

I. Aufbau und Gliederung der Pflanzengestalt.

1. Bauplan und unsichtbare Struktur der Pflanze.

Solange die Pflanzen, wie im ganzen 18. Jahrhundert, fast ausschließlich ein Gegenstand der Klassifikation (Einteilung in Klassen und Abteilungen) waren, hatte man sich um das Leben der Pflanze wenig gekümmert. Das lag schon in der damaligen Methode der botanischen Forschung begründet. Man wollte die Möglichkeit haben, die Pflanzenarten, namentlich die fremdländischen, immer wieder zur Hand zu nehmen, darum mußte man sie aufbewahren. So wurde die Pflanze in erster Linie Herbariumsobjekt, und dieses war getrocknet und tot. Man konnte auf diese Weise um so weniger eine Vorstellung von einer lebendigen Pflanze gewinnen, als sich die meisten Pflanzen nicht vollständig, sondern nur in Stücken in die Herbariumsmappen legen lassen, etwa ein blühender Zweig oder ein Laubspieß mit feinen Blättern. Sogar bei kleineren Gewächsen verzichtete man darauf, ganze Individuen zu trocknen, da die unterirdischen Organe, die Wurzeln, Zwiebeln usw., für die Klassifikation oft gar keine Bedeutung hatten, sondern dazu die Blüten genügten. So arbeitete der Botaniker damals vorwiegend mit toten und unvollständigen Pflanzen.

Wer aber zum wahren Verständnis der Pflanze gelangen will, muß sie in erster Linie als ein lebendes Wesen ansehen und alle Organe im Zusammenhang miteinander betrachten. Aus diesem Grunde sind im ersten Bande dieses Werkes die lebendigen Eigenschaften und Äußerungen der Pflanze in den Vordergrund gestellt. Andererseits hieß es die Aufgabe der Botanik verkennen, wollte man übersehen, daß die Pflanze auch ein geformtes Naturwesen ist.

Der alten Botanik war die Pflanze nur ein Formenwesen, und die Form sowohl des Ganzen wie seiner einzelnen Teile etwas Gegebenes, das man nur beschreiben konnte. Für die heutige Botanik sind dagegen die Pflanzenformen etwas Gewordenes, und dieses Werden muß sich verfolgen, beobachten lassen. Jede Pflanzenform bedeutet daher nicht mehr eine bloße Tatsache, sondern eine Aufgabe, ein Problem für die wissenschaftliche Forschung, und diese nimmt die Gestalt der Pflanze nicht als etwas Selbstverständliches hin, sondern fragt sich, warum und unter welchen Bedingungen die Pflanze ihre Formen ausbildet.

Jede Formenbildung, z. B. die Entstehung von Stengeln, Blättern und Blüten, ist ja gleichfalls eine Äußerung des Lebens, denn die tote Pflanze entwickelt nichts mehr von alledem. War die Aufklärung der Vorgänge der Ernährung, der Atmung, der Bewegungen die erste Aufgabe, um die Pflanze als lebendes Wesen zu verstehen, so kann die Beantwortung der Frage nach der Entstehung der Pflanzenform als letzte und höchste Frage der Biologie bezeichnet werden. Die Methode ist auch bei dieser Aufgabe die allgemein naturwissenschaftliche,

die genaue Beobachtung und der wissenschaftliche Versuch. Zur Erlernung dieser Methode ist nicht bloß der Gelehrte von Fach bestimmt, und somit erscheint die Absicht, auch diesen Stoff weiteren Kreisen wissenschaftlich zu erläutern, begründet und aussichtsvoll.

Die Aufgabe, über die Methode der alten Botanik, die Betrachtung und Beschreibung des Unveränderlichen hinauszugehen und die Entwicklung der Formen zu verfolgen, hat schon Goethe, dem die Naturwissenschaft mehr Anregung verdankt, als allgemein anerkannt ist, mit folgenden Worten angedeutet.

„Der Deutsche hat für den Komplex des Daseins eines wirklichen Wesens das Wort Gestalt. Er abstrahiert bei diesem Ausdruck von dem Beweglichen, er nimmt an, daß ein Zusammengehöriges festgestellt, abgeschlossen und in seinem Charakter fixiert sei. Betrachten wir aber alle Gestalten, besonders die organischen, so finden wir, daß nirgend ein Bestehendes, nirgend ein Ruhendes, ein Abgeschlossenes vorkommt, sondern daß vielmehr alles in einer steten Bewegung schwankt.“

Einer solchen Betrachtungsweise, die lebendigen Wesen als solche zu verstehen, ihre äußeren, sichtbaren und greifbaren Teile im Zusammenhange anzusehen, die äußere Gliederung als Andeutung des inneren Baues aufzufassen, gab Goethe den Namen Morphologie. Er bahnte dadurch einer neuen Wissenschaft den Weg, durch welche die lebenden Naturkörper von den toten viel klarer als bis dahin unterschieden wurden.

Wie verschieden diese Anschauungsweise von der alten terminologischen Behandlung der Pflanzen ist, die jeden Teil durch einen lateinischen Namen für genügend erläutert hielt, beleuchtet Goethe durch ein einfaches, aber lebendiges Beispiel.

Man nehme, sagt er, eine Bohne in völlig entwickeltem Zustande, dann findet man unter der Schale zwei Samenblätter, die man wenig glücklich mit dem Mutterkuchen der Tiere verglichen hat; denn es sind zwei wahre, nur sehr dicke und mit Mehl erfüllte Blätter, welche an Licht und Luft grün werden. Zwischen ihnen erkennt man schon das Federchen, welches aus jungen und unfertigen Blättern besteht. Bedenkt man, daß hinter jedem Blattstiele eine Knospe sitzt oder entstehen kann, so liegt in einem solchen Samen eine ganze Sammlung von Entwicklungsmöglichkeiten, von Anlagen, die sich zu mehr oder weniger, ja sogar gänzlich veränderten Organgestalten ausbilden können.

Der Linnéschen Botanik war eine Bohne nur ein fertiger Same, der die Pflanze zur Not mit charakterisieren konnte, dessen weiteres Verhalten vielleicht einen Gemüsegärtner, aber nicht die Wissenschaft interessierte. Goethe eröffnet eine fruchtbarere wissenschaftliche Anschauungsweise. Für ihn ist die Bohne ein interessantes Pflanzenerzeugnis, in dem Kräfte ruhen und geweckt werden können, um vorhandene Formanlagen zur vollen Entwicklung zu bringen oder Neubildungen zu veranlassen. An einer Keimpflanze sind nicht bloß verschiedene Teile zu unterscheiden, sondern eine Reihe merkwürdiger Entwicklungsvorgänge zu beobachten. In seinen Schriften über die Metamorphose der Pflanze hat Goethe solche eigenen Beobachtungen mitgeteilt, sie wissenschaftlich durchdacht und damit einen leitenden Faden für die botanisch-morphologische Forschung gefunden, dem diese bis auf den heutigen Tag folgt.

Goethe war wohl in der Lage gewesen, einen solchen fördernden Gedanken auszusprechen und zu begründen. Er sprach es aber selbst aus, daß er nicht daran denken könne und wolle, sich dauernd den Forschern in den sich damals mehr und mehr trennenden Einzelwissenschaften zugefellen. Die selbständig gewordene Botanik mußte diesen Gedanken übernehmen, und Alexander Braun sprach in seinem klassischen Werke „Die Erscheinungen der Verjüngung

im Pflanzenreich“ 1849 den Goethischen Gedanken klar und bündig als methodischen Grundsatz aus: Bei den Lebewesen könne nirgends ein Beharrendes, Ruhendes, Abgeschlossenes vorkommen, jede einzelne Erscheinung dürfe nicht für sich gelten, sondern müsse als Glied wesentlich zusammenhängender Erscheinungen aufgefaßt werden. Darum muß die Forschung auf die ersten Anfänge zurückgehen und von ihnen aus das Werden der ganzen Entwicklungsvorgänge bis zum eigentlichen Ziel verfolgen. Erst die Anwendung dieses allgemeinen Lehrsatzes auf die einzelnen Organe gab Goethes Morphologie einen großen und anziehenden Inhalt, und Alexander Braun wurde dadurch der Schöpfer einer Pflanzenmorphologie.

Im ersten Bande dieses Werkes sind mancherlei einzelne besonders merkwürdige Pflanzenformen beschrieben worden. Die Morphologie (Gestaltlehre) will mehr leisten, sie will in den Stand setzen, alle Pflanzengestalten nach wissenschaftlichen Grundsätzen zu verstehen und sich in der ungeheuern Mannigfaltigkeit, die den Anfänger verwirrt und erschreckt, mit Leichtigkeit an der Hand der Begriffe zurechtzufinden. An Stelle unruhigen Fragens will die Morphologie und die aus ihr hervorgegangene Organographie (Organlehre) die ruhige Sicherheit des Verstehens von Form und Leistung der Organe setzen.

Ehe jedoch an die Schilderung der Tatsachen herangegangen wird, mögen einige rein theoretische Betrachtungen über Gestaltung des Pflanzenkörpers im allgemeinen vorausgeschickt werden, deren Kenntnis die Anschauung vertiefen wird.

Nicht selten hört man Pflanzengestalten mit Bauwerken vergleichen, womit aber nur hervorgehoben werden soll, daß auch die Pflanzengebäude den Eindruck der Zweckmäßigkeit machen, die manchmal sogar überraschend erscheint. Eine solche Anpassung des Baues an bestimmte Aufgaben setzt aber ein Gestaltungsgezet voraus, einen Bauplan, wie man auch zuweilen sagt, der die für die künftige Arbeitsteilung am besten passende Raumverteilung, die zweckmäßige Konstruktion des ganzen Aufbaues, die passendste Anlage der leitenden Gewebe, der Speicher- und Lusträume und vieles andere beherrscht, was der Pflanze in Zukunft für ihre gesamten Lebensaufgaben frommen soll.

Trotz dieser Voraussetzung muß freilich die Frage aufgeworfen werden: ob es angeht, bei den Pflanzen von einem Bauplane zu sprechen? In dem Sinne, wie man von dem Bauplane einer menschlichen Behausung spricht, gewiß nicht. Wir wissen nichts von einem Baumeister. Noch weniger baut sich die Pflanze infolge eines von ihr selbst vorausbedachten Planes auf, sondern ihre Teile erhalten die bestimmte Gestalt, wie nach einem vorgeschriebenen Gesetz, aus innerer, ererbter Notwendigkeit, ähnlich dem Kristalle, dessen Form in der chemischen Zusammensetzung der Flüssigkeit, aus welcher er herauswächst, begründet ist. Die Bezeichnung Bauplan ist aber insofern nicht widersprechend, als auch bei den Pflanzen der Bauplan nicht unabänderlich ist. Gerade wie bei einem Bau noch Abweichungen vom Plane eintreten können, so kann auch der ererbte normale Entwicklungsgang durch Änderung der äußeren Bedingungen zuweilen abgeändert werden. Abweichungen der Blattform z. B. treten in der Natur ein durch Änderung der Beleuchtung und der Feuchtigkeit. Ganz besonders lassen sich durch das Experiment solche Änderungen des regelrechten Entwicklungsganges an Pflanzen hervorrufen. Man kann gewisse Stadien ganz ausschalten und den Entwicklungsgang sogar umkehren. Doch kann auf diese Tatsachen der experimentellen Morphologie hier nur hingewiesen werden (vgl. Goebel, „Einleitung in die experimentelle Morphologie“). So gut aber von dem Grundrisse und Aufrisse, von der symmetrischen Anlage, ja von dem Bauplane des

Kristalles gesprochen werden kann, ebenso ist es gestattet, bildlich auch von dem Bauplane oder, wenn man es lieber hört, von dem Gesetz der wachsenden Pflanze zu reden. Der Bauplan ist eben für jede Pflanze vorgezeichnet durch ihre spezifische Konstitution, und insofern hat jede Art zunächst ihren eigenen, von äußeren Einflüssen ganz unabhängigen Bauplan, dem sie so lange folgt, ja folgen muß, als ihre spezifische Konstitution nicht geändert wird. Auch Goebel nennt das „die innere Konstitution, welche eine Entwicklung in bestimmter Richtung bedingt“. Von anderer Seite werden diese Verhältnisse durch die Annahme innerer Gestaltungsurfachen erläutert. Was hier spezifische Konstitution genannt wird, faßt man auch unter dem Begriff „erbliche Eigenschaften“ zusammen. Man begreift leicht, daß es sich hier um noch schwer zu erfassende Vorgänge im Pflanzenkörper handelt, für die man bis jetzt nichts hat als einen sprachlichen Ausdruck, der so oder so lauten kann.

Unter spezifischer Konstitution verstehen wir nicht nur die chemische Zusammenfügung, die bestimmte Zahl von Atomen und die eigentümliche Vereinigung derselben zu Molekülen, sondern auch den Verband von Molekülen zu bestimmten Gruppen höherer Ordnung, welcher im Pflanzenkörper ebenso geregelt sein muß wie in einem Kristall. Und zwar müssen wir annehmen, daß diese Verbindung der Moleküle für jede Pflanzenart eine eigentümliche ist, ja noch mehr, daß die Substanz, welche sich beim Wachstum den schon vorhandenen Molekülgruppen beigesellt, sich immer wieder den daselbst herrschenden Gestaltungsgesetzen unterordnet, denn sonst könnte die Form einer Pflanze oder eines fertigen Organes keine gleichbleibende, keine beständige sein.

Wenn wir hier den Aufbau der Kristalle zum Vergleiche herbeiziehen, so soll damit nicht gesagt sein, daß die in Rede stehenden Vorgänge hier und dort dieselben sind. Im Gegenteil, es ist sicher, daß eine tiefgreifende Verschiedenheit in betreff des Aufbaues von Kristallkörpern und Pflanzenkörpern besteht, daß der Unterschied zwischen unbelebten und belebten Gebilden gerade mit dieser Verschiedenheit zusammenhängt, und daß insbesondere die Teile der Pflanze durch den ihnen eigentümlichen unsichtbaren Bau zu jenen Bewegungen, die uns als Leben erscheinen, geeignet sind.

Die durch die Kristallisation und das Wachstum der Kristalle vereinigten Moleküle lassen keine weitere Einschlebung gestaltungsfähiger Substanz, keine Umlagerung und Umgestaltung, keine Verknüpfung neuer Moleküle mit den schon vorhandenen zu, wie die Moleküle lebender organisierter Körper. Mit anderen Worten, ein Kristall besitzt keinen Stoffwechsel, wie ein lebender Körper, der trotz der steten Wandlung der ihn aufbauenden Stoffe doch immer die einmal angenommene Form behalten kann. Wenn dagegen die Moleküle des Wassers in einen Salzkristall eindringen und die Salzmoleküle auseinanderdrängen, so ist das der Zerfall, die Auflösung des Kristalles und nicht eine weitere Entwicklung desselben. Der Kristall zeigt auch bei seiner Bildung niemals solche Bewegungen der kleinsten Bausteine, welche die lebenden, organisierten Teile der Pflanze charakterisieren und welche als Erscheinungen des Lebens gelten.

Die Analogie zwischen dem Aufbaue der Kristallkörper und Pflanzenkörper besteht nur darin, daß in dem einen wie in dem anderen Falle die Gruppierung der Moleküle nicht regellos vor sich gehen kann, sondern jedesmal bestimmten Gesetzen folgen muß, und daß die äußerlich sichtbare Form des fertigen Bauwerkes im Kristall wie in der Pflanze das Ergebnis und zugleich der Ausdruck der besonderen eigenartigen Gruppierung der unsichtbaren Moleküle und der aus ihnen hervorgegangenen Gruppen ist.

Abgesehen von dieser Analogie besteht wahrscheinlich ein tiefgreifender Unterschied zwischen dem molekularen Bau eines Kristalles und dem der Pflanzensubstanz. Diesen Unterschied

klar zu bezeichnen, ist aber bis jetzt nicht möglich. Man kann sich höchstens theoretischen Ansichten zuwenden, die von scharfsinnigen Gelehrten über diese Frage geäußert worden sind. Die Grundlage solcher Theorien bildet immer die Annahme, daß der Pflanzenkörper sich aus Molekülgruppen besonderer Art aufbaut. Somit stehen diese Theorien im Einklang mit Vorstellungen der Chemie und Physik über Zusammensetzung der Materie, folgen aber doch besonderen, eben nur für die lebende Materie geltenden Vorstellungen.

Wenn unsere Wisbegierde durch solche Hypothesen auch nur wenig Befriedigung findet, so sind sie deswegen doch nicht geringschätzig zu behandeln. Die Zellsubstanz (das Protoplasma), deren Bewegungen und deren ganzes Schaffen und Wirken unserer sinnlichen Wahrnehmung als Leben erscheint, hat zu viel Fesselndes an sich, als daß wir es unterlassen dürften, nach ihrem feinsten Bau zu fragen. Dem Bedürfnisse, sich, solange die Beobachtung in dieser Richtung versagt, wenigstens von diesen Dingen ein anschauliches Bild zu entwerfen, entspricht es jedenfalls besser, sich Molekülgruppen in einer bestimmten Form und Anordnung, als gar nichts, vorzustellen.

Unter mehreren Hypothesen über die besondere Molekularstruktur, welche die Substanz der lebenden Körper in einen so merkwürdigen Gegensatz bringt zu den unbelebten, ist diejenige E. von Nägeli's die annehmbarste, weil sie nicht mit „lebendigen Einheiten“, die gar nichts erklären können, sondern mit physikalischen Vorstellungen arbeitet. Wenn man behauptet, die Pflanzensubstanz: Protoplasma, Zellhäute u. a., bestände aus hypothetischen, lebendigen Einheiten im Gegensatz zu den chemischen Elementen und Verbindungen, so ist damit für die lebenden Körper gar nichts gesagt, was die Einsicht förderte. Man erklärt nichts, wenn man sagt, die Gewebeteile bestehen aus lebendigen Elementen. Dagegen ist es eine Erklärung, zu sagen, welche andere innere Struktur die Substanzen des lebenden Körpers haben können. In diesem Sinne ist Nägeli's Ansicht eine wirkliche naturwissenschaftliche Theorie, während die Annahmen von Plasomen, Gemmarien u. dgl. lebenden Einheiten nur etwas andere Formen von Leibniz' philosophischer Monadenlehre sind.

Nägeli wies mit Recht darauf hin, daß alle organisierten Substanzen, d. h. die Gewebestoffe, sich gegenüber den unorganisierten, also Mineralien, chemischen Elementen und Verbindungen, durch ihr Verhalten zum Wasser auszeichnen. Sie sind quellbar, d. h. lösen sich nicht in Wasser auf wie ein Salzkristall, sondern lagern Wasser nur bis zu einer bestimmten Grenze zwischen ihre Substanzmoleküle ein. Dieser Unterschied läßt sich an jedem Stück Holz, einer tierischen Haut oder an Gelatine erläutern. Nägeli nahm an, daß die organischen Substanzen nicht aus Molekülen als nächsten Einheiten, sondern aus größeren Molekülgruppen, die er Mizellen nannte, aufgebaut seien.

Die Mizellen lagern bei der Quellung Wasser in ihre Zwischenräume ein. Sie werden dadurch auseinandergedrängt, die Substanz wird wasserreich und quillt auf, ohne sich zu lösen. Nur die Konsistenz der Substanz ändert sich; war sie vorher hart und brüchig, wie ein Stück trockene Gelatine, so wird sie nach der Wasseraufnahme weich und schlüpfrig. Das Wasser wird mit großer Gewalt von den festen Teilchen angezogen, schiebt sie auseinander und vergrößert das Volumen so gewaltig, daß man bekanntlich mit angefeuchteten Holzkeilen Felsen sprengen kann. Das Quellungswasser, auch Imbibitionswasser genannt, läßt sich nicht einfach aus der gequollenen Substanz auspressen.

Alle diese physikalischen Verhältnisse deuten auf eine besondere Molekularstruktur quellbarer Substanzen. In einen Kristall, der gleich diesen Stoffen in Wasser unlöslich wäre,

bringt niemals Wasser ein, um ihn quellen zu machen. Entweder löst er sich in dem Wasser auf, oder er bleibt ganz unverändert.

Nägeli's Mizellentheorie ist wohlgeeignet, der Vorstellung über die inneren Vorgänge bei der Quellung zu Hilfe zu kommen. Da manche organisierten Substanzen, wie Zellmembranen, Stärkekörner und Kristalloide, optische Doppelbrechung zeigen, glaubt Nägeli, daß die Mizellen selbst kristallähnliche Molekülgruppen seien, doch könnte die Doppelbrechung auch durch Spannungen in den Substanzen hervorgerufen sein. Wichtig ist es, hervorzuheben, daß diese Theorie voraussetzt, daß verschiedene Bestandteile des Körpers, als Protoplasma, Zellwände, Zellkerne, Stärkekörner usw., aus Mizellen verschiedener Größe und Eigenschaften bestehen. Das ist auch viel wahrscheinlicher, als daß alle Gewebesubstanzen aus ganz gleichartigen „Lebenseinheiten“ bestehen sollen, wie manche Forscher annehmen. Wenn wir, um unsere Vorstellungen über viele Lebensvorgänge zu klären, ohne solche theoretische Ansichten nicht auskommen, so muß man andererseits sagen: sehen kann man mit unseren optischen Hilfsmitteln von diesem molekularen Aufbau nichts. Gewisse Schlüsse können freilich aus dem optischen Verhalten der Gewebesubstanzen im polarisierten Lichte wegen des ähnlichen Verhaltens von Körpern bekannter Struktur gezogen werden. Die optische Untersuchung der Zellwände und geformten Inhaltkörper der Zelle ist ein interessantes Gebiet der Forschung, doch können wir hier auf dessen Inhalt nicht eingehen.

Wollen wir uns mit dem begnügen, was dem bewaffneten Auge sichtbar gemacht werden kann, dann kann der Grundsatz aufgestellt werden, daß alle Pflanzenkörper sich aus Protoplasten oder Zellen aufbauen, die das allgemeine, und zwar sichtbare Formelement sind. Auf der untersten Stufe des Pflanzenreiches ist die Zelle zugleich die ganze Pflanze, da z. B. niedere Algen nur aus einer einzigen Zelle bestehen, wie man sagt „einzellig“ sind. Es gibt nur eine einzige noch einfachere Organisation, die wir bei den Schleimpilzen oder Myxomyzeten finden. Hier gilt der Begriff der Zelle nur für ihre Sporen, mit denen sie sich fortpflanzen. Ihre vegetativen Zustände, die Plasmodien, sind hautlose Protoplasamassen, durch Zusammenfließen der Sporenhalte entstanden, aber ohne Ähnlichkeit mit dem in Zellen gegliederten inneren Baue aller anderen Pflanzen.

Das ausgesprochene Streben nach Formenbildung gibt sich aber auch schon auf dieser untersten Stufe der Pflanzenwelt zu erkennen. Die formlosen Plasmodien wandeln sich bei der Fortpflanzung zu den mannigfaltigsten und zierlichsten Gestalten um, die nicht von Einfachheit und Niedrigkeit sprechen lassen.

2. Sichtbare Formenbildung des Protoplasmas.

Im ersten Bande ist das Protoplasma schon in seiner formbildenden Tätigkeit betrachtet worden, aber nur in bezug auf innere Raumverhältnisse. Hier kommen wir darauf zu sprechen, daß das Protoplasma auch bestimmte äußere Formen anzunehmen und sich zur „Pflanze“ zu gestalten vermag.

Ein mit Vorliebe auf der Rinde abgefallener dürerer Kiefernzweige vorkommender Schleimpilz, *Leocarpus fragilis* (s. Abbildung, S. 9, Fig. 12), bildet als sogenanntes Plasmodium eine schmierige gelbe Masse, die dem zerfloßenen Dotter eines Hühnereies täuschend ähnlich sieht. Dieses Plasmodium ist aus der Vereinigung gelblicher kleiner, aus Sporen ausgefrochener