelöster Substanzen hervorgerufen sind. Tatsächlich kann man oft erleben, daß bei Anwendung verschiedener Fixierungsmittel die gleiche Zellart ein ganz verschiedenes Aussehen gewinnt. Es bedarf also bei Verwendung dieser Methoden großer Übung und scharfer Kritik; in den Diskussionen der Zytologen spielt die Frage der Kunstprodukte eine große Rolle, und gar manches scheinbar gesicherte Ergebnis hat sich nachträglich als Täuschung herausgestellt. Wünschenswert bleibt daher immer die Kontrolle am lebenden Objekt, sie ist durch die reiche Ausgestaltung der technischen Verfahren jetzt über Gebühr in den Hintergrund getreten.

Fragt man nun, welchen Anblick auf Grund der verschiedenen Methoden uns eine Zelle zu bieten pflegt, so ist der wesentlichste Punkt die Gliederung in Zellkern (Nucleus) und Zelleib (Cytoplasma) (Fig. 1). Nur die niedersten Organismen, wie viele Bakterien, lassen einen morphologisch abgesetzten Kern vermissen, sonst finden wir ihn meist in der Einzahl, seltener treten zwei, noch spärlicher mehrere bis viele Kerne auf. Die Lage des Kernes ist ebensowenig allgemeinen Gesetzen unterworfen, wie seine Form, doch finden wir ihn sehr häufig bläschenförmig, seltener stabartig gestreckt, wurstförmig, gelappt, verzweigt oder rosenkranzartig eingeschnürt. Wie die Zelle kann auch der Kern wechselnde Gestalt annehmen. Seine Größe entspricht meist ungefähr der der zugehörigen Zelle, auch dies offenbar aus physiologischen Gründen, da Kern und Zelle in regem Stoffaustausch stehen. Bei sehr großen Zellen finden wir daher nicht selten statt eines großen zahlreiche kleine Kerne. Bei den großen Eizellen ist der Kern manchmal so riesig, daß man ihn mit bloßem Auge wahrnehmen kann. Meist ist er durch eine deutliche Membran vom Zelleib abgesetzt, gelegentlich ist diese so fest, daß man den Kern aus der Zelle herauspräparieren kann.

Bei feinerer Untersuchung bietet uns der Zelleib (Fig. 1 Cy) einfacher Zellen das oben geschilderte Bild der Waben- oder Schaumstruktur. Diese zeigt sich unter dem Mikroskop in der Form eines feinen Netzwerkes mit einem Durchmesser der Maschen von etwa 0,001 mm oder weniger, in dessen Knotenpunkten häufig feste Körnchen, die Granula liegen. Sie sind zum Teil wohl abgelagerte Reservestoffe, zum

Teil feste lebendige Plasmabestandteile, häufig aber auch bei der Fixierung entstandene Kunstprodukte. Unter dem Zwange der Oberflächenspannung müssen sie sich auf den Wabenwänden in den Knotenpunkten anordnen, bieten daher gewöhnlich das Bild einer sehr regelmäßigen Verteilung. Bei den höher differenzierten Zellen treten zur Verrichtung bestimmter Leistungen die allermannigfaltigsten Strukturen auf, Fibrillen, wie in Bindegewebs-, Muskel- und Nervenzellen, Körner und Schollen, wie in Pigment-, Epithel- und Drüsenzellen. Ihre nähere Erforschung ist eine der wichtigsten Aufgaben der Lehre vom feineren Bau der Gewebe, der Histologie. Vielfach enthalten die Zellen auch Einschlüsse: Flüssigkeitsvakuolen, Chromoplasten, Stärkekörner und andere Reservestoffe.

Auch der Kern (Fig. 1 *N*) bietet uns oft das Bild einer Schaumstruktur, die ganz mit der des Plasmas übereinstimmt. Meist läßt er aber im mikroskopischen Bilde ein feines Fadenwerk erkennen, das aus einer schwach färbbaren Substanz, dem Linin (Fig. 1 *L*), besteht. Diesem Gerüstwerk liegen stärker färbbare Stoffe als kleine Kugeln oder Brocken auf, das Chromatin (Fig. 1 *Ch*). Die Zwischenräume sind mit einer farblosen Flüssigkeit, dem Kernsaft, erfüllt. Häufig bemerkt man noch ein rundes oder unregelmäßig geformtes Körperchen, das Kernkörperchen oder den Nucleolus (Fig. 1 *n*). Es färbt sich ebenfalls intensiv, aber mit anderen Stoffen und in anderen Tönen wie das Chromatin. Man hat auf diese verschiedene Färbbarkeit großen Wert gelegt, da man in ihr ein Mittel sieht, Aufschluß über die chemische Natur der einzelnen Kernsubstanzen zu erhalten. Die Resultate, über die man bisher verfügt, sind noch recht unvollkommen. Eine isolierte Untersuchung von Kernen ist natürlich noch viel schwieriger zu erreichen, als die des Plasmas. Reife Spermatozoen bestehen aber in den meisten Fällen fast nur aus Kernsubstanz; durch ihre Analyse hat man festgestellt, daß im Kern Eiweißkörper besonderer Natur vorhanden sind, die Nukleoproteide, die sich durch ihren Reichtum an einer phosphorhaltigen Eiweißverbindung, der Nukleinsäure, auszeichnen.

Über die physiologischen Beziehungen von Kern und Plasma vermögen wir etwas mehr Angaben zu machen. Es hat sich gezeigt, daß der Kern das wichtigste, unbedingt lebensnotwendige Organ der Zelle ist. Zerlegt man sie in Teile, von denen nur einer den Kern enthält, so bleibt nur dieser am Leben und kann seinen Verlust ersetzen, die anderen arbeiten noch einige Zeit weiter, zersetzen die in ihnen aufgespeicherten Stoffe, gehen dann aber zugrunde, weil sie unfähig sind, den Aufbau neuer Lebensbausteine durchzuführen. Die Beteiligung des Kernes an den Stoffwechselvorgängen in der Zelle kann man auch gelegentlich direkt daran erkennen, daß er nach den Stellen lebhaften Getriebes Fortsätze aussendet, oder daran, daß Stoffe aus dem Kern in die Zelle übertreten. Wie man sich

die Einwirkung im einzelnen vorstellen soll, ist noch recht unsicher; man hat vielfach an die Ausscheidung von Fermenten durch den Kern gedacht, die dann die Umsetzungen im Zelleib hervorrufen sollen. Natürlich müssen auch umgekehrt Stoffe aus dem Zelleib in den Kern übertreten zum Aufbau seiner eigenen Substanz beim Wachstum; man glaubt speziell die Bildung der Nukleoproteide, deren Sitz in das Chromatin verlegt wird, durch verschiedene Stadien der Färbbarkeit verfolgen zu können. Der Nucleolus wird dabei bald als eine Art Reservestoffbehälter, bald als eine Anhäufung von Abfallsprodukten des Kernstoffwechsels aufgefaßt; jedenfalls spielt er im Getriebe des Zellhaushalts keine wichtige aktive Rolle.

Gelegentlich beobachtet man, daß der Kern seine scharfe Begrenzung gegen den Zelleib verliert und seine Substanz sich über die ganze Zelle verteilt. Dies geschieht besonders bei Einzelligen im Laufe der Fortpflanzungstätigkeit, doch hat man auch bei höheren Organismen ähnliche Vorgänge beobachtet. Es treten dann im Plasma stark färbbare, offenbar dem Chromatin entsprechende Körner auf, die man als Chromidien bezeichnet. Ihre Natur und Bedeutung ist im einzelnen wohl sehr verschieden, bald sind es reine Abfallprodukte, die dem Untergang geweiht sind, bald stehen sie zu bestimmten Leistungen der Zelle in Beziehung, besonders zur Fortpflanzung. Ähnliche Chromidien glaubt man nun vielfach im Körper solcher Zellen nachweisen zu können, die niemals einen morphologisch deutlichen Kern zeigen, wie die meisten Bakterien. Es liegt nahe, hierin einen ursprünglichen Zustand zu sehen: Es differenzierten sich im Laufe der Stammesgeschichte der Zelle zunächst bestimmte chemische Körper, die als Chromidien über den ganzen Leib der Zelle verteilt waren. Später sonderten sie sich dann und bildeten das erste und wichtigste Zellorgan, den Kern. Zu einer genaueren Durchführung dieses Gedankens sind aber die Zustände bei den niedersten Organismen noch zu wenig klargestellt.

Eine ganz besondere Bedeutung hat der Kern bei der Vermehrung der Zelle durch Teilung; wir werden auf diesen Prozeß an anderer Stelle noch ausführlich einzugehen haben (vgl. S. 128).

3. Die Protozoen. (Taf. I.)

Die Lebensinheit der Zelle tritt uns im Tier- wie im Pflanzenreich in zwei Typen entgegen: als selbständiges Lebewesen oder eingegliedert in einen größeren Verband. Wir pflegen danach zwei große Organismengruppen in beiden Reichen zu unterscheiden: Die Protozoen und Protophyten einerseits, gemeinsam auch Protisten genannt, die zu allen Zeiten des Lebens nur aus einer einzigen Zelle bestehen, und die Metazoen bzw. Metaphyten, die vielzelligen Tiere und Pflanzen. Die Einzelligen sind in vieler Hinsicht besonders geeignet, uns einen Begriff von den Leistungen der Zelle

zu geben. Allerdings darf man bei ihnen nicht erwarten, auf besonders einfache Verhältnisse zu stoßen. Geht man von den uns heute geläufigen Vorstellungen der Stammesgeschichte aus, so erblickt man in den Protisten die einfachsten Formen, die dem Ausgangspunkte der gesamten Entwicklungslinie noch am nächsten stehen. Man darf aber dabei nicht übersehen, daß die heute lebenden Einzelligen selbst ein uralter Stamm sind, der uns nur deshalb so ursprünglich erscheint, weil er die Höherentwicklung durch Zusammenschluß der Zellen nicht mitgemacht hat. In der langen Entwicklungszeit haben sich aber die Zellen selbst in der verschiedensten Weise verändert, so daß wir unter den Protozoen jetzt außerordentlich verschiedene Formen treffen, die in der Höhe der Zellorganisation den Vergleich mit den Vielzelligen nicht zu scheuen brauchen. Ja, in gewisser Hinsicht sind sie diesen sogar überlegen: Während dort nämlich die Gesamtleistungen des Organismus auf viele Zellen verteilt sind, von denen jede für ihre Teilfunktion besonders ausgerüstet ist, muß hier eine Zelle alles zugleich leisten. Der Physiologe macht daher die Erfahrung, daß es bei den Einzelligen oft viel schwerer ist, über eine besondere Funktion ins klare zu kommen, da man diese im Versuch nicht so klar aus den übrigen Tätigkeiten der Zelle herauschälen kann wie bei den Spezialisten unter den Gewebszellen. Dagegen zeigt uns dieser Typus sehr gut, welche Leistungen eine selbständige Zelle verrichten muß und welche Strukturen dazu notwendig sind.

Unter den heute lebenden Formen treten uns die einfachsten ohne Zweifel in der Gruppe der *Wurzelfüßer* oder **Rhizopoden** entgegen. Sie haben ihren Namen von der Fähigkeit des Plasmas, Fortsätze auszusenden, die zur Fortbewegung dienen und davon den Namen Scheinfüßchen oder Pseudopodien tragen. Bei den niedrigsten Arten, wie bei den bekannten Wechseltierchen *Amoeba* (Fig. 2), gehen diese Fortsätze von einem formlosen Klümpchen Protoplasma aus. Im Inneren bemerken wir einen großen, bläschenförmigen Kern; der Plasmaleib zeigt wenig Differenzierung; sein Innenteil, das Entoplasma (Fig. 2 *En*), sieht etwas dichter, trüber und körniger aus, während die Randschicht, das Ektoplasma (Fig. 2 *Ek*), heller, homogener und zäher erscheint. Beide Schichten sind aber nicht scharf getrennt, sondern können jederzeit ineinander übergehen. Dies kann man bei manchen Arten gut bei der Aussendung von Pseudopodien beobachten. Dabei durchbricht nämlich das Entoplasma an einer Stelle die Außenschicht und ergießt sich nun wie ein zäher Strom durch die Lücke. Sehr schnell gehen aber seine Randpartien in Ektoplasma über, während umgekehrt das ins Innere verlagerte Ektoplasma an der Durchbruchsstelle sich sofort in Entoplasma auflöst. Zahlreiche Beobachtungen und experimentelle Untersuchungen haben gelehrt, daß die Bildung der Pseudopodien weitgehend von dem Zustande der Umgebung abhängt, daß z. B. Herabsetzung der Oberflächenspannung an einer Stelle ein Vorströmen des Plasmas hervor-

ruft. Der Körper dieser einfachen Zellen hat also noch gar keine konstante Form, sondern ändert sie jeden Augenblick unter dem Einfluß innerer oder äußerer Faktoren. Eine bestimmte Gestalt gehört demnach nicht zu den Grunderfordernissen der Zelle. Daß aber auch innere Einflüsse für die Formgebung bedeutungsvoll sein müssen, geht daraus hervor, daß die verschiedenen Amöbenarten sich in den Umrissen ihrer Pseudopodien typisch unterscheiden. Doch hat sich andererseits zeigen lassen, daß eine Änderung des Mediums, in dem ein Tier lebt, die Form seiner Pseudopodien vollständig umgestalten kann. Sie beruht also offenbar auf der Wechselwirkung der beiden Faktoren und die typische Gestalt der einzelnen Arten hat ihren Grund in der besonderen chemischen und physikalischen Natur ihres Plasmas.

Die Ernährung der Amöben, die etwa eine Größe von 0,02—0,5 mm haben, erfolgt durch Aufnahme fester organischer Körper, anderer Protozoen, Algenzellen, Bakterien u. ä. Das Plasma einer umherkriechenden Amöbe, das einen Nahrungskörper berührt, legt sich ihm dicht an und umfließt ihn schließlich ganz. Die Nahrung wird im Plasmaleibe von einer Flüssigkeit umgeben, es bildet sich eine Nahrungsvakuole (Fig. 2 V); in diese werden Fermente abgeschieden und es erfolgt die Verdauung. Der Rückstand gelangt dann einfach dadurch nach außen, daß sich das Plasma von ihm zurückzieht. Es ist besonders Rhumbler gelungen, auch diesen Prozeß größtenteils auf den Einfluß der Oberflächenspannung zurückzuführen; wir sehen also eine weitgehende Abhängigkeit dieser primitiven Organismen von der Umgebung, deren Wirkungen sie oft widerstandslos folgen müssen. Genauere Untersuchungen über das Verhalten der Amöben, wie sie besonders von Jennings angestellt worden sind, haben aber gezeigt, daß sie sich in ihren Reaktionen je nach der Art des Nahrungskörpers recht verschieden benehmen, die Reaktionen also keineswegs so einfach rein physikalisch zu erklären sind.

Die nackten Amöben sind weitverbreitete Bewohner des Süßwassers wie des Meeres, manche Arten kommen auch in feuchter Erde vor. Neuere Forschungen haben eine immer größer werdende Zahl von Arten kennen gelehrt, die parasitisch im Inneren von Tieren leben. Sie halten sich dort meist im Darmkanal auf und ernähren sich mit von den Nahrungsstoffen ihres Wirtes. So beherbergt auch der Mensch vielfach eine Amöbenart, die *Entamoeba coli*, die als harmloser Bewohner des Dickdarms gilt. Eine dieser nahe verwandte Form, die *Entamoeba dysenteriae* (*histolytica*) (Figg. 3, 4), verursacht dagegen eine schwere tropische Infektionskrankheit, die tropische Ruhr. Dies geschieht dadurch, daß der Parasit die Wand des Darmkanals angreift, vielleicht besonders dann, wenn diese durch eine anderweitige Entzündung gereizt ist. Die Amöben drängen mit ihren breiten, zähen Pseudopodien die Darmzellen auseinander, bringen sie zum Abfallen und bohren sich auch in die tieferen Lagen der Schleimhaut ein, so daß

umfangreiche Geschwüre entstehen. In deren Grunde findet man dann die Amöben oft wie in Reinkultur. Diese Dysenterieamöben zeigen uns nun sehr klar die bei vielen Protozoenzellen entwickelte Fähigkeit, in ein längeres Ruhestadium überzugehen. Sie ziehen ihre Pseudopodien ein, kugeln sich ab und umgeben sich mit einer festen Hülle. Man bezeichnet diesen Vorgang allgemein als Enzystierung. Als Zysten können Protozoenzellen ungünstige Lebensperioden überstehen, z. B. oft die Austrocknung ihrer Wohngewässer; vielfach dienen solche Stadien auch zur Verbreitung. So wird auch bei der Dysenterieamöbe die Übertragung von Mensch zu Mensch durch solche Zysten (Fig. 4) bewirkt, die mit dem Darminhalt entleert werden und frisch oder ausgetrocknet auf die Nahrung oder Gebrauchsgegenstände des Menschen gelangen können. In diesen Zysten teilt sich die Amöbe in vier Tochterzellen, die nach der Aufnahme in den Darm aus der Hülle ausschlüpfen und die neue Infektion herbeiführen. Es wird angegeben, daß auch die *Amoeba coli* gelegentlich ähnliche Krankheitserscheinungen hervorrufen kann.

Die Bedeutung der Amöben als Krankheitserreger hat uns jetzt auch gelehrt, sie in Reinkultur zu züchten; dies geschieht auf künstlichen Nährböden mit Bakterienkulturen. Davon nahren sich dann die Amöben; eine direkte Verarbeitung von Nährlösungen scheint ihnen allgemein unmöglich zu sein.

Den echten Amöben nahe verwandt sind nun Formen, deren Plasmakörper durch eine Schale umhüllt wird. Damit tritt uns die erste Lösungsart des Formproblems entgegen, eine äußerliche feste Umhüllung, die den weich bleibenden Körper in typische Gestalt preßt. Diese Schale kann aus einer elastischen organischen Substanz bestehen oder dadurch zustande kommen, daß einer gallertartigen Grundsubstanz Fremdkörper an- oder eingelagert werden. Ein häufiger Vertreter dieser Formen in unseren Tümpeln ist *Arcella vulgaris* (Fig. 5). Sie hat noch vollkommenen Amöbentypus in der Ausbildung der Pseudopodien, aber auf dem Rücken des Plasmaleibes sitzt eine runde, schildartig gewölbte Schale mit rings nach unten umgebogenen Rändern. Aus dem Loch, das diese in der Mitte lassen, streckt der Plasmaleib seine Pseudopodien heraus.

Im Meere treffen wir nun zahlreiche Vertreter dieser schalentragenden Wurzelfüßer, der *Thalamophoren*, bei denen die Schale durch Einlagerung von kohlensaurem Kalk eine größere Festigkeit gewinnt. Es sind die *Foraminiferen*, eine ungemein formenreiche Gruppe. Bei ihnen erlangen die Gehäuse dadurch eine höhere Entwicklung, daß sie sich aus mehreren Kammern (Fig. 6) zusammensetzen. Ist das Plasma durch Wachstum für die erste Kammer zu groß geworden, so fließt ein Teil davon heraus und umgibt sich mit einer neuen Schale, die mit der ersten nach ganz bestimmten Gesetzen unter bestimmten Winkeln zusammenstößt. Wie Rhumbler ge-

zeigt hat, lassen sich diese Winkel auf die Wirkung der Oberflächenspannung des Plasmas gegen das umgebende Wasser zurückführen; wir sehen also hier wieder für die Formbildung einen einfachen physikalischen Faktor wirksam werden.

Die Foraminiferen zeichnen sich nun vor den Amöben auch durch die Gestalt der Pseudopodien aus. Sie sind nicht mehr so breit und lappig, sondern lang und spitz ausgezogen (Filopodien). Bei den meisten Formen werden sie durch zahlreiche Poren der Schale nach allen Seiten ausgestreckt, so daß sie wie ein zierliches Netz den ganzen Körper umgeben. Die meisten Foraminiferen sind Bewohner des Meeresbodens, vor allem auf flachem, sandigem Grunde sind sie reich entwickelt. Das Netz der Pseudopodien erstreckt sich oft mehrere Zentimeter weit um den Körper, der gewöhnlich wenige Millimeter Durchmesser hat. Mit den Ausläufern fangen die Tiere allerlei andere kleine Organismen wie die Amöben; da sie diese aber gewöhnlich nicht durch die engen Öffnungen in die Schale hineinziehen können, so bildet sich durch Zusammenfließen mehrerer Pseudopodien ein Plasmaklumpen, und darin geht die Verdauung vonstatten. Die Foraminiferen können unter günstigen Bedingungen in ungeheuren Mengen auftreten; in Ablagerungen früherer Erdperioden bilden sie ganze Schichten. Deren bekannteste ist der *Nummulitenkalk*, zusammengesetzt aus den Schalen scheibenförmiger Foraminiferen von 1 cm und mehr Durchmesser (Fig. 7). Auch heute noch treten die Foraminiferen gesteinsbildend auf. In den kalten Gebieten des Meeres, besonders auf der südlichen Halbkugel, ist das Wasser oft auf große Strecken ganz erfüllt von Schwärmen freischwebender, kugelförmiger Foraminiferen, deren Schalen zur Verminderung der Sinkgeschwindigkeit im Wasser mit langen Stacheln besetzt sind. Nach dem Absterben sinken die Hüllen dieser *Globigerinen* (Fig. 8) in die Tiefe hinab und häufen sich dort in dicker Schicht an. In bestimmten Meeresgebieten besteht der Boden der Tiefsee fast rein aus solchem Globigerinenschlick.

Finden wir bei den Foraminiferen eine äußere Kalkschale, so macht uns eine andere Gruppe der Wurzelfüßer mit dem zweiten, prinzipiell entgegengesetzten Verfahren bekannt, dem Zellkörper Stütze und Form zu geben. Bei den *Radiolarien* entwickelt sich ein inneres Skelett, das bei den meisten Arten aus Kieselsäure besteht. Es nimmt ungemein zierliche Formen an, gewöhnlich setzt es sich aus einer Kugel zusammen, die den Mittelteil der Zelle mit dem Kern umschließt; von jener gehen dann Stacheln nach allen Richtungen aus, oder die Hauptstacheln treffen sich im Mittelpunkt (Fig. 9). Meist ist das Skelett allseitig symmetrisch, oft aber auch zweiseitig. Die Formenfülle dieser Organismengruppe ist ganz überwältigend; sie gibt uns einen guten Anhaltspunkt für die Mannigfaltigkeit im Aufbau des Protoplasmas schon bei so niedrig organisierten Geschöpfen. Denn da das Material der Skelette fast überall das gleiche ist,

so können die Unterschiede des Baues nur auf Verschiedenheiten im Plasma beruhen. Wir haben allen Grund, anzunehmen, daß gerade so wie für die Bildung der äußeren Schale auch für die Anordnung dieser inneren Skelette die Oberflächenspannungsverhältnisse innerhalb des Plasmas maßgebend sind. Sie gehorchen daher auch einfachen mechanischen Prinzipien und machen oft den Eindruck, als seien sie von einem Ingenieur konstruiert worden, um größte Festigkeit mit größter Leichtigkeit zu vereinigen. Zwischen den äußeren Teilen dieses Gerüsts ist das Plasma in feinen Strängen ausgespannt, die Zwischenräume werden von Flüssigkeitsvakuolen ausgefüllt. Das dichtere Innenplasma mit dem Kern wird von einer besonderen Membran, der Zentralkapsel (Fig. 9 Ck), abgegrenzt. In den Außenschichten haben sich bei vielen Formen andere einzellige Wesen eingenistet, gelbe oder seltener grüne Algen, *Zooxanthellen* (Fig. 9 Zn), die mit den Radiolarien regelmäßig vergesellschaftet sind. Sie genießen dabei Schutz, vielleicht auch Vorteil für ihre Ernährung, während umgekehrt ihre Stoffwechselprodukte, in erster Linie der Sauerstoff, den Radiolarien zugute kommt. Man bezeichnet eine solche Gesellschaftsbildung zu gegenseitigem Nutzen als *Symbiose*.

Im Süßwasser werden die Radiolarien durch verwandte Formen vertreten, die Sonnentierchen oder *Heliozoen*. Sie haben gleichfalls einen kugeligen Körper, der aber gar nicht oder nur schwach durch ein Kiesel skelett gestützt ist und ähnlich wie der der Amöben eine Trennung in Ekto- und Entoplasma erkennen läßt. Von diesem Körper gehen nach allen Seiten wie die Strahlen einer Sonne lange und dünne Pseudopodien aus. Diese sind dadurch bemerkenswert, daß sie in der Achse einen festeren Stützstab, den Achsenfaden, enthalten. Dennoch sind diese Pseudopodien vergängliche Bildungen, die nach Bedarf ausgestreckt und wieder eingezogen werden. Man sieht dabei das Plasma ganz in der gewohnten Weise als dünnen Fortsatz vorfließen, in dessen Mitte bildet sich aber sehr schnell ein fester, stärker lichtbrechender Stab. Bei der Einziehung sieht man diesen sich erweichen und restlos im übrigen Plasma auflösen. Offenbar handelt es sich hier um einen besonders typischen Fall des Wechsels von Sol- und Gelzustand in einem kolloidalen System, und wir sehen, wie leicht sich dies zur Bildung fester Stützapparate verwenden läßt. Dies Verfahren hat nicht nur bei den Einzelligen, sondern auch bei den Körperzellen der Metazoen weiteste Verbreitung. Eines der zierlichsten dieser Sonnentierchen, das *Actinosphaerium eichhorni*, trifft man verbreitet in ruhigen, klaren Waldtümpeln; es wird etwa 1 mm groß (Fig. 10).

Einen ganz anderen Typus der Zelle finden wir in der zweiten großen Gruppe der Einzelligen, den *Sporozoen*. Sie können morphologisch mit der Formenfülle der Rhizopoden keinen Vergleich aushalten; meist sind sie kugelig oder elliptisch gestaltet und weisen im Plasma keine besonderen

Differenzierungen, Schalen oder Skelettbildungen auf. Dies hängt damit zusammen, daß sie alle unter ähnlichen, biologisch einfachen Bedingungen leben. Sie sind nämlich ausschließlich Parasiten im Innern anderer Tiere. Dafür bietet ihre Lebensweise vieles Interessante; sie sollen uns in erster Linie dazu dienen, uns die Fortpflanzung bei den Einzelligen etwas näher zu betrachten.

Die verschiedenen Vertreter der Sporozoen leben an verschiedenen Stellen im Körper höherer Tiere. Die harmlosesten sind freie Bewohner der Darmhöhle. Hierhin gehören die *Gregarinen* (Fig. 13). Es sind im erwachsenen Zustande recht stattliche Zellen, die mehrere Millimeter, in besonderen Fällen sogar über 1 cm lang werden können. Ihre Form ist langgestreckt, der Bau oft ziemlich verwickelt. Wir erkennen ein deutliches, helles Ektoplasma (Fig. 13 *Ek*), das sich scharf von dem dunkleren, körnigen Entoplasma (Fig. 13 *En*) absetzt. In diesem liegt der bläschenförmige Kern. Oft gliedert sich der Körper in zwei Abschnitte, einen kleinen vorderen und längeren hinteren, den Proto- und Deutomeriten (Fig. 13 *Pm*, *Dm*), die durch eine Scheidewand von Ektoplasma gegeneinander abgesetzt sind. Die erwachsenen Zellen liegen meist frei im Darmlumen und ernähren sich osmotisch von dem flüssigen Darminhalt. Schreiten sie zur Fortpflanzung, so sieht man sich zwei Tiere aneinander ketten. Sie bleiben längere Zeit ohne Veränderung der Form und der Lebensweise in diesem Zustande, den man als Syzygie (Fig. 13 *a*) bezeichnet. Dann umgeben sie sich gemeinsam mit einer Zystenhülle, in deren Innerem die Partner wie zwei Halbkugeln aneinandergedreht liegen (Fig. 13 *b*). Nun setzt eine lebhafteste Teilung ein, die zum Zerfall beider Hälften in viele kleine Teilstücke (Fig. 13 *c*) führt. Es teilen sich zunächst die Kerne rasch hintereinander, so daß zwei Zellen mit mehreren hundert Kernen entstehen. Diese rücken dann an die Peripherie und umgeben sich mit kleinen Plasmahöfen. Die so entstandenen winzigen Keime lösen sich nun voneinander, wobei oft ein Teil der ursprünglichen Zelle als sog. Restkörper zurückbleibt. Dieser Vorgang der rasch aufeinander folgenden Teilungen, der bei den Protozoen weit verbreitet ist, wird als Schizogonie bezeichnet. Nun verschmilzt je ein Keimling der einen Zelle mit einem solchen der anderen (Fig. 13 *d*). Die Vereinigungsprodukte, die sog. Zygoten (Fig. 13 *e*), umgeben sich wieder mit einer Zystenhülle, in der eine weitere Teilung in acht sichelförmige Keime, die Sporozoiten (Fig. 13 *f*), stattfindet. Nun wird durch Quellung des Restkörpers der Ausgangszellen die Hauptzyste gesprengt, die Tochterzysten gelangen dadurch frei in den Darm des Wirtes; dort wird ihre Hülle aufgelöst und die ausschließenden Sporozoiten dringen in eine Epithelzelle des Darmes ein. Dort durchlaufen sie den Anfang ihrer Entwicklung, verlassen dann die Zelle und wachsen im Lumen des Darmes zur reifen Form heran. Wie bei den Entamoeben dient auch hier das Zystenstadium zur

Verbreitung, indem die Zysten mit dem Kot entleert werden und in den Darm anderer Tiere der gleichen Art gelangen.

Es erfolgt also hier in regelmäßigem Zyklus ein Vorgang, den wir, wie ohne weiteres einleuchtend ist, dem Geschlechtsprozeß der höheren Tiere und Pflanzen gleichsetzen können. In beiden Fällen vereinigen sich zwei Zellen, und von ihnen geht durch weitere Teilung die Fortpflanzung der Art aus. Man bezeichnet diese der geschlechtlichen Fortpflanzung dienenden Zellen ganz allgemein als Gameten. Sehr bemerkenswert ist nun, daß wir unter den Gregarinen Arten finden, bei denen sich die beiden Zellen, die sich zur Zygote vereinigen, äußerlich gar nicht unterscheiden. Man nennt sie demgemäß Isogameten. Ihnen stehen andere Arten gegenüber, bei denen beide Gameten schon äußerlich deutlich voneinander abweichen. Die eine Form ist rund und bewegungslos, die andere länger gestreckt und mit einer Geißel versehen, durch deren Schlag sie sich fortbewegt. Solche ungleichen Vereinigungszellen bezeichnet man dann als Anisogameten (Fig. 13 d). Es bringt nun von den in Syzygie zusammentretenden Zellen jede nur einen Typus hervor, sie nähern sich dadurch also noch mehr den männlichen und weiblichen Formen, wie wir sie bei den Vielzelligen zu finden gewohnt sind. Diese Betrachtung lehrt also, daß Vorgänge, die mit den Geschlechtsprozessen der höheren Formen im Prinzip weitgehend übereinstimmen, schon bei den physiologisch selbständigen Zellen vorkommen. Sie sind dort so weit verbreitet, daß man die periodische geschlechtliche Vereinigung geradezu als eine Grundeigenschaft der Zellen überhaupt bezeichnen kann. Die Deutung dieser Verhältnisse wird uns später noch zu beschäftigen haben.

Viel gefährlicher als diese frei im Darme lebenden Schmarotzer sind diejenigen Sporozoen, die dauernd in Zellen hausen. Als Beispiel für diese Gruppe mögen uns die *Coccidien* dienen. Es sind kleine Zellen, im ausgewachsenen Zustand rund oder oval, mit einfach wabigem Protoplasma und großem, bläschenförmigem Kern. Sie leben als Schmarotzer in den Epithelzellen des Darmes von Wirbeltieren und Wirbellosen, besonders Gliedertieren. Ein Coccidium dringt in eine Darmzelle ein (Fig. 14 a), ernährt sich osmotisch von ihren Säften und wächst dadurch so heran, daß es endlich die ganze Zelle erfüllen und sie zum Absterben bringen kann (Fig. 14 b). Dann teilt sich der Parasit und zwar wieder schnell hintereinander in eine Anzahl sichelförmiger Keime (Fig. 14 c). Diese verlassen ihre bisherige Wirtszelle und bohren sich in eine neue Zelle ein, wo sich der gleiche Vorgang wiederholt. So breitet sich die Infektion über den ganzen Darm aus und kann oft schwere Störungen hervorrufen. Daneben tritt nun aber periodisch wieder geschlechtliche Fortpflanzung auf. Es entwickeln sich Anisogameten, die man wegen ihres bedeutenden Größenunterschiedes als Makro- und Mikrogameten zu bezeichnen pflegt. Die Mikrogameten (Fig. 14 d Mi)

sind die beweglichen Formen, sie entsprechen auch physiologisch durchaus den Spermatozoen der höheren Tiere. Die Makrogameten (Fig. 14 *d Ma*) sind groß, rund und unbeweglich, gleichen also den Eiern. Ein Mikrogamet dringt in einen Makrogameten ein und verschmilzt mit ihm, aus der Zygote entstehen dann wieder acht Sporozoite; sie können in neue Epithelzellen eindringen und den Zyklus von neuem beginnen, oder, in eine gemeinsame Zyste eingeschlossen, auf ein anderes Tier der gleichen Art übertragen werden.

Unter den Coccidien sind zahlreiche unangenehme Parasiten, auch solche unserer Haustiere; weit gefährlicher wird aber eine weitere Gruppe der Sporozoen, die *Hämosporidien*. Sie haben ihren Namen davon, daß die Parasiten in den Blutzellen leben. Die bekannteste Form aus dieser Gruppe ist der Erreger des Sumpf- oder Wechselfiebers, der Malaria. Der Zeugungskreis dieser Form stimmt im Prinzip ganz mit dem der Coccidien überein. Wir finden sichelförmige Keime, die in rote Blutkörperchen des Menschen eindringen, dort heranwachsen und sie zerstören (Fig. 15 *a*). Sie vermehren sich durch Zerfallsteilung und liefern Keime, die nach der Auflösung der ersten Wirtszelle frei werden und in neue Erythrozyten eindringen, wo sich der gleiche Prozeß wiederholt (Fig. 15 *b*). Nach einiger Zeit treten auch hier abweichend gestaltete Zellformen, die Anlagen der Gameten, auf (Fig. 15 *c*). Um sich aber weiter entwickeln zu können, müssen diese von einer Stechmücke, *Anopheles*, aufgesogen werden. Im Magen der Mücke vollzieht sich dann die Ausbildung von Makro- und Mikrogameten und die Befruchtung (Fig. 15 *d*). Die so entstandene Zygote, der Ookinet, bildet keine Zyste, sondern dringt in die Darmwand ein und lagert sich unter die Bindegewebsschicht, die den Darm umgibt. Dort teilt sie sich lebhaft, es entsteht so eine weit in die Leibeshöhle vorspringende Geschwulst (Fig. 15 *e, f*). Diese platzt endlich und die darin enthaltenen sehr zahlreichen Sporozoite wandern in die Speicheldrüsen der Mücke ein, wo sie sich in den Zellen in dichten Haufen ansammeln (Fig. 15 *g*). Beim Stich kann nun die Mücke die Erreger wieder auf den Menschen übertragen und der Zyklus beginnt von neuem (Fig. 15 *h*). Hier ist also mit dem Wechsel zwischen zwei Arten der Vermehrung noch ein regelmäßiger Übergang zwischen zwei verschiedenen Tieren verbunden, ein sog. Wirtswechsel.

Die Malaria äußert sich beim Menschen durch typische Fiebererscheinungen. Ihr Merkmal besteht darin, daß in regelmäßigem Abstand einige Stunden sehr erhöhte Temperatur auftritt, in den Pausen zwischen den Anfällen ist der Kranke ganz normal. Es hat sich ergeben, daß die Fieberanfälle sich immer dann einstellen, wenn rote Blutkörperchen zerfallen. Dadurch gelangen die Stoffwechselprodukte der Parasiten ins Blut, ihre Toxine reizen das Nervensystem und erzeugen so das Fieber. Die Zeit, welche vom Befall bis zur Zerstörung eines roten Blutkörperchens vergeht, ist bei den einzelnen Malariaerregern verschieden. Man unterscheidet danach

die Tertianaform, erzeugt vom *Plasmodium vivax* Grassi und Feletti, und die Quartana, deren Erreger das *Plasmodium malariae* Lav. ist. Bei ersterem dauert die Zeit bis zur Zerstörung eines Erythrozyten 48 Stunden, die Anfälle treten also jeden zweiten Tag ein, bei der Quartana sind es entsprechend 72 Stunden. Legen sich mehrere Infektionen übereinander, so daß der Anfall der einen auf den fieberfreien Tag der anderen fällt, so erhalten wir tägliches Fieber, die Quotidiana. In den Tropen endlich kommt eine besonders schwere und oft tödliche Form der Malaria vor, die Tropica, erregt vom *Plasmodium praecox* Gr. u. Fel., ausgezeichnet durch langdauernde und schwere Fieberanfälle. Die drei Malariaformen sind in ihren Verbreitungsgebieten einigermaßen geschieden: Der Tropicaparasit findet sich vorwiegend in den Tropen, geht aber auch in die subtropischen Gebiete; die Tertiana ist in den Tropen, daneben aber besonders in den Subtropen zu Hause, und die Quartana ist die Krankheitsform der gemäßigten Zone; sie kommt auch in Deutschland an verschiedenen Stellen vor. Dies hängt mit der verschiedenen Temperaturempfindlichkeit der Parasiten während ihres Aufenthaltes in der Mücke zusammen. Die Tropica bedarf der größten Wärme, ihr Optimum liegt bei 28—30°, unterhalb 18° gehen die Erreger zugrunde. Für die Tertiana liegt das Optimum bei 24—30°, das Minimum bei 16°; der Erreger der Quartana kann sich noch bei 14° entwickeln, erträgt aber 30° nicht mehr.

Seit man den Entwicklungsgang der Erreger dieser gefürchteten Krankheit entdeckt hat, die manche Gegenden völlig unbewohnbar machte, sind für ihre Bekämpfung die Richtlinien gegeben. Sie bestehen in Verhinderung des Stechens durch die Mücken. So hat man in der römischen Campagna durch dichten Gitterabschluß der Bahnwärterhäuschen und durch Ausrüstung der Arbeiter mit Handschuhen und Schleiern sehr gute Erfolge erzielt. Wirksamer ist natürlich die Vernichtung der Stechmücken durch Austrocknen der stehenden Gewässer, in denen die Larven nach Art unserer gemeinen Stechmücken (*Culex*) sich entwickeln, oder das Überziehen der Tümpel mit einer dünnen Schicht Petroleum oder Saprol, welches den Larven die Atemröhren verklebt. Andererseits haben wir im Chinin ein spezifisches Arzneimittel, das die Parasiten im Blute abtötet. Doch scheint es vorzukommen, daß Makrogameten dem Chinin widerstehen, sich im Körper lebend erhalten und durch direkte Zerfallsteilung unter günstigen Umständen ein Wiedererwachen der Krankheit hervorrufen. So erklärt man wenigstens die Fälle, in denen bei Vermeidung einer Neuinfektion doch Rückfälle auftraten. Es würde sich hier um einen Vorgang handeln, der der Parthenogenese höherer Tiere gleich zu setzen wäre, eine Entwicklung von Keimzellen ohne Befruchtung.

Die Verbreitung der Malaria in den Flußniederungen der Tropen hat vermutlich einen wesentlichen Anteil an der eigenartigen Bauweise der An-

siedlungen der dortigen Eingeborenen gehabt. Sie werden nämlich auf Pfählen mehrere Meter über dem Wasserspiegel errichtet. Dadurch entsteht ein ziemlich wirksamer Schutz gegen die Infektion, da die Anophelesmücken nur dicht über dem Wasser fliegen. Es sind Dämmerungstiere, die am Tage kaum stechen, so daß man leidlich geschützt ist, wenn man kurz vor Sonnenuntergang sich in die hochgelegenen Häuser zurückzieht. Interessant sind die Beobachtungen, die man beim Bau des Panamakanals gemacht hat. Dort erfolgten viele Malariaerkrankungen, obwohl der Boden, durch den die Strecke führte, trocken gelegt war. Man fand aber die Brutstätten der Malariaemücken in den Wasseransammlungen, die an den Stämmen der Urwaldbäume in den Blattwirteln und den Polstern der Epiphyten sich ständig halten.

Erwies sich bei den Sporozoen der Zellbau durch Parasitismus vereinfacht, so finden wir in der dritten Klasse der Einzelligen, bei den **Ziliaten**, wohl die höchstdifferenzierten Formen, in denen freilebende Zellen auftreten. Man bezeichnet die Ziliaten auch häufig als Infusorien, weil man sie jederzeit in Infusionen, Aufgüssen von allerlei Pflanzenmaterial, finden kann. Es ist eine ungemein formenreiche Gruppe von winzig kleinen bis zu relativ stattlichen Arten; die größten können einige Millimeter lang werden. Hier haben wir wieder Zellen mit konstanter Eigenform. Sie wird aber nicht durch Abscheidung einer toten Schale erzielt, sondern durch Verfestigung der äußeren Körperschicht zu einer zähen, elastischen Haut, der Pellicula (Fig. 17 P), die zierlich ornamentiert und mit allerhand Skulpturen geschmückt sein kann. Diese Verfestigung des Ektoplasmas bedingt, daß die Nahrungsaufnahme nicht mehr an jeder beliebigen Stelle der Oberfläche erfolgen kann. Es bildet sich ein besonderer Zellmund, Zytostom (Fig. 16 Ct), der in das weiche Entoplasma hineinführt. Daneben tritt manchmal auch ein Zellafter, Zytopyge, auf, sonst werden die Abfälle wieder durch den Zellmund ausgeschieden. Ihren Namen leiten die Ziliaten von ihrem Bewegungsapparat her, den Wimpern oder Zilien. Über die Pellicula erheben sich haardünne, glasklar durchsichtige Plasmafortsätze. Sie stehen in Spiralreihen über den ganzen Körper verteilt oder ordnen sich in einzelnen Streifen und Kreisen. Mit einem Stiel durchsetzen sie die Hautschicht und enden darunter mit einer knopfartigen Verdickung, dem Basalkorn. Die Wimpern haben die Fähigkeit, sich zu beugen und zu strecken; dadurch, daß dies mit ziemlicher Geschwindigkeit in harmonischer Zusammenarbeit aller Einzelelemente geschieht, kommt die Bewegung der Zelle zustande. Der Zilienschlag wird gern mit der Bewegung der Ähren auf einem Kornfelde verglichen; das Bild veranschaulicht sehr gut das wellenförmige Fortschreiten des Schlages von einer Wimper zur anderen. Die Richtung des wirksamen Schlages kann auf verschiedene Reize hin wechseln, die Bewegung wird dadurch recht verwickelt und die

Tiere erlangen die Fähigkeit, Hindernissen auf ihrem Wege auszuweichen. Teile dieses Wimperapparates gewinnen zur Erfüllung besonderer Aufgaben gelegentlich eine höhere Ausbildung. So finden wir vielfach eine adorale Wimperspirale um die Mundöffnung (Fig. 16 *Ws*). Sie setzt sich aus besonders langen und kräftigen Zilien zusammen, durch deren Schlag ein Strudel im Wasser erzeugt wird, der dem Infusor allerlei kleine Organismen als Nahrung zuführt. Diese Wimperspiralen sind besonders bei festsitzenden Formen ausgebildet, für deren Ernährung sie naturgemäß sehr wichtig sind. In diesen Spiralen verkleben oft benachbarte Wimpern und bilden so eine breitere, gemeinsame Ruderfläche, eine Membranelle. Bei anderen Arten, die an Pflanzen oder auf dem Grunde der Gewässer herumlaufen, entwickeln sich die Wimpern der Bauchseite durch Verschmelzung einzelner Gruppen zu Borsten oder Zirren, mit denen die Tiere oft kräftige Sprünge ausführen.

Neben diesem äußeren Bewegungsapparat entwickeln die Infusorien noch einen inneren, eine Muskulatur. Unter der Pellicula treten feine, lichtbrechende Streifen auf, die in parallelen Reihen meist spiralgig vom Vorder- zum Hinterende ziehen. Sie besitzen die eigentümliche Fähigkeit der Kontraktilität, d. h. der Verkürzung in der Längsrichtung der Elemente, genau wie die Muskelfibrillen der höheren Tiere. Durch ihre Bewegung erfolgt eine rasche und ausgiebige Formveränderung des ganzen Körpers. Besonders hoch ausgebildet sind sie bei den festsitzenden Glockentierchen, *Vorticella*. Dort laufen sie von der Basis des glockenförmigen Körpers zu einem Stielmuskel zusammen, den das Tier blitzschnell verkürzen und in enge Spiralen legen kann (Fig. 16 *a, b*).

Ein anderes sehr auffallendes Organell der Infusorien — als Organellen bezeichnet man alle ausgeprägten Differenzierungen der Einzelligen zur Unterscheidung von den vielzelligen Organen der Metazoen — ist die kontraktile Vakuole. Man bemerkt bei mikroskopischer Untersuchung des lebenden Objekts leicht einen hellen kreisrunden Fleck, der sich langsam vergrößert und mit einem plötzlichen Ruck verschwindet. Oft sieht man in der Umgebung mehrere rinnenartige Zufuhrkanäle, die sich gleichfalls rhythmisch erweitern und verengern (Figg. 16, 17 *Cv*). Das Ganze bildet ein primitives Ausscheidungsorgan: Aus dem ganzen Zelleib sammelt sich Flüssigkeit, beladen mit Exkretstoffen, in die Kanäle. Sie ergießen ihren Inhalt in die Vakuole, bringen sie dadurch zum Anschwellen, und in rhythmischen Intervallen entleert sich diese, die dicht unter der Pellicula gelegen ist, ihrerseits nach außen. Außer der Beseitigung der Abfallstoffe hat diese Vakuole noch eine wichtige, rein physikalische Aufgabe zu erfüllen. Das Protoplasma als salzhaltige Lösung zieht nämlich aus der umgebenden Flüssigkeit Wasser an, das den Zelleib zum Quellen bringen würde, wenn es nicht immer wieder nach außen entfernt würde. Wir finden die kon-

traktile Vakuole daher bei vielen Einzelligen, z. B. den Rhizopoden (Fig. 2, 10), aber bemerkenswerterweise fast nur bei Bewohnern des süßen Wassers. Bei den Meeresstieren ist nämlich die Konzentration des Seewassers genau der des Protoplasmas gleich, hier besteht also kein solcher Flüssigkeitsaustausch. Dasselbe gilt für die Parasiten im Darm und in tierischen Geweben, die ebenfalls mit ihrer Umgebung im osmotischen Gleichgewicht sind. Wo aber ein solcher Parasit in einer Lösung von abnorm geringem osmotischen Druck lebt, tritt sofort wieder die kontraktile Vakuole auf. Dies zeigt uns sehr hübsch ein Rhizopode, *Chlamydomphrys stercorea*. Er lebt gewöhnlich im Darm, ist aber gelegentlich in der Aszitesflüssigkeit bei der Bauchwassersucht des Menschen beobachtet worden. Im Darm hat er keine, im Aszites, der fast keine Salze enthält, eine deutliche kontraktile Vakuole.

Unsere besondere Aufmerksamkeit verdienen die Infusorien nun auch wegen ihrer Kernverhältnisse. Wir finden bei ihnen nämlich regelmäßigen Kernapparat in zwei Teile gesondert, die man als Groß- und Kleinkern, Makro- und Mikronucleus, bezeichnet. Die Aufgabe beider Teile ist sehr verschieden. Der Großkern (Fig. 16, 17 *Man*) hat die Hauptarbeit während des Stoffwechsels und des Wachstums der Zelle, er wird danach auch als Stoffwechsel- oder vegetativer Kern bezeichnet. Der Mikronucleus (Fig. 16, 17 *Min*) liegt während dieser ganzen Zeit als ein winziges Körnchen meist dicht der Wand des Großkerns angeschmiegt. Teilt sich die Zelle, so strecken sich beide Kerne in die Länge und schnüren sich wie die Zelle in der Mitte durch. Ganz anders aber wird das Bild, wenn ein Infusor zur geschlechtlichen Fortpflanzung schreitet. Dann löst sich der Makronucleus auf und verschwindet schließlich ganz im Plasma. Der Kleinkern dagegen beginnt sich zu teilen und zerfällt durch zwei Teilungsschritte in vier Tochterkerne (Fig. 18 *a, b*). Während dies geschieht, haben sich zwei Zellen aneinandergelegt und sind mit einem Teile ihres Plasmas verschmolzen (Konjugation). Nun gehen von den vier Kleinkernen in jeder Zelle wieder drei zugrunde, der vierte teilt sich noch einmal (Fig. 18 *c*). Von den beiden Teilstücken bleibt jeweils das eine in der Zelle liegen, das andere, der Wanderkern, wandert durch die Plasma- brücke in die Partnerzelle hinüber und verschmilzt dort mit dem zurückgebliebenen, stationären Kern der anderen Zelle (Fig. 18 *d, e*). Nun lösen sich die Zellen wieder voneinander und jede ergänzt ihren Kernapparat, indem durch Teilung des Verschmelzungskernes ein Groß- und Kleinkern gebildet wird (Fig. 18 *f*). Darauf setzt die gewohnte Vermehrung durch Querteilung wieder ein. Wir haben also hier einen sehr eigenartigen Typus der Befruchtung, bei dem keine dauernde Vereinigung zweier Zellen, sondern nur ein Austausch von Kernsubstanz stattfindet. Hierin liegt einer der wichtigsten Hinweise für die später noch eingehend zu erörternde überragende Bedeutung der Kerne bei der Be-

fruchtung. Wegen seiner Beteiligung an diesen Vorgängen nennt man den Mikronucleus auch wohl den generativen oder Geschlechtskern.

Der hochdifferenzierte Organismus der Infusorien hat auch oft Anlaß zu Untersuchungen über die Empfindlichkeit der Einzelligen gegen äußere Reize gegeben. Es zeigt sich dabei, daß die Reaktionsfähigkeit eine recht hohe ist. Wir finden die Zellen empfindlich gegen chemische (Sauerstoff, Kohlensäure, Zusammensetzung der Nahrung), mechanische (Berührung, Erschütterung), Licht-, Wärme-, Schwere-, elektrische und andere Reize. Die Reaktion besteht wesentlich in einem Hin- bzw. Wegwenden von der Reizquelle. Man bezeichnet diese Reaktionen als Tropismen und unterscheidet je nach der Anziehung oder Abstoßung durch die Reizquelle positiven und negativen Chemo-, Photo-, Geotropismus usw. Diese Reaktionsfähigkeit kommt, wenn auch in der Empfindlichkeit abgestuft, wohl allen Einzelligen zu, es handelt sich dabei offenbar um eine Grundeigenschaft der Zellen und des Plasmas überhaupt.

Wie die übrigen Protozoen besitzen auch die Infusorien die Fähigkeit, sich zu enzystieren. Auf diese Weise verbreiten sie sich durch die Luftströmungen und entziehen sich beim Austrocknen ihrer Wohngewässer dem Untergang. Innerhalb dieser Zysten ruhen die Stoffwechselvorgänge fast völlig, so daß die Tiere darin jahrelang liegen können, ohne abzusterben. Wir werden dieser Fähigkeit zu latentem Leben als einer vorzüglichen Schutzanpassung noch häufig begegnen.

Wie für die Ziliaten, so ist auch für die letzte Klasse der Protozoen, die **Flagellaten**, die Ausbildung eines besonderen Bewegungsapparates das kennzeichnende Merkmal. Die Geißeln oder Flagellen unterscheiden sich von den Zilien durch ihre größere Länge, geringe Zahl und die Stellung am Körper. Meist finden wir nur eine oder zwei Geißeln, die vom gewöhnlich etwas zugespitzten Vorderende des Tieres entspringen. Bei der Bewegung beschreibt die Geißel etwa einen Kegelmantel und schraubt so den Plasmakörper nach Art eines Propellers in Spirallinien vorwärts. Ist eine zweite Geißel vorhanden, so schleppt sie oft bei der Bewegung nach und dient als Steuer. Die eigentümlich taumelnde Fortbewegung ist für die meist recht kleinen Flagellaten im mikroskopischen Bilde sehr charakteristisch. Die Gruppe ist außerordentlich formenreich und unendlich mannigfaltig in morphologischen und biologischen Typen, so daß sich schwer etwas Allgemeines über sie sagen läßt. Vielleicht sind es die stammesgeschichtlich ältesten aller Protozoen, so ließe es sich wenigstens deuten, daß bei Rhizopoden wie bei Sporozoen oft geißeltragende Jugendformen auftreten.

Unter den morphologisch hochentwickelten Flagellatenformen seien kurz die **Dinoflagellaten** erwähnt. Es sind vorwiegend Bewohner des Meeres, ausgezeichnet durch einen derben Panzer aus Zellulose, der aus einer Anzahl asymmetrisch zusammengesetzter Platten besteht. Besondere Er-

wähnung verdient unter ihnen die Gattung *Ceratium*. Wie der Name besagt, handelt es sich um Formen mit langen, hornartigen Fortsätzen (Fig. 12). Die Ceratien sind charakteristische Vertreter des sog. Planktons, d. h. einer Gemeinschaft von Lebewesen, die ohne nennenswerte Eigenbewegung sich im Wasser schwebend erhalten und von den Strömungen passiv hin und her getrieben werden. Bei den Ceratien ist biologisch bemerkenswert die sehr wechselnde Länge der Hörner. Diese hängt offenbar mit den physikalischen Eigenschaften des umgebenden Wassers zusammen. Wir finden nämlich, daß in den verschiedenen Meeresströmen, die sich durch Temperatur und Salzgehalt unterscheiden, die Ceratien in der Länge der Fortsätze differieren, und zwar so, daß die Hörner um so länger sind, je wärmer und salzärmer das Wasser ist. Dies erklärt sich so, daß die Tragfähigkeit des Wassers für schwebende Organismen, in der Hauptsache bedingt durch die sog. innere Reibung, d. h. den Widerstand, den die Wasserteilchen ihrer Verdrängung entgegensetzen, um so größer ist, je kälter und salzreicher das Wasser ist. Eine Abnahme der Tragfähigkeit müssen daher die Planktonorganismen durch eine Vergrößerung der Oberfläche ausgleichen, die den Reibungswiderstand des Wassers erhöht. Bei den weit verbreiteten Ceratien geschieht diese Formänderung so gesetzmäßig, daß man sie als Leitformen für die Beschaffenheit des Wassers der verschiedenen Meeresströme verwenden kann.

Eine andere biologisch wichtige Flagellatenform des Meeres ist *Noctiluca miliaris*, der hauptsächlichste Erzeuger des Meerleuchtens in unseren Breiten. Es ist ein ziemlich stattliches Tier von etwa 1 mm Durchmesser (Fig. 11); eine Gallertkugel, die nur von wenigen Plasmasträngen durchzogen wird. Diese Flagellaten vermehren sich zuzeiten durch Zerfallsteilung zu ungeheuren Schwärmen, die das Wasser dicht erfüllen. Werden sie durch Bewegung der Wellen gereizt, so leuchtet ihr Körper in zartem bläulichgrünem Lichte auf, so daß die ganze Meeresoberfläche von mildem Glanz erfüllt scheint. Besonders intensiv ist das Licht um den Bug eines Schiffes oder an den von den Rudern getroffenen Stellen, ein Zeichen, daß mechanische Reizung das Leuchten verstärkt. Über die eigentliche Natur der Erscheinung ist noch immer keine volle Klarheit erzielt, doch handelt es sich wohl immer bei diesem Vorgang, der im Tier- und Pflanzenreiche weit verbreitet ist, um einen Oxydationsprozeß.

Unter den Flagellaten treffen wir auch zahlreiche Parasiten, von denen einige Formen für den Menschen direkt oder indirekt eine besonders unheilvolle Bedeutung gewonnen haben. Es handelt sich dabei in erster Linie um die Gruppe der *Trypanosomen*. Dies sind kleine Tiere von gestreckter, an beiden Enden zugespitzter Gestalt. Wesentlich für ihre Form ist die sog. undulierende Membran. Sie kommt dadurch zustande, daß die Geißel am hinteren Körper entspringt, an der Seite nach vorn zieht und dort

erst frei zutage tritt. Sie zieht bei diesem Verlauf aus der Körperwand das Plasma zu einer dünnen Falte aus, die bei der Bewegung der Geißel mit-schwingt (Fig. 19). An der Geißel läßt sich hier besonders leicht eine bei vielen Flagellaten beobachtete Tatsache feststellen, daß nämlich dieser Bewegungsapparat von einem rundlichen oder langgestreckten Körperchen seinen Ursprung nimmt. Man hat festgestellt, daß dieser Körper, der Blepharoplast (Fig. 19 Bl), durch Teilung aus dem Kern hervorgeht und seinerseits durch eine ungleiche Teilung die Geißel entwickelt. Wir finden also auch hier eine Sonderung der Kernbestandteile, aber in anderer Weise als bei den Infusorien, nämlich in einen Stoffwechsel- und einen Bewegungskern. Ob dieser Blepharoplast dem Mikronucleus der Infusorien verwandt ist, besonders ob er bei der geschlechtlichen Fortpflanzung eine ähnliche Rolle spielt, ist noch strittig.

Die Trypanosomen sind Parasiten des Blutes von Wirbeltieren, leben aber im Gegensatz zu den Malariaplasmodien nicht in den roten Blutkörperchen, sondern im Blutplasma. Sie vermehren sich dort durch Zerfallsteilungen und erzeugen schwere fieberhafte Erkrankungen. Von diesen befällt den Menschen die sog. Schlafkrankheit oder das Trypanosomenfieber, erzeugt von dem *Trypanosoma gambiense*. Die Krankheit hat ihren Namen von der allgemeinen Ermattung und Schlafsucht, die meist auftritt und sich mehr und mehr steigert, bis der Kranke in einer solchen Schlafperiode zugrunde geht. Doch kann die Infektion auch anders, mit heftigen Fiebererscheinungen verlaufen; auch dieses Trypanosomenfieber geht auf den gleichen Erreger zurück. Ähnlich wie die Malaria wird auch die Schlafkrankheit durch den Stich eines Insekts übertragen; es handelt sich in der Hauptsache um eine Stechfliege, *Glossina palpalis*, die in Form, Größe und Lebensweise unserem bekannten Wadenstecher, *Stomoxys calcitrans*, sehr nahe steht. Ob auch hier in dem Zwischenwirt Fortpflanzungsvorgänge stattfinden, ist noch nicht sicher festgestellt; eigenartig ist jedenfalls, daß eine Fliege, die Trypanosomen von einem Kranken gesogen hat, die Krankheit nicht sofort übertragen kann, sondern erst nach etwa 20 Tagen. Dies spricht natürlich sehr dafür, daß die Parasiten erst irgendeine Entwicklung durchmachen müssen. Die Schlafkrankheit war ursprünglich nur in Westafrika verbreitet, ist aber von da auf den Karawanenstraßen durch ganz Zentralafrika verschleppt worden und hat besonders im Kongogebiet und an den großen Seen verheerend gewirkt; ihre Bekämpfung ist wohl zurzeit das wichtigste Problem für die Besiedelung Mittelafrikas.

Ähnlich, wie der Mensch unter der Schlafkrankheit, leiden eine Anzahl der wichtigsten Haustiere unter anderen Trypanosomenkrankheiten. Unter diesen ist eine der verhängnisvollsten die Nagana, die in Südafrika fast den ganzen Bestand eingeführter Rinder und Pferde ausgerottet hat. Die Krankheit wird auch als Tse-Tse-Krankheit bezeichnet, weil man bei

ihr frühzeitig die Übertragung durch die Tse-Tse-Fliegen erkannte; diesen Namen geben die Eingeborenen dort den *Glossina*-Arten, eine sehr bezeichnende Nachbildung ihres Summens. Es handelt sich hauptsächlich um die *Glossina morsitans*, doch kommen noch verschiedene andere Arten in Frage. Ebenso wenig wie der Zwischenwirt ist auch der definitive Wirt, in dessen Blut sich die Parasiten entwickeln, streng spezifisch. Es kommen vielmehr fast alle größeren Säugetiere in Frage, experimentell sind die Erreger sogar auf Vögel und Schlangen übertragen worden. Diese Verbreitung hat eine sehr wesentliche biologische Bedeutung; es scheint nämlich, daß die Parasiten ursprünglich in den wilden Säugetieren Afrikas zu Hause waren, den Antilopen und Zebras, die in so großen Scharen die Steppen bevölkerten. In diesen erzeugten sie keine Krankheitserscheinungen, sie lieferten aber die Quelle für die Infektion der eingeführten Haustiere, die dann tödlich erkrankten. Diese Beobachtung, daß ein Parasit beim Übergang auf einen neuen Wirt seine Gefährlichkeit, Virulenz, ungemein steigern kann, ist oft gemacht, z. B. auch bei Bakterien. Der Erreger der Nagana ist das *Trypanosoma brucei*. Andere ähnlich gefährliche Krankheiten sind in Asien und Südamerika an Pferden, Eseln und Maultieren beobachtet worden.

In neuester Zeit mehren sich die Fälle, wo bei schweren, besonders tropischen Infektionskrankheiten Flagellatenformen als Erreger gefunden werden; sie bilden in pathogener Beziehung wahrscheinlich die allerwichtigste Gruppe der Protozoen.

4. Die Entstehung der Metazoen. Die Furchung. (Taf. II.)

Bei vielen Gruppen der Protozoen finden wir verstreut die Eigentümlichkeit, daß sich mehrere Zellen vorübergehend oder dauernd zu einem Verbände vereinigen. Solche koloniebildende Arten gibt es unter den Radiolarien, den Heliozoen, den Infusorien, ganz besonders aber unter den Flagellaten. In den meisten Fällen handelt es sich um einen ganz losen Verband, bei dem die Einzeltiere durch das Zusammenleben mit ihren Geschwistern kaum in ihren Gewohnheiten beeinflusst werden. Gelegentlich kommen aber Typen vor, wo dieser Verband ein viel innigerer wird. So gibt es unter den Flagellaten eine Gruppe, die man wegen des merkwürdigen Protoplasma-kragens, den die Individuen um den Ansatz der Geißel tragen, als *Choanoflagellaten* bezeichnet (Fig. 4). Dieser Kragen ist eine Bildung des Ektoplasmas, die nach Bedarf eingeschmolzen und neugebildet werden kann; sie steht im Dienste der Nahrungsaufnahme. Die Choanoflagellaten sind festsitzende Formen, die mit ihrer langen Geißel Fremdkörper herbeistrudeln; diese werden an die Außenwand des Kragens geschleudert und dort vom Plasma festgehalten und aufgenommen. Unter diesen Kragen-geißlern finden wir nun zahlreiche koloniebildende Typen. Das Bezeichnende

ist aber, daß die Kolonien hier jeweils eine ganz bestimmte Form haben (Figg. 1 bis 3). Die Einzeltiere vereinigen sich nach ganz bestimmten Gesetzen, die Formbildung greift vom Individuum auf den Verband über. Wir finden da verästelte, baumförmig verzweigte, fächerartige, in einer Ebene ausgebreitete Kolonien. Hier bahnt sich offenbar die Entwicklung eines höheren Typus an.

Eine parallele, wenn auch etwas andersartige Entwicklungsreihe treffen wir unter den *Phytomonadinen*. Diese Gruppe verdient auch in anderer biologischer Hinsicht unsere Aufmerksamkeit. Sie gehört zu den Flagellaten, bei denen die Ernährung nach Art der höheren Pflanzen erfolgt. Es bilden sich im Plasma Chromatophoren aus (Fig. 5 *Chp*), ein Chlorophyllapparat, mit dessen Hilfe Kohlensäure assimiliert wird. Diese Fähigkeit kommt verschiedenen Gruppen der Flagellaten zu, sie werden danach auch von den Botanikern wie von den Zoologen in ihre Systeme einbezogen. Eine ganze Menge von Formen sind in ihrer Stellung überhaupt kaum zu definieren; sie haben nämlich die Fähigkeit, bald nach Art der Tiere, bald nach der der Pflanzen zu leben. Hält man sie im Licht, so decken sie ihren Stoffbedarf hauptsächlich durch Assimilation; dagegen vermögen sie im Dunklen sich bei Anwesenheit geeigneter Nährstoffe ganz nach der Weise der Tiere zu erhalten. Nichts läßt deutlicher als diese Verhältnisse erkennen, daß die in ihren Wipfeln so weit getrennten Stämme des Tier- und Pflanzenreiches doch einer gemeinsamen Wurzel entspringen. Bei unseren Phytomonadinen finden wir auch eine bisher noch nicht besprochene Differenzierung des Plasmas ausgebildet, ein einfachstes Sinnesorganell. Am Vorderende des Körpers, neben der Geißelbasis, liegt ein schüsselförmiger Pigmentfleck, das Stigma (Fig. 5 *Stg*), meist durch seine rote Farbe auffallend. Verfolgt man einen solchen Flagellaten bei seinem Umherschwimmen unter dem Mikroskop, so beobachtet man, daß ein Zurückfahren und Umkehren eintritt, wenn das Vorderende aus dem Hellen ins Dunkle kommt. Das Vorderende ist also in besonders hohem Maße lichtempfindlich — daß das Plasma an sich lichtempfindlich ist, haben wir bei Besprechung des Phototropismus gesehen —; das Pigment dient nun offenbar dazu, diesen Lichtsinn für die Orientierung der Zelle in besonderer Weise auszunutzen. Durch den Pigmentbecher wird das Licht abgeblendet, so daß nur aus bestimmter Richtung Strahlen zu dem besonders empfindlichen Plasma gelangen können, das in den Becher eingeschlossen ist. Dadurch entsteht ein primitiver Richtungssinn, eine Lichtquelle ist nur dann wirksam, wenn die Zelle ihr gegenüber eine bestimmte Lage einnimmt. Das Stigma ist also der Vorläufer eines einfachsten Auges.

Bei diesen Phytomonadinen nun finden wir neben einzeln lebenden Formen zahlreiche koloniebildende Arten. Unter diesen läßt sich eine ganze Stufenleiter aufstellen, die eine immer tiefer greifende Beeinflussung der

Einzelzellen durch den Verband erkennen läßt. Zunächst finden wir Arten, deren Verband ziemlich formlos bleibt, 8—16 Zellen bilden einen losen, klumpenartigen Haufen (Fig. 6). Sehr bemerkenswert ist aber, daß die Zahl der Einzelzellen hier schon festgelegt ist. Verfolgt man die Vermehrung, so sieht man, wie nach einiger Zeit jede der Zellen des Verbandes durch 4 schnell folgende Teilungen in 16 Zellen zerfällt; diese Tochterkolonien lösen sich dann aus dem Verbande und wachsen als neue Einheit bis zur nächsten Teilung heran. Bei anderen Arten tritt nun eine charakteristische, oft recht verwickelte Form der Kolonie hervor. Sie kommt dadurch zustande, daß die Einzelzellen eine Gallertsubstanz ausschcheiden, die unter dem Einfluß des Ganzen eine typische Gestalt annimmt. So entstehen kugelige, abgeplattete, tafelförmige Kolonien, deren Umrisse gelegentlich in Zacken ausgezogen und asymmetrisch werden können (Fig. 7). Dabei ist immer die Zahl der Individuen für die Art konstant. Unter diesen Teilnehmern am Verbande bahnen sich nun — und das ist ein überaus bedeutungsvoller Schritt — physiologische und morphologische Ungleichheiten an. In der Gattung *Pleodorina* haben wir zwei Arten; eine setzt ihre Kolonie aus 32, die andere aus 128 Zellen zusammen. Diese sind aber unter sich ungleich, bei der *Pl. illinoisensis* (Fig. 8) finden wir 4, bei *Pl. californica* 64 abweichende Zellen. Diese sind viel kleiner als die übrigen, auch kleiner als die Zellen der verwandten Arten in der Gruppe, die unter sich gleich gebaut sind. Bemerkenswert ist, daß sie dabei in anderer Hinsicht höher differenziert erscheinen. Bei *Pl. californica* haben nämlich die kleinen Zellen allein ein Stigma. Diese kleineren Zellen nehmen nun den einen Pol, bzw. bei *Pl. californica*, wo beide Formen an Zahl gleich sind, die eine Hälfte der Kolonie ein, und zwar die, welche bei der Bewegung vorangeht. Der typischste Unterschied tritt nun aber bei der Fortpflanzung der Kolonie zutage. Die kleinen Zellen beteiligen sich dabei überhaupt nicht, die großen lassen durch Zerfallsteilung neue Kolonien aus sich hervorgehen; löst sich dabei der alte Verband auf, so gehen die kleinen Zellen zugrunde. Sie haben also ihre unbeschränkte Fortpflanzungsfähigkeit und physiologische Selbständigkeit verloren. Man bezeichnet sie danach auch als somatische oder Körperzellen, im Gegensatz zu den generativen oder Keimzellen, den übrigen Gliedern des Verbandes. Wir sind so zu einer Differenzierung innerhalb des Reiches der Einzelligen gelangt, die durchaus dem bei den Vielzelligen herrschenden Gegensatz von Körper und Geschlechtsanlage entspricht. Ist die Zahl der Körperzellen im Verhältnis zu den Geschlechtszellen in den angeführten Beispielen noch gering, so nähert sich die Gattung *Volvox* (Fig. 9) noch mehr den Metazoen. Denn bei ihr sind 10—20000 somatische Zellen vorhanden, denen nur etwa 6—8 Geschlechtszellen gegenüberstehen. Die somatischen Zellen ordnen sich in der Oberfläche einer großen, mit Flüssigkeit erfüllten Hohlkugel, die Geschlechts-

zellen rücken zur Vermehrung ins Innere, die jungen Tochterkolonien sprengen dann die Hülle. Neben dieser Vermehrungsform durch einfache Zerfallsteilung begegnet uns bei den Phytomonadinen allgemein die Befruchtung. Es kommt dabei fast stets zur Bildung von Anisogameten; bei den höheren Formen erinnert der ganze Vorgang auffallend an die Fortpflanzung der Metazoen. Die Kolonien sind getrenntgeschlechtlich. Es bilden sich einerseits große, plasmareiche Zellen aus, die ins Innere der Kolonie rücken. Bei anderen Kolonien entstehen durch mehrfache Teilung Bündel kleiner, beweglicher, geißeltragender Zellen. Sie schwärmen aus der Kolonie aus, suchen andere Kolonien mit den großen Zellen auf, bohren sich in das Innere, und je eine kleine Zelle dringt zur Befruchtung in eine große ein. Man weiß nicht, ob man hier von Mikro- und Makrogameten oder von Spermatozoen und Eiern reden soll, so sehr gehen beide Begriffe ineinander über.

Diese Formenreihe der Phytomonadinen ist deshalb so bedeutungsvoll, weil sie geeignet erscheint, uns eine Vorstellung von dem Wege zu geben, auf dem sich in der Erdgeschichte vielzellige aus einzelligen Formen entwickelt haben. Dies braucht nicht so verstanden zu werden, daß gerade die heute lebenden Volvocineen die Vorfahren der Vielzelligen seien, aber ähnlich wird man sich den hypothetischen Entwicklungsprozeß vorzustellen haben. Dies wird besonders deutlich, wenn man die individuelle Entwicklung der Metazoen, ihre Ontogenese, mit der Entstehung der einzelnen Volvoxkolonie vergleicht. Man sieht nämlich in beiden Fällen, daß eine Zelle beginnt, sich zu teilen. Die Teilungsschritte folgen schnell und rhythmisch ohne Ruhepause aufeinander. Durch diesen Prozeß, die Furchung, entsteht zunächst ein Haufen von Zellen. Diese rücken dann bald auseinander, so daß in ihrer Mitte ein Hohlraum, die Furchungshöhle, entsteht und alle Zellen in der Oberfläche einer Kugel angeordnet sind (Fig. 9). Dieses Stadium der jungen Volvoxkolonie kehrt in der Ontogenese der Vielzelligen mit großer Regelmäßigkeit wieder, es wird dort als Blastula bezeichnet (Fig. 10). Während nun aber beim Volvox diese Zellkugel mehr und mehr heranwächst, setzen bei der Entwicklung der Mehrzelligen verwickeltere Vorgänge ein. Sie lassen sich jedoch auf das gleiche Grundprinzip zurückführen, das der Arbeitsteilung. Sobald einmal mehrere Zellen zu einem Verbande vereinigt waren, ergab es sich aus der Sachlage, daß die Lebensbedingungen nicht für alle die gleichen bleiben konnten. Bei der durchs Wasser rotierenden Kugel etwa waren die Zellen, die den vorderen Pol bildeten, für Sinnesreize und für Ernährung anders gestellt als die am Hinterende. Es liegt nahe, anzunehmen, daß diese verschiedenen biologischen Bedingungen auch die morphologische Ausgestaltung der Zellen in verschiedener Richtung beeinflussen mußten. So entstanden die ersten Ungleichheiten, wie wir sie etwa bei Pleodorina fanden. Beim Volvox hat diese Entwicklung Fort-

schritte gemacht. Die zur Bewegung und Reizaufnahme besonders geeigneten somatischen Zellen nehmen jetzt den ganzen Umfang der Kugel ein, die Fortpflanzungszellen haben sich in das geschützte Innere zurückgezogen. Der gleiche Prozeß der Arbeitsteilung hat nun bei den Metazoen weitergewirkt in dem Sinne, daß auch die Somazellen unter sich wieder verschieden werden in Anpassung an die Erfüllung verschiedener Aufgaben. Dies kann man bei der Entwicklung oft noch sehr gut verfolgen. Das Hohlkugelstadium der Entwicklung, die Blastula, entspricht auch biologisch durchaus einem Volvox; wie dieser rotiert sie durch den Schlag von Geißeln, die auf den äußeren Zellen sitzen, durchs Wasser. Sehr oft aber bemerkt man, daß die Zellen an den verschiedenen Stellen der Kugelwand eine verschiedene Beschaffenheit gewinnen. Die am vorderen Pol, der bei der Bewegung vorangeht, erscheinen verhältnismäßig kleiner und schmaler, die am Hinterende werden plumper und dicker und springen tiefer in den Hohlraum der Kugel vor. An diesem Hinterende beobachtet man dann bald eine Abflachung der Kugelwölbung, die schließlich in eine Vertiefung übergeht; es senken sich die hinteren Zellen in das Innere der Kugel ein. Mehr und mehr schreitet der Prozeß fort, den man sehr gut mit dem Eindringen eines Gummiballs vergleichen kann; der ursprüngliche Hohlraum, die Furchungshöhle, wird allmählich verdrängt, und endlich lagert sich die eingestülpte Zelllage von innen der vorderen Schicht an. Es hat sich eine Faltung vollzogen, ein Vorgang, den wir bei den Wachstumsprozessen außerordentlich häufig finden. Er läßt sich mechanisch sehr leicht begreifen: Durch die fortgesetzte Zellteilung dehnt sich der Verband aus; das würde bei ständigem Verbleiben in der gleichen Fläche schließlich zu übermäßigen Spannungen führen, und ihnen weicht der Organismus dadurch aus, daß er durch Faltung die gleiche Oberfläche auf einen engeren Raum nebeneinander legt. Alle starken Oberflächenvergrößerungen, die im tierischen Organismus aus physiologischen Gründen erforderlich sind, werden nach diesem Prinzip der Faltung ausgeführt.

Durch diese erste Faltung im Embryonalleben wird nun eine äußerst bedeutungsvolle Differenz zweier Zellschichten herbeigeführt. Aus der einschichtigen Blastula ist ein zweischichtiger Keim hervorgegangen, die Gastrula (Fig. 11). Jede dieser beiden Schichten übernimmt nun in der weiteren Entwicklung verschiedene Aufgaben. Die eine ist nach außen gewendet, sie bildet die Außenhaut, das Ektoderm des Tieres. Ihr sind daher in erster Linie die Beziehungen zur Außenwelt übertragen: der passive Schutz durch Bildung einer festen Hülle, der aktive durch Verteidigungsorgane, die Bewegung und die Reizaufnahme durch Sinnesapparate und Nervensystem. Die innere Schicht dagegen, das Entoderm, steht mit der Außenwelt nur durch eine Öffnung in Verbindung, die Stelle, an der sie sich eingefaltet hat. Man bezeichnet diese Öffnung als

den Blastoporus oder den Urmund, deswegen, weil die Innenzellen in erster Linie die Verdauung der Nahrung übernehmen; sie bilden den Urdarm des Tieres, wozu sie durch ihre Lage ja sehr gut geeignet erscheinen.

Die zweischichtige Gastrula ist ein in der Entwicklung der Metazoen immer wiederkehrendes Stadium; der Weg, auf dem es erreicht wird, kann aber recht verschieden sein. Nicht immer erfolgt eine Einfaltung nach dem eben geschilderten Typus der Einstülpung (Invagination) (Fig. 13), sondern es rücken Zellen aus der Außenschicht ins Innere und ordnen sich dort zum Entodermverband (Immigration) (Fig. 15). In anderen Fällen teilen sich die Außenzellen quer und die inneren Hälften bilden das Entoderm (Abspaltungs-, Delaminationsgastrula) (Fig. 14). In sehr seltsamer Weise kommt die Gastrula bei der Umwachsung (Epibolie) (Fig. 16) zustande: Die Zellen des vorderen Pols der Blastula vermehren sich schnell durch Teilung, werden dabei ziemlich klein und schieben sich über die hinteren Zellen herüber, deren Teilungsrhythmus viel langsamer ist und die infolgedessen größer bleiben. Durch diese Umwachsung werden sie in das Innere verschoben und bilden dort das Entoderm. Ein besonders eigenartiger Typus ist endlich die Planula (Fig. 12), eine zweischichtige Larve, der eine Urdarmhöhle zunächst völlig fehlt; die Innenschicht bildet eine kompakte Zellmasse, der das Ektoderm unmittelbar aufliegt.

Man hat vielfach darüber diskutiert, welche von diesen Formen der Gastrulation als die ursprüngliche anzusehen sei, ohne zu einer Einigung zu kommen. Es ist fraglich, ob überhaupt in der Stammesgeschichte die Gastrulation von einem Typus ausgegangen ist oder ob nicht verschiedene Typen unabhängig voneinander sich herausgebildet haben. Diese Frage hängt mit der anderen zusammen, ob man eine Entstehung des Metazoenreiches aus einer Wurzel (monophyletisch) oder aus mehreren, vielleicht vielen (polyphyletisch) annehmen soll, ein Problem, das uns noch an anderer Stelle beschäftigen wird. Sehr großen Einfluß hat unter diesen Spekulationen die Ableitung der Invaginationsgastrula durch Haeckel gehabt, die sog. Gastraeatheorie. Sie hat den Vorzug, den Prozeß physiologisch verständlich zu machen. Haeckel geht aus von der Blastaea, einer freilebenden Urform, die auf dem Stadium der Blastula stand. Wenn eine solche Form nach Art eines Volvox mit ihren Geißeln durchs Wasser rotierte, so entstand dadurch eine Strömung, die an den Seiten um das Tier herumlief und am hinteren Pol einen Wirbel bildete. Man kann sich davon leicht experimentell überzeugen, wenn man eine Holzkugel oder eine Scheibe langsam durchs Wasser zieht. Durch diese Wirbelbildung wird bewirkt, daß für die Nahrungskörper nicht, wie man erwarten sollte, das Vorderende, sondern im Gegenteil das Hinterende die beste Aufnahmestelle wird. Es bilden sich also die dort gelegenen Zellen zu Ernährungszellen, einem primitiven Entoderm, um. Noch günstiger werden nun die Bedingungen,

wenn sich an diesem Hinterende eine Vertiefung bildet, die die herbeigestrudelten Nahrungskörper wie in einer Schüssel auffängt. So entsteht eine physiologisch zweckmäßige Einbuchtung, die tiefer und tiefer wird und schließlich eine Einfaltungsgastrula liefert.

Ausgehend von diesen phylogenetischen Spekulationen hat man unter der heute lebenden Tierwelt nach Formen gesucht, die das Stadium der Herausbildung des zweischichtigen Zustandes repräsentieren. Tatsächlich gibt es auch Tiere, die diesem Schema in gewisser Hinsicht genügen; man hat sie danach oft als Mitteltiere, *Mesozoa*, bezeichnet, wegen dieser eigenartigen Zwischenstellung zwischen Protozoen und echten Metazoen. Es ist aber sehr zweifelhaft, sogar recht unwahrscheinlich, daß es sich dabei um wirklich ursprüngliche Formen handelt; viel näher liegt es, ihren einfachen Bau durch Rückbildung aus höher differenzierten Formen zu erklären. Wir stoßen dabei zum ersten Male auf eine Schwierigkeit, die bei der Betrachtung vieler sog. Übergangsformen auftritt, daß sich ihre Organisation je nach dem allgemeinen Standpunkt des Betrachters in ganz verschiedener, meist diametral entgegengesetzter Weise auffassen läßt. Daher haftet vielen dieser theoretischen Betrachtungen über die stammesgeschichtliche Entwicklung, bei all der großen prinzipiellen Bedeutung, die ihnen zukommt, doch eine erhebliche Unsicherheit an, die ihren Wert ziemlich einschränkt. So sind in unserem Falle in einem Teile der Mesozoen wohl mit Bestimmtheit Larven echter Metazoen zu erblicken, die auf diesem Stadium geschlechtsreif geworden sind, eine Umwandlung, Neotenie genannt, die uns noch häufiger begegnen wird.

Dagegen kennen wir sehr wohl eine große Klasse von Organismen, die in den Grundprinzipien ihres Baues auf dem zweischichtigen Gastrulastadium stehen. Es sind die *Zölenteraten*.

5. Die Zölenteraten. Die Stockbildung. Die Spongien. (Taf. II.)

Der Grundzug der Cölenteratenorganisation ist der Aufbau aus zwei Keimblättern, dem Entoderm und Ektoderm. Der Ausdruck Keimblätter wurde für diese Schichten eingeführt, weil sie wie die Keimblätter der Pflanze die ersten Differenzierungen, Organe, des sich entwickelnden Keimes bilden. Diese Keimblätter sind bei den einfachsten Cölenteraten noch völlig nach dem Schema der Gastrula geordnet. Ein Polyp hat die einfache Grundform des Sackes, in den eine Öffnung am einen Pol hineinführt und dessen Wand aus zwei Schichten gebildet wird. Diese werden durch eine dünne, strukturlose Membran, die Stützlamelle, voneinander getrennt. Im Inneren finden wir einen einheitlichen Hohlraum, der nach Entstehung und Funktion dem Urdarm der Gastrula entspricht, wie seine Öffnung dem Blastoporus. Dieser einheitliche innere Hohlraum erfüllt sowohl

die Aufgaben des Darmes, die Verdauung, als die der Leibeshöhle der höheren Tiere, die in der Verteilung der resorbierten Nahrungsstoffe und der Fortschaffung der Exkrete bestehen. Diese Eigenschaft hat dem niedersten Tierkreise der Metazoen nach dem Vorgange Leuckarts eben ihren Namen Cölenteraten, Darm-Leibeshöhlentiere, eingetragen.

Bleibt somit der morphologische Grundtypus bei ihnen auf der Stufe der Gastrula stehen, so entwickeln sich als wesentlicher Fortschritt in beiden Keimblättern Unterschiede der einzelnen Zellen. Es tritt das auf, was man als histologische Differenzierung zu bezeichnen pflegt. Sie strebt dahin, in jedem Keimblatt die verschiedenen Aufgaben besonderen Zelltypen zuzuweisen. So entstehen im Ektoderm Vorrichtungen zum passiven Schutz, eine feste Hüllschicht, das Periderm. Es besteht aus einer Ausscheidung der zu einem festgeschlossenen Epithelverbände geordneten Oberflächenzellen des Ektoderms, die eine organische, chitinähnliche Substanz absondern (Fig. 24 P). Daneben entwickeln sich aktive Verteidigungsapparate in einer für die Hauptgruppe der Cölenteraten charakteristischen Gestalt, die Nesselzellen, Cnidae. Es sind große, kolbige, im Epithelverbände liegende Drüsenzellen, die ein Bläschen mit elastischer Wandung, die Nesselkapsel, enthalten. In dieser liegt eingestülpt ein langer, haardünner Schlauch, der Nesselfaden. Mit einem Sinnesfortsatz, dem Cnidocil, ragt die Nesselzelle aus dem Epithel heraus; trifft das Cnidocil ein Reiz, so springt die Nesselkapsel auf, und der Faden wird explosionsartig ausgeschleudert (Fig. 22 Cn). Mit stilettartigen Widerhaken vermag er sich in fremde Körper einzubohren; die giftige Flüssigkeit, die aus der Kapsel in den Faden emporsteigt, lähmt dann das angeschlossene Beutetier. Durch die Zusammenwirkung zahlloser solcher mikroskopischer Waffen vermögen die Cölenteraten selbst relativ große Beutetiere zu überwältigen; wie unangenehm die Nesselkapseln brennen, kann man ja beim Baden an unseren Meeresufern durch Berührung mit den Quallen am eigenen Leibe erfahren. Weiterhin entwickelt das Ektoderm Sinneszellen (Fig. 22 s), fadenförmige Elemente, die mit einem Stiftchen nach Art des Cnidocils nach außen ragen und so besonders geeignet sind, Reize aufzunehmen. Sogar ein reizleitender Apparat ist schon entwickelt; unter den hohen Epithelzellen zieht sich ein System flacher Nervenzellen hin, die in der ganzen Körperoberfläche des Polypen durch ein Netz von Ausläufern in Verbindung stehen (Fig. 22 n). Daß die histologische Sonderung bei den Cölenteraten erst im Entstehen ist, zeigen sie uns sehr charakteristisch in der Ausbildung ihres Bewegungsapparates. Wir finden bei ihnen eine richtige, oft sehr hoch entwickelte Muskulatur, aber noch keine speziellen Muskelzellen. Vielmehr scheiden die Deckzellen des Epithels, die Nesselzellen und ebenso die Epithel- und Drüsenelemente des Entoderms an ihrer Basis, mit der sie der Stützlamelle aufruhend, langgezogene, dünne, stark lichtbrechende Fibrillen aus,

die wie echte Muskelfibrillen die Fähigkeit der Kontraktion besitzen (Fig. 22 *mf*). Sie ordnen sich im Ektoderm meist einander parallel in der Längsrichtung des Tieres, im Entoderm verlaufen sie ringförmig; so entsteht ein wohlgeordnetes und recht leistungsfähiges Bewegungssystem.

Auch das Entoderm differenziert sich: Es bildet einerseits ein hohes Epithel, dessen Zellen mit Geißeln zum Umtrieb der Ernährungsflüssigkeit versehen sind (Fig. 22 *ep*). Zwischen ihnen entstehen vielfach besondere Drüsenzellen, die die Verdauungsfermente, sowie Schleim zum Einhüllen der Nahrungskörper ausscheiden (Fig. 22 *dr*). Die Beteiligung der Entodermzellen an der Muskelbildung hatten wir eben schon berührt.

In der einfachsten Gestalt tritt uns der Cölenteratentypus bei den *Hydropolyten* entgegen, wie sie durch unseren Süßwasserpolyphen, *Hydra*, verkörpert werden. Bei diesen etwa 5—10 mm langen Geschöpfen ist der Körper ein langer Schlauch von rundem Querschnitt, der sich von einer Gastrula nur dadurch unterscheidet, daß an seinem Vorderende um die Mundöffnung sich ein Kranz von Ausstülpungen entwickelt hat, die Fangarme oder Tentakel (Fig. 17). Sie sind besonders beweglich und reich mit Nesselkapseln besetzt und dienen dem Polypen zum Fange der Beute, kleiner Würmer, Wasserflöhe, selbst junger Fische. Dieser einfache Typ kompliziert sich durch Faltung. Es entstehen vier Wülste des Entoderms, Täniolen (Fig. 18 *T*), die in das Innere vorspringen und den Urdarm in vier Magentaschen (Fig. 18 *M*) teilen. Dies finden wir bei den ausschließlich im Meere lebenden *Scyphopolyten*. Schreiten wir in dieser Richtung fort, so kommen wir zum Typus der *Korallenpolyten*, *Anthozoen*, den uns die echten Korallen einerseits, die See-rosen und Seeanemonen andererseits verkörpern. Hier hat sich die Zahl der Einbuchtungen, der Septen oder Scheidewände, stark vermehrt (Fig. 19 *s*). Zugleich hat sich von der Mundöffnung her das Ektoderm trichterförmig zur Bildung eines Schlundrohres eingesenkt (Fig. 19 *sr*). An dieses setzen sich die Septen mit ihrem oberen Teile an, so daß dort der Innenraum in eine Anzahl von Kammern zerfällt; über jeder von diesen erhebt sich als Ausstülpung ein hohler Tentakel. In der unteren Hälfte des Körpers bleibt dagegen ein gemeinsamer mittlerer Hohlraum, der Zentralmagen (Fig. 19 *Z*) bestehen, in dem die eigentliche Verdauung vor sich geht.

Ein wesentlich verwickelteres Bild bietet uns der zweite Grundtyp der Cölenteraten, die Meduse. Sie steht biologisch im Gegensatz zu den Polyphen dadurch, daß sie nicht festsitzt, sondern frei im Wasser schwebt. Ihr Körper ist scheibenartig abgeplattet oder glockenförmig gewölbt; an der unteren Fläche findet sich die Mundöffnung, die meist auf einem schlauchartig verlängerten Mundkegel, dem Manubrium (Fig. 25 *Mn*), liegt. Sie führt hinein in den Zentralmagen, von dem aus taschenförmige Aus-

sackungen, die Radiärkanäle (Fig. 25 *Rk*), nach der Peripherie der Scheibe ziehen. Dort stehen sie untereinander durch einen Ringkanal (Fig. 25 *Rg*) in Verbindung.

Mit dieser morphologischen Differenzierung des entodermalen Hohlraums geht auch eine Teilung seiner Funktionen Hand in Hand. Der Zentralmagen übernimmt die eigentliche Zerlegung und Verarbeitung der Nahrung, das Radiär- und Ringkanalsystem die Verteilung der Nahrungsflüssigkeit. So entsteht physiologisch ein Gefäßsystem als Teil des Urdarms; dies kommt in der Bezeichnung Gastrovaskularsystem zum Ausdruck.

Das Ektoderm der Medusen weist, abgesehen von einer höheren Ausgestaltung der Sinnesapparate, keine besonderen Fortschritte auf; wichtig für die Gestalt der Meduse ist dagegen die Weiterbildung der Stützlamelle. Aus der dünnen Membran der Polypen entwickelt sich im Schirm der Medusen eine breite Gallertscheibe (Fig. 25 *Gl*), die den Medusen ihre charakteristische Massigkeit und weichelastische Konsistenz verleiht. Sie dient als elastisches Widerlager bei der Schwimmbewegung; diese kommt dadurch zustande, daß die kräftige Ringmuskulatur des Ektoderms der Schirmunterseite (Subumbrella, Fig. 25 *sub*) sich zusammenzieht, dadurch die Schirmwölbung verengt und das darin eingeschlossene Wasser nach hinten ausstößt. Durch einen ektodermalen Ringsaum, das Velum, wird bei vielen Medusen das Wasser nach der Mitte gedrängt und so die Kraft des Rückstoßes erhöht, der das Tier vorwärts treibt.

Mit dieser höheren Organisation verbinden die Medusen oft eine Größenzunahme; neben wenigen fast mikroskopischen Formen kommen Tiere von 50 cm Schirmdurchmesser und darüber vor.

Trotz der charakteristischen Abweichungen läßt sich die Organisation der Meduse doch in ihren Grundzügen ohne Schwierigkeiten auf die einfachere des Polypen zurückführen (Figg. 24 u. 25). Denkt man sich eine Meduse umgekehrt, so erkennt man ohne weiteres, daß ihre Mundöffnung der des Polypen entspricht. Der Zentralmagen vertritt den Magensack des Polypen, das Kanalsystem läßt sich ohne Schwierigkeit als eine Weiterbildung der Magentaschen verstehen. Die obere Fläche des Medusenschirmes, die Exumbrella, setzen wir der verbreiterten Fußscheibe eines Polypen, die Subumbrella der Mundscheibe gleich, dann entsprechen sich ohne weiteres die die Mundscheibe umsäumenden Tentakel.

Diese morphologischen Beziehungen zwischen Polyp und Meduse werden um so leichter verständlich und zugleich um so bedeutungsvoller, wenn wir erfahren, daß diese beiden Organismen in gesetzmäßiger Wechselbeziehung im Zeugungskreise einer Art stehen. Wir finden in den Fortpflanzungsverhältnissen der Cölenteraten eine völlige Parallele zu dem, was wir bei vielen Protozoen kennen gelernt haben. Wie dort die Einzelzelle sich durch Teilung in frei weiterlebende Tochterelemente vermehrt, so besitzen auch

die Cölenteraten die Fähigkeit, durch Absonderung vielzelliger Komplexe neue freilebende Einheiten zu bilden. Dies geschieht entweder durch Teilung, d. h. Durchschnürung eines ausgebildeten Tieres, oder durch Knospung, indem aus der Seitenwand des Körpers eine Ausbuchtung hervorwächst, die sich zu einem voll ausgebildeten Individuum entwickelt und endlich ablöst. So können sich zahlreiche Polypengenerationen durch ungeschlechtliche Vermehrung bilden, endlich setzen aber auch hier, geradeso wie bei den Protozoen, geschlechtliche Fortpflanzungsprozesse ein. Dazu werden männliche und weibliche Geschlechtszellen gebildet; diese entwickeln sich aber oft auf besonderen Individuen, den Medusen, die also in dieser morphologischen Sondergestaltung den Gameten der Protozoen entsprechen würden. Der biologische Grund dafür läßt sich vielleicht darin erblicken, daß diese frei schwimmenden Geschlechtsindividuen eine Verbreitung der Art über größere Strecken ermöglichten. Auch hier handelt es sich letzten Endes offenbar um das Prinzip der Arbeitsteilung, das zur Erfüllung besonderer Aufgaben auch besondere Organisationstypen schuf. Solche besondere Geschlechtsindividuen kommen daher nicht allen Cölenteraten zu, sie fehlen u. a. bei unserem Süßwasserpolyphen und der ganzen Gruppe der Korallentiere; dort bringen die Polypen selbst von Zeit zu Zeit Geschlechtszellen zur Entwicklung.

Setzen wir nun die verschiedenen Polypengenerationen den Teilungsgenerationen der Protozoen, die Medusen ihren Gameten gleich, so können wir die Parallele noch weiter führen. Wie bei den Protozoen sich die durch Teilung entstandenen Einzelzellen zu Kolonien zusammenschließen konnten, so geschieht es auch mit den vielzelligen Einzelindividuen der Polypen. So entstehen die großen Verbände der Korallenstöcke und Hydropolypenkolonien des Meeres, die sich aus Hunderten, Tausenden und Millionen von Individuen aufbauen können. Wie bei den Protozoen eine gallertige oder chitinöse Hüllsubstanz die Einzelzellen zusammenhielt, so verbindet hier das Periderm das Ganze. Und wie dort die Formgebung vom Einzelindividuum auf das Ganze übergriff und bestimmt gestaltete Kolonien schuf, so geschieht es auch hier. Auf diese Weise entstehen zierliche, baumförmig verästelte Kolonien, so bei den Hydroiden. Sie wiederholen bis ins kleinste die Wachstumsgesetze, nach denen wir die Pflanzenstöcke aufgebaut finden, die ja auch in ganz ähnlicher Weise durch Knospung entstehen. Oder es bilden sich massige Stöcke wie bei den Korallen. Dort lagert sich in das Periderm Kalk ein, eine Erscheinung, die wir auch bereits von den Einzelligen her kennen. So entstehen im Laufe ungezählter Zeiträume die ungeheuren Korallenriffe als Produkte der Zusammenarbeit fast mikroskopischer Baumeister.

Und an diesen Individuenverbänden wirkt nun das Prinzip der Arbeitsteilung weiter. Es entstehen wieder somatische und generative Elemente.

Letztere bezeichnet man als die Blastostyle; sie können ihre Ernährungs- und Verteidigungsapparate weitgehend zurückbilden und einfache Schläuche bilden, an denen durch Knospung die Geschlechtsindividuen, die Medusen, ihren Ursprung nehmen. Aber auch unter den somatischen Elementen geht die Sonderung weiter, ein Prozeß, der in unserem Vergleich der histologischen Differenzierung in den Einzeltieren entsprechen würde. Auf diese Art entstehen Kolonien, deren Einzeltiere alle zur Erfüllung bestimmter Einzelleistungen so weit spezialisiert sind, daß sie ebensowenig zu dauerndem selbständigem Leben mehr fähig sind wie die einzelnen Somazellen einer Volvoxkolonie. Es wiederholt sich hier also gewissermaßen ein Stockwerk höher im Verbande der Vielzelligen der gleiche Prozeß, dessen Entwicklung wir bei den Einzelligen verfolgt haben. So entstehen eigenartige Typen, bei denen der Begriff der Individualität in seltsam schillerndem Lichte erscheint. Wie bei den Metazoen allgemein der Körper sich aus einem Zellenstaat aufbaut, dessen Einzelelemente nur eine beschränkte Selbständigkeit besitzen, so bildet sich hier ein übergeordnetes Individuum durch einen Verband von Zellverbänden, Einzelindividuen, die selbst wieder ihre Unabhängigkeit zur Erhöhung der Leistungsfähigkeit des Verbandes aufgegeben haben. Den vollendetsten Ausdruck gewinnt diese Lebensform in der Gruppe der Röhrenquallen, *Siphonophoren* (Fig. 23). Dort finden wir eine freischwimmende Tierkolonie, die sich in bunter Mischung aus polypen- wie medusenartigen Einzeltieren zusammensetzt. Einige, wie die Schwimmglocken (Fig. 23 *sg*), übernehmen nach Medusenart die Fortbewegung, eine andere Meduse bildet sich zu einer luftgefüllten Flasche, Pneumatophore (Fig. 23 *l*), an der Spitze des Stammes aus. Von polypenartigen Individuen dienen die Fraßpolypen (Fig. 23 *p*) mit großen, trichterförmigen Mäulern der Ernährung. Ihnen wird durch besondere Fangfäden (Fig. 23 *f*) die Beute zugeführt; umgewandelte, mundlose Polypen, die Taster (Fig. 23 *t*), sind die Hauptträger der Sinneswahrnehmung. Deckstücke (Fig. 23 *d*), deren Bau so stark vereinfacht ist, daß man nicht entscheiden kann, ob sie aus Medusen oder Polypen hervorgegangen sind, legen sich schützend über die Einzeltiere, die in langer Reihe einem gemeinsamen, schlauchförmigen, vom Nahrungskanal durchzogenen Stamme ansitzen. Die Fortpflanzung wird in gewohnter Weise durch Medusenformen (Fig. 23 *go*) besorgt. So entstehen meterlange, physiologisch sehr leistungsfähige Individuenketten, die mit ihrer Durchsichtigkeit und ihrer blütenähnlichen Zartheit und Formenfülle das Entzücken aller Naturbeobachter erregen.

Diesen echten Cölenteraten vom Polypen- und Medusentypus, welche man wegen ihrer Bewaffnung auch als Nesseltiere, *Cnidaria*, zusammenfaßt, stellt sich scharf eine andere Tiergruppe entgegen, die man nach alter Gewohnheit noch oft in den gleichen Tierkreis eingeordnet findet, obwohl

ihr ganzer Habitus ihr unbedingt eine Sonderstellung zuweist. Es sind die Schwämme, *Spongiae*. Stellen die echten Cölenteraten dünnwandige Formen dar, deren Zellen gewöhnlich im Ektoderm wie Entoderm in einschichtigem Verbande angeordnet sind, so haben wir es bei den Schwämmen mit ausgesprochen massigen Gebilden zu tun. Bei ihnen ist die Abgrenzung der Keimblätter zu Epithellagen gar nicht so scharf ausgeprägt, wir finden vielmehr zwischen äußerer und innerer Körperwand ein dichtgefügtes, zellhaltiges Zwischengewebe, das Mesenchym. Die Entwicklungsgeschichte lehrt, daß seine Elemente vorwiegend vom Ektoderm abstammen; schon sehr zeitig wandern daraus Zellen in eine gallertige Grundsubstanz ein und differenzieren sich darin in der mannigfaltigsten Weise.

Der Grundtypus des Schwammes ist ebenso die Sackform wie beim Polypen (Fig. 20). Ein sehr charakteristischer Unterschied tritt aber sofort darin zutage, daß der Schwammkörper mehrere Öffnungen besitzt. Seine Seitenwand ist von zahlreichen feinen Poren durchsetzt. Durch diese strömt das Wasser ein, durchläuft ein Kanalsystem, in dem ihm von den Entodermzellen die Nahrungskörper entzogen werden und tritt endlich zu einer weiten Öffnung, dem Osculum, wieder aus, die am vorderen Körperpol des festgewachsenen Tieres liegt. Dieses Osculum entspricht also physiologisch nicht der Mundöffnung des Polypen, da es nur als After Verwendung findet, eine Funktion, die der Mund der Polypen allerdings auch mit zu versehen hat. Die breite Grundmasse, durch die das Kanalsystem von der Haut zum zentralen Hohlraum führt, wird nun vom Mesenchym gebildet. Darin treffen wir neben Bindegewebszellen (Fig. 21 *b*) vor allem Skelettelemente (Fig. 21 *na*). Das Stützgerüst des Körpers ist also hier ein inneres, gleicht in dieser Hinsicht etwa dem Verhalten der Radiolarien unter den Protozoen. Das Skelett besteht häufig nur aus organischer Grundsubstanz, die sich zu einem Netzwerk hornartiger Fibrillen zusammenlegt. So entsteht das Spongingerüst, das bei den Badeschwämmen, *Euspongia*, nach Entfernung des Weichkörpers vom Menschen in Benutzung genommen wird. Bei den meisten anderen Schwämmen schlägt sich in die organische Grundsubstanz wieder anorganische Materie nieder, entweder Kalk (Kalkschwämme) oder Kieselsäure (Kieselchwämme). Die so gebildeten Skelettelemente liegen im Mesenchym als zierliche Nadeln, die ein-, drei- oder vierachsig sein können (Fig. 26). Sie bilden meist eine besonders feste Schicht in der Rinde des Schwammes und lagern sich dann zwischen den Kanälen als ein System von T-Trägern, das mit möglicher Leichtigkeit große Festigkeit und Elastizität vereinigt. Die komplizierteste Architektonik findet sich bei den Kieselgerüsten der sog. Glasschwämme (*Hexaktinelliden*).

Im Mesenchym entwickeln sich bei den Schwämmen auch die Geschlechtszellen (Fig. 21 *kz*). Die Eier werden oft schon im Körper durch

Spermatozoen befruchtet, die mit dem Wasser durch die Poren eindringen; sie machen dann die erste Entwicklung im Schutze des mütterlichen Organismus durch und schwärmen als bewimperte Larven aus. Diese durchlaufen das Blastula- und Gastrulastadium und setzen sich endlich mit dem Blastoporus fest; das Osculum entspricht also nicht der Einstülpungsöffnung, sondern bricht erst nachträglich bei der Larve am ursprünglich hinteren, aboralen Pol durch. Neben der geschlechtlichen steht auch hier die ungeschlechtliche Fortpflanzung; sie führt durch Knospung oder unvollständige Teilung zur Koloniebildung. An jedem unserer Badeschwämme kann man ja an der Mehrzahl größerer Öffnungen, der Oscula, die Zusammensetzung aus mehreren Individuen erkennen. Diese Art der Vermehrung trägt noch besonders zur Ausbildung des massigen Typus dieser Tiergruppe bei.

Die Lebensweise der Schwämme ist ungemein primitiv. Dem oberflächlichen Beobachter werden sie überhaupt kaum als lebende Wesen erscheinen, denn von Bewegung oder Reaktionen auf äußere Reize ist nichts an ihnen zu bemerken. Nur durch Zusatz von Farbkörnchen zum umgebenden Wasser gelingt es, den langsamen Strom anschaulich zu machen, der zu den Poren hinein, zum Osculum herausläuft. Entsprechend dieser niedrigen biologischen Stufe ist auch die histologische Differenzierung bei den Schwämmen viel weniger durchgeführt als bei den Polypen. Es fehlen besonders alle Sinnes- und Bewegungsapparate. Histologisch interessant sind die Schwämme aber durch die Ausgestaltung ihrer Entodermzellen. Hier finden wir hohe Zylinderzellen mit langer Geißel, um deren Basis ein Protoplasimakragen verläuft. Der Typus dieser Zellen entspricht vollkommen dem, den wir bei den Choanoflagellaten unter den Geißeltierchen kennen gelernt haben. An diese Übereinstimmung haben sich bemerkenswerte phylogenetische Schlußfolgerungen geknüpft. Bei der Besprechung der Koloniebildung unter den Protozoen sahen wir, daß gerade die Choanoflagellaten vielfach Neigung zu solcher Vereinigung zeigten. Der morphologische und biologische Gegensatz der Schwämme zu den übrigen Cölenteraten einerseits, die frappante Übereinstimmung ihrer Entodermzellen mit den Kragengeißlern andererseits legt nun den Gedanken nahe, zwischen diesen beiden Gruppen eine stammesgeschichtliche Beziehung anzunehmen. In der Tat kennen wir unter den Flagellaten Formen, die sich gut als Übergangstypen verwerten lassen. Bei der *Protospongia* (Fig. 3) finden wir den für die Schwämme so bezeichnenden massigen, nichtepithelialen Bau angebahnt dadurch, daß im Verbands dieser Protozoenkolonie Zellen aus der oberflächlichen Lage in die Tiefe rücken, dort ihre Geißeln einziehen und sich zu bindegewebsartigen Massen anhäufen. Neigt man sich dieser Anschauung zu, so ergibt sich die Konsequenz, daß die Reihe der höheren Tierformen nicht aus einer gemeinsamen Wurzel, sondern polyphyletisch entstanden zu denken wäre.

Die Schwämme bewohnen in großer Artenzahl die Küsten der Meere, wo sie sich in ruhigem, flachem bis mäßig tiefem Wasser mit Vorliebe entwickeln. Dort überziehen sie rasen- oder krustenartig die Steine, auch wohl die Schalen anderer Tiere, oder erheben sich zu säulen- oder becherähnlichen Gebilden. Eine Anzahl von Arten kommt auch im Süßwasser unserer Teiche vor. Sie zeigen neben der gewohnten noch eine besonders merkwürdige Art der ungeschlechtlichen Vermehrung. Wenn im Herbst Temperatur- und Ernährungsbedingungen ungünstig werden, sterben die Schwämme ab; aus ihrem Körper sondern sich aber kleine Zellgruppen, die sich mit einer chitinen Hülle umgeben und so den Winter überstehen. Wird das Wasser im Frühjahr wieder warm, so sprengen diese Brutknospen, die *Gemmulae*, (Fig. 27), die Hülle und wachsen zu neuen kleinen Schwämmen aus.

6. Die Echinodermen. Die radiäre Symmetrie. (Taf. III.)

Mit den Polypen und Medusen vereinigte der Vater der vergleichenden Anatomie, der große Cuvier, eine zweite Tiergruppe, die Stachelhäuter oder *Echinodermata*, zu dem Tierkreise der Radiärtiere, Radiata. Diese Bezeichnung bringt sehr gut die charakteristischen Lagebeziehungen zum Bewußtsein, die bei diesen Tierformen zwischen den einzelnen Körperteilen bestehen. Es gilt nämlich für sie der Satz, daß alle oder fast alle Gewebe und Körperteile allseitig symmetrisch um eine Hauptachse angeordnet sind. Sehen wir uns darauf einen Polypen an, so finden wir diese Hauptachse in der Längsrichtung des Körpers vom Munde zum aboralen Pol verlaufend. Um diese Achse sind alle übrigen Körperbestandteile in allseitiger Symmetrie angeordnet. Man kann durch die Hauptachse beliebig viele Längsebenen legen, alle teilen den Körper in zwei gleiche Teile. Aus dieser allseitigen Symmetrie heben sich bei den Cölenteraten bereits einige Ebenen als bevorzugt heraus. Bei den Medusen beispielsweise (Fig. 1) finden wir gewöhnlich 4 Radiärkanäle, die in zwei aufeinander senkrecht stehenden Ebenen vom Zentralmagen zur Peripherie verlaufen; an ihren Enden erheben sich dann die Tentakel. Zerlegt man den Körper entsprechend diesen zwei Ebenen, so erhält man 4 Teile, die unter sich gleich sind. Solche Teilstücke bezeichnet man als Antimeren. Nach der Zahl der hervorstechenden Radien spricht man bei den Medusen von vierstrahliger Symmetrie. Bei anderen Cölenteratengruppen sind die Grundzahlen anders, so bei den Steinkorallen 6, bei den Weichkorallen 8, wonach man diese Gruppen auch oft als Hexa- bzw. Oktokorallen (Figg. 2, 3) bezeichnet. Hier spricht sich die Symmetrie besonders deutlich in der Zahl und Anordnung der Septen aus. Diese brauchen sich aber durchaus nicht immer auf die Grundzahl zu beschränken, vielmehr können sich weitere Septen zwischen die Hauptradien einschieben. Dann entstehen

Septenkränze zweiter, dritter Ordnung usw. (Fig. 3 *sp I, II, III*). In all diesen Fällen aber ist wenigstens im Prinzip die Zahl der Zwischensepten ein Vielfaches der Grundzahl, nur bei sehr hohen Zahlen verwischt sich das Gesetz. Die gleichen Zahlenverhältnisse gelten für die Tentakel, von denen auch oft mehrere Kränze gebildet werden. Wie Figg. 3 und 4 zeigen, ist bei den Korallen die radiäre Symmetrie keine absolute. Das Schlundrohr (Figg. 2, 3 *sr*) ist in die Länge gezogen und so nähert sich der Bau der zweiseitigen Symmetrie. Dies hängt z. T. wohl mit der Ausbildung von zwei Schlundrinnen zusammen, die durch Flimmerbewegung einen Wasser- und Nahrungsstrom den Mundwinkeln zu bzw. von ihnen weggleiten.

Eine ähnlich geartete Symmetrie finden wir nun auch bei den Stachelhäutern, aber hier ist die Grundzahl immer fünf. Am leichtesten erkennt man das bei Formen wie den Seesternen, die fünf Arme besitzen (Fig. 4).

Eine genauere Untersuchung lehrt aber, daß trotz dieser äußeren Ähnlichkeit zwischen Cölenteraten und Stachelhäutern tiefgreifende Verschiedenheiten bestehen. Es war daher ein großes Verdienst Leuckarts, als er in der Mitte des vorigen Jahrhunderts die beiden Gruppen trennte und damit die Ordnung der Tierkreise herstellte, die wir auch jetzt noch anzunehmen gewohnt sind. Mit der Betrachtung der Echinodermen treten wir an die höheren Tierformen heran, die sich alle von den Cölenteraten in sehr charakteristischer Weise unterscheiden. Diese Gruppe der Metazoen hat gewissermaßen ein eigenes Konstruktionsprinzip entwickelt, um zu höheren Leistungen zu gelangen. Es beruht, wie wir schon sahen, auf der Stockbildung mit Arbeitsteilung unter den einzelnen Individuen. Alle höheren Tiere sind einen anderen Weg gegangen; sie haben nämlich die histologische Differenzierung weiter ausgestaltet, die wir ja auch bereits bei den Polypen angebahnt fanden. Dies geschah nicht nur durch feinere Differenzierung der einzelnen Zellen, sondern vor allem durch Zusammenschluß der verschiedenen Zelltypen zu Verbänden. So entstehen die Organe. Bei dieser Organbildung finden wir wieder ein uns schon bekanntes Prinzip wirksam, die Faltenbildung; sie ermöglicht ein Zusammendrängen zahlreicher gleichartiger Zellelemente auf möglichst engen Raum. Damit läßt sich aber das bei den Polypen durchgeführte Verfahren der Anordnung aller Elemente in einfachen Epithelschichten nicht vereinigen, die Organanlagen sinken in die Tiefe und bilden dort kompakte Massen. Zu ihrer Aufnahme entsteht zwischen äußerer Haut und Darm ein geräumiger Hohlraum, die Leibeshöhle, in der die Organe an besonderen Bändern, den Mesenterien, aufgehängt sind. Ein solcher massiger werdender Körper bedarf zum Zusammenhalt seiner Gewebe einer Stütze und zur Fortbewegung besonderer Elemente. Beides liefert eine Zellschicht, die sich während der Embryonalentwicklung zwischen Ekto- und Entoderm einschiebt. So entsteht das mittlere Keim-

blatt, das Mesoderm, die Quelle des Bindegewebes und der Muskulatur. Seine Anlage und die Entwicklung der Leibeshöhle wird uns an anderer Stelle noch länger zu beschäftigen haben.

Die Ausbildung der Zellen zur Erfüllung spezieller Aufgaben bedingt wichtige Veränderungen ihrer Struktur. Aus dem formlosen Klümpchen Protoplasma, als das uns die Zelle in einfachster Gestalt bei den Amöben entgegentrat, sind Elemente von ganz bestimmter Gestalt und kompliziertem inneren Bau geworden. In dem Wabenwerk des Protoplasmas haben sich die verschiedenartigsten Differenzierungen vollzogen, die letzten Endes wohl darauf hinauslaufen, daß Teile aus dem flüssigen Sol- in den festeren Gelzustand vorübergehend oder dauernd übergetreten sind. Dadurch bilden sich die mannigfachen Fäden und Kornstrukturen, die wir in den Muskel- und Nervenfibrillen, den Schollen und Granula der Drüsenzellen vor uns haben. So entstehen innerhalb des Plasmas durch den Lebensprozeß selbst Teile, die an den allgemeinen Lebensfunktionen dann unter Umständen nur beschränkten Anteil haben, Hilfsmittel darstellen, mit denen die Zelle ihre Spezialarbeit leistet. Sie können dabei in der Zelle selbst abgelagert werden, wie etwa die Muskelfibrillen, oder nach außen abgeschieden, wie es mit den Cuticularsäumen der Epithelzellen, den Bindegewebsfibrillen oder der Grundlage des Knorpel- und Knochengewebes geschieht. So entstehen neben und zwischen den intra- auch interzelluläre Strukturen, die für die Leistungsfähigkeit des Körpers oft die größte Bedeutung gewinnen. Je nach dem Grade, in dem sie sich von ihrer Bildungszelle emanzipieren, ist die Beteiligung dieser Gebilde am allgemeinen Stoffwechsel recht verschieden; manche, wie die Muskelfibrillen, zeigen noch selbständige Teilungsfähigkeit, andere, wie viele Skelettgebilde, machen mehr den Eindruck inaktiver Ausscheidungen. Immer zeigt sich aber ihre geringere Lebensfähigkeit darin, daß sie nicht dauernd selbständig zu funktionieren vermögen, sondern auf Ernährung und Neubildung durch das unveränderte Plasma angewiesen sind. Das Studium dieser mannigfachen Zellprodukte ist der Hauptgegenstand der Gewebelehre, Histologie.

Unter diesen höheren Tieren nehmen die Echinodermen eine seltsam abseitige Stellung ein. Sie sind eine sehr urtümliche Gruppe, die schon in den ältesten Erdperioden zahlreiche und hoch differenzierte Vertreter hatte, vielleicht haftet ihnen daher noch etwas Vorweltliches in Bau und Lebensweise an.

Die Form der Stachelhäuter wird bedingt durch ein Kalkskelett, das ähnlich wie bei den Schwämmen von Zellen des Zwischengewebes gebildet wird. Es setzt sich aus Platten zusammen, die beim Seestern, den wir unserer Betrachtung zugrunde legen können (Fig. 6 *ap*, *rpl*), durch Gelenke verbunden sind und durch Muskeln gegeneinander bewegt werden können. Auf den Platten erheben sich Stacheln (Fig. 6 *sta*) als Ver-

teidigungsapparate, auf dem Rücken ist die Haut weicher; dort stehen kleinere Skelettkörnchen, Paxillen, durch unverkalktes Gewebe getrennt (Fig. 6 *px*). Alles wird von einer Epithelschicht überzogen; in dieser finden wir Tastzellen und an der Spitze der Arme primitive Augenflecke (Figg. 6, 7 *au*). Die Nervenzellen haben sich zu Strängen zusammengeschlossen und bei den meisten Stachelhäutern aus dem Epithelverbände in die Tiefe gesenkt. Dort bilden sie einen Ring um den Schlund, von ihm aus gehen fünf Längsstränge in die Arme (Figg. 6, 7 *n*).

In der Mitte des Körpers liegt der Darmkanal. Er beginnt mit der Mundöffnung, die auf der Unterseite der Scheibe liegt, in der die fünf Arme zusammenstoßen. Ein kurzer Schlund führt in einen sehr geräumigen Magen (Figg. 6, 7 *M*), von dem aus paarige Blindsäcke weit in die Arme hineinreichen. In diese Blindsäcke (Figg. 6, 7 *md*) gelangt die Nahrung mit hinein, sie sind also Teile der verdauenden Oberfläche, die wieder durch Faltenbildung vergrößert ist. Man pflegt solche Bildungen, die wir bei vielen Tieren wieder treffen werden, wegen ihres reichen Gehalts an Fermentdrüsenzellen als Mitteldarmdrüsen zu bezeichnen. Aus dem Mitteldarm führt ein kurzer Enddarm nach oben und mündet in der Mitte des Rückens nach außen. Wir finden also hier den Cöenteraten gegenüber auch insofern einen Fortschritt, als der Darmkanal zwei Öffnungen besitzt.

Zwischen Körperwand und Darm liegt eine sehr geräumige Leibeshöhle (Fig. 7 *lh*), in welche die verflüssigte und verdaute Nahrung aufgenommen und den übrigen Geweben zugeführt wird. In die Leibeshöhle hinein hängen von der Rückenseite fünf verzweigte Säcke, die Geschlechtsdrüsen (Figg. 6, 7 *go*); sie münden in den Winkeln zwischen den Armen durch enge Poren nach außen.

Das seltsamste und bezeichnendste für die Stachelhäuter ist die Ausbildung ihres Bewegungsapparates. Sie haben dafür einen Typus, der in der ganzen Tierreihe einzig dasteht, das Wassergefäß- oder Ambulakralsystem. Es besteht aus einer Menge kleiner Schläuche, den Füßchen (Fig. 7 *af*), die auf der Unterseite der Arme in Gruben liegen und mit einem Längskanal in Verbindung stehen, der den ganzen Arm durchzieht. In der Scheibe vereinigen sich die fünf Längsstämme wieder zu einem Ringkanal, der den Schlund umgreift. Dieses System ist mit Flüssigkeit gefüllt, im wesentlichen Seewasser. Es wird ihm zugeführt durch den Steinkanal (Fig. 7 *stk*), so genannt wegen Kalkeinlagerungen in seiner Wand; einem Rohr, das vom Ringkanal nach oben steigt und in einem Winkel zwischen zwei Armen nach außen mündet. Diese Mündung liegt unter einer von feinen Poren durchsetzten Skelettplatte, der Madreporenplatte (Figg. 6, 7 *mp*). Die Bewegung erfolgt nun durch abwechselndes Ausstrecken und Zusammenziehen der schlauchförmigen

Füßchen. Jedes Füßchen geht an seiner Wurzel im Inneren des Körpers nach dem Durchtritt zwischen den Skelettplatten der Armunterseite in eine Ampulle (Figg. 6, 7 *amp*), ein Bläschen, über. Die Wand des Füßchens wie der Ampulle ist muskulös. Kontrahiert sich die Muskulatur der Ampulle, so wird das Wasser in das Füßchen gepreßt, und dies streckt sich aus. An seiner Spitze liegt eine schröpfkopffartige Haftscheibe, mit der sich das Füßchen festsaugt. So setzt sich eine ganze Füßchenreihe an, nun kontrahieren sich die Muskeln der Füßchen und treiben das Wasser wieder in die Ampulle zurück; die Füßchen verkürzen sich und ziehen dadurch den Körper an ihre Anheftungsstelle heran. Nun lassen die Saugscheiben los, die Ampullen ziehen sich wieder zusammen, die Füßchen strecken sich und saugen sich an einem neuen Platze fest, und durch dieses Wechselspiel bewegt sich der Seestern langsam vorwärts. Die Richtung spielt dabei keine Rolle, jeder Arm kann in der Bewegung vorangehen. Natürlich fördert diese Bewegungsart nicht sehr, dafür können die Tiere aber auf allen festen Unterlagen klettern, auch an senkrechten Glaswänden sich hinaufziehen, wie man in Aquarien sehr hübsch beobachten kann.

Die Echinodermen erweisen sich also bei näherer Prüfung ihrer Organisation als von den Cölenteraten vollkommen verschieden. Die systematische Zusammenfassung, die Cuvier auf Grund der radiären Symmetrie zwischen diesen beiden Gruppen vornahm, war durchaus ungerechtfertigt, wir werden später noch genauer sehen, daß den Echinodermen im Stammbaum der Tiere eine weit von den Cölenteraten entfernte Stelle zukommt. Die Ähnlichkeit in der Anordnung der Körperteile bildet gar kein wirklich tiefgreifendes Merkmal für die beiden Tiergruppen, die Bedeutung der radiären Symmetrie ist vielmehr in beiden vermutlich eine völlig verschiedene. Es läßt sich nämlich recht wahrscheinlich machen, daß diese Lagerung nichts anderes darstellt als eine Anpassung an die Lebensweise. Lebt ein Organismus unter Bedingungen, in welchen ihn Reize von allen Seiten gleichmäßig treffen, so wird sein Körper nach allen Richtungen gleichartig ausgebildet sein. Dies finden wir beim *Volvox* und bei seinem Abbild, der Blastula. Bildet sich an dieser eine Seite durch stets gleichmäßige Richtung des Schwimmens als bevorzugt aus, so erhalten wir eine Hauptachse, die mit dieser Hauptrichtung zusammenfällt. Diesen Fall verwirklicht uns die Gastrula und in ähnlicher Weise der festsitzende Polyp. Für die festsitzenden Tiere ist diese allseitige Symmetrie das Gegebene, denn wenn sie den Mund am Ende der Hauptachse nach oben richten, so ist von den übrigen Körperachsen keine biologisch bevorzugt. Das gleiche gilt, wie leicht einzusehen, auch für die frei im Wasser schwebenden Medusen. So mußten sich bei diesen Tieren alle neu entstehenden Differenzierungen allseitig symmetrisch um die Hauptachse anordnen.

Kann man hier die radiäre Symmetrie als eine ursprüngliche

Einrichtung von der Entstehung der Metazoen her verfolgen, so ist doch einleuchtend, daß die gleiche Organisation unter Umständen als eine sekundäre Anpassung auftreten kann, wenn Organismen höherer Differenzierung nachträglich wieder unter Bedingungen kommen, die ihnen die Reize von allen Seiten gleichmäßig zuführen. Dies geschieht immer dann, wenn ursprünglich frei bewegliche Formen wieder zur festsitzenden Lebensweise übergehen. Das ist offenbar bei den Echinodermen der Fall gewesen. Ein sehr interessanter Hinweis darauf liegt in der Gestaltung ihrer Larven. Aus dem Ei der Echinodermen entwickelt sich zunächst eine Blastula und daraus durch Einstülpung in der ganz typischen Weise eine Gastrula. An dieser entsteht außer der Blastoporusöffnung bald noch eine zweite dadurch, daß das blinde Ende des eingestülpten Urdarms sich der Ektodermwand anlegt und an dieser Stelle ein Durchbruch erfolgt, der die Anlage des späteren Mundes darstellt (vgl. Taf. VII, Fig. 4). Um den Körper der Larve entwickeln sich an besonders kräftig ausgebildeten Epithelzellen Wimpern, die als Streifen den Körper umziehen. Sie weisen eine ausgesprochen zweiseitig-symmetrische Anordnung auf. Der Körper streckt sich in die Länge, und in seinem Inneren bildet sich aus eingewanderten Mesenchymzellen eine Skelettanlage in Form von Kalkstäben, die gleichfalls keine Spur von radiärer Symmetrie aufweisen, sondern ausgesprochen bilateral sind (Fig. 9 sk). So entstehen Formen, die frei umherschwimmen und mit den ausgebildeten Tieren nicht die geringste äußere Ähnlichkeit haben. Durch einen sehr verwickelten Umformungsprozeß, eine Metamorphose, entsteht erst aus der Larve das ausgebildete Tier, eine Erscheinung, die weit im Tierreich verbreitet ist und der wir hier zum ersten Male begegnen. Diese definitive Form senkt sich nun auf den Grund des Meeres herab und führt dort ein träges, wenig bewegliches Leben. Aber sie ist nicht festgewachsen, wir erkennen also noch keinen Grund für das Auftreten der radiären Symmetrie. Hier ist es nun von größter Bedeutung, daß uns die Wissenschaft von den Tierarten früherer Erdperioden, die Paläontologie, lehrt, die ursprünglichsten Formen der Echinodermen, von denen uns Reste überliefert sind, seien festsitzend gewesen. Schon in den ältesten Schichten der versteinierungshaltigen Erdrinde finden wir zahlreiche Vertreter von Stachelhäutern, und diese waren ohne Ausnahme mit einem gegliederten Stiel, der von der aboralen Körperseite ausging, am Grunde festgewachsen. In den mittleren Erdperioden, Trias und Jura, treten diese festsitzenden Formen, die **Haarsterne** oder **Seelilien**, *Crinoidea*, stellenweise in ungeheuren Massen auf. Es war eine der aufregendsten Überraschungen der modernen Tiefseeforschung, als sie uns zeigte, daß an manchen Stellen der Erde auch heute noch in größeren Meerestiefen diese Seelilien in riesigen Mengen, zu ganzen Wiesen zusammengedrängt, leben, zum Teil in Arten, die vollkommen mit den versteinert gefundenen

übereinstimmen. Ein solcher Crinoid (Fig. 8) zeigt nun in den Hauptzügen seiner Organisation durchaus radiäre Symmetrie, an einigen Punkten kann man aber noch deutlich Reste einer anderen Anordnung der Organe erkennen. So beschreibt der Darm eine Spirale, die von dem nach oben gerichteten Munde zu dem gleichfalls auf der Oberseite gelegenen After herumführt (Fig. 8 *m, a*). Dies ist eine ganz offenbare Folge der Festsetzung. Sicher lag der After ursprünglich auf der aboralen Seite. Setzte sich das Tier nun mit dieser fest, so mußte der After herumrücken und schließlich auf die Mundseite gelangen; die so entstandene Spiralkrümmung des Darmes ist ein charakteristisches Merkmal sehr vieler festsitzender Tiere.

Der Körper einer Seelilie ist kelchförmig und bedeckt von mehreren Reihen regelmäßig symmetrisch gestellter Platten. Von ihm gehen fünf Arme ab, die sich noch mehrfach gabeln können. Auf der Oberseite dieser Arme verläuft eine Rinne, in der die Ambulakralfüßchen (Fig. 8 *af*) liegen. Ein besonderes Kennzeichen der Crinoiden sind Seitenzweige der Arme, die Pinnulae (Fig. 8 *p*), in denen die Geschlechtszellen heranreifen.

Unter den heute lebenden Haarsternen ist die bekannteste Form, *Antedon*, dadurch merkwürdig, daß sie im erwachsenen Zustande nicht mehr festsitzend ist. Ihre Larvenentwicklung durchläuft Stadien, in denen ein richtiger Stiel ausgebildet wird, später wirft das Tier ihn ab und behält an seinem aboralen Pol nur einen Kranz von hakenartig gebogenen Fortsätzen, mit denen es sich an Felsen, Wasserpflanzen, Polypenkolonien u. a. festklammern kann. Zwischendurch vermag es durch rhythmisches Schlagen seiner langen Arme auch zu schwimmen. So sehen wir hier in der Entwicklung einer einzelnen Art den Übergang vom festsitzenden zum freilebenden Zustande. Einen ähnlichen Weg haben nun vermutlich in der Stammesentwicklung die übrigen Gruppen der Echinodermen eingeschlagen. Sie nehmen bei der Bewegung die umgekehrte Stellung ein wie die Haarsterne; der Mund und damit auch die Furchenseite der Arme ist dem Boden zugekehrt. In dieser Weise kriechen die **Seesterne**, **Asteroidea**, und die ihnen biologisch nahestehenden **Schlangensterne**, **Ophiuroidea**, langsam über den Boden hin. Die letzteren haben ihren Namen von der schlangenartigen Beweglichkeit ihrer langen Arme, die scharf von der kleinen Körperscheibe abgesetzt sind und sich dadurch auszeichnen, daß die Armrinne völlig von Skelettplatten überdacht ist.

Während bei diesen Formen die fünfstrahlige Symmetrie ohne weiteres an den Armen zu erkennen ist, muß man bei den **Seeigeln**, **Echinoidea**, genauer zusehen. Dort bildet der Körper eine Kugel mit abgeplatteter Unterseite. Man kann sich ihr Zustandekommen am leichtesten so vorstellen, daß sich die Arme eines Seesterns nach oben umgeschlagen haben und mit den Spitzen verwachsen sind. Man versteht dann ohne weiteres, warum über den Körper des Seeigels fünf Doppelreihen von durchbohrten

Platten verlaufen, zwischen denen fünf andere undurchbohrte Doppelreihen liegen. Die ersteren, die Ambulakralplatten (Fig. 10 *ap*), dienen zum Durchtritt der Ambulakralfüßchen, sie entsprechen den Platten im Grunde der Armrinnen des Seesterns; die Interambulakralplatten (Fig. 10 *ip*) entsprechen den Randplatten des Seesternarmes, die sich aneinandergelegt und verbunden haben. So wird es auch nicht wunderbar erscheinen, daß wir den Augen (Fig. 10 *au*), die bei den Seesternen an der Spitze der Arme lagen, hier auf den Ozellarplatten in der Mitte der Oberseite begegnen; dort haben sich ja die Armspitzen vereinigt. Zwischen ihnen liegen die Genitalplatten (Fig. 10 *gp*), die zum Durchtritt der Keimzellen dienen, ebenso interradianal wie bei den Seesternen. Eine dieser Genitalplatten ist besonders groß, es ist die Madreporenplatte. In der inneren Organisation finden wir die gleiche Darmspirale wie bei den Crinoiden, nur macht sie hier eine doppelte Windung und kehrt so wieder zu einer Mündung des Afters auf der aboralen Seite zurück, entsprechend der freibeweglichen Lebensweise.

Unter den Seeigeln finden wir neben der Hauptgruppe, den sog. regulären, auch irreguläre Formen. Sie zeichnen sich dadurch aus, daß Mund und After ihre Lage verändern. Der After rückt aus der Mitte der Oberseite nach dem einen Rande der stark abgeflachten Scheibe, der Mund von der Mitte der Unterseite nach dem entgegengesetzten. Beobachten wir solche Formen im Leben, so erkennen wir, daß ihre Bewegung nicht mehr gleichmäßig nach allen Richtungen erfolgt. Die Tiere schieben ihren flachen Körper durch den Sand so, daß die Mundseite vorangeht. Es findet also ein Kriechen mit bestimmtem Vorder- und Hinterende statt. Offenbar ist diese Änderung der Lebensgewohnheiten die Ursache der Abänderung der Symmetrieverhältnisse geworden, die hier von radiärer zu ausgesprochen zweiseitiger, bilateraler Symmetrie sich umgebildet haben. Noch viel stärker finden wir dies bei der letzten Gruppe der Stachelhäuter ausgeprägt, den **Seewalzen**, *Holothurioidea*. Sie haben einen langgestreckten, gurkenförmigen Körper (Fig. 11), an dessen vorderem Ende die Mundöffnung, am entgegengesetzten der After liegt. Um diese Pole sind die Körperteile nicht in radiärer Symmetrie angeordnet, sondern schon äußerlich läßt sich eine abgeflachte, meist heller gefärbte Bauchseite und eine dunklere, stärker gewölbte Rückenseite unterscheiden. Das Wassergefäßsystem mit seinen Füßchen ist hier stark rück- und umgebildet, es funktionieren von ihm hauptsächlich ein Kranz schlauchförmiger Ausstülpungen, die Fühler (Fig. 11 *f*), die den Mund umgeben. Sie dienen zum Einschaueln nahrungshaltigen Sandes oder zum Fangen kleinster Beutetiere. Die Fortbewegung geschieht weniger durch die rückgebildeten Füßchen, als durch die kräftige Körpermuskulatur, die als starke Ringmuskeln und fünf breite Bänder von Längsmuskeln entwickelt ist. Durch ihre wech-