XXVIII.

II.

Stoff und Form der Pflanzenorgane.

Von

Julius Sachs.

Mit 2 Holzschnitten.

§ 7.

In meinem ersten, unter diesem Titel erschienenen Aufsatz, pag. 452 des vorliegenden Bandes, suchte ich gegenüber der herkömmlichen, rein formalen Betrachtung der Pflanzengestalt dem Gedanken Eingang zu verschaffen, dass die organischen Formen gerade so, wie die der Krystalle und alle anderen Gestaltungen in der Natur durch die Thätigkeit von Kräften hervorgerufen werden, welche von der Natur der betreffenden Materie unmittelbar abhängen. Ich habe zu diesem Zweck eine Reihe älterer und neuer Beobachtungen von mir zusammengestellt und sah mich zugleich veranlasst, auf Vöchting's Buch »Über Organbildung im Pflanzenreich« näher einzugehen, speciell desshalb, weil der Verfasser dieses Buches nach dem ganzen Tenor desselben sich als Vertreter der alten, von mir angegriffenen Vorstellungsweise zu erkennen giebt, was besonders darin hervortritt, dass derselbe neben den gewöhnlichen Kräften der Materie auch noch geheimnissvolle andere, sogenannte morphologische Kräfte (nach Francis Darwin morphological forces) in Anspruch nimmt, wie mit aller Bestimmtheit daraus hervorgeht, dass Vöchting die Differenz von Spitze und Basis der Pflanzenorgane als eine in der Pflanzensubstanz thätige Kraft oder Bewegungsursache behandelt, von der er annimmt, dass sie erblich sei.

Es stehen also zwei ganz verschiedene Auffassungen einander gegenüber und es handelt sich keineswegs bloß um eine Discussion über einzelne Erscheinungen des Pflanzenlebens, sondern um den radikalen, principiellen Gegensatz zwischen formaler Morphologie und streng naturwissenschaftlicher Auffassung des Pflanzenlebens.

Vöchting hat sich veranlasst gefunden, meine genannte Abhandlung

von seinem Standpunkt aus gerade so zu kritisiren, als ob wir beide von denselben Gesichtspunkten ausgingen, und es ist natürlich, dass auf diese Weise seine Entgegnung durchaus unzutreffend werden musste. In solchen Fällen ist es immer schwierig, durch eine Replik die Sache wieder in Ordnung zu bringen, auch würde ich es kaum für nöthig halten, die Äußerungen Vöchting's zurückzuweisen, wenn derselbe nicht wiederholt mir Ansichten unterschöbe, die einem in der Sache nicht orientirten Leser nothwendig eine ganz falsche Vorstellung von meiner wissenschaftlichen Persönlichkeit beibringen müssen. Ich wünsche nicht, dass dies so aufgefasst werde, als ob Vöchting meine Ansichten absichtlich entstellt habe, vielmehr bin ich überzeugt, dass sein Verfahren nur daraus entspringt, dass er selbst meine Ansichten völlig misverstanden und sie auf dem Boden seiner eigenen Bildung beurtheilt hat.

Zu meinem Bedauern bin ich daher genöthigt, bevor ich eine Reihe neuer Beobachtungen für meine Ansicht beibringe, noch einmal den Sinn und Zweck meiner von Vöchting gänzlich misverstandenen Abhandlung darzulegen. Dies wird am klarsten geschehen, wenn ich zeige: erstens, dass Vöchting meine Ansichten mit solchen verwechselt, die genau das Gegentheil derselben sind und die ich bekämpfe; zweitens, dass Vöchting meinen genannten Aufsatz nicht genau gelesen und einige meiner Hauptargumente vollständig übersehen hat; drittens, dass die von Vöchting neu beigebrachten Thatsachen in keiner Weise geeignet sind, meine Ansicht über Stoff und Form irgendwie zu modificiren.

Betreffs des ersten Punktes, der Verwechselung meiner Ansichten mit der von mir abgewiesenen älteren Anschauung, sei zunächst hervorgehoben, was Vöchting in der Botanischen Zeitung, 1880, pag. 609, sagt: »In einem Werke, das sich in Aller Händen befindet, entwickelte Darwin vor zwölf Jahren Vorstellungen, welche mit den jetzt von Sachs veröffentlichten in wesentlichen Punkten übereinstimmen, und die er (Darwin) unter der Bezeichnung: Provisional hypothesis of Pangenesis zusammenfasst. Es ist nicht nothwendig, hier auf das Übereinstimmende und Abweichende der beiden Anschauungen näher einzugehen. Von Bedeutung für uns ist nur, dass Darwin so weit geht, specifische Theilchen selbst für jede Zelle anzunehmen, während Sachs geneigt ist, von nur zwei Bildungsstoffen auszugehen u. s. w. — Weiter kommt hier und zwar sehr wesentlich in Betracht, dass Darwin's Gemmules sich unabhängig von äußeren Einflüssen nach allen Orten des Körpers hin bewegen, dass dagegen die spross- und wurzelbildenden Substanzen nach Sachs eine verschiedene Reaktionsfähigkeit gegen Licht und Schwere besitzen.«

Es wäre sehr schwer, irgendwo ein größere Konfusion der widerstreitendsten Ansichten als in diesen Sätzen aufzufinden. Zunächst ist die große Ungenauigkeit zu berichtigen, als ob ich, wie Vöchting sagt, nur zweierlei Substanzen oder Stoffmischungen, nämlich sprossbildende und

wurzelbildende, angenommen hätte. Pag. 455 habe ich ausdrücklich gesagt, dass es sich nicht bloß um wurzelbildende und sprossbildende Stoffe handeln könne, dass wir vielmehr eben so viele specifische Bildungsstoffe werden annehmen müssen, als verschiedene Organformen an einer Pflanze zu unterscheiden sind.

Nun aber zu der von Vöchting behaupteten Ähnlichkeit meiner Ansichten mit Darwin's Pangenesis: gerade gegen diese letztere ist meine Theorie von Stoff und Form gerichtet, weil sie ganz und gar auf dem Boden eines jeder Naturwissenschaft widersprechenden morphologischen und zugleich grob materialistischen Princips steht. Was sind denn Darwin's Gemmules? Bestehen sie aus Phosphor oder Kalium, oder sonst einem Element der Pflanzennahrung, sind es chemische Verbindungen der Aschenbestandtheile, sind es Pflanzenstoffe, wie Stärke, Zucker, Eiweiß? Sind die Gemmules etwa Atome, oder Moleküle, oder Nägeli'sche Micellen? Wer Darwin's Pangenesis gelesen hat, wird das gewiss abweisen. Die in der Pflanze nach allen Richtungen herumfahrenden Gemmules sind vielmehr Keime, erfunden zu dem Zwecke, die Erblichkeitstheorie begreiflich zu machen. Die provisional hypothesis von Darwin ist eine bloße Wiederaufwärmung der Einschachtelungstheorie des vorigen Jahrhunderts, auf die ich in meiner Geschichte der Botanik (pag. 436) hingewiesen habe. Nach dieser Theorie sind bekanntlich in einem Spermatozoid Adam's alle Generationen des Menschengeschlechtes vorgebildet enthalten gewesen, und wenn Darwin von seinen Gemmules nicht dasselbe behauptet, so zieht er eben einfach nicht die Konsequenz, welche er ziehen müsste. Zudem ist aber die alte Einschachtelungstheorie auch klarer, denn welchen Sinn findet man in Darwin's Satze (Das Variiren der Thiere und Pflanzen, II, pag. 471): »Eichen und Pollenkörner, der befruchtete Same oder das befruchtete Ei, eben so gut wie Knospen, enthalten eine Menge von Keimen, oder bestehen hieraus, welche von jedem einzelnen Atom des Organismus abgegeben werden.«

Dass eine solche Ansicht außerhalb jeder ernsten Naturwissenschaft liegt, wird jeder physikalisch Gebildete ohne Weiteres zugeben. Niemand kann sich daher meine Überraschung denken, als ich in Vöchting's Erwiderung las, dass meine Ansicht über die Gestaltung der Pflanzenwelt irgendwelche Ähnlichkeit mit der Pangenesis haben sollte, und Vöchting leitet diese Behauptung sogar mit den Worten ein: »Die fragliche Anschauung (nämlich die meinige über Stoff und Form) war mir seit langer Zeit wohlbekannt«, worauf die oben citirten Sätze folgen. Wer meine seit 25 Jahren erschienenen wissenschaftlichen Arbeiten auch nur halbwegs verstanden hat, wird zugeben, dass zwischen meiner gesammten Naturauffassung und der Darwin'schen Pangenesis keinerlei Ähnlichkeit besteht, dass hier vielmehr zwei principiell verschiedene Weltansichten einander gegenüberstehen. — Es ist nun in der That ein schwieriges, psychologisches

Problem, wie es Vöchting gelingen konnte, diese Verwirrung anzurichten. Ich kann nur annehmen, dass er selbst die Darwin'sche Pangenesis für richtig hält und desshalb geglaubt hat, auch ich hielte sie für richtig. Eine Stütze findet diese Vermuthung in dem Satze Vöchting's, Botan. Ztg. 1880, pag. 618: »Da nach ihr (nämlich der Pangenesis von Darwin) die Keimchen unabhängig von äußeren Kräften durch alle Theile des Körpers **diffundiren,** so ist sie mit allen Thatsachen wohl vereinbar.« Natürlich hat es gar keinen Sinn, wenn Vöchting fortfährt: »Würde man aber die Frage stellen, ob diese Hypothese beim heutigen Stand unserer naturwissenschaftlichen Erkenntnis eine nothwendige sei, so dürfte die Antwort je nach dem Standpunkt der Beurtheiler jedenfalls sehr verschieden ausfallen.«

Die angeregte Frage, wie Vöchting meine Ansicht mit der Pangenesis irgendwie in Kontakt bringen konnte, ist damit aber noch nicht gelöst. Ich glaube die Lösung aber darin zu finden, dass Vöchting den von mir gebrauchten Ausdruck: sprossbildender oder wurzelbildender Stoff eben nicht nach dem Wortlaut der deutschen Sprache aufgefasst, sondern, weil ihm die Pangenesis im Kopfe lag, darunter etwas ganz anderes verstanden hat; ich bin also genöthigt, zu erklären, dass ich unter Stoff nicht Darwinsche Keimchen, sondern das verstehe, was die Chemiker und Physiker darunter verstehen, und das ist gewiss ein großer Unterschied. Nun könnte der Leser von Vöchting's Erwiderung aber vielleicht glauben, ich hätte mich in meinem Aufsatz über Form und Stoff nicht hinreichend klar ausgedrückt; das ist jedoch bestimmt nicht der Fall, denn gleich im Eingang sagte ich: »Wie die Form eines Wassertropfens oder eines Krystalls der nothwendige Ausdruck von Kräften ist, welche die betreffende Materie unter dem Einflusse ihrer Umgebung beherrschen, so kann auch die organische Form nur der äußerliche Ausdruck von stoffbewegenden Kräften sein, die sich in der Pflanzensubstanz geltend machen.« Ich denke doch, dass die Form eines Wassertropfens oder eines Krystalls nichts mit Darwin'schen Gemmules zu thun hat, zudem habe ich pag. 456 meines Aufsatzes klar zu machen gesucht, wie ich mir die Verschiedenheit der organbildenden Stoffe denke, dass es sich nämlich dabei um Differenzen handle, etwa wie zwischen links und rechts drehenden Bergkrystallen, wie zwischen Weinsäure und Antiweinsäure u. dgl. m. Oder werden nach Vöchting's Ansicht auch diese Differenzen durch Pangenesis und Gemmules hervorgerufen?

Ich denke, diese Ausführungen werden einem auf dem Standpunkte der Naturwissenschaft stehenden Leser zur Genüge zeigen, was es auf sich hat, wenn Vöchting zwischen meiner Ansicht von der Entstehung der Pflanzenformen und der Darwin'schen Pangenesis auch nur die entfernteste Ähnlichkeit vermuthet.

Wie ganz verschieden der wissenschaftliche Horizont ist, auf welchem

Vöchting und ich uns bewegen, tritt vielleicht noch deutlicher aus dem von ihm, Botan. Ztg. pag. 610, ausgesprochenen Satze hervor: »An dem Orte, an welchem Sachs zum ersten Male seine Ansichten mitgetheilt hat, verglich er seine Substanzen mit specifischen Energien« u. s. w., und fügt hinzu, er müsse gestehen, dass er diesen Vergleich nicht ganz zutreffend erachten könne. Nun, in dem Punkte stimmen wir überein, auch ich kann diesen Vergleich nicht für zutreffend erachten, weil es nämlich Unsinn ist, Substanzen und Energien zu vergleichen, mir ist es wenigstens nicht eingefallen, so etwas zu thun. Dass Vöchting aber bei dem citirten Satze sich offenbar selbst nichts gedacht hat, zeigt sich, wenn er auf p. 611 wieder sagt: »Ganz anders die Sachs'schen Substanzen mit specifischen Energien.« Vorhin also wurden Energien mit Substanzen verglichen, und hier haften die Energien an den Substanzen.

Ich gehe nun zum zweiten Punkte über: zu der Ungenauigkeit, womit Vöchting meinen Aufsatz gelesen hat. Er beginnt seine Polemik ohne Weiteres damit, dass ich die Erblichkeit der von ihm als Spitze und Basis bezeichneten Kraft bestreite, dafür aber die von ihm beschriebenen Regenerationserscheinungen als Wirkungen der Schwere betrachte. Dadurch wird aber meine Ausführung über die Sache verschoben und die Fragestellung unklar gemacht. Es ist gar nicht wahr, dass ich die Regenerationserscheinungen an abgeschnittenen Sprossen oder auch an ganzen, umgekehrten Pflanzen ausschließlich auf die Wirkung der Schwere zurückgeführt habe, und auch Vöchting ist es nicht vollständig entgangen, dass ich noch ein ganz anderes Princip mit in Betracht gezogen habe, wie aus seiner Anführung, Botanische Zeitung pag. 613 (unten), hervorgeht, nur hat er es nicht verstanden, die ganze principielle Bedeutung dieser von ihm citirten Sätze richtig aufzufassen. — Um das, was Vöchting in seinem Buch völlig übersehen und vernachlässigt hatte, zu wissenschaftlicher Geltung zu bringen, sagte ich in meinem Aufsatz über Stoff und Form, pag. 469: »Bevor ich an der Hand von Vöchting's Werk auf die Erörterung dieser Fragen eintrete, möchte ich vorläufig noch einigen Nachdruck auf die von Vöchting kaum berührte Frage legen, warum denn an abgeschnittenen Pflanzentheilen überhaupt Regeneration von Wurzeln und Sprossen zu erfolgen pflegt. Es wäre nichts gewonnen mit der Antwort, dass eben das abgeschnittene Stück sich wieder zu einer ganzen Pflanze ergänze, und dass es deshalb eine »Lebenseinheit« (Vöchting) sei, denn das ist eben nur eine andere Bezeichnung der fraglichen Thatsache. Vielmehr scheint mir die nächste Ursache derartiger Regeneration darin zu liegen, dass in dem abgeschnittenen Stück beiderlei, bereits von du Hamel angenommene Bildungssubstanzen enthalten sind, die nun an verschiedenen Orten des regenerationsfähigen Stückes Wurzeln und Knospen erzeugen. Hier drängt sich die Frage auf, warum denn diese Wurzeln und Knospen an denselben Punkten nicht

auch dann entstehen, wenn das betreffende Stengel- oder Wurzelstück oder Blatt in situ an der Pflanze und in Verbindung mit den übrigen Organen derselben bleibt. Wie kommt es, dass die bloße Abtrennung eines Stückes Neubildung von Organen an Orten hervorruft, wo sie ohne diese Abtrennung oder ohne andere störende Einflüsse niemals eintreten würde?« Nachdem ich dabei auf Hanstein's bekannte Äußerung hingewiesen hatte, fuhr ich fort: »Wir kommen weiter mit der Annahme, dass, wenn in einem abgeschnittenen Pflanzenstück (was ja nicht immer der Fall zu sein braucht) wurzelbildende und knospenbildende Substanzen vorhanden sind, dieselben dahin streben, unter günstigen Bedingungen die ihnen entsprechende Gestalt anzunehmen, ähnlich, wie gelöste Stoffe bei entsprechenden Bedingungen die ihnen eigenthümlichen Krystallformen gewinnen. Dass dies nun an abgeschnittenen Stücken geschieht, während dieselben Stücke in Verbindung mit der ganzen Pflanze weder Wurzeln noch Knospen erzeugen würden, diese Thatsache lässt sich durch eine, für meinen dargelegten Standpunkt sehr nahe liegende Hypothese erklären. Ich nehme an, dass, so lange eine grünblätterige Pflanze mit aufrechtem Stamm in Ernährung und Wachsthum begriffen ist, die specifischen Bildungsstoffe der Wurzel von den assimilirenden Blättern aus dem am unteren Ende des Stammes befindlichen Wurzelsystem zufließen, während die sprossbildenden Stoffe eben so nach den Vegetationspunkten des Stammes und der Zweige hin aufwärts steigen.« Ich muss hier für die Leser von Vöchting's Aufsatz hinzufügen, dass ich unter Stoffen nicht, wie Vöchting glaubt, Darwin'sche Keimchen, welche von den Atomen abgegeben werden, sondern Stoffe, d. h. chemische Verbindungen im Sinne der Chemie und Physik verstehe. »Wird nun ein Stück des Stammes oder der Wurzel abgeschnitten (und hier kommen wir zu dem wichtigsten Punkt, auf den ich den größten Nachdruck lege), so ist durch die Schnittfläche selbst ein Hindernis für die weitere Bewegung gegeben; die darin enthaltenen specifischen Bildungsstoffe werden sich in entsprechender Weise gerade in der Nähe der beiden Schnittflächen ansammeln, die wurzelbildenden am bisherigen Unterende, die sprossbildenden am bisherigen Oberende des Stückes, und da sie gehindert sind, weiter zu fließen, was in der unverletzten Pflanze stattfinden würde, so treten sie in Form von Wurzeln und Sprossen an den entsprechenden Enden hervor. An einem abgeschnittenen, regenerationsfähigen Blatt werden beiderlei organbildende Substanzen nach dem basalen Ende hin in Bewegung sein, um dem Stamme zuzufließen; durch die Schnittfläche aufgehalten, werden sie sich an dieser anhäufen und hier gleichzeitig Knospen und Wurzeln bilden.« —

Bei dieser Betrachtung ist nun zunächst von der Einwirkung der Schwerkraft gar keine Rede, es handelt sich eben darum, dass die betreffenden Stoffe in den Blättern durch Assimilation entstehen und dass

sie von dort aus den wachsenden Knospen und Wurzeln gleichzeitig zugeführt werden. Dies geschieht an und für sich ganz unabhängig von jeder äußeren Einwirkung (z. B. auch bei der Drehung am Klinostaten), weil es eben nicht anders sein kann. Gestützt auf die Regenerationserscheinungen jedoch an umgekehrten Stücken und ganzen Pflanzen fand ich mich veranlasst zu der Annahme, dass außer dieser Ursache der Stoffbewegung noch eine zweite modificirend eingreift, nämlich die Einwirkung der Schwere auf die ohnehin schon sich bewegenden Stoffe, und weil Vöchting selbst nachgewiesen hatte, dass an umgekehrten Stücken die Schwerkraft auf den Ort der neu entstehenden Wurzeln und Knospen einwirkt, so kam ich zu dem Schluss (mein Aufsatz pag. 474): »Wenn nun aber während der Regeneration an einem abgeschnittenen Stück der fragliche Einfluss der Schwere auf die räumliche Anordnung von Wurzeln und Knospen wirklich vorhanden ist, so wäre es denn doch sehr sonderbar, wenn derselbe Einfluss nicht schon vorher, so lange das betreffende Pflanzenstück noch ein Theil der unverletzten Pflanze war, stattgefunden hätte; ich meine, mit der Constatirung des Einflusses der Schwere bei der Regeneration ist auch eo ipso gesagt, dass die Schwere in ähnlicher Weise auch innerhalb der unverletzten Pflanze auf die organbildenden Stoffe einwirkt.« Es handelt sich hier um einen Gedanken von ganz principieller Bedeutung, der keineswegs durch einige misverstandene Versuche an sogenannten Trauerbäumen beseitigt werden kann: wirkt die Schwere, wie Vöchting an abgeschnittenen Stücken zeigt, auf die Orte ein, wo Knospen und Wurzeln entstehen, dann thut sie es ganz gewiss auch an der unverletzten Pflanze (wenn auch, aus oben genannten Gründen, mit verändertem Resultat). Indessen pflegt sich Vöchting mit dergleichen principiellen Erwägungen nicht weiter zu belästigen, obgleich er bei jeder Gelegenheit in seiner Erwiderung betont, er habe über die von mir ventilirten Fragen schon lange vorher nachgedacht.

Nachdem mich nun Vöchting so gründlich misverstanden und sogar das Wichtigste meiner Argumente gar nicht beachtet hat, ist eine Verständigung über eine lange Reihe von ihm aufgeworfener Fragen gar nicht möglich. Solche stellt er z. B. pag. 614 (Botan. Zeit. 1880) zusammen. Es ist nicht nöthig, dieselben hier zu reproduciren; denn wenn Vöchting in diesen Fragen gewissermaßen einen Prüfstein für die Richtigkeit meiner Ansicht gefunden zu haben glaubt, so sind sie zugleich dasselbe für seine Ansicht; er mag es selbst versuchen, aus »Spitze und Basis« diese Fragen genügend zu beantworten. Vor Allem bestehe ich aber darauf, was ich schon in meinem ersten Aufsatz erwähnte: wenn Vöchting's angeerbte morphologische Kraft, die er mit Spitze und Basis bezeichnet, zu irgend etwas taugen soll, so muss er erklären, warum nicht an der Spitze abgeschnittener Blätter Knospen, an ihrer Basis Wurzeln entstehen; zu sagen, das

Blatt habe ein begrenztes Wachsthum, wie er es thut, ist eine leere Ausrede, wogegen die von mir gegebene Erklärung der Thatsachen, dass an der Basis des Blattstieles gleichzeitig Wurzeln und Knospen entstehen, meinen Anschauungen durchaus entspricht, während VÖCHTING von seinem Standpunkt aus diese Thatsache nicht zu erklären weiß.

Manche glauben offenbar, dass, wenn Jemand einen principiell neuen und berechtigten Gedanken ausspricht, nun auch sofort Jeder im Stande sein müsse, alle Consequenzen dieses Gedankens zu durchschauen und alle möglichen, etwa zufällig dahin gerechneten Erscheinungen zu erklären. Dieses Verlangen ist unverständig und kann nur von denen gehegt werden, die niemals selbst einen wissenschaftlich fruchtbaren Gedanken gefunden haben. Diejenigen, die bei dem bloßen Aussprechen eines neuen Gedankens glauben, alle Consequenzen desselben beherrschen zu können, mögen doch nachsehen, ob es ihnen gelingt, aus dem pythagoräischen Lehrsatz alle diejenigen Folgerungen zu ziehen, welche die Mathematiker daraus gezogen haben, sie mögen es doch versuchen, aus dem Gravitationsgesetz alle astronomischen Erscheinungen zu erklären, was sie wahrscheinlich nicht können.

Nach der gründlichen Verkennung, welche mein erster Aufsatz über Stoff und Form durch VÖCHTING erfahren hat, wird es nöthig sein, um das Folgende verständlich zu machen, meine Ansicht noch einmal kurz zusammenzufassen. Um zu erklären, warum Sprossknospen und Wurzeln an bestimmten Orten sowohl bei abgeschnittenen Pflanzentheilen, als auch unter Umständen bei ganzen, unverletzten Pflanzen, auftreten, sind zwei von einander ganz unabhängige Ursachen zu beachten:

Die erste dieser Ursachen liegt darin, dass die zur Organbildung nöthigen Stoffe bei assimilirenden Pflanzen aus den Assimilationsorganen, d. h. den grünen Blättern, in die Sprossachsen übergehen und dort zum Theil in die Knospen der Sprosse, zum Theil in die Wurzeln sich fortbewegen, um das Wachsthum der beiderlei Organe zu bewirken — ein Vorgang, der an und für sich mit der Wirkung der Schwere und des Lichtes gar nichts zu thun hat. Als Zusatz ist hinzuzufügen, dass aus uns unbekannten Gründen unter Umständen mit den sprossbildenden Stoffen zugleich auch wurzelbildende Substanz nach den Vegetationspunkten der Sprosse hin wandern kann, so dass unmittelbar unter den letzteren auch Wurzeln entstehen können, was, abgesehen von vielen anderen complicirten Fällen, bei manchen Baumfarnen und manchen Cactusarten stattfindet. Eben so können sprossbildende Substanzen abwärts in die Wurzeln oder in unterirdische Reservestoffbehälter überhaupt einwandern, gerade so, wie beiderlei Substanzen auch in die Samenkörner und in die Embryonen derselben eingeführt werden. Warum das so ist, ist unbekannt.

Ich komme nun auf die zweite Ursache. Da die Bewegung der in den Blättern assimilirten oder in den Reservestoffbehältern aufgehäuften plasti-

schen Stoffe immerfort dem continuirlichen Einfluss der Schwere und des Lichtes unterliegt, so muss von dem Beginn des Wachsthums an die Organisation der stoffleitenden Organe in der Weise sich gestalten, dass sie vorwiegend die wurzelbildenden Stoffe zu den Wurzeln hin, die sprossbildenden aufwärts zu den Knospen hin zu leiten im Stande sind, und wenn man abgeschnittene Stücke oder ganze Pflanzen in umgekehrte Lage versetzt, wird nothwendig diese vorher bewirkte Prädisposition als Nachwirkung auftreten müssen, während zugleich die unmittelbare Einwirkung der Schwere und des Lichtes mit einwirkt.

Es wird also bei Versuchen dieser Art zweierlei zu berücksichtigen sein: 1) die von Licht und Schwere unabhängige Tendenz der organbildenden Stoffe, aus ihren Reservestoffbehältern oder Assimilationsorganen in die Knospen oder Wurzeln einzuströmen; 2) kommt in Betracht, ob bei einer gegebenen Pflanze eine mehr oder minder große Reactionsfähigkeit der fraglichen Stoffe oder Organisationsverhältnisse gegen Schwere und Licht besteht. Ist die in der normalen Vegetation vorhandene Prädisposition eine sehr kräftige, so wird bei Umkehrung abgeschnittener Stücke oder ganzer Pflanzen die Nachwirkung derselben überwiegen und die direkte Einwirkung der äußeren Kräfte kaum wahrnehmbar sein. Dagegen lässt sich denken und soll im Folgenden thatsächlich gezeigt werden, dass die durch äußere Einflüsse bewirkte Disposition zuweilen nur eine schwache Nachwirkung bedingt, und dass bei Umkehrung abgeschnittener Pflanzentheile oder ganzer Pflanzen die unmittelbare Einwirkung äußerer Kräfte deutlich hervortritt. Man wird also verschiedenartige Pflanzen bei der Untersuchung vorfinden: einerseits solche, wo der unmittelbare äußere Einfluss von Schwere und Licht kaum zu constatiren ist, und solche, wo er ohne Weiteres bei dem Experiment hervortritt. Warum das in jedem einzelnen Fall so ist, wage ich nicht zu erklären, und fürchte ich, dass auch Vöchting nicht im Stande sein wird, durch »Spitze und Basis« eine volle und genügende Erklärung zu geben. Die betreffenden Beobachtungen an Opuntia lasse ich unten folgen.

Nach diesen Erklärungen bedarf es kaum der Erwähnung, dass die von Vöchting ins Feld geführten Versuche mit den hängenden Zweigen von Trauerbäumen in unserer Frage einfach nichts beweisen. Indem ich den pag. 595 (Botan. Ztg. 1880) von Vöchting genannten Versuch mit Fraxinus excelsior var. pendula übergehe, weil ich aus seinen Worten den wahren Sachverhalt nicht entnehmen kann, citire ich nur seine Versuche mit den hängenden Zweigen von Salix purpurea, welche er in gewohnter Weise theils aufrecht, theils verkehrt in sogenannten »Glashafen« aufgehängt hatte. Er sagt nun: »War die Schwerkraft die direkte Ursache des inneren Gegensatzes im Spross (was ja doch Niemand behauptet hat, Sachs), so musste sich dies bei den nun erfolgenden Reproductionsvorgängen zeigen. Allein es fand sich, dass diese Stücke in allen wesentlichen

Zügen sich so verhalten, wie ursprünglich vertikal aufrecht gewachsene: die morphologische Spitze und Basis waren in gleicher Weise bei jenen gekennzeichnet.« Gleich die ersten Worte des Citates: »War die Schwerkraft die direkte Ursache des inneren Gegensatzes im Spross« beruhen auf Vöchting's Misverständnis. Ich meine aber, es bedarf gar keiner Experimente im »Glashafen«, um das von ihm gefundene Resultat vorauszusehen, denn wenn seine irrthümliche Auffassung meiner Ansicht richtig wäre, dann würden an den herabhängenden Weidenzweigen, an den abwärts gerichteten Knospen ohnehin Wurzeln entstehen. Vielmehr haben wir hier eben einen Fall vor uns, wo die Einwirkung der Schwere auf den Transport wurzelbildender und sprossbildender Stoffe durch andere oben genannte Umstände verdeckt ist.

Bei dieser Gelegenheit möchte ich betonen, dass in die Reservestoffbehälter, aus denen neue Pflanzenindividuen entstehen, jederzeit sowohl wurzelbildende wie sprossbildende Stoffe einwandern. Dies geschieht im Allgemeinen aufwärts, wenn die Reservestoffe sich in den Samenkörnern ansammeln, deren Embryonen sodann das Material zur Bildung von Wurzeln und Sprossen enthalten. Dagegen wandern beiderlei Stoffe auch abwärts in die unterirdischen Reservestoffbehälter, z. B. in die Kartoffelknollen, und ebenso in alle Rhizome und ausdauernde Wurzeln, welche als Reservestoffbehälter dienen. Es liegt ja selbstverständlich auf der Hand, dass in allen solchen Fällen, wo aus einem Pflanzentheil, speciell aus einem Reservestoffbehälter, später eine neue ganze Pflanze hervorgehen soll, sowohl wurzelbildende wie sprossbildende Substanz sich anhäufen muss. Ich habe desshalb, als ich meine Ansicht zu erläutern suchte, ausdrücklich den einen Fall hervorgehoben, wo eine in Assimilation begriffene orthotrope Pflanze weiter nichts zu thun hat, als ihre Knospen aufwärts, ihre Wurzeln unten zu entwickeln. Und dass wurzelbildende Stoffe gelegentlich aufwärts, sprossbildende abwärts wandern, hat eben so wenig Überraschendes, wie die längst bekannte Thatsache, dass manche Wurzeln negativ geotropisch und manche Sprosse positiv geotropisch sind.

§ 8.

Im Anschluss an die in meiner ersten Abhandlung über Stoff und Form beigebrachten neuen Beobachtungen will ich nun hier die Resultate einiger weiteren Experimente mittheilen, die darüber Aufschluss geben, dass bei manchen Pflanzen die unmittelbare Einwirkung einer äußeren Kraft hinreicht, die Entstehung einerseits von Wurzeln, andererseits von Knospen an bestimmten Orten hervorzurufen. Nach den vorausgehenden Erklärungen brauche ich mich nun auch nicht weiter an die Vöchting'schen Vorstellungen zu kehren, sondern verweise den Leser auf die von mir selbst aufgestellten Principien, die ja keineswegs so ohne Weiteres Alles erklären, sondern nur den richtigen Weg weiterer Forschung bezeichnen sollen.

Versuche mit Opuntia.

Der oberirdische Vegetationskörper von Opuntia Ficus indica, crassa, Rafineskeana u. a. verwandten Arten besteht bekanntlich aus flachen, länglich scheibenrunden Gliedern, welche scharf von einander abgegrenzt sind. Unter normalen Vegetationsverhältnissen entspringen neue solche Glieder vorwiegend aus dem Gipfel des jedesmal obersten Gliedes, außerdem aber auch aus den Rändern oder Kanten der Glieder, wobei die Tendenz nach oben vorherrscht; es ist leicht zu sehen, dass in der Pflanze ein Drang vorhanden ist, der das Austreten neuer Sprossungen nach den Gipfeltheilen der älteren hinlenkt und zugleich die schmalen Kanten der flachen Glieder bei der Neubildung bevorzugt; nur äußerst selten, vielleicht unter 80 oder 100 neu entstehenden Gliedern, kommt ein solches auf der flachen, breiten Seite eines älteren Gliedes zum Vorschein.

Die Tendenz, neue Sprossungen vorwiegend an den Gipfeltheilen der älteren austreten zu lassen, bietet nichts besonders Auffallendes dar, da es bei orthotropen Pflanzen der gewöhnliche Fall ist. Ich werde aber zeigen, dass es hier eine direkte Wirkung der Schwerkraft ist. Dass die neuen Sprosse ganz vorherrschend aus den schmalen Kanten der älteren Glieder entspringen, ist aber wenigstens indirekt eine nachträgliche Folge früherer Lichteinwirkung; denn so weit die Sache bis jetzt bekannt ist, entstehen die flachen, scheibenförmigen Opuntienglieder nur unter der Einwirkung des Lichts, ohne diese würden sie schmal, prismatisch oder cylindrisch bleiben.

Zu diesen Wahrnehmungen kam schon vor mehreren Jahren eine andere, die mir keinen Zweifel darüber ließ, dass die Entstehung neuer Vegetationspunkte bei den Opuntien, speciell bei O. Ficus indica, durch äußere Kräfte, Schwere oder Licht örtlich bestimmt, localisirt wird. Es war im Würzburger Garten zufällig vorgekommen, und Ähnliches habe ich in anderen Gärten gesehen, dass ein sehr großes Opuntienglied, Fig. 1 *I* (siehe umstehend), welches vom Gärtner mit seiner Basis in einen Topf gesetzt worden war und sich dort bewurzelt hatte, im ersten Jahre an seinen Kanten Seitensprosse *II* wie gewöhnlich erzeugte. Die Pflanze wurde offenbar vernachlässigt, welkte stark und das erschlaffte Glied *I* bog sich, wie die Figur zeigt, mit seinem Gipfeltheile so, dass die flachen Seiten horizontal zu liegen kamen, während die welken Seitenglieder ebenfalls schlaff herabhingen. Diese abnormen Lagen behielten die genannten Theile auch in den späteren beiden Jahren, wo die Pflanze von mir gepflegt und beobachtet wurde.

Im nächsten Jahre nun kamen vier neue Glieder aus dem primären *I* zum Vorschein, sie sind in unserer Figur sämmtlich mit *III* bezeichnet. Dabei trat nun eine sehr merkwürdige Erscheinung hervor: diese neuen Glieder *III* entsprangen keineswegs wie gewöhnlich aus den Kanten des

Muttersprosses, sondern aus der zufällig nach oben gekehrten flachen Seite, wie die Figur zeigt: einer, der links stehende, in der Figur hart am linken Rande der oberen Fläche, die drei anderen näher am rechten Rande, aber von diesem um einige Centimeter entfernt, zugleich war der negative Geotropismus dieser Glieder gegenüber dem horizontal gebogenen Mutterglied ungemein auffallend.

Im folgenden Jahre, d. h. im Sommer 1881, wuchs die Pflanze weiter und erzeugte aus dem Gliede *I* noch ein secundäres Glied, welches in der Figur mit *IV* bezeichnet ist; dieses aber stand nun genau auf der Mittellinie des Muttersprosses zwischen den vorjährig entstandenen, mehr den Seitenrändern genäherten Sprossen.

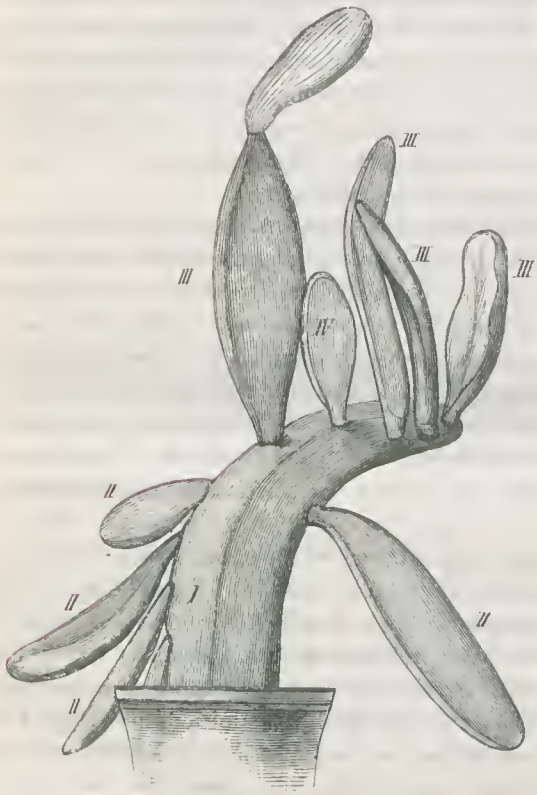

Fig. 1.

Außerdem entstand gleichzeitig aus dem in der Figur links stehenden Gliede *III* am Gipfel desselben ein neuer Spross.

Dieses Verhalten zeigt offenbar, dass der Ort, wo neue Sprossvegetationspunkte bei diesen Opuntien entstehen sollen, durch zufällige äußere Umstände bestimmt wird, es ist dabei einstweilen ganz gleichgiltig, ob es in diesem Fall die Schwere oder das Licht ist, welches die Entstehungsorte der Glieder *III* und *IV* bestimmt hat. Von besonderem Interesse ist aber noch die fortschreitende Einwirkung, die sich darin zu erkennen giebt, dass die im Jahre 1880 entstandenen Glieder *III* den Rändern des Muttersprosses noch immer genähert sind, während, nachdem der obere Theil des Muttersprosses volle 2 Jahre übergebogen lag, ein Spross *IV* genau in der Mittellinie auf der Oberseite erschien.

Vervollständigt werden diese Wahrnehmungen durch folgende weitere Beobachtung: wenn, wie es häufig geschieht, die Seitensprosse einer auf-

rechten Opuntie so gestellt sind, dass die eine schmale Kante oben, die andere unten liegt, während die beiden flachen Seiten vertikal stehen, dann entspringen ganz gewöhnlich die neuen Glieder solcher Sprosse aus der nach oben gekehrten Kante derselben.

In all' diesen Wahrnehmungen erkennt man die Tendenz, ohne Rücksicht auf die sogenannten morphologischen Verhältnisse die Entstehung der Vegetationspunkte so zu lokalisiren, dass sie nach oben, zenithwärts zum Vorschein kommen.

Ich schloss aus diesen Thatsachen, dass bei den Opuntien die durch vorausgehende Einwirkung von Schwere und Licht bewirkte innere Prädisposition nur schwach ausgebildet ist, weil die direkte Einwirkung äußerer Kräfte so energisch sich geltend macht. Daher unternahm ich im Frühjahr 1881 einige Vegetationsversuche mit Opuntien, die allerdings schon jetzt einige bemerkenswerthe Resultate geliefert haben, die ich aber eben desshalb noch weiter fortsetzen werde, da man es hier mit einem ungemein günstigen Material zu thun hat.

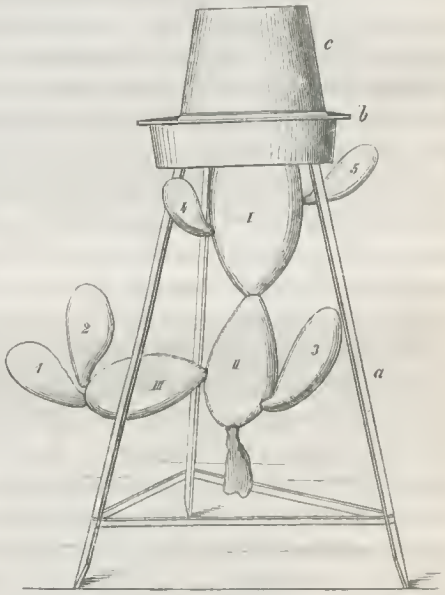

Fig. 2.

Zunächst wurde eine Opuntia crassa mit drei über einander stehenden Gliedern, welche schon seit 2 Jahren im Topf eingepflanzt war, dazu benutzt: Fig. 2 zeigt in *I* und *II* die beiden älteren Glieder dieser Pflanze. Das jüngere, in der Figur als bloßes Anhängsel erscheinende fing Mitte Juni 1881 soeben an, einen kleinen Spross auszutreiben. Dieser letztere wurde ausgebrochen und nun die ganze Pflanze umgekehrt, wie es unsere Figur zeigt, auf ein eisernes Gestell postirt, so dass der Topf *c* aufwärts gekehrt war. Eine aus zwei Hälften bestehende Metallscheibe *b* hinderte das Hinabfallen der Erde aus dem Topf. Der ganze Apparat stand an einem sonnigen Ort im Garten.

Schon nach etwa 14 Tagen, also Anfang Juli, erschienen vier neue Sprossglieder, und zwar in einer Vertheilung an den alten, wie sie bei normaler Stellung der Pflanze sicherlich nicht erschienen sein würden, nämlich, wie die Figur zeigt, zwei neue Glieder aus dem Gipfel, aber an der aufwärts gekehrten Kante des alten Gliedes *III*, eines, nämlich Nr. 5,

in einiger Entfernung aufwärts vom Gipfel des alten Gliedes *II*, und was ungemein überrascht, zwei neue Glieder *4* und *5* aus den Kanten des ältesten Gliedes *I*, aus welchem bei normaler Stellung der Pflanze sicherlich kein Austrieb stattgefunden hätte.

Unsere Fig. 2 stellt übrigens die Pflanze in einem späteren Zustand gegen Ende Juli dar, wo die neuen Glieder bereits kräftig herangewachsen waren und durch geotropische Krümmungen sich aufwärts gerichtet hatten.

Jedenfalls zeigt das Verhalten dieser umgekehrten Opuntie, verglichen mit dem gewöhnlichen Wachsthum aufrecht stehender, dass eine äußere Einwirkung, das Licht oder die Schwere oder beide zusammen, zur Lokalisirung der neuen Vegetationspunkte mitgewirkt hatte. Als Nachwirkung des früheren normalen Zustandes können wir es betrachten, dass die Sprosse *1*, *2* und *3* an den bezeichneten Orten gipfelwärts entstanden sind, dagegen ist es sicherlich eine Folge der Umkehrung, dass die Sprosse *4* und 5 so nahe an der Basis der ganzen Pflanze aus dem Gliede *I* entsprungen sind: die sprossbildende Substanz, welche bis zum Anfang des Versuches in die Glieder *II* und *III* gipfelwärts und zugleich zenithwärts sich bewegt hatte, ist nach der Umkehrung der ganzen Pflanze zum Theil wenigstens rückgängig gemacht worden, sie ist wieder zenithwärts, aber diesmal in basipetaler Richtung betreffs der alten Pflanzentheile in Bewegung gesetzt worden, um die Sprosse 4 und 5 zu erzeugen.

Da die bisher angeführten Beobachtungen gar keinen Zweifel darüber lassen, dass äußere Ursachen ganz unabhängig von den »morphological forces« die Bewegung der sprossbildenden Substanz bestimmen, so wünschte ich nun auch zu erfahren, wie es mit der wurzelbildenden Substanz in dieser Beziehung bei den Opuntien steht. Zu diesem Zweck schnitt ich am 16. Juli 1881 acht ungefähr handgroße oder größere Glieder von O. Ficus indica von älteren Pflanzen ab. Ich wählte dabei nur solche Glieder, welche an ihren Mutterpflanzen zufällig oder in Folge früheren Welkens entweder ganz senkrecht abwärts hingen, oder doch sehr schief nach unten gerichtet waren, die also in gewissem Sinne mit den abwärts hängenden Zweigen der Trauerbäume verglichen werden können, bei denen also Schwere und Licht bereits seit einem Jahre in einer Richtung eingewirkt hatten, welche der normalen aufrechter Sprossglieder entgegengesetzt war. Ob diese Vorsichtsmaßregel für meinen Versuch entscheidend oder wesentlich ist, vermag ich bis jetzt nicht zu bestimmen, jedenfalls ist das Resultat ein meinen bekannten Ansichten durchaus entsprechendes, sogar über Erwarten deutliches.

Die acht abgeschnittenen Glieder wurden in zwei Gruppen eingetheilt und, nachdem sie zwei Tage gelegen hatten, um die Wunden abtrocknen zu lassen, folgendermaßen in Töpfe mit Erde eingepflanzt.

1. Gruppe: vier Stück; die abgeschnittene Basis wird in die Erde gesetzt, wie gewöhnlich bei der Vermehrung der Opuntie, aber jede Pflanze

sammt dem Topf umgekehrt, so wie in Fig. 2 auf ein Gestell gesetzt, an einem sonnigen Ort im Garten. Am 16. September, also nach acht Wochen, wurden diese Pflanzen ausgetopft und constatirt, dass sich aus der während der Versuchszeit aufwärts gekehrten Basis jedes Opuntiengliedes ein mächtiges, hundertfältig verzweigtes Wurzelsystem in der Erde entwickelt hatte. Das würde also anscheinend ganz den Ansichten Vöchting's entsprechen; obgleich die »morphologische Basis« aufwärts gekehrt war, hatte doch sie allein Wurzeln erzeugt, und zwar gleichmäßig bei allen vier Exemplaren. Indessen ist dieser Erfolg nicht der einzige, wie die vier anderen Stücke zeigen.

Die vier Glieder der 2. Gruppe wurden in umgekehrter Lage in die Erde je eines Topfes gepflanzt, nachdem an dem Gipfel eines jeden Gliedes ein 2—3 cm langes Stück quer abgeschnitten war, um eine Wundfläche zur Förderung der Wurzelbildung herzustellen. Der Gipfeltheil jedes Gliedes befand sich also in der Erde, das Basalstück ragte frei in die Luft hinaus; diese vier Exemplare blieben nun so ohne Umkehrung stehen. Der Gipfeltheil war also abwärts gerichtet, aber durch die Erde verdunkelt und feucht gehalten; die Basis ragte aufwärts. — Als nun ebenfalls am 16. September, wie vorhin, die Pflanzen ausgetopft und untersucht wurden, fand sich, dass drei Exemplare keine Spur von Wurzeln, weder an der aufwärts gerichteten Basis, noch an dem in Erde steckenden Gipfeltheil gebildet hatten; nur das älteste, mit einer dünnen Korklamelle überzogene Glied verhielt sich anders; es hatte am Querschnitt des in Erde befindlichen Gipfels drei Wurzeln gebildet, zwei kleine, von einigen Centimetern Länge, und eine große, vielfach verzweigte Wurzel.

Dieses Resultat wäre noch immer günstig für Vöchting's Auffassung. Allein ich sagte mir, wenn die von mir angenommene Prädisposition aus früherer Zeit her besteht, so muss es Schwierigkeiten für die Pflanze haben, diese Prädisposition nach der Umkehrung durch direkte Einwirkung äußerer Kräfte zu überwinden, und dies muss sich vor Allem darin geltend machen, dass eine längere Zeit dazu gehört, die wurzelbildende Substanz innerhalb der umgekehrten Opuntienglieder aus der früheren basipetalen in die nunmehr akropetale Richtung zu bringen, und diese Ansicht hat sich bestätigt. Die untersuchten Exemplare wurden am 16. September sogleich wieder in derselben Lage in die Töpfe eingepflanzt und, als es Ende Oktober kalt wurde, an einen warmen Ort im Zimmer gestellt. Eine neue Untersuchung Ende November ergab dann, dass auch ein zweites Exemplar eine und zwar vielfältig verzweigte Wurzel gebildet hatte, die aus dem Umfang der Schnittfläche des in der Erde steckenden Gipfels kam, und eine dritte Besichtigung, Mitte Januar 1882, ergab Wurzelbildung auch an einem dritten Exemplar.

Jedenfalls beweist der Versuch, dass bei der Opuntie die wurzelbildende Substanz auch in akropetaler Richtung sich ansammeln und zum

Vorschein kommen kann, wenn der Gipfel Monate lang abwärts gekehrt, feucht und dunkel ist, was ja für die Wurzelbildung immer mit entscheidet, wie ich schon vor 20 Jahren gezeigt habe. Zugleich zeigt sich, dass die wurzelbildende Substanz in akropetaler Richtung, selbst wenn Schwere, Feuchtigkeit und Finsternis zusammenwirken, nur nach langer Zeit dahin gelangt, an dem abwärts gekehrten Gipfeltheil in Form von Wurzeln hervorzutreten, was meiner Ansicht nach darauf hinweist, dass für die wurzelbildende Substanz eine starke Prädisposition aus der früheren normalen Stellung der Pflanze her besteht. Letzteres wird auch dadurch bewiesen, dass bei der ersten Gruppe meiner Versuchspflanzen an der aufwärts gerichteten Basis der Glieder sehr bald und sehr kräftige Wurzeln entstanden, wobei jedoch nicht zu vergessen ist, dass auch hier Dunkelheit und Feuchtigkeit die bestehende Prädisposition noch begünstigten und dass diese drei Faktoren dem einzigen Faktor: der direkten Einwirkung der Schwere, entgegenstanden.

Jedenfalls zeigt der Verlauf des ganzen Versuches, dass »morphological forces«, wie es Francis Darwin nennt, eben so wie die Wirkung von Spitze und Basis Vöchting's nicht nur überflüssige, sondern unrichtige Annahmen sind.

Versuche mit Thladiantha dubia.

Diese interessante Cucurbitacee erzeugt an ihren sehr langen, aber sehr dünnen Wurzelfäden unterirdische Knollen von der Größe der Haselnüsse bis zu der mittelgroßer Kartoffeln. Diese Knollen sind Anschwellungen der dünnen Wurzelfäden, deren Längenwachsthum jedoch durch die Knollenbildung nicht unterbrochen wird; man findet daher im mittleren Verlauf eines 1—2 m langen Wurzelfadens 1, 2—3 knollige Anschwellungen, welche ein vierkantiges Prisma mit abgerundeten Kanten darstellen; der Querschnitt einer Knolle ist ungefähr quadratisch. — Im Herbst geht die ganze Pflanze sammt ihren Wurzelfäden zu Grunde und nur die Wurzelknollen persistiren über den Winter. Durch die Fähigkeit derselben, neue Pflanzen zu produciren, wird Thladiantha dubia auf günstigem Boden geradezu ein lästiges, kaum auszurottendes Unkraut, da die regenerationsfähigen Knollen, oft 1—2 m von der Mutterpflanze entfernt, im nächsten Frühjahr neue Pflanzen produciren. Auf diese Weise war ein beträchtliches Areal unseres Gartens von der Pflanze occupirt, und als ich im Frühjahr 1880 eine große Zahl der Wurzelknollen ausgraben ließ, fanden sich an den letzteren schon am 18. April zahlreiche Sprosse und junge, neu ausgetriebene Wurzeln. Diese Wurzeln entspringen aus allen vier flachen Seiten der Knolle; die Sprosse dagegen, welche zur genannten Zeit schon 1—2 cm lang waren, zeigen eine ganz bestimmte Orientirung, die offenbar auf eine geotropische Einwirkung schließen lässt: liegt die Knolle hori-

zontal (gewöhnlich ist sie nicht kugelig, sondern in die Länge gezogen), so entspringen sämmtliche Sprossknospen auf der nach oben, d. h. zenithwärts liegenden Seite; ist dagegen das eine Ende der Knolle aufwärts gerichtet, so entspringen sämmtliche Sprossknospen aus dem nach oben gerichteten Ende, rings um den Punkt herum, wo das akropetale Wurzelende aus der Knolle weiter gewachsen war.

Die Beobachtung zahlreicher Knollen ließ daher keinen Zweifel, dass hier ein günstiges Material für meine Untersuchung vorliege. Dabei tritt jedoch noch ein besonderes Moment hervor: die Entstehungsorte der Sprossknospen sind zwar immer zenithwärts orientirt, was offenbar durch die Schwerkraft bewirkt sein muss, außerdem aber macht sich sehr deutlich das Streben geltend, die Sprossknospen am akropetalen Ende zu erzeugen. Da nämlich die Knolle eine bloße Anschwellung des Wurzelfadens ist, so hat man an ihr ein akropetales und ein basipetales Ende zu unterscheiden. In dieser Beziehung stimmt also die Wurzelknolle von Thladiantha mit der Kartoffelknolle überein: wenn auch bei dieser letzteren die Sprossknospen allerseits entstehen, so sind doch bekanntlich die dem akropetalen Ende der Knolle genäherten die kräftigsten und zum Austreiben fähigsten, wenn auch der Unterschied zwischen Ober- und Unterseite nur wenig hervortritt. Allein diese in der Förderung der akropetal gelegenen Sprosse hervortretende Ähnlichkeit zwischen den Knollen der Thladiantha und der Kartoffel widerspricht durchaus der von Vöchting aufgestellten formalen Regel, indem er pag. 86 seines genannten Werkes sagt: »Stengel und Wurzel erzeugen an ihren Spitzen (soll heißen an ihrem akropetalen Ende) das ihnen morphologisch Gleiche, an ihrer Basis das ihnen morphologisch Entgegengesetzte.« Das gilt nun freilich für die Kartoffelknolle, die bekanntlich ein angeschwollenes unterirdisches Sprossende darstellt, es gilt aber nicht für die Knolle von Thladiantha, welche die Anschwellung eines Wurzelfadens ist und doch an ihrem akropetalen Ende vorwiegend Knospen erzeugt, die also nach der Wurzelspitze hin in größerer Zahl oder allein auftreten.

Ich habe nun im Laufe der Jahre 1880 und 1881 eine größere Zahl von Vegetationsversuchen mit den Knollen von Thladiantha dubia angestellt, von denen ich hier nur einen Theil beschreiben will, da sie im Wesentlichen alle dasselbe Resultat geliefert haben. Zunächst wurden am 18. April 1880 sieben Knollen, nachdem die schon vorhandenen Triebe abgebrochen waren, so in Erde gelegt, dass diejenige Seite oder dasjenige Ende, an welchem die Knospen gesessen hatten (also die vorher aufwärts gekehrte Seite), nunmehr abwärts zu liegen kamen. Am 10. Juni waren aus 5 Töpfen kräftige Laubsprosse emporgeschossen und die ausgetopften Pflanzen ergaben Folgendes:

Eine horizontal gelegte Knolle hatte 6 Sprosse: 2 davon ganz am Vorderende, je einen nächst dem Vorderende rechts und links und 2 etwas

entfernter auf der nach unten gekehrten (früher oberen Seite); zahlreiche Wurzeln aus den Flanken von hinten bis vorn, keine aus der jetzigen Oberseite, d. h. der früheren Unterseite.

Vier andere Knollen, mit dem Vorderende abwärts in die Erde gelegt, haben nur an diesem 2—3 Triebe; diese dicht am Vorderende, welches jetzt unten liegt (früher also oben lag); sie kommen aber nicht bloß aus einer Seite, sondern rings um das Vorderende. Wurzeln aus allen 4 Flächen der Knolle, aus Hinterende, Mitte und Vorderende.

Das Resultat dieses Versuches lässt sich dahin zusammenfassen: die organbildenden Stoffe waren schon vor dem Beginn des Versuches im vorigen Herbst und Winter lokalisirt; die unmittelbare direkte Einwirkung der Schwere an den, während des Versuches umgekehrten Knollen daher verdeckt.

Der folgende Versuch bestätigt dies und zeigt zugleich, dass, wenn die Lokalisirung der neuen Sprossknospen an der Knolle von vornherein dem Einfluss der Schwere unterliegt, auch keine sogenannte morphologische Einwirkung stattfindet. Am 18. Juni 1880 wurden drei große Töpfe mit Pflanzen, die schon 30—50 cm lange Laubsprosse in der Luft entwickelt hatten, umgekehrt auf die bekannten Gestelle im Garten gesetzt und der Boden der Blumentöpfe sorgfältig zertrümmert und völlig weggenommen, wie bei Fig. 1, pag. 479. Am genannten Tage waren jedoch schon einige Knollen angelegt.

Am 25. Juli wurde zunächst ein Topf untersucht; es waren außer der Mutterknolle 5 andere vorhanden, von denen 2 noch gar keine Sprosse getrieben hatten. Die 3 anderen besaßen bereits Sprosse von einigen Millimetern bis 2 cm Länge. Eine schon vor dem Versuch gebildete Knolle hatte ihre damalige Unterseite dem Boden des Blumentopfes fest angepresst, nach Wegnahme des Topfbodens während des Versuches aber frei. Auf dieser ursprünglichen Unterseite der Knolle war keine Spur von Sprossknospen, aber auch keine auf der ursprünglichen Oberseite; nur auf der einen Flanke waren 6 paarweise gestellte Knospen entstanden; alle Seiten der Knolle hatten Wurzeln getrieben. — Eine andere, kleinere Knolle war ebenfalls schon vor dem Versuch entstanden und dem Topfboden angepresst. Sie hatte auf der ursprünglichen Oberseite, während des Versuches also abgekehrten Seite, einen kräftigen Spross, auf einer der Flanken eine Knospe, auf der ursprünglichen Unterseite, die aber während des Versuches aufwärts lag, drei kleine Knospen. — Eine weitere Knolle, offenbar jünger als die vorigen und während des Versuches entstanden, hatte eine Knospe auf einer Flanke, drei solche auf der ursprünglichen Unterseite, d. h. auf der Oberseite während des Versuches. Als Ergebnis dieser Beobachtung am 25. Juli stellt sich heraus, dass die beobachteten Knollen schon vor dem Beginn des Versuches bezüglich der Sprossbildung beeinflusst worden waren; trotzdem ist ersichtlich, dass von

12 neuen Knospen an 3 Knollen nur eine Knospe auf der ursprünglichen Oberseite der ältesten Knolle gebildet ist; 6 Knospen sind auf der ursprünglichen Unterseite, also während des Versuches auf der Oberseite entstanden, 5 Knospen an den Flanken, und zwar an diesen zenithwärts gerückt.

Am 28. September wurden die beiden anderen Exemplare ausgetopft.

Im ersten Topf fanden sich 1) eine sehr große, 12 cm lange, 5 cm dicke Knolle, die offenbar schon vor dem Beginn des Versuches vorhanden war; sie hat einen Spross am akropetalen Ende aus der Unterseite (früheren Oberseite), der 8 cm lang ist, und 2 kleine, je 1 cm lange Sprosse näher am akropetalen Ende aus der Oberseite. — 2) 10 neue Knollen von meist Haselnussgröße, eine jedoch 7 cm lang. Mehrfach kommen an meterlangen, an den Wänden des Topfes herumgewundenen, dünnen Wurzelfäden 2—3 Knollen hinter einander vor; in zwei Fällen entspringt ein 15 cm langer, kräftiger Spross auf der, während des Versuches zenithwärts gekehrten Seite der sehr dünnen Wurzel selbst, sogar in einer Entfernung von 20 cm von der Knolle. Vielfach kommen kleine Knospen einzeln aus der Zenithseite fadenförmiger Wurzeln. — Die Sprosse aus den Knollen sind sämmtlich dem akropetalen Ende derselben genähert: eine Knolle hat 3 kräftige Sprosse aus der einen Flanke dicht neben dem apicalen Ende, — eine Knolle besitzt 4 kleine und eine 6 cm lange Knospe, alle in einer Reihe geordnet, auf der zenithwärts gekehrten Seite am akropetalen Ende; — eine Knolle hat 5 Sprosse (1—4 cm lang), davon 3 aus der Oberseite, je einen aus der Flanke rechts und links; — eine Knolle, die mit dem akropetalen Ende aufwärts lag, hat 5 Sprosse, allseitig rings um das akropetale Ende geordnet; — die größte, 7 cm lange Knolle hat 2 große, 5—6 cm lange Sprosse und 2 kleinere; davon ein großer aus der Unterseite, offenbar vor dem Versuch Oberseite, die 2 kleinen jedoch aus der Zenithseite während des Versuches entstanden, ein großer Spross aus der linken Flanke.

In dem 2. Topf fanden sich am 28. September 11 Knollen von Haselnuss- bis Wallnussgröße; an 2 Wurzelfäden je 2 Knollen hinter einander. — Eine Knolle besitzt am akropetalen Ende 4 Sprosse auf der Oberseite und an dem fadenförmigen Wurzeltheil sitzt auf dessen Zenithseite eine lange Reihe von 10 kleinen Knospen. — Eine Knolle trägt am akropetalen Ende 6 Knospen bis zu 1 cm Länge auf der Zenithseite; — ebenso eine Knolle am selben Faden 4 Knospen; — eine Knolle mit 2 Gruppen von Knospen neben dem akropetalen Ende auf der Zenithseite, jede Gruppe hat 5—6 kleine Knospen; — eine Knolle mit einer Knospe auf der Zenithseite, fast in der Mitte, vom akropetalen Ende entfernt; — eine Knolle, haselnussgroß, hat 5—6 Knospen auf der Zenithseite, dem akropetalen Ende genähert, eine dieser Knospen ist über die Erde hinausgewachsen und hat 5 Laubblätter entwickelt; — 2 dicht hinter einander liegende große

Knollen, von denen die eine 4 Knospen (bis zu 5 cm Länge) auf der Zenithseite, in der Mitte ihrer Länge, besitzt, die andere, vordere Knolle hat je 3—4 Knospen (1—4 cm lang) auf der rechten und linken Flanke, neben dem akropetalen Ende, und außerdem 7 Sprosse auf ihrer Zenithseite, dicht am akropetalen Ende; 2 von diesen Sprossen sind über die Erde hinausgewachsen und haben Laubblätter erzeugt; — eine Knolle mit 10 kleinen Knospen und einer ausgewachsenen mit Laubblättern; diese alle oberhalb des akropetalen Endes aus der Zenithseite der Knolle entsprungen.

Das Resultat dieses Versuches lautet dahin: keine einzige der neu entstandenen Knollen hat eine Knospe auf der während des Versuches abwärts gekehrten Seite erzeugt; wo Knospen auf dieser Seite zu finden sind, bleibt kein Zweifel, dass sie schon vor dem Versuch auf der damaligen Oberseite angelegt waren.

Im März 1881 wurden je 2 große Knollen in 3 große Töpfe gelegt und in gewöhnlicher Lage so lange stehen gelassen, bis die Laubtriebe 8—10 cm hoch aus der Erde heraus waren. — Am 9. Mai wurden die 3 Töpfe umgekehrt auf unsere Gestelle gesetzt und die Böden der Töpfe ausgeschlagen; die erwähnten Laubsprosse mussten also abwärts wachsen, sie blieben desshalb im Laufe des Sommers bis Ende September ziemlich schwach, nur 1—1,5 m lang, blühten auch nicht.

Am 8. October untersucht, ergab sich Folgendes: von den 6 Mutterknollen haben die größten, ähnlich, wie es die Kartoffeln im Keller thun, dicht aufsitzende Brutknollen getrieben, theils auf der Zenithseite, theils seitwärts. Aus diesen und einer neu entstandenen Wurzelknolle entsprangen auf der Zenithseite zusammen 10 Knospen, alle klein, aber keine einzige auf der abwärts gekehrten Seite. — Es haben sich an den 6 Pflanzen nur 11 kleine Tochterknollen an langen Wurzelfäden gebildet; an all' diesen Knollen sitzen einige kleine Knospen nur auf der Zenithseite, keine einzige auf der Unterseite.

Das Resultat dieses Versuches bestätigt also das vorjährige, und ganz allgemein ist auszusprechen, dass an den Knollen von Thladiantha dubia die Knospen ausschließlich an der während ihrer Bildung zenithwärts liegenden Seite entspringen, und dass außerdem vermöge einer inneren Disposition das akropetale Ende bei der Knospenbildung bevorzugt ist, was, wie schon erwähnt, der von VÖCHTING aufgestellten Regel widerspricht.

Versuche mit Dioscorea sativa und D. Japonica.

Ich habe in den Jahren 1880 und 1881 sehr zahlreiche Versuche mit den Knollen dieser Pflanzen ausgeführt. Bekanntlich sind diese Knollen langgezogen, keulenförmig, zuweilen 60—70 cm lang, an ihrem Unterende 5—6 cm dick. Erst durch meine Vegetationsversuche überzeugte ich

mich, dass diese nach unten viel dicker werdenden Knollen echte Wurzeln und zwar Hauptwurzeln sind, die aber nur in ihrer Jugend sich als solche deutlich erkennen lassen, später die Wurzelhaube verlieren und auch in ihrer anatomischen Struktur nicht mehr als Wurzeln zu erkennen sind. Im Herbst sterben die Pflanzen mit Ausnahme dieser senkrecht im Boden steckenden Knolle ab, die im nächsten Frühjahr aus ihrem dünnen Oberende neue Sprosse entwickelt und dabei von Jahr zu Jahr an Größe zunimmt und dünne Nährwurzeln austreibt.

Ich habe nun größere und kleinere derartige Knollen durch Querschnitte in 3—10 Stücke zerschnitten und diese entweder in ihrer normalen, oder in der umgekehrten Lage, oder auch horizontal in Erde gelegt. An jedem Stück entstand wenigstens Eine neue Pflanze. Das Überraschende bei der Regeneration ist in diesem Fall, dass nicht etwa, wie gewöhnlich an gewissen Stellen des Mutterstückes, Sprosse, und an anderen Stellen Wurzeln entstehen; zwar treiben die alten Stücke selbst auch neue Wurzelfäden, allein die Hauptsache ist, dass aus gewissen Punkten der alten Knollenstücke junge Pflanzen entspringen, welche sich genau so wie junge Keimpflanzen verhalten, d. h. es entwickelt sich jedesmal unterhalb eines, die Basis des Sprosses bezeichnenden Niederblattes eine von vornherein sehr kräftige Hauptwurzel, welche später zu der beschriebenen Knolle anschwillt, senkrecht abwärts wächst und, wie ich mich überzeugt habe, in hohem Grade geotropisch ist; aufwärts von dem genannten Niederblatt wächst ein Spross, der erst einige andere Niederblätter und später oberhalb der Erde kräftige Laubblätter erzeugt; mit einem Wort, das Gebilde, welches an einem alten Knollenstück entsteht, verhält sich in jeder Beziehung wie eine neue, von vornherein aus Hauptwurzel und Hauptspross bestehende Pflanze.

Was nun den Ort betrifft, wo diese junge Pflanze aus dem Knollenstück entspringt, so lässt sich nur das Eine mit Bestimmtheit sagen: niemals aus der Mitte eines Querschnittes, für gewöhnlich dicht am Rande eines solchen, oder seltener aus der Oberfläche seitlich an dem Stück. Liegt das Knollenstück horizontal, so wächst die ganze Pflanze gewöhnlich an einem untersten Punkte eines Querschnittes heraus.

Was nun aber die etwaige Einwirkung der Schwere, oder im Sinne Vöchting's der Spitze und Basis, betreffs des Ursprungsortes der neuen Pflanzen betrifft, so ist es mir trotz der großen Zahl der gemachten Versuche bis jetzt nicht gelungen, ein bestimmtes Resultat zu erzielen: die jungen, jedesmal aus Hauptwurzel und Spross bestehenden Pflanzen entspringen aus dem basalen oder akropetalen Ende oder aus der Seite eines alten Knollenstückes, ganz gleichgültig, in welche Lage man das letztere gebracht hat. Ich gebe gern zu, dass eine Statistik von vielen Hunderten oder Tausenden derartiger Regenerationen einen bestimmten Einfluss der Schwere würde erkennen lassen; jedenfalls ist derselbe aber in hohem

Grade verdeckt durch andere Umstände. Ich glaube jedoch, dem wahren Sachverhalt am nächsten zu kommen, wenn ich auf zwei hier in Betracht kommende Punkte hinweise: 1) ist die Knolle zwar ursprünglich eine Hauptwurzel, später jedoch verliert sie diesen Charakter eines bestimmten Organs und nimmt die Eigenschaft eines bloßen Reservestoffbehälters an, ähnlich wie das Endosperm eines Samens; 2) entspringen aus diesem neutralen Reservestoffbehälter nicht vereinzelte Sprosse und Wurzeln, wie sonst an abgeschnittenen Pflanzenstücken, sondern es entsteht jedesmal eine ganze, aus Hauptwurzel und Hauptspross bestehende Pflanze, ähnlich wie in einem Samen eine ganze Pflanze neben dem Endosperm sich bildet. Bei diesem Sachverhalt erscheint es nun einigermaßen erklärlich, dass an jedem beliebigen Punkt eines Knollenstückes die Regeneration stattfindet, besonders desshalb, weil hier in diesem Fall die wurzelbildende und sprossbildende Substanz nicht aus verschiedenen Punkten des regenerationsfähigen Stückes hervortreten, sondern an derselben Stelle eine Embryoanlage bilden, an welcher nunmehr erst nachträglich die Scheidung von Wurzel und Spross eintritt. Vor dieser Scheidung ist die organisationsfähige Substanz oder der primäre Vegetationspunkt ein betreffs der organbildenden Stoffe neutrales Gebilde.

§ 9.

Es handelt sich bei dem jetzigen Stand unserer Kenntnisse weit weniger darum, Gestaltungsvorgänge im Pflanzenreich im Einzelnen genau auf physikalisch-chemische Vorgänge zurückzuführen, als vielmehr darum, nachzuweisen, dass überhaupt zufällige, physische Eingriffe im Stande sind, vegetabilische Gestaltungsvorgänge hervorzurufen. Durch letzteres nämlich wird eo ipso bewiesen, dass die sogenannten morphologischen Processe, wie alle übrigen physischen und chemischen Vorgänge, in der Natur causal begreifbar sind, wenn wir auch gegenwärtig keineswegs die Verkettung der Ursachen im Einzelnen nachweisen können. Aber damit dieser Weg der Forschung angebahnt werde, müssen eben die alten morphologischen Vorurtheile beseitigt sein, denn was die bisherige Morphologie in Gegensatz zu der Naturwissenschaft stellte, war eben der Umstand, dass von einer causalen Begründung der fraglichen Erscheinungen überhaupt gar nicht weiter geredet wurde.

In diesem Sinne hob ich schon in dem ersten Aufsatz über Stoff und Form pag. 453 folgenden Ausspruch HANSTEIN's desshalb hervor, weil dieser den wahren Sinn der bisherigen (zumal von ALEXANDER BRAUN und seiner Schule vertretenen) Morphologie klar ausspricht: »Das Bild des ganzen Organismus«, sagt HANSTEIN, »welches erst in der Zukunft materiell fertig gestellt wird, wirkt schon vor und bei der Anlage der Theile in der Gegenwart virtuell als Bewegungsursache, gleichwie der Riss, nach welchem der Bauarbeiter seine Werkstücke einsetzt.« Dieser Satz steht vollkommen im

Einklang mit dem aus der platonischen Ideenlehre hervorgegangenen deutschen Idealismus früherer Jahrzehnte. — Im Grunde genommen, besagt jedoch dieser Satz im Wesentlichen ganz dasselbe, wie der oben citirte Ausspruch Darwin's: »Eichen und Pollenkörner, der befruchtete Same, oder das befruchtete Ei, eben so gut wie Knospen, enthalten eine Menge von Keimen oder bestehen hieraus, welche von jedem einzelnen Atom des Organismus abgegeben werden.« Bekanntlich läuft ja Darwin's Pangenesis darauf hinaus, dass die Keimchen die Species conserviren, sie leisten also dasselbe, wie Hanstein's Bild des ganzen Organismus, nach welchem die Bewegungen der Materie sich richten. Der Hauptunterschied beider Ansichten liegt darin, dass Hanstein's Satz auf dem Boden des theoretischen Idealismus durchaus richtig gedacht ist; dagegen steht Darwin's Pangenesis mit ihren Keimchen auf dem Boden des ganz unklaren Materialismus, wie er zu allen Zeiten populär gewesen ist, jenes Materialismus, welcher über Naturkräfte verfügt, die kein Physiker und Chemiker kennt, welcher der Materie Eigenschaften zuschreibt, wie man sie gerade zur flüchtigsten, scheinbaren Erklärung unverstandener und ungenau beobachteter Thatsachen braucht.

Sowohl dem mit der Naturwissenschaft unvereinbaren Ausspruch Hanstein's, wie dem mit jeder Wissenschaft unvereinbaren Satze Darwin's wird, wie ich glaube, dadurch am besten entgegengetreten, dass man möglichst zahlreiche und möglichst gut beobachtete Thatsachen zusammenstellt, aus denen mit Bestimmtheit folgt, dass durch irgendwelche zufällige äußere Eingriffe normale oder abnorme Gestaltungsvorgänge am Organismus hervorgerufen werden. Ich möchte in dieser Hinsicht nachträglich noch an die in meinem ersten Aufsatz nicht erwähnten, durch Aecidium elatinum verursachten Hexenbesen der Edeltanne erinnern, sowie auch an die Veränderungen, welche die Algen erleiden, wenn sie von Flechtenpilzen eingeschlossen werden. Je mannigfaltiger die Erscheinungen sind, welche den causalen Zusammenhang äußerer Eingriffe mit sogenannten morphologischen Processen, d. h. mit Gestaltungsvorgängen im Pflanzenreich, beweisen, desto besser. In diesem Sinne ist mir nun auch eine neue Publikation von Peyritsch (Zur Ätiologie der Chloranthien einiger Arabis-Arten, Jahrb. für wiss. Bot. Bd. XIII, pag. 1) willkommen, da er den experimentellen Beweis liefert, dass bei einer Reihe von Arabis-Arten (hirsuta, Soyeri, ciliata, alpina, pumila, Turrita) durch Blattläuse (Aphis) Blüthenvergrünungen hervorgerufen werden, also gerade diejenigen Erscheinungen, deren sich die formale, herkömmliche Morphologie besonders angenommen hat, und betreffs deren ich mich schon in meinem ersten Aufsatz § 3 geäußert habe, ohne zu ahnen, dass meine Ansichten so rasch eine empirische Bestätigung finden würden. Peyritsch fasst seine Ergebnisse pag. 12 folgendermaßen zusammen: »Die Erscheinungen, welche die Aphis auf den Arabis-Arten hervorruft, sind, wie aus den mitgetheilten Vergrünungs-

geschichten hervorgeht, verschieden je nach dem Entwickelungsgrade, in dem sich die Blüthensprosse zur Zeit der Infektion befinden, je nachdem eine größere oder geringere Anzahl von Thieren übertragen werden und je nach der Empfindlichkeit der Pflanze auf den thierischen Eingriff. Selbstverständlich ist auch die Dauer des Aufenthaltes der Thiere auf der Pflanze nicht gleichgültig. Vorausgesetzt, dass die Blüthenknospen, auf welche Thiere übertragen werden, nicht zu weit in der Entwickelung vorgeschritten sind, zeigen sich unfehlbar die ersten Erscheinungen der Vergrünung eine Woche nach geschehener Infektion und sind 8—10 Tage nach Beginn des Versuches exquisit. Wie der zuletzt geschilderte Versuch zeigt, genügen wenige, selbst nur ein Thier, um deutliche Vergrünung der Blüthen zu bewirken. Sind Blüthenknospen ziemlich weit entwickelt, d. h. dem Aufblühen nahe, andere weniger, und werden nur ein bis wenige Thiere auf sie übertragen, so bietet sich folgendes Bild dar: An der Blüthenstandachse findet ein stufenweiser Übergang von normalen Blüthen zu vergrünten statt, die Blüthenstandachse ist verlängert, die Internodien zwischen den Insertionen aufeinander folgender Blüthen nehmen nach aufwärts zu allmählich an Länge ab. Allmählicher Übergang von normalen zu vergrünten Blüthen findet statt, wenn eine größere (30—80 und mehr) Anzahl von Thieren übertragen werden, wenn selbstverständlich die Traube Blüthen von verschiedenen Entwickelungsgraden besitzt; die Blüthenstandachse ist in der Gegend der Insertion der vergrünten Blüthen augenfällig verkürzt und zugleich gekrümmt, die Internodien nehmen nach aufwärts zu, in der Gegend, wo die vergrünten Blüthen entspringen, plötzlich an Länge ab und bleiben verkürzt in dem Bereiche, wo die Blüthenstandachse vergrünte Blüthen trägt. Sind die Blüthenknospen noch sehr jugendlich, so vergrünen alle Blüthen, sind die Blüthen in der Anlage begriffen, so bilden sich, wenn in diesem Momente die Pflanze von den Thieren befallen wird, dichte Knäuel kurz gestielter, kleiner Blüthen aus, bei welchen die Petalen und insbesondere die Staubgefäße und das Pistill sehr verkleinert, öfters minimal erscheinen. In allen Fällen ist das Wachsthum der Blüthenblätter gehemmt, die Petalen entfalten sich gewöhnlich nicht in der Weise wie normale, die Platte der Blumenblätter steht in der Verlängerung des Nagels oder steht nur sehr wenig von demselben ab, die Staubgefäße sind verkürzt, die Filamente und Antheren grün, oder letztere wenigstens grünlich, sie enthalten rudimentären grünlichen Pollen, die Hemmung des Längenwachsthums zeigt sich besonders deutlich bei den Carpiden. Im normalen Zustand ist das fernere Längenwachsthum nach der Anthese von der geschehenen Befruchtung oder doch von der Bestäubung abhängig, in den vergrünten Blüthen erreichen die Schoten nach Wochen kaum die halbe Länge der normalen, reifen Schote, gewöhnlich bleiben sie noch mehr verkürzt, doch findet immerhin eine Zunahme im Längendurchmesser derselben nach der Entfaltung der vergrünten Blüthe statt, die Schoten bleiben

geschlossen, sie sind zweifächerig; die Ovula sind in ihrer Entwickelung zurückgeblieben, halb amphitrop, oder einige fast orthotrop, die Integumente nicht verblattet.«

§ 10.

Betrachtungen über die Natur der Vegetationspunkte.

Wo es sich um Organbildung im Pflanzenreich und damit zusammenhängende Fragen handelt, wird man immer wieder auf die Vegetationspunkte und die Embryonen zurückgeführt; freilich ist fast Alles, was wir darüber gegenwärtig wissen, auf dem Boden der formalen Morphologie erwachsen, während die physiologische Forschung auf diesem Gebiet noch kaum angebahnt ist. Indessen lässt sich schon jetzt eine Reihe von Thatsachen und Beziehungen zusammenstellen, welche, wie ich glaube, geeignet sind, die wahre Natur der Vegetationspunkte in einem anderen Licht erscheinen zu lassen und die Forschung auf einen fruchtbareren Weg zu führen. Es handelt sich, um dies hervorzuheben, nicht etwa um Aufstellung einer neuen fertigen Theorie, sondern um rudimentäre Anfänge, aus denen sich später eine solche entwickeln kann; Hauptsache ist, dass ein Anfang gemacht wird.

Zunächst möchte ich noch einmal an das erinnern, was ich in meiner Abhandlung über die Anordnung der Zellen, pag. 103 und 104 des vorliegenden Bandes, gesagt habe. Ich wies darauf hin, dass die wesentlichste Bedeutung der Vegetationspunkte keineswegs, wie gewöhnlich gesagt wurde, darin liegt, dass sie vorwiegend das Wachsthum vermitteln, noch weniger die Orte des raschesten Wachsthums sind, ihre Bedeutung liege vielmehr darin, dass in ihnen die Anfänge der neuen Aussprossungen und der Gewebebildung zu suchen sind. Ein zweites Moment von hervorrageudster Bedeutung fand ich darin, dass alle normalen Vegetationspunkte einer reich verzweigten Pflanze direkt von dem Embryo, aus dem sie sich entwickelt hat, abstammen: jeder normale Vegetationspunkt einer Wurzel oder eines Sprosses ist direkt aus einem früheren Vegetationspunkt entstanden, und verfolgt man diese Entstehung rückwärts, so gelangt man bis zum Embryo, der, anfangs selbst noch undifferenzirt, zunächst die beiden Vegetationspunkte für Wurzel und Spross liefert. »Die Vegetationspunkte«, sagte ich, »rücken von einander weg, sie stoßen einander gewissermaßen ab, indem ihre basalen Gewebetheile sich in differenzirte Gewebe verwandeln, welche lebhaft wachsen und dann Dauergewebe darstellen. Jeder Vegetationspunkt ist gewissermaßen ein Überrest des Urmeristems (des Embryos), aus welchem sich die erste Sprossanlage (und Wurzelanlage) einer Pflanze entwickelt.« Das Urmeristem oder einfach das embryonale Gewebe regenerirt sich also aus den ursprünglich entstandenen Vegetationspunkten des Embryos immer wieder durch Ernährung,

aber so, dass diese Regeneration im normalen Falle in der Art verläuft, dass aus der Substanz eines gegebenen Vegetationspunktes direkt neue Vegetationspunkte hervorgehen. Da die Substanz der Vegetationspunkte aber sich continuirlich aus dem Embryo ableitet und auch in ihrer gesammten Beschaffenheit mit dem embryonalen Gewebe zur Zeit der allerersten Entwickelung identisch ist, so können wir das Gewebe der Vegetationspunkte einfach als embryonales Gewebe bezeichnen. Die Substanz der Vegetationspunkte stimmt nicht nur bezüglich ihrer chemischen und cellulären Beschaffenheit, sondern auch darin mit der primären Substanz des Embryos überein, dass sie im Stande ist, neue Organanlagen zu erzeugen.

Ferner wies ich kurz darauf hin, dass die sogenannten adventiven Sprossungen sich dadurch auszeichnen, dass sie aus Vegetationspunkten hervorgehen, welche nicht unmittelbar aus normalen Vegetationspunkten, also auch nicht mittelbar aus dem Embryo abzuleiten sind. Es muss also in der Pflanze unter Umständen an gewissen Punkten des Dauergewebes embryonale Substanz, unabhängig von vorhandenen Vegetationspunkten, entstehen, die geeignet ist, neue Vegetationspunkte zu erzeugen. Es ist aber bekannt, dass bei ungestörtem Wachsthum der allermeisten Pflanzen nur äußerst selten eigentlich adventive Vegetationspunkte in dem eben bestimmten Sinne auftreten: viele sogenannte adventive Sprossungen werden bekanntlich in frühester Jugend ihrer Mutterorgane, wo diese selbst noch aus embryonalem Gewebe bestehen angelegt; die Entstehung neuer adventiver Vegetationspunkte aus älterem Gewebe scheint auf einzelne Fälle beschränkt zu sein, und auch diese, z. B. die Entstehung der Knospen an den Einkerbungen der Blätter von Bryophyllum und auf den Blättern von Cardamine pratensis (HANSEN) sind in so fern noch zweifelhaft, als die vorliegenden Untersuchungen keinerlei Auskunft darüber geben, ob an den betreffenden Orten nicht vielleicht Überreste embryonaler Substanz sich erhalten haben, welche aus der frühesten Jugend des betreffenden Organs abstammen und bei dem Wachsthum der übrigen Theile desselben sich in ihrer Natur als embryonale Substanz erhalten haben. Es ist also in den meisten Fällen, wo an normal vegetirenden Pflanzen adventive Vegetationspunkte an älteren Organen zum Vorschein kommen, nicht gewiss und mikroskopisch vielleicht auch nicht direkt zu entscheiden, ob sie nicht etwa doch von normalen, d. h. aus dem Embryo hergeleiteten Vegetationspunkten ihren Ursprung genommen haben. Anders scheint es dagegen in solchen Fällen zu liegen, wo an abgeschnittenen Spross- und Wurzelstücken neue Vegetationspunkte an solchen Orten zum Vorschein kommen, wo sie bei ungestörtem Wachsthum nicht entstanden wären. Es ist aber bekannt, dass keineswegs alle Pflanzen an abgeschnittenen Stücken adventive Vegetationspunkte entwickeln; in manchen Fällen geht es gar nicht, in den meisten anderen Fällen bedarf es besonders günstiger Um-

stände und gewöhnlich langer Zeit, bis in der Nähe der Schnittflächen abgeschnittener Stücke sich Vegetationspunkte von Wurzeln oder Sprossen bilden. Ich stelle mir vor, dass bei normal vegetirenden Pflanzen im älteren Gewebe, besonders in den Assimilationsorganen, diejenigen chemischen Verbindungen entstehen, welche in die Vegetationspunkte der Wurzeln und Sprosse einwandern und die embryonale Substanz derselben ernähren; wird nun ein älteres Stück von der Pflanze abgeschnitten, so können in demselben kleine Quantitäten dieser embryonalen Substanz oder der betreffenden chemischen Verbindung, welche im Begriff waren, nach den Vegetationspunkten der Wurzeln und Sprosse hin zu wandern, noch enthalten sein; an den Schnittflächen sammeln sich nun diese sehr geringen Quantitäten embryonaler Substanz und veranlassen die Entstehung neuer Vegetationspunkte.

Die nächstliegende Frage wäre nun die, um was für chemische Verbindungen es sich handelt, wenn von embryonaler Substanz die Rede ist. Ich habe in dieser Beziehung schon pag. 457 meines ersten Aufsatzes darauf hingewiesen, dass es sich nicht einfach um die mikrochemisch nachweisbaren plastischen Stoffe, Eiweißstoffe, Kohlehydrate und Fette handeln könne, dass es sich vielleicht um sehr kleine Quantitäten noch unbekannter Substanz handelt, welche erst ihrerseits jene plastischen Substanzen zur Ansammlung an bestimmten Punkten, nämlich in den Vegetationspunkten, veranlassen. Vor Allem scheint mir eines von großer Wichtigkeit: nämlich die äußerst geringe Quantität der embryonalen Substanz selbst bei großen, mächtigen Pflanzen. Der Embryo, aus welchem die ersten Blattanlagen und Wurzeln sich hervorbilden, ist bekanntlich immer von mikroskopischer Kleinheit, sein gesammtes Gewicht dürfte kaum jemals den tausendsten Theil eines Milligramms erreichen, wovon wenigstens zwei Drittel Wasser sind. Ganz ähnlich ist es aber auch mit den Vegetationspunkten einer großen, erwachsenen Pflanze. Das eigentlich embryonale Gewebe eines solchen, sein Urmeristem im engsten Sinne des Wortes, dürfte nur selten 0,01 Milligramm wiegen; bei einer Pflanze mit 100 Vegetationspunkten also wäre die Masse derselben nur 1 Milligramm, bei einem Baum mit hunderttausend Vegetationspunkten von Wurzeln und Sprossen also nur ein Gramm, während die übrige Substanz hunderte von Kilogramm beträgt.

Nun bin ich aber der Meinung, dass es sich, abgesehen von dem Wasser des embryonalen Gewebes und von den dort befindlichen Kohlehydraten und Fetten, nicht einmal, streng genommen, um das gewöhnliche Protoplasma handelt, dass vielmehr in diesem letzteren eine besonders qualificirte chemische Verbindung vorhanden sein muss, durch welche die besondere Natur der Vegetationspunkte im Gegensatz zu den älteren, schon entwickelten Organen bestimmt wird. Wenn dies nun der Fall sein sollte, dann wäre innerhalb der ohnehin schon äußerst geringen Masse aller em-

bryonalen Gewebe des Embryos, so wie der Vegetationspunkte einer großen Pflanze nur ein äußerst kleiner Bruchtheil als der eigentlich für uns in Betracht kommende Stoff anzunehmen.

Mir war 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 beisammen liegen, die erst später bei dem Wachsthum aus einander 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 sein Gehalt an Nuclein, dessen merkwürdige Gestaltveränderungen bei der Zelltheilung von den genannten Forschern so eingehend studirt wurden. Die Bedeutung des Nucleins aber gewinnt einen weiteren Nachdruck durch die schon von Strasburger angebahnte, von Zacharias neuestens näher festgestellte Thatsache, dass es die Substanz des Zellkerns, also wohl vorwiegend die des Nucleins ist, welche bei der Befruchtung das wirksame Element darstellt.

Es wäre kaum rathsam, auf diese noch zu unbestimmten Daten hin die Behauptung wagen zu wollen, dass das Nuclein diejenige Substanz sei, welcher die befruchteten Embryonen und die daraus hervorgehenden Vegetationspunkte ihre Gestaltungsfähigkeit verdanken. Sollte sich jedoch diese oder eine ihr nahe liegende Annahme später rechtfertigen, so wird man nicht vergessen dürfen, dass während des Wachsthums und der damit verbundenen fortschreitenden Neubildung von Vegetationspunkten auch eine Vermehrung des Nucleins durch Ernährungsprocesse stattfinden muss. Hierbei bleibt es einstweilen unbestimmt, wo das Nuclein ursprünglich erzeugt wird, ob schon in den Assimilationsorganen oder aus deren Produkten anderwärts: die Regeneration an abgeschnittenen Pflanzentheilen würde jedoch darauf hinweisen, dass das Nuclein oder diejenigen chemischen Verbindungen, aus denen es schließlich entsteht, in älteren Gewebetheilen anzutreffen sind, aus welchen es nach den Vegetationspunkten hinwandert.

Dass es sich bei der Bildung neuer Vegetationspunkte, speciell auch der adventiven, gewiss nicht bloß um die Ansammlung von Eiweißstoffen, Fetten und Kohlehydraten handeln kann, schließe ich daraus, dass diese Substanzen eben doch überall im Zellgewebe vorhanden sind, und wenn es nur auf sie ankäme, könnten ja adventive Vegetationspunkte fast überall entstehen, besonders wenn man bedenkt, wie außerordentlich klein die Masse eines Vegetationspunktes ist. Es muss also wohl darauf ankommen, dass eine chemische Verbindung, welche nicht überall gleich jenen genannten Stoffgruppen in erheblicher Masse im Zellgewebe vorhanden ist, sondern eine Verbindung, welche nur in äußerst kleiner Quantität und nur unter besonders günstigen Vegetationsbedingungen sich bildet, an denjenigen Orten sich sammelt, wo Vegetationspunkte entstehen sollen. Mit ihr zugleich, oder besser: durch sie veranlasst, können dann Eiweißsubstanzen, Fette und Kohlehydrate an diesem Ort sich ansammeln und so die Masse des Vegetationspunktes bilden. Man könnte vielleicht glauben, dass Prantl's Ergebnisse an Farnprothallien (Botan. Ztg. 1881, Nr. 46 und 47) meiner Auffassung widersprechen. Prantl zeigte nämlich, dass Farnprothallien (von Osmunda regalis, Polypodium vulgare, Aspidium Filix mas, Ceratopteris), mit destillirtem Wasser oder stickstofffreier Nährstofflösung erzogen, das Gewebe ihres Vegetationspunktes in Dauergewebe umwandeln (ameristisch werden), dass aber späterer Zusatz stickstoffhaltiger Nährstofflösung die Bildung eines neuen Vegetationspunktes (Meristems) an der entsprechenden Stelle hervorruft, worauf später auch Archegonien entstehen. Offenbar ist es die Ansammlung von Protoplasma und Zellkernen an den beobachteten Stellen, welche zunächst die Konstatirung eines neuen Vegetationspunktes erlaubt, und zunächst kam dabei für Prantl das Nuclein nicht weiter in Betracht. Da nun das Nuclein nach Miescher keine eiweißartige Substanz ist, statt des Schwefels Phosphor enthält, und zwar in beträchtlicher Menge, so käme es darauf an, zu konstatiren, ob bei vollständiger sonstiger Nährstoffzufuhr, aber bei Ausschluss des Phosphors dennoch neue Vegetationspunkte und Archegonien an den Farnprothallien entstehen.

Man könnte auch Anstoß daran nehmen, dass ich einem Stoff von so äußerst geringer Quantität in der Pflanze eine so hochwichtige Bedeutung beilege. Allein einerseits führen eben die angeführten Gründe zu einer solchen Annahme, und andererseits fehlt es keineswegs an Analogien dafür, dass äußerst kleine Stoffmengen die weitgehendsten Wirkungen hervorrufen können; ich erinnere in dieser Hinsicht an die Fermente, von denen fast unwägbare Spuren fast unbegrenzte Massen anderer Stoffe zersetzen, und ferner an die Erfolge der Befruchtung. Gewiss ist doch das Quantum des Befruchtungsstoffes, der durch ein Spermatozoid oder durch einen Pollenschlauch auf die Eizelle übertragen wird, ein unbegreiflich kleines Quantum, welches nach Milliontheilen eines Milligramms rechnet, und

dennoch bestimmt dieses kleine Stoffquantum nicht nur überhaupt die Weiterentwickelung der Eizelle, sondern das gesammte spätere Wachsthum des neuen Organismus, wie mit Bestimmtheit die Bastarde zeigen, in denen vermöge jener kleinen Quantität von Befruchtungssubstanz dennoch später die väterlichen Eigenschaften deutlich hervortreten. Da nun bei den Pflanzen sämmtliche Organe aus den Vegetationspunkten hervorgehen und diese ursprünglich aus der befruchteten Eizelle entstanden sind, sich genetisch auf dieselbe zurückführen lassen, so kommen wir zu dem Schluss, dass in den Vegetationspunkten selbst sogar nach Jahren die Wirkung des in die Eizelle eingetretenen Befruchtungsstoffes noch zum Vorschein kommt.

Man könnte schließlich noch einwenden, es sei unverständlich, wie eine größere Masse von plastischen Pflanzenstoffen durch eine sehr geringe Quantität eines anderen Stoffes dazu veranlasst werden könnte, eine bestimmte organische Form anzunehmen. Diesem Einwurf gegenüber würde ich jedoch fragen: ist es denn verständlich, wie bei der Bildung der Krystalle von schwefelsaurem Natron ($Na_2SO_4 + 10H_2O$) die 180 Gewichtstheile Krystallwasser durch 142 Gewichtstheile Na_2SO_4 veranlasst werden, in die Form eines monoklinen Prismas einzutreten, obgleich doch die Krystallform des Wassers für sich allein eine hexagonale ist? Offenbar wird hier durch eine kleinere Quantität des Salzes eine größere Quantität von Wasser dazu veranlasst, eine von dem Salz abhängige Form anzunehmen.

Sollten fortgesetzte Untersuchungen nun ergeben, dass das Nuclein die ihm von mir zugeschriebene Rolle bei der Bildung der Vegetationspunkte wirklich spielt, so würde sich dann die weitere Folgerung anschließen, dass es verschiedene Arten von Nuclein geben müsse, die vielleicht chemisch nicht zu unterscheiden sind, die aber, ähnlich wie die Weinsäure und Antiweinsäure, wie rechts- und linksdrehender Zucker sich unterscheiden und gegen äußere physikalische Einflüsse verschieden reagiren.[1] Ungefähr in diesem Sinne würde sich dann das Nuclein, welches die Bildung von Wurzelvegetationspunkten einleitet, von demjenigen unterscheiden, welches bei der Anlage von Sprossvegetationspunkten den Anstoß giebt.

Würzburg, 9. Februar 1882.

---

1) Bei dieser Gelegenheit möchte ich hier nicht unerwähnt lassen, dass Pasteur bei Anwendung von Traubensäure zur Ernährung niederer Pilze fand, dass die rechtsdrehende Weinsäure von den Pilzen aufgenommen wird, während die linksdrehende zurückbleibt.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Arbeiten des Botanischen Instituts in Würzburg

Jahr/Year: 1882

Band/Volume: 2

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

Artikel/Article: Stoff und Form der Pflanzenorgane 689-718