Physiologische Notizen.

Von

Julius Sachs.

IX.

Weitere Betrachtungen über Energiden und Zellen.

§ 1. In der zweiten dieser „Notizen“ (Flora 1892 p. 57) habe ich mich darüber ausgesprochen, wie zweckmässig es wäre, den eigentlich lebendigen Theil der Pflanzenzelle, den ich als Energide bezeichne, dem in der Litteratur bisher „Zelle“ genannten Elementargebilde gegenüber zu stellen und so eine grössere Klarheit in die Nomenclatur einzuführen. Die Anwendbarkeit des neu aufgestellten Begriffs auch auf die lebendigen Elementareinheiten des thierischen Körpers ergab sich von selbst. Auf diesen Punkt will ich jedoch im Folgenden nicht weiter eingehen.[1]) Es kommt mir vielmehr darauf an, dem in der genannten Abhandlung Gesagten Verschiedenes anzuschliessen, was sich, wie ich meine, am besten mit Hilfe des Begriffes: Energide klar machen lässt. Zunächst ist aber dieser selbst noch zu klären.

§ 2. Von verschiedenen Seiten wurde meine Darstellung so aufgefasst, als ob das neue Wort Energide überhaupt nur ein anderer Ausdruck für das alte: „Zelle“ sein solle; das wäre aber eine recht überflüssige Bereicherung der Sprache und wie ich glaube, habe ich deutlich genug gesagt, dass die Sache anders gemeint sei. Das Wort Energide soll nur den lebendigen, mit Energie, mit Thatkraft begabten Körper bezeichnen, der bei den Pflanzen gewöhnlich (nicht immer) in einem von ihm selbst erzeugten Gehäuse, d. h. in einer Zellstoffhaut, eingeschlossen ist. Diese entsteht auf der Aussenseite der Energide; aber auch in dem von der Energide selbst umschlossenen Raume entstehen verschiedene Gebilde, die an sich nur passive Produkte derselben sind und keine oder höchstens potentielle Energie besitzen, wie die Stärkekörner, Aleuronkörner Krystalle (von Eiweiss und Calciumoxalat). Alle diese nicht zur Energide gehörenden Ge-

1) Dies soll jedoch nicht hindern, dass ich in der folgenden Darstellung auch auf zoologische Leser rechne. Es handelt sich hier überall um Fragen, die gleichzeitig für das Thier- und Pflanzenreich gelten, nur muss ich mich betreffs der Beispiele und Einzelnheiten an die mir geläufigen botanischen Dinge halten.

Universitätsbibliothek Regensburg
urn:nbn:de:bvb:355-ubr05161-0409-3

bilde sind aber von ihr erzeugt und die meisten können von ihr später als Material benutzt werden, während die Bedeutung der Zellhaut vorwiegend in ihrer Festigkeit liegt und in ihrer Fähigkeit, imbibirtes Wasser zu leiten. Jede gestaltliche und physikalische, chemische Veränderung dieser passiven Gebilde wird durch die Thätigkeiten der Energide hervorgebracht; weder die Zellwände, noch die Stärkekörner, die Aleuronkörner, noch die Krystalle, werden durch eine ihnen innewohnende Kraft verändert, sie bleiben, was sie sind, wenn nicht die Energide sie beeinflusst. Allerdings können sie der Energide als Nahrungsmaterial dienen, diese also ihrerseits physikalisch und chemisch beeinflussen, speciell auch als Baustoff der Energiden zur Vermehrung der Energie beitragen; aber dies geschieht nur durch die Einwirkung der Energide selbst und nur zu der Zeit und in dem Maasse, wie es diese zur Durchführung ihrer eigenen Lebenserscheinungen für nöthig und passend findet.

Im Einzelnen sind diese Thatsachen längst bekannt und physiologisch verwerthet; es würde aber, wie ich glaube, zur Klärung unserer theoretischen Auffassungen und zur besseren gegenseitigen Verständigung beitragen, wenn man diese Thatsachen durch einen gemeinsamen Ausdruck zusammenfasste und die genannten Zellentheile mit Einschluss der organischen im Zellsaft gelösten Stoffe als die passiven Zellenprodukte (oder Energidenprodukte) der Energide gegenüberstellte.

Ganz im Gegensatz zu den passiven Zellenprodukten, ist die lebende Energide in beständiger Veränderung begriffen, so lange sie von Wasser durchtränkt ist, Sauerstoff athmet und ihre Moleküle durch Wärmeschwingungen bestimmter Intensität bewegt werden. Diese drei Einwirkungen entscheiden jedoch nur darüber, ob die Energide überhaupt die ihr eigenthümlichen Lebenserscheinungen zeigen kann; über die Art und Weise ihrer Formveränderungen, ihres Wachsthums, ihrer Reizbarkeiten u. s. w. entscheiden sie nicht; die specifischen Lebenserscheinungen (speciell die Gestaltungsvorgänge) hängen vielmehr von der inneren erblichen Natur der Energide selbst ab und ganz besonders auch die Art und Weise, wie diese auf äussere Eingriffe, zumal des Lichts, der Schwere, des Druckes, der chemischen Einwirkungen organbildender Stoffe reagirt. Bekanntlich liegt in der Erforschung dieser Eigenschaften der Energiden das tiefste Problem der Biologie und wissenschaftlichen Morphologie. Mit all diesen Lebensäusserungen aber haben die passiven Zellenprodukte unmittelbar nichts zu thun; sie liefern der Energide nur das Material zu ihrem Wachsthum und dienen ihr als Energievorrath zu ihren eigenen Ver-

Universitätsbibliothek Regensburg
urn:nbn:de:bvb:355-ubr05161-0410-4

änderungen, indem die Energide die in dem passiven Material verborgene potentielle Energie in kinetische Energie und Arbeit verwandelt. Unter diesen sehr mannigfaltigen Leistungen der Energide ist ohne Zweifel die merkwürdigste ihre Fähigkeit, bestimmte Gestalten selbst anzunehmen oder das von ihr verarbeitete passive Material in bestimmte Formen zu gestalten, so dass man, bis tiefere Einsicht vielleicht Besseres lehrt, von einer Gestaltungsenergie der Energiden reden darf. In besonders folgenreicher Art macht sich diese bei den Pflanzen durch die Bildung der Zellwände, deren Wachsthum und Sculptur geltend; aber auch die Gesammtform der Pflanze und die Gliederung ihrer Organe geht nur von den Energiden aus; dass die von aussen aufgenommenen Nahrungsstoffe nicht selbst formbestimmend eingreifen, zeigt die Erblichkeit der Formen bei verschiedensten Nährböden und die Verschiedenheit der specifischen Formen bei gleichem Nahrungsmaterial. Nicht die chemischen Verwandtschaften bestimmen die specifische, historisch begründete Ausgestaltung der Pflanzensubstanz, sondern die Energiden weisen den chemischen Molekülen den Weg, den sie zur Herstellung organisirter Formen zu gehen haben, ohne dass dadurch die chemischen Gesetze selbst etwa ausser Acht gelassen werden.[1]) Auch eine chemische Fabrik arbeitet nach den Gesetzen, die das Lehrbuch der Chemie kennen lehrt, aber der besondere Weg, den sie dabei einschlägt, ist ihr Geheimniss; und so auch im Organismus unter dem Einfluss der Energiden.

§ 3. Diese Bemerkungen sollten übrigens nur vorläufig und in Kürze die Energide als Ganzes den passiven Zellenprodukten gegenüberstellen. Es lohnt sich, auch die sichtbaren Theile der Energide näher in's Auge zu fassen.

In meiner zweiten Notiz sagte ich: „Unter einer Energide denke ich mir einen einzelnen Zellkern mit dem von ihm beherrschten Protoplasma, so zwar, dass ein Kern und das ihn umgebende Protoplasma als ein Ganzes zu denken sind und dieses Ganze ist eine organische Einheit, sowohl im morphologischen wie im physiologischen Sinne."

1) In der Vernachlässigung oder Unkenntniss dieses Satzes liegt die Ursache davon, dass die physiologische Chemie auf botanischem Gebiet bisher so sehr wenig geleistet hat. Veranschaulicht wird der im Text aufgestellte Satz vielleicht am einfachsten durch die Entstehung und Wirkung der Enzyme im Stoffwechsel und im Grunde beruhen auch Pfeffer's Betrachtungen über die „Election organischer Stoffe" (Jahrb. f. wiss. Bot. Bd. 28 p. 229) bei der Ernährung der Pflanzen auf demselben von mir aufgestellten Satze. Indessen würde ein ausführlicher Nachweis mich hier von meinem Hauptthema zu weit abführen.

Universitätsbibliothek Regensburg
urn:nbn:de:bvb:355-ubr05161-0411-0

So erscheint sie in ihrer einfachsten, primitivsten Form, z. B. als nackte Schwärmspore, als Myxoamoebe, oder in einer sehr dünnwandigen Zellkammer eingeschlossen im Vegetationspunkt oder im embryonalen Gewebe jüngster Organe (Blätter, Wurzelanlagen, Blüthenknospen, Archegonien, Antheridien und einfachsten Eizellen). Aber je nach dem zunehmenden Alter und ihrer biologischen Bedeutung, ganz besonders aber mit der Grössenzunahme der ganzen Zelle, treten weitere Differenzirungen sowohl im Kern, wie im Protoplasma der Energide auf und, bezeichnend für das Wesen des Kernes, vollziehen sich diese Gestaltveränderungen in auffallendster Weise zur Zeit der Zelltheilung und der Energidenvereinigung bei der Befruchtung. Diese in den letzten Jahren vielfach studirten Vorgänge der Karyokinese einerseits und der Differenzirung und Vereinigung der sexuellen Kerne anderseits lassen den von mir gebrauchten Ausdruck, die Energide sei ein vom Zellkern beherrschtes Protoplasmaquantum, als gerechtfertigt erscheinen.

Mit der Differenzirung gestalteter sichtbarer Theile der Energide zeigt sich zugleich, dass jeder derselben bestimmte, ihm eigenthümliche biologische Functionen übernimmt, die einander gegenseitig ergänzen, entweder in derselben Zelle (Protococcaceen, Desmidieen, Bacillariaceen u. a.) oder im Zusammenwirken zahlreicher Zellen einer vielzelligen Pflanze. Bei den einfachsten und kleinsten Energiden, z. B. in den Oscillarienfäden, den Bacterien u. s. w., ist allerdings von derartigen Differenzirungen kaum etwas zu sehen: bei den Cyanophyceen ist selbst die Vereinigung der Kernsubstanz zu einem bestimmt umgrenzten Kern noch zweifelhaft; vergleicht man aber damit das andere Extrem, die im Embryosack der Phanerogamen in Karyokinese begriffenen Zellen, so zeigt sich, wie überall in der organischen Welt, auch hier ein grossartiger Fortschritt vom Einfachen zum Complicirten, Hochdifferenzirten, der noch deutlicher hervortritt, wenn man die schönen und klaren Bilder betrachtet, die Boveri von der Eizelle des Pferdespulwurms vor und nach der Befruchtung durch ein Spermatozoon gegeben hat.

§ 4. Hier auf Einzelnheiten einzugehen, wäre bei dem jetzigen Stand der Kenntnisse theils überflüssig, theils der Unsicherheit mancher Thatsachen wegen zu gewagt. Doch dürfte es sich lohnen, einen Blick zu werfen auf die Functionen der einzelnen Theile höher differenzirter Energiden. Als solche Theile kann man zunächst unterscheiden: den Kern mit seiner Grundsubstanz und dem Nucleïn (Chromatin), ferner den Centrosomen und den Nucleolen. — Anderseits

Universitätsbibliothek Regensburg
urn:nbn:de:bvb:355-ubr05161-0412-6

das Protoplasma mit den Chromatophoren, unter diesen besonders wichtig die Chlorophyllkörper (Chloroplasten) und Stärkebildner oder Leucoplasten. Auch in hochdifferenzirten, grossen Energiden sind nicht immer alle diese Theile gleichzeitig vorhanden, aber Protoplasma und Kernsubstanz in irgend einer Form ist unzertrennlich, wenn es sich um lebensfähige Energiden handelt. Am schärfsten charakterisirt tritt die Verschiedenheit der Functionen bei den Chlorophyllkörpern und dem Chromatin (Nucleïn) hervor. Dass die ersteren zum Protoplasma gehören und die specifische Eigenschaft haben, die „Schwingungsenergie des Lichtäthers" in chemische Arbeit umzusetzen, unter dem Einfluss des minder brechbaren, zumal des gelben Lichts aus Kohlensäure und Wasser Zucker oder Stärke zu bilden, ist allbekannt. Diese Thatsache gewinnt aber erst ihre ganze Bedeutung, wenn man weiss, dass aus diesem Assimilationsprodukt alle anderen Stoffe der Pflanze und somit auch der Thierwelt sich ableiten; und in der vorausgehenden Notiz habe ich gezeigt, welchen Einfluss die Eigenschaften des Chlorophylls mittelbar auch auf die Gestaltung der Pflanzen ausüben und welche Photomorphosen daraus entstehen, vor Allem die Flächenausbreitung der grünen Organe und die Blattbildung bei den verschiedensten phylogenetischen Architypen. Hier indessen fällt der Schwerpunkt unserer Betrachtung auf die Thatsache, dass das Chlorophyll nur ein Theil der Energide ist, der specifisch chemisch wirksame Theil. Den nicht grünen, farblosen Leucoplasten anderer nicht vom Licht angeregter Energiden fehlt die eine Fähigkeit der grünen Chloroplasten, nämlich die: Lichtenergie in chemische umzuwandeln, aber sie besitzen die andere, aus dem formlosen Assimilationsprodukt, dem Zucker, die in bestimmter Form auftretenden Stärkekörner zu erzeugen. Im eminentesten Sinne erscheinen also die Chloroplasten als mit specifischer Energie begabte Theile der Energiden.

Nicht so klar und allseitig festgestellt ist die charakteristische Leistung des Chromatins oder Nucleïns im Zellkern. Jedenfalls aber handelt es sich bei ihm nicht oder doch nicht vorwiegend um chemische Energie, sondern, wie man es nach der obigen Bemerkung nennen dürfte, um morphologische oder Gestaltungsenergie. Nach den Begriffsbestimmungen der Physiker und Mechaniker mag das Wort in dieser Anwendung freilich fremdartig klingen; aber das Leben selbst und vor Allem die Gestaltungsprozesse der Organismen sind eben mit den herkömmlichen Begriffen der Physik und Mechanik gegenwärtig noch nicht zu bewältigen und zu verstehen und wir Biologen haben das Recht, die Thatsachen des Lebens ebenfalls durch kurze Ausdrücke

Universitätsbibliothek Regensburg
urn:nbn:de:bvb:355-ubr05161-0413-2

zusammenzufassen. Die Frage ist nur, was wir unter Gestaltungsenergie verstehen wollen und auf welche Thatsachen wir das Wort anwenden. Uebrigens ist ja der Ausdruck „Energie“ von der Lebensthätigkeit der Organismen entlehnt und nur bildlich auf rein physikalische Vorgänge übertragen worden.[1]) Doch dies nur nebenbei.

Dass es die Zellkerne und in diesen die Chromatinkörper sind, welche bei den morphologischen Vorgängen an den Vegetationspunkten, d. h. bei der ersten Anlage der neuen Organe (Blätter, Sexualorgane an den Sprossvegetationspunkten, und Nebenwurzeln an denen der Wurzeln) die maassgebende Rolle spielen, dass das embryonale Gewebe ihnen diese Gestaltungsenergie verdankt, habe ich schon 1882, wo man noch wenig von dem Chromatin wusste, zu begründen gesucht.[2]) „Mir war“, sagte ich, „in dieser Beziehung immer die allgemein bekannte Thatsache von Interesse, dass in den Vegetationspunkten die Zellkerne einen auffallend grossen Raum einnehmen, die kleinen Zellen fast erfüllen und also einen erheblichen Bruchtheil der Masse des embryonalen Gewebes darstellen. Das Gewicht dieser Wahrnehmung wird nun dadurch noch vermehrt, dass wir durch Schmitz von dem Vorhandensein der Zellkerne auch in solchen Kryptogamen, wo man sie früher nicht erkannt hatte, unterrichtet sind, und dass selbst in den nicht cellulären Vegetationspunkten der Cöloblasten sehr zahlreiche Zellkerne beisammenliegen, die erst später bei dem Wachsthum auseinander rücken. Vergleicht man mit diesen Thatsachen die höchst untergeordnete Rolle, welche die Zellkerne in ausgewachsenen, grossen Parenchymzellen spielen, wo ihre Masse gegenüber dem sonstigen Zellinhalt kaum in Betracht kommt, so muss die Anhäufung der Zellkernsubstanz im Gewebe der Embryonen und Vegetationspunkte um so mehr auffallen, da nur diese Theile der Pflanzen die Fähigkeit haben, neue Organe zu erzeugen. Nun haben aber ferner die neuen Untersuchungen von Flemming, Strasburger, Schmitz u. A. gezeigt, dass im Zellkern selbst ein grosser Theil der Substanz im Wesentlichen die Eigenschaften des Protoplasmas besitzt; das dem Zellkern selbst Eigene, ihn vom Protoplasma Unterscheidende ist aber sein Gehalt an Nucleïn, dessen merkwürdige Gestaltveränderungen bei der Zelltheilung von den genannten Forschern so eingehend studirt wurden.“

---

1) Vgl. meine gesammelten Abhandl. p. 1204 Anm.

2) In „Arbeiten“ des bot. Instit. Bd. II p. 716 ff. und in Sachs, Gesammelte Abhandl. Bd. II p. 1227.

Universitätsbibliothek Regensburg
urn:nbn:de:bvb:355-ubr05161-0414-7

Wer sich etwa für eine weitere Ausführung des hier angeregten Gedankens interessirt, dürfte sie in dem citirten Aufsatz finden. Seitdem ist aber eine reichhaltige Litteratur entstanden, aus der sich Beweise für die Gestaltungsenergie des Chromatins entnehmen lassen. Wiederholt begegnet man der Aeusserung, dass das Chromatin des männlichen, generativen Zellkerns bei der Befruchtung die erbliche Form auf die Nachkommen übertrage, und da mit der Befruchtung der Eizelle bei Pflanzen wie bei Thieren die Gestaltungsprozesse einer neuen Ontogenese[1]) eingeleitet werden, so läuft der genannte Satz auf dasselbe hinaus, was ich als die morphologische oder Gestaltungsenergie des Chromatins bezeichne. Den schlagendsten Beweis für die Existenz derselben hat Boveri durch die Entdeckung erbracht, dass kernfreie Energidentheile einer Seeigelspecies durch die Aufnahme des (aus Chromatin vorwiegend bestehenden) Spermatozoons einer zweiten Species nicht nur zu weiterer Entwickelung angeregt werden, sondern Embryonen liefern, welche die erblichen Eigenschaften der väterlichen Species allein repräsentiren. Ein, ich möchte sagen, verblüffend einfacherer Beweis lässt sich nicht erbringen. — Jetzt übrigens, wo wir wissen, wie der entscheidende Thatbestand bei der Befruchtung der Pflanzen verläuft, lässt auch die gewöhnliche Bastardirung keinen Zweifel, dass das im Spermatozoon der Kryptogamen enthaltene Chromatin es ist, dem der Bastard seine väterlichen Eigenschaften verdankt, wobei die mit ihnen gemischten mütterlichen Eigenschaften dem Chromatin der Eizelle selbst entstammen müssen. Die Zahl der kryptogamischen Bastarde ist freilich nicht gross, aber sie dienen uns als Schema für die überaus zahlreichen phanerogamischen, insofern sie zeigen, dass es bei dem generativen Kern des befruchtenden Pollenschlauches doch nur auf das in die Eizelle übertretende Chromatin ankommt.

Wenn nun also dem Chromatin (Nucleïn) diese Gestaltungsenergie zugesprochen werden muss, so ist dabei natürlich nicht zu vergessen, dass es diese Eigenschaft eben doch nur besitzt, wenn es durch die

1) Im Gegensatz zu der herkömmlichen Auffassung, nach welcher nur die ersten Gestaltungsschritte bei der Keimung überhaupt an embryonalen Gebilden als Entwickelung bezeichnet werden, hat schon Goebel darauf aufmerksam gemacht, dass man unter diesem Ausdruck vielmehr die Gesammtheit aller Gestaltsveränderungen von der Eizelle bis wieder zur Eizelle, von der Spore bis wieder zur Spore u. s. w. verstehen solle. Ich bin derselben Ansicht, schlage aber zugleich vor, statt des Wortes „Entwickelungsgeschichte“ das kürzere und bessere: „Ontogenese“, das von Haeckel eingeführt wurde, auch für die Pflanzen zu verwenden.

Universitätsbibliothek Regensburg
urn:nbn:de:bvb:355-ubr05161-0415-3

Grundmasse des Kerns mit dem Protoplasma vereinigt ist; und wie innig diese Vereinigung sein muss, das zeigen die unmittelbar auf die Befruchtung folgenden Zelltheilungen mit den karyolytischen Vorgängen.[1])

Die Einwirkung des Chromatins auf das Protoplasma, besonders auffallend bei der Befruchtung, kann als eine Reizerscheinung an letzterem betrachtet werden, wie ich denn überhaupt den Befruchtungsact schon seit 1868 in meinen Büchern und Abhandlungen wiederholt als eine Reizerscheinung bezeichnet habe. Jedenfalls theilt sie mit anderen Reizerscheinungen die merkwürdige Eigenschaft, dass durch einen verhältnissmässig einfachen Anstoss oder Eingriff die weitgehendsten Wirkungen hervorgebracht werden; man denke z. B. an die Ranken, wo die einfache Berührung oder Reibung einer geeigneten Stelle zuerst eine einfache Krümmung, dann eine vielfache Umwickelung der Stütze, ferner die Einrollung des freien Theils zwischen Berührungspunkt und Basis der Ranke, weiterhin bei manchen Ranken ein kräftiges Dickenwachsthum derselben und endlich die Verholzung der Gefässbündel hervorruft; bei dem wilden Wein (Ampelopsis) stirbt die nicht gereizte Ranke sogar völlig ab.

Nun haben aber alle bisherigen Untersuchungen über die verschiedensten Reizbarkeiten der Pflanzenorgane (auch der Ranken) zu dem Satz geführt, dass sie durch das Protoplasma oder, wie ich jetzt lieber sagen würde, der Energiden, vermittelt wird und die directen Untersuchungen unter dem Mikroskop erlauben, die Reizwirkungen des Druckes, des Lichts, der Wärme, chemischer Stoffe, der Schwerkraft direct am Protoplasma hervorzurufen und sichtbar zu machen.

Damit komme ich nun wieder auf das Thema von den verschiedenen Energien der einzelnen Theile der Energiden zurück. Die Energie des Chlorophylls zeigte sich in seiner Aufnahme der Lichtenergie und der Umwandlung derselben in chemische Arbeit; die Energie des Chromatins stellt sich als Gestaltungsenergie dar — und welche hervorragende Eigenschaft haben wir nun demjenigen Bestandtheil der Energide zuzuschreiben, der speciell als Protoplasma bezeichnet wird? — Es ist eine grosse Mannigfaltigkeit von Erscheinungen, welche das Protoplasma bekanntlich darbietet; man denke nur an den Protoplasmaleib der Protozoen, der Plasmodien, Schwärmsporen, an die „Strömungen“ desselben in geschlossenen Zellen, an

1) Ueber die Centrosomen ist auf botanischem Gebiet noch zu wenig bekannt, um über ihre Beziehungen zu den Gestaltungsvorgängen im embryonalen Gewebe der Pflanzen irgend etwas von Bedeutung sagen zu können.

Universitätsbibliothek Regensburg
urn:nbn:de:bvb:355-ubr05161-0416-9

die mit Protoplasma und Kern erfüllten Zellen der Vegetationspunkte und anderer embryonaler Gewebe im Gegensatz zu dem sog. Primordialschlauch, der in grossen alten, aber noch lebenden Parenchymzellen eine äusserst dünne, der Zellstoffwand anliegende Haut darstellt; ferner an das mit zahllosen winzig kleinen Chromatinkernen durchsäete Protoplasma der Siphoneen, welches ich desshalb als eine Vielheit von Energiden betrachte u. s. w.

Es ist nun nicht leicht, aus dieser Vielgestaltigkeit das herauszufinden, was man als das Wesentliche und Charakteristische des Protoplasmas gegenüber den anderen Energidentheilen aufzufassen hat. Zunächst darf man aber wohl sagen, es sei der eigentliche Körper der Energide, der durch die Einwirkungen des Kerns wenigstens zeitweilig belebt wird, denn ohne diesen erlöschen die Kräfte des Protoplasmas sehr bald. Zur Bildung einer Energide sind eben beide nöthig. Auch das lässt sich hervorheben, dass die Substanz des Protoplasmas, so lange es lebensthätig ist, neben Wasser auch gelöste Stoffe in sich enthält, von ihnen durchtränkt ist, und diese Stoffe sind es offenbar, welche den Kern und die Chromoplasten ernähren, das Material zu ihrer Vergrösserung und Vermehrung hergeben; anders ist dies nicht denkbar, weil der Kern sowie die Chromoplasten, immer von Protoplasma dicht umgeben, in dasselbe eingebettet sind; in der Vacuolenflüssigkeit, dem Zellsaft, freischwimmend, werden sie niemals angetroffen. Doch komme ich auf diesen Punkt noch von anderer Seite hier später zurück. Einstweilen kann das Gesagte in dem Satz zusammengefasst werden, dass in dem Protoplasma, d. h. zwischen und in seinen Molekülen, sehr verschiedene chemische Prozesse stattfinden, bei denen der eingeathmete Sauerstoff jedenfalls eine wichtige Rolle spielt, im Gegensatz zu den Chlorophyllkörpern, wo Kohlensäure zersetzt und Sauerstoff entbunden wird. Man beachte, wie hierbei dicht neben einander zwei sehr energische, einander entgegengesetzte chemische Vorgänge im engsten Raume stattfinden, und das Protoplasma ist von dem Körper der Chloroplasten nicht einmal durch eine sichtbare Grenzhaut abgeschlossen.

Aber mit alledem ist das eigentlich Charakteristische des Protoplasmas doch noch nicht bezeichnet, schon desshalb nicht, weil chemische Prozesse irgend einer Art überall im Organismus stattfinden; nur bei den Chloroplasten handelt es sich um einen solchen von ganz eigenthümlicher Art und grossartiger Bedeutung. Seit 1846, wo Hugo von Mohl das Protoplasma als wesentlichen Theil der Pflanzenzelle erkannte und ihm seinen Namen gab, ja selbst schon lange vorher,

Universitätsbibliothek Regensburg
urn:nbn:de:bvb:355-ubr05161-0417-5

wo man es als eine Art Zellsaft betrachtete, fiel den Phytotomen nichts so sehr auf, wie seine mit fortwährenden Gestaltveränderungen verbundenen Bewegungen oder „Strömungen", und das Interesse an ihm wuchs ganz besonders seit 1855 durch Nägeli's Studien[1]) über seine physiologischen Eigenschaften, und als sich im Anfang der 60er Jahre De Bary's „Mycetozoen" als freilebendes „Protoplasma" (eigentlich Energidengesellschaften) herausstellten, die Zootomen erkannten, dass der Körper der Protozoen aus derselben Substanz bestehe, und als endlich seit etwa 25 Jahren das Protoplasma als die Grundsubstanz sowohl der thierischen wie der pflanzlichen Zellen allgemein anerkannt wurde, da waren es immer wieder die wunderbaren Bewegungen, welche die Forscher beschäftigten, und zwar besonders desshalb, weil diese anscheinend ohne jeden äusseren Anstoss erfolgen, bei constanter Temperatur, constanter Beleuchtung, constanter Finsterniss, constanter Sauerstoffathmung — obgleich sich anderseits zeigte, dass das Protoplasma mit seinen Bewegungen für allerlei äussere Anregungen (Temperaturschwankungen, Sauerstoffmangel, Druck, Chemikalien, elektrische Ströme u. a.) höchst empfindlich oder reizbar ist. Das Fremdartige an den Bewegungen des Protoplasmas wird noch dadurch verstärkt, dass die Aehnlichkeit seiner sog. Strömungen mit den Strömungen von Flüssigkeiten oder schleimartiger Stoffe eine rein äusserliche, täuschende ist, mit den hydrostatischen Gesetzen der Physik gar nichts gemein hat, vielmehr auf eine innere molekulare Struktur hinweist, die ich schon 1865 als „organisirt" bezeichnet habe.

Im Vergleich zu den zwar nicht starren, aber doch ihre Form im Allgemeinen festhaltenden Chloroplasten und Chromatinkörpern zeichnet sich also das Protoplasma vorwiegend dadurch aus, dass seine kleinsten Theile gegen einander leicht verschiebbar sind, woraus allerlei äussere Formänderungen, selbst Ortsbewegungen, wie bei den Amoeben, entspringen. Veranlasst werden diese Verschiebungen durch äussere Einwirkungen (Reize) oder sie erfolgen ohne solche bei der Circulation und Rotation des Protoplasmas. Jedenfalls sind es mechanische, kinetische Vorgänge im Innern des Protoplasmakörpers, die ganz einzig in ihrer Art dastehen und als das am meisten Charakteristische desselben hervortreten. Wenn ich daher den Chromatinkörpern vorwiegend Gestaltungsenergie, den Chloroplasten photochemische Arbeit als besondere Merkmale zuschrieb, so könnte das Protoplasma wohl durch seine kinetische Energie und kinetischen Reizerscheinungen überhaupt als endokinetisch charakterisirt werden.

1) Pflanzenphysiologische Unters. von Nägeli und Cramer.

Universitätsbibliothek Regensburg
urn:nbn:de:bvb:355-ubr05161-0418-1

§ 5. So unergründlich und für physikalisch-chemische Erklärungen unerreichbar, wie die Gestaltungsenergie der Chromatinkörper und die chemische Energie der Chloroplasten, sind vom physikalisch-chemischen Standpunkt aus bis jetzt auch die Bewegungen und die Reizbarkeiten des Protoplasmas. Diese drei fundamentalen Thatsachen des Pflanzenlebens sind in der Energide vereinigt; sollte es dereinst gelingen, auch sie den physikalischen Vorstellungen einzuordnen, erst dann wird die Frage gelöst sein, die als die schwierigste und letzte der Naturwissenschaft zu betrachten ist. Ich glaube aber, dass zur Erreichung dieses Zieles noch wenigstens zweierlei nöthig ist: erstens eine viel bessere Erkenntniss der Energiden und eine wesentliche Vertiefung der physikalisch-chemischen Vorstellungen von dem Wesen der Naturkräfte und der Materie überhaupt.[1]) Die erste dieser Forderungen aber wird, wie ich überzeugt bin, leichter zu erfüllen sein, wenn man sich daran gewöhnt, nicht mehr die Zelle, wie bisher, sondern die Energide als das ursprünglich Lebendige zu betrachten und in den einzelnen Theilen der Energide selbst die Träger bestimmter Energien zu erblicken; für den Zoologen mag dies vielleicht von geringerem Gewicht sein, desto nöthiger ist es aber für die botanische Forschung, besonders wenn es sich um Wachsthum und Gestaltung der Pflanzenorgane, um die Entstehung von Mechanomorphosen als Reizwirkungen und um causale Morphologie überhaupt handelt. — Schon bei der Abfassung meines Lehrbuchs seit 1868, wo ich genöthigt war, die Zellenlehre nach den von Hugo von Mohl und Nägeli entwickelten und noch in den 70er und 80er Jahren allgemein herrschenden Gesichtspunkten und Anschauungen darzustellen, fühlte ich die durch den üblichen Begriff „Zelle" hervorgerufene Verwirrung, welche die Behandlung der Morphologie und Physiologie mit beeinflussen musste; das dadurch bedingte Missbehagen steigerte sich noch bei der Abfassung meiner „Vorlesungen" (1882 und 1887). Die Herstellung derartiger Bücher, wenn es der Autor nur ernst meint, hat aber das Gute, dass er genöthigt ist, den inneren Zusammenhang der verschiedensten Thatsachen immer von neuem zu prüfen und die fundamentalen Mängel der herrschenden Anschauungen aufzufinden;

1) Gerade in den Tagen, wo ich dies schrieb, hat Prof. W. Ostwald bei der Naturforscher-Versammlung in Lübeck seinen ideenreichen Vortrag: „Die Ueberwindung des wissenschaftlichen Materialismus" gehalten, aus dem eine neue Auffassung der gesammten Naturerscheinungen, einschliesslich der Lebensvorgänge sich entwickeln dürfte. Mit der bisherigen Atomistik und Mechanik sind nun einmal die Grundprobleme des Lebens nicht zu lösen.

Universitätsbibliothek Regensburg
urn:nbn:de:bvb:355-ubr05161-0419-9

und einen solchen erkannte ich schliesslich in dem herrschenden Gebrauch des Wortes Zelle, worüber ich mich 1892 (in der Flora) in dem Aufsatz „Energiden und Zellen“ ausgesprochen habe. Von einem Begriff „Zelle“ konnte man auf botanischem Gebiet gar nicht reden, da ein solcher sich nicht abgrenzen (definiren) liess. Jetzt aber lässt sich eine Definition geben: Zelle ist die von einer Energide bewohnte Zellstoffkammer.

§ 6. Dass man den Unterschied von Energide und passiven Zellprodukten im Einzelnen schon längst mehr oder minder deutlich erkannt hat, zeigt die Litteratur; nur unterliess man es, die principielle Wichtigkeit desselben hinreichend zu betonen. So erklärt es sich, dass Nägeli (1858) als das Schema eines organisirten Körpers die Stärkekörner hinstellen konnte, denen er die Zellwand als ein ebenfalls im emphatischen Sinne des Wortes organisirtes Gebilde anschloss, also zwei von den passiven Zellprodukten, die nicht zur lebendigen Energide gehören, zwei Gebilde, die von den Energiden erzeugt werden, denen jede eigene Energie fehlt. Nägeli's Ansicht fand allgemeinen Anklang, sie blieb die maassgebende und herrschende bis auf den heutigen Tag. Wenn man ein pflanzliches oder auch thierisches Gebilde als ein solches mit organisirter Molekularstruktur bezeichnen wollte, so fragte man nur, ob letztere mit der der Stärkekörner oder Zellhäute übereinstimme u. s. w. Die Molekularstruktur der Stärkekörner und Zellwände gewann eine Bedeutung in der Litteratur, die in keinem Verhältniss zu ihrer biologischen Bedeutung steht.

Nun aber ist wohl die Frage erlaubt: soll man die Molekularstruktur der mit Energie begabten Energidentheile, von denen alle Lebensthätigkeiten abhängen, als organisirt bezeichnen oder mit Nägeli gerade die passiven Zellenprodukte, die von jenen erzeugt und zum Theil wieder unter dem Einfluss der Energide aufgebraucht werden. Protoplasma mit einem Kern ist ein lebendiges Ding; Zellwand und Stärke liegen träge da, sind physikalisch-chemische, nicht lebendige Gebilde. — Ich denke, unter solchen Umständen kann doch wohl kein Zweifel sein, dass der Ausdruck „organisirt“ demjenigen Gebilde zuerkannt werden sollte, welches das Wesentliche an jedem Organismus ist, also der Energide und ihren mit Energie begabten Theilen, dem Protoplasma und dem Kern, sammt dem Chromatin und den Centrosomen. Wären die Stärke und Zellstoffwände das eigentlich Organisirte, so müsste man zugeben, dass der Thierkörper überhaupt nicht organisirt sei, da ihm beides fehlt. — Zu alledem kommt

Universitätsbibliothek Regensburg
urn:nbn:de:bvb:355-ubr05161-0420-0

noch, dass es Nägeli selbst war, der die Molekularstruktur der Stärkekörner und Zellhäute als eine der Krystallstruktur ähnliche zu erweisen suchte, obgleich er das Wachsthum dieser passiven Zellentheile durch Einlagerung irrthümlich stattfinden liess. Durch seine spätere Micellartheorie wurde an alledem im Grunde nichts gebessert oder verändert.

Schlägt man die neuesten Lehrbücher der allgemeinen Botanik nach, so findet man, dass diese Ansichten zwar nicht mehr die hervorragende Bedeutung haben, wie vor 10—20 Jahren, aber doch keineswegs durch Besseres ersetzt worden sind.[1])

Diesen Ansichten gegenüber finde ich mich nun veranlasst, die Struktur der Stärkekörner und Zellhäute als eine solche von nicht organisirten Körpern zu betrachten, weil diese Gebilde eben nicht als lebende gelten können und weil wir den Begriff des Organisirten doch wohl nur den mit Lebensenergie begabten Energiden reserviren müssen; das, was die Zootomen Zelle nennen, entspricht im Allgemeinen unseren pflanzlichen Energiden, und so ergibt sich ganz von selbst, dass es in beiden Reichen die unmittelbaren Lebensträger sind, deren Molekularstruktur als die organisirten gelten sollte.

Damit hängt nun aber noch ein anderer höchst bedeutungsvoller Punkt zusammen, nämlich die Frage nach der Ernährung und dem Wachsthum der Energidentheile, eine Frage, die unter dem Eindruck der Nägeli'schen Theorie kaum aufgeworfen, geschweige denn ausführlich bearbeitet worden ist. Vor Allem ist dabei ein wahres Knäuel von Irrthümern zu entwirren; denn zu dem vorhin Gesagten muss noch hervorgehoben werden, dass Nägeli das Wachsthum der Stärkekörner und Zellwände durch Einlagerung (Intussusception) stattfinden liess, während wir jetzt wissen, dass das der Stärkekörner überhaupt, das der Zellwände wenigstens in der Dickenrichtung durch Anlagerung (Apposition) stattfindet. Mit der Abweisung der Intussusception bei den passiven Gebilden fällt aber auch von selbst die Selbsttheilung derselben fort, die Nägeli für die Stärkekörner irrthümlich in Anspruch nahm, die aber jetzt ebenfalls widerlegt ist. Mit diesen An-

1) Der Verfasser eines Lehrbuchs ist oft in der Lage, dass er fremde Irrthümer auf eigene Rechnung nehmen muss, da es seine Pflicht ist, die herrschenden Ansichten zu referiren und weil es auch für den Selbstdenkenden sehr schwer ist, sich von den Vorurtheilen seiner Zeit frei zu machen; so erging es auch mir und dies mag zur Entschuldigung dafür dienen, dass ich hier auf Grund eigenen Denkens, Nägeli's Ansichten, die ich früher für richtig hielt, nunmehr als Irrthum hinstellen muss; übrigens sind Jahrzehnte darüber hingegangen.

Universitätsbibliothek Regensburg
urn:nbn:de:bvb:355-ubr05161-0421-6

sichten Nägeli's wäre es aber ganz unmöglich, die Continuität der embryonalen Gewebe und ihre Bedeutung zu verstehen.

Fassen wir also das Gesagte kurz zusammen, so ergibt sich: die Stärkekörner und Zellwände der Pflanzen sind als nur passive Produkte der Energiden nicht als organisirt zu bezeichnen, da dieser Ausdruck für die eigentlich lebendigen Gebilde der Thiere und Pflanzen, d. h. für die Energiden, zu reserviren ist; und zweitens: das Wachsthum und dem entsprechend die Ernährung der nicht organisirten, passiven Zellenprodukte geschieht durch Apposition. Dagegen lässt sich behaupten, dass das Wachsthum und die Ernährung der Energidentheile: des Kerns, des Chromatins, der Centrosomen, des Protoplasmas und der Chromatophoren (zumal der Chlorophyllkörner) durch Einlagerung neuer Moleküle zwischen die vorhandenen geschieht, also durch Intussusception.

Während es nun für die gesammte Biologie ziemlich gleichgiltig ist, ob das Wachsthum der Stärkekörner durch Einlagerung oder durch Anlagerung neuer Moleküle vor sich geht, da sie ohnehin bald entstehen, bald vergehen, also von ephemerer Bedeutung sind, liegt die Sache ganz anders bei den Energidentheilen; denn diese sind nicht ephemer, sie bilden die embryonale Substanz, die Trägerin der Erblichkeit, sie stellen die Continuität der Generationen her, sie sind es, an denen sich die Ontogenese der Individuen und die phylogenetische Verkettung der Species und Typen vollzieht; und dies leisten die Energidentheile dadurch, dass sie ausschliesslich durch Intussusception wachsen und sich ausschliesslich durch Selbsttheilung vermehren, aber nicht durch Neubildung entstehen (gleich den Zellhäuten, Stärkekörnern, Krystallen).

§ 7. Man sieht aus diesen wenigen Sätzen, dass die Frage nach dem Wachsthum der Energidentheile eine der Fundamentalfragen der gesammten Biologie und der Descendenztheorie ist, denn wenn diese Gebilde niemals durch Neubildung und nur durch Selbsttheilung entstehen, so ist damit die Continuität der embryonalen Substanz im Laufe der geologischen Zeiten und der gesammten phylogenetischen Entwickelung gegeben und erklärt.

Bedenkt man die ungeheure Wichtigkeit dieser Sätze, so erscheint es fast gewagt, sie auszusprechen, ohne ganze Bände von Beweisen für ihre Begründung beizubringen; aber gestützt auf die den Histologen alltäglichen Thatsachen bedarf es eben nur kurzer Hinweise auf Bekanntes, um das Gesagte einleuchtend zu machen.

Universitätsbibliothek Regensburg
urn:nbn:de:bvb:355-ubr05161-0422-2

Die Hauptfrage dreht sich um die Ernährung der Energidentheile, die mit ihrem Wachsthum so unmittelbar verbunden ist, dass eines ohne das andere gar nicht gedacht werden kann.

Sehr einfach liegt die Sache betreffs des Protoplasmas. Es besteht wenigstens in der Hauptsache aus eiweissartigem Stoff, der sich in der Vacuolenflüssigkeit grösserer Zellen als Lösung im chemischen Sinne des Wortes vorfindet. Es kann nicht zweifelhaft sein, dass auch dass Protoplasma selbst von einer solchen Lösung durchtränkt ist und bei den sehr kleinen, vacuolenfreien Energiden der Vegetationspunkte und anderer embryonaler Gewebemassen ist das überhaupt nicht anders möglich. — Aber Eiweisslösung ist noch kein Protoplasma, sie unterscheiden sich, wie Nicht-Organisirtes vom Organisirten: aus der Lösung muss ein Molecularbau ganz anderer Art entstehen. Ob bei dieser molecularen Strukturveränderung auch wesentlich chemische Processe mitwirken, ist unbekannt. — Sicher ist aber, dass aus Eiweisslösung niemals „von selbst" gewissermaassen durch generatio spontanea oder durch „Niederschlag" neues Protoplasma sich bildet. Die Vermehrung der Protoplasmamoleküle findet nur im schon vorhandenen, organisirten Protoplasma selbst, zwischen seinen Molekülen statt. Die Moleküle des schon vorhandenen Protoplasmas, zwischen welche die Eiweisslösung eindringt, besitzen allein die Energie, aus den Eiweissmolekülen Protoplasmamoleküle[1]) zu machen und diese zwischen sich einzulagern. Die Entstehung von Protoplasmamasse setzt also immer schon vorhandenes Protoplasma voraus; wie aber solches zuerst entstanden ist, bleibt unbekannt; auch wenn es den Chemikern gelänge, Eiweisslösung aus ihren Constituenten zu erzeugen, so wäre damit also noch lange nicht die Bildung und das Wachsthum von Protoplasma gegeben. Mit einem Wort, das Protoplasma wächst nur durch Intussusception, von einer blossen Anlagerung der Eiweissmoleküle an die Oberfläche des schon vorhandenen Protoplasmas kann keine Rede sein, wobei als Oberfläche auch die Wandung der Vacuolen zu denken ist.

1) Oder vielleicht besser gesagt, ein bewegliches Gerüst von solchen, was auch der „Wabigen Struktur" Bütschli's ungefähr entspräche. Bei dieser Gelegenheit möchte ich auf eine von mir beobachtete, aber, wie es scheint, kaum beachtete Thatsache aufmerksam machen, die ich 1858—1862 mehrfach beschrieben habe. Behandelt man junge Sprosse und Wurzelfäden mit Kupfervitriol und Kalilauge, so entsteht in den Leitbündelsträngen die intensiv violette Färbung als Reaction der in ihnen enthaltenen Lösung von nicht organisirtem Eiweiss; diese aber tritt nicht ein in den noch jungen Energiden der anderen Gewebemassen; jenes ist gelöstes, nicht organisirtes Eiweiss, diese aber bestehen aus organisirtem Eiweiss. (Vgl. meine „Gesammelten Abhandl." p. 652.)

Universitätsbibliothek Regensburg
urn:nbn:de:bvb:355-ubr05161-0423-7

Das Wesentliche dieser Vorstellungsweise können wir ohne Weiteres auf das Wachsthum der Chloroplasten (überhaupt der Chromatophoren und Leucoplasten) übertragen. Auch sie entstehen niemals in wässriger Flüssigkeit, im Vacuolensaft; sie sind jederzeit im Protoplasma selbst eingebettet, aber die frühere Vorstellung, dass neue Chloroplasten „von selbst" in diesem sich bilden, darf jetzt als irrthümlich gelten; die Chloroplasten entstehen nur durch Theilung schon vorhandener und diese Theilung erfolgt erst, wenn sie bis zu einem bestimmten Maasse herangewachsen sind. Dieses Wachsthum der Chloroplasten aber kann, wie aus ihrer Form, Struktur u. s. w. zu schliessen ist, nur durch Einlagerung von geeigneter Nahrungssubstanz zwischen die schon vorhandenen Moleküle stattfinden. Diese letzteren aber stammen aus dem umgebenden Protoplasma. Ob sie in diesem schon vorgebildet sind, ist unsicher und viel wahrscheinlicher ist, dass die aus dem Protoplasma in die Chloroplasten eintretende Nahrungssubstanz erst zwischen den Molekülen chemisch verändert und zugleich in dem Molecularbau des Chloroplasten eingeschaltet wird. Betreffs des Farbstoffs ist dies ja ohne Weiteres klar, da er sich niemals (etwa als Lösung) im umgebenden Protoplasma vorfindet, was doch leicht zu sehen wäre, und dass im Chlorophyllkörper selbst chemische Processe stattfinden, zeigt das nachträgliche Ergrünen der gelben Chloroplasten etiolirter Organe am Licht. Zudem ist ja das Chlorophyllkorn eine chemische Fabrik von grösster Leistungsfähigkeit, wie die Entstehung der Assimilationsprodukte, zumal der Stärke, resp. des Zuckers im Innern der Chlorophyllmasse zeigt.[1]) Die Hauptsache aber bleibt für unsere Betrachtungen, dass die Chloroplasten, ebenso wie die anderen Chromoplasten durch Intussusception wachsen und sich nur durch Theilung vermehren; könnte bei den gewöhnlichen kleinen Chlorophyllkörnern noch ein Zweifel darüber bestehen, so ist dieser bei den eigenartigen Chlorophyllbändern, Platten und Sternen der Desmidieen, Bacillariaceen, Spirogyren u. a. nicht möglich. Ist das Gesagte aber richtig, so stammen alle Chlorophyllkörner eines Baumes von einem oder einigen solchen ab, die in der Eizelle, resp. Spore vorhanden waren.

Was endlich die Chromatinkörper betrifft, so mag von diesen ungefähr dasselbe, wie von den Chloroplasten gelten; da sie aus

1) In einem Quadratmeter der dünnen, grünen Blattlamelle des Kürbis und Tabaks entsteht (in den Chloroplasten derselben) bei kräftiger Beleuchtung in einer Stunde ca. 1 g Stärke aus zersetzter Kohlensäure, wie ich 1884 festgestellt habe. (Gesammelte Abhandl. p. 354.)

Universitätsbibliothek Regensburg
urn:nbn:de:bvb:355-ubr05161-0424-3

einem wesentlich anderen Stoff bestehen, als die plasmatische Grundsubstanz des Zellkerns; da aber ferner von einer dem Chromatin gleichen Substanz sonst in der ganzen Energide nichts zu sehen ist, so muss auch hier eine zwischen die schon vorhandenen Chromatinmoleküle einwandernde Nährsubstanz erst in neue Chromatinmoleküle umgewandelt werden. Der einzelne Chromatinkörper wird dadurch grösser und theilt sich nun in mehrere. Jedenfalls findet das Wachsthum der Chromatinkörper durch Intussusception statt und ihre Vermehrung durch Theilung, nicht durch Neubildung, was auch von den Centrosomen gelten wird.

Ich lege auf diesen Punkt desshalb so grossen Werth, weil, wie schon oben angedeutet, die Continuität der embryonalen Substanz dadurch eine feste, thatsächliche Grundlage gewinnt und die Erblichkeit sowohl in ontogenetischer, wie in phylogenetischer Beziehung auf ein materielles Substrat übertragen wird. Entstehen aus einer Energide zwei Tochterenergiden, so besteht jede der letzteren aus Theilen, die schon in der Mutterenergide gebildet worden sind und jetzt nur in derselben Weise weiter zu wachsen brauchen, wie jene; und so geht es mit den Enkeln und Urenkeln weiter. Die primäre Ursache der Erblichkeit liegt dann aber in dem Wachsthum der Energidentheile durch Einlagerung und in ihrer ausschliesslichen Vermehrung durch Theilung. Nur so wird der erbliche Zusammenhang von Eltern und Nachkommen hergestellt und begreiflich.[1]) Dies wäre aber nicht der Fall, wenn aus gelösten Stoffen neue Protoplasten, neue Chloroplasten, neue Chromatinkörper und Centrosomen entstünden. So verhalten sich aber die Stärkekörner und die Zellwände, welche aus dem Protoplasma ausgeschieden oder abgeschieden werden und jedes Mal neu entstehen. Sie sind der Energide gegenüber blosse gelegentliche passive Produkte, ohne eigene Lebensenergie; sie können sich

1) Jede Tochterenergide besitzt in sich Moleculargruppen, welche in der Mutterenergide entstanden sind und nun denselben Ernährungs- und Gestaltungsprozess fortsetzen. Geht man von der Scheitelzelle aus, so wird das Segment nur einen Theil der in jener durch Einlagerung entstandenen Moleculargruppen enthalten; noch geringer wird die Masse der letzteren in den Theilzellen eines Segmentes sein und in den späteren Energiden der jungen Organe wird deren Zahl immerfort abnehmen. Daraus folgt aber, dass nicht die Moleküle selbst sich im Laufe der successiven Ontogenesen erhalten, sondern der Ernährungs- und Gestaltungsprozess thut dies, vergleichbar etwa einer Wasserwelle, in welcher nicht die Wassertheile fortschreitend durch den Raum sich bewegen, sondern nur die Schwingungsform dieselbe bleibt und fortschreitet. Freilich kann diese Vergleichung leicht missverstanden werden.

Universitätsbibliothek Regensburg
urn:nbn:de:bvb:355-ubr05161-0425-9

nicht durch Theilung vermehren, sie gehen nicht in infinitum aus einer Zelle in ihre Nachkommen über, wenn auch immerhin einzelne Stärkekörner bei der Theilung der Energide passiv mit in die Tochterzellen gelegentlich übergehen und einzelne Zellwandstücke der Mutterzelle nach der Zelltheilung den Tochterzellen mit zu Gute kommen.

Ich denke, eine solche Klarheit über die fundamentalsten Fragen der Biologie, wie sie durch eine scharfe Sonderung der Begriffe Energide und Zelle zu erreichen ist, dürfte doch zeigen, dass es sich hier nicht bloss um eine veränderte Nomenclatur handelt.

§ 8. Die Lebensvorgänge der Pflanzen vollziehen sich in sehr kleinen Räumen, in den von je einer Zellwand eingeschlossenen Energiden. Selbst wo der Mikroskopiker von ziemlich grosszelligem Parenchym der Metaphyten (z. B. in Laubblättern, saftigen Sprossaxen, Knollen, Pericarpien u. s. w.) redet, beträgt das Volumen einer Zelle ungefähr nur $^1/_{100000}$ cmm³. Noch viel kleiner sind die Zellen der einfachsten Protophyten, zumal der Cyanophyceen, auch in ausgewachsenem Zustand, und Nägeli rechnete sogar 30 Millionen Mikrococcen auf einen Cubikmillimeter Raum. Trotz der vielfachen Einzelgebilde, welche in einer der grösseren Gewebezellen bei starken Vergrösserungen zu sehen sind, ist es für das an die gewöhnlichen Dimensionen der sichtbaren Gegenstände gewöhnte Vorstellungsvermögen des Menschen doch kaum möglich, solch kleine Räume zu denken, ähnlich wie die Entfernungen der Fixsterne sich vorzustellen. — Auch der Fachmann thut gut, bei seinem Nachdenken über histologische Dinge zuweilen nicht nur an die relativen, sondern auch an die absoluten Grössen seiner Objecte zu denken; denn wenn auch die Unzulänglichkeit unseres Sehvermögens durch die Vorzüglichkeit der neueren Mikroskope zum Theil ausgeglichen wird, so ist damit die wissenschaftliche und objective Bedeutung der absoluten Raumgrössen im mikroskopischen Bau der Organismen noch keineswegs abgethan. In meiner VI. Notiz (Flora 1893 p. 49) habe ich versucht, Einiges über die Beziehungen zwischen Grösse und Organisation klar zu legen und die Aufmerksamkeit der Forscher auf dieses bisher so gut wie gar nicht bearbeitete Thema zu lenken, weil es sich dabei ebenfalls um causale Morphologie handelt.

Was mich damals besonders interessierte, war die Thatsache, dass die Zellen (resp. Energiden) eine gewisse mittlere Grösse nicht übersteigen, einer bestimmten „Ordnung von Raumgrössen“ angehören, deren eine Grenze ungefähr da liegt, wo das menschliche Auge seinen Dienst versagt, während die untere Grenze mit der des mikroskopischen

Universitätsbibliothek Regensburg
urn:nbn:de:bvb:355-ubr05161-0426-5

Sehens ungefähr zusammenfällt und jenseits deren die Speculation über Moleküle beginnt. Innerhalb dieses immerhin sehr grossen Spielraums von Grössenunterschieden ist es aber wieder ein mittleres Volumen von ungefähr $^1/_{100000}$ cmm³, um welches sich, wie gesagt, die Volumina der Pflanzenzellen, auf- und abwärts gehend, gruppiren.[1])

Das Merkwürdige an der Sache schien mir nun, dass diese Grössenordnung, in der die Zellen sich halten, nicht wesentlich überschritten wird, wenn auch die aus ihnen aufgebauten Pflanzen die allerverschiedensten Grössen haben; grosse Pflanzen bestehen nicht aus grösseren, kleine Pflanzen nicht aus kleineren Zellen; es gibt kein bestimmtes Grössenverhältniss zwischen Zellen und den aus ihnen aufgebauten vielzelligen Pflanzen. Die Zellen (resp. Energiden) gehören ein für alle Mal einer bestimmten Grössenordnung an, die nur nach kleinen Bruchtheilen von Millimetern linear, nach Cubikmikromillimetern im Volumen rechnet, gleichgiltig, ob der ganze Organismus Milligramme oder Kilogramme wiegt und entsprechendes Volumen einnimmt.[2]) — In der Notiz VI versuchte ich, diese Thatsache nicht zu erklären, sondern nur anschaulich zu machen, indem ich die Zellen mit Bausteinen und die vielzelligen Pflanzen mit Gebäuden verglich, wobei sich leicht ergibt, dass die Bausteine eine gewisse Grösse nicht übersteigen dürfen, wenn alle Einzelnheiten der Architektur und Sculptur ihren gewünschten Ausdruck finden sollen. Das ist aber, wie gesagt, nur eine Veranschaulichung der Thatsache, aber keine Erklärung dafür, dass die Zellen überhaupt so klein sind, wie schon daraus hervorgeht, dass auch die frei und vereinzelt, zumal im Wasser lebenden Zellen (Schwärmsporen, Bacillarien, Protococcen u. s. w.) derselben Grössenordnung angehören, wie die Gewebezellen der Metaphyten. Betreffs der letzteren würden sich mancherlei teleologische Erklärungen aufstellen lassen und die Darwinianer würden schwerlich ermangeln, auch hier den Kampf ums Dasein und die Selection walten

1) Als mittlere lineare Dimension wurde nach sehr zahlreichen Messungen $^2/_{100}$ mm angenommen.

2) Wo gelegentlich Zellen von colossaler Grösse vorkommen, da handelt es sich um Gebilde, die so zu sagen nur noch nach älterem Begriff als Zellen gelten können, in ihrer Jugend Energiden waren, dann aber Nahrungsbehälter geworden sind: so z. B. die Makrosporen der Marsiliaceen, Salvinien und Isoëten, die gleich den Dotterbehältern der Vogeleier neben einem grossen Vorrath passiver Produkte nur an einer beschränkten Stelle eine lebensfähige Energide einschliessen, aus der sich der neue Organismus unter Benutzung jenes Vorraths entwickelt. Gerade in solchen Fällen zeigt sich, wie nützlich es ist, Energide und Zelle scharf zu unterscheiden.

Universitätsbibliothek Regensburg
urn:nbn:de:bvb:355-ubr05161-0427-0

zu lassen. Aber die frei lebenden Zellen der Protophyten würden da doch wohl grosse Schwierigkeiten bereiten; bei ihnen würde sogar der durchschlagendste, für die Gewebepflanzen etwa geltend zu machende Grund wegfallen, dass nämlich durch die Kleinheit der Zellen die Festigkeit des ganzen Pflanzenkörpers erhöht wird. Thatsächlich ist das ja richtig, aber für die im Wasser lebenden Protophyten ist es unnöthig, zumal wenn man beachtet, dass sie nahezu das specifische Gewicht des Wassers haben, und mit dem Kieselpanzer der Bacillarien liessen sich wohl tausendfach grössere Zellen mit der nöthigen Festigkeit bilden. Man könnte vielleicht einwenden, für die Siphoneen, zumal für die grossen marinen Formen (Caulerpa, Penicillus, Udotea u. s. w.) treffe etwas Aehnliches ja doch zu. Das wären aber doch nur wenige Formen im Vergleich zu den vielen kleinzelligen Protophyten, und dabei müsste man die Siphoneen für einzellig halten, was sie doch nur betreffs der Zellhaut, nicht aber bezüglich des lebenden Inhaltes ihrer Schläuche sind. Gleich den Siphoneen unter den Algen sind auch die Mucorineen und andere Phycomyceten coeloblastisch gebildet; aber im Gegensatz zu jenen zeigen sie, dass bei unserer hier behandelten Frage die Rücksicht auf die Festigkeit des Zellenbaues eine untergeordnete Rolle spielt, denn die Mucorineen, obgleich zum Theil in der Luft vegetirend, sind wohl die zartesten aller Pflanzengebilde, durch jede Berührung, jeden Windhauch verletzt; man erinnere sich hier nur z. B. an einen kräftig auf Brod vegetirenden, von einer grossen Glasglocke bedeckten Mucor stolonifer!

Dass die Kleinheit der Zellen in keinem Verhältniss zur Grösse der mehrzelligen Pflanzen steht und dass die vereinzelt lebenden Zellen der Protophyten sich in derselben mittleren Grössenordnung halten, kann nur im Wesen der Energiden begründet sein und auf den richtigen Weg zur Beantwortung der Frage, wie das zu verstehen sei, leitet uns gerade die Betrachtung der Siphoneen und sonstigen Coeloblasten. Die in dem Zellstoffschlauch derartiger Pflanzen enthaltene reichliche Protoplasmamasse ist von zahlreichen sehr kleinen Zellkernen durchsäet, die ähnlich wie bei den vielzelligen Pflanzen in den Vegetationspunkten dicht beisammen liegen, mit dem Wachsthum der Zweigschläuche aber mehr und mehr auseinander rücken. Entfernt man ein Quantum des Protoplasmas, in welchem zugleich Kerne liegen, aus dem Schlauch, so umhüllt es sich mit einer Zellstoffhaut und wächst dann weiter, so z. B. bei Vaucheria. — Diese Thatsachen führten mich zu der Ansicht, dass jeder der vielen Kerne mit einer

Universitätsbibliothek Regensburg
urn:nbn:de:bvb:355-ubr05161-0428-6

ihn umgebenden kleinen Protoplasmaportion eine lebendige Einheit, eine Energide, bildet, nur unterbleibt bei den Coeloblasten die scharfe Abgrenzung der benachbarten Energiden, wie sie bei den Metaphyten oder Gewebepflanzen stattfindet.

Damit gewinnt nun die Frage, die uns hier beschäftigt, eine andere Wendung; es handelt sich nicht mehr um die Kleinheit der Zellen und der Energiden selbst, sondern um die Frage, warum jeder Zellkern nur im Stande ist, eine sehr kleine Quantität von Protoplasma um sich zu sammeln und sie zu beherrschen. Jedenfalls bekommt auf diese Art unsere Hauptfrage einen bestimmteren Sinn, wenn es darauf ankommt, eine causale Erklärung zu geben. Die Kleinheit der innerhalb einer Energide auf einander mechanisch und kinetisch einwirkenden Energidentheile weist darauf hin, dass es sich vor Allem dabei um sog. Flächenkräfte handelt, die nur auf sehr geringe Entfernungen hin wirken, deren Ausgiebigkeit aber durch die Vergrösserung der Fläche bei gegebener Masse wächst. — Auf eine derartige Erklärung weist auch die Entstehung zahlreicher Energiden in geräumigen Embryosäcken hin (z. B. bei Ricinus), ebenso das Auftreten mehrerer Kerne im Protoplasma sehr langer Gewebezellen, z. B. bei Bastzellen der Angiospermen. In solchen Fällen tritt deutlich hervor, dass, ohne Rücksicht auf etwaige Adaptationen, Verhältnisse vorhanden sind, durch welche der Herrschaft eines einzelnen Zellkerns eine sehr geringe Raumgrösse angewiesen wird, dass seine Wirkungssphäre einen sehr kleinen Radius haben muss. — Unter den hier allerdings nur sehr zurückhaltend geäusserten Gesichtspunkten dürfte es vielleicht später einmal gelingen, die in den Zellen thätigen Kräfte kinetisch zu begreifen. Als einen interessanten Anfang in dieser Richtung betrachte ich die geistvollen Auseinandersetzungen Boveri's über die Karyokinese in den Eizellen des Spulwurms; sehr anregend wirken dabei seine Figuren und Schemata 64 a und 64 b in seinen „Zellenstudien" Heft II (Jena, bei Fischer, 1888).

Schon in meiner Notiz VI suchte ich den Gedanken geltend zu machen, dass selbst innerhalb der Grössenordnung, zu welcher die Zellenmaasse überhaupt gehören, noch eine Steigerung der Gestaltungsenergie durch Verkleinerung der Energiden angestrebt wird, was ja mit dem eben Gesagten übereinstimmt. — Ich sagte am angegebenen Ort:

„Wenn thierische Eier oder solche der Fucoideen und die grossen Sporen von Algen, Pilzen, die Makro- und Mikrosporen der Selaginellen, Isoëten und Marsiliaceen u. a. sich zur neuen Entwickelung vorbereiten und ihren Inhalt in zahlreiche, kleine Energiden theilen, so ist es

Universitätsbibliothek Regensburg
urn:nbn:de:bvb:355-ubr05161-0429-5

dieselbe Quantität von Stoff, die vorher als eine Masse erscheint, später aber in Form von vielen kleinen. — So lange die grosse einheitliche Masse nur ein Ganzes[1]) darstellt, ruht sie, sie ist physiologisch unthätig, abgesehen von langsam fortschreitenden chemischen Veränderungen. Die Gestaltungsprocesse beginnen mit der Furchung, überhaupt mit der Zerlegung in zahlreiche Energiden, und sie werden um so energischer und vielseitiger, je weiter die Theilungen fortschreiten."

„Diese Erscheinung macht den Eindruck, als ob dieselbe Stoffmasse an Energie, an Arbeitskraft gewänne, wenn sie in zahlreiche Portionen oder Energiden zerfällt."

„So hingestellt wäre die Thatsache kaum zu begreifen; wie sollte durch blosse Theilung eine Vermehrung der Energie möglich sein. Eine solche ist unter den gegebenen Umständen nur durch Vermehrung der lebensthätigen Substanz[2]) selbst denkbar. Und thatsächlich findet eine solche offenbar statt; denn das, was sich activ (unmittelbar) an den Theilungsvorgängen bethätigt, ist das Nucleïn und das lebende Protoplasma (sammt den Centrosomen) allein. Neben diesen beiden aber befindet sich in den Eiern, Sporen u. s. w. auch noch nahrhafte Substanz, Reservestoff, der an sich zwar keine physiologische Energie besitzt, aber als Nahrungs- und Wachsthumsstoff des Nucleïns und Protoplasmas verwendet wird und so zur Steigerung der Energie beiträgt." — „Bei den mit abgegrenzten Dotter versehenen Eiern der Thiere[3]) und bei den Makrosporen der Marsiliaceen und Selaginellen, wo neben dem gestaltungsfähigen Keimstoff grosse Massen von Stärke, Fett und Eiweissstoffen abgelagert sind und wo diese Vorräthe während der Keimung aufgebraucht werden, leuchtet ohne Weiteres ein, woher die Vermehrung der Energie, der physiologischen Kräfte, kommt; die an sich trägen, nicht energischen Reservestoffe dienen zur Ernährung, Vermehrung des mit Energie begabten Nucleïns und Protoplasmas, und indem diese Ernährung fortschreitet, theilen sich die Energiden

1) Im cit. Text stand „Energide", wofür ich hier besser: ein „Ganzes" sage; ich hatte damals noch nicht den Gegensatz von Energide und Zelle und den von Energide und passiven Zellprodukten scharf genug betont, wie es in dem hier vorliegenden Aufsatz geschehen ist.

2) Ich hätte dort hinzusetzen sollen: auf Kosten und durch Verbrauch der passiven Reservestoffe, wie weiter oben bei Gelegenheit der Ernährung der Energidentheile dargelegt wurde.

3) Auf den in Notiz VI vorausgehenden Seiten habe ich die auffallende Aehnlichkeit der thierischen Eier und der Makrosporen ausführlicher dargestellt, soweit es die hier behandelte Frage betrifft.

Universitätsbibliothek Regensburg
urn:nbn:de:bvb:355-ubr05161-0430-6

und es ist nun leicht zu begreifen, dass die zahlreichen kleinen Energiden mehr physiologische Arbeitskraft besitzen als die ursprüngliche, grosse: das Ei, resp. die Spore."

„Bei den gewöhnlichen ungeschlechtlichen Sporen der Algen, Pilze, Moose, Farne, Equiseten und in den Pollenkörnern sind die Reservestoffe zwar nicht so räumlich abgesondert wie in den Makrosporen der Marsiliaceen und den merobiastischen Eiern der Thiere, aber doch meist in Form von Stärke, Fettkörnern u. s. w. deutlich im Innern der Zelle zerstreut zu sehen; und wo dies etwa nicht der Fall sein sollte, wie bei den kleinen holoblastischen Eiern, bei den Mikrosporen der Kryptogamen, da ist kein Zweifel, dass Reservestoffe in den Maschen des echten Protoplasmas vertheilt sind und bei der Furchung und Keimung zur Vermehrung des (nach Bütschli) wabigen, schaumigen Protoplasmas dienen."

„Mit diesen naheliegenden Erwägungen ist aber die Frage noch nicht beantwortet, warum zu der nothwendigen Vermehrung der physiologischen Energie die unmittelbar gestaltungsfähige Masse des Protoplasmas und Nucleïns sich gerade in so kleine Portionen (Energiden) theilen muss. Es muss doch eine im Thier- wie Pflanzenreich geltende Ursache haben, dass lebensfähige, namentlich gestaltungsfähige Stoffmassen in so kleine Portionen (Energiden) zerfallen, deren jede aus einem centralen Kern und dem von ihm beherrschten Protoplasma besteht."

Diese am Schluss der damaligen Betrachtungen aufgestellte Frage dürfte durch die in der hier vorliegenden Notiz p. 425 ausgesprochenen Erwägungen einige Klärung gefunden haben, wenn auch immerhin eine prompte Beantwortung noch nicht möglich ist.

§ 9. Es war mein Wunsch, in dieser Abhandlung einige der allgemeinsten Eigenschaften der Energiden zur Sprache zu bringen, weil auf diese Weise eine festere Grundlage für das Verständniss aller Lebenserscheinungen, speciell auch der Gestaltungsvorgänge, gewonnen wird. Zu diesen allgemeinsten Eigenschaften gehört auch die, dass der Lebensprocess in jeder einzelnen Energide ohne directe und entsprechende äussere Anstösse, d. h. unter constanten Umständen, sich fortwährend und bei allen Pflanzenarten in sehr ähnlicher Weise so verändert, dass, von einem bestimmten Jugendzustand ausgehend, Gestaltungsreihen durchlaufen werden, die endlich nothwendig zu einem Ende, d. h. zum Tode, führen. — Diese Thatsache ist zwar ebenfalls jedem Biologen bekannt, aber bisher in ihrer fundamentalen Bedeutung noch nicht genügend gewürdigt worden.

Universitätsbibliothek Regensburg
urn:nbn:de:bvb:355-ubr05161-0431-1

Um nun zunächst die Thatsache selbst anschaulich zu machen, versuche ich, hier eine kurze, übersichtliche Darstellung der wichtigsten Momente im Entwickelungsgang einer höher differenzirten Pflanze zu geben.

Die Vegetationspunkte, aus denen sämmtliche Organe und Organcomplexe (Wurzeln, Blätter, Sexualorgane, Sporangien, Blüthen, Samenanlagen) hervorgehen, bestehen bekanntlich aus sehr kleinen Zellen, deren Energiden als solide Körper ohne Vacuolen oder Safträume die Zellkammern vollständig ausfüllen; dasselbe gilt von den jüngsten Organen selbst. Dieses embryonale Gewebe ist es, an welchem sich die phylogenetisch und ontogenetisch maassgebenden Gestaltungsvorgänge (Anlage, Stellung und Zahl der Organe) vollziehen, von denen ich, wie gesagt, annehme, dass sie wesentlich durch die Energie der Zellkerne, speciell des Chromatins, verursacht werden. Während dieser ersten Periode der Gestaltung wachsen die Zellen und in ihnen die Energiden sehr langsam und auf geringe Vergrösserung folgt regelmässig Zelltheilung; passive Produkte, d. h. Nahrungsstoffe für das Wachsthum der Energidentheile, werden von älteren Gewebemassen her zugeführt und verbraucht, was sich besonders leicht an der transitorischen Bildung sehr kleiner Stärkekörnchen beobachten lässt. Der die Energiden durchtränkende Saft scheint neutral oder vielleicht alkalisch zu sein.[1])

Mit zunehmendem Alter der Organe und basalwärts vom Vegetationspunkt auch in der Sprossaxe (resp. in einem Wurzelfaden) beginnt die Vergrösserung der Zellen etwas rascher zu werden, in den Energiden treten kleine Safträume (Vacuolen) auf, die Zufuhr von Reservestoffen für das Wachsthum der Zellwände und Energiden ist zunächst grösser als ihr Verbrauch, es tritt meist reichliche Zuckerbildung und transitorische Stärke (von Leucoplasten vermittelt) auf; die Differenzirung der Gewebeschichten wird deutlicher, Haare und Spaltöffnungen beginnen sich zu bilden. Auch jetzt folgt auf jede Vergrösserung der Zellen noch regelmässige Theilung; — am Anfang dieser Vorgänge sind die Organe selbst noch sehr klein, selbst mikroskopisch; aber mit continuirlicher Beschleunigung nehmen die genannten Veränderungen zu, das Wachsthum wird immer rascher, die Organe des Sprosses treten aus der Knospe hervor, die Nebenwurzeln durch-

1) Meine ausführlichen Studien über die hier kurz geschilderten Vorgänge habe ich vorwiegend an den Keimpflanzen in den Jahren 1857—1862 gemacht und in meinen „Gesammelten Abhandlungen“ (Leipzig 1892) Bd. I zusammengestellt. Bilder findet man ausserdem in meinem Buche: „Vorlesungen“ (1887).

Universitätsbibliothek Regensburg
urn:nbn:de:bvb:355-ubr05161-0432-7

brechen das Gewebe der Mutterwurzel oder des Sprosses; die Säfte des nunmehr schon hochdifferenzirten Gewebes nehmen verschiedene chemische Reaction an: das immer saftiger werdende Parenchym wird deutlich sauer, die Säfte im Leitgewebe der Gefässbündel alkalisch, letztere sind reich an nicht organisirtem Eiweiss, welches sie dem embryonalen Gewebe der Vegetationspunkte und jüngsten Organe zur Ernährung der Energiden zuführen. — Farbstoffe entstehen, Excrete werden abgeschieden, die Chloroplasten ergrünen und beginnen ihre chemische Arbeit. — Während dieser Vorgänge steigert sich das Volumen der Zellen und ihrer Energiden auf das Vielhundertfache, aber nicht durch entsprechendes Wachsthum der organisirten Substanz, sondern durch Vergrösserung der Vacuolen, die endlich in einen grossen Saftraum zusammenfliessen, während das Protoplasma endlich zu einer äusserst dünnen Haut (den Primordialschlauch Mohl's) sich ausdehnt, die der Innenseite der Zellwand angeschmiegt ist; die Zellkerne liegen unthätig, zeigen wenigstens keine Lebensregung mehr, wenn nicht etwa besondere Reize, z. B. Verwundungen, neue Thätigkeit hervorrufen (Wundkorkbildung). Anfangs ist dieses Wachsthum noch immer langsam, es nimmt aber an Geschwindigkeit zu, bis ein Maximum erreicht ist, auf welches Abnahme und gänzliches Erlöschen der Grössenzunahme folgt. — In dieser Periode der Streckung, wo keine Neubildung von Organen mehr eintritt, aber das Hautgewebe noch thätig bleibt, Spaltöffnungen entstehen, die Stachelhaare sogar ihre Protoplasmamasse vergrössern und der Kern in ihnen dominirt, — beginnen auch, nach dem Austritt der Organe aus der Knospenlage, ihre specifischen Reizbarkeiten sich zu zeigen, die vorwiegend durch die kinetische Energie des Protoplasmas vermittelt werden: die wachsenden Organe sind jetzt heliotropisch, geotropisch, die Ranken werden für Berührung und Reibung höchst empfindlich, die Wurzelfäden für Druck und einseitige Feuchtigkeit, die Gelenke der Mimosenblätter und ähnliche für Erschütterung, es treten die periodischen Schlafbewegungen, durch Licht- und Wärmeänderungen hervorgerufen, auf u. s. w.

Diese Reizbarkeiten erhalten sich bis zum Ende der Streckungsperiode und weit über diese hinaus. Sie sind von grosser biologischer Bedeutung, ohne dass man nöthig hätte, sie für das Resultat einer Selektion oder Zuchtwahl zu halten; ihre Ursache liegt eben in dem Wesen der Energiden und gewissen Eigenschaften der Zellwände begründet. Derartige Eigenschaften können auch latent an solchen Organen vorhanden sein, wo niemals Gelegenheit zur Selection gegeben

Universitätsbibliothek Regensburg
urn:nbn:de:bvb:355-ubr05161-0433-3

war[1]); sie gehören den Energiden eben so ursprünglich als Lebensäusserungen in einem gewissen mittleren Lebensalter an, wie die Gestaltungsenergie dem embryonalen Gewebe, womit ja nicht ausgeschlossen ist, dass solche Eigenschaften sich im Laufe der Generationen, d. h. in der Wiederholung der Ontogenese, aus schwächeren Anfängen nach und nach gesteigert, vervollkommnet haben können, zumal wenn correlative Veränderungen mitwirken, wie bei den in der Anmerkung erwähnten Luftwurzeln der Epiphyten.[2])

Gegen Ende der Streckungsperiode und noch lange nachher äussert sich die Lebensenergie der Energiden vorwiegend in ihrer chemischen Arbeit, die grünen Organe erzeugen Stärke und Zucker, Fette (als Nebenprodukte erscheinen Krystalle von oxalsaurem Kalk), es wird nicht organisirtes Eiweiss, selbst in Krystallform, gebildet, die Excrete mehren sich u. s. w. Kurz, die chemische Arbeit der Energiden überwiegt mehr und mehr in den älter werdenden Organen. Die so erzeugten als Baustoffe verwendbaren Produkte sammeln sich in Reservestoffbehältern, die als Endosperm, als Knollen, Rhizome, Rindengewebe u. s. w. mit den Vegetationspunkten verbunden sind. Auf diese Art sorgen die alten Organe durch die Arbeit ihrer Energiden für die Zukunft, für die spätere Ernährung des embryonalen Gewebes, dessen Energie dadurch vermehrt wird. — Bei den einzelligen Protophyten sind all diese Vorgänge einfacher, aber im Princip dieselben.

Endlich nach beendigter Streckung folgt die innere Ausbildung der Organe; die Differenzirung der Gewebeformen, schon im embryonalen Gewebe der Vegetationspunkte mehr oder weniger kenntlich und während der Streckung rasch fortgeschritten, wird jetzt vollendet, die vorher zarten Organe erlangen grössere Festigkeit, die zum Wachsthum derselben nöthige Dehnbarkeit hört auf, die Sculptur der Zellwände erreicht ihre Vollendung. — Die Organe oder Organtheile sind nun ausgewachsen, fertig; sie functioniren noch einige Zeit, aber eher oder später sterben ihre Energiden ab und wenn nicht etwa durch cambiales Gewebe eine grössere Dauer des Stammes und der Wurzeln gesichert ist, geht die ganze Pflanze, soweit sie aus somatischem Gewebe besteht, zu Grunde, fällt der Zersetzung durch Pilze und Bacterien anheim und nur die embryonalen Gewebe mit ihren

1) So zeigte ich in Notiz V (Flora 1893 p. 1), dass alle die Reizbarkeiten der Epiphytenwurzeln auch an den Wurzeln der Kartoffelpflanze latent vorhanden sind und an diesen experimentell demonstrirt werden können.

2) Ich hoffe, anderwärts mich ausführlicher hierüber äussern zu können.

Universitätsbibliothek Regensburg
urn:nbn:de:bvb:355-ubr05161-0434-9

Hüllen bleiben übrig, um später, unterstützt von den Reservestoffen, eine neue Ontogenese zu begründen.[1])

§ 10. In der VII. Notiz (Flora 1893 p. 227) habe ich versucht, den soeben beschriebenen Entwickelungsgang in folgender Art kurz zu charakterisiren, wobei die einzelnen Abschnitte, der Natur der Sache nach, nicht scharf abgegrenzt, sondern unmerklich in einander übergehend zu denken sind; nämlich:

I. Morphologische Periode:
   1. Entstehung der Organe nach Zahl und Stellung;
   2. embryonales Wachsthum der Organe; morphologische Ausgestaltung; Knospenzustand.

II. Physiologisch-biologische Periode:
   3. Streckung der Organe bis zur Erreichung ihrer definitiven Grösse (und Form);
   4. Innere Ausbildung der Gewebeformen, Fertigstellung oder Reifung der Organe.

Beifügen möchte ich hier als Nr. 5 das natürliche Absterben der Organe. Die morphologische Periode vollzieht sich im embryonalen Zustand des Gewebes und ebenso einzelner Zellen bei den Protophyten; die physiologische Periode vorwiegend im somatischen Zustand derselben, auf den endlich der natürliche Tod erfolgt.

In der allzu kurzen Schilderung konnte ich leider zu wenig Rücksicht auf die chemischen Veränderungen der passiven Zellprodukte im Innern des Gewebes nehmen, weil diese nur an zahlreichen Abbildungen klar gemacht werden können; ich verweise desshalb auf meine oben citirten alten Abhandlungen.

Abgesehen von dem Assimilationsprocess in den Chloroplasten der grünen Organe, durch welchen die gesammte Grundlage aller Lebensvorgänge in Form von potentieller Energie erzeugt wird, welch letztere in den Reservestoffen enthalten ist, deren fortwährender Stoffwechsel in den wachsenden Organen und Organcomplexen erkennen lässt, wie die Energiden nach und nach die aufgesammelte potentielle

1) Es zeigt sich bei dieser einfachen Uebersicht der Thatsachen, wie wenig entsprechend der von Nägeli begründete Sprachgebrauch ist, der das embryonale Gewebe der Vegetationspunkte als Meristem (Theilungsgewebe), das Gewebe der fertigen Organe als „Dauergewebe“ bezeichnet. Denn gerade dieses Letztere ist es, das eher oder später der Zerstörung anheimfällt, während das sog. Meristem, für das ich den Namen „embryonales Gewebe“ eingeführt habe, das eigentlich Dauernde, von Generation zu Generation sich immer Erhaltende ist. Zweckmässig wäre es, das sog. Dauergewebe der Pflanzen mit dem von den Zoologen benutzten Worte: „Somatisches Gewebe“ zu bezeichnen.

Universitätsbibliothek Regensburg
urn:nbn:de:bvb:355-ubr05161-0435-5

Energie in kinetische Lebensenergie umwandeln — abgesehen also von dem durch das Licht angeregten Assimilationsprocess selbst, finden alle diese Entwickelungsvorgänge ohne besondere äussere Anstösse statt, wie ohne Weiteres an den im finsteren Raum keimenden, von Reservenahrung lebenden Pflanzen zu erkennen ist; noch klarer, womöglich, wenn man einzelne Sprossenden in eine finstere Kammer einführt, während die aussen am Licht assimilirenden Blätter gewissermaassen das Endosperm der keimenden Samenkörner vertreten und so dem im Finstern wachsenden Spross das Material zur Entwickelung seiner Organe liefern. Durch diese von mir zuerst angewendete Art zu experimentiren, wird die Thätigkeit des wachsenden Sprosses räumlich in zwei Theile zerlegt: in den am Licht befindlichen grünen Blättern nämlich erzeugen die Chloroplasten der Energiden potentielle Energie, die in den Energiden des im finsteren Raum fortwachsenden Sprosses in active, kinetische Energie verwandelt wird.

Diese letztere aber macht sich geltend in der Thätigkeit des embryonalen Gewebes der Vegetationspunkte, d. h. als Gestaltungsenergie, — in den Vorgängen der Streckung mit ihrer Wasseransammlung in den Vacuolen des Protoplasmas und gleichzeitig eintretenden specifischen Reizerscheinungen — ferner in der definitiven mechanischen Ausbildung der Zellwände durch die Thätigkeit der Energiden, die zum Theil (als Holz, Bast, Kork) schon im lebenden Organ selbst, jedenfalls aber sämmtlich zuletzt zu Grunde gehen.

So lange nur Wasser, Sauerstoff und hinreichend hohe Temperatur die Organe, d. h. ihre Energiden, durchdringt, vollziehen sich diese Veränderungen — Veränderungen bei constanten Umständen, also bei scheinbarem Gleichgewicht zwischen der Pflanze und ihrer Umgebung; denn weder die Wasserzufuhr, noch die des Sauerstoffes, noch die Temperatur (wenn überhaupt nur hinreichend hoch) braucht sich zu ändern. Man könnte einwenden, die specifischen Reizwirkungen, z. B. an Ranken, die heliotropischen und geotropischen Bewegungen, die Mimosenreize u. s. w., bedürften ja doch gewisser Veränderungen von Aussen als Reizursache; ganz recht! um einzelne solche Reizwirkungen hervorzurufen; aber die Reizbarkeiten selbst entstehen in den Energiden ohne äussere Anstösse; sie gehören zum Wesen derselben; diese Reizbarkeiten sind in der Molecularstructur der Energiden begründet und diese entsteht auch bei constanten Umständen.

Die Feststellung dieser Thatsache halte ich für sehr wichtig; sie ist fundamentaler Natur für das Verständniss des Lebens. Sie lehrt, dass die auf einander folgenden, sehr verschiedenen (hier mehrfach

Universitätsbibliothek Regensburg
urn:nbn:de:bvb:355-ubr05161-0436-0

erwähnten) Zustände, Formen, Reizbarkeiten und energetischen Leistungen der Energiden nothwendig aus einander hervorgehen, dass jeder vorausgehende Zustand der Energide die ausreichende Ursache für die Entstehung des folgenden Zustandes ist. Wäre ein solcher Vorgang continuirlich und periodisch, so müsste er zu einem perpetuum mobile führen; das geschieht aber nicht, denn erstens wird dabei fortwährend in Form von Sauerstoffathmung potentielle Energie der Reservestoffe verbraucht und Wärme erzeugt und verloren, und der Entwickelungsprocess der Energiden ist nicht periodisch zurückkehrend, sondern er strebt einem Ende, dem Tode, zu, womit er erlischt. Das äusserst kleine Quantum von embryonaler Substanz, welches übrig bleibt, entsteht nicht aus dem dem Tode entgegen eilenden somatischen Gewebe, sondern es ist ein Rest des früher schon vorhandenen, dessen Arbeit mit dem Beginn der neuen Ontogenese von Neuem anfängt. Daraus aber folgt mit Nothwendigkeit die Continuität des embryonalen Gewebes oder bei den Protophyten entsprechender generativer Zellen.

Die hier geschilderten Vorgänge sind im ganzen Pflanzenreich verbreitet, wenn auch tausendfältig kleinere oder grössere Abweichungen vorkommen, die jedoch nur Nebensachen betreffen, während das Schema dasselbe bleibt, wie schon die ausserordentliche Monotonie der histologischen Ontogenese der Pflanzen deutlich erkennen lässt.

Dieser Thatbestand lässt aber keine andere Deutung zu als die, dass er im Wesen der Energiden selbst begründet ist und „nicht hervorgerufen durch Auswahl im Kampf um's Dasein", durch langsame Fortbildung und „Anpassung" an Lebensverhältnisse; solche finden sicherlich auch wirklich statt, sie betreffen aber nur gewisse, nebensächliche Vorgänge, nicht das Wesen der Energiden selbst, wie schon das Vorkommen latenter Reizbarkeiten beweist, wie ich sie an den Wurzeln der Kartoffelsprosse nachgewiesen habe.[1]) Das materielle Substrat des Lebens, die Energide, muss eben doch uranfänglich schon gewisse Eigenschaften besessen haben, so gut wie jeder Elementarstoff, so gut wie jedes Salz, jedes Mineral und jeder Himmelskörper. Erst auf Grund dieser Ureigenschaften, unter denen die Reizbarkeit der Energiden wohl die wichtigste Rolle spielt, ist das Auftreten von Varietäten, Mechanomorphosen, Photo-, Bary- und Hydromorphosen u. s. w., sowie die gesammte Phylogenese denkbar, ebenso wie erst auf Grund ihrer Ureigenschaften die chemischen

1) Flora 1893 p. 1.

Universitätsbibliothek Regensburg
urn:nbn:de:bvb:355-ubr05161-0437-6

Elemente im Stande sind, chemische Energie zu zeigen und Verbindungen mit neuen Eigenschaften zu bilden. Schält man begrifflich diese Ureigenschaften aus allen zufälligen Nebendingen heraus, so erscheint die Energide in ihrer Einfachheit und zugleich in ihrer Fähigkeit, verschiedene Gestalten anzunehmen, die nothwendig ohne Vermittelung äusserer Anstösse durchlaufen werden. Und vielleicht wäre es gut, diese Eigenschaft mit einem besonderen Namen zu belegen, wozu ich das Wort „Automorphose der Energiden" vorschlage, im Gegensatz zu den Mechanomorphosen, die aus der Reizbarkeit der Energiden als secundäre Erscheinungen entspringen. Wir gelangen so zu dem Satz: jede organische Form (Species) verdankt ihre Entstehung dem Zusammenwirken von Automorphose und Mechanomorphose; die phylogenetische Continuität (Descendenz) entspringt aus dem Einlagerungswachsthum der Energidentheile und ihrer ausschliesslichen Entstehung durch Selbsttheilung oder Automerie (vgl. oben § 7); die Erblichkeit besteht in der ontogenetischen Wiederholung dieser Vorgänge; vererbt wird nicht der Stoff, sondern die den Energiden eigenthümliche Bewegungsform ihrer Moleküle. Dass auch die passiven Produkte, zumal Stärkekörner und Zellwände, erbliche Formen haben, folgt aus der erblich qualificirten Arbeit der Energiden.

Würzburg, im September 1895.

Universitätsbibliothek Regensburg
urn:nbn:de:bvb:355-ubr05161-0438-2

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Flora oder Allgemeine Botanische Zeitung

Jahr/Year: 1895

Band/Volume: 81

Autor(en)/Author(s): Sachs Julius

Artikel/Article: Physiologische Notizen. IX . Weitere Betrachtungen über Energiden und Zellen. 405-434