

Das
Skelet der Pflanzen.

Von

Henry Potonié,
Zweiter Assistent des Kgl. botanischen Gartens zu Berlin.

Mit 17 Holzschnitten.

CGH

Berlin SW., 1881.

Verlag von Carl Habel.

(C. G. Föderitz'sche Verlagsbuchhandlung.)
33. Wilhelm-Straße 33.

Das Recht der Uebersetzung in fremde Sprachen wird vorbehalten.

Bis zum Erscheinen des epochemachenden Werkes **S. Schwendener's** über das mechanische Princip im anatomischen Bau der Monocotylen mit vergleichenden Ausblicken auf die übrigen Pflanzenklassen im Jahre 1874 haben die Botaniker von einem Skelet der Pflanzen, welches ausschließlich für die Festigkeit des Körpers zu sorgen hätte, wie dies vom Skelet der Thiere gilt, nicht gesprochen. Zwar sah ein jeder ohne weiteres ein, daß z. B. die harten, sehr widerstandsfähigen Hüllen, welche oft die Samen umgeben, wie bei den Kirschen, Pflaumen, Mandeln und Nüssen, einzig den Zweck haben könnten, dem Samen einen Schutz gegen mechanische oder chemische Einflüsse zu gewähren; daß jedoch sonst in den Pflanzen ein zusammenhängendes mechanisches System vorhanden sei, welches dem bei den Thieren vorhandenen Skelet vergleichbar wäre, hat vor 1874 Niemand erkannt. Vielmehr mußte man sich auf die Beschreibung des Baues und des Vorkommens der Elemente dieses Systems beschränken, ohne über die Funktion, die Bedeutung desselben irgend etwas Befriedigendes aussagen zu können, wodurch viele Unklarheiten in der botanischen Anatomie unvermeidlich waren. Stillschweigend mochte man sich vorstellen, daß, wie bei vielen Thieren, den Quallen, Nacktschnecken und anderen, und bei ganzen Pflanzenabtheilungen, wie den Algen und Pilzen, die Organe an und für sich genügende Festigkeit besäßen, ohne einer besonderen Unterstützung durch Skeletttheile zu bedürfen, daß also im Gegen-

faß zu allen höher organisirten Thieren bei den Pflanzen im Allgemeinen eine Theilung der Arbeit nach dieser Richtung hin nicht stattgefunden hat. Erst Schwendener ist es also gelungen, das Vorhandensein eines specifisch mechanischen Systems, eines Skelets, welchem er den Namen Stereom gegeben hat, in bewunderungswürdiger Weise durch eine umsichtige Begründung nachzuweisen. Seitdem bemühen sich einige seiner zahlreichen Schüler, dieses Gebiet weiter auszubauen; jedoch hat bereits Schwendener die Sache in so eingehender Weise behandelt, daß wesentlich Neues kaum hinzugefügt werden kann. In den Abhandlungen seiner Schüler kommen immer nur neue, weitere Belege der von Schwendener gegebenen Principien oder entwickelungsgeschichtliche Untersuchungen zur Darstellung.

An dieser Stelle kann es sich natürlich nur darum handeln, einen allgemeinen Ueberblick des Wichtigsten zu geben¹⁾ und zwar bemerke ich ausdrücklich, daß hier nur vom specifischen Skelet der Pflanzen gesprochen werden soll, ohne auf sonstige mechanische Einrichtungen, wie sie außerdem bei den Pflanzen zahlreich vorkommen, einzugehen. Für ein speciellcs Studium der bisher auf diesem Gebiete behandelten Probleme muß auf die Arbeiten Schwendener's verwiesen werden, der hier der Meister und für die künftige Forschung das Vorbild ist.

Elementargebilde des Skelets.

Es ist allbekannt, daß die Untersuchung organischer Gebilde vermittelst des Mikroskopes zu der Ueberzeugung führte, daß alles Organische schließlich aus meist mikroskopisch kleinen elementaren Gebilden zusammengesetzt ist, die im einfachsten Falle aus einer eiweißartigen, schleimigen, unter dem Mikroskop homogen erscheinenden Substanz bestehen, deren äußerste Schicht immer wasserärmer ist als die inneren Partien. Am häufigsten zeigt diese Masse, das Protoplasma, Differenzirungen, deren Betrachtung wir übergehen. In den meisten Fällen besitzen diese

organisirten Tröpfchen eine besondere feste Membran, durch welche sie von der Außenwelt abgeschlossen werden. Man nennt diese Gebilde Zellen, Elementarorganismen. Schließen mehrere Zellen derart aneinander, daß sie unter sich verwachsen sind, so nennt man diesen Complex ein Gewebe, und die verbundenen Membranen werden dann als Intercellularsubstanz²⁾ bezeichnet. Je nach der verschiedenartigen Gestaltung der Zellen unterscheidet man verschiedene Gewebe. Den Organismen sind als Bausteine die Zellen gegeben, nur aus diesen construiren sie ihren Leib.

Die Elementargebilde der Knochen sind nun, wie man schon a priori vermuthen kann, Zellen mit stark entwickelter Intercellularsubstanz, da diese am besten befähigt erscheinen, mechanischen Einflüssen Widerstand zu leisten; ebenso verhält es sich mit den Skelet-Stereom-Zellen (Stereiden) der Pflanzen. Gerade wie sich jedoch auch bei den Thieren weichere Gewebemassen als die Knochen vorfinden, die aber ebenfalls mechanische Funktion haben, nämlich der Knorpel, ebenso besitzen die Pflanzen ein Gewebe, welches das Stereom in besonderen Fällen vertritt. Es führt den Namen Collenchym.

Das Knochengewebe, Fig. 1³⁾, verdankt seine Festigkeit



Figur 1. Knochengewebe. Die zwischen den ovalen bis rundlichen Zellen befindliche Intercellularsubstanz ist von feinen Canälen durchzogen.

und Härte der Einlagerung harter, erdiger Bestandtheile (wie kohlensaurer und phosphorsaurer Kalk) in die von feinen Canälen

durchgezogene Intercellularsubstanz. Sobald die Einlagerung geschehen ist, hört das Wachstum des Knochengewebes auf. Knorpel unterscheidet sich hiervon im Wesentlichen nur durch das Fehlen der Einlagerungen, so daß jugendlicher Knochen Knorpel ist. Die Knochen wachsen ausschließlich, wie jetzt allgemein angenommen wird⁴⁾, an den Außenflächen, indem ein hier befindliches Gewebe erst Knorpel bildet, der dann verknöchert. Nur Knorpel ist wachsthumsfähig. Bekanntlich giebt es Knorpel, der niemals verknöchert, sondern lebenslänglich die weichere Consistenz beibehält.

Die Anführung dieser Verhältnisse an diesem Orte ist deshalb von Interesse, weil das Collenchym insofern sich wie das Knorpelgewebe verhält, als es ebenfalls allein wachsthumsfähig ist, während das typische Stereom, sobald es einmal ausgebildet ist, wie die Knochen nicht weiter zu wachsen vermag. Auch in einer anderen Beziehung kann Uebereinstimmung stattfinden, insofern als Stereom aus Collenchym oder doch collenchymatischem Gewebe sehr oft entsteht. Der Hauptunterschied der Funktionen des Stereoms und des Collenchyms besteht also darin, daß ersteres in fertigen, d. h. nicht mehr wachsenden, sich vergrößernden Organen vorhanden ist, während letzteres in lebenslänglich wachsenden Organen sich findet.

Das typische Stereom, Fig. 2, besteht aus langgestreckten, sehr dickwandigen Zellen mit häufig äußerst verengerter Höhlung, die fast gänzlich verschwinden kann. Die Membranen weisen häufig linkschiefe⁵⁾ gerichtete Tüpfel oder Poren, d. h. unverdickt gebliebene Membranstellen auf. Aus der Richtung der Tüpfel und aus anderen Gründen wird auf eine linkschiefe reihenförmige Anordnung der die Membran zusammensetzenden Molekülgruppen (Micelle) geschlossen. Diese Membranen sind sehr fest, entbehren jedoch der erdigen Einlagerungen in dem Maße, wie sie die Knochen zeigen. Im fertigen Zustande führen die Stereomzellen Luft oder in vielen Fällen auch Saft. Zum Stereom

gehören die echten Bastzellen und die Fibriformzellen oder -Fasern der Autoren, auch Holzzellen genannt. Sie



Figur 2a.

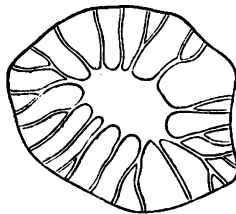


Figur 2b.

Stereomgewebe. a, die Zellen in der Längsansicht zeigend mit linkschiefen, spaltenförmigen Poren in den Membranen. Die Zellenhöhlungen pflegen weit enger, also die Membranen verdickter zu sein; es wurde jedoch obige Figur gewählt, um die Poren anschaulicher machen zu können. b Querschnitt.

erreichen gewöhnlich eine Länge von 0,001—0,002 m; jedoch können dieselben 0,22 m Länge erreichen (*Boehmeria nivea*).

Die Zellen, welche das steinharte Gewebe bilden, das die Samen schützt, Fig. 3, nähern sich gewöhnlich der Kugelform

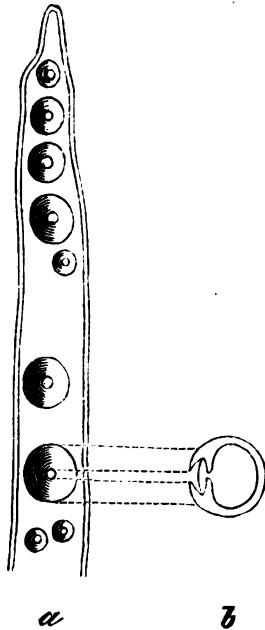


Figur 3. Sclerenchymzelle mit stark verdickter Membran, in welcher Canäle verlaufen.

(747)

und haben unverkennbare Ähnlichkeit mit den Knochenzellen. Die Poren stellen hier längere Canäle dar. Die Zellen heißen Sklerenchym- oder Steinzellen.

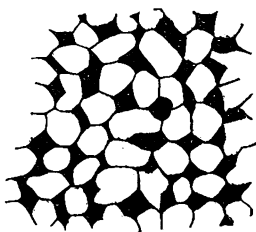
Eine bei den Nadelhölzern und den Drachenblutbäumen (*Dracaena*) verbreitete Form sind die Tracheiden mit gehöftten Köpfeln. Die unverdickt bleibenden Membranstellen sind großkreisförmig und die Verdickung überwölbt die Stelle auf beiden Seiten der Membran mit Zurücklassung einer kleinen centralen Oeffnung in der Wölbung. Es kommt hierdurch — von oben auf die Membranfläche — gesehen die in Fig. 4a gegebene Ansicht zu Stande, während der Querschnitt das in Fig. 4b schematisch



Figur 4. a. Stück einer Tracheide in der Längsansicht mit 9 gehöftten Köpfeln. b. Schematischer Querschnitt durch eine Tracheide, der so geführt gedacht ist, daß der Schnitt durch die centrale Oeffnung in der Wölbung eines Köpfels geht. — Die Projektionslinien sollen das Verständnis erleichtern.

dargestellte Bild gewährt. Diese Zellen haben, wie es scheint, nebenbei die Funktion, den nothwendigen Gasaustausch zwischen den verschiedenen Organen zu vermitteln oder doch durch die dünnen Membranstellen zu erleichtern. Es kommen überhaupt mehrfach Fälle vor, daß Zellen, deren Hauptfunktion in einer mechanischen Leistung besteht, noch anderen Funktionen dienen, ebenso wie andererseits gewisse Zellen, die nicht zum mechanischen System gerechnet werden können, nebenher mechanische Bedeutung besitzen. Die Besprechung solcher Fälle ist hier ausgeschlossen.

Auch die typischen Collenchymzellen, Fig. 5, haben eine läng-



Figur 5. Collenchym-Gewebe im Querschnitt. Die Zellen zeigen besonders in den Kanten auffallend stark verdickte Membranen.

liche Gestalt. Ihre weicheren Membranen besitzen ebenfalls häufig, hier meist längsgerichtete (sonst auch runde) Poren. Die besondere Eigenthümlichkeit dieser Zellen besteht in der ungleichmäßigen Verdickung der Membranen, die vorzugsweise in den Kanten, mit welchen mehrere benachbarte Zellen zusammenstoßen, Platz greift. Im Gegensatz zu den vorzugsweise Luft führenden typischen Stereomzellen sind die Collenchymzellen stets mit Saft gefüllt. Auch sie können noch einer Nebenfunktion dienen, indem das Collenchym häufig zur Assimilation beiträgt. In den einzelnen Collenchymzellen herrscht ein Druck von 9 bis 12 Atmosphären und dieser trägt wesentlich zur Druck-Festigkeit des Collenchyms bei⁶). Wie bereits erwähnt, wird dieses Ge-

(749)

webe überall dort von der Pflanze verwandt, wo noch Wachstum stattfindet: es ist das wachsthumsfähige mechanische Gewebe. Daher bestehen denn auch Stereomsysteme an denjenigen Stellen des Organs, wo noch Wachstum stattfinden kann, aus Collenchym, mit dem das Stereom continuirlich verbunden ist (Stengel-Knoten der Gramineen).

Die angeführten mechanischen Zellformen sind die häufigsten, jedoch ist festzuhalten, daß zwischen ihnen und anderen Zellformen gelegentlich Mittelformen auftreten, und daß nicht selten Zellen vorkommen, die weder ganz dem einen noch dem anderen Typus zugezählt werden können. Es lassen sich eben auch hier, wie überhaupt in so vielen Fällen, absolut scharf definirbare Grenzen zwischen den verschiedenen Formen nicht angeben.

Festigkeit der mechanischen Zellen.

Die typischen Stereomzellen besitzen eine bedeutende Festigkeit. Ein Faden frischer Bastzellen von 1 qmm Querschnitt z. B. vermag je nach der Pflanzenart, welcher derselbe entnommen ist, ungefähr 15—20, in seltenen Fällen 25 Kilo zu tragen, ohne daß der Faden nach Entfernung der Gewichte eine dauernde Verlängerung erfahren hätte, d. h. ohne daß seine Elasticitätsgrenze überschritten worden wäre. Ein Eisen- oder Stahldraht oder -Stab von gleichem Querschnitt trägt 13,13—24,6 Kilo, woraus ersichtlich ist, daß das Tragvermögen des stärksten Stereoms demjenigen des Eisens nicht nachsteht. Es besteht jedoch der Unterschied, daß der Bast, sowie die Elasticitätsgrenze um ein ganz Geringes überschritten wird, sofort reißt, während die Eisendrähte nur eine dauernde Verlängerung erfahren und erst bei einer weit höheren Belastung, Schmiedeeisen in Stäben z. B. bei 40 Kilo auf den Quadratmillimeter, zerreißen.

Einiges aus der Festigkeitslehre.

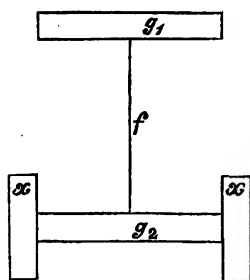
Bevor wir nun an die Betrachtung der Anordnung des

Skeletes bei den verschiedenen Pflanzen selbst gehen, ist es vielleicht geboten, vorerst einige elementare Punkte aus der Mechanik, specieller aus der Ingenieurwissenschaft zu berühren, deren Kenntniß zum Verständniß des Folgenden nothwendig ist.

Bei Bauten und haultichen Constructionen handelt es sich aus pecuniären und Zweckmäßigkeit=Gründen immer darum, mit möglichst wenig Materialaufwand das bestmögliche Resultat zu erzielen. Es sind dabei theoretische Betrachtungen und experimentelle Erfahrungen nothwendig, welche Aufschluß darüber geben, wie die Anordnung des Materials für gegebene Fälle am besten geschieht.

Denken wir uns einen aufrechten, in der Erde starr befestigten vierkantigen Balken, an dessen Spitze ein Tau angebracht ist, welches am anderen Ende als Handhabe dient, um den Balken einem seitlichen Zug auszusetzen, so ist es klar, daß die Zugkraft bestrebt ist, den Balken zu biegen, daß also dieser, wie man sich ausdrückt, biegungsfest gebaut sein muß, wenn er der Einwirkung widerstehen soll. Es leuchtet nun ohne weiteres ein, daß zwei Flächen des Balkens, nämlich die der Zugstelle zugewandte und die gegenüberliegende, vorzugsweise dem Angriff ausgesetzt sind, also den größten Widerstand zu leisten haben. Und zwar ist der Zug bestrebt, die abgekehrte Seite zu verlängern und die zugekehrte zu verkürzen, während im Centrum des Balkens, der sogenannten neutralen Schicht, eine Spannung nicht stattfinden wird. Von der zu- und abgekehrten Fläche bis zur neutralen Faser nimmt die Spannung allmählich ab. Soll daher der Balken mit einerlei Material construirt werden, so daß möglichst wenig verbraucht wird, so ist es angezeigt, dasselbe solid für die gezogene und gedrückte Seite zu verwenden, während für die Verbindung dieser Theile ein Maschensystem, ein Gitterwerk genügt. Stehen zwei Arten von Material zu Gebot, so muß das festere für die zu- und abgekehrte Seite, das weniger gute als Verbindungsmittel be-

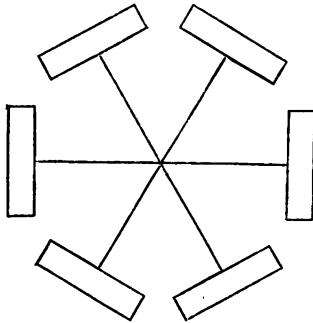
nutzt werden. Den am stärksten gezogenen Theil des Balkens nennt man die Zuggurtung, den am stärksten gedrückten die Druckgurtung, und das Verbindungsmaterial wird als Füllung bezeichnet. Den ganzen Apparat nennt man einen T-Träger, weil man dem Querschnitt die Form eines Doppel-T (I) zu geben pflegt, bei welchem die beiden Querstriche die Gurtungen, die Verbindungslinie die Füllung darstellt. Ist die Querschnittsform mehr I-förmig, so spricht man von einem I-Träger. Es läßt sich berechnen, daß das Widerstandsvermögen des biegungsfesten Balkens wächst mit der Größe des Abstandes der beiden Gurtungen von einander und mit der Stärke derselben. Für die Druckgurtung ist jedoch außer der Größe des Querschnitts noch die Form von Bedeutung, während letztere für die Zuggurtung gleichgültig ist, für welche eine Kette oder ein Tau Verwendung finden kann. Die Druckgurtung ist nämlich geneigt, bei übermäßiger Inanspruchnahme seitlich auszubiegen oder einzuknicken, und man giebt derselben aus diesem Grunde die Form eines liegenden T-Trägers (1—1), dessen Füllung die Druckgurtung selbst ist. Es hat daher schematisch ein solcher complicirterer Träger auf dem Querschnitt die Form Figur 6.



Figur 6. f Füllung der Zuggurtung g_1 und der Druckgurtung g_2 , welche letztere gleichzeitig ihrerseits Füllung der Gurtungen x ist.

Diese T-Träger-Construction ist natürlich nur ein einseitig biegungsfester Apparat und nur da zu verwenden, wo

die Kräfte nur in einer Richtung wirken. Denken wir uns aber nun mehrere solcher Träger derart combinirt, daß sie die neutrale Ase in der Mitte jeder Füllung gemeinsam haben und daher im Querschnitt einen mehrstrahligen Stern wie Figur 7 darstellen, so erhalten wir eine in verschiedenen Rich-



Figur 7. Querschnitt durch eine mehrseitig biegungsfeste Konstruktion.

tungen biegungsfeste Konstruktion. Durch seitliche Verbindung der Gurtungen untereinander erhalten wir einen Cylinder, und wählen wir diese Verbindung von gleicher Festigkeit wie die Gurtungen selbst, so erreichen wir einen allseitig biegungsfesten Apparat, in welchem die gegenüberliegenden Verbindungsglieder als zusammengehörige Gurtungen betrachtet werden können. Nunmehr kann man sich auch die Füllungen der einzelnen Gurtungen hinwegdenken, ohne daß die Leistungsfähigkeit dieses dadurch entstehenden in der Architektur häufig verwandten hohlen Cylinders herabgemindert würde, da in diesem Falle die gegenüberliegenden Gurtungen, die je nach der Richtung der gerade einwirkenden Kraft einmal Zug-, ein andermal Druck-Gurtungen sein können, untereinander — und zwar seitlich — verbunden bleiben.

Die besprochenen Apparate, der T-Träger und hohle Cylinder, sind, wie wir sahen, Konstruktionen, die dort Verwendung finden, wo einer biegenden Kraft Widerstand zu

leisten ist, und die hohle Säule wird besonders häufig von den Ingenieuren als Strebe- und Stützmittel, wie zu Säulen, Pfosten und Ständern verwandt. Anders ordnen sie ihr Material, wenn es sich um zugfeste Einrichtungen handelt. Wie wir bereits bemerkten, kommt es für die allein auf Zug in Anspruch genommene Gurtung nicht auf die Querschnittsform an, sondern die Widerstandsfähigkeit ist einzig von der Menge des verwendeten Materials abhängig. Jedoch ist darauf zu achten, daß der ausgeübte Zug gleichmäßig auf alle Elemente einwirkt. Um dieses zu erzielen, bedienen sich die Ingenieure im allgemeinen eines soliden Körpers.

Nach diesen mehr theoretischen Betrachtungen gehen wir nun über zur Besprechung des Skeletes bei den verschiedenen Pflanzen. Es muß jedoch nochmals betont werden, daß nur auf die Betrachtung solcher Pflanzen eingegangen wird, die typisch mechanisches Gewebe besitzen, wie es Eingangs beschrieben wurde, ohne auf den mechanischen Aufbau der Pflanzen oder Organe Rücksicht zu nehmen, die eines solchen Gewebes entbehren. Kurz, es handelt sich hier einzig um das Skelet und seine Verwendung.

Ein eigentliches Skelet besitzen die Pflanzen erst, wenn wir von den einfachsten Organismen ausgehen, von den Moosen an bis zu den complicirtesten Gewächsen hinauf; jedoch giebt es auch unter den letzteren solche, die eines specifisch mechanischen Gewebes gänzlich entbehren, weil sie desselben nicht bedürfen.

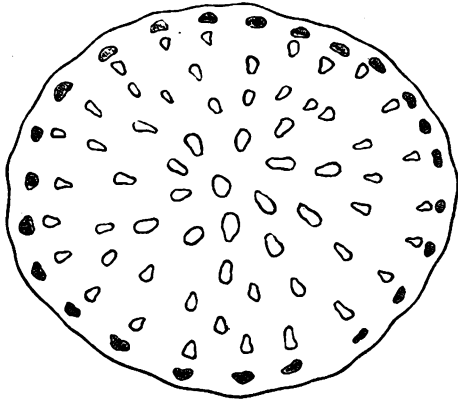
Skeletformen in allseitig biegungsfesten Organen.

Wenn wir an die äußeren Erscheinungsformen der Pflanzenorgane denken, so wird uns sofort klar, daß ein sehr großer Theil derselben biegungsfest sein muß. Die Stiele der gewöhnlich mehr oder minder wagrecht abstehenden Blätter

haben dem Gewichte der Blattfläche und den auf dieselben einwirkenden Kräften Widerstand zu leisten. Ein Baumstamm und überhaupt aufrechte Stengeltheile müssen das Gewicht der Krone resp. der oberen Organe tragen und seitlich den nach allen Richtungen wirkenden Winden Widerstand leisten. Eine Untersuchung solcher Organe ergibt nun auch, daß in denselben die mechanischen Elemente nach den erwähnten mechanischen Principien angeordnet sind, da es natürlich für die Pflanze von Vortheil sein wird, mit möglichst wenig Materialaufwand die erforderliche Biegungsfestigkeit zu erreichen. Nach dem Gesagten können wir schon ohne weiteres vermuthen, daß in solchen Fällen das Skelet die Form eines hohlen Cylinders annehmen oder sich doch auf diesen zurückführen lassen wird. In der That bestätigt sich diese Annahme, so gut man nur wünschen kann. Bei den Moosen, Farnkräutern, der Abtheilung der Monocotylen mit wenigen Ausnahmen, die hier wie überhaupt ein für allemal übergangen werden, und bei den einjährigen Dicotylen, d. h. den Pflanzen, die vom Samen bis zur Frucht reife nur eines Jahres bedürfen, findet sich in den biegungsfesten Organen überall die geforderte Construction. Betrachten wir einige concrete typische Fälle.

Wenn man unter dem Mikroskop den Querschnitt des cylindrischen Blüthenschaftes oder eines Blattstieles des Aronsstabes (*Arum maculatum*), die im Wesentlichen übereinstimmen, untersucht, so findet man unter dem einzellschichtigen Hautgewebe, der Epidermis, in gleichen Abständen von einander 15—25 Gewebecomplexe aus Bastzellen, Figur 8, die unter der Haut längsverlaufende Stereomstränge darstellen. Je zwei gegenüberliegende Rippen können als I-Träger aufgefaßt werden und bilden zusammengenommen durch ihre ringförmige Anordnung einen allseitig biegungsfesten, allerdings unterbrochenen Cylinders. Das übrige Gewebe, welches einer anderen Funktion dient, hat nebenbei für das mechanische

System die Bedeutung einer Füllung. Die Hauptfunktion derselben besteht in der für das Leben so wichtigen Thätigkeit der Aufnahme der gasförmigen Nahrung (Kohlensäure) und der Verarbeitung derselben, Assimilation, sowie in der Athmung.



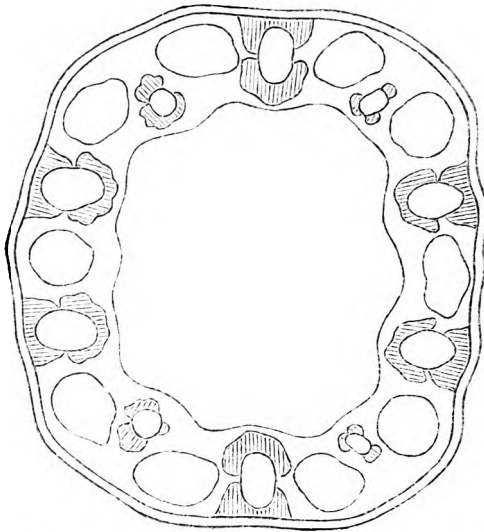
Figur 8. Querschnitt durch den Blüthenschaft von *Arum maculatum* mit 24 peripherischen Stereomsträngen, deren Querschnitte schraffirt sind. Die übrigen über den ganzen Querschnitt zerstreuten hellgelassenen umschriebenen kleinen Partieen sind Querschnitte der die Nahrung leitenden Stränge.

Es ist nun für die hier behandelte Frage im höchsten Grade bemerkenswerth, daß dieses grüne Assimilationsgewebe, wie es zweckmäßig genannt werden kann, wenn es funktionieren soll, des Lichtes bedarf.⁷⁾ Es folgt hieraus, daß für dasselbe ebenso wie für die mechanischen Elemente eine peripherische Anordnung von Vortheil ist. Beide Systeme also, sowohl das mechanische als auch das Assimilationsystem streben aus verschiedenen Gründen nach der Peripherie: das erste aus den früher erörterten mechanischen Gründen, das zweite, weil es des Lichtes bedarf. Wenn man also findet, daß zwischen den Bastrippen und der Epidermis etwas Assimilationsgewebe noch eingeschoben ist, wie dies in der That bei dem erwähnten Falle vorkommt, so ist dies keineswegs eine unzulässige Einrichtung.

Mechanisch ist es allerdings, wie wir Eingangs gesehen haben, am günstigsten, wenn das Stereom sich ganz peripherisch angeordnet findet. Aber es ist zu bedenken, daß die Pflanze nicht allein ein mechanisches Gerüst ist; sie hat nicht allein für die nöthige Festigkeit ihrer Organe, sondern ebensowohl für die Erfüllung anderer Lebensbedingungen zu sorgen, wenn sie bestehen will. Es wiederholt sich daher in den zunächst zu besprechenden Fällen von Konstruktionen allseitig biegungsfester Organe die Concurrrenz zwischen diesen beiden Gewebesystemen, und je nach den verschiedenen Pflanzenarten gewinnt bald das eine, bald das andere die Oberhand, oder sie theilen sich gleichmäßig in den der Oberfläche zunächst befindlichen, ihnen gewährten Raum. Bei dem Aronstab und vielen anderen Pflanzen wie z. B. auch beim Schachtelhahn (*Equisetum*) ist das letztere der Fall. Ebenso verhalten sich die Pflanzen, bei welchen größere mit kleineren Bastrippen abwechseln (Blattstiele von *Colocasia antiquorum*, *Alocasia metallica*) und ferner die Arten, wo an Stelle eines einzigen Stereomstranges zwei vorkommen, die, radial gestellt, zusammen genommen peripherisch angeordnete I-förmige Träger bilden, deren Füllung das Nahrung leitende Gewebe, die Nestombündel, bilden. Figur 9. Dieser Fall ist nicht selten und findet sich z. B. bei den oberirdischen Stengeln gewisser Niedgräser (*Carex*), Wollgräser (*Eriophorum*), Binzen (*Juncus*) und anderen Pflanzen (*Rheum undulatum*, *Silphium perfoliatum*) u. s. w.

Die ausgesprochene Auffassung, daß zwischen Assimilationsgewebe und dem Stereom aus den angegebenen Gründen eine Concurrrenz um die peripherischen Orte statt hat, wird übrigens nachdrücklich durch die Thatsache unterstützt, daß in den Blüthenschäften von Schwammpflanzen (*Corallorhiza innata*), welche lichtbedürftige Zellen nicht besitzen, weil bereits vorgebildete Nahrung von ihnen aufgenommen wird, die in Cylinderform angeordneten Skelettheile ganz oder nahezu die Epidermis berühren.

Es kommen noch mannigfache Abweichungen in der Construction bei verschiedenen Pflanzen vor, die sich alle auf den



Figur 9. Stengelquerschnitt von *Scirpus caespitosus*. Zu äußerst die Epidermis. Die 10 Nestsombündel werden von den schraffirten Skeletttheilen eingeschlossen. Zwischen je 2 Bündeln befinden sich im Gewebe große Luftlücken. Der Stengel ist hohl.

besprochenen Typus peripherisch angeordneter Stercompfosten zurückführen lassen. Gewisse Baststränge jedoch haben weniger Einfluß auf die Festigkeit des ganzen Organs als vielmehr locale Bedeutung. So sind häufig die im Innern der Stengel verlaufenden Nestsomstränge mit besonderen Stercombelegen ausgestattet, um jenen noch einen speciellen Schutz zu gewähren, und das mechanische Gewebe lehnt sich dann vorzugsweise den zarteren Elementen des Nestsoms an, welche nicht selten ganz davon eingeschlossen werden. Wegen dieses besonderen Schutzes, welchen die Nestsombündel suchen, lehnen letztere sich sehr häufig auch an die peripherischen Träger von innen an und begleiten dieselben; es hat in diesen Fällen den Anschein, als ob die Me-

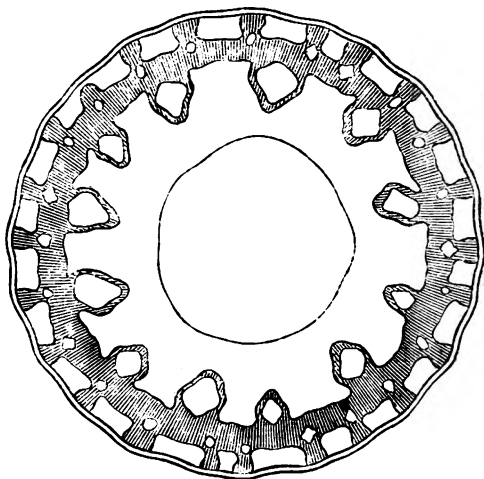
stom- und Stereombündel ein zusammengehöriges System bilden. Figur 9.

Die wasserliebenden Pflanzen an Teichrändern, in Moorbrüchen und dergleichen besitzen an der Peripherie ein lockeres, von zahlreichen Luftcanälen durchsetztes Gewebe, welches den Wasserpflanzen unentbehrlich zu sein scheint, und es wird hierdurch das mechanische System genöthigt, sich von den äußersten Theilen zurückzuziehen. Es sind hier die etwas tiefer liegenden Bastpfosten tangential durch ein festeres Gewebe miteinander verbunden, wodurch die Wirksamkeit des mechanischen Systems erhöht wird. In vielen Fällen liegt unter dem Durchlüftungsmantel ein continuirlicher Stereomcylinder (*Aulacomnium palustre*, *Eucalypta ciliata*, *Sphagnum* — *Marsilia* — *Juncus articulatus*, *Hottonia palustris*).

Bei dreikantiger Ausbildung des Stengels findet sich die Hauptmasse des Stereoms in den Kanten (*Cyperaceen*, namentlich schön bei *Cyperus badius*), denn diese sind am weitesten von der centralen Ase entfernt, und das mechanische Princip verlangt als die günstigste Construction, daß die mechanischen Elemente möglichst weit von derselben angebracht werden.

Bei gewissen Binsenarten (*Juncus paniculatus* und *acutus*, sowie *Cladium Mariscus*) verschmelzen die Stereombelege der Nestsombündel in tangentialer Richtung zum Theil oder ganz mit einander, so daß außer den unter der Epidermis befindlichen Bastrippen noch etwas weiter nach innen ein hohler Stereomcylinder zu Stande kommt. Ist dieser ganz continuirlich, und verschmelzen die Bastrippen mit dem Cylinder, so erhalten wir den gerippten Hohlcylinder, Figur 10, womit z. B. viele Gräser (*Gramineen*) ausgestattet sind. (*Molinia coerulea*, *Festuca glauca*, *Koeleria cristata*, *Briza media*, *Alopecurus pratensis*, *Apera spica venti*, *Panicum miliaceum* u. a.) Der hohle Cylinder ist, wie wir sahen, die günstigste Construction eines allseitig biegungsfesten Organes. Die peripherischen Gewebe-

partieen, die außen von der Epidermis, nach innen von einem Theil der Außenfläche des Cylinders und seitlich von den Rippen



Figur 10. Querschnitt durch den hohlen Stengel von *Molinia coerulea*. In den schraffirten gerippten Skelet-Hohlcyliuder sind die Nektombündel eingebettet. Die sich an die Innenfläche des Cylinders anlehenden größeren Bündel sind von Stereom umgeben, welches mit dem Cylinder in Verbindung steht. Zu äußerst die Epidermis.

eingeschlossen werden, sind Assimilationsgewebe, welches wegen des Lichtbedürfnisses an der Oberfläche des Organs liegt. Einige Gräser (*Calamagrostis argentea*, *Setaria viridis*) haben entschiedene Neigung, die Stereomrippen zu unterdrücken, so daß nahezu ein einfacher Bastcylinder übrig bleibt, der außen bis zur Epidermis einige Zelllagen Assimilationsgewebe läßt. Ueberhaupt werden bei den Arten, die nunmehr zu besprechen sind, Basttheile, die sich direkt an die Epidermis anlehnen, immer seltener; eine ziemlich reichliche Verbindung der Bastbelege der peripherischen Bündel mit der Epidermis findet sich z. B. noch beim Mais (*Zea Mays*). Bei den folgenden Typen jedoch hört die Berührung des mechanischen Systemes mit der

(760)

Epidermis gänzlich auf, und das der Ernährung dienende Assimilationsgewebe behält bei den im folgenden angeführten Constructionen außen die Oberhand. Nur die Stengel und Kapselstiele der Moose besitzen, wie die vorerwähnten Schmarotzerpflanzen, einen der Epidermis unmittelbar anliegenden Stereomcylinder, und die Blattstiele vieler Pflanzen zeigen einen solchen, nur an bestimmten Stellen vom Assimilationsgewebe unterbrochenen Collenchymcylinder (*Ricinus communis*).

Bei dem folgenden Typus wird die Biegungsfestigkeit durch Stereombelege der peripherischen Mastombündel erreicht, wodurch auf dem Querschnitt eine mechanischer, allerdings unterbrochener Ring zu Stande kommt, wie dies namentlich schön die Bambusstauden (*Bambusa*) und besonders die Palmen zeigen. Auch die Drachenblutbäume (*Dracaena*) sind hierher zu rechnen; jedoch ist bei diesen die Eigenthümlichkeit bemerkenswerth, daß die mechanischen Elemente behöftete Poren besitzen, vergl. Figur 4 a, b, welche auf die Nebenfunktion der Luftleitung weisen. Allerdings besitzen nun auch bei diesem Typus die übrigen, den Stengel durchziehenden, Nahrung leitenden Bündel Bastbekleidungen, jedoch bei weitem nicht in dem ausgesprochenen Maße als die mehr peripherischen. Unter dem Mikroskop und mit bloßem Auge macht sich sofort der durch dieses Verhältniß zu Stande kommende mechanische Ring kenntlich.

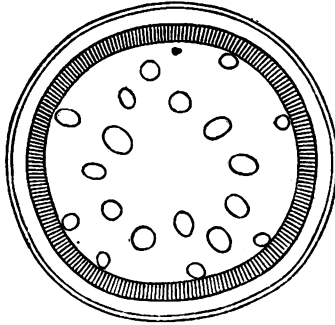
Bei den meisten Gräsern und vielen anderen Pflanzen sind die Stengel hohl, und dies ist ebenfalls eine mechanisch günstige Einrichtung. Wenn die Stengel jedoch nicht hohl sind, so sind doch die innersten Partien, die man als das Mark bezeichnet, welches weit geringerer mechanischer Inanspruchnahme ausgesetzt ist als die äußeren Theile, immer weicher als die letzteren. Man kann sich leicht, z. B. auf Querschnitten von Palmstämmen hiervon überzeugen; hier kommen nämlich gegen das Centrum hin kaum oder doch nur verhältnißmäßig ganz geringe

Bastmassen vor, denen obendrein einzig lokale Bedeutung als Schutz der begleitenden Nestombündel zugeschrieben werden kann. Es werden sogar, da die Entfernung der centralen weicheren Partien keine Schwierigkeiten verursacht, gewisse Palmen als Wasserleitungsröhren, Dachrinnen und dergleichen verwandt, und andere dünnere Palmenstämme werden von den Indianern nach Herausstoßung des Centrums mit einer Ruthe als Blasrohre gebraucht. Sa von einigen Palmen (z. B. *Cocos coronata*) wird sogar das Innere des Stammes von den Eingeborenen zu Brod verbacken.

Bei den Bananen (*Musa*, *Maranta* u. a.) sind hin und wieder die Bastbekleidungen der Nestombündel tangential mit einander verbunden, so daß der Uebergang zum continuirlichen Cylinder, wie er uns vollkommen ausgeprägt gleich begegnen wird, ganz allmählich geschieht. Schon bei vielen Winzen (*Juncus squarrosus*, *compressus*, *bufonius*) und Simsen (*Luzula*) sind die Bastbelege der peripherischen Bündel sämtlich miteinander verbunden; bei sehr vielen Pflanzenabtheilungen endlich kommt die mechanisch günstigste Construction nach dem Vorbild des einfachen rippenlosen Hohlcyinders, Figur 11, vollständig zur Geltung.

Dem mechanischen Gewebe legen sich namentlich von innen (einheimische Orchideen), aber auch von außen (*Hyacinthe: Hyacinthus orientalis*, Laucharten: *Allium* und *Schwertlilie* u *Iris*) die Nahrung leitenden Bündel an, die gelegentlich auch im Skelettcylinder eingebettet vorkommen, wodurch an den vorhergehenden Typus erinnert wird. Einige Familien, von denen die Stengel der meisten einheimischen Arten nach dem Typus des einfachen Hohlcyinders gebaut sind, stellen die Lilien (*Liliaceen* mit Einschluß der *Melanthieen* und *Smilaceen*), *Schwertlilien* (*Iridaceen*), *Knabenkräuter* (*Orchideen*), *Froschlöffelgewächse* (*Alismaceen*), *Butomeen*, *Juncagineen* und *Bumskaulen* (*Typhaceen*) dar; auch viele Gräser unterscheiden

sich von diesem Fall nur, wie wir sahen, durch das Vorhandensein von Rippen, welche bis zur Oberhaut heranreichen. Weitere



Figur 11. Querschnitt durch den Blüthenschaft von *Anthericus Liliago*. Zwischen der schraffirten Skelettpartie und der Epidermis befindet sich ein Ring von Assimilationsgewebe. Ueber den centralen Theil des Querschnitts finden sich Nestombündel zerstreut, von denen sich einige an die Innenseite des Skelettcylinders anlegen.

Beispiele bieten Arten aus den Gruppen der Steinbrechgewächse (*Saxifraga*), Osterluzei (*Aristolochia*), Anemonen (*Anemone*), Nesselgewächse (*Lychnis*, *Saponaria*, *Silene*, *Tunica*, *Dianthus*), Berberitzen (*Epimedium*, *Berberis*, *Mahonia*), Geranien (*Pelargonium*, *Geranium*), Primeln (*Glaux*, *Primula*, *Trientalis*, *Hottonia*), Wegerich (*Plantago*), Mohn (*Papaver*), *Armeria*, *Lonicera*, *Geum*, *Agrimonia*, *Polygonum Bistorta* etc. etc.

Viele in die Dicke wachsenden mehrjährigen Gewächse aus der Abtheilung der Dicotyledonen zeigen im ersten Jahre eine Ringlage von Bastbündeln, welche das später abgeworfene und, wie wir gleich sehen werden, anderweitig ersetzte primäre mechanische System bildet. (*Nerium Oleander*, *Cornus sanguinea*, *Rhus Cotinus*, *Platanus*, *Acer campestre*, *Fagus*, *Betula*, *Viscum*, *Ulmus campestris*, *Aesculus Hippocastanum*, *Cytisus Laburnum* etc.)

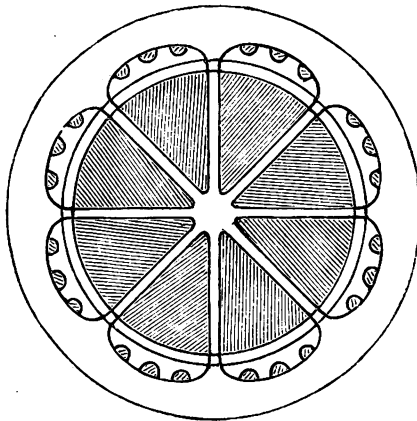
Wegen der durch das Dickenwachsthum complicirteren Verhältnisse verlangen diese Pflanzen eine gesonderte Betrachtung.

Mechanisches System in den biegungsfesten Organen der in die Dicke wachsenden Gewächse.

Vor allen Dingen gehören die sämtlichen Bäume mit Ausnahme der Palmen und einiger anderen Pflanzen hierher. Die Palmen nehmen in der frühesten Jugend schnell an Dicke zu und kommen dann, fast genau so dick wie die ältesten Palmen derselben Art aus dem Erdboden, ohne später merklich an Dicke zuzunehmen. Wie bereits erwähnt wurde, wird die Biegungsfestigkeit der Palmenstämme durch Ausbildung eines hohlen Cylinders aus Baststrängen erreicht, welche die peripherischen Nestsombündel begleiten; anders verhalten sich die in die Dicke wachsenden Pflanzen. Schon die mit den Palmen vorhin angeführten Drachenblutbäume wachsen in die Dicke, trotzdem sie zur Abtheilung der Monocotylen gehören, in welcher ein Dickenwachsthum nur ganz ausnahmsweise vorkommt. Hier erzeugt ein jugendliches, außerhalb des im ersten Jahre gebildeten mechanischen Ringes gelegenes Gewebe neue Zelllagen, welche nach innen an den Skelet-Ring anstoßen. Dieses neu gebildete Gewebe ist dicht von Nestsombündeln durchsetzt, die eine starke aus Tracheiden bestehende Stereombekleidung aufweisen. Noch complicirter gestaltet sich das Verhalten bei den in die Dicke wachsenden Pflanzen aus der Abtheilung der Dicotylen. Während die Palmen in der frühesten Jugend die ihnen überhaupt erreichbare Dicke erlangen, nehmen die Dicotylen schnell an Länge zu und verdicken sich erst später nach Maßgabe der zunehmenden Verlängerung. Im ersten Jahre werden allerdings auch hier öfter peripherische Bastrippen oder Bastcylinder gebildet, die das vorläufige biegungsfeste System darstellen; sobald jedoch die Pflanze anfängt in die Dicke zu

wachsen, wird meist durch Korkbildung dieses ganze System abgeworfen, da von einem darunter sich bildenden, auf dem Querschnitt ringförmig erscheinenden Hohlcyylinder von jugendlichem Gewebe neues Stereom erzeugt wird. Wie dies im besondern vor sich geht, wollen wir uns jetzt an einem Baumstamm klar machen.

Unsere Laub- und Nadelbäume und sonst noch viele Pflanzen besitzen in der Jugend mehrere in einem Kreise angeordnete Nestsombündel, die seitlich fast aneinanderstoßen, Figur 12.



Figur 12. Schematischer Querschnitt durch einen in die Dicke wachsenden Stengel. Es sind 8 Nestsombündel angenommen, die durch den Verdickungsring in eine innere und äußere Partie getheilt erscheinen. Da die innere Partie mit Stereom untermengt ist, ist dieselbe schraffirt worden; die 8 schraffirten Theile in den außerhalb des Verdickungsringes befindlichen Bündelelementen sind locale Skeletfränge.

Außerhalb derselben liegen die später meist abfallenden Bastpfosten oder ein Bastring. Die Nahrung leitenden Bündel werden durch einen Hohlcyylinder von Theilungsgewebe — wie wir es nennen wollen, da es zur Bildung neuer Zellen bestimmt ist — in eine äußere und eine innere Partie geschieden. Wegen des ringförmigen Querschnittes nennt man ihn

(765)

auch den Verdickungsring. Dieser nun setzt sowohl nach außen als auch nach innen neue Bündelelemente an die alten an, von denen jedoch die nach innen abgetrennten reichlich mit Stereom vermischt sind, häufig so reichlich, daß sie die Hauptmasse der nach innen abgetrennten Elemente ausmachen. Die letzterwähnten, innerhalb des Verdickungsringes liegenden Theile der Bündel bilden das Holz. Da nach außen keine Skeletzellen abgetrennt werden oder doch nur hin und wieder in verschwindender Menge, um local gewisse weiche Gewebemassen zu schützen, so bleibt das außen vom Verdickungsring gelegene Gewebe, welches als Rinde bezeichnet wird, weich. Bei den Nadelhölzern dienen die mechanischen Zellen nebenbei noch der Luftcirculation, d. h. es sind Tracheiden; sie besitzen aus diesem Grunde größere Höhlungen, als sie sonst Stereomzellen aufweisen, und zeigen die oben beschriebenen und auf Figur 4 a, b abgebildeten gehöhten Lämpel, welche den Luftverkehr erleichtern. Der Hauptunterschied im Baue des mechanischen Systems bei den normal in die Dicke wachsenden Gewächsen gegenüber den früheren Typen ist also, daß dasselbe von einem Theil der Nestombündelelemente durchdrungen ist, und daß, durch das Dickenwachsthum bedingt, eine fast compacte, also irrationell gebaute Säule zu Stande kommt. Daß übrigens die innersten Partien später wirklich auf das Leben eines Baumes keinen Einfluß ausüben, lehrt schon die Erfahrung, daß hohle Bäume durchaus die gleichen Lebenserscheinungen zeigen als noch unversehrte Bäume. Es werden nämlich von dem Verdickungsring alle Jahre mit dem neuen Stereom dieselben Bündelelemente abgetrennt wie früher, so daß auch die inwendig hohl gewordenen Bäume dann noch alle zum Leben nothwendigen Gewebesysteme besitzen. Wie man daher leicht sieht, werden die in den ersten Jahren gebildeten centralen Skeletmassen nach der Bildung neuer von außen hinzugekommener für die Pflanze nicht mehr die mechanische Bedeutung haben

wie in den ersten Jahren. Auch ist die centrale weiche Partie zwar im allerersten Jahre, wenn der Stengel sehr dünn ist, verhältnißmäßig groß; später jedoch, wenn der Baumstamm beträchtlich an Dicke zugenommen hat, ist sie der großen Menge von neu hinzugekommenem Holz gegenüber verschwindend klein. Diese Umstände bedingen es somit, daß die in die Dicke wachsenden Bäume, wie gesagt, mechanisch irrationell gebaut sind, da nach gehöriger Dicke derselben die im Innern vorhandenen Stereocompartien mechanisch aus den im theoretischen Theil dargelegten Gründen nicht mehr oder doch kaum in Anspruch genommen werden.

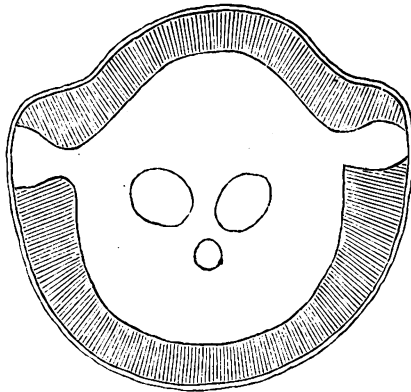
Es ist vielleicht nicht überflüssig, darauf aufmerksam zu machen, daß aus solchen Vorkommnissen nicht geschlossen werden darf, daß hier eine absolute Unzweckmäßigkeit vorliege. Es mag so etwas in der Natur vorkommen; aber die Lebensbedingungen der Pflanzen sind so mannigfacher und verwickelter Art, daß solche Urtheile immer gefährlich sind. Es ist z. B. wahrscheinlich für die in die Dicke wachsenden Pflanzen den Palmen gegenüber ein Vortheil, schnell eine gewisse Höhe erreichen zu können vermittelst eines dünnen, später erst in die Dicke wachsenden Stengels, ohne der den Palmen nothwendigen vorbereitenden Arbeit des Wachsthum in die Dicke zu bedürfen. Ist dies aber eine der Natur entsprechende Auffassung, so läßt sich der eine Vortheil kaum ohne den Nachtheil einer späteren irrationellen Construction erreichen.

Skeletformen in einseitig biegungsfesten Organen.

Bis jetzt haben wir nur solche Organe betrachtet, die allseitig biegungsfest gebaut sein müssen, wenn sie den einwirkenden Kräften Widerstand leisten wollen. Eine oberflächliche Betrachtung der Pflanzen ergiebt jedoch schon, daß auch vorzugsweise nach einer Richtung durch Kräfte in Anspruch genommene Organe sehr häufig sind, die daher, wenn ihr Bau dem mecha-

nischen Princip folgt, ihre etwa vorhandenen mechanischen Elemente derart zu ordnen haben, daß ein vorzugsweise einseitig biegungsfester Apparat gebildet wird. Nach dieser Hinsicht wären die wagerecht oder doch nahezu horizontal abstehenden Pflanzentheile, deren Eigengewicht immer in derselben Richtung wirkt, wie die Blätter u. dergl. zu untersuchen. Sehen wir von solchen zweiseitig symmetrischen Organen ab, die wegen ihrer mehr aufrechten Stellung, wie manche Blätter, sich nur durch geringe unwesentliche Abweichungen von den vorerwähnten Typen unterscheiden, so zeigen in der That die mehr oder minder wagerecht abstehenden Organe die angedeutete Construction. Allerdings besitzen gewöhnlich die Blattstiele der Blüthenpflanzen (Phanerogamen) einen durch das Holz der Bündel hergestellten hohlen Cylinder oder einen solchen unmittelbar unter der Epidermis, der an bestimmten Punkten vom Assimilationsgewebe unterbrochen wird, nicht aber ein T-Trägerförmig angeordnetes Skeletsystem; allein außer dem nach einer bestimmten Richtung wirkenden Eigengewicht der Blattfläche, biegt der auf dieselbe einwirkende Wind den Blattstiel nach den verschiedensten Richtungen, obgleich er, wie zugegeben werden muß, auch wieder vorzugsweise in Richtung der Schwerkraft wirkt, weil ihm hier, wenn nicht das Blatt gedreht ist, die meiste Fläche geboten wird; aber da der Wind häufig genug Gelegenheit findet, auch den Stiel nach anderen Richtungen zu biegen, würde der hohle Cylinder schließlich doch den Vorzug verdienen. Es bleibt jedoch zu beachten, daß die Seitenflächen der Blattstiele in allen Fällen weniger mechanischer Vorrichtungen bedürfen, als die obere und die untere Seite. Es werden denn auch die mechanisch weniger in Anspruch genommenen seitlichen Particen der Blattstiele bei einer großen Anzahl von Farnkräutern benutzt (*Polypodium vulgare*, *Pteris aquilina*), um hierhin das Assimilationsgewebe zu verlegen, das, wie wir früher bemerkten, nothwendig dem Lichte genähert sein muß. Das Skeletgewebe, welches bei den betreffen-

den Farnkräutern als Gurtungen funktionirt, stößt unmittelbar an die Epidermis an, so daß zwischen dieser und dem mechanischen System kein Platz für das Assimilationsgewebe übrig bleibt. In solchen Fällen also sucht sich oft das letztere die mechanisch am wenigsten in Anspruch genommenen Orte der Außentheile auf. Dies geht bei den Farnkräutern so weit, daß sogar die obere und die untere Gurtung dadurch in der Form von einander abweichen, daß das Assimilationsgewebe den der Epidermis anliegenden Skelettcylinder an zwei symmetrischen Punkten theilt, die an der Grenze der oberen Blattstielfläche und der Seitenflächen liegen (Fig. 13). Hierdurch erhält der obere Theil des



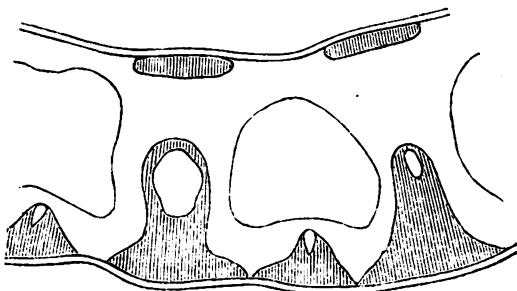
Figur 13. Querschnitt durch den Blattstiel von *Polypodium vulgare*. Die 3 centralen Partteen stellen Nestbündel dar. Das dieselben umgebende Gewebe dient der Assimilation und berührt an zwei symmetrisch gelegenen Stellen die Epidermis, wodurch der Skelettcylinder in eine obere Zuggurtung und eine untere hufeisenförmige Druckgurtung getheilt wird.

Skeletringes, der die Zuggurtung repräsentirt, die Form einer einfachen Lamelle, während die Druckgurtung fast hufeisenartig auf dem Querschnitt erscheint, so daß der so entstehende Träger sich auf das früher Fig. 6 gegebene Schema mit mechanisch

günstig verschieden geformter Zug- und Druck-Gürtung zurückführen läßt.

Die Blattflächen selbst ordnen ihr Stereom meist in I-förmige Träger. Von vornherein ist es klar, daß es auf jeden Fall vortheilhaft sein wird, sobald zusammengesetzte Träger in einseitig biegungsfesten Organen verwandt werden, dieselben nach der erwähnten Construction zu gestalten. In der That läßt sich gewöhnlich eine Zug- und Druck-Gürtung unterscheiden, welche die ihnen zukommenden mechanisch geforderten Eigenschaften besitzen und die sich daher immer auf das in Fig. 6 gegebene Querschnittschema zurückführen lassen. Vor allen Dingen kommen hier die Blattmittelrippen und Rippen überhaupt in Betracht, welche durch die Nestom- und Stereom-Bündel dargestellt werden. Häufig zeigen sich bekanntlich die Rippen auf der Unterseite der Blätter convex vorspringend, wodurch — wie bei dem Fig. 13 abgebildeten Querschnitt eines Farnblattstiels — wiederum die Anordnung des Stereoms der Druck-Gürtung in Hufeisenform zu Stande kommt. Wie schon bemerkt, wird auf diese Weise die erforderliche Festigkeit am besten erzielt. Bei einer mit dem Zuckerrohr verwandten Grasart (*Saccharum strictum*) und anderen Gräsern (*Erianthus Ravennae*) findet sich z. B. das Stereom der Zug-Gürtung in Form einer einfachen Lamelle unter der Epidermis, während die hufeisenförmige Druckgürtung in einzelne die Epidermis berührende Stränge aufgelöst erscheint, von welchen die größeren die Nestombündel aufnehmen. Bemerkenswerth ist das Verhalten der Blätter einer nicht seltenen Pflanze, des schönen Pampasgrases aus Süd-Amerika (*Gynerium argenteum*). Hier ist nämlich die Seite, die nach Analogie Blattoberseite zu nennen ist, für Druck eingerichtet, wie dies aus der faltigen Anordnung der Stereom-elemente ersichtlich ist, während die Unterseite durch die einfach bandartige Form des Skelettheiles für Zug angepaßt ist. Auf den ersten flüchtigen Blick scheint diese Construction dem mecha-

nischen Princip zu widersprechen und wie ich mündlich von meinem hochverehrten Lehrer Herrn Professor Schwendener erfahren habe, überraschte ihn im ersten Augenblick diese Erscheinung in der That. Eine nähere Untersuchung ergab jedoch die interessante Thatsache, daß die Blätter ausnahmslos, wie dies auch sonst bei Gräsern beobachtet wird, in einer gewissen Entfernung von ihrer Anheftungsstelle eine halbe Umdrehung von 180° erfahren, so daß die sonst nach oben gekehrte Seite nunmehr nach unten gewendet ist und umgekehrt. Wie man deutlich aus diesem Beispiel ersieht, richtet sich die Anordnung der Stereomelemente einzig nach mechanischen Principien, soweit dieselbe nicht durch andere Verhältnisse, wie durch das Dickenwachsthum der Dicotylen oder durch die Nothwendigkeit, daß das Assimilationsgewebe am Lichte liegen muß, eine erklärliche Einschränkung erfährt. Die Blätter vieler Gräser (Gramineen) und Niedgräser (Cyperaceen, sowie Typha, Pandanus, Phormium, Hyphaene thebaica, Musa, Cordyline, Maranta u. A.) besitzen I-Träger, die ganz aus Skeletzellen zusammengesetzt sind, oder deren Füllungen aus Geweben anderen Charakters bestehen (Fig. 14). Gewöhnlich durchziehen mehrere dieser I-förmigen Träger parallel



Figur 14. Querschnitt durch einen Theil des Blattes (Blattscheide) von *Saccharum strictum*. Die aus Skeletzellen zusammengesetzten Gurtungen sind schraffirt. Die 4 unteren Druck-Gurtungen enthalten je ein Nessel-Bündel. Im Centrum sowie rechts und links 3 große Luftlücken, von welchen die beiden letzteren nur zum Theil angedeutet sind.

(771)

zu einander die Blattfläche, und zwar liegen entweder die Gurtungen der Epidermis unmittelbar an, oder es findet sich wieder zwischen Epidermis und Gurtung Assimilationsgewebe.

Es scheinen zuweilen die Zug- und Druck-Gurtung nicht ganz aus demselben Material zu bestehen. Wenigstens wird man auf diese Vermuthung durch das verschiedenartige Aussehen der Zellmembranen dieser Skelettheile unter dem Mikroskop geführt. So sind die Zellen der Druckgurtungen der I-Träger in den Blättern einer australischen Pflanze (*Kingia australis*) farblos, während die der Zuggurtung gelb erscheinen. Auch dies kann, wenn hieraus auf verschiedenartiges Material in Bezug auf seine Festigkeit geschlossen werden darf, eine mechanisch vortheilhafte Einrichtung sein.

Das Stereom in zugfesten Organen.

Wir haben bisher nur von Organen gesprochen, die der Biegungsfestigkeit bedürfen. Ein Blick genügt, um zu zeigen, daß auch Zugwirkungen häufig im Pflanzenreich vorkommen, und es soll nunmehr die Anordnung der Skelettheile in solchen Organen betrachtet werden.

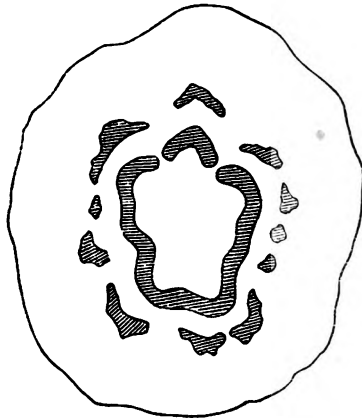
Zugfest construirt müssen vor allen Dingen die Wurzeln und unterirdischen Organe überhaupt sein. Schon die Ueberlegung: welchem gewaltigen Zuge eine Baumwurzel ausgesetzt ist, wenn der Stamm vom Sturme gebogen wird, zeigt die Nothwendigkeit einer zugfesten Construction der Wurzeln. Außerdem giebt es noch Organe, welche sich ebenfalls in Verhältnissen befinden, die eine Inanspruchnahme auf Zug bedingen. Namentlich sind hier die Stengeltheile der untergetauchten Wasserpflanzen zu beachten. Stehen dieselben in ruhigem Wasser, so streben sie nach oben, da sie durch den Luftgehalt leichter als Wasser sind und der Stengel erfährt einen gelinden Zug. Ist das Wasser in starker Strömung begriffen, so steigert sich der Zug um ein Bedeutendes. Frei auf der Oberfläche unbewegten

Wassers flottirende Gewächse sind den geringsten mechanischen Anforderungen ausgesetzt und besitzen daher keine Stereomzellen. Aber auch die Stengel gewisser Luftpflanzen, wie die der rankenden, schlingenden und kletternden Pflanzen brauchen nur in frühester Jugend, so lange sie noch keine Stütze gefunden haben, biegungsfest zu sein, während sie später einzig auf Zug in Anspruch genommen werden, indem durch das Dickenwachsthum der Stütze, wie dies im Naturzustande die Regel sein wird, durch das Auseinanderweichen der Stützpunkte und durch Herabhängen kleinerer oder größerer Partteen die Stengel gezogen werden. Auch Stiele hängender Früchte sind häufig einem ganz bedeutenden Zug ausgesetzt: man denke nur an das Gewicht, welches der Fruchtstiel einer an einem Baum hinaufgerankten Kürbispflanze zu tragen hat.

Die Anordnung der mechanischen Elemente wäre in solchen Organen aus theoretischen Gründen, wie wir früher sahen, gleichgültig, da es für zugfeste Constructionen einzig auf die Menge des verwandten widerstandsfähigen Materials ankommt. Aber es ist wichtig, die Einrichtung so zu treffen, daß eine möglichst gleichmäßige Einwirkung der Zugkraft auf alle vorhandenen Stereompartteen erreicht wird. Die Erfahrung der Techniker lehrt, daß für solche Fälle die Anwendung eines soliden, compacten Stranges vor zerstreuten Strängen den Vorzug verdient.

Aus dem Gesagten ergibt sich, daß die auf Zug in Anspruch genommenen Organe, im Gegensatz zu den auf Biegung in Anspruch genommenen, ihre Skelettheile mehr dem Centrum nahe oder im Centrum selbst anzubringen bestrebt sein werden, um die mechanisch wirksamen Elemente möglichst dicht aneinander zu bringen. Die Untersuchung maßgebender Fälle zeigt in der That die geforderten Querschnittsansichten. Eine solche giebt Fig. 15, welche den Bau eines Kürbistieles veranschaulichen soll. Skeletelemente finden sich hier erst $\frac{1}{4}$ vom Querschnittsdurchmesser von der Epidermis entfernt. Vergleicht man

jedoch diese Figur mit denjenigen, welche eine biegungsfeste (Fig. 8—11) und rein zugfeste (Fig. 16) Construction veranschaulichen sollen, so wird man sofort Fig. 15 als Zwischenform



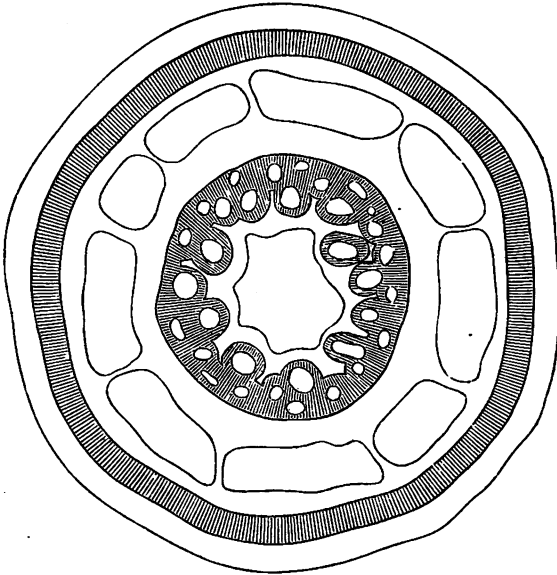
Figur 15. Querschnitt durch den Fruchtstiel einer Kirschje die Anordnung der schraffirten mechanischen Elemente zeigend.

erkennen. Es hat dies darin seinen Grund, daß die Stiele, so lange sie noch Blüthen tragen, aufgerichtet sind, also biegungsfest sein müssen, während sie erst bei der Frucht reife hängend werden.

Wie man sich ferner leicht auf Durchschnitten von Kürbisstielen überzeugen kann, widersteht die centrale Partie der Einwirkung eines festen Gegenstandes, etwa einer Nadel, weit energischer als die weichen Rindenpartieen, und wenngleich diese Stiele kein Stereom besitzen, so ist dieses Experiment doch geeignet zu zeigen, daß die mechanisch wirksamen Elemente sich bei zugfesten Organen im Centrum selbst oder nahe demselben entwickeln. Ueber den ganzen Querschnitt dieser Fruchtstiele finden sich Nestombündel zerstreut, und das zwischenliegende Gewebe besteht in dem centralen Theil des Stieles aus dick-

wandigen, mit einfachen Poren versehenen Zellen, während das äußere Zwischengewebe nur dünnwandige Zellen aufweist.

Wurzeln und Rhizome, d. h. unterirdische Stengeltheile, und die Stengel der Wasserpflanzen, haben ebenfalls im Centrum die Hauptstereomasse, der die Nestomelemente beigelagert oder eingelagert sind (Figur 16). Die zugfesten Wurzeln be-



Figur 16. Querschnitt durch einen unterirdischen Stengeltheil von *Carex incurva*. Der schraffierte äußere Skelet-Ring dient zum Schutz gegen radialen Druck. Die centrale ebenfalls schraffierte Skelet-Partie, welcher Nestombündel eingelagert sind, wirkt gegen Zug. Im Centrum und zwischen der centralen und der peripherischen Skeletmasse befinden sich große Lusträume.

stehen, wie man sich leicht experimentel überzeugen kann, die mechanisch widerstandsfähigen Elemente genau im Centrum. Daß wirklich die äußeren Verhältnisse mit diesem Bau in Beziehung stehen, ihn bedingen, wird schlagend durch solche Wur-

zeln dargethan, welche als Stützen außerhalb des Erdbodens funktionieren, wie die Stützwurzeln bei den Pandanus-Bäumen, welche mehr stammähnlich construirt sind. Wie man jedoch leicht bemerkt, können die Stützwurzeln außer durch Druck noch durch Einwirkung einer seitlichen Kraft auf die Pflanze, wie z. B. des Windes in Anspruch genommen werden und zwar auf Zug; und hieraus erklärt sich die mehr gleichmäßige Vertheilung der Skeletelemente auf dem ganzen Querschnitt, wodurch sie der wechselnden Einwirkung von Zug und Druck angepaßt erscheinen.

Ein weiteres demonstratives Beispiel dafür, daß die mechanische Inanspruchnahme die Construction der Organe ganz wesentlich beeinflusst, ist der Bau des Stengels einer im Wasser schwimmenden, bei uns nicht seltenen Pflanze, *Hottonia palustris*, bei welcher der unter Wasser befindliche Blätter tragende Theil des Stengels mehr zugfest, der über dem Wasserspiegel hervorragende Blüthenschaft hingegen biegungsfest gebaut ist, also peripherische Anordnung der mechanischen Elemente aufweist.

Druckfeste Constructionen.

Allerdings verlangt nun die unterirdische Lebensweise eines Organes häufig noch einen besonderen Schutz durch eigene Skelettheile in Form eines peripherischen Cylinder-Mantels gegen den durch das umgebende Medium bedingten radialen Druck. (Figur 16). Bei vielen unterirdisch vegetirenden Organen ist eine solche Vorkehrung besonders nothwendig, um dem vom Boden ausgeübten Druck zu widerstehen. Der hier in unterirdischen Stengeln und Wurzeln zur Anwendung kommende Bastcylinder befindet sich entweder der Epidermis unmittelbar anliegend (unterirdischer Stengel von *Carex stricta*, *caespitosa*, *vulgaris* und *limosa*, *Scheuchzeria palustris* und Gramineen-Rhizome) oder einige wenige Zellschichten tiefer (*Carex Schreberi*, *Ohmülleriana*, *brizoides*, *stenophylla*, *incurva*, *disticha*), welche

letzteren, um ein Eindringen von Wasser zu verhüten, verkorrt sind.

Die Blätter solcher Pflanzen, welche trockene Klimate bewohnen, zeigen häufig peripherisch gelegene Vorrichtungen gegen radialen Druck; sie bestehen entweder in Wänden aus Skeletzellen, oder aus einzelnen Skeletzellen, die mit ihrer Längsrichtung senkrecht zur Epidermis des Blattes stehen (*Kingia australis*).

Locales Auftreten des Stereoms.

Daß Bastzellen außerdem zu mehr local mechanischen Zwecken Verwendung finden, wurde bereits früher bei den Localbelegen der Nestsom-Bündel erwähnt, die weniger der Festigkeit des ganzen Organes dienen als vielmehr zum Schutz des Nestsoms vorhanden sind.

Local wird das Stereom noch öfter angetroffen. So besitzen die in stark fließendem Wasser wachsenden und daher zugfest gebauten Laichkräuter mit centralelem Stereomstrang (*Potamogeton lanceolatus*, *longifolius*, *compressus*, *obtusifolius*, *acutifolius*), in dem große Lufträume führenden äußeren Theil des Stengels Skeletstränge, welche ein Abstreifen der locker gebauten Rinde durch das stark bewegte Wasser verhindern sollen. Wie sehr übrigens die Ausbildung dieser peripherischen Bastbündel von den mechanischen Anforderungen der Umgebung abhängt, in welcher die Pflanze vegetirt, beweist der Umstand, daß Varietäten derselben Art, wenn dieselben in starker Strömung leben, ein System von Skeletsträngen besitzen (*Potamogeton fluitans* typische Form), während eine andere Varietät dieser Pflanze (*Potamogeton fluitans* varietas *stagnatilis*), die in stehenden Gewässern sich findet, keine Rindenbündel aus Stereom besitzt, da sie derselben in diesem Falle nicht bedarf.

Daß in Fruchtwandungen zum Schutz der Samen, sowie

um eine bestimmte Art des Auffpringens zu ermöglichen, häufig mechanische Zellen vorkommen, wurde bereits Eingang erwähnt.

Praktische Verwendung des Stereoms.

Zum Schluß ein Wort über die praktische Verwendung des Stereoms.

Das technisch wichtigste Material, welches den Skeletzellen seinen Werth verdankt ist zweifellos das Holz. Wie wir gesehen haben, entstammt dasselbe den Innentheilen der kreisförmig angeordneten Nestombündel der in die Dicke wachsenden Pflanzen, wozu namentlich unsere Bäume gehören. Die irrationelle Construction derselben ist für uns insofern von Vortheil, als wir andernfalls viel Material verlieren würden, um verhältnißmäßig wenige und schmale Bretter aus einem Baumstamm zu erhalten.

Je nach der größeren oder geringeren Menge von Nestom-
elementen, die dem Stereom des Holzes beigemischt sind, ist das Gefüge desselben lockerer oder fester. Die Güte eines Holzes steht also um so höher, je mehr Stereomelemente, welche eben die Festigkeit bedingen, in demselben vorhanden sind. Daß dies bei den verschiedenen Arten in sehr verschiedenem Maße der Fall ist, lehrt ohne Weiteres die Härte der Hölzer, welche die manigfaltigsten Abstufungen zeigt. Natürlich ist dabei auch die individuelle Verschiedenheit der Stereomzellen in den Hölzern ebenfalls in Rechnung zu ziehen. Zu den härtesten Hölzern gehört das sogenannte Eisenholz (*Nania vera*) von den Molukken welches steinhart ist, und daher zu Ankern und andern Werkzeugen verarbeitet wird. Hölzer gleicher Consistenz, die wie Gußeisen klingen, wenn man sie mit einem harten Gegenstande anschlägt, giebt es noch mehrfach. Unbekannt ist das feste Gefüge des echten Ebenholzes.

Die Localstereombelege in der Rinde der Linden werden von den Gärtnern als „Bast“ zum Binden der Gewächse verwandt.

Leinwand wird aus peripherisch angeordneten Stereomsträn-

gen des Stengels vom Flachse verfertigt; ferner entstammt der zu Lauen und dergleichen verarbeitete Hanf den Stengeln der Hanfpflanze. Da überhaupt die Stereompfosten eine allgemeine Verbreitung unter den Gewächsen haben, so wird Material aus denselben zu Geweben, Lauen u. dgl. bekanntlich noch von vielen anderen Pflanzen gewonnen. Das sehr reichliche Stereom in der Rinde von *Broussonetia papyrifera* wird in Japan zur Papierbereitung verwendet.

Anmerkungen.

1) Die Literatur dieses Gebietes beschränkt sich zur Zeit auf folgende Abhandlungen:

- H. Ambronn, über die Entwicklungsgeschichte und die mechanischen Eigenschaften des Collenchyms. Ein Beitrag zur Kenntniß des mechanischen Gewebesystems. Aus Pringsheim's Jahrbüchern für wissenschaftliche Botanik, Bd. XII. 1881, S. 473—541.
- G. Haberland, die Entwicklungsgeschichte des mechanischen Gewebesystems der Pflanzen. Leipzig, 1879.
- H. Potonié, die Beziehung zwischen dem Spaltöffnungssystem und dem Stereom bei den Blattstielen der Filicineen. Aus Eichler: Jahrbuch des kgl. botanischen Gartens und des botanischen Museums zu Berlin, Bd. I. 1881, S. 310—317.
- S. Schwendener, das mechanische Princip im anatomischen Bau der Monocotylen mit vergleichenden Ausblicken auf die übrigen Pflanzenklassen. Leipzig, 1874.
- A. Eschirch, der anatomische Bau des Blattes von *Kingia australis* R. Br. Aus den Abhandlungen des botanischen Vereins der Provinz Brandenburg XIII. 1881, S. 1—16.
- M. Westermaier, Beiträge zur Kenntniß des mechanischen Gewebesystems. Aus dem Monatsbericht der kgl. Akademie der Wissenschaften zu Berlin vom Januar 1881, S. 61—78.

2) Wenigstens ist dies so in der Botanik; manche Zoologen unterscheiden Zellmembran und Intercellularsubstanz.

3) Die Anfertigung der Abbildungen hat Herr C. Hamann, Studirender der Gewerbe-Akademie in Berlin, freundlichst übernommen.

4) Nach gütiger Mittheilung des Herrn Prof. C. F. Müller an der kgl. Thierarzneischule zu Berlin.

5) Die Ausdrücke rechts und links werden von den Botanikern, auf Spiralwindungen angewendet, im umgekehrten Sinne gebraucht als von den Mechanikern: Bewegt man sich in der Richtung des windenden Stengels wie auf einer Wendeltreppe die Höhe hinauf, und bleibt hierbei die Stütze immer zur Rechten, so nennt man die Pflanze rechtswindend, umgekehrt linkswindend.

6) Die Zugfestigkeit ist einzig abhängig von der Querschnittsgröße der Membranen.

7) Auf die Gründe, weshalb dies nothwendig ist, kann hier natürlich nicht eingegangen werden.

