III.

# Ueber die Anordnung der Zellen in jüngsten Pflanzentheilen.[1])

Von

**J. Sachs.**

Hierzu Tafel III und IV.

Die zahlreichen Untersuchungen über Vegetationspunkte mit und solche ohne Scheitelzelle, über sogenanntes Randwachsthum flächiger Gebilde, über die Zelltheilungen in Sporenkeimen, befruchteten Eizellen, jungen Haaren und sonstigen noch aus Urmeristem bestehenden Organen wurden bisher von sehr verschiedenen Gesichtspunkten aus geführt; bald beschränkte man sich auf eine rein descriptive Behandlung der dem Auge sich darbietenden Zellhautnetze und ihrer Veränderungen; bald waren es morphologische Fragen über den wahren Entstehungsort seitlicher Sprossungen; man benutzte die Aehnlichkeit der Zelltheilungsfolgen homologer Organe, um einen bestimmteren Ausdruck für die systematische Verwandtschaft verschiedener Pflanzengruppen zu gewinnen; aus der zeitlichen Veränderung der Zellhautnetze des Urmeristems suchte man ferner die Natur des Wachsthums zu ergründen und aus der Lagerung der Schichten und Reihen im Urmeristem eine der Keimblättertheorie der Zoologen ähnliche Ansicht von dem Ursprung der Gewebesysteme aufzustellen.

Diesen so verschiedenen Bemühungen liegt aber eine bei den Untersuchungen gewissermassen als Nebenproduct zu Tage geförderte Thatsache zu Grunde, nämlich die, dass die Zellen des Urmeristems jüngster Pflanzentheile bestimmte Anordnungen zeigen, dass sie nicht ordnungslos, wie man früher wohl geglaubt hatte, durcheinander liegen, sondern in jedem Organ in bestimmter Reihenfolge und räumlicher Orientirung entstehen. Seit 1845, wo Nägeli die Scheitelzellen der Kryptogamen zuerst beschrieb und zeigte, wie aus ihren Segmenten durch weitere Theilungen das gesammte Gewebe nach bestimmten Regeln abgeleitet wird, ist es ja gelungen, auch in sehr zahlreichen anderen Fällen, auch wo keine Scheitel-

1) Eine vorläufige Mittheilung erschien unter demselben Titel im März 1877 in den Verh. d. phys. med. Gesellsch. in Würzburg, N. F. Bd. XI. Von der dort beigegebenen Tafel ist hier nur ein Theil reproducirt, der andere durch neue Figuren ersetzt.

zelle sich findet, dieselbe Regelmässigkeit des Baues im Urmeristem nachzuweisen. Dies jedoch nur für jeden Einzelfall oder für einzelne Formenreihen, bei denen fast vollständige Uebereinstimmung herrscht. Dagegen ist es bis jetzt nicht gelungen, Regeln oder Gesetze aufzustellen, welche das auch den verschiedensten Objecten Gemeinsame hervorheben, also die Mannigfaltigkeit der Erscheinungen auf einen übersichtlichen Ausdruck zu bringen. Dies Letztere aber ist die nächste, wenn auch nicht einzige Aufgabe der folgenden Auseinandersetzungen.

Den ersten Versuch, einen übersichtlichen und allgemein giltigen Ausdruck für die zwischen Wachsthum und Zelltheilung bestehenden ursächlichen Beziehungen aufzustellen, hat Hofmeister gemacht; er ist aber in der Hauptsache völlig missglückt. — In seiner »Lehre von der Pflanzenzelle« (1867) behandelt er (p. 125 ff.) »das Verhältniss der Zellenbildung zum Wachsthum der Pflanzen und Pflanzenorgane« in sehr origineller, aber kaum verständlicher Weise. Von allem daselbst Gesagten kann ich nur dem einen Satze beistimmen, dass (p. 129) »die Bildung neuer Zellen im Vegetationspunkt eine Function des allgemeinen Wachsthums, nicht seine Ursache ist«, ein Satz, der jedoch nicht auf die Vegetationspunkte beschränkt werden darf, sondern ganz allgemein zu fassen ist. Wachsthum der mannigfaltigsten Art kann ohne Zelltheilung stattfinden, wie z. B. die Siphoneen zeigen; aber Zelltheilung ohne vorausgegangenes Wachsthum ist undenkbar. Die Art und Weise aber, wie Hofmeister, von diesem richtigen Satze ausgehend, nunmehr die Beziehung zwischen Zelltheilung und Wachsthum zu formuliren sucht, halte ich nicht für allgemein giltig, und seine Begründung nicht für zutreffend. Hofmeister's Satz, den er übrigens schon 1863 (Jahrb. f. wiss. Bot. III. p. 272) aufgestellt hatte, lautet: »Die neugebildete Scheidewand steht auf der Richtung des intensivsten vorausgegangenen Wachsthums senkrecht.« Er begründet diesen Satz (Zellenlehre p. 130) zunächst durch Hinweise auf das Verhalten verschiedener Scheitelzellen und ihrer Segmente, ohne dass es dem Leser jedoch gelingt, zu erkennen, wie aus diesem jener Satz folgen solle. »Besonders auffällig ist«, fährt er fort, »die senkrechte Stellung der neuen Scheidewände zur Wachsthumsrichtung[1]) da, wo diese Wachsthumsrichtung eine Curve ist. Jede einzelne Wand ist dann senkrecht auf dem von ihr geschnittenen kleinsten Abschnitt der Curve, so dass in einer Reihe solcher Wände jede annähernd radial gegen den Mittelpunkt des von der Curve umschlossenen Raumes gerichtet ist.«

In diesem Satz enthalten nur die Worte: »jede einzelne Wand ist dann senkrecht auf dem von ihr geschnittenen kleinsten Abschnitt der Curve« einen bestimmten Sinn; was man sich dagegen unter der Curve als Wachsthumsrichtung und unter der gegen den Mittelpunkt derselben

1) Der Zusatz: »intensivsten« fehlt hier.

radialen Richtung zu denken habe, bleibt völlig unverständlich, wie sich sofort ergibt, wenn man es versucht, auf Grund der Hofmeister'schen Sätze, das Zellnetz im Längsschnitt eines Vegetationspunktes sich klar zu machen. Das Schlimmste aber ist, dass Hofmeister für die als richtig bezeichneten Worte seines citirten Satzes auch nicht einmal den Versuch eines Beweises beigebracht hat, der doch um so nöthiger gewesen wäre, als die von ihm dabei citirte Figur von Chara (l. c. p. 131) gerade an den entscheidenden Stellen (irrthümlicher Weise) nur schiefwinkelige Schneidungen der Wände zeigt.

Der von Hofmeister aufgestellte Satz ist also unbrauchbar und dass dies der Fall ist, wird schon durch die Thatsache bewiesen, dass in den zahlreichen Arbeiten, welche seit 1863 erschienen sind, desselben kaum Erwähnung geschieht und dass es Niemandem gelungen ist, seine eigenen Beobachtungen damit in Einklang zu bringen.

Im Gegensatz zu Hofmeister's Verfahren lasse ich bei der Betrachtung der Zellhautnetze jüngster Pflanzentheile die Wachsthumsrichtungen zunächst aus dem Spiel; auch lasse ich für's Erste die zeitliche Reihenfolge in der Entstehung der Theilungswände auf sich beruhen und lege mir nur die Frage vor, ob sich irgend eine durchgreifende geometrische Beziehung der verschiedenen Wandrichtungen unter sich und mit der Umfangsform des Organs auffinden lässt. Durch die im Folgenden dargelegten Betrachtungen finde ich nun, dass die gesuchte Beziehung in der rechtwinkeligen Schneidung der Wände des Urmeristems unter sich und mit der Umfangswand besteht. Ist dies bewiesen, so ist jedenfalls ein fester Satz gewonnen und es zeigt sich ferner, dass man, auf diesem fussend, aus der Form des Zellhautgerüstes bestimmte Schlüsse über die Vertheilung des Wachsthums ziehen kann und dass die zeitliche Reihenfolge der neu entstehenden Wände eine Frage von mehr secundärer Bedeutung ist. Da die eingehendere Behandlung meiner Aufgabe vielfach auf Nebendinge Rücksicht nehmen muss, wird es, wie ich glaube, gut sein, mich im Voraus über den dem Ganzen zu Grunde liegenden Sinn in Kürze auszusprechen.

In den überaus zahlreichen Fällen, wo Pflanzenzellen hinreichend unabhängig von einander leben, nicht durch gemeinsames Wachsthum in einem Gewebeverband gehindert sind, macht sich die Thatsache geltend, dass bei der in Folge des Wachsthums eintretenden Zweitheilung die neu entstehende Theilungswand oder ganz allgemein die Theilungsebene den Umfang der Mutterzelle rechtwinkelig schneidet, und wenn in solchen Fällen [1]) wiederholte Zweitheilungen in verschiedenen Richtungen erfolgen, so kreuzen sich diese Richtungen untereinander rechtwinkelig. Diese rechtwinkelige Schneidung der Theilungsebenen unter sich und mit dem jeweiligen Umfang der sich theilenden Zelle kann nicht als etwas

1) Vergl. hierüber den Eingang zu § 2.

Zufälliges betrachtet werden; vielmehr darf man annehmen, dass sie in dem Wesen der Zelltheilung, in der Mechanik der Zellbildung tief begründet ist. Die Annahme, dass dies so sei, nenne ich das Princip der rechtwinkeligen Schneidung der Theilungsflächen bei der Zweitheilung.

Es ist nun die Frage, ob dieses Princip auch dann seine Geltung behält, wenn die aus einer Urmutterzelle durch wiederholte Zweitheilung hervorgehenden Zellen sich nicht isoliren, sondern vereinigt bleiben und einen Zellenfaden, eine Zellfläche oder einen Gewebekörper bilden.

Erwägt man die hier in Betracht kommenden Möglichkeiten, so ergibt sich Folgendes:

Das Bild, welches ein Zellengewebe darbietet, wird nicht allein davon abhängen, ob die successive auftretenden Wände im Augenblick ihres Entstehens rechtwinkelig auf die schon vorhandenen, besonders auch auf die Umfangswand des ganzen Complexes treffen; sondern die Form des Zellwandnetzes wird je nach der Art des Wachsthums der einzelnen Zellen oder des Gesammtwachsthums des Complexes sich verändern können, unter Umständen vielleicht so sehr, dass von der rechtwinkeligen Schneidung bald nichts mehr wahrzunehmen ist. Dies wird dann eintreten, wenn die einzelnen Zellen, deren Theilungswände zwar nach dem Princip der rechtwinkeligen Schneidung entstanden sind, sofort jede für sich ein selbständiges, von den Nachbarn möglichst unabhängiges Wachsthum beginnen, einander dabei zerren und drücken und die am Umfang befindlichen so auswachsen, dass ein einfacher Umriss des Ganzen gar nicht zu Stande kommt, dieses vielmehr den Eindruck eines zwar cohärenten, aber sonst ungeordneten Zellenhaufens hervorbringt, wobei immerhin die zuletzt entstandenen Wände noch die rechtwinkelige Schneidung zeigen können. Ein derartiges Bild bieten die jungen Prothallien der Equiseten, mancher Farne und in geringerem Grade die jungen Embryonen der Gymnospermen dar.

Es ist ferner denkbar, dass aus der wiederholten Zweitheilung einer Anfangszelle ein Gewebekörper hervorgeht, der so wächst, dass die Selbständigkeit der einzelnen Zellen dem Wachsthum des Ganzen völlig untergeordnet bleibt. — Vorausgesetzt, dass auch hier das Princip der rechtwinkeligen Schneidung bei der Entstehung der neuen Wände obwaltet, so wird es doch wieder von der Vertheilung des Wachsthums in dem von der Umfangswand umschlossenen Raume abhängen, ob dadurch die Wände so verschoben werden, dass ein ganz ungeordnetes Zellnetz oder ein geordnetes zu Stande kommt. In diesem Fall könnte es geschehen, dass die ursprünglich rechtwinkelige Anordnung zwar nicht ganz verwischt, aber doch so verschoben würde, dass eine regelmässige schiefwinkelige entsteht; dies scheint in der That öfter in dem abgeflachten oder etwas eingesenkten Scheitel von dicken Wurzeln (beobachtet bei Gräsern, Zea, Brachypodium) vorzukommen.

Endlich bleibt der Fall denkbar, dass die nach dem Princip der rechtwinkeligen Schneidung entstandenen Wände durch das Gesammtwachsthum des Zellcomplexes wenigstens während einiger Zeit nicht verschoben werden, so dass wenigstens zeitweilig das Ganze sich so verhält, als ob der Raum desselben nach zwei oder drei Richtungen von rechtwinkelig sich schneidenden Flächensystemen zerklüftet (gekammert, gefächert) worden wäre; so z. B. bei vielen Embryonen, Haarköpfchen, Vegetationspunkten, deren Zellen dann sämmtlich oder zum Theil in ihrem Wachsthum selbständiger werden, wenn sie in Dauergewebe übergehen und dabei die ursprüngliche Anordnung verlieren.

Gerade dieser Fall ist nun der gewöhnlich vorkommende. Es ist dabei jedoch zu beachten, dass es von verschiedenen Umständen, ganz besonders von der Form des Umfangs abhängt, ob das auf einem Längs- oder Querschnitt sichtbare Zellhautnetz die rechtwinkeligen Schneidungen ohne Weiteres erkennen lässt, oder ob diese erst durch nähere Ueberlegung constatirt werden kann. Es gibt äusserst zahlreiche Objecte, wo schon die einfachste Ueberlegung genügt, um die Gewissheit zu erlangen, dass rechtwinkelige Schneidung stattfindet; so z. B. bei gegliederten Algenfäden und Haaren, wo sofort ersichtlich, dass die unter sich parallelen Querwände die Umfangswand rechtwinkelig kreuzen; ferner bei kreisförmigen Zellenflächen, wie denen von Coleochaete scutata, flachen Gewebekörpern, wie denen der Melobesiaceen u. a., wo die radialen Wände die Peripherie des Kreises und die ihr parallelen Wände rechtwinkelig schneiden. Ein besonders schönes Beispiel liefern die Querschnitte des Holzes der Coniferen und Dicotylen mit ihren concentrischen Schichten und radialen Reihen, ebenso das aus seinem Phellogen entstandene Korkperiderma. Bei dem Holz wird dieses Verhalten schon dem unbewaffneten Auge bemerklich, wenn concentrische Jahrringe von deutlich ausgeprägten Spiegelfasern in orthogonal trajectorischem Verlauf geschnitten werden. Offenbar sind es zunächst die einander rechtwinkelig kreuzenden Theilungen im Cambium, durch welche der Grund zu dieser Regelmässigkeit gelegt wird; dass sie aber im ausgebildeten Holze (und resp. im Kork) sichtbar bleibt, beruht auf dem sehr geringen Flächenwachsthum der Zellen; und es ist nicht unwahrscheinlich, dass auch im Urmeristem der Vegetationspunkte, Embryonen u. s. w. das unmittelbar nach den Theilungen sehr langsame Wachsthum der Zellen es bedingt, dass man hier oft so ungemein deutlich ausgeprägte rechtwinkelige Schneidungen in grösseren Gewebecomplexen wahrnimmt. — In dem mit dem Holz zugleich aus dem Cambium entstehenden Rindengewebe geht die rechtwinkelige Schneidung der Wände oft sehr bald verloren, wenn das Dickenwachsthum und die Differenzirung des Rindengewebes in verschieden wachsendes Dauergewebe störend eingreifen. Aber auch der Querschnitt des Holzes selbst kann seine normale Structur einbüssen, wenn, durch

äussere Ursachen veranlasst, das Cambium und junge Holz an einer Seite viel rascher wachsen als am übrigen Umfang; in solchen Fällen kommt es vor, dass die Spiegelfasern aufhören, orthogonale Trajectorien der Jahrringe zu sein, indem sie diese zwar noch mit einer gewissen Regelmässigkeit, aber doch schief schneiden. Nichts hindert die Annahme, dass ganz ähnliche Verschiebungen anfänglich rechtwinkelig gekreuzter Zellwände auch im Urmeristem der Vegetationspunkte stattfinden können und es scheint, als ob dies in den oben erwähnten dicken Wurzelenden mit flachem Scheitel stattfände; freilich ist das Bild hier ein ganz anderes. als am Holz, und der Vergleich liegt nicht ganz einfach auf der Hand.

Jedenfalls zeigen nun diese Erwägungen, dass in wachsenden Gewebemassen das Princip der rechtwinkeligen Schneidung sehr wohl bestehen kann, ohne dass aber nothwendigerweise auch die entsprechenden Bilder auf Längs- oder Querschnitten sichtbar werden. Wir haben hier ein ähnliches Verhalten wie bei der Stellung der Blätter am Stamm; diese kann ursprünglich nach einer bestimmten Divergenz geordnet sein, dann aber durch weiteres Wachsthum so verschoben werden, dass die Divergenz eine andere wird, ja so, dass alle Regel scheinbar aufhört. Wie nun aber die wirklich vorhandene regelmässige Blattstellung uns in den einfacheren Fällen ohne Weiteres ihre Regel erkennen lässt, in anderen dagegen eine sorgfältige geometrische Ueberlegung erfordert, so ist es auch betreffs der rechtwinkeligen Schneidung der Zellwände. — Ganz abgesehen von den etwa vorkommenden Verschiebungen, ist es oft sehr schwierig, ja zuweilen unmöglich, direct zu bestimmen, ob die Zellwände einander rechtwinkelig schneiden oder nicht; dies besonders dann, wenn die Form des Umfangs, von welcher die Anordnung im Inneren nothwendig abhängt, eine geometrisch unbekannte oder schwer zu eruirende Krümmung besitzt.

In den folgenden Paragraphen soll nun trotz dieser Schwierigkeit der Versuch gewagt werden, gewissermassen auf Umwegen zu zeigen, dass die rechtwinkelige Schneidung im Urmeristem gewöhnlich auch da vorhanden ist, wo es auf den ersten Blick nicht so scheint; es soll, mit anderen Worten, die Hypothese wahrscheinlich gemacht werden, dass das Princip der rechtwinkeligen Schneidung, welches ja in so sehr zahlreichen Fällen gilt, auf allgemeine Geltung Anspruch macht.

## § 1. Unterscheidung und Benennung der Wandrichtungen in Vegetationspunkten.

Der Anblick gelungener medianer Längsschnitte durch Vegetationspunkte ohne Scheitelzelle lässt gewöhnlich eine schichtenweise Lagerung der Meristemzellen erkennen; die Schichten laufen im gleichen Sinne wie die Umfangslinie, und zwar so, dass wenigstens die äusseren continuir-

lich unter dem Scheitel hin von einer Seite des Objekts nach der anderen umbiegen. Die Dicke der Schichten ist unter dem Scheitel am geringsten und nimmt beiderseits nach rückwärts zu, und wenn diese Dickenzunahme ein gewisses Maass überschreitet, spalten sie sich in je zwei, deren jede weiter rückwärts sich wieder spalten kann. (Vergl. als Schema Taf. III, Fig. 1.) Da die Dicke der Schichten sich von hinten her nach dem Scheitel hin verjüngt, so laufen die die Schichten begrenzenden Zellwände nicht parallel mit der Umfangslinie, sondern so, dass sie, je weiter nach innen, je näher der Längsaxe, dieser mehr und mehr parallel zu werden scheinen.

Viel weniger als diese dem Umfang gleichsinnige Schichtung wurde bisher ein anderes System von Schichten oder Zellreihen beachtet, welches die vorigen kreuzt und die Umfangslinie schneidet (Taf. III, Fig. 1 *A*. *a*). Wo im Urmeristem schon frühzeitig Wandbrechungen eintreten, da pflegt dieses zweite Schichtensystem kaum oder gar nicht bemerkbar zu sein; ist jenes jedoch nicht der Fall, so tritt es oft ebenso deutlich hervor, wie das dem Umfang gleichsinnige System; so z. B. bei Winterknospen von Coniferen, bei Hippuris, Elodea, an Wurzeln von Gräsern, Helianthus u. a. Auf der natürlichen Oberfläche des Vegetationspunktes erscheinen diese Schichten in der Seitenansicht als querlaufende Etagen, in der Oberansicht des Scheitels als ein System concentrischer geschlossener Curven.

Die Scheitelansicht eines solchen Vegetationspunkts und der Querschnitt desselben zeigt nun noch ein drittes Schichtungssystem oder Zellreihen, welche vom Centrum aus radial nach der Peripherie verlaufen.

Abstrahiren wir einmal von der sogenannten Individualität der Zellen und beachten wir ausschliesslich den Verlauf der einander nach drei Richtungen des Raums durchkreuzenden Schichten, so erhalten wir ein Bild, welches sich mit dem inneren Bau einer stark verdickten Zellwand wohl vergleichen lässt. Die drei Schichtensysteme im Vegetationskegel entsprechen dem System der concentrischen Schichten und den beiden Systemen der sogenannten Streifungen der Zellhaut, wie sie von Nägeli beschrieben worden sind. Schichtung und Streifung der Zellhaut beruht bekanntlich auf einem regelmässigen Wechsel von dichterer und minder dichter Substanz nach drei Richtungen des Raumes, welche sich, wie Nägeli treffend bemerkt, wie die drei Blätterdurchgänge eines Krystalls schneiden. Durch Schichtung und Streifungen wird die Substanz einer Zellhaut in polyedrische Areolen zerlegt, so zwar, dass die drei Systeme dichtester Schichten ein Netzwerk bilden, in dessen Maschen die mindest dichten (wasserreichsten) Areolen eingeschlossen sind. Der Substanz einer dicken Zellhaut ähnlich ist das Urmeristem eines Vegetationskegels gebaut. Die Zellwände, nach drei Richtungen des Raumes einander schneidend, entsprechen den dichtesten Lamellen einer dicken Zellhaut, die Protoplasmakörper der Urmeristemzellen aber den weichen Areolen. Ich will

diesen sich ungezwungen darbietenden Vergleich hier nicht weiter verfolgen, sondern nur hervorheben, dass er um so zutreffender wird, je kleiner die Zellen des Urmeristems sind.

Bei deu grosszelligen Vegetationspunkten vieler Kryptogamen mit Scheitelzelle tritt uns anscheinend ein wesentlich anderes Bild entgegen, wie schon die schematischen Figuren 2 und 3 der Taf. III erkennen lassen. Hier sind es vorwiegend die von innen nach ausseu verlaufenden Zellwände oder Wandsysteme, welche sich dem Auge darbieten. Man erkennt aber bald, dass dieselben dem zweiten vorhin genannten System entsprechen und die mit dem Umfang gleichsinnige Schichtung ist auch in diesen Fällen mehr oder minder deutlich zu erkennen. Ebenso zeigt die Scheitelansicht oder der Querschnitt des Vegetationskegels das dritte Schichtungs-System, in Form radial nach aussen gerichteter Zellreihen. Nur wird das Bild hier am Scheitel selbst durch das Vorhandensein der Scheitelzelle und durch die Segmente derselben an Deutlichkeit sehr beeinträchtigt, während weiter abwärts sich ganz dieselben Verhältnisse wie vorhin durch das Auftreten der entsprechenden Zellwände herstellen.

Dass die bisherigen Betrachtungen sich auch bei Vegetationspunkten mit eingesenktem Scheitel ungezwungen anwenden lassen, wird aus Taf. III Fig. 5, 6 sofort ersichtlich sein. Ebenso wenig bedarf es langer Auseinandersetzung darüber, dass, wenn wir uns die Fig. 1, 2, 3. 5. 6 der Taf. III nur aus einer Zellschicht (in der Fläche des Papiers) bestehend denken, alsdann nur zwei Systeme von Zellwänden vorhanden sind, indem das dritte oben genannte System radialer Wände fehlt. Denken wir uns aber eine der Figuren 1, 2, 3, 5, 6 um die Längsaxe $xx$ rotirend, so würde jede der angedeuteten Linien eine Rotationsfläche liefern und zwischen den sich schneidenden Rotationsflächen würden concentrische, ringförmige Hohlräume liegen; damit diese aber in einigermassen isodiametrische Zellen zerfallen, ist weiter nichts nöthig, als dass in dem Rotationskörper noch eine hinreichende Zahl radialer Längswände auftreten, welche dem dritten oben genannten System entsprechen. Man kann die Fig. 4 (Taf. III) als den Theil eines Querschnitts dieser Rotationsfigur von Fig. 1 betrachten und dann würden die Linien $AA$ den Radialwänden (nicht den $AA$ in Fig. 1) entsprechen. Es leuchtet ferner ein, dass die Fig. 1, 2, 3 nicht nur mediane Durchschnitte von Rotationsfiguren zu sein brauchen, sondern auch von Körpern, welche im Querschnitt elliptisch oder sonst wie geformt sind. Wir können uns z. B. die Figur 7 auf Taf. IV als den halben Querschnitt von Fig. 1 denken.

In einem späteren Paragraphen werde ich zeigen, dass dieselben Betrachtungen, welche ich hier für Vegetationspunkte geltend mache, auch da gelten, wo es sich um rundliche Scheiben oder um kugelige oder ellipsoidische Gebilde handelt. Nur um die Darstellung zu vereinfachen,

bleibe ich hier und in dem nächstfolgenden Paragraphen bei den Vegetationspunkten.

Die den drei oben genannten Schichtungssystemen oder Blätterdurchgängen des Urmeristems entsprechenden Zellwandrichtungen hat man bisher als tangentiale und radiale Längswände und als Querwände unterschieden, indem man die Namen der im fertigen Stengel, der ausgewachsenen Wurzel u. s. w. vorhandenen Wände auf die jungen, mit ihnen genetisch identischen Wände des Vegetationspunktes übertrug. Dieses Verfahren ist entwickelungsgeschichtlich immerhin gerechtfertigt, führt aber den grossen Uebelstand mit sich, dass die so ungemein wichtige Beziehung der Wandrichtungen zum Umfang des Organs innerhalb des Vegetationspunktes ganz verwischt wird. Die Längswände können aus dem fertigen Stengel oder der fertigen Wurzel bis hinauf in den Vegetationspunkt verfolgt werden, und daher ihren Namen behalten; allein ihre weitere Verfolgung bis hinauf zum Scheitel (Fig. 1 *P*. Taf. III) zeigt sofort, dass sie dort nicht mehr längsläufig sind, sondern quer zur Wachsthumsaxe stehen. Mit Rücksicht auf ihre spätere Lage können sie ja auch hier wohl als Längswände gelten, es sind aber nicht Längswände des Vegetationspunktes, sondern des später daraus entstehenden Dauergewebes und die Beziehung zwischen ihrer ursprünglichen Richtung und der Form des Vegetationspunktes wird dabei ganz übersehen. Ebenso ist es mit den Querwänden eines Stengels, einer Wurzel und ähnlich geformter Organe. Es ist leicht zu sehen, dass die späteren Querwände innerhalb des Vegetationspunktes um so steiler aufgerichtet sind, je mehr man sich dem Scheitel nähert, und dicht am Scheitel können die späteren Querwände geradezu die Längsrichtung haben (Taf. III. Fig. 1 *AA*), so dass hier die Beziehung zwischen Wandrichtung und Form des Vegetationspunktes ganz verloren geht. — Anders ist es allerdings mit den radialen Längswänden, sie behalten ihren Charakter vom fertigen Organentheil aus bis hinauf zum Scheitel; wir werden aber bald sehen, dass streng genommen eigentlich radiale Wände nur in sehr geringer Zahl auftreten können, und dass die meisten anscheinend radialen Wände einem nicht radialen System angehören; einstweilen sei auf Fig. 7, Taf. IV verwiesen, die man sich als den halben elliptischen Querschnitt eines Stengels u. dgl. vorstellen mag; die Wände *AA* erscheinen nahe dem Umfang als radiale Wände, verfolgt man sie nach innen, so zeigt sich, dass sie nicht nach dem organischen Mittelpunkt hingerichtet sind, und wir werden später sehen, dass dies nach dem Gesetz der rechtwinkeligen Schneidung der Wände nicht anders sein kann. Man sieht, die bisherige Nomenclatur der Wandrichtungen hat, wenn es sich um Vegetationspunkte handelt, den grossen Uebelstand, dass sie den wahren Sachverhalt nicht bezeichnet. Noch auffallender würde dies hervortreten, wenn wir diese Benennungen auf die Fachwände in jungen Embryonen, Haarköpfchen u. dgl. ausdehnen wollten. In der That behilft man sich hier mit anderen Ausdrücken; aber gerade

das, was wir anstrebeu, eine tiefere Einsieht iu die allgemeinen geometrisehen Beziehungen des Zellwandnetzes zum äusseren Umfang der Organe wird dadureh noeh sehwieriger gemaeht.

Diese und audere Erwägungen haben mieh veranlasst, schon in meiner vorläufigen Mittheilung andere Benennungen für die Wandrichtungen vorzusehlagen, die jedenfalls den Vorzug haben, dass sie auf Vegetationspunkte ebenso wie auf runde Seheiben und auf kugelige oder ellipsoidisehe u. dgl. Körper passen, dass sie ebenso für die Jugendzustände wie für die fertigen Theile gelten und jederzeit die wahre Bezichung der Waudrichtungen zur äusseren Form des Organs hervortreten lassen.

Ieh habe perieline und anticline, dann radiale und transversale Wände untersehieden, von denen die beiden ersten Arten gewöhnlieh gekrümmt, die beiden letzten immer eben sind. Ieh will gleieh bemerken, dass die Transversalwände im Grunde nur anticline sind, und dass ieh diesen Namen nur der Bequemliehkeit wegen mit aufnehme.

Da diese neuen Benennungen nieht einfach Synonyme der älteren Namen siud, sondern einer ganz andern Auffassung des Saehverhaltes entspringen und dazu dienen sollen, eine tiefere Einsicht in die Natur des Zellenbaues der Pflanze anzubahnen, so wird es nöthig sein, dieselben genauer zu definiren. Zuvor aber noeh einige allgemeinere, erklärende Bemerkungen.

Da es sieh hier aussehliesslieh um die Riehtungen der Zellwände handelt, und nieht die einzelnen Zellen, sondern gewöhnlieh ganze Schiehten und Reihen derselben in Betracht kommen, so ist es erlaubt und für die gegenseitige Verständigung bequemer, wenn überhaupt zwischen Wänden und Wandrichtungen für gewöhnlieh nicht weiter untersehieden wird, wenn nieht etwa bestimmte Gründe für das Gegentheil vorliegen. Zahlreiehe, in einer Flueht liegeude Wände werden also wie e i n e Wand behandelt, und die Wand einer einzelnen Zelle kann als ein Bruehstück angesehen werden, welehes dieser oder jener Wandriehtung angehört. Dass diese Betraehtungsweise nieht nur im rein geometrisehen Sinne erlaubt ist, sondern aueh der Natur der Saehe entspricht, zeigt sieh deutlieh in solehen Fällen, wo eine Wandriehtung anfangs nur dureh einzelne Wände (durch Bruehstücke) vertreten ist und später durch andere gleichsinnig laufende weiter geführt wird. So sind z. B. die in Fig. 3, Taf. III stark ausgezogenen Linien *AA* Bruehstücke antieliner Wände, die später dureh die mit *aa* bezeiehneten ergänzt werden. Es leuehtet ein, dass diese Ergänzung aueh ausbleiben könnte und dass dann eine Wandriehtung nur bruehstückweise durch Zellwände vertreten ist; ein häufig vorkommender Fall, der zur Charakteristik gewisser Zellhautnetze wesentlieh beiträgt.

Eine zweite Vorbemerkung betrifft die sogenannten Breehungen der Zellwände, dureh welehe die Regelmässigkeit der Sehiehtung und Reihenbildung um so mehr beeinträehtigt wird, je stärker sie hervortritt. Im

Allgemeinen sind die Brechungen dicht am Scheitel bei kleinzelligen Vegetationspunkten, sowie im Urmeristem junger Embryonen und rundlicher Organe überhaupt, auch oft in scheibenförmigen Gebilden so gering, dass sie den wahren Sachverhalt kaum verdecken. Mit zunehmendem Alter und steigender Grösse der einzelnen Zellen nehmen die Brechungen gewöhnlich zu und stören das Bild der ursprünglichen Anordnung. Soweit mir die noch weiter zu untersuchende Thatsache bekannt ist, scheinen die Brechungen ursprünglich dadurch zu entstehen, dass je zwei Wände, welche einer Richtung angehören (z. B. *A* und *a* in Fig. 3, Taf. III) und eine Wand von anderer Richtung schneiden, hier nicht ganz genau aufeinander treffen, so dass zwischen den beiden Ansatzstellen (*A*, *a*) ein anfänglich sehr kleines Stück der anderen Wandrichtung eingeschaltet ist. Mit zunehmendem Wachsthum und Turgor wird dieses anfangs oft kaum bemerkbare Stück grösser und zugleich kniekt die Wand an den Ansatzstellen der beiden anderen ein, so dass aus nebeneinander liegenden viereckigen Zelldurchschnitten sechseckige werden. Im Gegensatz zu diesem Verhalten kommt bei den inneren Wänden der zwei- oder dreireihig geordneten Segmente von Scheitelzellen der Fall vor, dass die anfangs unter kleineren Winkeln aufeinander treffenden »Wände oder Wandstücke« später sich so verändern, dass sie mehr und mehr in eine Flucht zu liegen kommen, wie z. B. die zwischen *S* und *x* liegenden Wandstücke in Fig. 3, Taf. III erkennen lassen (vergl. Nägeli und Leitgeb: Entstehung und Wachsthum der Wurzeln, Taf. XI). Für die mechanische Theorie des Wachsthums haben diese Wandbrechungen und ihre Ausgleichung gewiss mehr Bedeutung als ihnen bisher zuerkannt wurde; hier aber kann diese nicht weiter erörtert werden, vielmehr wurde ihrer nur erwähnt, weil sie das Bild des Zellnetzes oft stören, ja die wahre Beschaffenheit unkenntlich machen können. Hierbei ist aber auch hervorzuheben, dass manche Beobachter willkürlich oder unbewusst stärkere Wandbrechungen in ihren Bildern anbringen, als die Objecte selbst darbieten.

Um ein richtiges, gewissermassen ideal vollkommenes Gesammtbild des Zellnetzes im Urmeristeme zu gewinnen, thut man offenbar am besten, schwache Wandbrechungen einstweilen gar nicht zu beachten, oder solche Objecte, wo sie dominiren, auf sich beruhen zu lassen, wozu man unzweifelhaft berechtigt ist, weil in vielen Fällen nachweislich das ursprünglich regelmässige Bild des Zellhautnetzes erst nachträglich durch Wandbrechungen gestört wird. Wir befinden uns hier in einer ähnlichen Lage wie die Astronomie, wenn sie die Bahn der Planeten elliptisch nennt, was sie doch nur insofern ist, als man von den Störungen durch andere Weltkörper absieht. Ohne ein derartiges Absehen von Nebendingen, oder was dasselbe besagt, ohne dieses Schematisiren, würde überhaupt keine Theorie, keine Aufstellung eines Naturgesetzes möglich sein. Zudem kann ich mich in unserem Falle darauf berufen, dass die Mehrzahl der Beobachter von

Vegetationspunkten und jüngsten Pflanzentheilen längst gewöhnt ist, in diesem Sinne zu schematisiren. Indem man hierbei jedoch nicht von einem Princip ausgeht und der Phantasie zu freien Spielraum lässt, enthalten die Schemata zuweilen Unrichtiges. Ich habe bei der wiederholten, sorgfältigen Durchsicht aller einschlägigen Abhandlungen gefunden, dass meine schematischen Figuren, welche von einem bestimmten Princip ausgehen, den naturgetreuen Bildern der Autoren auch da entsprechen, wo die Schemata derselben Autoren ganz anders aussehen. Ich sehe darin einen weiteren Beweis für die Richtigkeit meiner Schematisirung und des ihr zu Grunde liegenden Princips der rechtwinkeligen Schneidung der Wandrichtungen.

Eine weitere Vorbemerkung ist für das Verständniss nicht nur dieses, sondern auch des folgenden Paragraphen sehr wichtig. Es ist zunächst ersichtlich, dass, wenn die Figuren auf unserer Taf. III, IV sich auf solche Pflanzenorgane bezögen, welche nur aus einer einzigen dünnen Zellschicht bestehen, die Linien ohne Weiteres die Wände und Wandrichtungen darstellen; dies ist auch dann der Fall, wenn man sich denkt, jede dieser Figuren beziehe sich auf ein Organ, welches aus mehreren über einander liegenden Zellschichten derselben Beschaffenheit besteht und bei einer gewissen Dicke von einer ebenen Ober- und Unterfläche begrenzt wird. — Nun aber sollen die Bilder nicht nur diesen Fällen entsprechen, sondern sie stellen auch Längsschnitte von Organen dar, welche einen kreisförmigen oder elliptischen oder sonst wie geformten Querschnitt besitzen. In solchen Fällen könnten die Wände, deren Bilder auf einem Längsdurchschnitt einer unserer Figuren entsprechen, auf einem anderen Längsschnitt ein ganz anderes Bild darbieten. Es ist z. B. leicht, sich einen Vegetationspunkt zu denken, der in dem einen Längsschnitt ein Bild wie Fig. 2, Taf. III darbietet, in dem darauf senkrechten Längsschnitt aber ein der Fig. 3 ähnliches oder gar ein der Fig. 10 nahekommendes [1]. Mit einem Wort, die auf einem Durchschnitt erscheinenden Linien geben durchaus noch kein Bild der wahren Form der Zellen und Zellwandflächen; man könnte aber geneigt sein, zu verlangen, dass gerade diese, d. h. die wahre stereometrische Form der Zellen und die wahre Gestalt der Wandflächen der Betrachtung zu Grunde gelegt werde. Es werden sich einzelne Fälle finden, wo dies nöthig ist. Für meinen Zweck ist es aber unnöthig, eben weil es sich nur um die Wandrichtungen und dann um die Winkel handelt, unter denen sie sich schneiden. Gesetzt auch, man hätte sich durch langes Studium und durch Modelle ein ganz klares Bild von den stereometrischen Verhältnissen eines Meristemkörpers gemacht, so würden wir doch, wenn es sich um die Wandrichtungen handelte,

1) Diese Figuren sind nicht für diesen Theil des Textes gezeichnet, daher nicht alle Linien einander entsprechen.

uns das Ganze der Länge und Quere nach durchschnitten denken oder das Modell wirklich zerschneiden müssen, da wir eben nur auf diese Art eine Vorstellung von dem gesuchten Verhältnisse gewinnen. Damit die auf den Schnittflächen sichtbaren Liniennetze dies leisten, müssen die Schnitte allerdings, der Symmetrie der Pflanze entsprechend, richtig geführt sein: der Querschnitt muss die gerade oder gekrümmte Wachsthums-(Symmetrie-) Axe rechtwinkelig schneiden und die Längsschnitte müssen mediane, d. h. solche sein, welche die Axe in sich aufnehmen. Unter dieser Voraussetzung wird die rechtwinkelige Schneidung der Zellwände factisch vorhanden sein, wenn die Durchschnittslinien der Zellwände so beschaffen sind, dass die Tangenten ihrer Kreuzungspunkte einander rechtwinkelig schneiden. Trifft dies für jeden richtig geführten Schnitt zu, so schneiden sich die Wände überhaupt rechtwinkelig und es ist dabei ganz gleichgültig, ob man auf verschiedenen Schnitten ähnliche oder verschiedene Liniennetze sieht.

Es ist also kein Fehler oder Mangel, wenn ich im Folgenden die Wandrichtungen und ihre Winkel einfach an Längs- und Querschnitten behandle. Eine Zellwand kann jede beliebige Form haben; wenn es aber darauf ankommt, den Winkel zu bestimmen, unter dem sie eine andere Wand schneidet, wird es immer hinreichen, dieses Verhalten auf geeigneten Schnittflächen durch beide zu prüfen, denn die hier verfolgte Aufgabe ist zunächst gar nicht die, ein anschauliches stereometrisches Bild des Urmeristems zu liefern, sondern nur die Divergenz zweier Wände an einem beliebigen Punkt ihrer Durchschnittslinie zu bestimmen. Und nun zur Erklärung der neuen Bezeichnungen.

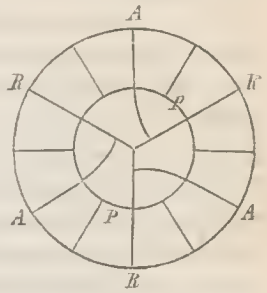
1. Pericline Wandrichtungen sind diejenigen, welche in gleichem Sinne wie die Oberfläche des Organes gekrümmt sind; sie sind in den idealen Figuren unserer Tafeln III, IV mit *P* und *p* bezeichnet, je nachdem sie als primäre oder secundäre Wände auftreten. Am Scheitel des Vegetationspunktes laufen die perielinen Wände quer zur Wachsthumsaxe, weiter abwärts schief; wo der Vegetationspunkt in den cylindrischen oder prismatischen älteren Theil des Organs übergeht, werden sie parallel zur Axe und sind dann das, was man bisher tangentiale Längswände nannte (vergl. Fig. 1, 2, 3, 5, 6, 7, 8, 11 *P* und *p*).

2. Anticline Wandrichtungen sind solche, deren Krümmungen derjenigen der Oberfläche des Organs, sowie auch den periclinen Richtungen entgegengesetzt sind, indem sie diese, wie unten gezeigt wird, rechtwinkelig schneiden, also ein System oder eine Schaar orthogonaler Trajectorien für jene darstellen; sie sind in den Figuren überall mit *A* und *a* bezeichnet, je nachdem sie primär oder secundär auftreten. Fig. 1, 2, 5, 7, 8, 11 zeigen, dass die Schenkel der Anticlinen dicht am Scheitel des Vegetationspunktes der Längsaxe *xx* fast parallel verlaufen, also wie Längswände aussehen, während ihre stärkst gekrümmten Theile

die Axe quer schneiden. Je weiter entfernt vom Scheitel des Vegetationspunktes, desto flacher wird ihre Krümmung und desto mehr nehmen sie in ihrer ganzen Ausdehnung den Charakter von Querwänden an.

Nach dem in den Vorbemerkungen Gesagten versteht es sich von selbst, dass eine und dieselbe Zellwand im Längsschnitt als pericline, im Querschnitt als antieline auftreten kann; vergl. z. B. den Querschnitt des Stammvegetationspunktes von Salvinia weiter unten; ebenso sind die sogenannten Sextantenwände (Holzschnitt 1) von Vegetationskegeln mit dreireihiger Segmentirung auf dem Querschnitt antielin, auf dem Längsschnitt wenigstens theilweise periclin.

Fig. 1.




Ist der Längs- oder Querschnitt eines Meristemkörpers ein Kreis oder eine Ellipse oder diesen Formen ähnlich, so können die Anticlinen in der Nähe des Umfangs wie gerade radiale Wände aussehen (Fig. 7 Taf. IV), während sie, weiter nach innen verfolgt, sich als gekrümmte Wände leicht erkennen lassen.

3. Radiale Wände (*R* und *r* Holzschnitt 1) sind solche ebene Wände, welche die Wachsthumsaxe in sich aufnehmen und die Oberfläche des Organs rechtwinkelig schneiden; es sind also bei Vegetationspunkten immer Längswände, die nur auf dem Querschnitt sämmtlich zu sehen sind. Es ist aber zu beachten, dass auch kugelige Organe eine Wachsthumsaxe haben können und dass bei frei wachsenden Scheiben (Coleochaete scutata) die Axe senkrecht auf der Scheibenfläche steht. — Der Definition entsprechend gibt es überhaupt nur wenige Radialwände; die meisten so genannten sind nur die äusseren Fortsetzungen antieliner Richtungen, wie z. B. Fig. 7 Taf. IV zeigt; es ist dies eine Folge des Princips der rechtwinkeligen Schneidung, wonach im Mittelpunkt eines Querschnittes oder einer freien Scheibe überhaupt höchstens vier Radiale zusammentreffen können, und die rein geometrische Betrachtung führt sogar zu der Folgerung, dass diese radialen Wände als Grenzfälle antieliner Richtungen betrachtet werden können.

4. Transversale oder Querwände (*T* und *t*) nenne ich endlich solche ebene Wände oder gerade Wandrichtungen, welche die Wachsthumsaxe und die Oberfläche des Organs gleichzeitig rechtwinkelig schneiden. Derartige Wände können nur in cylindrischen oder prismatischen Organen auftreten und sie würden sich, wenn diese nach einer Richtung hin sich zuspitzen, als Antielinen zu erkennen geben. Die Aufstellung dieser Benennung könnte daher ganz unterbleiben, da sie nur einen Grenzfall der antielinen Richtungen bezeichnet. Ich nehme sie aber doch mit auf, weil es geschraubt und sonderbar klingen würde, die Querwände eines Spirogyrafadens u. dergl. als Antielinen zu bezeichnen.

## § 2. Construction von Zellwandnetzen mit rechtwinkeliger Schneidung in Vegetationspunkten.

Ob ebene Zellwände oder, im Durchschnitt betrachtet, gerade Linien einander rechtwinkelig oder schief schneiden, ist eine Frage, welche mit einem hohen Grade von Genauigkeit durch das Augenmaass entschieden werden kann. Wo es sich um die Winkel handelt, welche eine gerade Wand mit einer kreisförmigen oder elliptischen Wand bildet, da würde zwar das Augenmaass nicht mehr entscheiden, aber im Allgemeinen zeigt dann eine einfache geometrische Ueberlegung, ob die Winkel rechte oder schiefe sein müssen. Auf diese Art überzeugt man sich leicht, dass die successiven Zweitheilungen in Fadenalgen durch Wände erfolgen, welche die Oberflächenwand des Fadens rechtwinkelig schneiden. Ebenso ist leicht und mit Sicherheit zu erkennen, dass die successiven Theilungsrichtungen der Zellgenerationen von Chroococcus, Merismopoedia, Synechococcus, Tetraspora, Gloeocapsa und vieler anderen einzelligen Algen (vergl. Nägeli »Gattungen einzell. Algen«) einander rechtwinkelig kreuzen; selbst bei den gekrümmten Closterien ist kein Zweifel, dass die Theilung rechtwinkelig auf den beiden gekrümmten Seitenlinien steht. Wo Sporen- und Pollenbildung durch successive Zweitheilung der Mutterzelle eingeleitet wird, ist ebenfalls die rechtwinkelige Schneidung ausnahmslos vorhanden, und wie die oben erwähnten Algenfäden verhalten sich die gegliederten Fadenhaare unzähliger Pflanzen.

Man darf wohl überhaupt sagen, dass in fast allen Fällen [1], wo das Augenmaass oder eine fast unwillkürliche Ueberlegung im Stande ist, über recht- oder schiefwinkelige Schneidung zu entscheiden, die erstere stattfindet. Man ist nun gewiss berechtigt, von diesen ungemein zahlreichen Fällen ausgehend, den Analogieschluss zu ziehen, dass auch innerhalb der eigentlichen Gewebemassen mit Zellfächerung (in Vegetationspunkten, Embryonen und jüngsten Organen überhaupt) dasselbe stattfinden werde, und in der That sind auch hier die Fälle ungemein zahlreich, wo dies nicht zweifelhaft sein kann. Die rechtwinkelige Schneidung ist unzweifelhaft in all' den Fällen, wo Eizellen nach der Befruchtung zunächst in Quadranten und Octanten zerfallen, wo keimende Sporen ihre ersten Theilungen erfahren, die durch »freie Bildung« entstandenen Endospermzellen sich durch Theilung vermehren; dagegen hört diese Gewissheit sofort auf, wenn wir uns fragen, unter was für Winkeln sich die späteren Wände in jungen Embryonen schneiden oder wenn wir gar das Zellnetz im Längsschnitt irgend eines Vegetationspunktes von complicir-

[1] Von Ausnahmen wären z. B. die schiefen Segmentwände im Protonema der Laubmoose und vielleicht auch die Theilungen von Scenodesmosformen zu nennen, doch bleibt weitere Aufklärung darüber zu erwarten.

terem Bau betrachten. Hier sehen wir überall gekrümmte Periclinen und Anticlinen einander kreuzen; die wahre Form der Krümmungen, die noch dazu in jeder Schicht und Reihe wechseln, ist unbekannt; das Augenmaass oder eine einfache Ueberlegung sind meist unfähig, zu bestimmen, ob die Winkel an den Kreuzungen der Anticlinen und Periclinen schiefe oder rechte sind. Diese Entscheidung kann nur durch sorgfältige Ueberlegungen erfolgen und bietet auch dann statt voller Gewissheit nur Wahrscheinlichkeit.

Um in dieser Richtung einen ersten Schritt zu thun, ist zunächst zu beachten, dass von einer auf Messungen basirten Bestimmung der wahren Krümmungsformen der Anti- und Periclinen kaum die Rede sein kann, wenn es sich nicht gerade um Kreise handelt; und selbst wenn solche Messungen möglich wären, müssten sie an einzelnen Objecten hundertfältig wiederholt werden, da die Zahl der Anti- und Periclinen eine meist sehr beträchtliche ist. Ich glaube auf diese Entscheidungsart unserer Frage wird jeder mit der Sache Vertraute gern verzichten.

Ich habe daher einen ganz anderen Weg eingeschlagen. Wenn es gelingt, aus Anticlinen und Periclinen von bekannter Krümmung und mit der Eigenschaft, einander rechtwinkelig zu schneiden, Bilder zu construiren, welche den verschiedenen Durchschnitten von Vegetationspunkten und anderen jüngsten Pflanzentheilen in allen wesentlichen Verhältnissen ähnlich sind, so wird daraus mit sehr grosser Wahrscheinlichkeit folgen, dass auch die Objecte selbst ihren Gesammtcharakter dem Umstand verdanken, dass ihre Anti- und Periclinen einander rechtwinkelig schneiden, oder dass die einen die orthogonalen Trajectorien der andern sind.

Das einzuschlagende Verfahren zur Construction solcher Bilder lässt sich zum Theil aus dem Anblick der Durchschnitte vieler Vegetationspunkte ableiten. Sehr häufig haben die medianen Längsschnitte derselben parabelähnliche Umrisse und auch die Periclinen machen den Eindruck von Parabeln. In selteneren Fällen erscheint die Wölbung des Vegetationspunktes im Längsschnitt wohl halb elliptisch oder halb kreisförmig. Querschnitte von Vegetationspunkten sind entweder kreisrund oder ellipsenähnlich, und ebenso ist es bei Durchschnitten von Embryonen, Haarköpfchen u. s. w. und bei frei wachsenden Scheiben. Ob diese Umrissformen im mathematischen Sinne echte Parabeln, echte Kreise, Ellipsen sind, kann direct nicht entschieden werden. Es ist jedoch erlaubt, probeweise anzunehmen, dies sei wenigstens in gewissen Fällen so, und diese Annahme bietet den grossen Vortheil, dass man es mit krummen Linien von sehr bekannter Natur, mit den Kegelschnitten zu thun hat. Es kam also jetzt die Frage auf Folgendes hinaus: wenn man einräumt, dass die Umrisse eines Meristemkörpers und seine Periclinen irgend einer Form von Kegelschnitten entsprechen; wie müssen dann die Anticlinen beschaffen sein, damit sie jene rechtwinkelig schneiden? Diese Auf-

gabe kann selbst mit sehr geringen geometrischen Kenntnissen, wie es die meinigen sind, gelöst werden, man bekommt durch ihre Lösung geometrisch construirte Liniensysteme, welche bei überall rechtwinkeliger Schneidung vielen bekannten Zellnetzen so ähnlich gemacht werden können, dass kaum noch nennenswerthe Unterschiede übrig bleiben. Man kann dann einen Schritt weiter gehen: die aus Kegelschnitten construirten Copien wirklicher Zellhautnetze bieten vielfach äusserst charakteristische Bilder dar, die man sich leicht einprägen kann, und es zeigt sich dann, dass man sehr häufig Zellwandnetzen begegnet, welche offenbar jene Charaktere mit mehr oder minder grossen Abweichungen ebenfalls darbieten. Es leuchtet ein, dass ein aus Parabeln oder ein aus Ellipsen und Hyperbeln construirtes Schema auch solchen Zellnetzen ähnlich sehen muss, denen nicht eigentlich Parabeln, sondern nur parabelähnliche Linien, oder solche, denen nicht echte Ellipsen und Hyperbeln, sondern andere jenen ähnlich gekrümmte Linien zu Grunde liegen, und da die aus genau bekannten Linien construirten Bilder überall rechtwinkelige Schneidung haben, so darf man mit Wahrscheinlichkeit annehmen, dass jene anderen dieselbe Eigenschaft ganz oder doch nahezu haben werden. — Auf diese Weise wurde mir erst klar, warum gewisse ganz eigenthümliche Krümmungen und Anordnungen von Zellwänden immer und immer wiederkehren, auch wo es sich um Organe von der verschiedensten morphologischen Bedeutung handelt.

Im Grunde läuft mein Verfahren auf ganz ähnliche Schlussfolgerungen hinaus, wie die bei der mechanischen Deutung der zelligen Knochensubstanz im Hals des menschlichen Oberschenkels [1]), deren Anordnung ein Bild darbietet, welches die grösste Aehnlichkeit mit dem Verlauf der Druck- und Zuglinien eines belasteten Krahns besitzt. Auch in diesem Fall handelt es sich darum, aus dem Gesammtbild der mathematischen Linien einerseits und dem Gesammtbild der Knochensubstanz andrerseits, die Uebereinstimmung des Princips beider zu folgern; da wirkliche Messungen der wahren Krümmungen an den Knochenbälkchen ebensowenig thunlich sind, wie an den Anti- und Perilinen der Vegetationspunkte. Auf ganz derselben logischen Operation beruhen Schwendener's Anwendungen der mechanischen Principien auf die Deutung der Querschnittsbilder von Monocotylenstengeln [2]).

Die Figuren auf Taf. III und IV (mit Ausnahme von Fig. 8) sind nun sämmtlich aus Parabeln, Ellipsen, Hyperbeln so construirt, dass sich sämmtliche Antilinen jedesmal mit sämmtlichen Perilinen rechtwinkelig schneiden. Man kann auf diese Art unzählige verschiedene Bilder her-

---

1) J. Wolf: Ueber die innere Architektur der Knochen, in Virchow's Archiv B. 50.

2) Schwendener: Das mechanische Princip im anat. Bau der Monocotyl. Leipzig 1874.

stellen. Die hier gegebenen sind jedoch den bekannten guten Abbildungen nachgebildet, durch geeignete Wahl der Entfernungen der Linien unter sich, durch Auslassung einzelner Bruchstücke, durch die Lage der Axen u. s. w. Es sind also gewissermassen Copien, die nur betreffs der rechtwinkeligen Schneidung unabhängig von den Originalen gewonnen, ihnen aber auch darin ähnlich sind. Ich habe übrigens nicht gerade vollständige Copirung angestrebt, sondern meine Figuren so gehalten, dass sie als Typen für je eine Anzahl verschiedener Fälle gelten können. Dennoch wird man in Fig. 1 leicht das Schema eines kleinzelligen Vegetationskegels einer phanerogamenen Pflanze wiedererkennen; es leuchtet ein, dass man ihn nach Belieben schlank oder breit machen kann [1]. Ebenso könnte Fig. 2 einem Thallusende von Dictyota (nach Nägeli) oder dem Verticalschnitt durch den Thallus von Metzgeria furcata entsprechen, während Fig. 10 dem Horizontalschnitt der letzteren entspricht [2]. In unserer Fig. 3 wird man leicht die Aehnlichkeit mit dem medianen Längsschnitt eines Equisetumscheitels [3] wieder erkennen, sie würde aber auch in der Hauptsache dem einer Selaginella mit zweireihiger Segmentirung entsprechen [4]; es ist absichtlich keine Rücksicht darauf genommen, ob ein Segment zuerst durch Anticlinen oder zuerst durch Periclinen weiter getheilt wird u. dgl. — Fig. 4 kann als Schema kreisförmiger Scheiben (Colcochaete scutata, Melobesia u. s. w.), aber auch zugleich für rundliche Blattlappen von Farnen, ebenso für Querschnitte cylindrischer oder conischer Organe dienen. In Fig. 5 und 6 sind Fälle von eingesenkten Vegetationspunkten dargestellt; Fig. 5 kann als Schema für ältere Prothallien von Polypodiaceen dienen; Fig. 6 ist dem Längsschnitt durch den Scheitel von Fucus vesiculosus (rechtwinkelig zur Scheitelzellreihe) nachgebildet [5]. Unsere Fig. 7 kann als medianer Längsschnitt eines Vegetationspunktes mit elliptischer Wölbung und hyperbolischen Anticlinen gelten, wie solche zuweilen an Wurzeln vorzukommen scheinen [6]. Vielleicht entspricht unsere Fig. 9 dem Zellnetz in jungen Sphagnumblättern nach Nägeli's Darstellung [7]. Dass Fig. 11 und 12 häufig vorkommenden Längsschnitten durch Wurzelenden mit und ohne Scheitelzellen entsprechen, wird sofort ersichtlich sein.

Weitere Beispiele, wo die Aehnlichkeit zwischen den Originalbildern

---

1) Man vergl. hiermit z. B. Hanstein, Die Scheitelzellgruppe in Veget.-P. der Phan. Taf. III, und Warming, Recherches sur la ramific. des Phan. Taf. IX, Fig. 2, 4, 13.

2) Vergl. Pringsh. Jahrb. IV, Taf. V.

3) Cramer: Die pflanzenphysiol. Unters. v. Nägeli u. Cramer Heft 3, Taf. 23.

4) Pfeffer in Hanstein's bot. Abh. Heft 3 u. Treub, Recherch. s. les org. de la végét. du Selaginella 1877 T. I, 9, 19.

5) Rostafinski, Beiträge zur Kenntniss der Tange Heft 1, T. I, 9.

6) Strasburger: die Coniferen u. Gnet. Taf. 24 u. de Bary, Vergl. Anatomie p. 14.

7) Nägeli, Pflanzenphys. Unters. Heft I, Taf. IX, Fig. 1—6.

und den geometrisch construirten Copien mit rechtwinkeliger Schneidung noch viel deutlicher hervortritt, werden in § 3 folgen und wem die hier angezogene Literatur nicht zugänglich sein sollte, der wird hinreichende Beispiele zur Vergleichung mit unserer Tafel in meinem Lehrbuch finden.

Das Eigenthümliche meiner schematischen Figuren liegt, wie erwähnt, darin, dass die Anticlinen die orthogonalen Trajectorien der Periclinen darstellen und dass sie, der leichten geometrischen Behandlung wegen, aus Kegelschnitten construirt sind.

Dieser Construction liegen nun folgende Sätze zu Grunde:

1. Ist der Umriss eines Vegetationspunktes eine Parabel (Taf. III und IV, Fig. 1, 2, 3, 5, 6) und sind auch seine sämmtlichen Periclinen Parabeln, so bilden sie mit dem Umriss selbst eine Schaar confocaler Parabeln von verschiedenem Parameter, deren gemeinsamer Focus in den Figuren durch den Durchschnittspunkt der Linien $xx$ und $yy$ angegeben ist, welche Linien die Richtung der Axe und des Parameters angeben. Sollen die Anticlinen die orthogonalen Trajectorien der Periclinen sein, so müssen in diesem Fall auch die Anticlinen eine Schaar confocaler Parabeln darstellen und zwar so, dass ihr gemeinsamer Focus und ihre Axe mit dem Focus und der Axe der Periclinen zusammenfallen; die Linien $xx$ und $yy$ sind also zugleich Axe und Parameterrichtung der Anticlinen.

2. Ist der Umriss eines Vegetationspunktes eine Hyperbel[1]), und sind auch sämmtliche Periclinen confocale Hyperbeln mit derselben Axenrichtung und von verschiedenem Parameter, so sind die Anticlinen die orthogonalen Trajectorien der Periclinen, wenn sie eine Schaar confocaler Ellipsen darstellen, welche den Focus und die Axenrichtung mit jenen gemein haben.

3. Ist der Umriss eines Vegetationspunktes (oder einer Meristemscheibe) eine Ellipse, und sind auch sämmtliche Periclinen confocale Ellipsen, die nach innen hin immer gedehnter werden, so sind die Anticlinen orthogonale Trajectorien der Periclinen, wenn sie eine Schaar confocaler Hyperbeln darstellen, welche die Brennpunkte der confocalen Ellipsen umlaufen und die Axenrichtung mit jenen gemein haben. Unsere Fig. 7, Taf. IV stellt diesen Fall dar, doch so, dass der Vegetationspunkt von einer halben Ellipse begrenzt wird, deren grosse Axe durch $xx$, deren Parameter durch $yy$ dargestellt ist. Der Durchschnittspunkt beider ist der eine Brennpunkt der Ellipse, also zugleich der der Periclinen und der der anticlinen Hyperbeln[2]).

Die drei Sätze würden sich in einen zusammenziehen lassen, da 3 nur die Umkehrung von 2 und der Satz 1 nur der Grenzfall von 2 und 3 ist.

---

1) Da die entsprechenden Constructionen Bilder liefern, welche von den parabolischen nicht auffallend verschieden sind, so habe ich für diesen Fall keine Figuren beigefügt.

2) Vergl. Schloemilch: Uebungsbuch zum Studium der höheren Analysis II, p. 299.

Da der Kreis als eine Ellipse mit unendlich kleiner Excentricität (Entfernung der Brennpunkte) betrachtet werden kann, so können die Radien des Kreises als Hyperbeln von unendlich kleinem Parameter gelten. Ebenso kann die kleine Axe einer Ellipse als eine gerade gestreckte Hyperbel gelten, welche den Grenzfall zwischen den beiden, die Brennpunkte der Ellipse umlaufenden Hyperbelscharen darstellt; übrigens ergiebt dies schon die Betrachtung von Fig. 7. Diese Betrachtungen können gelegentlich zur Deutung von Zellhautnetzen benutzt werden. Käme z. B. der Fall vor, dass der Scheitel eines Vegetationspunktes von einer geraden Linie begrenzt wäre, statt gradliniger Zellreihen aber elliptische Anticlinen und hyperbolische Periclinen besässe, so würde sich die Deutung ohne Weiteres aus dem Gesagten ergeben. Um sich diesen Fall zu veranschaulichen, drehe man Taf. III, IV so um, dass die Wölbung von Fig. 7 abwärts gekehrt ist und dass die kleine Axe der Ellipse die nach oben gekehrte Scheitelfläche darstellt. Es würde derartiges wohl eintreten können, wenn ein anfangs hyperbolischer Vegetationspunkt immer flacher wird.

Die Herstellung der schematischen Zellhautnetze mit rechtwinkeliger Schneidung kann nun leicht in folgender Art bewerkstelligt werden. Man zeichnet auf steifen Carton eine grössere Anzahl von Parabeln, Hyperbeln und Ellipsen von verschiedenem Parameter, bezeichnet die Axen und Parameter, und schneidet die Figuren sorgfältig aus. Nachdem man ferner auf dem Papier, welches das Zellenschema aufnehmen soll, zwei rechtwinkelig gekreuzte gerade Linien gezogen hat, welche der Axe und dem Parameter der confocalen Curven entsprechen, während ihr Kreuzungspunkt den gemeinsamen Focus bildet, legt man die Cartonmodelle so auf, dass die Axen und Parameter mit denen des herzustellenden Bildes sich decken, und umfährt die Modelle mit der Bleistiftspitze. Die Entfernungen der Periclinen und Anticlinen unter sich können denen eines zu copirenden Zellhautnetzes nachgebildet werden, indem man Modelle von geeignetem Parameter benutzt.

Auf diese Art sind die Figuren auf Taf. III und IV mit Ausnahme von Fig. 4 und 8 hergestellt.

Die Voraussetzung für eine derartige Copirung oder Schematisirung von Zellhautnetzen ist die, dass die Periclinen und Anticlinen sich überhaupt als confocale Curven darstellen. Das ist nun aber keineswegs immer, wenn auch gewöhnlich der Fall. Sehr häufig sind Vegetationspunkte am Scheitel abgeflacht oder gar eingesenkt, wie Fig. 8, Taf. IV, so dass unsere Construction sie nicht mehr nachahmen kann. Dennoch zeigt der Verlauf der Anticlinen, soweit man im Stande ist, nach dem Augenmaass zu urtheilen, dass sie auch in diesen Fällen die Periclinen rechtwinkelig schneiden. Es kommt aber wohl auch vor, dass dies nicht geschieht; ist Letzteres der Fall, so glaube ich, dass nachträgliches Wachsthum die

ursprünglich orthogonal-trajectorische Anordnung gestört, Verschiebungen bewirkt hat, worauf ich weiter unten zurückkomme.

Von derartigen Fällen sind aber diejenigen zu unterscheiden, wo von einer confocalen Anordnung der Perielinen und Anticlinen überhaupt keine Rede sein kann, was aber keineswegs ausschliesst, dass sich dieselben rechtwinkelig schneiden. Die klarsten Beispiele für diesen Fall liefern die Wurzelhauben der Kryptogamen mit Scheitelzelle (wie Fig. 12, Taf. IV) und viele Wurzelhauben von Angiospermen (wie Fig. 11). Die einzelnen Kappen und Schichten derselben bilden, wie der Anblick der Objecte oder guter Bilder sofort zeigt, entschieden nicht confocale Curven und dem entsprechend sind auch die Anticlinen nichts weniger als confocal unter sich oder mit den Perielinen. Die Anticlinen erheben sich über den Scheitel des Wurzelkörpers gewissermassen wie die Strahlen eines Springbrunnens, ihre Convexitäten der Wachsthumsaxe und dem Scheitel zukehrend, während im confocal gebauten Wurzelkörper die Anticlinen gegen den Scheitel concav gekrümmt sind. Aehnliche Bilder, wie die meisten Wurzelhauben, bieten übrigens auch manche Vegetationspunkte von anderer Natur, so z. B. im jungen Ovulum und in männlichen Blüthenanlagen von Ephedra nach Strassburger's Abbildungen[1]).

In den bisher genannten und manchen anderen Fällen nicht confocalen Baues von Vegetationspunkten und Wurzelhauben machen die Perielinen gewöhnlich den Eindruck, als ob eine Parabel so hingeschoben worden wäre, dass ihre Axe immer mit der Längsaxe des Organs zusammenfällt, wonach sich dann der Verlauf der orthogonalen Anticlinen richtet. Um derartige Constructionen kurz bezeichnen zu können, will ich sie coaxiale, im Gegensatz zu den gewöhnlichen confocalen, nennen.

Die Herstellung genauer Bilder mit rechtwinkeliger Schneidung aller Wände ist in diesem Fall nicht so leicht, wie im vorigen, da die Zeichnung von Modellen für die orthogonalen Trajectionen sehr zeitraubend werden müsste. — Die Lösung der allgemeinen Aufgabe, die Trajectorien irgend einer Curve zu finden, wenn letztere in ihrer Ebene parallel einer gegebenen Richtung verschoben wird, findet sich bei Schlömilch: Uebungsbuch zum Studium der höheren Analysis II. p. 300.

Jedenfalls steht soviel fest, dass bei ganz gleichem Umriss der innere Bau confocale oder nicht confocale Linien zeigen kann. Schematisch veranschaulicht ist dies in Fig. 11 und 12, Taf. IV, wo die Kappen der Wurzelhaube genau mit demselben Parabelmodell gezeichnet sind, wie der Umriss des Wurzelkörpers, und die typische Aehnlichkeit dieser Bilder mit wirklich vorkommenden Wurzelspitzen wird Niemand leugnen.

Die Thatsache aber, dass Organe von gleichem Umriss confocale

1) Strassburger: Coniferen u. Gnetaceen Taf. XIV, Fig. 3 u. 4; Taf. XV, Fig. 45, 47.

und nicht confocale[1]) Constructionslinien zeigen können, während die rechtwinkelige Schneidung in beiden Fällen stattfindet, weist uns darauf hin, dass der Verlauf der Constructionslinien, ob sie nämlich confocal oder nicht confocal sind, auf einer Verschiedenheit der Vertheilung des Wachsthums im Inneren beruht; ist dies der Fall, so wird man aus dem Verlauf der Anti- und Periclinen auf die Vertheilung des Wachsthums im Inneren eines Vegetationspunktes oder sonstigen Meristemkörpers schliessen können, worauf ich in einem späteren § zurückkomme.

## § 3. Geschlossene Meristemflächen.

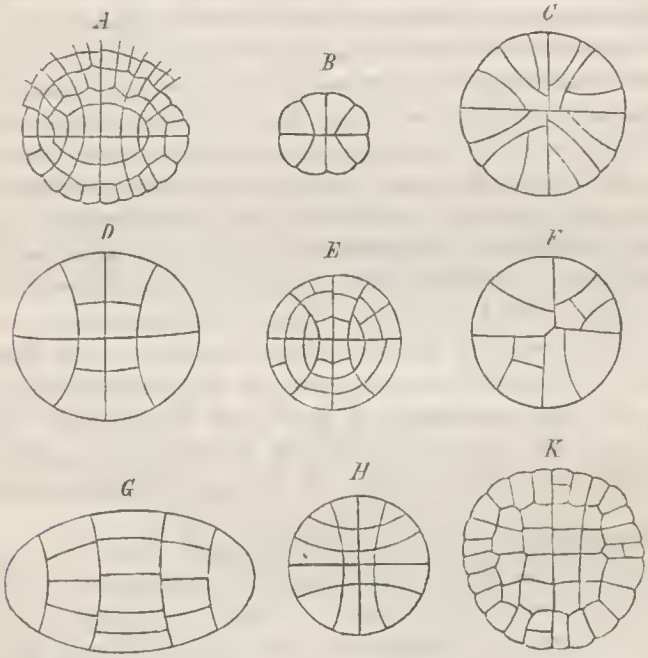
Die Längsschnitte der Vegetationspunkte sind nur nach vorn, am Scheitel und in dessen nächster Umgebung scharf begrenzt; nach hinten geht das Urmeristem so stetig in die sich differenzirenden Gewebe über, dass eine Grenze überhaupt nicht gezogen werden kann; der Meristemkörper eines Vegetationspunktes ist nach hinten gewissermassen offen oder nicht geschlossen. Im Gegensatz dazu will ich als geschlossene Meristemflächen alle diejenigen bezeichnen, welche allseitig begrenzt und ganz mit Meristem erfüllt oder doch am Umfang von Meristem gebildet sind. In diesem Sinne ist auch der Querschnitt eines kegelförmigen Vegetationspunktes eine geschlossene Meristemfläche; eine solche kann auch gebildet werden von frei wachsenden Gewebescheiben, wie Coleochaete scutata, oder von Längs- und Querschnitten junger Embryonen oder von Brutknospen, Haarköpfchen u. dergl. — Die Aufstellung dieses Begriffs mag für andere Zwecke überflüssig sein, für die hier anzustellenden Betrachtungen ist die Zusammenfassung so heterogener Dinge gerade deshalb von Interesse, weil sie trotz ihrer sonstigen Verschiedenheit ähnliche Zellhautnetze darbieten, die sich leicht auf ein einziges Schema zurückführen lassen.

Die Vergleichung der verschiedensten Objecte zeigt, dass es für das Zustandekommen des späteren Gesammtbildes gleichgiltig ist, ob die Meristemscheibe ursprünglich aus einer einzigen Zelle bestand oder ob sie ihre Entstehung selbst vorausgehenden Theilungen verdankt. So geht bekanntlich ein Querschnitt durch den Vegetationskegel von Salvinia und Azolla (Holzschnitt 2 *D E*) durch zwei Segmente der Scheitelzelle und zeigt in Folge dessen eine Wand, welche die Scheibe in zwei gleiche Hälften theilt; die weiteren Theilungen verlaufen aber genau so, als ob die Querscheibe ursprünglich einzellig und als ob die erste Wand eine

1) Bei nicht confocaler Construction scheint es häufig vorzukommen, dass die periclinen Wände nur spät und unvollkommen sich ausbilden (z. B. Auszweigungen junger Blätter von Marsilia); in solchen Fällen erkennt man den nicht confocalen (aber wahrscheinlich conaxialen) Bau sofort an den Krümmungen der Anticlinen, welche ihre Convexitäten der Wachsthumsaxe und dem Scheitel zukehren.

Halbirungswand der einzelligen Scheibe wäre. — Im Grunde ist es ebenso bei den Querschnitten durch Vegetationskegel mit dreireihiger Segmentirung, wie denen der Equiseten- und Farnwurzeln und bei Stammspitzen von Equisetum, wo der Querschnitt drei radiale Wände zeigt, welche ihn in drei gleiche Theile zerlegen (Holzschnitt p. 59); diese einander unter 120° schneidenden Radialwände sind bekanntlich eine Folge der dreireihigen Segmentirung der Scheitelzelle. Die Querscheibe war überhaupt niemals einzellig, sondern von vornherein dreitheilig. Die weiteren Theilungen in den drei Sectoren verlaufen nun aber gerade so, wie es unter diesen veränderten Umständen der rechtwinkeligen Schneidung entspricht, wie sofort einleuchtet, wenn man die Sextantenwände in Holzschnitt 1 mit den Octantenwänden in Holzschnitt 2 *A* bis *F* vergleicht.

Fig. 2.



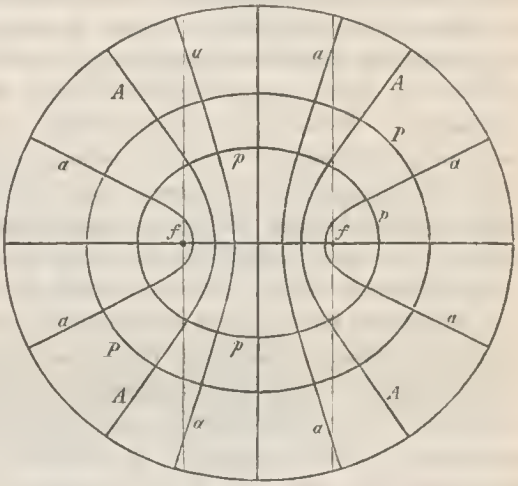

*A* Keimscheibe von Melobesia Lejolisii nach Rosanoff. *B C* Scheitelansicht des Haarköpfchens von Pinguicula vulgaris. *D* Querschnitt des Vegetationskegels von Salvinia nach Pringsheim. *E* Dasselbe von Azolla nach Strassburger. *F* Wurzelkappe von Equisetum nach Nägeli und Leitgeb. *G* Querschnitt eines Blattnerven von Trichomanes nach Prantl. *H K* Querschnitte durch verschieden alte Sporogonien von Andreaea nach Kühn.

Da, wie es scheint, die Mehrzahl der geschlossenen Meristemflächen elliptischen Umriss besitzt und die Behandlung dieses Falls sich durchsichtiger machen lässt, als die Schneidungen in kreisförmigen Scheiben, die selbst am besten auf den Grenzfall der Ellipse mit unendlich kleiner Excentrität zurückgeführt werden, so mag zunächst in Holzschnitt 3 das

Schema für die Anordnung des Zellhautnetzes in einer elliptischen Fläche vorgeführt werden. Es ist hierbei eine confocale Anordnung der Peri- und Anticlinen ins Auge gefasst, da, wie es scheint, disfocale Anordnungen in elliptischen Meristemflächen nicht vorkommen.

Der Forderung der rechtwinkeligen Schneidung wird nun dadurch Genüge gethan, dass die Ellipse durch zwei gerade radiale succedane Wände in Quadranten zerlegt wird, welche der kleinen und grossen Axe entsprechen und sich im Mittelpunkt schneiden. Indem wir es für unseren Zweck als ganz gleichgiltig betrachten, welche weiteren Wände nun zuerst auftreten und welche folgen, und nur die rechtwinkelige Schneidung im Auge behalten, versteht es sich von selbst, dass die nunmehr auftretenden Periclinen *P p* ebenfalls Ellipsen sein müssen, und weil sie die Brennpunkte mit der Umfangsellipse gemein haben, nach innen hin immer gestreckter werden müssen. Die Anticlinen (*A* und *a*), sie mögen früher oder später auftreten, müssen nach dem in § 2 Gesagten Hyperbeln sein, welche die beiden Brennpunkte der confocalen Ellipsen umlaufen, wenn rechtwinkelige Schneidung stattfinden soll. Die hyperbolischen Anticlinen sind nach der gemachten Voraussetzung die orthogonalen Trajectorien der elliptischen Periclinen und umgekehrt.

Fig. 3.




Beachtet man nun ferner, dass es ganz von der Natur der Pflanzenspecies abhängt, ob die einen Wände früher oder später auftreten, ob die Constructionslinien ganz oder nur bruchstückweise vertreten sind, was an der Gültigkeit unseres Schemas nichts ändert, so wird man die im Holzschnitt 2 dargestellten Zellhautnetze, zunächst *A*, *B*, *D*, *G* ohne jede Schwierigkeit auf unser Schema zurückführen können. Die Linien in den genannten Figuren verlaufen ebenso, wie sie dargestellt sind, weil die Umrisse Ellipsen sind, weil die Anordnung eine confocale ist und weil die Anti- und Periclinen einander rechtwinkelig schneiden. Wäre die rechtwinkelige Schneidung und Confocalität nicht die Grundbedingung für die Anordnung der Zellen, so wäre durchaus nicht einzusehen, warum so ganz verschiedene Gebilde von elliptischem Umriss, wie sie in Holzschnitt 2 dargestellt sind, und viele andere, gerade diese und keine andere Anord-

nung der Constructionslinien zeigen sollten. Um dies recht klar einzusehen, denke man sich nur in den genannten Figuren, ähnlich wie es in *A* ohnehin der Fall ist, die Periclinen zu vollständigen Ellipsen ergänzt. — Wie durchgreifend unserem Schema Genüge geleistet wird, zeigt auch der Umstand, dass Querschnitte sehr junger Gefässbündel, wenn sie elliptischen Umriss haben, die dem Holzschnitt 3 entsprechende Anordnung der Zellen zeigen; so ist es z. B. in sehr jungen Blättern von Zea Mais, und in Internodien von Clematisarten. Man sieht dergl. freilich erst dann, wenn man weiss, worauf es ankommt, wie in vielen anderen Fällen.

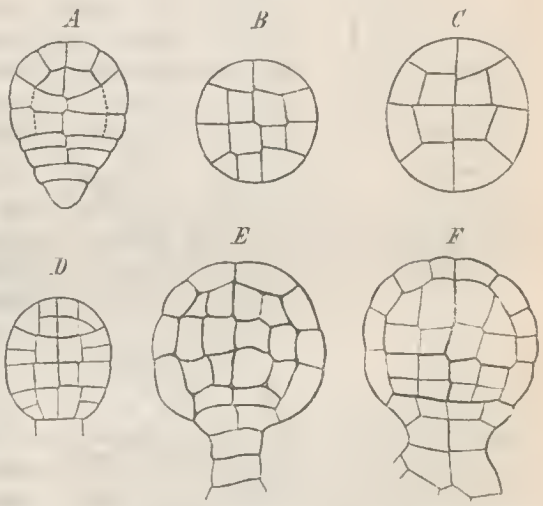
Man könnte nun vielleicht einwenden, dass die elliptische Form der Umrisse oft nur eine scheinbare, dass sie nur ein der Ellipse ähnliches Oval sei und dass demzufolge die Anticlinen auch nicht wirkliche Hyperbeln, sondern nur hyperbelähnliche Linien seien. Ich habe gegen diese Annahme nichts einzuwenden, wenn man nur zugiebt, dass die Anticlinen und Periclinen einander rechtwinkelig schneiden. Dass dies aber wirklich der Fall ist, wird, wie ich glaube, durch eine einfache Ueberlegung zur Gewissheit. Wenn die rechtwinkelige Schneidung nicht das Constructionsprincip wäre, wie ist es dann zu begreifen, dass den elliptischen oder ellipsenähnlichen Umrissen und Periclinen jederzeit hyperbolische oder hyperbelähnliche Anticlinen entsprechen? Warum sollten nicht bei Organen von ganz verschiedener morphologischer Natur Zellnetze der allerverschiedensten Form entstehen? Selbst die Unterscheidung in Periclinen und Anticlinen würde dann als sinnlos wegfallen; wenn diese einander nicht unter einem bestimmten Winkel schneiden müssen, was hindert sie dann, einander und die Umfangslinie in allen möglichen Winkeln zu schneiden, und Zellhautnetze jeder erdenklichen Form zu bilden? Von der jetzt als Erklärungsgrund so beliebten Erblichkeit kann doch wohl hier keine Rede sein, wo es sich um völlige Uebereinstimmung von Haarköpfchen und Embryonen, von Blattnerven und Thallusscheiben u. s. w. handelt.

Nun denken wir uns ferner, in unserem Schema Holzschnitt 3 verkürze sich die Excentricität der Ellipse mehr und mehr, diese runde sich mehr und mehr zum Kreise, bis endlich ihre beiden Brennpunkte in einen Punkt zusammenfallen und aus der Ellipse ein Kreis wird. Wird hiebei das Princip der rechtwinkeligen Schneidung beibehalten, so müssen die hyperbolischen Anticlinen schliesslich in gerade Linie übergehen, welche die Radien des Kreises darstellen. In einer kreisförmigen Meristemscheibe müssten also nicht nur die ersten einander rechtwinkelig kreuzenden Quadrantenwände, sondern auch die später auftretenden streng radiale sein, sämmtliche Wände müssten fächerartig vom Centrum aus gegen die Peripherie verlaufen. Man bemerkt nun, dass dies dem Princip der rechtwinkeligen Schneidung durchaus zuwider wäre, die radialen Wände würden wohl auf dem kreisförmigen Umfang rechtwinkelig sein,

aber im Centrum sehr spitze Winkel bilden. Das kommt nun in der That nicht vor und wird in der Pflanze dadurch vermieden, dass, wie Holzschnitt 2 *C*, *F*, *H* zeigt, die Wände, welche nach den Quadrantenwänden entstehen, sich nicht im Mittelpunkt, sondern vorher an die Quadrantenwände selbst mit der entsprechenden Biegung ansetzen. Hierbei ist nun noch eine Verschiedenheit der Kreisscheibe von der elliptischen zu bemerken. Die letztere weist, wie Fig. *A*, *B*, *D*, *G* (Holzschnitt 2) zeigt, nur zwei Systeme von Anticlinen auf, welche die grosse Axe schneiden und den beiden Brennpunkten in dieser entsprechen. In der Kreisscheibe dagegen kommen vier Systeme von Anticlinen zum Vorschein (*C*, *H*), entsprechend den vier gleichen Armen des Kreuzes, welches die Quadrantenwände bilden, und in jedem Octanten können dann wie in *C* noch Anticlinen einer höheren Ordnung auftreten, welche sich an die der ersten ansetzen.

Geschlossene Meristemflächen brauchen indessen nicht immer elliptisch oder kreisförmig zu sein; sie können auch polarisirte Figuren bilden, d. h. der Umriss kann an dem einen Ende eine andere Form haben als am anderen, wie der Längsschnitt der Moosfrucht Holzschnitt 4 *A*. Ist in diesem Falle das eine Ende des Längsschnittes elliptisch geformt, so erblickt man auch die entsprechenden hyperbolischen Anticlinen. Das verjüngte Ende der Figur, gewissermassen den Stiel bildend, zeigt anders geformte Anticlinen, die aber, so weit das Augenmaass entscheidet, wohl als solche zu betrachten sind, welche die Umfangscurve rechtwinkelig schneiden. Die zahlreichen von Leitgeb und Kienitz-Gerloff gegebenen Abbildungen von Längsschnitten verschiedener Moosfrüchte bieten die mannichfaltigsten Beispiele verschiedener Umfangscurven und der ihnen entsprechenden Anticlinen.

Fig. 4.

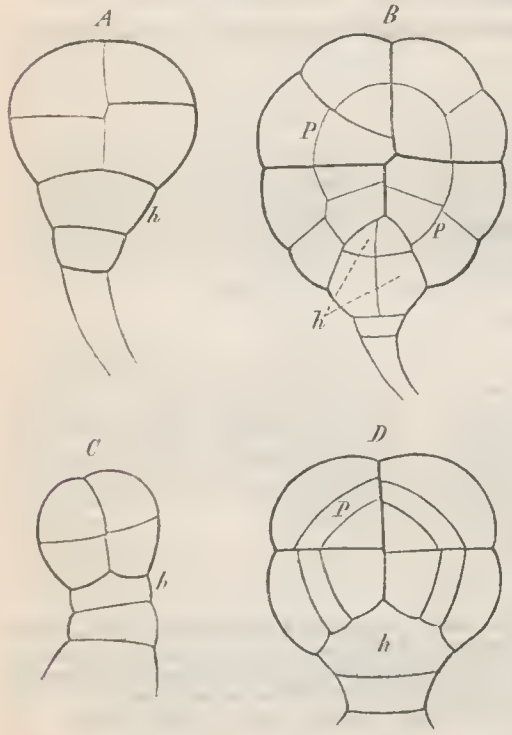



*A* Längsschnitt, *B* Querschnitt des Embryos von Lejeunia calcarea nach Leitgeb. *C* Getheilte Centralzelle des Antheridiums von Cyathea medullaris nach Bauke. *D* Junge Brutknospen von Lunularia nach Nägeli. *E* Embryo von Nicotiana nach Hanstein. *F* Längsschnitt des Antheridiums von Anthoceros nach Waldner.

In vielen anderen Fällen ist der stielartige Theil des Organs von diesem viel schärfer abgesetzt und zudem der Stiel selbst mit dem an-

deren Ende an das mütterliche Organ befestigt. Dem schroffen Uebergang von dem Köpfchen zum Stiel entsprechend, sind dann auch die rechtwinkelig schneidenden Antielinen anders als im vorigen Fall gestaltet, wie Holzschnitt 4 *D*, *E*, *F* zeigt. Diese Bilder sind nach den genannten Autoren möglichst genau mit allen Brechungen und ohne jede Schematisirung meinerseits copirt; in der Nägeli'schen Figur *D* tritt die Aehnlichkeit mit unserem Schema 3 sofort deutlich hervor, weniger ist dies bei *F*, am wenigsten bei *E* der Fall und ich zweifle nach eigener Erfahrung in diesen Dingen nicht, dass, wenn die Zeichnungen *E* und *F* unter dem Einfluss des Satzes von der rechtwinkeligen Schneidung gezeichnet oder einfach nach den Objekten photographirt wären, auch in ihnen die dem Schema entsprechende Anordnung deutlicher hervortreten würde. Wie sehr es bei Herstellung der Zeichnungen von derartigen Objecten auf die subjective Wahrnehmung ankommt, zeigt nicht nur die Vergleichung von *A* und *D* einerseits mit *E* und *F* andererseits, sondern auch mit Kny's Zeichnungen von jungen Osmunda-Vorkeimen (Jahrb. f. w. Bot. VIII, Taf. I), wo die ohne die Kenntniss unseres Princips dargestellten Antielinen doch zum grossen Theil richtig gekrümmt sind.

Fig. 5.

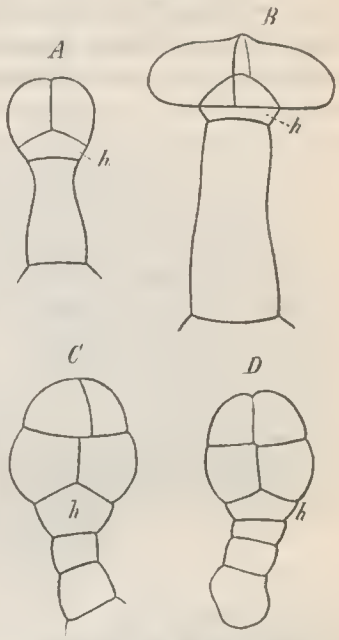



*A B* verschieden alte Embryonen von Orobanche nach Koch. *C D* verschieden alte Antheridien von Nitella nach alten Skizzen von Sachs. *h* bedeutet überall die Hypophyse.

Wenn der Uebergang vom kopfförmigen Theil zum Stiel die geeignete Form besitzt und eine antieline Wand des ersteren sich so ansetzt, dass sie den Stielansatz überspannt, so entsteht das, was Hanstein bei den Embryonen der Phanerogamen die Hypophyse genannt hat, der im Holzschnitt 5 mit *h* bezeichnete Theil. Es ist kein Grund vorhanden, den Begriff »Hypophyse« auf die Embryonen der Phanerogamen zu beschränken, da sich ganz ähnliche Configurationen und aus ähnlichen Formverhältnissen des Umrisses entspringend auch bei Antheridien, Haaren und überhaupt bei gestielten Köpfchen vorfinden (Holz-

schnitt 5 und 6). — Denkt man sich an dem Schema Holzschnitt 3 das eine Ende der Ellipse mit einem Stiel versehen, so zwar, dass dieser gerade von einer der hyperbolischen Anticlinen überspannt wird, so erhalten wir das Schema für den von Koch so klar gezeichneten Orobanche-Embryo (5, *B*) mit seiner Hypophyse *h*. Die die Hypophyse überwölbende, in das Köpfchen hineinragende Anticline braucht nicht einmal ursprünglich diese Form zu haben, sie kann anfangs gerade oder schwach gekrümmt sein und, indem das Ganze in geeigneter Weise wächst, erst später die starke Wölbung annehmen; dass Letzteres unter Beibehaltung der rechtwinkeligen Schneidung möglich ist, leuchtet von selbst ein und wird durch Holzschnitt 8 (weiter unten) erläutert. Dass die Hypophyse bei sehr verschiedenen Formen des Umrisses zu Stande kommt, zeigen die hier beistehenden Holzschnitte; es kommt wesentlich nur darauf an, welche Krümmung die Uebergangsstelle von Stiel und Köpfchen besitzt und ob gerade an dieser Stelle eine anticline Wand sich befindet. Es bedarf übrigens kaum der Erwähnung, dass in der Hypophyse weitere Periclinen und Anticlinen auftreten können oder dass sie einzellig bleiben kann, ebenso, dass durch weiteres Wachsthum und damit verbundene Formänderungen die Hypophyse Verzerrungen erleiden oder im Gewebecomplex ganz verwischt werden kann.

Fig. 6.

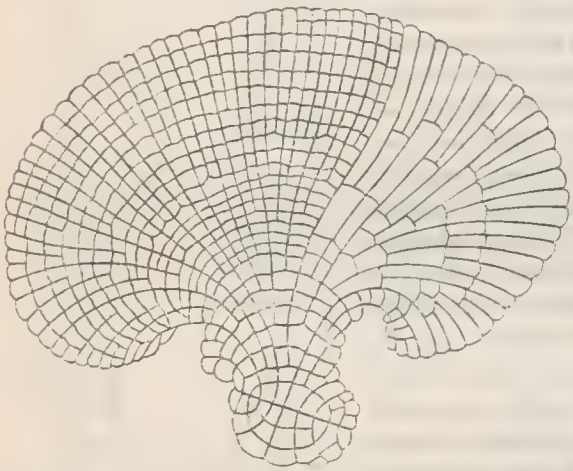



*A B* verschieden alte Haare des Blattes von Pinguicula vulgaris nach der Natur. *C* Haar von Cucurbita Pepo nach der Natur. *D* Embryo von Nicotiana nach Hanstein. — *h* überall die Hypophyse.

Ich komme schliesslich noch einmal auf unser Schema Holzschnitt 3 zurück, um noch einige Bemerkungen daran zu knüpfen, die vielleicht dazu beitragen, etwaige Missverständnisse zu zerstreuen. — Nicht blos bei Meristemscheiben, sondern überall, wo es sich darum handelt, durch ein System concentrischer Schichten (Periclinen) ein System orthogonaler Trajectorien (Anticlinen) zu legen, müssen, wenn der Umfang ein elliptischer oder auch nur ovaler ist, Figuren entstehen, welche unserm Ellipsenschema entsprechen. So geschieht es zuweilen, dass das Mark und Holz dicotyler Holzpflanzen im Querschnitt confocale Ellipsen darstellen. Die Markstrahlen, da sie normal die orthogonalen Trajectorien der Jahrringe sind, zeigen in diesem Fall die Krümmung und Anordnung wie in Holzschnitt 3. — Holzquerschnitte von kreisförmigem Umriss und genau centralem Mark

zeigen die Markstrahlen in Form geradliniger Radien, wenn die Jahrringe concentrische Kreise sind; dagegen werden sie krummlinig, wenn die einzelnen Jahrringe in sich ungleichförmig dick sind; ist das Mark excentrisch und der Umriss des Holzquerschnitts von beliebiger Form, so bilden die Markstrahlen krumme Linien, deren Verlauf aus der rechtwinkeligen Schneidung mit den Jahrringen beurtheilt und künstlich construirt werden kann. Ganz wie die Markstrahlen verhalten sich die Risse, welche bei dem Austrocknen mehrjähriger Holzstücke entstehen, da die Risse immer rechtwinkelig zu den Tangenten derjenigen Punkte gerichtet sind, wo sie die Holzschichten durchbrechen. — Wird ein fortwachsender Holzkörper an einer Seite durch Abreissen eines Rindestreifens verletzt, an dieser Stelle der weitere Holzzuwachs verhindert, so überwallen die Seitenränder der Wunde, die Jahresringe machen hier eigenthümliche schneckenlinige Krümmungen und die Markstrahlen werden dem entsprechend, weil sie die orthogonalen Trajectorien jener sind, ebenfalls gekrümmt.

Fig. 7.



Thallus von Melobesia Lejolisii nach Rosanoff; an der ursprünglich elliptischen Keimscheibe ist nur ein Theil des Umfangs weiter gewachsen und dann seitwärts überwallt. — In dem Lappen rechts sind zahlreiche Periclinen weggelassen; das Bild des Zellnetzes wird dadurch auffallend anders, obgleich im Wachsthumsgesetz dadurch nichts geändert ist.

Unser Holzschnitt 7 würde das Bild der von Markstrahlen durchsetzten Jahrringe eines solchen Holzes darstellen, wenn man die Periclinen für die Grenzen der Jahrringe, die Anticlinen für die der orthogonal trajectorischen Markstrahlenzellen gelten lässt. Unser Holzschnitt 7 ist aber thatsächlich das Bild einer Thallusscheibe von Melobesia, die einzelnen Linien bedeuten nicht Jahrringe und Markstrahlen, sondern Zellwände.

Diese Beispiele zeigen zur Genüge, dass ganz unabhängig von der Natur des Objectes jedesmal ähnliche Bilder entstehen müssen, wenn ähnliche Systeme pericliner Schichten von orthogonalen Trajectorien durchsetzt werden.

## § 4. Beziehungen zwischen Zellwandnetzen und Wachsthum im Urmeristem.

Die von den Beobachtern der Vegetationspunkte, Embryo-Entwickelungen u. s. w. ganz gewöhnlich gebrauchten Ausdrucksweisen, wie z. B.: dieser oder jener Vegetationspunkt wachse vermittelst einer Scheitelzelle oder nicht, das Wachsthum werde durch Segmentirung dieser oder jener Art vermittelt u. s. w. beruhen ganz offenbar auf der stillschweigend gemachten Voraussetzung, dass das Wachsthum überhaupt eine Wirkung der Zelltheilungen sei und dass sich die Frage, ob und wie ein Meristemkörper wächst, aus der Anordnung der Zellwände unmittelbar beantworten lasse.

Nun ist aber leicht ersichtlich, dass die Frage, ob ein Organ überhaupt wachse, mit dem Vorhandensein von Theilungswänden nicht nothwendig zusammenhängt; bei den Siphoneen sehen wir Wachsthum und morphologische Gliederung ohne Fächerung des Innenraumes durch Theilungswände fortschreiten, und auch wenn wir diese Pflanzen nicht kännten, würde die rein theoretische Betrachtung zeigen, dass Volumenzunahme und Sprossung nicht auf der Zelltheilung beruhen, sondern dass diese durch jene bedingt wird. Ausserdem ist auch das Vorhandensein eines Zellhautnetzes innerhalb des äusseren Umrisses eines Organs kein Beweis dafür, dass dieses sich zur Zeit der Beobachtung im Zustande des Wachsthums befinde; wir kennen ja Fälle genug, wo Vegetationspunkte und embryonale Gebilde sich Monate lang in vollständiger Ruhe befinden und doch aus Urmeristem bestehen (Winterknospen, Embryonen von Moosen, Orobanchen u. dgl.).

Wir sehen also, dass Wachsthum ohne Meristembildung stattfindet und dass das Urmeristem seinerseits nicht zu wachsen braucht, ohne deshalb seine sonstigen Charaktere einzubüssen. Ja es kann der Fall eintreten, dass der aus Urmeristem bestehende Vegetationspunkt eines Stammes oder einer Wurzel u. dgl. sich in vollkommen unveränderlicher Ruhe befindet, während die weiter rückwärts liegenden Gewebetheile im lebhaftesten Wachsthum begriffen sind. Die unterirdisch überwinternden Equisetumknospen haben sämmtliche Internodien und Blattquirle angelegt; wenn sie im zeitigen Frühjahr von 1—2 Ctm. Länge sich auf 50—100 Ctm. strecken, so ist dabei das Urmeristem des Vegetationspunkts nachweislich nicht betheiligt, wie aus dem Fortbestehen der Gipfelknospe ohne Wachsthum derselben sofort erhellt. Aehnlich ist es bei dem Austreiben aller Winterknospen, welche Sprosse mit einer bestimmten Zahl von Blättern produciren (Aesculus u. a.). Wenn eine Wurzel neu angelegt wird im Gewebe eines Mutterorgans, so wächst natürlich auch der Vegetationspunkt derselben, oder besser, er bildet sich erst; es ist auch wahrscheinlich, dass am Scheitel der jungen Wurzel während einiger Zeit

Volumenzunahme mit entsprechenden Theilungen fortschreitet, ja es ist möglich, dass dies während des folgenden Längenwachsthums andauert; allein das Letztere ist für keinen einzigen Fall bewiesen, während es recht wohl denkbar ist, dass das Wachsthum und die Zelltheilung am Scheitel frühzeitig aufhören, ohne dass dadurch die Verlängerung der Wurzel sistirt würde. Wenn man in der etwa 0,1—0,3 mm langen Scheitelregion einer jungen vielleicht 5 mm langen Wurzel eine bestimmte Zellenordnung findet und diese in einer 20 cm langen Wurzel genau wiederfindet, so beweist das gar nicht, dass während dieser bedeutenden Verlängerung der Wurzel der Vegetationspunkt beständig mitgewachsen sei und beständig nach derselben Regel neue Zellwände gebildet habe, sondern es kann die identische Configuration des Vegetationspunktes einer jungen kurzen und einer alten langen Wurzel einfach darauf beruhen, dass der Vegetationspunkt selbst überhaupt nicht gewachsen und seine Configuration überhaupt unbeweglich geblieben ist. Dass das schnellste Wachsthum der Wurzeln 2—5 mm hinter der Spitze liegt und nach dieser hin rasch abnimmt, habe ich früher festgestellt und die Messungen beweisen jedenfalls für unsere heutige Frage so viel, dass die Verlängerung des Vegetationspunktes selbst zum Längenwachsthum des Ganzen nur ausserordentlich wenig beiträgt. Ich behaupte natürlich nicht, dass die Vegetationspunkte sich streckender Organe nicht wachsen und keine Zelltheilungen mehr erfahren, sondern nur, dass dies in gewissen Fällen unwahrscheinlich und nicht bewiesen ist, und dass man aus dem Bild des Urmeristems im Vegetationspunkt allein nicht schliessen kann, ob derselbe im Wachsthum begriffen ist. Die Frage, ob Wachsthum stattfindet, kann am Vegetationspunkt ebenso wie an andern Theilen nur durch vergleichende Messung früherer und späterer Zustände entschieden werden, sei es dass die Messung nur mit dem Augenmass oder mit dem Massstab vorgenommen oder auf Betrachtungen anderer Art gegründet wird. Wie Letzteres geschehen kann, zeigen uns z. B. die überwinternden Equisetumknospen. Bildet eine solche im Herbst z. B. 50 Blattquirle, so ist es gewiss, dass zu diesem Zweck aus der Scheitelzelle $3 \cdot 50 = 150$ Segmente entstehen müssen. Hat man im Herbst eine Knospe vor sich, die erst 20 Blattquirle besitzt, so haben sich aus der Scheitelzelle erst 60 Segmente gebildet und man hat die grosse Wahrscheinlichkeit, dass noch 90 Segmente gebildet werden können; man hat also hier einen Vegetationspunkt und speciell eine Scheitelzelle in voller Thätigkeit vor sich. Das fortdauernde Wachsthum der Scheitelzelle während dieses Zeitraums schliessen wir aus dem Umstand, dass sie immer wieder in gleicher Grösse vorhanden ist, obgleich sie nach und nach 100—150 Segmente bildet. Das stattfindende Wachsthum der Scheitelregion schliessen wir also in diesem Falle nicht allein aus der Configuration des Vegetationspunkts, sondern aus Mitberücksichtigung der vorausgehenden und später

zu erwartenden Wachsthumsvorgänge. Sind die letzten drei Segmente gebildet, so können diese einen Blattquirl bilden, aber es ist nicht bewiesen, dass sie es immer thun, und wenn sie es einmal nicht thäten, so würde man am Scheitel eine Scheitelzelle und einige Segmente in typischer Lagerung vorfinden, obgleich das Wachsthum bereits aufgehört hat.

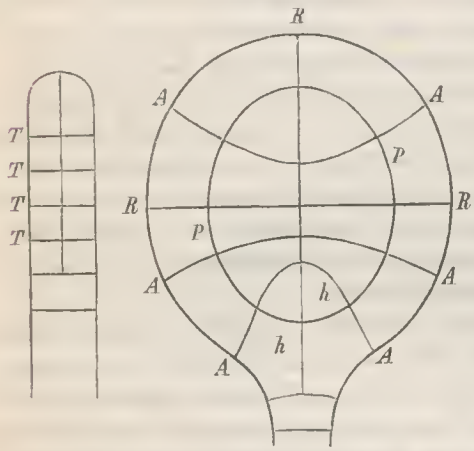
Ich glaubte diese so nahe liegende Betrachtung hier nicht unterdrücken zu sollen, weil ich es nicht für unwahrscheinlich halte, dass manche der von den Autoren abgebildeten Vegetationspunkte (zumal mancher Wurzeln) überhaupt nicht mehr im Wachsthum mit Zelltheilung im Scheitel begriffen waren; dass vielleicht manche Längsschnitte Zellnetze zeigen, die sich überhaupt nicht mehr verändern oder regeneriren. Es ist denkbar, dass die Zellwände im Scheitelraum einer 50—60 mm langen Wurzel noch ganz dieselben sind, welche man in den 5—6 mm langen würde angetroffen haben, dass mit einem Wort der so charakteristisch gefächerte Scheitelraum des Vegetationspunktes vielleicht schon an ganz jungen Wurzeln seine Zellbildung einstellt, während eine dauernde und sehr beträchtliche Verlängerung der Wurzel durch sogenanntes intercalares Wachsthum, vermittelt durch Zelltheilungen unterhalb der Scheitelregion, stattfindet. Ich behaupte nicht, dass dies so ist, sondern nur, dass es so sein kann, und dass man aus der Configuration der Scheitelregion allein darüber nicht entscheiden kann.

Die hier angeregten Zweifel sind nur dann möglich, wenn es sich um einen Vegetationspunkt handelt, der, während das Organ in die Länge wächst, seinen Umriss nicht verändert und immer dieselbe innere Structur zeigt. Ganz anders ist die Sache, wenn ein aus Urmeristem bestehendes Gebilde seinen äusseren Umriss nach Gestalt und Grösse durch Wachsthum verändert; in diesem Falle wird man durch Beobachtung verschiedener Alterszustände immer sofort einen Einblick in die stattfindenden Wachsthumsprocesse gewinnen können, da diese sich aus dem veränderten Bild des Zellhautnetzes ergeben.

Es wurde in der Einleitung hervorgehoben, es sei eine Eigenthümlichkeit des Urmeristems, dass es als Ganzes wachse, dass die Selbständigkeit der einzelnen Zellen dem Gesammtwachsthum des ganzen Complexes völlig untergeordnet ist; aus dieser Eigenthümlichkeit erklärt sich, dass die ursprünglich nach dem Princip der rechtwinkeligen Schneidung entstandenen Zellwände ihre rechtwinkelige Schneidung sehr oft auch dann beibehalten, wenn der ganze Zellcomplex seine äussere Form ändert. Geschieht dies, so müssen die vor dem Wachsthum entstandenen Zellwände nicht nur ihre Dimensionen, sondern auch ihre Krümmungen nach Massgabe der Formänderung des Gesammtumrisses ändern. Es leuchtet ein, dass man, gestützt auf dieses Princip, im Voraus bestimmen kann, wie in der Hauptsache das Zellwandnetz gestaltet sein wird, wenn man den Gesammtumriss eines späteren Entwickelungszustandes und eines

früheren kennt. Wäre z. B. die linke Figur in unserem Holzschnitt 8 der frühere Entwickelungszustand eines Gebildes, welches im Längsschnitt parallele, oben gewölbte, übrigens gerade Umrisslinien und ausserdem einige gerade Quer- und Längswände erkennen lässt, und wäre ferner die rechts stehende Figur ein gleichartig orientirter Schnitt eines späteren Entwickelungszustandes desselben Gebildes, so würde man nach dem im § 3 Gesagten die Theilungswände ihrer Form, Grösse und Vertheilung nach in den Umriss so eintragen müssen, wie es hier geschehen ist. Es wurde nämlich angenommen, dass sich der Theil der linken Figur, welcher oberhalb der zweitunteren Querwand liegt, zu einer Ellipse umgestaltet, und zwar durch symmetrisch um die Längsaxe geordnetes Wachsthum. In diesem Falle bleibt die Flucht der ursprünglichen Längswände gerade wie vorher; es wurde ferner angenommen, dass die fünfte Querwand von unten in die Richtung der kleinen Axe der Ellipse zu liegen kommt; daher bleibt diese Wand ebenfalls gerade und erscheint in der elliptischen Figur als Horizontalwand *RR*. Dann aber müssen die von oben erste, dritte und vierte Querwand nunmehr als hyperbolische Anticlinen *AAA* eingetragen werden, von denen die unterste einen der früher erwähnten Hypophyse *hh* entsprechenden Raum überwölbt. Da bei der elliptischen Verbreiterung der linken Figur die mittleren Zellen ein beträchtliches Querwachsthum erfahren, wurde den natürlichen Vorkommnissen entsprechend angenommen, dass dadurch eine entsprechende Theilung hervorgerufen worden sei; diese verläuft nun in der mit dem Umfang confocalen Ellipse *PP*. — Hätte nun die linke Figur, bevor sie durch Wachsthum die Form der rechten annahm, gar keine Theilungswände besessen, würden solche erst nach dem Wachsthume sich eingestellt haben, so würden sie, nach dem Princip der rechtwinkeligen Schneidung doch dieselben Dimensionen und Krümmungen annehmen müssen, wie im vorigen Fall. — In der Natur gestalten sich die Verhältnisse allerdings gewöhnlich complicirter, als in unserem Schema, zumal dadurch, dass die Theilungen nicht vor oder nach dem Wachsthum, sondern während desselben eintreten. Indessen lassen sich Beispiele anführen, welche unserem Schema hinlänglich entsprechen, so z. B. die Entwicklung der Brutknospen von Lunularia (Zeitschrift von Nägeli und Schleiden 1845, Taf. III, nach

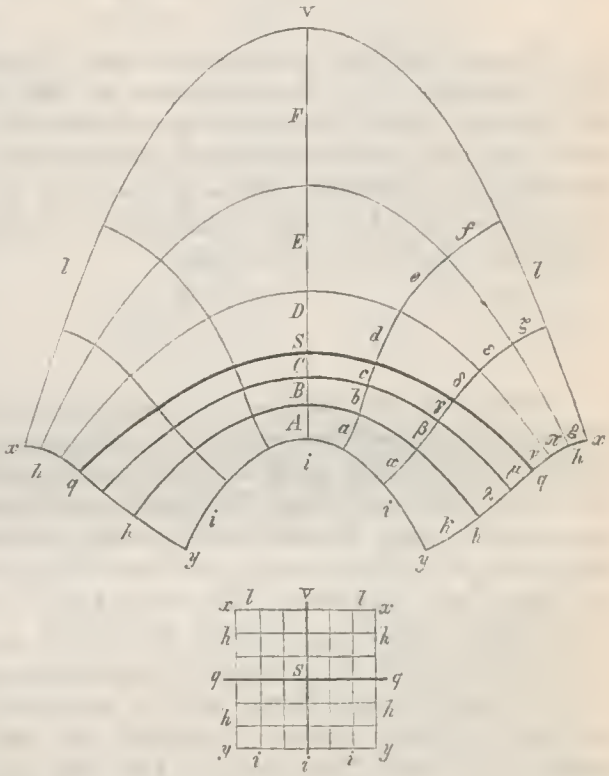
Fig. 8.



Nägeli) und Marchantia; etwas weiter abliegende Analogien bieten die in unseren Holzschnitten 4 und 5 abgebildeten Objecte.

Die Vergleichung der Constructionslinien der beiden Entwickelungszustände in Holzschnitt 8 würde dazu benutzt werden können, die Vertheilung des Wachsthums in dem Zellcomplex zu beurtheilen; wir würden von jeder Zellwand angeben können, um wie viel sie gewachsen ist, wie ihr Wachsthum zu dem der anderen Wände sich verhalten hat. Von allgemeinerem Interesse wäre in dieser Beziehung der Fall, dass aus einem bekannten Entwickelungszustande einer in sich gleichartigen Zellengruppe sich ein Gebilde entwickelt, welches zum Theil confocale, zum Theil nicht confocale Structur zeigt, wie es in Holzschnitt 9 angenommen wurde. Die untere Figur, ein aus 36 kleinen, unter sich gleichen Quadraten bestehendes Quadrat, solle den Durchschnitt einer Zellgruppe darstellen, welche in Folge späteren Wachsthums die Form der oberen Figur annimmt. Es wurde bei der Construction vorausgesetzt, dass die verticale Linie *i v* die Wachsthumsaxe bilden soll, dass ebenso die horizontale Linie *q q* die Grenze zweier Gewebemassen darstelle, von denen die untere confocale, die obere coaxiale Periclinen, beide mit entsprechenden Anticlinen zeigen soll, wie es in der oberen Figur angegeben ist. Der Durchschnittspunkt *S* wird somit zum Scheitelpunkt des confocalen Theils. Die obere Figur hat eine gewisse Aehnlichkeit mit einer gewöhnlichen Wurzelspitze: ihr confocaler Theil würde der Scheitelregion des Wurzelkörpers, ihr nicht confocaler oberer Theil der Haube entsprechen. Indessen würde die Entstehung einer jüngsten Wurzelanlage aus einem etwa der unteren Figur entsprechenden Zellcomplex doch viel complicirter ausfallen.

Fig. 9.



Unser Schema ist also ein ganz willkürliches. Es zeigt aber, dass unter den vorausgesetzten Modalitäten des Wachsthums mit Conservirung der rechtwinkeligen Schneidung aller Zellwände eine gewisse Einsicht in die Vertheilung des Wachsthums im Zellcomplex gewonnen werden kann. Weil nämlich der untere Theil der oberen Figur $q\ S\ q\ y\ i\ y$ confocal gebaut ist, so muss das Wachsthum der antielinen Wände um so stärker gewesen sein, je mehr sie durch das Gesammtwachsthum gegen die Axe $i\ v$ geneigt und vom Focus weggehoben wurden, d. h. es muss

$$a < \alpha < \varkappa$$
$$b < \beta < \lambda$$
$$c < \gamma < \mu$$

sein. Dagegen folgt aus der Annahme, dass der obere Theil der oberen Figur, nämlich $q\ S\ q\ x\ v\ x$ so gewachsen ist, dass seine Perielinen Parabeln darstellen, welche nur die Axe gemeinsam haben, deren resp. Brennpunkte aber auf der Axe sprungweise hinaufgerückt sind, dass hier die rechtwinkelig schneidenden anticlinen Wände um so weniger gewachsen sind, je mehr sie sich von der Wachsthumsaxe $i\ v$ und dem Scheitel $S$ entfernt haben; denn es ist nothwendig

$$d > \delta > \nu$$
$$e > \varepsilon > \pi$$
$$f > \zeta > \varrho.$$

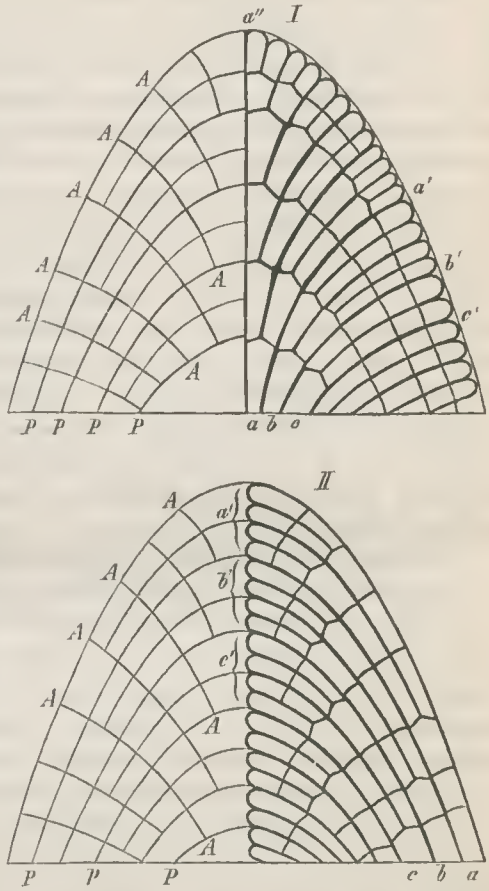
Wollten wir nun annehmen, die quadratische Zellgruppe, welche das erste Entwickelungsstadium unseres Schemas darstellt, habe anfangs nur aus vier Zellen (begrenzt durch die dicken Striche $v\ S\ i$, $q\ S\ q$) bestanden, die Gruppe habe aber durch Wachsthum den Umriss der oberen Figur angenommen, unter denselben Forderungen wie vorhin, so hätten die übrigen Wände während oder nach dem Wachsthum entstehen können, und zwar, wenn das Princip der rechtwinkeligen Schneidung gilt, ganz mit denselben Krümmungen wie die obere Figur sie zeigt.

Denkt man sich den medianen Längsschnitt eines Vegetationspunktes etwa von parabolischem Umriss und es werde die Forderung gestellt, man solle in diesen Umriss ein Zellnetz nach dem Princip der rechtwinkeligen Schneidung eintragen, so kann dies in verschiedener Weise geschehen; jedenfalls so, dass die Perielinen und Antielinen confocale Parabeln sind, aber auch so, dass die Perielinen Parabeln darstellen, welche mit dem Umriss nur die Axe gemein haben und dem entsprechende Antielinen besitzen, wie etwa in unserer Figur 11, Taf. IV, wo der Wurzelkörper nach der erstgenannten, die Haube nach der zweiten Art gebaut ist. Mit anderen Worten, Vegetationspunkte von ganz identischem Umrisse können confocal gebaut sein, oder coaxiale Perielinen mit entsprechenden Anticlinen besitzen. Da das Eine oder das Andere aber von der inneren Vertheilung des Wachsthums abhängt, so folgt,

dass bei identischem Umrisse doch die Vertheilung des Wachsthums im Innern verschieden sein kann.

Im Gegensatz dazu ist aber auch der Fall denkbar, dass bei ganz gleichartiger Vertheilung des Wachsthums im Innern zweier Vegetationspunkte von identischer Form, doch für das Auge auffallend verschiedene Bilder des Zellhautnetzes entstehen, wie die Vergleichung von Fig. I und II in Holzschnitt 10 sofort zeigt. Die Umrisse beider Figuren sind identisch, Parabeln von demselben Parameter; die innere Construction, wie die linken Hälften zeigen, so gewählt, dass die Perielinen Parabeln von demselben Parameter darstellen, die aber auf der Axe hingeschoben sind; dem entsprechend sind die orthogonal trajectorischen Anticlinen gegen die Axe und den Scheitel convex aufwärts gekrümmt. Die rechten Hälften beider Figuren geben nur deshalb verschiedene Bilder, weil bei I die anticlinen, bei II die perielinen Zellwände continuirlich und ungebrochen verlaufen, und so der Eindruck entsteht, als ob bei I gegliederte Fäden von der Axe aus nach aussen, bei II aber gegliederte Fäden von der Peripherie nach der Axe hin verliefen. Es ist für das Zustandekommen derartiger Bilder nicht nöthig, dass wirklich gekrümmte Fäden vorhanden sind, der entsprechende Eindruck kann auch durch gewöhnliches Gewebe hervorgerufen werden. So entspricht z. B. dem Schema I der Radialschnitt durch die Thallusscheibe von Lithophyllum (Rosanoff, Melobesiaceen Taf. V), welches aus gewöhnlichem Gewebe besteht, und andererseits der Längsschnitt durch Thalluszweige von Cladonia und Stereocaulon (nach Schwendener, Nägeli's Beiträge z. wiss. Bot. II, Taf. VII), welche aus gegliederten Fäden bestehen.

Fig. 10.



## § 5. Verschiedene Structur der Vegetationspunkte.

Ich habe nicht vor, dieses Thema hier irgend wie erschöpfend zu behandeln, schon desshalb nicht, weil das vorliegende Beobachtungsmaterial dazu nicht ausreicht. Nur auf einige wichtigere Punkte wünsche ich aufmerksam zu machen, indem ich zugleich noch die Betrachtung der Scheitelzelle auf den folgenden Paragraphen verschiebe.

Dass der Vegetationspunkt einen mehr oder minder weit vorspringenden Kegel bilden, flach oder selbst eingesenkt sein kann (Taf. III, IV, Fig. 1, 4, 5, 7), ist bekannt; ebenso, dass ein anfänglich vorspringender Vegetationspunkt bei weiterem Wachsthum flach werden oder sich einsenken kann. Bei den vorspringenden, kegelförmigen ist der Verlauf der Constructionslinien (Anticlinen und Periclinen) meist deutlich zu erkennen; nicht so bei den flachen und eingesenkten. Ich zweifle aber nicht, dass bei fortgesetzter Beobachtung in dieser Richtung mehr und Besseres zu sehen sein wird, als man bisher gesehen hat; von besonderem Interesse aber wäre zu wissen, wie der Verlauf der Constructionslinien sich ändert, wenn ein Vegetationspunkt die genannten Veränderungen erfährt, wie es z. B. bei Farnprothallien und bei phanerogamen Stammscheiteln geschieht, welche zur Bildung flacher Blüthenböden oder gar unterständiger Fruchtknoten sich anschicken. Rein theoretische Constructionen lassen sich zwar in mannigfaltiger Form ausführen, sie würden aber über die in der Natur wirklich vorkommenden Fälle keine genügende Auskunft geben.

Während die Mehrzahl der Vegetationspunkte confocale Periclinen und Anticlinen erkennen lässt, finden sich, wie bereits erwähnt, auch solche mit nur coaxialen Periclinen und entsprechenden Anticlinen. Es wurde bereits angeführt, dass viele Wurzelhauben diese Structur zeigen (wohl alle, die sich aus Kappen einer Scheitelzelle bilden), dass ferner Strassburger's Figuren auf derartigen Curvenverlauf in den jüngsten Blüthenanlagen bei Ephedra hinweisen, dass Radialschnitte bei Melobesiaceen nach Rosanoff und Längsschnitte bei manchen Flechtenzweigen (hier bei fädiger Structur) nach Schwendener sich ähnlich verhalten.

Wenn sich aus einem confocal gebauten Vegetationspunkt ein neuer, seitlicher Vegetationspunkt als anfangs schwach prominirende Protuberanz hervordrängt, so wölbt sich am stärksten die Aussenwand, nach innen abnehmend aber auch die periclinen Wände des primären Vegetationskegels hervor; dem entsprechend erfahren nun auch die anticlinen Wandstücke an dieser Stelle eine Veränderung ihres Verlaufs, um die rechtwinkelige Schneidung beizubehalten; sie biegen sich so auswärts, dass sie innerhalb der neuen Protuberanz nach dem Scheitel derselben hin convex werden; der noch schwach ausgewölbte, sich neu constituirende secundäre Vegetationspunkt zeigt daher einen nicht confocalen Bau, der

aber später, mit fortschreitendem Wachsthum wieder in den normalen confocalen übergehen kann. So ist es z. B. bei der ersten Anlage neuer Blätter von Phanerogamen nach Abbildungen Anderer[1]) und gelegentlichen eigenen Beobachtungen, aber viel auffallender bei der Anlage seitlicher Lappen von Farnblättern, wofür unser Holzschnitt 12 (weiter unten) als Beispiel dienen mag; nicht minder lehrreich sind in dieser Beziehung Hanstein's[2]) Abbildungen von jungen sich verzweigenden Blattspreiten bei Marsilia, Sadebeck's[3]) von anderen Farnblättern, sowie Strassburger's von Azolla[4]). Besitzt in diesen Fällen der primäre Vegetationspunkt des Blattes eine Scheitelzelle, so fehlt eine solche dem aus ihm hervorwachsenden Seitenlappen von vornherein, weil seine Bildung durch Vorwölbung einer Zellgruppe, nicht einer einzelnen Zelle eingeleitet wird. — Auch bei sehr jungen Wurzelanlagen bedingt es die Art ihrer Entstehung aus dem Pericambium, dass sie nicht sogleich die spätere confocale Anordnung ihrer Wandzüge zeigen können, dass sich dieselbe vielmehr aus ihrer ursprünglich nicht confocalen Anordnung entwickelt, die aber in der Wurzelhaube meist erhalten bleibt[5]).

Bei kegelförmigen oder doch ausgewölbten Vegetationspunkten mit deutlich erkennbaren confocalen Periclinen und Anticlinen erkennt man in der den Focus derselben umgebenden Gegend des Urmeristems eine ungeordnet erscheinende Gruppe von Zellen, welche ich als die Focalgruppe bezeichnen will. Erst in einiger Entfernung vom Focus, also in der Umgebung der Focalgruppe, tritt der gesetzmässige Verlauf der Periclinen und Anticlinen deutlich hervor. Man vergleiche in dieser Beziehung Hanstein: Die Scheitelzellgruppe im Vegetationspunkt der Phan. Taf. I, Fig. 1 und 2; ferner Warming l. c. Taf. I, Fig. 3, 5, 20; Strassburger, Coniferen und Gnetaceen, Taf. XXIII, Fig. 13. Dass eine derartige Focalgruppe sich bemerklich macht, beruht nun einfach darauf, dass in der nächsten Umgebung des Focus die stärksten Krümmungen der Anti- und Periclinen liegen, deren glatter Verlauf hier sofort erheblich gestört erscheint, wenn auch nur ganz geringe Brechungen oder Unregelmässigkeiten der Zellwände vorhanden sind; diese Störung aber bewirkt den Anschein einer unregelmässigen Anordnung der Zellen, wie man sich leicht überzeugt, wenn man unsere Figuren 1, 7, 8, 11, Taf. III und IV betrachtet und die den Focus umlaufenden Curventheile in gebrochene Linien umsetzt. Unregelmässigkeiten von viel beträchtlicherem Werth brauchen dagegen die Constructionslinien entfernter vom Focus

1) Warming: Rech. sur la ramific. des Phanerog. Taf. I, Fig. 5 *b* und *f*.

2) Hanstein: Jahrb. f. wiss. Bot. IV. Taf. XIV, Fig. 10 *b* und 11.

3) Sadebeck: Verhandl. des bot. Vereins f. Brandenburg 1873, Taf. III, Fig. 3, 5, 6.

4) Strassburger: Azolla Taf. II, Fig. 30, 32.

5) Vergl. Nägeli und Leitgeb: Entstehung und Wachsthum der Wurzeln Taf. XX, Fig. 9, 10. — Janczewski: Ann. des sc. nat. T. 20. Taf. 17, Fig. 1, 2, 8 Taf. 18.

nicht zu verwisehen. — Selbstverständlich kann eine Focalgruppe überhaupt nur da vorkommen, wo der Focus selbst in das Gewebe fällt; wie Fig. 5 (Taf. III) zeigt, kann er bei tief eingesenkten Vegetationspunkten auch ausserhalb des Gewebes fallen, womit die Focalgruppe wegfällt. Wo eine Scheitelzelle in bisher üblichem Sinne des Wortes vorkommt, nimmt diese gewissermassen den Raum der Focalgruppe ein; indem die Scheitelzelle meiner Auffassung nach eine Lücke im Constructionssystem der Zellwände ist, stellt sie denjenigen Raum im Vegetationspunkt dar, den die vervollständigten Constructionslinien mit den stärksten Krümmungen umlaufen würden; gerade diese Theile fehlen hier; man könnte also sagen, die Scheitelzelle entsteht durch Wegfall der Focalgruppe und (müsste hinzugesetzt werden) der sie überwölbenden Theile der Anti- und Perielinen.

Zu einigen weiteren Bemerkungen geben die sehr verschieden gebauten Vegetationspunkte der Wurzeln Anlass, wobei ich mich neben eigenen Beobachtungen auf die Abbildungen von Janczewski (Ann. des sc. nat. 5. série. T. XX. Taf. 13—20); Strassburger (Conif. und Gnet. Taf. XXIV, XXV); Erikson, Om meristemet i dicot. växters sötter. Lund 1877); De Bary (Vergl. Anatomie); Bruchmann (Ueber Anlage und Wachsthum der Wurzeln von Lycop. und Isoetes. Jena 1874); Reinke, Morphol. Abhandl. 1873. Th. I, II und in Hanstein's bot. Abhandl. 1871. Th. I, II; Fleischer in Flora 1874. No. 24 ff.; Holle, Bot. Zeitg. 1876. No. 16, 17 und 1877. No. 34 stütze.

Ohne der von ganz anderen Gesichtspunkten ausgehenden Eintheilung in Wurzeln mit Scheitelzelle und solche ohne diese, ferner der Eintheilung der letzteren in gymnosperme und angiosperme und dieser letzteren wieder (nach Janczewski) in vier Typen irgend wie nahe treten zu wollen, möchte ich zunächst eine Haupteintheilung in zwei Typen hervorheben, welche meiner Betrachtungsweise entspringt und sich auf den Verlauf der Peri- und Antielinen gründet. Der eine Typus ist dadurch charakterisirt, dass Wurzelkörper und Wurzelhaube überhaupt scharf von einander abgegrenzt sind, während bei dem anderen Typus eine solche scharfe Grenze wenigstens am Scheitel fehlt.

Zu dem ersten Typus gehören die Wurzeln der Equiseten und Farne mit Scheitelzelle, deren Wurzelhaube aus Quersegmenten (Kappen) der letzteren entsteht, und ausserdem die der Lycopodien, Isoeten, meisten Monocotylen und vieler Dicotylen (z. B. Raphanus, Plantago, Coleus, Menyanthes, Epilobium, Stephanotis, Hoja, Villarsia, Convolvulus, Banksia, Helianthus). Die scharfe Abgrenzung von Wurzelkörper und -Haube geht hier überall Hand in Hand[1]) mit der Erscheinung, dass die Con-

1) Es ist für meinen Zweck einstweilen gleichgiltig, ob die Grenze an der Oberfläche des sogenannten Dermatogens liegt und daher ein besonderes »Calyptrogen« vor-

structionslinien des Wurzelkörpers confocal, die der Haube nicht confocal verlaufen, wie in Fig. 11 und 12, Taf. IV. Die Scheitelfläche bildet die Grenze zwischen beiden Constructionssystemen (vergl. auch Holzschn. 8).

Zu dem zweiten Typus gehören die Wurzeln der Gymnospermen und mancher Dicotylen, wie Robinia, Pisum, Vicia, Mimosa, Lupinus, Aralia, Lavatera, Acer, Ranunculus. Bei diesen ist eine scharfe Grenze zwischen Wurzelkörper und -Haube nicht zu erkennen; Hand in Hand damit geht die Wahrnehmung, dass die confocale Structur des Wurzelkörpers sich in die der Haube entweder direct fortsetzt oder doch ganz allmälig in eine nur coaxiale der Haube übergeht. Die Uebergangsform zwischen dem ersten und zweiten Typus bilden die Gymnospermen. Bei Thuja, Ceratozamia und Juniperus (den beststudirten Gymnospermen) ist der Uebergang vom confocalen Bau des Wurzelkörpers in den coaxialen der äussersten, ältesten Haubenkappen ein sehr regelmässiger und zugleich umfasst dieses Verhalten den ganzen Umfang des Vegetationskegels. Bei den oben genannten Papilionaceen dagegen verlaufen die Periclinen und Anticlinen bis in die Nähe des Scheitels so, als ob sie hier einen Focus umlaufen wollten[1]; dies geschieht jedoch nicht, die Periclinen biegen vielmehr so um, dass sie der Längsaxe mehr oder weniger parallel werden, woraus ohne weiteres folgt, dass die Anticlinen als Querlinien auftreten; es entsteht eine mehr oder minder geradreihige Anordnung der Zellen, welche den Eindruck einer Cambialzone (ähnlich dem Korkcambium) hervorruft. Weiter gegen die Spitze der Haube hin können die am Scheitel geradlinig axiparallelen Periclinen ein wenig divergiren.

Man könnte von den beiden hier aufgestellten Haupttypen nach dem Gesagten den erstern als den mit geschlossenem, den zweiten als den mit offenem Scheitel bezeichnen. Bei geschlossenem Scheitel bildet die junge Epidermis (Dermatogen) die Grenze zwischen Körper und Haube, sie läuft als geschlossene Schicht über den Scheitel; bei offenem Scheitel ist die junge Epidermis nur bis zu einiger Entfernung vom Scheitel vorhanden, sie überwölbt ihn nicht. Der Plerom strang kann bei offenem Scheitel ebenfalls offen sein, wie bei Acer, Ranunculus, Vicia, oder er ist geschlossen, wie bei Lupinus, Mimosa, Aralia, Robinia (nach Eriksson's Figuren).

Die hier gegebene Eintheilung wird zeigen, dass es zweckmässig

---

handen ist (Monocotylen), oder ob die Haubenkappen durch Spaltungen des »Dermatogens« entstehen (Helianthus) oder ob andere Verhältnisse obwalten. Die Art, wie die sogenannten Histogene sich bei verschiedenem Curvenverlauf im Vegetationspunkt verhalten, ist aber sehr verschieden und richtet sich nach dem Verlauf der Constructionslinien.

1) Nach Holle geschieht dies bei ruhenden Embryonen wirklich; das hier angedeutete Verhalten kommt erst bei dem Auswachsen der Wurzel zu Stande.

wäre, späterhin bei der Beschreibung der Wurzelvegetationspunkte nicht blos die bisher allein beachtete Differenzirung der Histogene im Auge zu behalten. Diese letztere ist offenbar eine Thatsache von secundärer Bedeutung gegenüber dem Verlauf der Periclinen und Anticlinen, nach welchem sich ganz offenbar die Differenzirung der Histogene im Vegetationspunkt richtet. Der Verlauf der Constructionslinien in einem Vegetationspunkt ist der Ausdruck der inneren Wachsthumsvorgänge, der Vertheilung des Wachsthums innerhalb des in toto wachsenden Urmeristems. Die Erfahrung zeigt, dass die Differenzirung der Histogene von dem Verlauf der Constructionscurven abhängt, also eine Erscheinung von secundärer Bedeutung ist.

Noch eine weitere Bemerkung betreffs der Wurzelvegetationspunkte mag hier schliesslich Raum finden; sie betrifft nur den Wurzelkörper, nicht die Haube. Es scheint, dass das Ende des Pleromstranges der nicht mit Scheitelzelle wachsenden Wurzeln immer den Focus der Constructionslinien in sich aufnimmt, wenn diese nämlich den Focus wirklich umlaufen, was ja bei offenem Vegetationspunkt nicht der Fall zu sein braucht; mit anderen Worten, der Pleromstrang wird von einer der inneren Periclinen vollständig begrenzt. Sehr häufig macht nun diese Pericline (dem Pericambium entsprechend) den Eindruck einer Parabel von kleinem Parameter, und man dürfte demnach erwarten, dass auch der Umriss des Vegetationspunktes ein paraboliscber (mit grösserem Parameter) sein werde. Vergleicht man nun aber das geometrisch construirte Bild eines parabolischen Vegetationspunktes (etwa unsere Fig. 1 oder 11 Taf. III, IV) mit den natürlichen Objecten, so findet man sehr häufig einen auffallenden Unterschied darin, dass bei diesen der im Plerom liegende Focus viel zu nahe an den Scheitel des Vegetationspunktes hingerückt ist, oder mit anderen Worten, die Periclinen der Rinde divergiren vom Scheitel aus viel stärker, als es bei paraboliscber Structur möglich wäre, die Constructionslinien derselben sind eben keine Parabeln, sondern Curven von anderer analytischer Formel[1]), was dann natürlich auch von ihren Orthogonaltrajectorien, den Anticlinen, gilt. Hierher gehören z. B. die Mehrzahl der von Janczewski und Eriksson abgebildeten Wurzeln, z. B. Raphanus, Plantago, Coleus, Menyanthes u. a., aber auch, wie es scheint, manche mit Scheitelzellen versehene Wurzeln, wie von Pteris hastata, Polypodium dimorphum, Blechnum occidentale u. a. (Nägeli und Leitgeb: Entstehung und Wachsthum der Wurzeln Taf. XV). In derartigen Fällen dürfte man nun eigentlich nicht mehr von confocalem Verlauf der Peri- und Anticlinen reden, da der Ausdruck confocal nur bei Kegelschnitten

1) Dies leuchtet sofort in solchen Fällen ein, wo der Scheitel eingesenkt ist, wie in unserer Fig. 8 Taf. IV, was bei dickeren Wurzeln so häufig vorkommt; vergl. Janczewski l. c. und mein Lehrbuch IV. Aufl. p. 166.

von den Mathematikern verwendet wird; doch wird es, wie ich glaube, dem hier sich geltend machenden Bedürfniss nach einer möglichst einfachen Nomenklatur entsprechen, wenn man den Ausdruck »confocale« Structur auch dann noch beibehält, wenn der Längsschnitt des Vegetationspunktes den eigentlich confocalen Bau nicht mehr zeigt, aber so beschaffen ist, dass seine Structur als eine einfache Verschiebung confocaler Curven durch Wachsthum betrachtet werden kann, wie es z. B. bei Fig. 8 Taf. IV der Fall ist. Dagegen gibt es auch seltenere Fälle, wo die Focalgruppe im Vegetationspunkt der Wurzel hinreichend tief unter dem Scheitel gelagert ist, um dem Bilde eines confocalen parabolischen Constructionssystems zu entsprechen; so z. B. bei Pistia (nach Janczewski und de Bary), bei Lycopodium (nach Strassburger), Isoëtes (nach Bruchmann). Dieser Fall ist, soweit die Beobachtungen vorliegen, bei den Vegetationspunkten der Stämme der gewöhnliche, die Focalgruppe liegt, wie es die parabolische Form der Peri- und Anticlinen verlangt, um so tiefer unter dem Scheitel, je flacher dieser ist. Doch kommt es auch vor, dass Stammvegetationspunkte sich wie die zuerstgenannten Wurzeln verhalten; ein ausgezeichnetes Beispiel dieser Art bildet Strassburger (Conif. und Gnet. Taf. XXV, 29) ab.

Den Gegensatz zu den Vegetationspunkten, deren Focus sehr nahe an den Scheitel gerückt ist, bei denen also die Periclinen vom Scheitel aus sehr rasch divergiren, finden wir bei solchen Wurzeln, deren Scheitel und Pleromstrang offen ist, weil die Periclinen am Ende der Wurzel parallel werden oder gar aufwärts zu divergiren beginnen (Papilionaceen).

Gerade diese Betrachtungen zeigen sehr deutlich, dass die Form der Constructionslinien der Vegetationspunkte und dementsprechend die innere Vertheilung des Wachsthums sehr verschieden sein kann, was ich hier deshalb nochmals hervorhebe, damit nicht der Irrthum entsteht, als ob ich die Constructionslinien immer für Kegelschnitte hielte; dass ich solche meinen Betrachtungen zu Grunde legte, geschah, um es zu wiederholen, nur deshalb, weil sie das bequemste Mittel zur geometrisch genauen Construction von Zellhautnetzen mit rechtwinkeliger Schneidung darbieten. Dass diese letztere auch in den Fällen stattfindet, wo die Anti- und Periclinen Curven von ganz unbekannter Natur sind, dürfen wir der Analogie wegen annehmen, und der Analogieschluss wird durch den Augenschein, soweit dieser überhaupt Aufschluss geben kann, unterstützt. Wäre die rechtwinkelige Schneidung der Zellwände nicht das Princip, so wäre nicht einzusehen, warum bei Wurzeln mit offenem Scheitel die Wände gerade so verlaufen, wie sie verlaufen, und nicht in jeder beliebigen Richtung.

## § 6. Scheitelzellen und Randzellen.

Wenn man in der § 2 beschriebenen Weise bekannte Zellhautnetze mit Hilfe von Parabelmodellen construirt, so bemerkt man, dass bei sonst ganz gleicher Construction Scheitelzellen erhalten werden oder nicht, je nachdem man die Constructionslinien in der nächsten Umgebung des Focus (an der Stelle, wo die Focalgruppe liegen sollte) unterbricht oder auszieht. So unterscheidet sich z. B. Fig. 2 und Fig. 6 von Fig. 1 und Fig. 5 (Taf. III) nur dadurch, dass bei diesen die Constructionslinien vollständig durch Zellwände vertreten sind, während sie bei jenen nur bis in die Nähe des Scheitels fortgeführt sind, ohne den Focus zu umlaufen.

Ich habe, auf diese einfache Betrachtung gestützt, schon in meiner vorläufigen Mittheilung die Ansicht ausgesprochen, die Scheitelzelle sei eine Lücke im Constructionssystem der Zellwände des Vegetationspunktes, eine Lücke, welche, indem sie sich durch das Wachsthum der sie umschliessenden Wände vergrössert, immer wieder auf ein gewisses Maass zurückgeführt wird dadurch, dass Schritt für Schritt neue Wände, als Bruchstücke der Constructionslinien eingeschaltet werden. Jede Theilungswand der Scheitelzelle erscheint als eine Fortführung des Constructionssystems; jedes so gebildete Segment aber ist selbst noch eine Lücke in diesem, welche jedoch durch weitere Theilungswände, dem Gesammtplan entsprechend, ausgefüllt wird.

Das einfach Natürliche dieser Ansicht tritt besonders deutlich hervor, wenn man die beiden so auffallend verschiedenen Vegetationspunkte von Fucus vesiculosus und Dictyota vergleicht, denen Fig. 6 und resp. 2 entsprechen. Bei Fucus ist die Scheitelzelle im Längsschnitt vierseitig, genau entsprechend dem Verlauf der Periclinen und Anticlinen; bei Dictyota zweiseitig, auch hier dem Verlauf der Constructionslinien folgend. Jene sondert daher Segmente nach rechts und links und an ihrer Basis ab, diese bildet nur eine Reihe von basiscopen Segmenten; und entsprechend dem Verlauf der Peri- und Anticlinen entstehen in den Segmenten selbst wieder neue Wände, deren zeitliche Reihenfolge und räumliche Orientirung ohne die hier vertretene Ansicht gar nicht erklärlich wäre, in ihrem Licht gesehen dagegen als eine consequente Fortführung des Constructionssystems durchaus planvoll erscheint.

Nicht so einfach gestalten sich die Verhältnisse in solchen Fällen, wo die Scheitelzelle die Form einer halben biconvexen Linse besitzt und zwei Reihen von Segmenten absondert (Fissidens, manche Farne, Selaginella), oder da, wo sie drei Segmentreihen bildet, nach hinten von drei wenig gekrümmten Flächen begrenzt wird (Stammspitzen der meisten Moose, Equiseten, mancher Farne). Für beide Fälle kann Fig. 3 Taf. III als ein medianer Längsschnitt gelten. Noch complicirter wird die Sache bei der Wurzelscheitelzelle mit dreireihiger Segmentirung und Kappenbildung für

die Wurzelhaube, wofür Fig. 12 Taf. IV als Schema dienen mag, wobei jedoch zu bemerken ist, dass hier sowohl, wie in Fig. 3 die Hauptwände der Segmente vom Lithographen geradlinig gezeichnet sind, während sie nach dem Princip der rechtwinkeligen Schneidung der Form des Scheitels entsprechend ein wenig gekrümmt sein müssten. Indem ich hier die einschlägige Literatur und die zugehörigen Abbildungen als bekannt voraussetze [1]), will ich nur wenige erläuternde Bemerkungen beibringen.

Bei dem Schema Fig. 3, Taf. III fällt vor Allem auf, dass die Segmentwände, soweit sie noch die Scheitelzelle selbst begrenzen, vermöge ihrer Stellung und Krümmung nicht eigentlich in das confocale Constructionssystem des tieferen Theils des Vegetationspunktes zu passen scheinen; sie sind weder Fortsetzungen der sonstigen Anticlinen noch der Periclinen; es sind vielmehr Anticlinen eigener Art. Nun zeigt sich aber, dass diese Wände bei fortschreitendem Wachsthum sich so krümmen und umlegen, dass sie als Bruchstücke eines confocalen Systems von Anticlinen sich darstellen (die dick ausgezogenen mit *AA* bezeichneten Striche), welche zudem noch eher oder später zu vollständigen Anticlinen dadurch ergänzt werden, dass neue Wände (*aa*) ihnen gegenüber entstehen. Indem unterdessen auch noch confocale Periclinen auftreten (*PP*), gestaltet sich der Gewebecomplex so, als ob er ganz nach dem Schema Fig. 2 oder Fig. 1 gebaut wäre. Deutlicher als hier kann es sich kaum zeigen, dass, wenn das Constructionssystem überhaupt ein confocales, mit rechtwinkeliger Schneidung ist, es sich dem allgemeinen Schema fügen muss. Es leuchtet so z. B. ohne Weiteres ein, warum die anfangs steil aufgerichteten Hauptwände der Segmente mehr und mehr die Querlage annehmen; es sind eben orthogonale Anticlinen und die entsprechenden Wände in Fig. 1 und 2 (*Aa*) erfahren ja ganz dieselbe Veränderung. — Es bliebe nun also nur die Frage übrig, warum die dem Scheitel nächsten Anticlinen (Fig. 3) nicht gleich anfangs als confocale Anticlinen, ebenso wie in Fig. 2 entstehen, warum je zwei (resp. drei) Reihen von Segmenten entstehen, statt einer einzigen Reihe, wie in Fig. 2. Bei Fig. 6 liegt die Ursache für die dreifache Segmentirung im Constructionsplan; hier aber anscheinend nicht. Es wird jedenfalls Aufgabe weiterer Erwägungen sein, diese Frage zu lösen; als eine Lösung wird man es aber nicht betrachten dürfen, wenn man hier die Erblichkeit herbeizieht, denn bevor die fragliche Einrichtung erblich werden konnte, musste sie eben erst einmal entstehen, auch wird es sich hier weniger um neue Beobachtungen als um einen neuen guten Gedanken handeln.

Soviel aber leuchtet ein, dass auch die durch Schema Fig. 3 repräsentirten Scheitelzellen als Lücken im Constructionssystem gelten können,

---

1) Im Nothfall wird man das Nöthige in meinem Lehrbuch finden.

um so mehr, als ihre Wände durch nachträgliches Wachsthum diesem sich einfügen.

Vom Standpunkt mechanischer Zweckmässigkeit aus betrachtet, lässt sich die Bildung zwei- und dreireihig segmentirter Scheitelzellen immerhin begreifen. Die rechtwinkelige Schneidung der Wandrichtungen im Urmeristem, sei es mit confocaler oder nichtconfocaler Anordnung verbunden, entspricht jedenfalls den Anforderungen, welche die Mechanik zum Zweck der Festigkeit des Ganzen stellen müsste. Denkt man sich ein Gemäuer oder Balkengerüst nach dem Schema Fig. 3 aufgeführt, so wird es an der Scheitelwölbung wohl ebenso fest sein, als wenn es nach dem Schema Fig. 2 gebaut wäre.

Wenn die von Russow (vergl. Unters. 1872, Taf. VIII, Fig. 158) gegebene Abbildung eines Längsschnitts des Wurzelscheitels von Marattia richtig ist (und ich habe keine Ursache daran zu zweifeln), so haben wir hier den sehr lehrreichen Fall, dass statt einer Lücke im Constructionssysteme des Vegetationspunktes, d. h. statt einer Scheitelzelle, deren mehrere vorhanden sind. Sie kommen, wie die Abbildung deutlich zeigt, dadurch zu Stande, dass oberhalb der Focalgruppe des Scheitels nur mehrere anticline, aber keine periclinen Wände vorhanden sind, und in dieser Beziehung stimmen sie mit der gewöhnlichen Scheitelzelle überein, nur dass die Anordnung weniger regelmässig ist.

Man kann die Bildung einer Scheitelzelle so auffassen, als ob in der Scheitelregion des Vegetationspunktes das Wachsthum den Zelltheilungen vorauseilte (so langsam jenes auch ist) oder diese dem fortschreitenden Wachsthum nicht rasch genug folgten, so dass immer der oberste Theil des Vegetationspunktes noch ungefächert bleibt. Hört das Wachsthum im Scheitel ganz auf, so ist zweierlei möglich: nämlich die Zelltheilung kann auch aufhören, und dann hat man einen ruhenden Scheiteltheil mit ruhender Scheitelzelle; es kann aber die Zelltheilung auch fortschreiten, wenn die Scheitelregion bereits zu wachsen aufgehört hat, und dann bilden sich in der Scheitelzelle Wände, die Lücke wird ausgefüllt. Ein sehr schönes Beispiel für diesen Fall liefert Cladostephus, dessen Scheitelzellen sich nach Pringsheim [1]) bei eintretender Winterruhe mit kleinzelligem Fachwerk erfüllen. Aehnliches haben Kny und Bauke [2]) in Scheitelzellen älterer Farnprothallien abgebildet, bei denen, wie ich annehme, das Scheitelwachsthum sehr verlangsamt oder ganz sistirt war.

Der bisherigen Auffassung der Scheitelzelle gegenüber wird die Ansicht, dass sie eine blosse Lücke im Constructionssystem der Zellwände sei, voraussichtlich hier und da auf Bedenken stossen. Dies kann jedoch nur dann geschehen, wenn man meine hier vertretene Auffassung des

1) Pringsheim: »Sphacelarienreihe«. Berlin 1873. Taf. III.

2) Jahrb. f. wiss. Bot. Bd. VIII Taf. II, 8, und Bd. X Taf. VI, 20.

Vegetationspunktes überhaupt verwirft; nimmt man sie an, so versteht sich meine Ansicht von der Scheitelzelle von selbst. Aus der Literatur gewinnt man den Eindruck, als ob Manche die Scheitelzelle gewissermassen als die Seele des Wachsthums überhaupt betrachteten, als ob sie so zu sagen der Baumeister wäre, der im Vegetationspunkt Alles anordnet und beherrscht. Damit verträgt sich die Lückentheorie nun freilich nicht. Jene die Scheitelzelle personificirende Ansicht leidet aber, abgesehen von Sonstigem, an dem Uebelstand, dass die Personification auf einer Täuschung beruht; die Scheitelzelle bleibt nicht dieselbe, sie persistirt als solche nicht; nach jeder Theilung ist eben eine neue Scheitelzelle da, welche sich ebenso wie ihre Schwesterzelle, das Segment, dem Gesammtwachsthum des Vegetationspunktes fügen muss, wie schon daraus hervorgeht, dass auch die Form der Scheitelzelle mit der Gesammtform des Vegetationspunktes sich ändert; so ist sie nach Hofmeister an jungen Stammknospen von Fissidens dreiseitig pyramidal, an älteren bilateralen Stämmchen zweischneidig; an stumpfspitzigen jungen Blättern von Andreaea [1]) zweireihig segmentirt, an älteren mit schlanker Spitze aber durch »Querwände« getheilt.

Die ganz eigenthümliche Bedeutung, welche man bisher der Scheitelzelle beilegte, stützt sich auf zwei verschiedene Momente. Erstens entstehe aus ihr, durch Vermittlung der Segmente, das gesammte Gewebe der Pflanze und zweitens soll sie, einer weit verbreiteten Annahme zufolge, die am ausgiebigsten wachsende Zelle des Vegetationspunktes sein. Das Erste ist nur in gewissem Sinne, das Letztere nicht bewiesen und wahrscheinlich unrichtig.

Was die Entstehung des gesammten Gewebes aus der Scheitelzelle betrifft, so ist zu beachten, dass diese selbst einer immer wiederkehrenden Erneuerung unterliegt, dass die jeweilig vorhandene Scheitelzelle die Tochter der vorigen und die Schwester des letzten Segments ist. Beständig und herrschend ist nicht die Scheitelzelle, sondern das Gesetz, nach welchem das Wachsthum und die Zelltheilungen am Scheitel erfolgen, und diese hängen einerseits von der Form des Scheitels und andererseits davon ab, ob das Wachsthum des Vegetationspunktes ein einheitliches ist oder nicht. — Der Schein, als ob die Scheitelzelle persistirte, wird wesentlich bedingt durch die Form des Scheitels selbst und durch die Art der Segmentirung; schliessen die dem Scheitel nächsten Anticlinen einen linsenförmigen oder einen Raum von tetraëdrischer Form ein, so wird durch die neue Segmentwand dieser Raum (die Scheitelzelle) in zwei sehr ungleich geformte Theile zerlegt; der eine, das Segment, hat eine ganz andere Form als die ältere Scheitelzelle, der andere dagegen behält dieselbe Form und erscheint deshalb als dasselbe Ding,

1) Kühn: Zur Entw.-Gesch. der Andreaeaceen. 1870. Taf. 5, 34.

wie die vorige Scheitelzelle. Wird dagegen eine Scheitelzelle so getheilt, dass zwei gleiche Schwesterzellen entstehen, wie bei Fucus periodisch geschieht, so verschwindet dieser Schein der Persistenz und man nimmt die beiden neuen Zellen entweder für zwei neue Scheitelzellen, oder man nennt sie Randzellen oder sonst wie.

Dass die Scheitelzelle die am ausgiebigsten wachsende des Vegetationspunktes sei, ist wiederholt behauptet und bisher kaum bestritten worden. So sagt Hofmeister (Zellenlehre p. 132): »Ist die Massenzunahme der Scheitelzelle eines Vegetationspunktes dagegen rascher als die der nächsten Umgebung derselben, so wird der Vegetationspunkt eine einzige Scheitelzelle erkennen lassen« u. s. w. Ganz offenbar stützt sich diese Ansicht auf die hervorragende Grösse der Scheitelzelle bei Laubmoosen, Equiseten, Farnkräutern, Selaginellen u. a. Es ist dabei aber ausser Acht gelassen, dass von mehreren in Theilung und Wachsthum begriffenen Zellen die eine desshalb grösser sein kann, als die anderen, weil sie entweder rascher wächst, oder weil sie sich seltener theilt; die Vergleichung der Dimensionen an einem Schnitt allein giebt aber keine Auskunft, ob das Eine oder das Andere der Fall ist, denn auch hier ist festzuhalten, dass die Vertheilung des Wachsthums im Vegetationspunkt nur aus der messenden Vergleichung wenigstens zweier consecutiver Entwickelungsstadien erschlossen werden kann. Wenn man die Vertheilung des Wachsthums aus der Besichtigung eines Präparates, d. h. aus dem Verlauf seiner Constructionslinien erschliesst, so liegt dabei die stillschweigende Voraussetzung zu Grunde, dass Umfang und innere Construction des Vegetationspunktes während gewisser Zeit trotz des Wachsthums unverändert bleiben; nur unter dieser Voraussetzung kann aus dem Bild des Zellnetzes eines Vegetationspunktes auf die Vertheilung des Wachsthums in ihm geschlossen werden. Unter dieser Voraussetzung und der ferneren Annahme, dass die Scheitelzelle bis zu ihrer nächsten Segmentirung immer wieder dieselbe Form und Grösse annimmt, welche sie bei der vorhergehenden hatte und dass die consecutiven Segmente im Moment ihrer Entstehung alle dieselbe Grösse haben (was ja allgemein angenommen wird), kann man aus den vorhandenen Abbildungen einigermassen ein Urtheil darüber gewinnen, ob die Scheitelzelle rascher oder langsamer wächst als ihre Segmente. Am einfachsten gelingt dies da, wo die Segmente durch Transversalwände entstehen, wie bei Chara und Nitella. Unter obigen Voraussetzungen müsste, wenn die Scheitelzelle sich ebenso rasch verlängerte, wie die Segmente, in dem Moment, wo das neue Segment (*I*) entsteht, das vorhergehende (*II*) gerade doppelt so lang [1]), das drittvorhergehende (*III*) gerade dreimal so lang sein, wie das eben ent-

1) Auf der Längsaxe gemessen. Vergl. z. B. die Figuren p. 296 meines Lehrbuchs IV. Aufl.

standene jüngste Segment. Meine alten Zeichnungen von Characeen zeigen nun aber durchgehends, dass dies nicht der Fall ist, dass vielmehr das zweite Segment mehr als doppelt, das dritte Segment viel mehr als dreimal so gross ist als das jüngste u. s. f. Dies stimmt genau mit meinen Messungen an Wurzelspitzen, denen zu Folge gleich lange Stücke in gleichen Zeiten um so langsamer wachsen, je näher sie der Spitze liegen[1]. Für Vegetationspunkte mit zwei- oder dreireihig segmentirten Scheitelzellen fehlen mir geeignete Beobachtungen und aus den Bildern der vorliegenden Literatur dürfte es kaum möglich sein, unsere Frage zu entscheiden, soweit es sich um das Wachsthum der Längsaxe handelt. Diese Entscheidung mag daher besonderen Untersuchungen vorbehalten bleiben.

Die Frage, ob die Scheitelzelle rascher wächst als andere Theile des Vegetationspunktes, wurde soeben nur bezüglich der Längsaxe geprüft; sie kann aber auch betreffs der gewölbten Aussenwand, welche an den Segmenten später zur äusseren, der Axe parallelen Längswand wird, gestellt werden; in diesem Falle wird das Längenverhältniss der zu messenden Stücke eine Function der Krümmung der Scheitelfläche sein müssen[2]. Die Frage kann auch den Sinn haben, ob das Volumen der Scheitelzelle rascher zunimmt, als ein gleiches Volumen an einer andern Stelle des Vegetationspunktes. In dieser Beziehung bieten die vorhandenen Bilder (z. B. Cramer's Equisetenscheitel und die von Nägeli und Leitgeb in »Entst. und Wachsth. der Wurzeln«) genügende Auskunft, indem die Vergleichung von Längs- und Querschnitten zur Genüge zeigt, dass das Volumen der Segmente um so rascher zunimmt, je weiter sie von der Scheitelzelle (innerhalb des Vegetationspunktes) entfernt sind.

Macht man auch hier die Voraussetzung, dass bei gleichbleibendem Gesammtbild des Vegetationspunktes alle Segmente im Augenblick ihrer Entstehung dieselbe Grösse haben, so würde das Volumen des zweitjüngsten im Augenblick, wo das jüngste entsteht, gerade doppelt so gross, das des drittjüngsten gerade dreimal so gross, das der fünftjüngsten gerade fünfmal so gross sein, als das Volumen des jüngsten, wenn das Wachsthum in der Scheitelzelle dem der Segmente gleich wäre. Dass diese Proportionalität zwischen Alter und Volumen der Segmente nicht besteht, dass letzteres viel rascher wächst, als dieser Proportionalität entspricht, zeigen die Bilder ganz unzweifelhaft auch ohne Messungen; die Zunahme der Volumina consecutiver Segmente ist so rapid, dass schon die auf das Augenmaass basirte und durch geeignete Ueberlegung gestützte Abschätzung gar keinen Zweifel lässt.

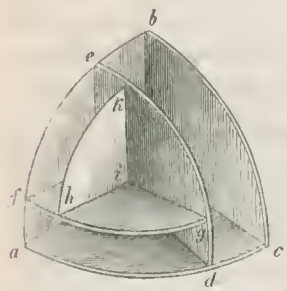
1) Vergl. Arbeiten des botanischen Instituts zu Würzburg Bd. I, p. 443 ff.
2) Vergl. Nägeli und Leitgeb: »Entstehung u. Wachsth. der Wurzeln« p. 91 ff.

In all' diesen Fällen, wo sich die Wahrscheinlichkeit ergibt, dass die Scheitelzelle nicht, wie bisher geglaubt, die raschest, sondern die langsamst wachsende Region des Vegetationspunktes repräsentirt, ist dieser selbst confocal gebaut. Bei nicht confocal gebauten, aber mit coaxialen Periclinen versehenen Vegetationspunkten wird es darauf ankommen, ob man auch hier von einer Scheitelzelle reden will oder nicht. Nimmt man z. B. bei einer so gebauten kryptogamischen Wurzelhaube die Scheitelzelle der Wurzel auch als Scheitelstelle der Haube[1]), so wird man auch hier finden, dass die Scheitelzelle langsamer wächst als die Haubenkappen.

Alle auf das vorliegende Beobachtungsmaterial gestützten Erwägungen machen also wahrscheinlich, dass die Scheitelzelle gerade da, wo man bisher allein eine solche annahm, bei confocalen Vegetationspunkten, die am langsamsten wachsende Region des Vegetationspunktes repräsentirt, wogegen an der Scheitelwölbung nicht confocaler Meristemprotuberanzen das stärkste Wachsthum stattfinden kann. Nichts könnte erwünschter sein, als eine definitive Entscheidung dieser Frage auf Grund neuer messender Untersuchungen und sorgfältiger geometrischer Erwägungen.

Es ist nun betreffs der Scheitelzelle noch die Frage zu behandeln, ob auch für ihre Wände die rechtwinkelige Schneidung gilt. In solchen Fällen, wo Quersegmente (wie Fig. 2 Taf. III) gebildet werden, oder wo gekrümmte Hauptwände zwei Segmentreihen erzeugen (wie bei Fissidens und Selaginella), spricht wenigstens nichts gegen die Annahme rechtwinkeliger Schneidung, da man durch rechtwinkelige Construction aus krummen Linien gerade solche Bilder bekommt. Dagegen scheinen sich manche Beobachter betreffs der dreiseitig pyramidalen (tetraedrischen) Scheitelzellen dem Irrthum hinzugeben, als ob ihre Hauptwände ($g\,i\,k$ — $h\,i\,k$ — $g\,i\,h$ Fig. 11) sich schiefwinkelig schneiden müssten, wenn sie auch auf der Aussenwand rechtwinkelig stehen, weil die Scheitelzelle im optischen Querschnitt ein Dreieck darstellt, dessen Seiten sich natürlich nicht sämmtlich rechtwinkelig schneiden können. Allein es ist leicht einzusehen, dass die Scheitelansicht der Scheitelzelle (Horizontalprojection, optischer Querschnitt) über den Neigungswinkel der Hauptwände keine Auskunft gibt. Nehmen wir den einfachsten Fall, dass die Scheitelansicht dieser Zelle ein gleichseitiges Dreieck darstellt, dessen Seiten also sich unter 60°

Fig. 11.




Eine dreiseitig pyramidale Scheitelzelle, von oben gesehen; die Hauptwände als eben gedacht. Mit drei Segmenten.

1) Was sie wenigstens insofern ist, als sie die Urmutterzelle aller Haubenkappen darstellt, in demselben Sinne wie sie die Urmutterzelle des Wurzelkörpers selbst ist.

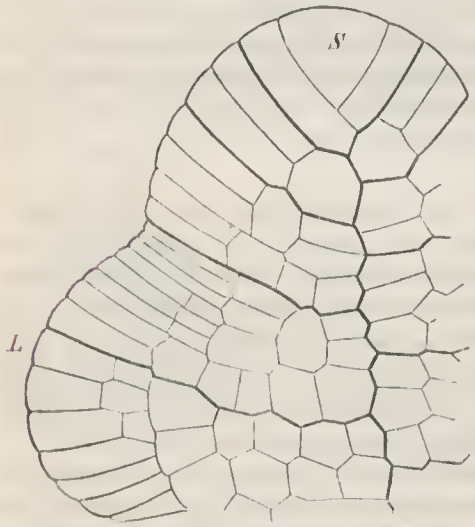
schneiden, was nach Nägeli und Leitgeb für die pyramidalen Scheitelzellen der Gefässkryptogamen gilt, dass die Scheitelzelle also das Bild Holzschn. 11 darbietet. Es leuchtet sofort ein, dass dieses Bild ganz dasselbe sein würde, wenn die 3 Flächen *kig*, *kih*, *ihg* die Ecke eines Würfels oder die spitze Ecke eines Rhomboëders oder eine stumpfe Ecke bildeten; in der Scheitelansicht ist darüber nichts zu entscheiden, sie zeigt ein gleichseitiges Dreieck als Querschnitt der Zelle, ohne etwas über die Neigung der fraglichen Wände zu lehren, die doch im ersten Falle sicherlich eine rechtwinkelige, in den beiden andern eine schiefwinkelige ist. Vielmehr müssen richtig geführte Längsschnitte darüber Auskunft geben, ob die Hauptwände einander rechtwinkelig schneiden, was nach manchen Abbildungen sehr wahrscheinlich ist, nach anderen allerdings bezweifelt werden könnte. Es ist dabei jedoch zu beachten, dass, wenn die Hauptwände eben sind und eine Würfelecke darstellen, die ganze Scheitelzelle einen Kugel-Octanten darstellen muss, wenn rechtwinkelige Schneidung auch an der Scheitelwölbung stattfinden soll; diese letztere muss dann also sphärisch gekrümmt sein, was bei der Gesammtform des Vegetationspunktes kaum je oder selten vorkommen dürfte; ist es nicht der Fall, ist die Scheitelkrümmung keine sphärische, so können die sie rechtwinkelig schneidenden Hauptwände auch nicht Ebenen sein und keine Würfelecke darstellen; sie müssen vielmehr selbst gekrümmt sein, was, wie es scheint, auch der gewöhnliche Fall ist, und gerade dies spricht für die rechtwinkelige Schneidung der Hauptwände unter sich und mit der Aussenwand.

Die Verhältnisse im Scheitel der Jungermannieen und solcher Laubmoose, deren Segmentirungswände den Hauptwänden der Scheitelzelle nicht parallel sind, sondern anodisch vorgreifen, scheinen mir noch nicht hinreichend durchsichtig, um in Kürze etwas Abschliessendes darüber zu sagen; doch wäre bei erneuter Beobachtung vor Allem die Frage im Auge zu behalten, ob die anodisch vorgreifenden Wände nicht im Moment ihrer Entstehung doch parallel mit der je viertvorausgehenden Wand sind und erst durch nachträgliches Wachsthum Verschiebung eintritt.

Die Frage, unter welchen Bedingungen überhaupt eine Scheitelzelle zu Stande kommt oder nicht, ist vorwiegend deshalb sehr schwierig zu beantworten, weil es an einer allgemein acceptirten Definition dessen fehlt, was man mit dem Wort »Scheitelzelle« ein für alle Mal bezeichnen will. Diese Unbestimmtheit des Sprachgebrauchs, verbunden mit der Ansicht, es müsse sich an jeder Sprossung eine Scheitelzelle nachweisen lassen, hat bei einigen neueren Beobachtern zu den sonderbarsten Schematisirungen geführt. Selbst in Fällen, wo die medianen Längsschnitte (z. B. Wurzelträger von Selaginella bei Treub l.c.) oder die Oberflächenansicht von Blättern und sonstigen Gewebeflächen Bilder ergeben, welche durch unsere Fig. 4, Taf. III schematisirt sind, glaubte man Zellreihen

so zusammensuchen und durch stärkere Striche hervorheben zu müssen, dass ein Anklang an die aus bekannten Scheitelzellen entstandenen Gewebebilder entsteht (vergl. Holzschn. 15). Vorherrschend ist wohl der Sprachgebrauch, wonach eine Zelle dann als Scheitelzelle bezeichnet wird, wenn sich aus ihr das gesammte Gewebe einer Sprossung genetisch ableiten lässt, wenn sie als Urmutterzelle desselben betrachtet werden kann. Allerdings ist dies, wie schon oben gezeigt wurde, eine Fiction, da es gar keine dauernde Scheitelzelle giebt, die jeweilige Scheitelzelle vielmehr die Tochter der vorigen und die Schwester des letzten Segments ist. Trotzdem enthält jene Definition etwas dem reinsinnlichen Eindruck eines Zellhautnetzes Entsprechendes und kann daher ohne Schaden beibehalten werden, wenn man sich nur des wahren Sachverhaltes bewusst bleibt. So ist z. B. auch in unserem Holzschnitt 12 die Zelle *S* die Urmutterzelle des ganzen Gewebecomplexes des jungen Blattes, also eine Scheitelzelle. Dass man nun eine solche Urmutterzelle gerade als Scheitelzelle bezeichnet, hat offenbar seinen Grund darin, dass sie am Scheitel des betreffenden Organes liegt, gleichgültig, ob dieser vorgewölbt oder flach oder eingesenkt ist. Bedingung einer Scheitelzelle ist also nicht nur, dass sie die Urmutterzelle ist, sondern auch dass sie am Scheitel liegt; es muss also, wenn es eine geben soll, vor Allem ein Scheitel da sein. Was aber ein Scheitel ist, soll unten erklärt werden.

Fig. 12.




Blatt von Ceratopteris mit Scheitelzelle am confocal gebauten Gipfel und ohne solche an dem nicht confocal gebauten Seitenlappen *L* (nach Kny).

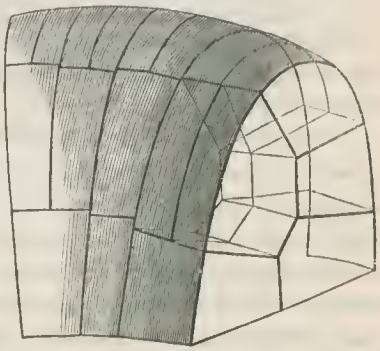
Wenn hiermit behauptet wird, eine Scheitelzelle setze einen Scheitel voraus, so gilt doch nicht die Umkehrung, dass jeder Scheitel eine Scheitelzelle haben müsse. Vielmehr gehören alle diejenigen Zellen, welche in der Literatur als Scheitelzellen bezeichnet werden, solchen Vegetationspunkten an, welche confocale Constructionslinien besitzen, wie auf Tafel III, IV. Nämlich nur in diesem Falle bietet sich dem Auge ein Bild des Zellnetzes dar, welches gewissermassen in seiner Gesammtheit auf eine Zelle, auf die Scheitelzelle, hinweist[1]. — Sind dagegen die Constructionslinien eines Vegeta-

1) Und dieser Eindruck des Zellenbildes wird um so verführerischer, je grösser die Zellen am Scheitel sind, d. h. je seltener neue Wände entstehen.

tionspunktes nicht confocale Curven, so gibt es auch keine Scheitelzelle im Sprachgebrauche. So hat z. B. in unserem Holzschnitt 12 der linke Blattlappen *L* keine Scheitelzelle, weil seine Constructionslinien (besonders deutlich die Anticlinen) nicht confocal verlaufen, da sie ihre Convexitäten der Axe des Lappens *L* und seinem Scheitel zukehren. Gerade so ist es bei den Blättern von Marsilia nach Hanstein (Jahrb. f. wiss. Bot. IV. Taf. XIV). Da der confocale oder nicht confocale Bau aber mit der inneren Vertheilung des Wachsthums zusammenhängt, so sieht man, dass die Existenz einer Scheitelzelle nach dem Sprachgebrauch auf dieser letzteren mit beruht. Doch ist auch dies nicht das allein Entscheidende, denn bei den Phanerogamen ist auch bei confocalem Bau des Vegetationspunktes gewöhnlich keine Scheitelzelle vorhanden, obwohl sie gewiss gelegentlich vorkommen kann (junge Blätter von Elodea, Hippuris, zuweilen im Vegetationspunkt von Zea Mais u. a.). — Es würde sich übrigens darüber discutiren lassen, ob nicht auch bei nur coaxialem Bau Scheitelzellen im oben definirten Sinne möglich sind[1]; hier sollte jedoch nur constatirt werden, dass der Sprachgebrauch, der sich eng an den sinnlichen Eindruck der Zellhautnetze anschliesst, in solchen Fällen keine Scheitelzelle annimmt.

Die mit dem Sprachgebrauch von der Scheitelzelle verbundenen Schwierigkeiten treten besonders eclatant hervor, wenn es sich um das Randwachsthum von scheibenförmigen oder doch flachen Gebilden handelt. Von der Fläche aus gesehen, kann der Umriss derartiger Körper ein gleichförmig gekrümmter sein oder doch nahezu einen Kreisbogen darstellen; ein Scheitel und demzufolge eine Scheitelzelle findet sich nicht. Das Zellhautnetz zeigt, von der Fläche aus gesehen, schwach gekrümmte Periclinen und radienartig verlaufende Anticlinen, welch' letztere auch, wie im Holzschnitt 14, nichtconfocale schwache Krümmungen haben können. Auf dem Verticalschnitt können solche Gebilde Zellwandnetze der allerverschiedensten Art darbieten. Bestehen sie (wie z. B. bei Coleochaete scutata) aus einer einzigen dünnen Zellschicht, so gleicht der Radialschnitt der Scheibe dem Längsschnitt eines gegliederten Algenfadens; ist dagegen der flache Gewebekörper mehrschichtig, so kann die verticale

Fig. 13.

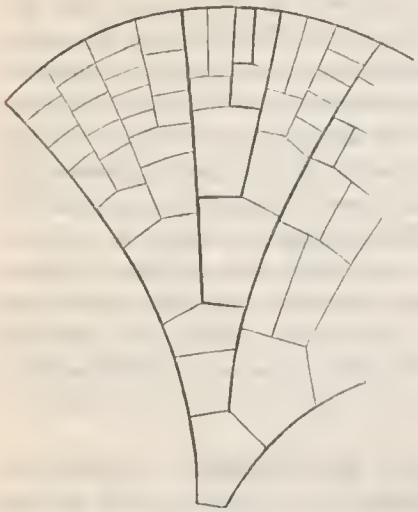


Willkürlich construirtes Schema für Randwachsthum. Die Zellwände rechts sind geradlinig gezeichnet, um das perspectivische Bild weniger zu stören.

1) So z. B. bei Wurzelhauben der Kryptogamen, wo die Scheitelzelle des Wurzelkörpers selbst zugleich die Scheitelzelle der Haube darstellt.

Schnittfläche Constructionscurven von nicht confocalem Verlauf zeigen, wie bei Melobesia (nach Rosanoff), oder, was häufiger ist, der Verticalschnitt hat confocale Structur und kann dann unserer Fig. 2 oder 3 Taf. III ähnlich sein. In diesem Falle nun, der auch bei Holzschnitt 13 ins Auge gefasst ist, entsteht auf dem Verticalschnitt der Gewebefläche das Bild einer gewöhnlichen Scheitelzelle mit Segmenten und zwar nicht zufällig, sondern nothwendig, weil die am Rande liegende Zelle auf dem Verticalschnitt den Ort der stärksten Krümmung einnimmt, wie es jeder Scheitelzelle geziemt. Denkt man sich aus dem Rande Holzschnitt 13 durch zwei radiale Verticalschnitte einen Sector von der Breite einer Randzelle herausgeschnitten, so ist diese für das betreffende Gewebestück eine wirkliche Scheitelzelle. Da jedoch der ganze flache Körper aus zahlreichen solchen nebeneinander liegenden Stücken besteht, so zeigt die Oberflächenansicht oder der Horizontalschnitt ein Bild, wie Fig. 4 Taf. III, auf welchem von einer Scheitelzelle im gewöhnlichen Sinne nichts zu merken ist.

Fig. 14.



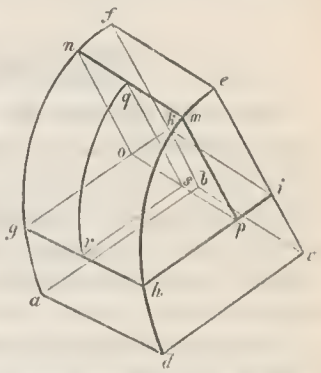
Blattrand von Trichomanes nach Prantl, von der Fläche gesehen. Vergl. auch die älteren Abbildungen bei Sadebeck in Just's Jahrb. für 1874 p. 390 ff.

Nun kommen aber complicirtere Fälle vor. Der flache Gewebekörper braucht in der Flächenansicht nicht gleichförmig gekrümmt zu sein, diese Krümmung kann einen Scheitel besitzen und dieser kann einwärts gebuchtet sein, wie bei Farnprothallien, Marchantieen, Metzgeria u. a. Man hat ein flaches Gebilde mit Rand und in diesem Rande einen Scheitelpunkt, auf welchen die Abstammung aller Zellen zurückgeführt werden kann. Liegt nun am Scheitel des Randes eine Zelle, welche im oben angegebenen fictiven Sinne als Urmutterzelle des gesammten Zellgewebes gelten kann, so wird sie auch hier vom Sprachgebrauch als echte Scheitelzelle zugelassen. In diesem Falle kann es sich nun aber ereignen, dass die Scheitelzelle kaum grösser oder selbst kleiner ist, als die aus ihr entspringenden Gewebezellen, so dass sie nicht mehr als eine Lücke im Constructionssystem erscheint, dies um so weniger, wenn sie dieselben Theilungen erfährt, wie jede andere Randzelle, wie dies z. B. nach Leitgeb's Beschreibung und Abbildung bei Blasia pusilla der Fall sein muss[1]).

1) Leitgeb: Untersuchung über die Lebermoose I. Taf. I.

Leitgeb gibt l. c. Taf. V, Fig. 30 das Schema dieser Scheitelzelle, jedoch seiner Beschreibung entsprechend so, dass die verticale Theilungswand in ihr seitwärts auftritt und so aus der Scheitelzelle zwei ungleich grosse Tochterzellen entstehen, von denen die kleinere als Segment, die grössere als neue Scheitelzelle aufgefasst wird. Mir scheint jedoch aus Leitgeb's gewiss höchst zuverlässigen Bildern auf Taf. I (Fig. 3 *B*, Fig. 5) hervorzugehen, dass die verticale Theilungswand die Scheitelzelle genau halbirt, wie in unserem Holzschnitt 15 (Wand *q r s* in der Scheitelzelle *g h p o n m*). Mir wird dies noch dadurch wahrscheinlicher, weil hier gar kein Grund zur Bildung ungleich grosser Zellen vorliegt und die allgemeine Regel der Zellbildung die Entstehung volumengleicher Zellen ist[2]). Sollte, wie ich allerdings glaube, meine Auffassung von Leitgeb's Beobachtungen die richtige sein, so wären die Bilder, wo die Scheitelzelle nach der Verticaltheilung aus einer kleineren (neuen Scheitelzelle) und aus einer grösseren (Segment) besteht, nur auf nachträgliches ungleiches Wachsthum zurückzuführen. Die schwächer wachsende der beiden Zellen wird so zur neuen Scheitelzelle und theilt sich später durch eine verticale Halbirungswand. — Ist nun aber diese ganze Auffassung richtig, so sind die Theilungsvorgänge in der Scheitelzelle von Blasia genau die einer gewöhnlichen Randzelle; und es zeigt sich hier sehr deutlich, dass es überhaupt eine dauernde Scheitelzelle im gewöhnlichen Sinne nicht gibt. Die jeweilige Scheitelzelle ist immer die Schwester des letzten Segments, gewöhnlich jedoch von ganz anderer Gestalt als dieses, worauf eben der Schein der Persistenz e i n e r Scheitelzelle beruht; bei Blasia dagegen werden durch die Theilung der jeweiligen Scheitelzelle zwei auch an Gestalt ganz gleiche Schwesterzellen geliefert, worin allein das Ueberraschende dieses Falles nach meiner Auffassung liegt.

Fig. 15.




Scheitelzelle mit zwei Segmenten, auf deren Bildung Halbirung der Scheitelzelle folgt. Der Bequemlichkeit wegen sind die Theilungswände sämmtlich als ebene gezeichnet.

Eine Bestätigung der Richtigkeit meiner Auffassung finde ich in der

---

2) Dass dies auch für die Segmentirung der gewöhnlichen Scheitelzellen sehr wahrscheinlich ist, werde ich anderwärts zu begründen suchen. Hier nur Folgendes. Ist die neue Segmentwand einer z. B. dreiseitig pyramidalen Scheitelzelle einer ihrer Seitenflächen parallel, so wird von der Scheitelzelle eine ihr ähnlich geformte abgeschnitten; auf einem medianen Längsschnitt, der die beiden fraglichen Wände trifft, muss sich die Wölbungslinie der alten zu der der neuen Scheitelzelle wie $\sqrt[3]{2} : 1$ oder fast wie 5 : 4 verhalten, wenn Halbirung eingetreten ist, und manche Bilder entsprechen dieser Forderung.

von Rostafinski gegebenen Darstellung der Vorgänge im Scheitel von Fucus vesiculosus (vergl. unsere Fig. 6 Taf. III), wo nach Abgliederung eines Basalsegments und zweier »flächensichtigen« Segmente die Scheitelzelle in zwei Hälften zerfallen kann [1]), die entweder beide zu normalem Gewebe sich umbilden, oder beide wie Scheitelzellen sich verhalten können, oder endlich nur die der Axe zugekehrte Hälfte behält den Character einer Scheitelzelle; es können somit bei Fucus vesiculosus Scheitelzellen unbestimmter Zahl nebeneinander liegen und einen »Scheitelrand« darstellen.

## § 7. Bildungscentrum, Axe, Scheitel, Vegetationspunkt.

Diese Begriffe sind für die Morphologie ebenso wie für die Physiologie des Wachsthums von ganz fundamentaler Bedeutung, denn sie beziehen sich auf die innere und äussere Symmetrie der Pflanze, die allen morphologischen Erwägungen immer, wenn auch meist stillschweigend zu Grunde liegen und ohne welche eine tiefere Einsicht in die Wachsthumsvorgänge und alle mit ihnen zusammenhängenden Bewegungen nicht zu erreichen ist.

Da ich nun bei den vorausgehenden Betrachtungen über die Zellenanordnung im Urmeristem ebenfalls genöthigt war, diese Begriffe vielfach zu benutzen, und da andererseits befriedigende Definitionen derselben in der Literatur nicht zu finden sind [2]), so erlaube ich mir hier nachträglich eine Reihe von Sätzen aufzustellen, welche den wahren Zusammenhang dieser Begriffe unter sich hervorheben sollen. Statt ausführlicher Begründungen, welche sehr viel Raum beanspruchen würden, werde ich mich dabei mit dem Hinweis auf allbekannte Beispiele begnügen.

Die Begriffe Bildungscentrum, Axe, Scheitel, Vegetationspunkt finden ihre unumschränkte Anwendung nur bei höher entwickelten Pflanzen, zu denen hier allerdings auch die Mehrzahl der Thallophyten zu rechnen ist. Unter diesen aber sind die am niedrigsten Organisirten (viele einzellige, mit Ausnahme der Siphoneen) dieses eben deshalb, weil ihre Organisation zu einfach oder zu unregelmässig ist, um die Anwendung jener Begriffe auf sie zu gestatten. Sollen diese also klar gelegt werden, so müssen wir die Beispiele unter den höher organisirten suchen.

Querschnitt eines Pflanzentheils nennen wir einen solchen Schnitt, in welchem wir ein Bildungscentrum auffinden, welches innerhalb der Schnittfläche keine Verrückung erfährt. Das Bildungscentrum oder der

---

1) Die Theilungswand würde bezüglich unserer Fig. 6 Taf. III parallel der Papierebene liegen.

2) Der durchaus fehlerhaften Definition Hofmeister's (Allg. Morph. p. 405, 406), wonach die »Längslinie oder Axe« eines Pflanzentheiles »die dauernd begünstigte Richtung der Volumenzunahme« sein soll, bin ich bereits in meinem Lehrbuch § Wachsthumsrichtungen (z. B. IV. Aufl. p. 206 ff.) entgegengetreten.

organische Mittelpunkt ist der Punkt der Schnittfläche, auf welchen die gesammte Structur derselben als auf den Ausgangspunkt für ihre räumliche Orientirung hinweist. Obgleich dieser Punkt keineswegs mit dem geometrischen Mittelpunkt zusammen zu fallen braucht (z. B. bei hypo- oder epinastischen Zweigen von kreisförmigem Querschnitt), zweifelt doch kein Botaniker an seinem Vorhandensein und seiner Lage in irgend einem gegebenen Fall; es genügt hierfür der Hinweis auf Querschnitte von Wurzeln, Stengeln, Früchten, Blättern u. s. w. Jeder weiss, dass er nur dann einen wirklichen Querschnitt vor sich hat, wenn diese Beziehung der Organisation auf den einen Punkt ganz klar und einleuchtend hervortritt. Zur Erläuterung, wenn eine solche nöthig wäre, mag unser Holzschnitt 2 und 7 dienen. Auch wenn man ein bis dahin ganz unbekanntes Organ beliebig durchschneidet, weiss man daher, ob der Schnitt ein Querschnitt ist oder nicht.

Da nun, was ein Querschnitt sei, jederzeit leicht zu constatiren ist, so kann man daraus die Lage und Form der Längsaxe (Axe, Wachsthumsaxe) ableiten: es ist diejenige gerade oder krumme, durch den organischen Mittelpunkt gehende Linie, auf welcher der gegebene Querschnitt senkrecht steht; hat man zahlreiche, wenn auch unter sich nicht sehr ähnliche Querschnitte eines Organs, so ist die Verbindungslinie ihrer organischen Centra die Axe.

Ein Schnitt, welcher die Axe enthält (sie nicht schneidet), ist ein medianer Längsschnitt. Je nach den Symmetrieverhältnissen des Organs kann dasselbe nur einen oder mehr mediane Längsschnitte zulassen. Ist das Organ schraubenförmig gekrümmt (z. B. bei einer gewickelten Ranke), so ist es auch die Axe, und ein medianer Längsschnitt ist zwar denkbar, aber praktisch nicht ausführbar. Die Entstehung der Längsaxe eines Organs kann man sich so vorstellen, dass der organische Mittelpunkt eines Querschnitts sich nach einer Richtung hin geradlinig oder krummlinig fortbewegt. Der Ausgangspunkt dieser Bewegung ist dann die Basis des Organs, das Ziel derselben die Spitze, oder der Scheitel. Je nach den Wachsthumsverhältnissen kann diese Bewegung des organischen Mittelpunktes oder des Bildungscentrums im Verhältniss zum radialen Wachsthum rasch oder langsam sein, davon hängt dann die Gesammtform des Organs ab, ob es in Richtung der Axe niedrig (Stammtheil vieler Zwiebeln, Crocusknollen, Isoëtesstämme, manche Früchte von Cucurbita, Hura crepitans u. a. m.) oder langgezogen ist. Die Axe ist weder die Richtung des raschesten noch die des dauerndsten Wachsthums, sondern die Linie, welche das durch das Wachsthum verschobene Bildungscentrum beschreibt. Unterbleibt diese Bewegung, wie bei den Thallusscheiben von Coleochaete scutata, so giebt es wohl einen Mittelpunkt, aber keine wirkliche (sondern nur eine gedachte) Längsaxe; ist sie sehr gering, so gibt es eine niedrige Scheibe, wie bei Melobesia.

Nach dem Ausgangspunkt unserer Betrachtung ist das Bildungscentrum immer auf dem Querschnitt zu finden; auf dem medianen Längsschnitt kann es sichtbar sein oder nicht. Nicht sichtbar ist es, wenn der Längsschnitt des Vegetationspunktes einen nicht confocalen Bau hat; wenn aber in diesen Fällen die Structur eine coaxiale ist, so ist auf dem medianen Längsschnitt wenigstens die Lage der Axe zu ermitteln (vergl. z. B. Wurzelhauben wie Fig. 11, 12, Taf. IV). Ist dagegen die Structur des Vegetationspunktes eine confocale, so ist der Focus der Anti- und Periclinen das organische Centrum, welches auch auf dem Querschnitt als solches erscheint. Der Scheitel des Vegetationspunktes fällt also nicht mit dem organischen Centrum zusammen. Gewöhnlich liegt das letztere in der Substanz des Vegetationspunktes, wie bei Fig. 1, 2, 3, 7, 8, 11, 12 auf Taf. III, IV. Es kann aber auch vorkommen, dass das Bildungscentrum (Focus der Anti- und Periclinen) ausserhalb des Vegetationspunktes, über dem Scheitel liegt, wie Fig. 5, 6 Taf. III. — Bei confocaler Structur ist der gewöhnliche Fall der, dass der Weg, den der Focus (das Bildungscentrum) beschreibt, also die Längsaxe des Organs, auch zugleich die Axe der Peri- und Anticlinen darstellt (vergl. Fig. 1, 2, 3, 5, 6 Taf. III); es scheint jedoch auch vorzukommen, dass die Wachsthumsaxe eines medianen Längsschnittes mit dem Parameter sämmtlicher Constructionslinien zusammenfällt, wie in Fig. 9, 10 Taf. IV, wo $xx$ und $yy$ dieselbe geometrische Bedeutung wie in Fig. 1, 2, 3 haben, aber bezüglich des Längsschnittes so orientirt sind, dass hier der Parameter der Parabeln die Längsaxe des Wachsthums darstellt. Jedenfalls sind derartige Constructionen theoretisch möglich; ob sie wirklich vorkommen, lasse ich noch dahingestellt. Doch scheint es, dass Fig. 9 vielleicht dem Zellnetz junger Blätter von Sphagnum (Nägeli in Pflanzenphys. Unters. Heft I, Taf. IX) und Fig. 10 dem Flächenschnitt von Metzgeria furcata (Kny, Jahrb. f. wiss. Bot. IV, Taf. V) entspricht. — Wäre dieses Constructionssystem wirklich vorhanden, so würden die beiden Systeme der Constructionscurven jedes gleichzeitig den Namen von Peri- und Anticlinen tragen müssen, sie sind daher mit $AA$ und $A'A'$ bezeichnet; bezüglich des rechten Blattrandes von Fig. 10 sind alle $AA$ Anticlinen, bezüglich des linken Randes aber zugleich Periclinen und umgekehrt bei den $A'A'$. Verweilen wir noch einen Augenblick bei dieser wenn auch bezüglich ihres Vorkommens nicht zweifelfreien, doch möglichen Structur eines Blattes, so bemerkt man (Fig. 9), dass das Bildungscentrum in diesem Falle an der Basis liegt; indem das Blatt wächst, bewegt sich sein Bildungscentrum so zu sagen nach dem Stengel hin, d. h. das Blatt wird aus dem Stengel hinausgeschoben, oder, wie man zu sagen pflegt, es wächst basipetal. Dies aber schliesst gar nicht aus, dass die Zelle am freien Ende des Blattes durch ihre Theilungen den Eindruck einer Scheitelzelle macht, was sie im gewöhnlichen Sinne des Wortes gar nicht ist. Wir hätten hier einen weiteren Fall, den die bisherige

Auffassung der Scheitelzelle kaum zu erklären vermöchte. — Bei Fig. 10 fallen diese Bedenken weg, da hier, trotz der hypothetisch vorausgesetzten Structur, doch die Scheitelzelle eine echte Scheitelzelle im gewöhnlichen Sinne des Sprachgebrauches ist.

Bezeichnet man als Scheitel denjenigen Punkt, in welchem die verlängerte Wachsthumsaxe die Oberfläche des Vegetationspunktes schneidet[1]), so leuchtet ein, dass der Scheitel gar nicht in die eigentliche Wachsthumsaxe selbst zu fallen braucht, nämlich dann, wenn das Bildungscentrum (Focus) im Vegetationspunkt selbst liegt (wie in Fig. 1, 2, 3, 7, 8, 11 Taf. III, IV). Nach unserer Definition war die Axe der Weg, den das Bildungscentrum beschreibt; liegt aber, wie in diesen Fällen, der Scheitel über dem Bildungscentrum (dem Focus), so liegt er nicht auf diesem Wege selbst, sondern nur in der verlängert gedachten Richtung desselben.

Nach Alledem erhebt sich nun noch die Frage, was der Vegetationspunkt sei. Dass er nicht der Ort des raschesten Wachsthums ist, wurde oben zur Genüge erwiesen. Wohl aber ist der Vegetationspunkt eines Organes der Ausgangspunkt seiner Gestaltung und zugleich seiner Aussprossungen. Verfolgt man die Configuration des inneren Baues von den älteren, differenzirten Gewebemassen aus bis zum Vegetationspunkt hinauf, so nimmt die Differenzirung und Selbständigkeit der Zellen und Gewebeschichten mehr und mehr ab, bis sie alle in dem indifferenten Urmeristem des Vegetationspunktes gewissermassen zusammenfliessen. Oder auch, aus dem Vegetationspunkt fliessen gewissermassen die sich differenzirenden Gewebe heraus, wie aus einer unerschöpflichen Quelle; aber die Quantität, welche das Urmeristem liefert, ist sehr gering; die Hauptmassenzunahme der Zellen findet statt, indem sie sich differenziren und aus dem Urmeristem herausgetreten sind, ein merkwürdiger, kaum mit irgend etwas sonst vergleichbarer Vorgang.

Aber aus dem Urmeristem des Vegetationspunktes entstehen nicht nur die Gewebemassen desselben Organes, welches durch die Längsaxe mit dem Vegetationspunkt verbunden ist, sondern auch neue Organanlagen, neue Auswüchse, die ihre eigene Wachsthumsaxe haben, Auszweigungen, Sprossungen ähnlicher oder verschiedener Art, wie die des Mutterorgans.

Beachten wir nun die Thatsache, dass alle neuen Sprossungen mit ihren Vegetationspunkten aus früheren Vegetationspunkten abstammen, dass endlich der erste Vegetationspunkt, aus dem alle anderen (z. B. eines Baumes) abzuleiten sind, aus dem Urmeristem des Embryos oder doch der ersten Sprossanlage (bei Moosen und sonst) entstanden ist, so

---

1) Die Erfahrung zeigt, dass dieser Punkt gewöhnlich der Ort der stärksten Krümmung der Umfangslinie des Längsschnittes ist; flacht sich der Scheitel ab, so haben wenigstens die ihm nächsten Anticlinen eine stärkere Krümmung als die entfernteren.

kommt man zu dem Resultat, dass alle Vegetationspunkte einer reichverzweigten Pflanze direct aus dem Embryo abstammen, dass das Urmeristem am Ende der Sprosse eines Baumes ganz unmittelbar (d. h. ohne Vermittelung von Dauergewebe) aus dem Urmeristem des Embryos entstanden ist. Die Vegetationspunkte rücken von einander weg, sie stossen sich gewissermassen gegenseitig ab, indem ihre basalen Gewebetheile sich in differenzirte Gewebe verwandeln, welche lebhaft wachsen und dann Dauergewebe darstellen. Jeder Vegetationspunkt ist gewissermassen ein Ueberrest des Urmeristems, aus welchem sich die erste Sprossanlage einer Pflanze entwickelt. Durchlaufen wir in Gedanken rückwärts alle die Wege, welche die Vegetationspunkte eines Baumes beschrieben haben, so fliessen diese Wege nach und nach sämmtlich zusammen, wie Bäche zu einem Hauptstrome; sie vereinigen sich im Hauptstamm, an dessen Basis (dem Wurzelhalse) der Punkt liegt, wo einst das Urmeristem des Embryos sich befand.

Durch diese Betrachtung gewinnt man auch eine richtige Unterscheidung der normalen und adventiven Sprossung, über welche sich die Schriftsteller noch immer nicht geeinigt haben. Sprossungen, welche sich aus irgend einem Vegetationspunkt entwickeln, sind normale, sie lassen sich alle als directe Descendenz des embryonalen Anfangsgewebes der Pflanze auffassen. Gelegentlich aber können im Dauergewebe selbst neue Vegetationspunkte entstehen; diese sind dann adventive.

---

# 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: Ueber die Anordnung der Zellen in jüngsten Pflanzentheilen 46-104