

Lebenswerdung und Lebenserhaltung.

In gemeinverständlicher Darstellung

von Dr. JOHANNES FURLANI.

I. Lebenswerdung.

Es sind gewissermaßen die höchsten Probleme biologischer Forschung, für die ich in den folgenden Zeilen ein Verständnis anbahnen will. Verfolgt man die Entwicklung der menschlichen Kultur, so wird man finden, daß tausende von Fäden von diesen Problemen zu allen Problemen und Interessen gesponnen sind, die den Menschen seit jeher beschäftigen. Wie entsteht das Leben, oder wie ist es entstanden? Keine zu hoch gespannten Erwartungen über die Antwort, die die Naturwissenschaft hierauf geben kann! Es gab eine Zeit, da man die Urzeugung, so nennt man die Entstehung von Lebendem aus Leblosem für möglich und für wirklich hielt. Die Alten glaubten, das Werden der Organismen stehe unter dem Einflusse der Gestirne. Aristoteles meinte, neue Organismen entstünden aus faulenden Substanzen, die Bildung von Mäusen und Ratten aus dem Nilschlamm wollte man direkt beobachtet haben. Noch heute herrscht in großen Kreisen die Anschauung, das Ungeziefer „entstünde“ aus dem Schmutze oder Unrate. In Vergils Georgika kann man ein Rezept lesen, wie man Bienen macht. Man nimmt ein totes Rind und läßt es verwesen, dann entwickeln sich aus der Fäulnis die Bienen.

Je weiter die Naturbeobachtung fortschritt, desto mehr verlor die Lehre von der Urzeugung an Boden. Da sie mit aller Erfahrung im Widerspruch stand wurde sie von Naturforschern wie Malpighi, Swammerdam, Reaumur bekämpft.

Als in der ersten Hälfte des vorigen Jahrhunderts die Zellularanatomie ihre ersten Triumphe feierte, da lebte die Lehre von der Urzeugung wieder auf und seither tobt ein erbitterter Kampf um dieselbe. Der Naturforscher Schwann hatte eine Hypothese aufgestellt, nach welcher die Bildung der niedersten Lebewesen, der Zelle in der leblosen Substanz nach Art eines Kristallisationsvorganges vor sich gehe. Durch Niederschlag eines Urbildungsstoffes entstehe der Nucleolus, das Kernkörperchen, um dasselbe herum eine Membran. Dann trete zwischen Nucleolus und Membran durch Osmose Flüssigkeit ein. Dies die Bildung des Kernes. Indem dann in einem weiteren Zwischenraume um den Kern wieder eine Membran entsteht und zwischen diese und den Kern Flüssigkeit diffundiert, entstehe Plasma und Zellwand. Eine Stütze schien diese Anschauung zu finden durch die Beobachtung, die Traube über die Entstehung sogenannter künstlicher Zellen machte. Diese schien den Schlüssel zu einer mechanischen Erklärung der Entstehung des Lebens zu bieten. Bringt man einen Krystall von Kupferchlorid in eine Lösung von gelbem Blut-

laugensalz so umkleidet sich der Krystall mit einer rundum geschlossenen Membran von Ferrocyan kupfer. Das Wachstum erfolgt dadurch, daß zwischen die aufs engste angelagerten Molekel des Ferrocyan kupfers durch die endosmotische Kraft des Kupferchlorids Wasser in die Haut eindringt und deren Molekel durch den so hervorgerufenen osmotischen Druck so weit auseinanderschiebt, worauf neue Molekel zwischen die vorhandenen eingelagert werden. Dieses Wachstum nennt man zum Unterschiede von dem durch einfache Aufeinanderlagerung von Schichten (Apposition) bei der Bildung von Krystallen statthabendem Wachstum, Intussusceptions-wachstum. Seither hat man ähnliche Wachstumserscheinungen in den verschiedensten Lösungen beobachtet. Leduc sah, wie gesetzmäßig angeordnete Reihen von „Zellen“ sich bildeten, die bald Algenfäden bald Vorkernen von Moosen ähnlich sahen; von einer Zellwand begrenzt, zeigten sich Strukturen, ähnlich denen des Plasmas, ja sogar ein Kern. Jedoch eine tiefe Kluft trennt alle diese Gebilde von wirklichen Zellen — sie sind leblos. —

Zwei wichtige Erkenntnisse haben allerdings auch diese Versuche gefördert: Daß die lebende Substanz nach physikalisch-chemischen Prinzipien „baut“ und daß das Intussusceptionswachstum nichts der belebten Materie eigenes ist sondern auch in der anorganischen Natur stattfindet.

Am längsten konnte sich die Lehre von der Urzeugung im Formenkreise der sogenannten niedersten Organismen halten; so im Bereich der Eingeweidewürmer (Trematoden, Cestoden, Nematoden), der Aufgußtierchen (Infusorien) und der Bakterien. Die klassischen Arbeiten v. Siebolds und R. Leuckarts auf dem Gebiete der Parasitenkunde, Ehrenbergs über Infusorien und Pasteurs über Bakterien erwiesen die Unhaltbarkeit dieser Lehre auch für diese Gebiete. Auch mit Hilfe des vor wenigen Jahren von Siedentopf und Zsigmondy konstruierten Ultramikroskopes mit dem Körper von der Größe der Goldflitterchen, die die Rotfärbung des Rubin-glasses bedingen, ersichtlich gemacht werden, konnte in Hinsicht auf die Urzeugung nicht das geringste gesehen werden. — Schließlich sollte noch das allgewaltige, geheimnisvolle Radium zum Erzeuger des Lebens werden. Dem Engländer Burke gelang es vor zwei Jahren in sterilisierter Bouillon durch Radiumbehandlung Veränderungen zu erzielen; vor allem wurde eine Trübung der Gelatine in der Gestalt von Bläschen sichtbar, wie sie in Bakterienkulturen aufzutreten pflegt. Burke hielt dies für Lebenserscheinungen des verwendeten Eiweißes. Ramsay, der Radiumforscher machte jedoch auch diese Hoffnungen zu nichts. Die Emanation des Radiums hatte das Wasser der Bouillon in Wasserstoff und Sauerstoff zerlegt, daher die in Erscheinung getretenen Gasbläschen, das Eiweiß selbst wurde durch die Radiumemanation koaguliert und umgab die Gasbläschen. Diese Gasbläschen vermehrten sich und wuchsen bei fortschreitender Gasentwicklung begreiflicher Weise, was Burke für Wachstum des entstandenen Organismus hielt. Die Erscheinung verschwand jedoch, sobald die Gelatine ins Wasser gebracht wurde.

Auf dem Boden exakter Naturforschung stehend können wir also behaupten, daß Lebendes nie aus Leblosem wird, weil dies nie gesehen wurde. Da aber das physikalische und chemische Geschehen durch ewige, eherner Gesetze geregelt ist, so müssen wir schließen, daß eine Urzeugung nie stattgehabt hat. Zufolge dieser Erkenntnis hält H. E. Richter das Dasein organischen Lebens für ewig. Da aber unser Planet nicht von

Ewigkeit her ist, so stellt sich Richter und mit ihm Lord Kelvin vor, daß das Leben auf Meteoriten zur Erde kam, denn in diesen Meteoriten ist Kohle nachweisbar. Andererseits können Bakterien kleinster Größe bis in die obersten Luftschichten emporgewirbelt werden und werden dann in den Weltraum hinausgeschleudert. Außer der leblosen Materie kreist nach dieser Anschauung im Weltraum auch lebende Substanz. Diese Anschauung vertritt auch neuerdings der schwedische Chemiker Arrhenius. Wie werden aber die Bakterien der Gravitationswirkung entzogen? Arrhenius nimmt zu diesem Zwecke an, daß die Abstoßung durch eine entgegengesetzte elektrische Ladung der Organismen im Verhältnis zur umgebenden Luft erfolge. Maxwell hat den Strahlungsdruck des Sonnenlichtes entdeckt. Dieser soll nun die Fortbewegung der Bakteriensporen im Weltraum bewerkstelligen. Die Sporen erlangen bald eine große Geschwindigkeit und gelangen schließlich in die Gravitationsphäre eines anderen Planeten, wo sie dann niedersinken und denselben beleben. So soll auch das Leben auf unsere Erde gekommen sein. Ich schließe mich da Reinkes Anschauung an, der mit Recht sagt, daß die Bakterienkeime bei ihrer Geschwindigkeit beim Anprall an den Sauerstoff der Luft verbrennen müßten.

Wir können also alle Versuche, den Ursprung des Lebens zu erklären, als gescheitert ansehen. Der Chemie der Zukunft wird es ja zweifelsohne gelingen, das hochkomplizierte Eiweißmolekül künstlich aufzubauen, eines aber wird ihr nie gelingen, dieser toten Geburt Leben einzuhauchen, oder wie sich O. Hertwig ausdrückt: „einen Protoplasma-körper zu bilden wäre doch immer noch ein ähnliches Beginnen wie der Versuch Wagners, einen Homunkulus in der Phiole auszukristallisieren.“

Es könnte nun vielleicht die Frage gestellt werden: Haben wir denn überhaupt eine Ursache, einen Unterschied zu setzen zwischen Lebend und Nichtlebend? Im Hinblick auf O. Lehmanns große Entdeckungen an flüssigen Kristallen wäre die Frage gewiß berechtigt. In seiner „generellen Morphologie“ und in den „Lebenswundern“ hat ja E. Haeckel eine Verwandtschaft von Kristallen und niedrigsten Lebewesen behauptet. Ich will nun im folgenden Lehmanns Beobachtungen in Kürze darlegen.

Man bringt auf einen Objektträger etwas Paraazoxyzimtsäureäthylester, benetzt mit Monobromnaphtalin, bedeckt nun das Präparat mit dem Deckglase und erhitzt bis zur Auflösung. Nun beobachtet man unter dem Mikroskope, während die Temperatur durch eine untergesetzte Flamme so reguliert wird, daß die flüssigen Kristalle eben zur Ausscheidung kommen. Was man da zu sehen bekommt, ist ein tolles Durcheinander, eine unendliche Mannigfaltigkeit von Formen, Bakterien, Würmern; einfache und doppelte Kugeln, Schlangen, Rosetten, alles sich bewegend, dann wieder zusammenzuckend; das Wachstum dieser Gebilde ist ein bedeutendes, sodaß bald alles Bildungsmaterial aufgezehrt ist. Was die innere Beschaffenheit dieser Kristalle anbetrifft, so sind sie massiv, wovon man sich durch Zerquetschen überzeugen kann. — (Fig. 1, 2, 3.)

Betrachtet man eine heiße, gesättigte Lösung in Wasser von alpha-naphtylaminsulfosaurem Natrium, so erscheinen beim Abkühlen unter dem Mikroskop zunächst großblättrige Kristalle. Nach einiger Zeit erscheinen dann viel kleinere Formen. Befinden sich um einen solchen in Bildung begriffenen Kristall, Kristalle der größeren, schwächer lichtbrechenden Form herum, so verschwinden dieselben mit der Zeit, während ein dunkler

Hof um die stärker lichtbrechende Form erscheint, die größere Form ist von der kleineren aufgezehrt worden. Bei einer Reihe von Substanzen konnte Lehmann eine Vereinigung von zwei Kristallen zu einem Individuum, ein Zusammenfließen beobachten; so bei flüssigen Jodsilberkristallen. Wird einem solchen Präparat ein Tröpfchen Olivenöl beigelegt, so fließen, so oft zwei Kristalle zusammenkommen, dieselben wie zwei Flüssigkeitstropfen zusammen. (Fig. 4.) Dieselbe Erscheinung ist bei Ammoniumoleat zu beobachten, das mit etwas Alkohol vermischt wird. Es wird das Präparat erwärmt; beim Abkühlen werden Doppelpyramiden sichtbar, die sich lebhaft bewegen und beim Aufeinandertreffen von zwei Individuen verschmelzen. (Fig. 5.) Derartige Konjugationsercheinungen sind auch bei Kristallen von Paraazoxybenzoesäureäthylester gut zu sehen. Hier können auch mehr als zwei Individuen sich vereinigen. Andererseits bilden sich echte Kristallzwillinge, sobald zwei Individuen zusammentreffen. (Fig. 6.) Auch bei Paraazoxyzimtsäureäthylester mit wenig Monobromnaphthalin in stark verdünnter Lösung kann man Konjugationsvorgänge beobachten. Im Präparat erscheinen kugelige Gebilde mit einer Abplattungsstelle, von der ein Riß ins Innere zu führen scheint, der jedoch auf Lichtbrechung beruht, ebenso der dunkle Hof um die ganze Kugel. (Fig. 7.) Beim Aufeinandertreffen von zwei derartigen Gebilden in entsprechender Stellung fließen sie wie zwei gewöhnliche Kristalltropfen zusammen. Treffen die Abplattungen nicht zusammen, so entsteht ein Tropfen mit zwei Abplattungen. Fließen viele Tropfen zusammen, so entstehen Kugeln mit Fazetten auf ihrer Oberfläche oder Rosetten. (Fig. 8.) Treffen zwei Kugeln mit ihren Abplattungen aufeinander, so entsteht eine Doppelkugel, sie verschmelzen also nicht. (Fig. 9.)

Tritt nun bei einer solchen Doppelkugel Wachstum ein, so schiebt sich zwischen die beiden Kugeln ein sie verbindender Zylinder ein. (Fig. 10.) Dieser kann sich durch fortgesetzte Substanzaufnahme zu einer langen Schlange ausdehnen, welche von gleichmäßiger Dicke, der der halbkugelförmigen Enden gleich sein kann. (Fig. 11.) Nach Lehmann beruht die Teilung, die an diesen Gebilden zu beobachten ist, darauf, daß, da die Anordnung der Molekel eine labile ist, die ursprüngliche Zwillingsanordnung sich wieder herzustellen sucht, und dort, wo dies geschieht, bricht der Faden auseinander. (Fig. 12.) Die kriechende Bewegung solcher Stäbchen und Schlangen erklärt Lehmann dadurch, „daß der Hof minder übersättigter Lösung, der sich um den Kristall herum befindet, wie andere wachsende Kristalle, etwa durch eine ruckweise Bewegung der Flüssigkeit in der Lösungsrichtung verschoben werden kann, so daß die Oberflächenspannung an einem Ende infolge der größeren Konzentration eine andere wird als am anderen.“ Es tritt eine Kontaktbewegung ein, infolge welcher sich die Flüssigkeit und der Kristall beide in entgegengesetzter Richtung an einander fortbewegen. Krümmungsbewegungen solcher Kristalle kommen dadurch zustande, daß der Hof senkrecht zur Längsachse des Kristalls verschoben wird und auf der Seite des größeren Konzentrationsgefälles das stärkere Wachstum einsetzt; bei gleichzeitiger Längs- und Querverschiebung des Hofes verwandelt sich die krümmende Bewegung in eine schlängelnde. —

Wir sehen also tatsächlich Ähnlichkeiten im Leben der Kristalle und in dem der Organismen. Schon die Tatsache des Wachstums, ist eine Fähigkeit, die amorphen Körpern nicht zukommt sondern nur Kristallen

und Organismen. Kristalle und Organismen haben ferner die Fähigkeit der Regeneration, das ist die Fähigkeit, durch Verletzung verloren gegangene Teile des Individuums zu erneuern. Der Nahrungsaufnahme der Organismen entspricht bei den Kristallen die Verdrängung einer Form durch eine andere Modifikation derselben Substanz. Ostwald hat mit dieser Fähigkeit einer Substanz, in verschiedenen Modifikationen zu erscheinen, dem sogenannten Polymorphismus, den Generationswechsel der Lebewesen verglichen. Der Vereinigung von zwei Kristallen entspricht die Konjugation der einzelligen Organismen. Der Zellteilung auf biologischem Gebiete entsprechen die oben besprochenen Teilungserscheinungen an Kristallen.

Vergleichen wir also die Vorgänge an flüssigen Kristallen mit den Lebensvorgängen, so finden wir wohl Ähnlichkeiten jedoch keine Gleichheit. Das Kristallwachstum beruht auf Intussuszeption, das ist Aufnahme gleichartiger Molekeln von außen her und Anordnung in einem System. Das organische Wachstum dagegen nenne ich mit Wiesner Evolutionswachstum; das ist ein Wachstum aus innen heraus, bei vollkommener chemischer Umwandlung der von außen aufgenommenen Baustoffe. Wachstum, Konjugation und Teilung der Kristalle beruhen auf der Wirkung von flüssigen Oberflächen, Adhäsion und Kohäsion. Nach R. Brauns Auffassung sind es Entmischungserscheinungen, die das Leben der Kristalle bedingen. Der wachsende Kristall strebt einem Gleichgewichtszustande seiner Substanz zu; der assimilierende Organismus entfernt sich durch die Erzeugung labiler Verbindungen vom Gleichgewichtszustande. Wasmann betont auch mit Recht, daß eine Verarbeitung der Baustoffe für die Lebensbedürfnisse und Lebenszwecke, wie dies die lebende Substanz tut, bei den Kristallen nicht statt hat.

Zwei Weltanschauungen sind es, die da in heißem Kampfe liegen. Die Monismus — die Dualismus. — Es ist die Anschauung E. Haeckels, alle Materie sei lebend in höherem oder geringerem Grade und in diesem Sinne wird von einem Leben der Atome gesprochen. Alle Energie ist also auch Leben und der Tod ist nichts anderes als Degradation von Energie. Von einer Lebenskraft *sui generis*, als letzter Ursache alles Geschehens in einem Organismus wird also abgesehen; der Lebensprozeß ist nur eine Summe von chemischen Umlagerungen, nur eine Kombination von einfachen, auch in der anorganischen Welt sich vollziehenden Elementarvorgängen. Eine bestechende Weltanschauung fürwahr! Jedoch jede Theorie, die wahr, muß Du an ihren Früchten prüfen! Ein einfaches Schulbeispiel nun: Bekanntlich geriet Galvanis Froschschenkel unter dem Einflusse elektrischer Ströme in lebhaftes Zucken. Wie muß man sich als Monist zu dieser Bewegung stellen, war das Leben oder kein Leben? Es ist ein uns immanentes Denkgesetz, daß wir von gleichen Ursachen auf gleiche Wirkungen schließen und umgekehrt. Da sich also der Froschschenkel unter dem Einflusse des elektrischen Stromes ebenso bewegte, wie, da er noch lebte, so folgt daraus, daß elektrische Energie und Lebensenergie ein und dasselbe seien, woran man tatsächlich eine zeitlang glaubte. Um nicht den Eindruck eines Sophisten zu erwecken, muß ich jedoch in der Besprechung dieses Beispiels fortfahren. Man wird mir vor allem vorhalten, daß es sich bei der Lebensbewegung um innere, im Organismus gelegene Ursachen handle, bei der Bewegung infolge von Elektrizität um von außen her mitgeteilte Energie. Mit der Anerkennung einer „inneren

Ursache“ muß sich aber der Monist besiegt ergeben. Vor allem wird er mir zugeben, daß sich in einem lebenden Organismus aufgespeicherte potentielle Energie befindet. Nun einen kleinen Seitensprung ins Gebiet der Physik. Was lehrt uns die energetische Betrachtung des Weltalls?

Was ist alles physikalische und chemische Geschehen? Offenbar Veränderung von Ort, Geschwindigkeit, Richtung der Bewegung, Druck; dabei bleibt die Stoffmenge und Energiemenge gleich. Gehen aber alle diese Veränderungen vor sich, wegen des Erhaltungsprinzips oder trotz desselben? Stände die Welt stille, so würde auch diesem Prinzip und zwar in der einfachsten Form genüge geleistet. Also müssen die Veränderungen trotz dieses Prinzips ablaufen. Alles Geschehen daselbst verläuft im Sinne einer Zerstreuung, und Entwertung von Energie, die Materie strebt einem Gleichgewichtszustande zu. Wie verhält es sich nun mit den Lebenserscheinungen? Gewiß auch jeder Organismus strebt einem Gleichgewichtszustande zu, dem Tode. Ist jedoch hiemit das Leben restlos erklärt? Was lehrt uns ein Stückchen Steinkohle? Daß hier Energie nicht zerstreut sondern aufgespeichert worden ist. Es folgt daraus, daß der Lebensprozeß charakterisiert ist durch Zielstrebigkeit der Substanz in einer dem physikalisch-chemischen Geschehen entgegengesetzten Richtung; daß wir außer dem rein chemisch-physikalischen Geschehen noch ein anderes Geschehen in einem lebenden Organismus finden, das dem Automatismus der Weltentwicklung zuwiderläuft. Zwei furchtbare Gewalten sind es, die da in einem Protoplasma Klümpchen miteinander ringen, es sind die Zielstrebigkeit der unbelebten Materie (Entropie) und die „Lebenskraft“ und dieser Kampf ist das Leben.

Worte, nichts als Worte, hör ichs mir entgegenschallen! Tatsachen! Ich frage darauf: Entstehen organische Kohlenstoffverbindungen gemäß dem Prinzip der Zerstreuung der Energie? Sie können auch außerhalb des Organismus entstehen, wird mir geantwortet, der Chemiker baut sie. Ich frage nun: Tut dies der Chemiker bewußtlos, willenlos? Sind nicht alle Maschinen zur Konzentration der Energie durch Intelligenz und Willen bedingt? Also müssen wir schließen, daß es Intelligenz und Willen sind, die das Entropieprinzip durchbrechen; sie konzentrieren die Energie, die dann jenes furchtbare Weltgespenst, die Entropie wieder zerstreut.

Der Urzeugung einer lebenden Zelle hätte also eine Urzeugung von Energieakkumulatoren vorangehen müssen. Die erste Pflanzenzelle konnte sich ihr Chlorophyll nicht erst bauen, sondern früher mußte das Chlorophyll da sein und dann begann die Pflanze zu leben. Wäre je Chlorophyll durch einen Zufall außerhalb eines lebenden Organismus entstanden, so hätte es sofort wieder zerfallen müssen, da es eine außerordentlich labile Verbindung ist, die nur bei Licht- und Sauerstoffabschluß sich erhält, also auch wieder nur zufolge der Intelligenz und des Willens des Experimentators. Das gleiche gilt überhaupt für Eiweißstoffe.

Es ist also eine Entstehung von Eiweiß aus anorganischer Substanz aus inneren Gründen ein Ding der Unmöglichkeit; folglich muß der Grund außerhalb der leblosen Materie und ihrer Energie gesucht werden. Man vergleicht einen Organismus nicht ungern mit einer Maschine. Von der Existenz einer von Menschenhand gebauten Maschine schließen wir auf die Existenz einer menschlichen Intelligenz und es ist ein Analogieschluß, wenn wir von der Existenz des Lebens auf die Existenz einer kosmischen Intelligenz schließen, die das Leben erschaffen hat. Freilich beweisen wie ein Lehrsatz, läßt sich die Schöpfungshypothese nicht, sie gehört ja nicht

mehr ins Gebiet der positiven Wissenschaften sondern in das der Metaphysik und hier besonders gilt der Satz, daß die Ansicht die wahre ist, die den größten Grad von Wahrscheinlichkeit für sich hat. Kant sagt ja von der metaphysischen Spekulation, daß sie den menschlichen Verstand mit „niemals erlöschenden, aber nie erfüllten Hoffnungen hinhalte.“ Andererseits ist es jedoch Verblendung, die Begreiflichkeit zum Maßstabe von Sein oder Nichtsein zu machen. Hume sei hier zitiert: „Wenn die Wahrheit überhaupt im Bereich menschlicher Fähigkeit liegt, so muß sie sicher tief und verborgen liegen.“

II. Lebenserhaltung.

Der Naturforscher hat also das Leben als etwas Gegebenes zu betrachten. Die Organismen entstehen nicht wie die Kristalle aus Stoffen, die ihresgleichen sind und es lautet also das biogenetische Grundgesetz allgemeinsten Fassung: Lebendes entsteht aus Lebendem. Schon 1651 hatte W. Harvey den Satz aufgestellt: *Omne vivum ex ovo*. Dem heutigen Stande der Wissenschaft entsprechend müßte dieser Satz die obige Fassung erhalten. 1858 sprach dann Virchow den zweiten Fundamentalsatz der Biologie: *Omnis cellula ex cellula*. Es erhält sich also das dem Erdballe gegebene Leben dadurch fort, daß von einem vorhandenen Organismus Teile abgegliedert werden, im einfachsten Falle eine Zelle, die dann als selbständiger Organismus ein Leben beginnen. Dies ist das Wesen und die einfachste Form der Fortpflanzung. Wir nennen diesen Fortpflanzungsmodus den vegetativen zum Unterschiede vom sexuellen, der aber nur eine kompliziertere Form dieses einfacheren darstellt, ein prinzipieller Gegensatz, das sei gleich hier gesagt, besteht nicht. Es möge hier noch ein Wort vorangeschickt werden über die Betrachtungs- und Erklärungsweise der lebenden Natur. Man kann einen Organismus, ein einzelnes Organ unter zwei Gesichtspunkten betrachten. Die eine Betrachtungsweise ist die, den anorganischen Naturwissenschaften entlehnte, indem wir zu einer „Wirkung“, der Form, Anatomie und Funktion eines Organs, die „Ursache“, die Bedingungen für das Zustandekommen dieser Organisation zu finden suchen. Eine andere Betrachtungsweise ergibt sich unter dem Gesichtspunkte der Zielstrebigkeit, oder wie die Biologen sie nennen, die teleologische; es gibt Naturforscher, die diese Betrachtungsweise der Natur verwerfen, da nicht alles in der Natur zweckmäßig eingerichtet sei und weil der Begriff der Zielstrebigkeit etwas Unerklärliches, um nicht zu sagen Mystisches enthalte. Wie ich jedoch im ersten Abschnitte auseinandergesetzt habe, zeigt ja bereits die anorganische Materie eine Zielstrebigkeit und man wird doch andererseits zugeben müssen, daß jedem Lebewesen das Streben nach Erhaltung der Art und Erhaltung des Individuums immanent ist. Ob zur Erreichung dieses Zieles vom Organismus der richtige Weg eingeschlagen wird, ist eine andere Frage. Zweckmäßigkeit und Zielstrebigkeit ist nicht das Gleiche. Das bekannte Beispiel von der Motte, die ins Licht fliegt, ist ein Beweis für die Richtigkeit der teleologischen Erklärungsweise und nicht gegen dieselbe. Die ausschließlich physikalisch-chemische Betrachtungsweise ist, wie eben auch eine rein teleologische, einseitig, die erstere betrachtet nur den Mechanismus des Geschehens, die zweite die auf jenen einwirkende Triebkraft, die Psyche, wenn es auch eine solche elementarster Art ist. Betrachten wir nun den Vorgang der Zellteilung, den

einzigsten Modus, durch den neues Leben entsteht, sei es, daß nach erfolgter Trennung der Elemente jede Zelle ein eigenes dynamisches System darstellt, wie bei den Einzelligen, sei es, daß die Zellen im Verbands bleiben und nur eine Arbeitsteilung erfolgt. Bei dem so komplizierten Bau der Zelle ist es begreiflich, daß im Sinne einer vollkommen gleichmäßigen Teilung, der Spaltung eines jeden Plasmas, der Bausteine der Zelle, auch der Mechanismus der Zellteilung ein sehr komplizierter ist; zuerst erfolgt bekanntlich Aufteilung der Zellzentrale, des Kernes und dann des Cytoplasmas.

Dieser Teilungsvorgang ist gewiß nicht ein Vorgang *sui generis* der lebenden Substanz, wie oft behauptet wurde. Es ist oben darauf hingewiesen worden, daß zur Zellteilung eine Analogie in der Kristallteilung gegeben ist. Diesen Mechanismus benützt die lebende Substanz zum Zwecke der Schaffung neuen Lebens, ein anderer Vorgang ist bei der Unmöglichkeit der Urzeugung schlechthin undenkbar.

Bei vielen Pflanzen ist die vegetative Fortpflanzung die einzige Form einer gesetzmäßigen Fortpflanzung; für die Einzelligen die einzige Form der Vermehrung, da durch die sexuelle Fortpflanzung eine Verminderung der Anzahl der zu einer Spezies gehörenden Individuen eintritt. Nach einer Periode des Wachstums teilt sich das Plasma der Zelle nachdem eine Querwand in derselben gebildet worden, in zwei Parteien, die aus der alten Zellwand austreten und sich mit je einer neuen umgeben. (Bakterien und viele einzellige Algen.) Bei den mehrzelligen Algen und Pilzen erfolgt die vegetative Vermehrung durch die Bildung von Sporen. Diese können durch Abschnürung der das Ende von Zellfäden bildenden Elemente oder aber in besonderen Zellen entstehen, deren Inhalt in Portionen zerfällt. Jede Partie umgibt sich mit kräftiger Membran nachdem sie aus der gemeinsamen Mutterzelle, dem Sporangium ausgetreten ist. Bei den im Wasser lebenden Formen tragen die Sporen Geißeln und wir nennen sie, da sie selbst beweglich sind, Zoosporen. Die Flechten pflanzen sich durch sogenannte Soredien fort. Es lösen sich Stückchen von der Alge, die mit dem Pilze bekanntlich symbiotisch lebt, was ja den Flechtenkörper ausmacht, aus dem Zellverbände, werden dicht von Pilzfäden umwachsen und gelangen dann ins Freie wo sie einem neuen Thallus das Leben schenken. Bei den Moosen lösen sich Zellfäden ab oder es entstehen Wucherungen an der Pflanze, die sich dann als Brutknospen abheben; auch ganze Blätter können diesem Zwecke dienen. Bei Farnen (*Asplenium*) bilden sich vollkommene neue Pflanzen auf alten Wedeln, die sich von diesem loslösen und so ein selbständiges Leben beginnen. Ähnliche Verhältnisse finden wir auch bei Phaeerogamen. Bei Bryophyllum werden in den Einkerbungen des Blattes Brutknospen angelegt. Bei Ablösung des Blattes entwickeln sich daraus junge Pflanzen. In anderen Fällen sind es Sprosse, die sich von der Mutterpflanze losrennen und selbständig werden, wir nennen sie Ausläufer. Sie bilden dann Wurzeln und beblätterte Triebe aus. (Erdbeere.) Hierher gehören auch die Kartoffelknollen. Bei *Lilium bulbiferum* entstehen in der Achsel der Laubblätter Brutknospen bei anderen Zwiebelgewächsen (*Hyacinthus*) solche in der Achsel der Zwiebelschuppen. Die Erscheinung, daß in Blütenständen statt Blüten Brutknospen angelegt werden (*Poa bulbosa*) bezeichnen wir als Viviparie. Auch im Tierreich ist die vegetative Vermehrung eine allgemein verbreitete Erscheinung. (Polypen, Spongien, Turbellarien, Anneliden, Bryozoen, Tunicaten.) Sie ist abhängig von der Regenerationsfähigkeit des Organismus. Bei den Vielzelligen geht der neue Organismus aus den entsprechenden Geweben des Muttertieres hervor, in denen Teile neuerdings embryonalen

Charakter angenommen haben. Bei den Salpen erfolgt die Knospung an einem Fortsatze des Körpers, dem Stolo prolifer.

Das Problem der sexuellen Fortpflanzung hat zu allen Zeiten die Geister beschäftigt. Der großen Menge ist ja gemeiniglich nur die Sexualität der höheren Tiere bekannt. Auch Aristoteles stand auf dem Standpunkte und er kam zum Schlusse, daß nur frei beweglichen Organismen eine Sexualität zukomme, denn nur bei diesen können die Geschlechter einander aufsuchen und sich vereinigen. Er sprach also festsitzenden Tieren und Pflanzen die Sexualität ab. Doch ist hervorzuheben, daß schon die Babylonier die Bedeutung des pflanzlichen Pollens kannten. Wie Herodot erzählt, banden sie die „Frucht“, gemeint sind die männlichen Blütenstände, solcher Palmen an weibliche Exemplare, damit die Datteln sich entwickelten. Das ganze Mittelalter huldigte der Anschauung des Aristoteles. Eine Änderung trat erst mit dem Erscheinen des Werkes des Tübinger Botanikers Camerarius: *de sexu plantarum epistola* (1694) ein. Seine Untersuchungen in dieser Frage sind gleichzeitig die erste experimentelle Arbeit auf biologischem Gebiete.

Er nahm Pflanzen mit eingeschlechtigen Blüten wie *Ricinus*, *Zea*, beseitigte den männlichen Blütenstand und konnte so nachweisen, daß die also verbliebenen weiblichen Blüten keinen Samen bildeten. Freilich, wie der Pollen die Samenbildung veranlasse, davon hatte man keine Ahnung, denn auch auf zoologischem Gebiete war man über die Wirkungsweise des Spermas völlig im unklaren. Wohl waren die Samenfäden bekannt und wegen ihrer Beweglichkeit und wurmförmigen Gestalt meinten die einen, der neue Organismus entstehe aus dem Sperma, die anderen dachten an eine Beeinflussung des Eies durch Exhalationen des Spermas. Im Jahre 1823 entdeckte dann Amici, daß die auf die Narbe des Stempels gebrachten Pollenkörner keimen und der so entstandene Pollenschlauch durch den Griffelkanal in den Fruchtknoten wächst und die daselbst befindlichen Samenanlagen zur Weiterentwicklung reizt.

Da man nun Staubgefäße und Stempel bei den Kryptogamen nicht fand, so war man lange im Zweifel, ob auch hier ein Sexualismus vorkomme. Hofmeister gelang es 1849 nachzuweisen, daß den Staubgefäßen und dem Stempel der Phanerogamen, bei den Moosen und Farnen Antheridien und Archegonien entsprechen.

Man kannte schon lange diese Gebilde, war sich jedoch über ihre Bedeutung unklar. Hofmeister wies nach, daß die den Antheridien entströmenden Spermatozoiden (Samenfäden) auf Archegonien gebracht, die im Grunde der letzteren liegende Eizelle zur Entwicklung anregen.

Thuret wies 1854 für den Brauntang (*Fucus*) nach, daß er Eier ausbildet, die von den Spermatozoiden desselben umschwärmt werden und sich darauf weiterentwickeln. Hatten diese Entdeckungen das Vorkommen von Sexualität im ganzen Pflanzenreich nachgewiesen, so war doch das Wesen der sexuellen Fortpflanzung noch vollkommen unklar. Da machte 1856 Pringsheim eine Beobachtung, die den Ausgangspunkt bilden sollte für alle späteren Forschungen in dieser Richtung. Er untersuchte die Grünalge *Oedogonium*. Diese Alge bildet Eier und Spermatozoiden aus. Pringsheim konnte nun sehen, wie die Spermatozoiden, die Geißeln besaßen, sich zu den Eiern hinbewegten, daß ein Spermatozoid schließlich in das Ei eindrang, die beiden Plasmakörper miteinander verschmolzen und so aus den zwei Zellen eine ward. Auf zoologischem Gebiete stellte dann 1875 O. Hertwig für den Seeigel das gleiche Verhalten fest. Hier konnte auch die zelluläre

Natur der Geschlechtsprodukte leicht erkannt werden. Das Ei besteht aus körnigem Plasma mit einem bläschenförmigen Kerne darin. Am Spermafaden, den man lange für einen parasitischen Organismus hielt, unterscheidet man einen Kopf, den vorderen, dicken Teil, der fast ausschließlich aus dem Zellkerne besteht; darauf folgt ein kurzes Mittelstück und auf dieses endlich der bewegliche Schwanzfaden, der die Bewegung des Spermatozoons vermittelt. Bringt man nun ein Ei in Seewasser, in dem sich Spermatozoen befinden, so streben dieselben der Eizelle zu. Diese wölbt nun einem Spermatozoon einen sogenannten Empfängnishügel entgegen und umfließt dann Kopf und Mittelstück des Samenfadens. Ist ein Spermakörper also eingedrungen, so bildet das Ei sofort eine derbe Membran um sich aus, die das Eindringen weiterer Spermafäden verhindert. Die folgenden Vorgänge sind in den Figuren 13—19 dargestellt.

Um den ins Ei eingetretenen Spermakern ordnet sich das Eiplasma in einer Strahlenfigur an. Der Spermakern wandert umgeben von dieser Plasmabildung zum Eikern hin und verschmilzt mit ihm. Wir finden schließlich eine Plasmamasse mit einem Kern; es ist der einzellige Embryo, der nun ganz regelmäßige Zellteilungen eingeht und darin besteht die Embryonalentwicklung. Wir haben also die Mechanik der Befruchtung kennen gelernt aber noch lange nicht ihr Wesen. Zunächst ergibt sich die Frage, worin sich die männliche und die weibliche Keimzelle unterscheiden und was dieselben zu einer Vereinigung treibt. Betrachtet man die beiden Geschlechter bei höheren Tieren so muß fürwahr der Gegensatz zwischen männlich und weiblich groß erscheinen. Bei hochentwickelten Pflanzen findet man jedoch auf ein und demselben Individuum männliche und weibliche Geschlechtsorgane, wir nennen solche Organismen Zwitter. Auch im Tierreich finden wir Zwitter: Die Schwämme, Rippenquallen, Blutegel, Saug- und Plattwürmer, viele Schnecken, Tunicaten. Zwitter gibt es unter den Fischen, die Kaulquappen zeigen deutliche Anlagen beider Geschlechtsorgane, ja selbst beim Menschen sind in der Embryonalanlage beide Geschlechter vorhanden. Die männlichen und weiblichen Geschlechtszellen sind aber in allen diesen Fällen höchst verschieden. Bei den einfachsten Pflanzen und Tieren existiert dieser Gegensatz nicht; es sind hier gleichartige Zellen, die sich vereinigen. Man nennt sie Gameten und nennt diese Form des Sexualismus, Isogamie. Das Vereinigungsprodukt von zwei solchen Gameten heißt Zygote.

Die Gameten wieder können unbeweglich oder beweglich sein. Bei Arten mit ruhenden Gameten können nur jene Zellen kopulieren, die zufällig infolge ihrer Wachstumsrichtung aufeinandertreffen, während die schwärmenden Gameten zufolge der Bewegungsfähigkeit einander zustreben können. Beispiele hierfür bieten Algen und Pilze. — Der erste Schritt auf dem Wege zur Heterogamie ist uns durch das Verhalten von *Spirogyra*, einer Grünalge gegeben. Bei manchen Arten dieser Gattung (*inflata*) gibt es Fäden mit größeren Zellen und zahlreichere mit kleineren Zellen. Die letzteren nun sind es, die Kopulationsschläuche treiben, welche dann ihren Inhalt in den Faden mit größeren Zellen ergießen. Es ist also hier eine Zelle die empfangende, die andere die gebende und man kann erstere als weiblich, letztere als männlich bezeichnen. Bei manchen Konjugaten (*Sirogonium*, *Dicranophora*) ist dieses Verhältnis noch stärker ausgeprägt. Aber auch Algen mit beweglichen Schwärmern zeigen Heterogamie. Sie sind durch Größe und Gestalt verschieden (*Bryopsis*, *Cutleria*). Die nächst höhere Form des Sexualismus finden wir bei der Alge *Vaucheria*. Sie ist gekennzeichnet durch das Vorkommen einer ruhenden Keimzelle, dem Ei und

beweglichen Keimzellen, den Spermatozoiden. Die eine der beiden Zellen behält also ihre Beweglichkeit bei, ja sie vergrößert sie noch, die andere wird passiv und wird von der aktiven aufgesucht. Dieser Charakter der Geschlechtszellen erhält sich in Tier und Pflanzenreich, die ganze Stufenleiter der Formen hinauf. Ein zweiter Unterschied der Keimzellen liegt, wie schon oben gesagt, in ihrer Größe. Die Körpersubstanz der männlichen wird auf das notwendigste reduziert, während die weibliche reich an Nahrungsdotter ist.

Nun zur Beantwortung der Frage, was denn die Geschlechtszellen zur Vereinigung treibt. Es ist im ersten Teile dieses Aufsatzes darauf hingewiesen worden, daß flüssige Kristalle gleicher Art, sobald sie aufeinander treffen, zu einem einzigen zusammenfließen. Es ist also wohl begreiflich, daß auch chemisch identisches Plasma, das heißt Zellen der gleichen Spezies, bei einer Begegnung sich vereinigen. Es ist nun die einfachste Form der Konjugation als rein chemisch-physikalisches Geschehen aufzufassen, ohne jede biologische Zielstrebigkeit, herbeigeführt durch außerhalb des Organismus liegende Ursachen, bei vollster Passivität desselben. Ich behaupte, daß gelegentliche Konjugation bei allen Organismen vorkommen muß. Die Befunde der letzten Jahre scheinen meiner Anschauung günstig zu sein. In den meisten Lehrbüchern findet man die Angabe, bei Bakterien, Cyanophyten, Myxophyten, fehlten sexuelle Vorgänge. Nun liegen aber für alle eben genannten Gruppen Beobachtungen über Vorgänge sexueller Art seit kurzer Zeit vor. Ich habe die Anschauung, daß es sich da um gelegentliche, „zufällige“ Vorgänge handelt, die im Lebenslauf dieser Organismen noch nicht fixiert sind. Schaudinn hat bei *Bacillus bütschli* Teilung des *Bacillus* mit darauffolgender Verschmelzung beobachtet. Ähnliches sah Borzi bei Nostocaceen (Cyanophyten). Prowazek sah Kernfusionen im Plasmodium von *Plasmodiophora brassicae* (Myxophyten). R. Hertwig beobachtete Konjugation bei *Actinosphaerium* (Radiolarien). Es ist also von dieser Konjugation jene zu unterscheiden, die gesetzmäßig geregelt, stets in der ontogenetischen Entwicklung eines Organismus auftritt, und die der Organismus seinen Zwecken dienstbar gemacht hat.

Das führt uns zur Frage, wodurch denn die Geschlechtszellen einander zugeführt werden, zum Zwecke einer Vereinigung derselben. Wir finden hier die wunderbarste Mannigfaltigkeit der Einrichtungen, welche zu diesem Ziele führen. Von den Algen bis zu den Farnkräutern findet die Vereinigung der Keimelemente im Wasser statt. Mit großer Sicherheit sehen wir das Spermatozoon dem Ei zueilen. Wir müssen also annehmen, daß von der Eizelle auf das Sperma eine Anziehung ausgeübt werde. Pfeffer hat für die Farne nachgewiesen, daß die reife Eizelle Apfelsäure ausscheidet, die sich im Wasser verbreitet. Es scheinen die Spermatozoen durch diese Substanz gereizt zu werden und streben dem Orte wo die Substanz gebildet wird, zu. Bei Laubmoosen wird Rohrzucker produziert. Es gehört also die Anziehung des Spermas durch das Ei ins Gebiet der Chemotaxis. Anders verhält sich die Sache bei den höheren Phanerogamen. Bei ihnen als Landpflanzen, mußte eine andere Art der Übertragung des Spermas aufs Ei eintreten. Und an Stelle des die Spermatozoiden fortführenden Wassers trat der die Pollenkörner fortfegende Wind. Diese Verhältnisse finden wir bei den niederen Blütenpflanzen. Da der Wind aber ein unbeständiger Ordner ist und so viel kostbare Pollenkörnchen zur Erde fallen und vergehen, so ward der Wind ersetzt bei den höheren Blütenpflanzen durch ein ganz wunderbares Verhältnis, das sich zwischen Insekten und Pflanzen

herausbildete. Insekten naschen in einer Blüte süßen Nektar und dafür tragen sie zur nächsten, Leben auslösenden Pollen.

Es ist nun die Frage zu beantworten, wie und was wirkt die Konjugation oder Befruchtung. Zunächst sei der Unterschied von Konjugation und Befruchtung erläutert. Erstere finden wir bei den Einzelligen, wo zwei ganze Organismen zu einem einzigen verschmelzen; letztere bei den Vielzelligen. Hier verschmelzen zwei vom Individuum abgestoßene Zellen. Jedoch dürfen wir darin keinen grundsätzlichen Unterschied sehen. Denn wir finden Übergänge aller Art. Ich will nun wieder die Grünalge *Spirogyra* anführen. Wir finden hier mehrzellige Fäden, die sich aneinanderlegen und wo jede Zelle des einen Zellfadens mit je einer eines zweiten konjugiert. Unter den Flagellaten zeigt *Pandorina* ein ähnliches Verhalten. Wir finden hier Zellkolonien von 16 Zellen. Die Individuen einer solchen Kolonie schwärmen aus und konjugieren paarweise. Da nun bei den gleichen Organismen auch vegetative Fortpflanzung vorkommt, so war die Anschauung naheliegend, die Erhaltung der Art auf sexuellem Wege, die ja oft so umständlich und kompliziert ist, besonders die Rotalgen liefern hierfür das beste Beispiel, müßte darin ihren Grund haben, daß eine Degeneration der Spezies, die durch vegetative Fortpflanzung eintritt, paralytisch werde. Einen Beweis für diese Anschauung bieten die Diatomeen. Durch vegetative Fortpflanzung werden die aufeinanderfolgenden Generationen immer kleiner; es entstehen auf diese Weise sogenannte Zwerggenerationen. Nun setzt die Konjugation ein, indem diese Zwerge sich nicht weiter teilen sondern paarweise mit einander verschmelzen; da die so entstandenen Sporen zu Individuen der ursprünglichen Größe wieder auswachsen, hat man sie Auxosporen genannt. Wimperinfusorien sterben nach einer Anzahl vegetativ erzeugter Generationen ab, sobald keine Konjugation derselben eintritt. Gegen diese Anschauung läßt sich jedoch sagen, daß es im Tier- und Pflanzenreich auch Formen gibt, die sich ausschließlich durch Teilung fortpflanzen, die die Fähigkeit sexueller Fortpflanzung verloren haben. Liliaceen können ungezählte Generationen durch Brutzwiebeln bilden, ohne die geringste Degeneration zu zeigen.

Eine andere Anschauung über die Wirkung der sexuellen Fortpflanzung ist die, daß die Verbindung individueller Eigenschaften, die durch Vereinigung zweier Zellen eintritt, von Nutzen für den Nachkommen sei. Betrachten wir die Zwitter, die meisten höheren Pflanzen, so finden wir da Einrichtungen, die eine Selbstbefruchtung verhindern sollen. Es wird offenbar dadurch eine Mischung von Eigenschaften in den Nachkommen zustande kommen, was Weismann als *Amphimixis* bezeichnet hat. Wir kommen nun zu der Frage, wie denn die Übertragung elterlicher Eigenschaften auf die Nachkommen erfolgt. Aus dem oben gesagten geht hervor, daß vom Sperma fast nur Kernmasse ins Ei einwandert und doch sehen wir ebensooft ein Überwiegen väterlicher Eigenschaften bei den Kindern, wie mütterlicher. Daraus ergibt sich, daß der Zellkern der Träger der Eigenschaften eines Individuums ist.

Von den Kernsubstanzen ist es eine, die hier von Interesse ist; deshalb, weil sie bei jeder Zellteilung sich auch in gesetzmäßiger Weise auf die beiden Tochterkerne verteilt. Da sie durch bestimmte Farbstoffe leicht färbbar ist, hat man sie Chromatin genannt. Im ruhenden Kern bildet das Chromatin ein Gerüstwerk. Der erste Schritt zur Zellteilung ist nun der, daß sich das Chromatinnetz in einen Faden auflöst. Dann zerfällt dieser Faden in eine Anzahl von Stücken, die für eine jede Spezies konstant ist; wir nennen diese Gebilde Chromosomen. Die Chromosomen spalten sich

hierauf der Länge nach in zwei gleiche Hälften; hiemit erscheint auch der ganze Kern geteilt, die Kernhaut, die ihn umschlossen hatte, hat sich nämlich mittlerweile gelöst. Die Chromosomenhälften eines jeden Mutterchromosoms wandern nun nach entgegengesetzter Richtung auseinander, es entstehen so zwei Chromosomengruppen mit gleicher Chromosomenzahl wie im Mutterkern und um jede dieser Gruppen bildet sich ein neuer Kern. (Figur 18, 19). Die Konstanz der Chromosomenzahl in der Spezies, die genaue Verteilung des Chromatins durch die Längsspaltung eines jeden Chromosoms auf die Tochterkerne führen zur Anschauung, daß jedem Chromosom ganz bestimmte, erbliche Eigenschaften anhaften.

Wenn also jede Zelle eines Organismus eine bestimmte Chromosomenzahl besitzt, so müßte ja bei der Vereinigung der Keimzellen die Anzahl der Chromosomen verdoppelt werden. Dies ist jedoch nicht der Fall. Bei der Bildung der Keimzellen wird die Chromosomenzahl auf die Hälfte reduziert und wir nennen diese Zellteilungen, aus denen schließlich die reife Keimzelle mit der halben Chromosomenzahl hervorgeht, Reduktionsteilungen. In dieser halben Chromosomenzahl der Keimzelle liegt also mit Hinsicht auf die vorerwähnte Bedeutung der Chromosomen ein wichtiger Unterschied zwischen den Körper- und den Keimzellen. Durch die Vereinigung zweier Keimzellen nun wird die ursprüngliche Chromosomenzahl wieder hergestellt.

Um sich über die Wirkung des Spermakernes in der Eizelle klar zu werden muß darauf hingewiesen werden, daß wir Fälle von Befruchtung kennen, wo Eikern und Spermakern nicht kopulieren sondern nur aneinanderlagern, welcher Fall auch in den vorliegenden Bildern dargestellt wurde. (Fig. 13—19). Sofort darauf lösen sich die Kernmembranen, die Chromosomen gehen die Längsteilung ein, die Embryonalentwicklung hat somit begonnen. Dieser Fall wurde zuerst durch van Beneden beim Pferdespulwurm beobachtet. Wie aus Figur 19 ferner ersichtlich ist, stammen die Chromosomen einer jeden Zelle des Embryos zur Hälfte von der Eizelle, zur Hälfte vom Spermatozoon, wodurch die Mischung väterlicher und mütterlicher Eigenschaften im neuen Organismus verwirklicht erscheint. In den Bildern ist die väterliche Vererbungssubstanz rot, die mütterliche blau gezeichnet.

Wir haben uns das Ei als ein System potentieller Energie vorzustellen, wo es eines Anstoßes bedarf, um diese in kinetische zu verwandeln. Diesen Anstoß gibt normalerweise das Spermatozoon. Winkler hat für das Seeigellei gefunden, daß es auch dann sich fortentwickelt, wenn ihm statt des Spermas ein Extrakt aus diesem zugeführt wird. J. Loeb gelang es, durch Einwirkung chemisch bekannter Stoffe, wie Chlormagnesium, Seeigelleier zur Entwicklung zu bringen. Das gleiche erzielte er bei Eiern des Ringelwurmes Chaetopterus. Man nennt diese Art der Entwicklung künstliche Partenogenese zum Unterschied von der später zu besprechenden natürlichen. Andere Forscher haben das gleiche Resultat bei Anwendung der verschiedensten Mittel, mit Narkotica, Salzen oder durch mechanische Reize erzielt. Loeb hat auf diese Resultate, die bei beliebigen Arten von Ringelwürmern oder Stachelhäutern erzielt werden können, eine Befruchtungstheorie aufgestellt, die besagt, daß die Wirkung der Spermamasse auf das Ei rein chemisch-physikalischen Charakters sei. Die Embryonalentwicklung, die auf Zellteilung beruht, nennt man die Furchung des Eies. Diese Zellen oder auch Furchungskugeln genannt, zeigen nun bei der künstlichen Partenogenese die Tendenz zum Zerfall in Stücke, aus denen dann Zwerglarven entstehen. Auch ist die Skelettbildung keine regelmäßige. Da nun sowohl die auf dem Wege normaler Befruchtung als auch die partenogenetisch erzeugten

Larven im Laboratorium nicht bis zur geschlechtsreifen Form bisher herangezüchtet werden konnten, so ist es immerhin fraglich, ob die künstliche Partenogenese einen vollen Ersatz für die normale Befruchtung bietet.

Der Loebischen Befruchtungslehre steht Boveris morphologische gegenüber. Es ist schon oben darauf hingewiesen worden, daß beim Eintritt des Spermas ins Ei eine Strahlungsfigur vor dem Sperma entsteht. Sie geht von einem in Zentrum der Strahlung gelegenen Körperchen, dem Centrosoma aus. Bald darauf scheint sich dieses Centrosoma zu teilen, wir finden nämlich in seiner nächsten Nähe eine zweite solche Figur, welche beide nun gegen das Ei hinwandern und hinter ihnen folgt der Spermakern. Ei- und Spermakern stehen einander gegenüber und es befindet sich jederseits von Ei und Spermakern eine Strahlung. Boveri nun ist der Anschauung, daß, ob nun das Centrosoma vom Sperma mitgebracht wird oder dessen Bildung im Eiplasma durch das Eintreten des Spermas verursacht wird, in dem Auftreten dieser Strahlung die Ursache der Embryonalentwicklung liege, da sich die beiden Centrosomen an den Polen der ersten Kernteilung befinden. Obzwar nun das Auftreten der Centrosomen eine in der tierischen Zelle allgemein vorkommende Erscheinung ist, so sind nur in wenigen Fällen und bei niederen Pflanzen (Algen) solche Bildungen aus dem Pflanzenreich bekannt; trotzdem ist der Befruchtungsvorgang im wesentlichen der gleiche. Auch konnte Wasilieff bei Behandlung des Seeigeleies mit Strichnin, Nikotin, Hyoscjamin, die ersten Zellteilungen ohne Auftreten von Centrosomen beobachten. Wir haben in diesen Gebilden ein Hilfsmittel zur Zellteilung zu sehen; sie sind wohl nicht die Ursache der Zellteilung sondern eine Folgeerscheinung des Beginnes derselben.

Boveri verglich die Eizelle mit einem Uhrwerk, das erst mit einem Schlüssel aufgezogen werden müsse, den Schlüssel dazu stelle das vom Sperma gebrachte Centrosom dar. Loeb dagegen behauptet im Hinblick auf die unten zu besprechende natürliche Partenogenese, das Ei entwickle sich auch bei ausbleibender Befruchtung langsam weiter, so langsam, daß es darüber zugrunde gehe. Das Sperma bei der Befruchtung, die angewendeten Stoffe bei der künstlichen Partenogenese seien in ihrer Wirkung identisch; sie beschleunigten die Selbstentwicklung des Eies. Es wäre dies eine Analogie zu der Wirkung der Katalysatoren auf chemischem Gebiete, durch deren Anwesenheit chemische Prozesse beschleunigt werden. — Auch an Lehren, die Boveris und Loeb's Standpunkt vermitteln, fehlt es nicht. Bütschli hat die Anschauung ausgesprochen, daß die Centrosomen auf chemischem Wege die Entwicklung des Eies anregen.

Sowohl im Tier- wie im Pflanzenreich gibt es zahlreiche Arten, wo die Eizelle ohne jeden äußeren Anstoß, aus inneren Ursachen sich zum Embryo entwickeln kann. Wir nennen diese Erscheinungen die natürliche Partenogenese. v. Siebold verdanken wir ihre Entdeckung bei den Psychiden (Schmetterlingen). Partenogenese findet sich bei Rädertierchen, unter den Krustentieren bei Blattfüßern und Muschelkrebsen, unter den Insekten bei Schmetterlingen, Blattläusen, Heuschrecken, Gallwespen, Blattwespen, Wespen, Bienen und Ameisen. Von besonderem Interesse ist das Vorkommen bei Bienen, wo ja auch normale Befruchtung vorkommt. Aus den unbefruchtet gebliebenen Eiern entwickeln sich nämlich die Drohnen. Die große Ausbreitung der Blattläuse im Sommer ist auf Partenogenese zurückzuführen. Bei den Gallwespen erscheinen jährlich

zwei Generationen, die zweite hiervon besteht nur aus Weibchen, deren Eier sich unbefruchtet entwickeln.

Im Pflanzenreich finden wir unter den Diatomeen partenogenetische Formen. Lange bekannt schon in dieser Hinsicht ist unter den Grünalgen *Chara crinita*. Von den Pilzen seien als Beispiele *Empusa muscae* (der die Fliegenpest erregende Pilz), Zygomyceten und *Saprolegnia mixta* (Oomyceten) genannt.

Seit einigen Jahren sind auch aus dem Bereich der Phanerogamen Fälle von Partenogenese bekannt. Ich führe als Beispiele *Antennaria alpina*, *Alchimilla*, *Taraxacum*, *Thalictrum* an. Eines besonders merkwürdigen Falles bei einer Alge sei hier noch gedacht. Bei *Ectocarpus siliculosus* bilden nicht nur die Eizellen auf partenogenetischem Wege Embryonen sondern auch die Spermatozoen (Mikrogameten), wohl auch ein wichtiger Beweis gegen die Behauptung der wesentlichen Verschiedenheit der männlichen und weiblichen Keimzelle.

Zwischen der vegetativen und der sexuellen Fortpflanzung liegen gewissermaßen jene Fälle, wo Zellen Embryonen liefern, die in einer Beziehung zu den Keimzellen stehen, sei es, daß sie sonst die Ernährung derselben besorgen, sei es, daß es Elemente sind, die eine schützende Hülle des Keimapparates darstellen. Wir bezeichnen diese Form der Fortpflanzung als Apogamie. Weitaus die meisten Fälle der Polyembryonie bei Angiospermen sind auf Apogamie zurückzuführen, indem außer der befruchteten Eizelle noch Zellen des den Embryosack umgebenden Nucellargewebes oder auch des schützenden Gewebes des Nucellus, des inneren Integumentes, Embryonen liefern, (*Alchimilla*, *Allium odorum*, *Caelebogyne ilicifolia*, *Citrus aurantium*), die dann in den Embryosack hineinwachsen. In anderen Fällen kann die Apogamie einen Ersatzvorgang für die ausgebliebene Befruchtung und Embryobildung der Eizelle darstellen, wie dies Verfasser bei *Colchicum autumnale* gefunden hat.

Sollte der Zweck der Befruchtung der sein, eine geschwächte Teilungs- und Entwicklungsfähigkeit der Keimzelle zu verstärken oder die fehlende zu geben, man könnte darin einen Unterschied zu den somatischen Zellen des Individuums sehen, so müßte wohl das ursprüngliche Verhältnis die Partenogenese und das abgeleitete die Befruchtung sein, was aber den Tatsachen widerspricht.

Es handelt sich also bei der Befruchtung um die Vernichtung zweier Individualitäten, um die Ausscheidung bestimmter Bausteine (Reduktionsteilungen) und Zusammenfügung der übrig bleibenden zu einem neuen Individuum mit dem gleichen Bautypus (Spezies), wie wenn von zwei Maschinen schadhafte Bestandteile ausgeschieden, die übrigen zu einer neuen Maschine zusammengefügt werden. Und diese neu zusammengesetzte Maschine kann unter Umständen mehr leisten als die beiden einfachen Maschinen hätten in Einzeltätigkeit erarbeiten können. So verhält es sich auch auf biologischem Gebiete. Fassen wir die höchste Leistung eines Organismus, die geistige Betätigung des Menschen ins Auge. Gemeinsamer Arbeit ist schon manch Großes entsprossen, was zwei allein nie hätten leisten können. Manches Genie ward von Stümpfern geboren. Was für die geistigen Fähigkeiten, das gilt für jede Art der Betätigung, für jedes Organ, für jedes Lebewesen, von den Flagellaten bis zu den Primaten einerseits, bis zu den Orchideen anderseits.

Literaturverzeichnis.

- Auerbach, Die Grundbegriffe der modernen Naturlehre, Leipzig 1902.
—, Die Weltherrin und ihr Schatten, Jena 1902.
Boveri, Das Problem der Befruchtung, Jena 1902.
Borzi, Probabili accenni di conjugazione presso alcune Nostochinee, Boll. soc. bot. it. 1895.
Brauns, Referat über Lehmanns Arbeiten über flüssige Kristalle in: Neues Jahrbuch für Mineralogie, Geologie, Paläontologie 1906, II. 2.
Correns, Über Vererbungsgesetze, Berlin 1905.
Driesch, Bemerkungen zu Przibrams Kristallanalogieen, Arch. f. Entwicklungsmech. XXIII. 1907.
Ernst, Beiträge zur Kenntnis der Entwicklung des Embryosackes und des Embryos. Flora 1901.
Furlani, Zur Embryologie von Colchicum autumnale Öst. bot. Zeitschr. 1904.
Haeckel, Die Lebenswunder 1904.
O. Hertwig, Allgemeine Biologie 1906.
R. Hertwig, Über Wesen und Bedeutung der Befruchtung (S. d. Ak. d. W., München XXXII., 1902.)
Klebs, Über das Verhältnis des männlichen und weiblichen Geschlechtes in der Natur. Jena 1895.
Küster, Vermehrung und Sexualität bei den Pflanzen, Leipzig 1906.
Lehmann, Die scheinbar lebenden Kristalle, Eßlingen u. München 1907.
Lidforß, Über die Reizbewegungen der Marchantiaspermatozoiden (Jahrb. f. w. Bot., XLI, 1904.)
Murbeck, Partenogenetische Embryobildung in der Gattung Alchimilla (Lunds Univ. Arsskrift XXXVI, 1901).
Petrunkewitsch: Künstliche Partenogenese, Referat in der Natw. Rundschau 1904, 38.
Prowazek, Über den Erreger der Kohlhernie, Arb. a. d. K. Gesundheitsa., Berlin 1905.
Reinke, Philosophie der Botanik, Leipzig 1905.
—, Hypothesen, Voraussetzungen, Probleme in der Biologie (Wiss. Erg. d. int. bot. Kongr. i. Wien 1905).
Schaudinn, Beiträge zur Kenntnis der Bakterien und verwandter Organismen Arch. f. Protistenkunde I., II.
Schücking, Zur Physiologie der Befruchtung, Partenogenese u. Entwicklung, Arch. f. ges. Phys. 1903, XCVII.
Shibata, Studien über die Chemotaxis der Isoëtesspermatozoiden, Jahrb. f. wiss. Bot., XLI 1904.
Strasburger, Die stofflichen Grundlagen der Vererbung im organischen Reich, Jena 1905.
Verworn, Die Erforschung des Lebens, Jena 1907.
Wald, Die Energie und ihre Entwertung, Leipzig 1889.
Wasilieff, Über künstliche Partenogenesis des Seeigeleies, Biolog. Centralbl. 1902.
Wasmann, Die moderne Biologie und die Entwicklungstheorie, Freiburg i. B. 1906.
Weismann, Vorträge über Deszendenztheorie, Jena 1902.
Wiesner, Die Beziehungen der Pflanzenphysiologie zu anderen Wissenschaften, Wien 1898.

Figurenerklärung:

Die Figuren 1 bis 13 stellen die Erscheinungen an flüssigen Kristallen dar (nach Lehmann). Die Figuren 13 bis 19 beziehen sich auf den Befruchtungsvorgang (nach Boveri).

5.
ir

1.

3.

n
r.

n
v.
3.
t.
f.
f.
5.

3.

h
)