

DAS
MECHANISCHE PRINCIP
IM ANATOMISCHEN BAU DER
MONOCOTYLEN

MIT VERGLEICHENDEN AUSBLICKEN AUF DIE ÜBRIGEN
PFLANZENKLASSEN.

VON

DR. S. SCHWENDENER,
PROFESSOR DER BOTANIK IN BASEL.

MIT 13 HOLZSCHNITTEN UND 14 LITHOGR. TAFELN IN FARBENDRUCK.

LEIPZIG.

VERLAG VON WILHELM ENGELMANN.

1874.

Inhaltsübersicht.

Erster Abschnitt. Allgemeines.

Erstes Capitel.

	Seite
Die spezifisch-mechanischen Zellen	1
1. Morphologie der mechanischen Zellen	3
2. Elasticität und Festigkeit der mechanischen Zellen	9
3. Ueber die Lagerung der mechanischen Zellen im Allgemeinen	16

Zweites Capitel.

Einige Sätze aus der Festigkeitslehre	19
Der einfache Tragbalken. Der hohlcylindrische Träger. Vergleichung vegetabilischer Träger mit Eisenconstructions. Senkungsgrösse belasteter Träger. Die Zug- und Drucklinien oder Spannungstrajectorien.	

Zweiter Abschnitt. Spezielle Betrachtung der Monocotylen.

Drittes Capitel.

Die mechanischen Systeme zur Herstellung der erforderlichen Biegefestigkeit mit möglichst geringem Materialaufwande	40
--	----

I. Die Querschnittsformen des mechanischen Systems in cylindrischen Organen 41

NB. Die in folgender Uebersicht in Parenthesen bezeichneten Pflanzen sollen bloss als Beispiele dienen.

1. System der subepidermalen Bastrippen.

Erster Typus. Bastrippen in einfacher Ringlage (<i>Arum maculatum</i>)	41
Zweiter Typus. Kleinere subepidermale Bastrippen wechseln ab mit grösseren etwas tiefer liegenden (<i>Colocasia Antiquorum</i>)	42

2. System der zusammengesetzten peripherischen Träger.

Dritter Typus. Radiale I-förmige Träger, bestehend aus je zwei durch Mestom*) verbundenen Bastmassen (<i>Scirpus caespitosus</i>)	43
---	----

*) Mit dem Ausdruck Mestom bezeichne ich die sämtlichen Bestandtheile der Gefässbündel mit Ausschluss der mechanischen Zellen, d. h. der Bastzellen. Ein Mestomstrang ist demzufolge ein bastfreier Fibrovasalstrang.

	Seite
Vierter Typus. Die subepidermalen Bastrippen mit den tiefer liegenden Mestomsträngen nicht direct verbunden, denselben aber häufig in Zahl und Lage entsprechend (<i>Papyrus Antiquorum</i>)	16
Fünfter Typus. Die subepidermalen Bastrippen sehr massiv und weniger zahlreich, stets mit den innern und grössten Gefässbündeln im gleichen Radius liegend und zu Trägern verbunden (<i>Juncus glaucus</i>)	51
Sechster Typus. Die subepidermalen Bastrippen den peripherischen Mestomsträngen in Zahl und Lage entsprechend und bei mässigem Abstände häufig mit denselben verwachsen (<i>Juncus conglomeratus</i>)	53
Siebenter Typus. Die Mehrzahl der subepidermalen Bastrippen mit den peripherischen Mestomsträngen verwachsen. Tiefer liegende Gefässbündel unregelmässig gestellt (<i>Eriophorum latifolium</i>)	54
Achter Typus. Zahlreiche subepidermale Rippen ohne directe Verbindung mit den benachbarten Mestomsträngen, aber mit letzteren zu einem peripherischen Trägersystem combinirt (<i>Scirpus lacustris</i>)	56
Neunter Typus. Die subepidermalen Bastrippen mit einem einfachen Kreis von 3 bis 6 Gefässbündeln combinirt (<i>Isolepis</i>)	58
Zehnter Typus. Die subepidermalen Rippen frei oder zum Theil mit Mestomsträngen verwachsen; eine Ringlage der letztern durch Bastverbindungen in tangentialer Richtung verschmolzen (<i>Cladium</i>)	58
 3. System des gerippten Hohlcyinders, mit Anschluss der Rippen an die Epidermis.	
Elfter Typus. Character des Systems; die Gefässbündel an den Ring angelehnt oder doch nur wenig ins Mark vorgeschoben (<i>Gramineen</i>)	60
Zwölfter Typus. Die inneren Gefässbündel meist in grösserer Anzahl im Marke zerstreut (<i>Panicum</i>)	62
 4. System der peripherischen, meist durch Mestom verstärkten Bastbündel, mit unregelmässigen Verschmelzungen derselben unter sich und mit der Epidermis.	
Dreizehnter Typus. Kein eigentlicher Bastring, aber die peripherischen Mestomstränge mit starken Bastbelegen (<i>Saccharum</i>)	63
 5. System der subcorticalen Fibrovasalstränge mit starker Bastentwicklung.	
Vierzehnter Typus. Zahlreiche peripherische Gefässbündel mit ausserordentlich starken Bastbelegen auf der Innen- und Aussenseite (<i>Bambusa</i>)	65
Fünfzehnter Typus. Zahlreiche subcorticale Gefässbündel mit starker Bastbekleidung auf der Aussenseite (<i>Palmen</i>)	66
Sechzehnter Typus. Zahlreiche subcorticale Bündel mit starken Lilhriformbelegen (<i>Dracaena</i>)	68
Siebzehnter Typus. Subcorticale Gefässbündel mit Bastbelegen, hin und wieder in tangentialer Richtung verschmolzen (<i>Musa</i>)	70
Achtzehnter Typus. Subcorticale Gefässbündel mit starken Bastbelegen, in tangentialer Richtung öfter verschmolzen; die Rinde ohne Gefässbündel (<i>Maranta</i>)	72
 6. System der subcorticalen, in tangentialer Richtung verbundenen Fibrovasalstränge.	
Neunzehnter Typus. Character des Systems (<i>Luzula</i>)	72
 7. System des einfachen Hohlcyinders mit eingebetteten oder angelehnten Mestomsträngen.	
Zwanzigster Typus. Character des Systems (viele Monocotylen)	74
 II. Die Querschnittsformen des mechanischen Systems in bilateralen Organen	
 1. System der subepidermalen Träger.	
Erster Typus. Zusammengesetzte subepidermale Träger in bilateraler Anordnung	77

Inhaltsübersicht.

VII

Seite

Zweiter Typus. Subepidermale, mit Mestom verbundene Träger auf der Druckseite, combinirt mit mestomfreien Bastbändern auf der Zugseite	78
Dritter Typus. Einfache oder zusammengesetzte I-förmige Träger, obere und untere Blattseite mit einander verbindend	79
Vierter Typus. Einfache I-förmige Träger auf der Aussen- oder Unterseite des Blattes	81
Fünfter Typus. Einfache I-förmige Träger auf beiden Blattseiten, aber in alternirender Stellung	81
2. System der innern Träger.	
Sechster Typus. Isolirte innere Träger in verschiedener Anordnung	81
Siebenter Typus. Unterbrochener Bastring mit nach innen vorspringenden Rippen	82
3. System der gemischten Träger.	
Achter Typus. Subepidermale Rippen mit innern Trägern combinirt	82
III. Die mechanischen Einrichtungen zur Erhaltung der Querschnittsform	81
1. Verhalten des Parenchym	85
2. Die Fächerung der Luftkanäle durch Diaphragmen und die Mestomanastomosen	89
3. Die Aussteifung der Luftkanäle durch Filzgewebe	91
4. Die Knoten der Gramineen	92
IV. Die mechanischen Einrichtungen für den intercalaren Aufbau	94
V. Die Festigkeitsabnahme des mechanischen Systems in acropetaler Richtung	96
Träger von gleichem Widerstande. Spezielle Besprechung einzelner Fälle:	
1. <i>Juncus glaucus</i>	99
2. <i>Molinia coerulea</i>	100
VI. Steigerung der Biegungsfestigkeit durch Gewebespannung und durch besondere Formverhältnisse	101
Gewebespannung. Torsion aufrechter Flächenorgane. Querschnittsform der Flächenorgane.	
VII. Das mechanische Princip in seinem Verhältniss zum ernährungsphysiologischen	105
Conflict zwischen mechanischen und assimilirenden Zellen. Die Zugänge der Mestomstränge und die Parenchymwege in den Wurzeln von <i>Pandanus</i> . Mehrschichtige Epidermis. Mechanisch wirksame Parenchymzellen.	
VIII. Die Nebenfunctionen der mechanischen Zellen	109
Anpassungen für die Durchlüftung. Chlorophyllführende Bastzellen. Beteiligung der Bastzellen an der Wasserleitung.	
IX. Die Biegungsfestigkeit des mechanischen Systems in ihrem Verhältniss zu derjenigen des ganzen Organs	112

Viertes Capitel.

Das mechanische System in Organen, welche der Biegungsfestigkeit nicht bedürfen	115
1. Zugfeste Einrichtungen	116
2. Festigkeit gegen radialen Druck	125
3. Festigkeit gegen longitudinalen Druck (Strebfestigkeit)	131
4. Festigkeit gegen Abscheeren (Schubfestigkeit)	133
5. Ueber die Verwendung von Bastzellen zu local-mechanischen Zwecken	134

VIII

Inhaltsübersicht.

	Seite
6. Festigkeit der Verbindungen zwischen Tochter- und Mutterorgan	138
Anhang: Bemerkungen über den Bau der Monocotylen im Allgemeinen	139

**Dritter Abschnitt. Vergleichende Ausblicke auf die übrigen
Pflanzenklassen.**

Fünftes Capitel.

Die Dicotylen	142
1. Bastbildungen in der Rinde	143
2. Uebergänge zum intracambialen Libriformring	147
3. Intracambialer Libriformring ohne Markstrahlen	148
4. Intracambialer Libriformring mit Parenchymstrahlen	151
5. Mechanisches System zugfester Organe	155
6. Mechanisches System blattartiger Organe	156
7. Das Collenchym der Dicotylen	157
8. Mechanisch wirksame Parenchymzellen	158

Sechstes Capitel.

Die übrigen Gefäßpflanzen	159
1. Gymnospermen	159
2. Farnkräuter	161
3. Equisetaceen	162
4. Rhizocarpeen	163
5. Lycopodiaceen	164

Siebentes Capitel.

Die Zellencryptogamen	166
--	-----

Achtes Capitel.

Das mechanische System in phylogenetischer Hinsicht	168
Schlussbemerkungen	174
Erklärung der Abbildungen	176

Erster Abschnitt.

Allgemeines.

Erstes Capitel.

Die spezifisch-mechanischen Zellen.

Die höherstehenden Organismen zeichnen sich bekanntlich durch eine viel weiter gehende Arbeitstheilung und eine entsprechende morphologische Differenzirung der Gewebe vor den niederstehenden aus. Bei den Gefäßpflanzen sind alle wichtigen Functionen auf ebenso viele anatomisch ausgezeichnete Gewebeformen vertheilt. Wir finden hier besondere Zellen — es sind die verschiedengestaltigen Elementarorgane des trachealen Systems — welche der Durchlüftung dienen, andere von gänzlich abweichendem Bau, welche die Verdunstung verhüten und die Oberfläche gegen schädliche Agentien schützen, wie das Periderm, wieder andere, denen vorzugsweise die Wasserleitung oder die Assimilation etc. übertragen ist. Alle diese Zellen sind um so schärfer characterisirt, je mehr sie anschliesslich für eine bestimmte Function angepasst sind. Sobald die nämliche Zelle gleichzeitig oder abwechselnd zwei oder drei verschiedene Verrichtungen übernimmt, tritt auch im anatomischen Character derselben eine entsprechende Veränderung ein.

Da nun die Herstellung der erforderlichen Festigkeit zu den wichtigsten Lebensbedingungen gehört, so liegt von vorn herein die Vermuthung nahe, dass die Pflanze zu diesem Zweck ebenfalls bestimmte Zellformen verwende, die zwar voraussichtlich mancherlei Verschiedenheiten darbieten mögen, aber doch in ähnlicher Weise zusammengehören, wie etwa die Zellen des trachealen Systems oder die verschiedenen Zellformen des Periderms. Diese Vermuthung gab mir Veranlassung zu einer vorläufigen Orientirung; sie war die leitende Idee, die mir bei meinen ersten Untersuchungen über diesen Gegenstand vorschwebte. Denn es schien mir vor Allem wichtig, durch eine Reihe von Beobachtungen festzustellen, ob im Gewebe der Gefäßpflanzen Elementarorgane vorhanden sind, welche als spezifisch-mechanische Zellen bezeichnet werden dürfen, oder ob vielleicht zur Herstellung der nöthigen Festigkeit Zellen der verschiedensten Art gleichmässig beitragen. Es bedurfte keiner langen Arbeit, um die Ueberzeugung zu gewinnen,

dass in dieser Frage ausser den Bastzellen und den bastähnlichen Collenchymzellen höchstens noch gewisse stärkere Elemente des Xylems in Betracht kommen können, deren Widerstandsfähigkeit in manchen Fällen derjenigen des Bastes ungefähr ebenbürtig ist. Das genauere Studium dieser Elemente stellte jedoch bald heraus, dass eine auch nur einigermaassen beträchtliche Widerstandsfähigkeit denselben keineswegs allgemein zukommt, folglich auch nicht als durchgreifendes Merkmal bezeichnet werden darf. Es gibt zahlreiche Gefässbündel, deren Holzzellen durchweg zartwandig sind, so dass sie mechanisch keine Bedeutung haben können. Bei manchen Familien der Monocotylen scheint diese Zartwandigkeit des Xylems sogar ein allgemeiner anatomischer Grundzug zu sein. Die Fähigkeit der Holzzellen, ihren Wandungen einen hohen Grad von Festigkeit zu verleihen, ist demgemäss eine mehr zufällige, nur unter gewissen Umständen hervortretende Eigenthümlichkeit derselben, aber kein charakteristisches Merkmal. Die nämliche Fähigkeit kommt überdiess auch den verschiedensten anderen Zellformen zu. Wir finden z. B. dickwandige verholzte Zellen sogar im Cambiform, so bei verschiedenen Palmen, Liliaceen und Pandanusarten, wo indess nur die englumigen Elemente zu dieser Abweichung befähigt sind; ferner im Markgewebe einiger Cyperaceen und Gramineen, im Rindengewebe mancher Rhizome, in den Markstrahlen krautiger Dicotylen etc. Auch die chlorophyllführenden Zellen sind hin und wieder mit verdickten Wandungen ausgerüstet. Dazu kommt, dass die Gruppierung der Holzzellen mit Rücksicht auf die Gefässe und das Cambiform eine auffallende Constanz zeigt, welche allein schon beweist, dass diese Elemente nach morphologischen und nicht nach mechanischen Principien geordnet sind. Damit soll natürlich bloss gesagt sein, dass wir über die tieferen Gründe der fraglichen Lagerungsverhältnisse einstweilen nichts wissen; was spätere Forschungen darüber ergeben werden, bleibt dahingestellt.

Ganz anders verhält es sich mit den Bastzellen und dem damit gleichwerthigen Libriform, sowie mit den bastähnlichen Collenchymzellen. Diese Zellen zeigen durchweg eine Widerstandsfähigkeit, welche im Vergleich mit derjenigen benachbarter Elementarorgane zum Mindesten als beträchtlich und in der Mehrzahl der Fälle als sehr bedeutend bezeichnet werden muss. Die besseren Bastsorten bestehen, wie ich weiterhin darlegen werde, aus einem Material, das dem Schmiedeeisen in Bezug auf Zugfestigkeit innerhalb der Elasticitätsgrenze nicht viel nachgibt, und selbst der gewöhnliche Bast, wie er bei Cryptogamen und Phanerogamen häufig vorkommt, kann immerhin mit Zinkguss, gehämmertem Kupfer und selbst mit Messing concurriren. Zu dieser mechanischen Widerstandsfähigkeit kommt überdiess noch die Thatsache, dass die betreffenden Zellen sowohl als Bestandtheile der Fibrovasalstränge, als bei isolirtem Auftreten eine Stellung einnehmen, die jeder morphologischen Regel spottet, sich aber den mechanischen Principien unterordnet. Wir finden z. B. im nämlichen Organ die Bastzellen bald auf der Innenseite der Xylemstränge, d. h. in der Umgebung der primordialischen Gefässe und der sie begleitenden

Holzzellen, bald aussen am Cambiform oder als Verbindungsglied zwischen benachbarten Gefässbündeln, nicht selten auch in Gestalt von isolirten Rippen unter der Epidermis etc., aber in allen diesen Fällen so gruppirt, wie es zur Erreichung der grösstmöglichen Festigkeit des Organs bei gegebenem Materialaufwand nothwendig war. Bezüglich der nähern Belege hiefür muss ich auf die folgenden Capitel verweisen; hier betone ich bloss das durch die Untersuchungen gewonnene Resultat, um daran die Folgerung zu knüpfen, dass die Bastzellen, mit Einschluss des Libriforms und der bastähnlichen Collenchymzellen, die einzigen Elementarorgane sind, welche eine spezifisch-mechanische Rolle spielen. Diese Zellen sind darum auch die constanten und wesentlichsten Bestandtheile des mechanischen Systems der Gewächse; sie allein bilden die Gurtungen der Iförmigen Träger, die subepidermalen Rippen, die festen Röhren u. s. w. Die übrigen Zellformen figuriren stets nur als Verbindungsglieder oder Füllungsmassen und sind in erster Linie für andere Zwecke angepasst.

1. Morphologie der mechanischen Zellen.

Die Zellformen des mechanischen Systems, der Bast und die bastähnlichen Holz- und Collenchymzellen, sind zwar in mancher Beziehung, znmal bezüglich ihrer typischen Erseheinungsformen, längst bekannte Dinge, deren nähere Beschreibung hier überflüssig erscheinen mag. Allein die Unterscheidung derselben von anatomisch heterogenen Elementen, die Charakteristik der hieher gehörigen Zellen als Glieder eines besondern Systems und die damit zusammenhängende Bezeichnung der Gewebe, wie sie in der Literatur bis auf die neueste Zeit üblich ist, verräth vielfach eine grosse Unsicherheit und theilweise auch eine Willkürlichkeit der Auffassung, die nur im Einfluss einer herrschenden Idee ihre Erklärung findet. Dippel¹⁾ bezeichnet z. B. bei Monoeotylen die Bastbekleidungen auf der Innenseite der Gefässbündel als Holz und nur diejenigen der Aussenseite als Bast, obschon die Zellformen auf beiden Seiten genau dieselben sind. Ebenso Schacht und Unger²⁾, wobei indess der Erstere dem Worte Holz ein Fragezeichen beisetzt. Vom Bastring der Liliaeen und anderer Monoeotylen sagt Mohl³⁾, man würde sehr irren, wenn man dessen Zellen mit dem Baste der Dicotylen vergleichen wollte; es sei desshalb nicht zu billigen, wenn Link und Kieser diesen Ring für Bast erklären. Die von Mohl angegebenen Unterscheidungsmerkmale sind indessen durchaus nicht stichhaltig. Neuere Schriftsteller gebrauchen nicht selten den Ausdruck »Prosenhymseheide«, um die fraglichen Bastbekleidungen zu bezeichnen, ein Wort, das wenigstens Nichts präjudicirt. Daneben werden aber auch ächte Bastzellen, die mit denen der »Prosenhymseheide« vollkommen übereinstimmen, unter der

1) Dippel, das Mikroskop.

2) Unger, Anatomie und Physiol. p. 218 ff.

3) Mohl, vermischte Schriften p. 150.

Benennung »Hautgewebe« mit inbegriffen. Bei Dicotylen, die ich übrigens hier nur beiläufig erwähne, da sie in einem folgenden Abschnitt besonders besprochen sind, zählt man bekanntlich alle bastähnlichen Zellen innerhalb des Verdickungsringes zum Holz oder Xylem, obschon es Fälle genug gibt, in welchen diese Xylemelemente 0,5 bis 1,3 Millimeter Länge erreichen, sich spindelförmig zuspitzen und überhaupt von den ächtsten Bastzellen sich gar nicht unterscheiden lassen. Umgekehrt findet man im sogenannten Phloem nicht selten 150 bis 250 Mik. lange Libriformzellen, die sich in jeder Hinsicht dem kurz-zelligen Libriform des Xylems anschliessen. Manche Dicotylen besitzen ausserhalb des Verdickungsringes keinen Bast, dafür aber ächte Bastsicheln auf der Innenseite der Gefässbündel oder auch einen continuirlichen Ring von Libriform mit oder ohne Parenchymstrahlen. Bei *Cephalaria tartarica* erreichen beispielsweise die Zellen dieses Ringes eine Länge von 2 bis 2½ Millimeter und sind dabei so lang und scharf zugespitzt, wie die ausgeprägtesten Bastzellen. Ebenso tritt noch in vielen andern Fällen klar hervor, dass der Verdickungsring mit Unrecht als Grenzzone zwischen verschiedenen Zellformen betrachtet wird. Xylem und Phloem sind überhaupt mehr topographische als anatomische Begriffe; sie beziehen sich eigentlich bloss auf die Lage zum Verdickungsring¹⁾. Die Uebertragung dieser Benennungen auf die Monocotylen fand in der unglücklichsten Weise statt. Werfen wir noch einen Blick auf die Gefässcryptogamen, von denen später ebenfalls ausführlicher die Rede sein wird, so begegnen wir auch hier den nämlichen mechanischen Zellen, die wiederum bald als Holzzellen, bald einfach als prosenchymatische Zellen oder als Hautgewebzellen bezeichnet werden.

Man wird nach alledem nicht in Abrede stellen, dass die Begriffe, um die es sich hier handelt, an Klarheit und Schärfe Manches zu wünschen übrig lassen und dass eine rationellere Fassung derselben ein wirkliches Bedürfniss geworden ist. Diesem Bedürfniss glaube ich nun in zweifacher Beziehung entsprechen zu können: in physiologischer durch die Deutung der fraglichen Zellen als spezifisch-mechanische, in morphologischer durch den Nachweis, dass alle hieher gehörigen Zellformen unter sich verwandt sind und ein durch bestimmte Merkmale ausgezeichnetes anatomisches System bilden. Diese morphologische Seite soll im Folgenden näher beleuchtet werden.

Es ist zunächst leicht zu constatiren, dass die mechanischen Zellen in ihren schwächsten Repräsentanten vom collenchymatisch verdickten Parenchym kaum verschieden sind. Sie modelliren sich ganz allmählig aus dem Parenchym heraus, strecken sich mehr in die Länge, spitzen sich prosenchymatisch zu und werden dabei ärmer an Chlorophyll. So lange das Collenchym parenchymatisch aussieht, die Zellen intensiv grün gefärbt und die Poren quer gestellt

¹⁾ Nägeli hatte bei Aufstellung der Begriffe Xylem und Phloem einzig und allein die Lage zum Cambium im Auge. Seitdem sind aber dieselben Benennungen vielfach in rein anatomischem Sinne gebraucht worden.

sind, wiegt augenscheinlich die Assimilationsthätigkeit vor, und die mechanische Wirksamkeit tritt in den Hintergrund. Erst wenn die Zellformen mit Rücksicht auf die Zuspitzungen der Enden einen entschieden prosenchymatischen Character annehmen, indess gleichzeitig der grüne Inhalt immer spärlicher wird oder vollständig verschwindet; wenn ferner die Poren, sofern solche vorhanden, eine spaltenförmige Gestalt annehmen und dabei longitudinal oder schwaeh schief gestellt sind, d. h. wenn die Molecularreihen annähernd in der Längsrichtung verlaufen, erhält die mechanische Bedeutung das Uebergewicht. Ein solches Collenchym findet man unter den Monocotylen beispielsweise bei *Tradescantia erecta* (und andern Arten), wo die Zellen bis 900 Mik. Länge erreichen, unter den Dicotylen bei den verschiedensten Familien ungemein häufig, in sehr schöner Ausbildung namentlich bei Umbelliferen, Compositen, Aggregaten, Cucurbitaceen, Malvaceen, Chenopodiaceen etc. Die einzelnen Zellen sind bald pfriemenförmig zugespitzt, bald bloss dachförmig zugeschärft, wobei die schiefen Enden vorzugsweise auf Tangentialschnitten deutlich hervortreten. Da ihre Wandungen schon in jungen Internodien vollständig ausgebildet sind, jedoch später an der Streckung der Gewebe Theil nehmen, so rücken die ursprünglichen Enden allmählig weiter aus einander. Dabei findet gewöhnlich eine Quertheilung und somit eine Fächerung der Mutterzelle statt. Ob bei diesem Vorgange die ersten Querwände sich nach und nach schief stellen und gleichzeitig etwas verdicken, oder ob sie ihre ursprüngliche Lage beibehalten, kommt als entwicklungsgeschichtliches Moment hier nicht in Betracht; ich betone bloss die anatomische Thatsache, dass die Querwände einer an beiden Enden zugeschärften Zelle mit verdickten Wandungen selbst nicht verdickt sind. Die Zahl dieser Wände ist übrigens sehr variabel; bald sind es nur wenige oder selbst gar keine, bald so viele, dass die einzelnen Theilzellen kaum 3 bis 4 Mal so lang als breit erscheinen. Die Poren fehlen nicht selten vollständig oder sind doch sehr spärlich vorhanden; andererseits gibt es aber auch Beispiele, wo sie in grosser Zahl auftreten (*Tradescantia*). In allen Fällen stehen sie longitudinal oder etwas links-schief.

Die Wandungen des Collenchyms sind bekanntlich sehr weich und quellungsfähig. Es kommt jedoch hin und wieder vor, dass sich später einzelne Zellen ganz nach Art der Bast- oder Libriformzellen ausbilden, indem sie eine derbe Membran von gleichmässiger Dicke und mit zahlreichen linksschiefen Poren erhalten. Solche Zellen kommen z. B. in den ältern Internodien von *Tecoma radicans* sowohl unmittelbar unter der Epidermis als auch etwas tiefer im Innern regelmässig vor; sie fallen durch ihre Färbung schon im Querschnitt auf. Eine ähnliche Umwandlung vollzieht sich im Basttheil (Phloem) der Gefässbündel von *Eryngium planum* (Taf. XIV, 4), *Astragalus falcatus* u. a. Der junge Bast — das Wort im herkömmlichen Sinne genommen — ist bei diesen Pflanzen geradezu collenchymatisch. Erst später modelliren sich aus diesem Collenchym die eigentlichen Bastzellen, die sich schon durch ihre stärkere Lichtbrechung abheben, heraus, so zwar, dass der übrig bleibende Membran-

stoff nun als gewöhnliche Intercellularsubstanz erscheint. Auch hier ist übrigens diese Umwandlung keineswegs eine durchgreifende: einzelne Collenchymzellen bleiben unverändert, werden jedoch durch den Druck der Bastzellen unregelmässig comprimirt und verzerrt (Taf. XIV, 4). In vielen Fällen bleibt bekanntlich das Phloem vollständig bastlos; allein statt des Bastes figuriren häufig langgestreckte Zellen mit collenchymatischen Verdickungen (*Phlox paniculata*, *Lycium barbarum*). Es kann alsdann vorkommen, dass bei stärkeren Gefässbündeln einzelne Zellen dieses Collenchyms sich in ähnlicher Weise differenziren, wie in den eben genannten Fällen: d. h. sie erhalten derbere und gleichmässig verdickte Wandungen, wie der ächte Bast oder das Libriform; so z. B. bei *Physostegia speciosa*.

An diese Beispiele, welche den Uebergang von Collenchym in Libriform durch eine Art von nachträglicher Metamorphose veranschaulichen sollen, schliessen sich einige weitere an, welche durch rein anatomische Zwischenstufen von einer Zellform zur andern hinüberführen. Ich beschränke mich hier wieder ausschliesslich auf Monocotylen. Die subepidermalen Rippen, wie sie bei einigen Aroideen (*Arum maculatum*, *Atherurus ternatus* etc.) vorkommen, gewähren im Querschnitt das Bild eines typischen Collenchyms. Allein die Länge der Zellen ist so bedeutend (oft über 1 Millimeter), die Höhlung durchschnittlich so klein und die Widerstandsfähigkeit gegen Zug so bedeutend, dass es mit gewöhnlichem Collenchym nicht in die gleiche Linie gestellt werden darf. Die spärlichen Poren stehen zwar longitudinal; allein diess kommt auch bei den besten Bastsorten hin und wieder vor. Ueberdiess bestehen die entsprechenden Bündel bei andern verwandten Gewächsen, z. B. im Blattstiel von *Colocasia antiquorum*, zum Theil aus normalem, nicht collenchymatischem Bast.

In Beziehung auf Fächerung der Zellen kommen sowohl beim Bast als beim Collenchym die verschiedensten Abstufungen vor: keine, wenige oder zahlreiche Querwände. Auch der extracambiale Bast der Dicotylen ist häufig gefächert. Von einem wesentlichen Unterschiede kann also in dieser Beziehung nicht die Rede sein. Die vorkommenden Abweichungen beschränken sich einzig und allein darauf, dass die Neigung zur Quertheilung beim Collenchym öfter und entschiedener hervortritt als beim typischen Bast mit Einschluss des Libriforms¹⁾.

Was sodann die Unterseheidung von Libriform und Bast, speziell bei Dicotylen anbelangt, so wurde schon oben erwähnt, dass der Verdickungsring keineswegs als Grenzlinie zwischen morphologisch verschiedenen Gewebetypen zu betrachten ist. Denn man findet erstens da und dort Gefässbündel mit normalen Bastsiebeln sowohl innerhalb der primordialen Gefässe als ausserhalb des Cambiums, so z. B. bei *Cocculus laurifolius*, dann bei *Senecio coriaceus*, *Scorzonera lasiocarpa*, *Echinops bannaticus* und andern Compositen. Zweitens ist es ein ebenso häufiger Fall, dass der Bast auf der Phloemseite der Gefässbündel

¹⁾ Ueber die Fächerung des Libriforms vgl. Sanio, Bot. Zeitg. 1863, p. 109.

vollständig mangelt und ohne Veränderung der Zellformen ganz auf die Innenseite des Cambiums verlegt ist. Ja bei *Tropaeolum majus*, das einen continuirlichen Bastring besitzt, nimmt derselbe im Laubstamm constant die eben bezeichnete Stellung ein, rückt dagegen in den Blatt- und Blütenstielen wieder auf die Aussenseite des Cambiums. Dabei sind natürlich die Zellen, aus denen diese Ringe bestehen, durchaus übereinstimmend gebaut; es sind langgestreckte Prosenchymzellen mit mässig verdickten Wandungen und linksschiefen spaltenförmigen Poren. Eine der längsten, die ich im Stengel gemessen, hatte eine Gesamtlänge von 2,8 Mill. und eine einzige Querwand in der Mitte. Man ersieht hieraus, dass die Pflanze bei der Aufstellung der mechanischen Elemente, zumal in einjährigen Trieben, auf die Lage des Verdickungsringes wenig Rücksicht nimmt. Drittens ist zu bemerken, dass die allerdings häufig zu beobachtende geringere Längendimension des Libriforms im Xylem der Dicotylen, verglichen mit dem Bast der nämlichen Pflanze, weder ein allgemein zutreffendes Merkmal, noch für die innerhalb des Cambiums liegenden Zellen charakteristisch ist. Kurze mechanische Zellen kommen auch ausserhalb des Cambiums vor, so z. B. bei *Solidago altissima*, *Aster Novae Angliae* etc. zwischen den normalen Bastbündeln und dem Cambium. Ein ferneres Beispiel hiefür liefert auch das Libriform im Stamme von *Dracaena* und *Cordyline*, von welchem weiterhin gezeigt werden soll, dass es die Stelle des Bastes vertritt. Ebenso kann man in den Knoten der Gramineen, Juncaceen und anderer Monocotylen oft sehr schön beobachten, wie die langen Bastzellen der Internodien sich hier theilweise ganz auffallend verkürzen, so dass sie oft nur noch 4 bis 6 Mal so lang als breit sind.

Die Längenausdehnung der mechanischen Zellen ist überhaupt eine Sache für sich. Sie hängt viel zu sehr von äussern Einflüssen ab, als dass sie für diese oder jene Erscheinungsform charakteristisch sein könnte. Es ist klar, dass eine starke Streckung der Organe auch das Längenwachsthum der Bast- und Libriformzellen begünstigen muss, während umgekehrt der Widerstand der Gewebe in ausgewachsenen Organen dasselbe mehr oder weniger beeinträchtigt. Demgemäss ist die Gesamtlänge der mechanischen Zellen sowohl von der Zeit der Ausbildung als von der Beschaffenheit der Umgebung bis zu einem gewissen Grade abhängig. Aus dieser Abhängigkeit erkläre ich mir z. B. die Thatsache, dass die secundären Bastzellen in der Rinde von *Crataegus monogyna* erheblich kürzer sind als die primären; ihre Länge beträgt nämlich selten über 0,5 Millimeter und variirt bei der Mehrzahl zwischen 0,15 und 0,3 Mill., die kleinsten erreichen oft kaum 0,10 Mill. In gleicher Weise mag die Kürze der Libriformzellen im Stamme von *Cordyline australis*, wo sie in den Blattspurbündeln die Stelle der Bastzellen einnehmen, mit dem geringen intercalaren Wachsthum des Stammes in etwelchem Zusammenhange stehen. Umgekehrt denke ich mir die aussergewöhnliche Länge, welche die mechanischen Zellen im Holze der Dicotylen erreichen können, theilweise durch die entgegengesetzten äussern Einflüsse bedingt: durch frühzeitige Anlage, beträchtliche Streckung des Organs oder durch

Weichheit der Umgebung. Es kommen hin und wieder Maxima vor, welche an die Dimensionsverhältnisse des ächtesten Bastes erinnern, so z. B. im Rhizom von *Glycyrrhiza glandulifera*, wo die betreffenden Zellen, die hier bündelweise oder einzeln zwischen die Gefässe des sonst weichen Xylems eingestreut sind, eine Länge von 1 bis 1,5 Mill. erreichen. Etwas kleinere Längen, die sich zwischen 0,6 und 0,7 Mill. bewegen, gehören zu den häufig vorkommenden Fällen¹⁾.

Richten wir endlich unser Augenmerk auf die Porenkanäle, so finden wir eine fast durchgreifende Uebereinstimmung derselben in Form und Stellung. Sie sind stets länglich oder geradezu spaltenförmig und bezüglich der Neigung zur Axe entweder longitudinal oder mehr oder weniger schief gestellt. Die schiefe Stellung schwankt in der grossen Mehrzahl der Fälle zwischen 0 und 45 Grad und entspricht mit ganz seltenen Ausnahmen einer linksläufigen Schraubenlinie. Poren, welche sich mehr der Quer- als der Längsrichtung nähern, kommen nur bei wenigen Pflanzen vor. Obschon nun freilich die Poren als verdünnte Stellen der Membran mit der mechanischen Leistungsfähigkeit der Zellen Nichts zu thun haben, sondern bloss die Durchlüftung und eventuell auch die Saftleitung erleichtern, so lege ich doch einiges Gewicht auf dieses Merkmal, weil daraus die Richtung der Molecularreihen erschlossen werden kann. Wenn die Poren fehlen, was kein ganz seltener Fall zu sein scheint, ist die Feststellung des molecularen Baues mit Schwierigkeiten verbunden.

Von den Formveränderungen, welche die mechanischen Zellen und speziell die Poren erfahren, wenn sich jene in höherem Grade als gewöhnlich bei der Durchlüftung betheiligen, wird später die Rede sein. Hier bemerke ich nur, dass der Uebergang zu den vorwiegend trachealen Zellformen (Gefässen) bei Dicotylen (wie übrigens schon Sanio gezeigt hat) ein ganz allmäliger ist, während bei Monocotylen hieher gehörige Zwischenformen nur bei *Cordyline* und ihren Verwandten vorkommen, wo jedoch die Metamorphose nirgends bis zur eigentlichen Gefässbildung fortschreitet. Doch findet man bei *Chlorophytum Sternbergianum* Libriformzellen mit ringförmigen Verdickungen, zwischen denen zuweilen noch links-schiefe behöfte Poren in grosser Anzahl zur Ausbildung gekommen sind.

Ueberblicken wir jetzt noch einmal — von den Moosen aufwärts bis zu den Dicotylen — sämtliche Zellformen des mechanischen Systems, so erkennen wir als allgemeinste Merkmale die prosenchymatische Form und die longitudinale oder linksläufig-spiralige Anordnung der Molecüle. Dazu kommt in der Regel eine sehr beträchtliche Länge, eine dem molecularen Bau entsprechende Form und Stellung der Poren, sowie ein luftführendes Lumen. Alles Uebrige, wie z. B. die Beschaffenheit und relative Dicke der Membran, die Grösse des Querdurchmessers etc., ist grossen Schwankungen unterworfen. Aber auch in diesen untergeordneten Merkmalen stimmen die Zellformen der verschiedenen

Vgl. Sanio, Bot. Ztg. 1863, p. 106 u. 114.

Pflanzenklassen oft so auffallend überein, dass die Unterscheidung beliebig durch einander liegender Bastzellen von Lycopodien, Farnkräntern, Monoeotylen etc. bei richtiger Auswahl gar nicht möglich ist. Das mechanische System der höheren Gewächse besteht somit durchweg aus den nämlichen Zellformen.

Anmerkung. Ich erachte es für überflüssig, die Eingangs erwähnten divergirenden Ansichten hier ausführlicher zu widerlegen, da sich die Unhaltbarkeit derselben aus den folgenden Capiteln ganz von selbst ergeben wird. Es ist z. B. nicht der geringste Grund vorhanden, den Bast der Gefässbündel als etwas Besonderes zu betrachten, das vom isolirt auftretenden Baste zu unterscheiden wäre. Die Zellformen sind im Gegentheil genau dieselben. Ueberhaupt ist die gewöhnliche Auffassung, als ob der Bast gleich dem Cambiform und dem Holzparenchym wesentlich zum Gefässbündel gehöre, eine irrige. Ich werde darthun, dass die Vertheilung desselben im Querschnitt nach mechanischen, nicht nach morphologischen Gesetzen und darum in gewissem Sinne unabhängig von den Gefässbündeln erfolgt. Wenn diese trotzdem häufig kleinere oder grössere Bastbelege besitzen, so hat das seinen besondern Grund.

2. Elasticität und Festigkeit der mechanischen Zellen.

Um eine mechanische Construction mit Bezug auf ihre Widerstandsfähigkeit beurtheilen zu können, ist vor Allem die Kenntniss des Materials nöthig, aus welchem die wichtigsten Constructionstheile bestehen; erst in zweiter Linie kommt die Art der Zusammenfügung in Betracht. In unserem Falle sind es die typischen Bast- oder Libriformzellen, welche schon mit Rücksicht auf ihre häufige Verwendung am ehesten als Maassstab dienen können. Ihnen kommt auch unzweifelhaft die grösste Widerstandsfähigkeit zu, die sich indess je nach der Dicke der Wandungen und der Besechaffenheit der Membransubstanz voransichtlich mannigfach abstuft. Das Collenchym ist weniger resistent und im Allgemeinen um so schwächer, je mehr es sich dem Parenchym nähert; jedenfalls nimmt es in der mechanischen Stufenfolge die letzte Stelle ein.

Um die Elasticitätsverhältnisse des Bastes zu prüfen, wandte ich folgendes Verfahren an. Es wurden Riemen von e. 150 bis 400 Millimeter Länge und etwa 2 bis 5 Mill. Breite aus Blättern oder bastreichen Stengeltheilen herausgeschnitten, am obern Ende in den Schraubstock, am untern in eine starke Pincette gespannt, welche zugleich zum Anhängen der Gewichte eingerichtet war. Die Messung der Längenzunahme in Folge der Belastung geschah mittelst eines Lineals, welches unten auf den horizontal abgeschliffenen Kopf der Pincette aufgesetzt und oben an die Seitenfläche des Schraubstockes dergestalt angelegt wurde, dass hier der Abstand vom untern Ende durch einen dicht am Rande mit der Nadel gezogenen Querstrich bezeichnet werden konnte. Auf diese Weise wurde zunächst die Länge im ursprünglichen Zustande, dann diejenige im belasteten Zustande notirt; die Entfernung der Striche gab die Verlängerung. Nach Wegnahme der Gewichte wurde die Messung noch einmal in gleicher Weise ausgeführt, um eine allfällige bleibende Verlängerung oder aber die vollständige Elasticität des Riemens zu constatiren.

Von dem so geprüften Riemen wurden jetzt in der Nähe der schwächsten Stelle, die sich in zweifelhaften Fällen leicht durch Zerreißen bestimmen liess, Querschnitte angefertigt, bei angemessener Vergrößerung mit Hülfe der Camera lucida skizzirt und sodann die Querschnittsfläche der widerstandsfähigen Elemente auf der Skizze gemessen. Feste Xylemstränge wurden einfach mit in Rechnung gebracht, die übrigen Gewebe dagegen vernachlässigt, weil sie für sich allein nachweisbar keinen nennenswerthen Widerstand leisten. Wo es nöthig schien, wurde auch das Verhältniss des Lumens zur Wanddicke mit berücksichtigt. Alles Weitere ist in den folgenden Beispielen enthalten.

Erstes Beispiel. Riemen aus dem mittleren Theil des Blattes von *Phormium tenax*, 390 Mill. lang und nach einigen vorläufigen Proben auf c. 1,5 bis 2 Mill. verschmälert. Derselbe verlängerte sich jetzt bei 10 Kilo Belastung um 5 Mill. und blieb dabei vollkommen elastisch. Bei 15 Kilo Belastung riss er entzwei. Der Querschnitt zeigte im Ganzen nur 5 Gefässbündel mit starken Bastbelegen, deren Quadratinhalt bei 40maliger Vergrößerung nicht über 750 \square Mill. oder rund 800 \square Mill. betrug. Die wirkliche Querschnittsfläche des Bastes berechnet sich also höchstens auf 0,5 \square Millimeter. Das übrige Gewebe kann um so eher vernachlässigt werden, als die allerdings kleinen Lumina der Bastzellen nicht in Abzug gebracht sind. Als zulässige Belastung per Quadratmillimeter erhält man demzufolge 20 Kilo.

Ein früherer Versuch mit einem Riemen aus dem schwächern Theil des Blattes, 430 Mill. lang und 5 Mill. breit, ergab bei 10 Kilo Belastung eine Verlängerung von 5,6 bis 6 Mill. bei vollkommener Elasticität. Dieser Versuch wurde mehrere Male wiederholt. Der Riemen zeigte im Querschnitt 8 durchgehende Iförmige Träger und ebenso viele Nebenrippen. Querschnitt der Bastbelege unbekannt; dafür wurde das im Schraubstock eingespannt gewesene Stück gemessen. Dasselbe war im Mittel 250 Mik. dick und ergab einen Gesamitquerschnitt von 1,25 \square Mill., wovon nach spätern Erfahrungen auf den Bast etwa die Hälfte zu rechnen ist. Zulässige Belastung also annähernd 16 Kilo per \square Millimeter.

Zweites Beispiel. Ein starker Blüthenschaft von *Fritillaria imperialis*, dessen oberes Ende noch 11 Mill. Durchmesser hatte, wurde in 4 Quadranten gespalten und Mark und Rinde bis auf den Bastring möglichst entfernt. Einer der so erhaltenen Riemen von 8 Mill. Breite und 180 Mill. Länge trug 10 Kilo und verlängerte sich hierbei um 2 bis 2,2 Mill. Mittlere Dicke des Bastringes, im Querschnitt gemessen, 120 Mik., folglich die Schnittfläche = $8 \cdot 0,12 = 0,96$ oder rund 1 \square Mill. Behufs genauerer Berechnung des Querschnittes müssten hier die Lumina abgezogen werden.

Drittes Beispiel. Riemen aus einem 12 Mill. dicken Stengel von *Lilium auratum*, in gleicher Weise präparirt, wie im vorhergehenden Falle, aber nur 2,5 Mill. breit bei einer Länge von 158 Mill. Verlängerung bei 15 Kilo Belastung = 1,2 Mill. Dicke des Bastringes = 0,475 Mill., also die Querschnittsfläche $2,5 \cdot 0,475 = 1,1875$ oder rund 1,2 \square Mill. Zahl der Lumina

nach approximativer Berechnung auf die ganze Fläche c. 1700, mittlerer Durchmesser derselben etwa 16 Mik. und folglich der Quadratinhalt = $0,34 \square \text{Mill.}$ Nach Abzug dieser Grösse von $1,2 \square \text{Mill.}$ bleiben $0,86 \square \text{Mill.}$ Hievon wären streng genommen noch einige im Bastring eingeschlossene Cambiformstränge abzuziehen. Alles in Anschlag gebracht, erhält man für den Quadratmillimeter jedenfalls gegen 20 Kilo Tragkraft. — Wollte man für den Bast bloss eine durchschnittliche Membrandicke von 6 Mill. in Reehnung bringen, wie ich sie in meinen Notizen ausdrücklich angegeben finde, so würde die wirksame Querschnittsfläche noch bedeutend kleiner, die Tragkraft also grösser ausfallen. Bei einem gleichmässigen Durchmesser von 29 Mik. könnte man nämlich auf der gegebenen Fläche von $1,2 \square \text{Mill.}$ etwa 1800 Kreise plaeiren, welche in unserem Falle nur etwa $0,4 \square \text{Mill.}$ messen würden. Bei dieser Berechnungsweise erhalten jedoeh die Zwischenzellräume zu grosse Werthe.

Viertes Beispiel. Blattriemen von *Jubaea spectabilis*, 230 Mill. lang und 5 Mill. breit. Belastung 12 Kilo, Verlängerung = 2,9 Mill. bei vollkommener Elasticität. Dicke des Blattes = 0,3 bis 0,32 Mill. Querschnittsfläche des Riemens also annähernd $5 \cdot 0,3 = 1,5 \square \text{Mill.}$ Hievon nimmt der Bast etwa einen Viertel ein; addirt man hiezu den Widerstand der andern Gewebe, indem man ihn hoch angeschlagen in Bast ausdrückt, so kann der Gesamtquerschnitt noch kaum $0,6 \square \text{Mill.}$ betragen. Also abermals e. 20 Kilo Tragkraft per $\square \text{Mill.}$, ohne Abzug der Lumina.

Fünftes Beispiel. Riemen von der Oberfläche eines Papyrusstengels, erhalten durch Abziehen der peripherisehen Haut, nachdem vorher in einer Entfernung von 7 Mill. radiale Einsehnitte parallel mit den subepidermalen Bastrippen gemacht worden. Länge des Riemens = 460 Mill., Belastung 12 Kilo, Verlängerung hiebei = 5 Millimeter. Dicke des Riemens im eingeklemmten Theil etwa 0,2 Mill. Querschnittsfläche demgemäss e. $7 \cdot 0,2 = 1,4 \square \text{Mill.}$, was auf Bast reducirt etwa $0,7 \square \text{Mill.}$ ausmaecht. Das Tragvermögen per Quadratmill. beziffert sich hienach auf 17 Kilo.

Ein zweiter Riemen von gleicher Länge und 6 Mill. Breite verlängerte sich bei 10 Kilo Belastung um 4,5 Millimeter; er wurde nachträglich auf 4 Mill. verschmälert und zeigte jetzt bei 10 Kilo Belastung eine Verlängerung von 7 Mill. Eine weitere Verschmälerung auf e. 3 Mill. ergab unter gleichen Bedingungen 8,6 Mill. Längenzunahme, aber zugleich eine bleibende Verlängerung von 0,6 Mill. Die Elasticitätsgrenze war also überschritten. Von diesem Riemen wurden naehher Querschnitte angefertigt, welche die Grösse der Bastbündel annähernd zu bestimmen gestatteten. Es waren vorhanden (man vergl. zur Orientirung Taf. II, Fig. 1):

70 subepidermale Bastbündel, durchschnittl.	à 12 Zellen =	840
22 Gefässbündel mit starken Bastsieheln	à 140 Zellen =	3080
17 mittelgrosse Bündel mit Bastsieheln	à 70 Zellen =	1190
16 kleinere Bündel mit Bastsieheln	à 12 Zellen =	192

Gesamtzahl der Bastzellen 5302.

Mittlerer Durchmesser der Bastzellen höchstens 10 Mik. Querschnittsfläche einer Zelle = 78,5 oder rund 80 Quadratmik., macht auf 5302 Zellen = 0,42 Quadratmillimeter. Auf eine Breite von 4 Millimeter (statt 3) berechnet, wird diese Fläche ungefähr um einen Drittel grösser, also annähernd 0,56 □Mill., wovon indess noch die Lumina abzuziehen wären. Xylem und Parenchym können nach Versuchen mit Riemen aus dem Marke vernachlässigt werden. Die Tragkraft per Quadratmill. kann also wieder auf c. 20 Kilo veranschlagt werden.

Sechstes Beispiel. Hälfte des Stengels von *Molinia coerulea*, mittlerer Theil. Länge = 475 Mill., Verlängerung bei 5 Kilo Belastung = 2 Mill., bei 10 Kilo = 4 Mill., bei 12 Kilo = 5,2 Mill. Ich konnte keine bleibende Verlängerung constatiren. Bei 15 Kilo Belastung riss der Halm am schwächeren Ende entzwei. Die möglichst genaue Berechnung der Querschnittsfläche ergab für den Bastring = 0,264, für die 12 subepidermalen Rippen 0,076, zusammen = 0,34 Quadratmillimeter. Hiezu wären noch die Bastbelege der grossen inneren Gefässbündel zu addiren, sowie die der Epidermis und den übrigen Geweben entsprechenden Bastäquivalente, die jedoch zusammengenommen mit 0,2 □Mill. eher zu hoch als zu niedrig angeschlagen sind. Der Gesamtquerschnitt, in Bast ausgedrückt, kann also höchstens 0,54 □Mill. betragen.

Siebentes Beispiel. Starker Fibrovasalstrang vom Rande eines Blattes der *Pincenectia recurvata*. Länge = 310 Mill., Verlängerung bei 1 Kilo Belastung = 2,25 Mill., bei 1,5 Kilo = 3,2 Mill., bei 2 Kilo = 4,5 Mill. Keine bleibende Veränderung. Reisst bei 2,5 Kilo Belastung entzwei. Dieser Strang hatte im Querschnitt eine dreieckige Form und bestand aus einer einzigen, auf zwei Seiten von der Epidermis überzogenen Bastmasse, in welche auf der dritten Seite ein kleines Gefässbündel eingesenkt war. Die Querschnittsfläche des ganzen Dreiecks betrug 0,80 □Mill., woraus sich für den Quadratmillimeter eine Belastung von 25 Kilo ergibt.

Achtes Beispiel. Rhizom von *Glycyrrhiza glandulifera*. 7 Mill. dick, in 4 Theile gespalten. Ein solches Theilstück von 385 Mill. Länge verlängert sich bei 2 Kilo Belastung um 10 Mill., beim Hängenlassen des Gewichts in etwa 20 Minuten um 15 Mill. Nach Entfernung der Belastung tritt eine plötzliche Verkürzung von 9 Mill. ein, die sich nach einigen Minuten auf 11,5 Mill. steigert. — Bei 3 Kilo Belastung erfolgt eine allmälige Verlängerung bis auf 41 Mill.: die plötzliche Verkürzung bei Wegnahme des Gewichts beträgt 16 Mill., dazu kommen eine Viertelstunde später weitere 4 Mill.

Neuntes Beispiel. Ganzer Stengel von *Dianthus capitatus*, 240 Mill. lang und e. 2 Mill. dick. Derselbe trug 10 Kilo und verlängerte sich hiebei um 1,8 Mill. (Bei stärkerer Belastung reissen diese Stengel in irgend einem Knoten entzwei, bevor die Elastieitätsgrenze der Internodien erreicht ist.) Diameter des Bastringes von Mitte zu Mitte = 1,8 Mill., Dicke desselben = 0,125 Mill., daher die Querschnittsfläche $1,8 \cdot 0,125 \pi = 0,7$ □Mill. Also immerhin eine Tragkraft von 14,3 Kilo per Quadratmillimeter.

Zehntes Beispiel. Riemen aus dem peripherischen Bastring des Blattstiels von *Cibotium Schiedeii*. 2,6 Mill. breit und 0,66 Mill. dick. Verlängert sich bei 15 Kilo Belastung um nahezu 1 Procent. Derselbe Riemen trägt noch 15 Kilo, nachdem er auf 1,6 Mill. Breite verschmälert worden. Auf 1,25 Mill. Breite reducirt, widersteht er dem nämlichen Zuge noch etwa 2 Sekunden und reisst dann. Nehmen wir 1,5 Mill. Breite als zulässig an, so beträgt der Querschnitt des Riemens = 1 □Mill., nach Abzug der Zellhöhlungen beträchtlich weniger. Die Tragkraft kann demnach immerhin auf 18—20 Kilo per Quadratmillimeter veranschlagt werden.

Elftes Beispiel. Eines der untern 5 Mill. dicken Internodien von *Secale cereale* zur Zeit der Fruchtreife wurde in vier ungefähr gleich starke Riemen gespalten. Zwei derselben wurden hierauf so eingespannt, dass das Kopfende des einen neben das Fussende des andern zu liegen kam. Die Länge dieses Doppelriemens betrug 285 Mill., die Verlängerung bei 10 Kilo Belastung = 1,25 Millimeter. Querschnitt des (halben) Bastringes mit Einschluss der isolirten Bastbelege höchstens 1 Quadratmill., wovon ungefähr ein Drittel auf die Zellhöhlungen fällt und daher in Abzug zu bringen ist. Man erhält demnach für das Elasticitätsmodul:

$$E = \frac{285}{1,25} \cdot \frac{10}{0,66} = 3450 \text{ per } \square\text{Mill.}$$

wobei zu bemerken, dass diese aussergewöhnlich hohe Ziffer durch die Veränderungen während der Fruchtreife bedingt ist.

Um die etwas unsichere Bestimmung der Querschnittsfläche einigermaßen zu controliren wurde nachträglich ein 150 Mill. langes Stück eines ungefähr gleich starken Internodiums von 5 Mill. Durchmesser im lufttrockenen Zustande gewogen. Das Gewicht betrug 0,2664 Gramm. Betrachten wir nun vorläufig das ganze Gewebe als Bast und setzen wir das spezifische Gewicht des letzteren = 1,5 (wie für die lufttrockene Stärke), so ergibt sich aus dem Gesamtgewicht des Halmstückes ein Volumen von 177 Kubikmillimeter, folglich ein Querschnitt von 1,18 □Mill. für den ganzen und von 0,59 □Mill. für den halben Hohleylinder. Erwägt man nun, dass Gefässbündel und Markgewebe jedenfalls einen nicht ganz unerheblichen Bruchtheil des Gewichts repräsentiren, so ist mindestens soviel sicher, dass die in Rechnung gebrachte Querschnittsfläche (= 0,66 □Mill.) eher zu hoch als zu niedrig angesetzt wurde.

Versuche mit andern, etwas weniger reifen Halmen ergaben für das längste Internodium (von 400 Mill.) eine Tragkraft von mindestens 20 Kilo und ein Elasticitätsmodul von 1600.

Stellen wir jetzt die erhaltenen Resultate übersichtlich zusammen, so ergibt sich eine Verlängerung bei der Elasticitätsgrenze von 1 bis 1,5 Procent oder von 10 bis 15 Längeneinheiten auf 1000. Nur bei *Lilium auratum* sinkt die Längenzunahme auf etwa $\frac{3}{4}$ Procent, bei *Secale cereale* zur Zeit der Frucht-

reife sogar unter $\frac{1}{2}$ Procent. Das Tragvermögen per Quadratmillimeter Querschnittsfläche variirt gewöhnlich zwischen 15 und 20 Kilo, steigt aber in seltenen Fällen bis 25 Kilo. Das Elasticitätsmodul¹⁾ beträgt im Minimum etwa 1100, im Maximum gegen 2000 Kilogramm-Millimeter; nur in ganz seltenen Fällen oder im halb ausgetrockneten Zustande erreicht es die Höhe von 2500 bis 3500. Die speziellen Daten sind in folgender Uebersicht enthalten.

Name	Verlängerung auf 1000	Tragvermögen per □ Mill.	Elasticitätsmodul.
Phormium tenax	13	20	1540
Dasselbe	14	16	1140
Fritillaria imperialis	12	—	—
Lilium anatum	7,6	19	2500
Jubaea spectabilis	12,6	20	1580
Papyrus antiquorum	15,2	20	1310
Molinia coerulea	11	22	2000
Panicum recurvatum	14,5	25	1720
Dianthus capitatus	7,5	14,3	1910
Secale cereale	4,4	15—20	3450

Zur Vergleichung mögen nachstehend noch einige auf Metalle bezügliche Angaben Platz finden. Dieselben sind der 5. Auflage von Weisbach's »Ingenieur- und Maschinenmechanik« entnommen und beziehen sich ebenfalls nur auf Spannungen, welche die Elasticitätsgrenze nicht überschreiten.

Name	Verlängerung auf 1000	Tragvermögen pro □ Mill.	Elasticitätsmodul.
Schmiedeeisen			
in Stäben	0,67	13,13	19700
in Drähten	1,00	21,9	21900
in Blechen	0,80	14,6	18300
Deutscher Stahl, gehärtet und angelassen	1,20	24,6	20500
Messing	0,75	4,85	6400
Messingdraht	1,35	13,3	9870
Zinkguss	0,24	2,3	9500
Kupferdraht	1,00	12,1	12100

Man ersieht hieraus, dass der Bast in Beziehung auf Tragvermögen bei der Elasticitätsgrenze selbst dem Schmiedeeisen und in den besten Qualitäten sogar dem Stahl ebenbürtig ist. Er unterscheidet sich aber durch zwei wichtige Merkmale wesentlich von den Metallen, nämlich 1) durch die ungleich stärkere Dehnbarkeit, worüber die mit Verlängerung bezeichneten Colonnen das Nähere enthalten, dann aber auch 2) durch die geringe Differenz zwischen Tragmodul und Festigkeitsmodul, d. h. zwischen den Zugkräften, welche bloss eine Ver-

¹⁾ Elasticitätsmodul = $\frac{\text{Tragvermögen} \times \text{Länge}}{\text{Verlängerung}}$

längerung bis zur Elasticitätsgrenze, und denen, welche ein sofortiges Zerreißen bewirken. Bei dem Schmiedeeisen in Stäben ist beispielsweise ein Gewicht von 40 Kilo per □Mill. erforderlich, um die Cohäsion der Eisentheilchen sofort zu überwinden; das Festigkeitsmodul ist also ziemlich genau das Dreifache des Tragmoduls. Aehnlich bei den andern Metallen. Der normale Bast dagegen zerreißt sogleich, sobald die Spannung an der Elasticitätsgrenze merklich überschritten wird. Es kam mir z. B. öfter vor, dass ein Riemen bei 10 Kilo Belastung trotz mehrmaliger Wiederholung des Versuches und selbst bei längerem Hängenlassen des Gewichtes keine bleibende Verlängerung zeigte, aber bei 12 bis 13 Kilo Belastung augenblicklich entzwei riss. Die Natur hat offenbar ihre ganze Sorgfalt auf das Tragvermögen verwendet. Und mit Recht, denn das Festigkeitsmodul kommt bei Constructionen thatsächlich gar nicht in Betracht, da jede Ueberschreitung der Elasticitätsgrenze durchaus unstatthaft ist. Der grössern Sicherheit wegen wird nicht einmal das Tragmodul in seinem vollen Werthe in Rechnung gebracht. So ist z. B. beim Bau eiserner Brücken nur eine Maximalspannung von 6 bis 8 Kilo pro Quadratmillimeter, also ungefähr die Hälfte des wirklichen Werthes, als practisch zulässig erkannt worden. Soviel dürfte man den bessern Bastarten jedenfalls auch zumuthen.

Im Uebrigen bemerke ich noch, dass sich die mitgetheilten Beobachtungen nur auf den lebensfrischen Bast beziehen. Der trockene Bast scheint zwar im Ganzen genommen übereinstimmende Elasticitätsverhältnisse darzubieten; doch hat das Austrocknen in jedem gegebenen Fall einen gewissen Einfluss auf die Cohäsion, den ich jedoch hier nicht näher verfolgen will. Beispielsweise führe ich bloss an, dass die Längenzunahme von 5,6—6 Mill., welche ich an dem oben erwähnten 5 Mill. breiten und 430 Mill. langen Blattstreifen von *Phormium tenax* bei 10 Kilo Belastung beobachtet hatte, am andern Tag noch 3,5 Mill., am dritten nur noch 3,3 Mill. betrug. 15 Kilo Belastung bewirkten jetzt eine Verlängerung von 5 Mill. bei vollkommener Elasticität. Hiernach würde das Tragvermögen pro Quadratmillimeter auf nahezu 24 Kilo anzuschlagen sein. Das Austrocknen dieses Riemens fand im eingespauften Zustande statt; auch die Pincette war daran hängen geblieben. Die Länge des nicht belasteten Riemens war nach wie vor dieselbe. — Ferner mag noch erwähnt werden, dass der käufliche Lindenbast bester Qualität im trockenen Zustande ähnliche Ergebnisse liefert. Ich beobachtete z. B. eine Verlängerung von 12 auf 1000 und ein Tragvermögen, das sich mindestens auf 20 Kilo per Quadratmillimeter berechnet¹⁾.

¹⁾ Ueber das Verhalten der mechanisch wirksamen thierischen Substanzen liegen meines Wissens nur wenige und unvollständige Angaben vor, welche sich ebenfalls vorwiegend auf den trockenen Zustand beziehen. Nach Wertheim variirt das Tragvermögen der Knochensubstanz zwischen 3,3 und 15 Kilo per □Millimeter. Die Sehne des m. plantaris zerriss nach Valentin bei einer Belastung von 3,7 Kilo per □Millimeter. Nach eigenen Versuchen endlich ist die Widerstandsfähigkeit einer trockenen Gänsefederspule ungefähr derjenigen der bessern Bastarten gleich (c. 15 Kilo per □Millimeter).

Für die arithmetische Berechnung des Biegemomentes ist es unter Umständen bequemer, statt des Millimeters den Centimeter als Einheit zu wählen. Selbstverständlich werden dadurch Elasticitäts- und Tragmodul 100 mal grösser. Ersteres kann alsdann für Bast mit 100000 bis 200000, für Schmiedeeisen mit rund 2 Millionen in Rechnung gebracht werden.

3. Ueber die Lagerung der mechanischen Zellen im Allgemeinen.

Obschon die genauere Würdigung der Lagerungsverhältnisse des Bastes eine spezielle Kenntniss der mechanischen Systeme voraussetzt und also nur auf Grund der folgenden Capitel oder richtiger dieser ganzen Abhandlung möglich ist, so mag doch eine vorläufige Orientirung an dieser Stelle immerhin geeignet sein, das Verständniss des Folgenden zu erleichtern und zugleich von vorne herein die Zielpunkte der Betrachtung zu bezeichnen.

Ich will zunächst versuchen, an einigen Beispielen zu zeigen, dass der Bast keine morphologisch bestimmte Stellung zu den andern Elementen des Gefässbündels einnimmt, sondern bald auf der innern, bald auf der äussern Seite auftritt, je nachdem das mechanische Princip diess verlangt. Auf Taf. X, Fig. 5 ist ein Durchschnitt durch eine Blattrippe von *Sparganium ramosum* abgebildet. Die beiden an die Epidermis angelehnten Bastbündel sind hier als Gurtungen eines I-förmigen Trägers zu betrachten und darum aus mechanischen Gründen möglichst weit aus einander gerückt. Die Füllung dieses Trägers besteht aus zwei Gefässbündeln, deren Cambiform (*cc* in der Figur), wie gewöhnlich, der Blattunterseite zugekehrt ist. Daraus folgt aber mit Nothwendigkeit, dass die Bastgurtungen mit Bezug auf die Gefässbündel entgegengesetzte Stellungen einnehmen; die eine steht mit dem Cambiform, die andere mit der Vasalpartie in Berührung. — Ein zweites Beispiel, das auf Taf. VIII, Fig. 6 (Querschnitt durch ein Blatt von *Cladium mariscus*) veranschaulicht ist, soll zeigen, wie der Bast zur Herstellung durchgehender Rippen Verwendung findet. Die Continuität der festen Theile ist hier offenbar das oberste Princip der Anordnung, dem alles Uebrige sich unterordnet. Dem entsprechend sind auch bei den kleineren Bündeln, welche als Zwischenrippen figuriren, die Bastbekleidungen stets nach aussen gewendet. Umgekehrt findet man bei vielen andern Cyperaceen (*Scirpus*, *Papyrus*; vgl. die Querschnitte Taf. I, S, 10; II, 1; III, 1) peripherische Gefässbündel mit ausschliesslich innenseitigen Bastbelegen, aus dem einfachen Grunde, weil diese Belege als innere Gurtungen sich mit den subepidermalen Rippen, welche den äussern Gurtungen entsprechen, zu radial gestellten Trägern gruppiren; Xylem und Parenchym liegen als Verbindungsglieder dazwischen. — Sehr instructiv sind auch die Blätter von *Phormium tenax*. Da ihre Dicke vom Rande gegen die Mitte etwas zunimmt, z. B. von 0,5 auf 0,95 Mill., so ändert sich dem entsprechend auch der Bau der Träger. Am Rande gehen dieselben ausnahmslos, obgleich sie in Form und Grösse differiren und mindestens drei Abstufungen unterscheiden lassen, ohne Unterbrechung von Epi-

dermis zu Epidermis; die starken Bastbelege schliessen sich beiderseits an das centrale Gefässbündel an (wie auf Taf. IX, 3 die 3 Hauptrippen). Gegen die Mitte zu hört diese Continuität bei den Trägern dritter Ordnung ganz allmählig auf; die Bastgürtungen der Blattoberseite lösen sich hier vollständig vom Xylem ab, schmiegen sich aber nach wie vor an die Epidermis an. Die Gürtungen der Unterseite bleiben mit den Xylemsträngen vereinigt und ziehen dieselben auf ihre Seite hinüber, um die subepidermale Lage nicht aufzugeben. Aehnliche Ablösungen kommen auch im untern reitenden Theil des Blattes vor, wo die Anordnung der Gefässbündel eine erheblich complicirtere ist. Allein hier scheinen die grössern Gefässbündel dem Zuge der Bastbelege nach der Peripherie zu widerstreben; sie bleiben nicht selten mit einem Theil des Bastes im Innern zurück, indess der andere Theil, trotz der zunehmenden Dicke, seine Stellung unter der Epidermis behauptet. — Werfen wir endlich noch einen Blick auf die zahlreichen Monocotylen mit Bastring oder mit starken subepidermalen Bastrippen (s. z. B. Taf. I, II und V), so tritt die Selbständigkeit des Bastes immer entschiedener hervor. Wir sehen deutlich, dass er sich vorzugsweise nach den mechanischen Bedürfnissen der Pflanze richtet und mit den Xylemsträngen nur in einem ganz lockeren und mehr zufälligen Verbande steht. Die Xylemstränge bedürfen nämlich unter Umständen einer festen Hülle zu ihrem eigenen Schutz; wo diess der Fall, lehnen sie sich entweder an das mechanische System an, oder sie erhalten ihre besondere Bastbekleidung, die dann keinem andern Zwecke dient, übrigens meist nur eine geringe Mächtigkeit besitzt. Eine andere Beziehung zwischen Bast und Xylem (oder Cambiform) besteht nicht; daher auch die bekannte Thatsache, dass viele Gefässbündel absolut bastlos sind.

Ein fernerer Beleg dafür, dass der Bast nicht eigentlich zum Gefässbündel gehört und den Zwecken desselben ganz fremd ist, liegt in der häufig zu beobachtenden Abgrenzung des letztern durch eine förmliche Schutzscheide, welche der concentrirten Schwefelsäure widersteht und daher voraussichtlich für wässrige Lösungen wenig permeabel ist. Eine solche Scheide, welche sich stets eng an Cambiform und Xylem anschliesst und die Bastbelege davon trennt, findet sich bei den zahlreichen Typen der Cyperaceen und Juncaceen durchgehends, bei den Gramineen wenigstens häufig vor. Zur Veranschaulichung derselben sind auf Taf. III, Fig. 2, 4 und 5 Gefässbündel von *Eriophorum*, *Juncus* und *Bromus* dargestellt; desgleichen auf Taf. X, 1 ein Bündel von *Gynerium*. Die Scheidenzellen sind bald dünnwandig oder nur auf der Cambiformseite mit etwas derberer Membran ausgestattet, bald aber auch ringsum dickwandig und dann gewöhnlich schon durch ihre dunklere, gelbliche Färbung ausgezeichnet. In Kali erscheinen sie oft tief goldgelb, so namentlich sehr schön bei *Juncus* und vielen Cyperaceen. Von den Bastzellen sind sie überdiess durch die abweichende Form und Gruppierung der Poren, in vielen Fällen auch durch den parenchymatischen Character verschieden. Bei Gefässbündeln, deren Bastbekleidungen zur Erleichterung der Säftezufuhr beiderseits zwischen dem Cambiform und den grossen Gefässen unterbrochen sind, scheinen an dieser

Stelle auch die Scheidenzellen für den Durchgang von Lösungen eingerichtet zu sein, da sie hier meistens durch zartere Wandungen oder auch durch grösseres Lumen gegen die übrigen abstechen (Taf. III, 4). Auf diese »Zugänge« zum Xylem und Cambiform werde ich weiterhin noch öfter Gelegenheit haben zurückzukommen.

Die Elementarorgane, welche von dieser Schutzscheide umschlossen sind, vermitteln, soviel bis jetzt bekannt, vorzugsweise die Leitung von eiweissartigen Stoffen, wässerigen Lösungen und Luft; es sind also wesentlich leitende Organe, deren gegenseitige Anordnung von den Bedingungen der Festigkeit unabhängig ist. Da sie vorzugsweise ernährungs-physiologischen Zwecken dienen, so stehen sie zum Bast in einem principiellen Gegensatz, der billiger Weise auch in der Terminologie zur Geltung gebracht wird. Für die kurze und präzise Darstellung ist es ein wahres Bedürfniss, die sämtlichen Elemente der Gefässbündel mit Ausschluss des Bastes durch ein einziges Wort zu bezeichnen. Ich wähle zu diesem Behufe den Ausdruck Mestom oder Füllgewebe¹⁾ und bezeichne also im Folgenden die bastlosen Gefässbündel als Mestomstränge und die vorhin erwähnte Scheide als Mestomscheide. Zur Abwechslung gebrauche ich übrigens hin und wieder auch die bisherigen Bezeichnungen Gefässbündel oder Fibrovasalstrang, jedoch nur an Stellen, wo mir die Betonung des vorhin erwähnten Gegensatzes überflüssig erschien.

Nicht zu verwechseln mit den Scheiden der einzelnen Mestomstränge sind die Schutzscheiden der Rhizome, welche die Gesamtmasse der Fibrovasalstränge umschliessen und somit die innere Grenze der Rinde bezeichnen. Aehnliche Scheiden kommen bekanntlich auch in den Wurzeln, in den Stengeln der Equiseten etc. vor. Alle diese Scheidengebilde sind offenbar trotz der mancherlei Abweichungen bezüglich der Membranverdickungen etc. morphologisch gleichwerthig und haben wohl auch physiologisch denselben Zweck; allein die Gewebe, die sie nach aussen abgrenzen, können morphologisch sehr ungleichwerthig sein.

Die Lagerungsverhältnisse des Bastes sind von denen des Collenchym nicht wesentlich verschieden. Das letztere kommt allerdings am häufigsten in Gestalt von subepidermalen Rippen oder Platten vor; allein es findet sich zuweilen auch tiefer im Innern, sei es als continuirlicher Ring (*Macropiper excelsum*, *Althaea armeniaca*, *Cephalaria tartarica*) oder in isolirten Strängen (*Levisticum officinale*). Hin und wieder vertritt es auch die Stelle von Bastbelegen. Eine scharfe Grenze lässt sich also auch in dieser Hinsicht nicht ziehen. Man kann nur sagen, dass das Collenchym sich seltener mit dem Mestom combinirt, als der Bast, und überdiess noch mehr als dieser gegen die Peripherie hinstrebt.

¹⁾ Mit Rücksicht auf die so häufige Lagerung der fraglichen Elemente zwischen den Gurtungen der Träger (als Füllungsmasse) oder im Innern eines continuirlichen Bastringes oder endlich im Libriförmigen der Dicotylen, wo dieselben gleichsam die Lücken und Spalten im mechanischen Gerüste ausfüllen.

Die Complicationen, welche die Lagerung der mechanischen Zellen bei den Dicotylen erfährt, will ich hier nicht näher erörtern. Ich beschränke mich auf einige Grundzüge mit alleiniger Berücksichtigung der Bastzellen und des Libriforms. Zunächst leuchtet ein, dass bei perennirenden Stämmen mit Dickenwachsthum die mechanischen Elemente der späteren Jahresschichten innerhalb des Verdickungsringes angelegt werden müssen, weil sie nur in dieser Lage als bleibende Constructionstheile des mechanischen Systems fungiren können. Dagegen fällt diese Rücksicht bei einjährigen Organen hinweg, und die augenblickliche Zweckmässigkeit kann dieselbe auch bei diessjährigen Trieben überwiegen. Es gibt darum auch bei den Dicotylen Stengelorgane mit Bastring, welche sich unmittelbar an den entsprechenden Typus der Monocotylen anschliessen. Zwischen einem solchen Ring und einem sogenannten Libriformring, der bei übrigens gleichem Bau vollständig innerhalb des Verdickungsringes zu liegen kommt, finden sich Uebergänge, ebenso zwischen den weiteren Modificationen des Ringes. Man sieht, wie die Natur sich ganz allmählig für die spätern Wachsthumsvorgänge einrichtet. Manche Gewächse, wie z. B. *Paulownia imperialis*, *Periploca graeca*, *Rhus Cotinus*, *Nerium Oleander* u. a. verlegen ihre mechanischen Zellen nur im ersten Jahr theilweise in die Rinde, indem sie hier starke Bastbündel entwickeln; später verzichten sie darauf, um die jährlich wiederkehrenden Verluste, welche die Borkenbildung verursachen würde, zu vermeiden. Andere bilden zwar Bast nach, aber nur in Gestalt von kleinen Strängen und isolirten Zellen, die offenbar nicht zum biegungsfesten mechanischen System gehören, sondern bloss die Cohäsion der Rinde steigern oder dem Cambiform als Schutz dienen sollen; diess ist z. B. der Fall bei *Aesculus Hippocastanum*, *Ulmus campestris*, *Glycine sinensis*, *Pterocarya caucasica* u. a. Die Wahrscheinlichkeit spricht sogar dafür, dass alle rindenständigen Bastbündel der spätern Jahresschichten, auch wenn sie in grösserer Zahl und Stärke auftreten, nur diese locale Bedeutung für die Pflanze haben. Denn augenscheinlich hat die Festigkeit des Organs in diesem spätern Stadium vorzugsweise im Holzkörper ihren Sitz, wo allerdings die spezifisch-mechanischen Elemente mit den Gefässen und Holzparenchymzellen in viel complicirterer Weise verbunden sind, als im Fibrovasalstrang der Monocotylen. Hierüber kann indess das Nähere erst später mitgetheilt werden.

Zweites Capitel.

Einige Sätze aus der Festigkeitslehre.

Bevor ich zur speziellen Betrachtung der mechanischen Systeme übergehe, welche die Festigkeit der Organe bedingen, erscheint es mir dem botanischen Publicum gegenüber geboten, einige Erörterungen allgemeiner Natur über die

Festigkeit der Constructionen voraus zu schicken. Ich beschränke mich hierbei auf die Hervorhebung derjenigen Punkte, deren Kenntniss zum Verständniss des Folgenden unerlässlich ist; diese beziehen sich ausschliesslich auf die Biegungsfestigkeit und die bei der Biegung vorkommenden Spannungen.

Es lenchtet zunächst ohne Weiteres ein, dass ein beliebiger Tragbalken, der an den Enden frei anfliegt und in der Mitte belastet ist, auf der nach oben gekehrten Seite sich etwas verkürzen, auf der untern entsprechend verlängern muss. Die Spannungen, denen die einzelnen Schichten oder Fasern des Balkens Widerstand zu leisten haben, sind dabei an der obern und untern Grenzfläche nothwendig am grössten und entgegengesetzt; sie nehmen nach der Mitte zu allmählig ab und gehen hier durch Null in einander über. Die mittlere Faserschicht, welche der Spannung Null entspricht, wird die neutrale Faser genannt; dieselbe geht stets durch die Schwerpunkte sämtlicher Querschnittsflächen. Da nun bei Constructionen keine Faserschicht über die Elasticitätsgrenze hinaus gespannt werden darf, so hat die zulässige Belastung des Balkens ihr Maximum erreicht, sobald die Spannungen der am weitesten von der Neutralen abstehenden Fasern jene Grenze erreicht haben. Will man daher einen Balken so construiren, dass das darauf verwendete Material möglichst gleichmässig in Anspruch genommen wird, so muss dasselbe vorzugsweise dahin verlegt werden, wo die Spannung in Folge der Belastung am grössten ist, d. h. an die obere und untere Grenzfläche. Zwischen diesen Flächen ist jeder Aufwand von Material nur insoweit gerechtfertigt, als derselbe zur Herstellung einer festen Verbindung zwischen Oben und Unten unumgänglich nothwendig ist. Die Querschnittsformen, welche diesen Anforderungen Genüge leisten, werden daher im Allgemeinen ein doppeltes T (Γ) vorstellen, obsehon sie im Einzelnen noch mannigfach differiren können. Es gibt z. B. Tragbalken mit continuirlicher Blechverbindung zwischen Ober- und Unterseite, andere mit Fach- oder Gitterwerk u. s. w.

Die Tragkraft eines solchen Balkens, insbesondere eines Gitter- oder Fachwerkträgers, hängt nach dem Gesagten, wie leicht zu ermessen, fast ausschliesslich von den Constructionstheilen ab, welche den Querstrichen des doppelten T entsprechen, vorausgesetzt natürlich, dass die Verbindung zwischen denselben die erforderliche Festigkeit besitze. Man pflegt diese wichtigsten Constructionstheile der Tragbalken als Gurtungen zu bezeichnen und unterscheidet daher eine obere und eine untere Gurtung, von denen jene bei frei aufliegenden Brückenträgern bloss der Druckspannung, diese bloss der Zugspannung ausgesetzt ist. Je grösser diese Spannungen ausfallen, desto stärker müssen natürlich die Gurtungen construirt sein. Da nun aber die Zug- und Druckkräfte, welche aus der Belastung des Balkens resultiren, dem Abstände der Gurtungen umgekehrt proportional sind, so wächst das Tragvermögen des Balkens nicht bloss mit der Stärke der Gurtungen, sondern auch mit dem gegenseitigen Abstand derselben. Ist h die Höhe und l die Länge des Balkens,

Q eine gleichmässig verteilte Last, endlich R die resultirende Druck- und Zugkraft in der Mitte des Balkeus, so ist

$$R = \frac{l}{2h} \cdot Q$$

Bezeichnet ferner T das Tragvermögen der Gurtungen pro Flächeneinheit¹⁾ und F die ganze Querschnittsfläche, folglich FT die grösste zulässige Druck- oder Zugspannung, so besteht zwischen dieser Grösse und der Belastung Q das Verhältniss

$$Q = \frac{2h}{l} \cdot FT$$

Die Verbindungsglieder zwischen den Gurtungen sind verhältnissmässig geringern Spannungen ausgesetzt als die Gurtungen selbst und vertragen daher auch eine leichtere Construction. Ein Blick auf einen beliebigen rationell construirten Brückenträger lehrt diess zur Genüge, und je länger der Träger, desto grösser ist der Unterschied. Bei Brücken mit grösserer Spannweite ist das Gewicht der Gurtungen ungefähr doppelt so gross, als dasjenige des ganzen Gitter- oder Fachwerkes, der mittlere Querschnitt einer Gurtung im Vergleich mit den einzelnen Füllungsgliedern also nothwendig ein Vielfaches²⁾. Eine noch viel grössere Differenz ergibt sich für schlanke Pflanzenorgane (Blüthenschäfte, Grashalme u. dgl.), gegen welche die leichtesten Eisenconstructions plumpe Gebilde sind. Wenn daher ein Träger aus zweierlei Material, z. B. aus Holz und Eisen, construirt werden soll, so eignet sich selbstverständlich das schlechtere Material nur für die Verbindungsglieder oder Füllungen, nicht für die Gurtungen. Aus demselben Grunde bestehen in der Pflanze die Gurtungen stets aus spezifisch-mechanischen Zellen, die Füllungen dagegen häufig aus Cambiform und Xylem oder auch aus Parenchym.

Bei den Gurtungen, welche auf Druck in Anspruch genommen werden, kommt ausser der Grösse des Querschnittes auch die Form desselben in Be-

1) Schmiedeeisen in Stäben besitzt z. B. ein Tragvermögen von e. 13 Kilo per Quadratmillimeter oder 1300 Kilo per Quadratzentimeter, d. h. eine schmiedeeiserne, am obern Ende befestigte Stange von einem Quadratzentimeter Querschnitt vermag ein Gewicht von 1300 Kilo, welches am untern Ende angehängt wird, zu tragen, ohne eine bleibende Verlängerung zu erfahren. — Das Tragvermögen (Tragmodul) eines Körpers in Hinsicht auf Ausdehnung ist übrigens nicht immer gleich dem Tragmodul des nämlichen Körpers in Hinsicht auf Zusammendrückung.

2) Als Belege hiefür mögen folgende Beispiele dienen:

1) Gitterbrücke bei Drogheda (51 Meter Spannweite).

Gewicht der Gurtungen	per Meter	1340 Kilo,
Gewicht des Gitterwerkes	- -	517 -

2) Rheinbrücke bei Köln (95,22 Meter Spannweite).

Totalgewicht der Gurtungen	1,269744 Kilo,
Totalgewicht der Gitterstäbe	684784 -

3) Brücke über den Leek bei Knilenburg (150 M. Spannweite).

Totalgewicht der Gurtungen	3,926980 Kilo,
Totalgewicht des Fachwerkes	1,900150 -

Vergl. ferner am Schlusse dieses Capitels die Angaben über Maximal- und Minimalspannungen in der Richtung der Spannungstrajectorien.

tracht. Es ist eine wesentliche Bedingung ihrer Festigkeit, dass die einzelnen Theile nicht etwa seitlich ausbiegen oder einknicken, bevor die Grenze der Elasticität erreicht ist. Man gibt daher auch diesen Gurtungen, wie dem ganzen Tragbalken, eine Querschnittsform, welche die Biegungsfestigkeit derselben erhöht, z. B. die Form eines liegenden Doppel-T (H) oder eines Kreuzes oder auch eines geschlossenen Rechteckes u. dgl. Die bloss auf Zug beanspruchten Gurtungen wirken dagegen einzig und allein nach Maassgabe der Querschnittsgrösse.

Für manche Berechnungen, die sich auf die Festigkeit oder die Biegungserscheinungen der Tragbalken beziehen, ist es nothwendig, die Summe aller Producte aus den einzelnen Flächentheilen der Querschnittsfläche in die Quadrate ihrer Abstände von der Neutralen zu kennen. Es ist diess die Grösse, welche der Senkung des Trägers (z. B. einer Brücke, in Folge der Belastung umgekehrt proportional ist und deshalb in der Mechanik als Maass des Biegungsmomentes oder auch als Trägheitsmoment der Querschnittsfläche bezeichnet wird. Die Bestimmung dieses Momentes ist bei Trägern, deren Füllungen vernachlässigt werden dürfen, ungemein leicht. Man hat bloss die Gurtungsdurchschnitte mit dem Quadrate ihres Abstandes von der Neutralen zu multipliciren: die Summe der Producte ist das Maass des Biegungsmomentes. Haben z. B. die Gurtungen bei einem gegenseitigen Abstand von 80 Centimeter je 50 □Cent. Querschnitt, so liegt die neutrale Axe offenbar in der Mitte, also in einem Abstand von 40 Cent. von jeder Gurtung, und das Maass des Biegungsmomentes beträgt $2 \cdot 50 \cdot 40^2 = 160000$. Bei Trägern, deren wirksame Theile ungleich weit von der Neutralen abstehen, wird dieselbe Rechnung für jedes Stück der Querschnittsfläche ausgeführt und die Summe der Producte durch Addition, in schwierigeren Fällen durch Integration bestimmt.

Denken wir uns jetzt drei oder mehr solcher Tragbalken dergestalt combinirt, dass sie die neutrale Axe mit einander gemein haben und in der Querschnittsansicht einen drei- bis vielstrahligen Stern bilden, so erhalten wir eine Construction, welche nicht bloss nach einer Richtung, wie die Brückenträger, sondern nach verschiedenen Richtungen senkrecht zur Axe gleich biegungsfest ist. Man begreift auch, dass die radial gestellten Mittelwände jetzt nicht mehr unumgänglich nothwendig sind, sondern durch tangentialen Verbände zwischen den Gurtungen vollständig ersetzt werden können. Denn es ist klar, dass wenn sämtliche Gurtungen unter sich fest verbunden sind, auch die zusammengehörigen Paare als wechselseitig verbunden können betrachtet werden. In dieser Weise ausgeführt, erhält unsere Construction im Querschnitt die Form eines reghmässigen Polygons. Lassen wir endlich die Gurtungen seitlich zusammenfliessen und das Polygon zum Kreise werden, so entsteht die cylindrische Röhre. Alle diese Formen sind unter der Voraussetzung gleicher Querschnittsflächen ungefähr gleichwerthig; sie entsprechen bei allseitig wirkenden Kräften in demselben Grade, wie der einfache Brückenträger gegenüber dem einseitigen Zug der Schwere, der Anforderung eines möglichst geringen Materialaufwandes.

Hier grösstmögliche Häufung des Materials an der obern und untern Grenzfläche, dort eine möglichst gleichmässige Vertheilung auf die ganze Peripherie.

Der Widerstand, den eine solche Construction der Biegung entgegensetzt, hängt wiederum von der Grösse der Querschnittsfläche und von der jeweiligen Trägerhöhe, d. h. vom Durchmesser des Querschnitts ab. Da nun im »Maass des Biegemomentes« beide Factoren enthalten sind, so hat diese Grösse auch hier wieder eine der Benennung entsprechende Bedeutung; sie ist das Maass für die Stärke der Constructionen. Die Bestimmung derselben geschieht nach den nämlichen Regeln, wie bei einfachen Balken. Man addirt die Producte aus den einzelnen Flächentheilen in die Quadrate ihrer Entfernungen von der neutralen Faserschicht, welche in unserem Falle in einer diagonalen Ebene liegt. Bei einem Kreisring und andern continuirlichen Flächen geschieht diese Addition am einfachsten mit Hilfe der Integralrechnung.

Als Belege dafür, wie sehr die peripherische Anordnung der festen Theile die Biegefestigkeit erhöht, habe ich nachstehend die Maasse der Biegemomente für einige hieher gehörige Constructionen zusammengestellt. Die Querschnittsfläche ist durchgehends mit F , der Radius mit r bezeichnet. Letzterer bezieht sich bei den regelmässig-polygonalen Formen auf den umschriebenen Kreis. Die Richtung der biegenden Kraft wurde hier der Einfachheit wegen rechtwinklig zu einer Seite des Polygons angenommen. Die beiden (nm die Wanddicke differirenden) Radien hohler Träger sind als r_1 und r_2 unterschieden. In der zweiten Columnne ist beispielsweise das arithmetische Verhältniss der betreffenden Maasse für den Fall beigefügt, dass F constant und $r_2 = \frac{5}{6} r_1$. Der volle Cylinder wurde hiebei willkürlich zu 1000 angesetzt.

Trägerform.	Maass des Biegemomentes.	Werthverhältniss, wenn $r_2 = \frac{5}{6} r_1$.
Cylinder	$F \cdot \frac{r^2}{4}$	1000
Hohlcylinder	$F \cdot \frac{r_1^2 + r_2^2}{4}$	5545
Quadratischer Balken	$F \cdot \frac{r^2}{6}$	1046
Hohler quadrat. Balken	$F \cdot \frac{r_1^2 + r_2^2}{6}$	5800
Dreikantiger Balken	$F \cdot \frac{r^2}{8}$	936
Hohler dreikant. Balken	$F \cdot \frac{r_1^2 + r_2^2}{8}$	5192
Sechskantiger Balken	$F \cdot \frac{5 \cdot r^2}{24}$	1009

Wie sich aus den mitgetheilten Ziffern ergibt, besteht für die angenommenen Dimensionsverhältnisse zwischen dem Maass des Biegemomentes eines vollen Trägers und demjenigen eines gleichgestalteten hohlen das Verhältniss 11 : 61. Die Differenz wird um so grösser, je mehr sich der innere Radius

dem äussern nähert, je geringer also die Wanddicke bei gleichbleibender Querschnittsfläche. Ist $r_2 = 0,99 r_1$, so steigt das Verhältniss auf 1 : 99. Einer unendlich dünnen Wand entspricht der Grenzwert $1 : \infty$.

Die Folgerungen, welche sich aus diesen Betrachtungen ergeben, werden nun aber thatsächlich sehr eingeschränkt durch die Querspannungen, welche aus der Belastung der Träger resultiren und die bei allzu dünnen Wandungen leicht ein Einknicken derselben und damit ein plötzliches Nachgeben des Trägers bewirken können. Man kann dieses Einknicken an einer beliebigen Kautschukröhre, die man allmählig in immer stärkerem Bogen krümmt, sehr schön beobachten. Der kreisförmige Querschnitt nimmt hierbei zunächst die Form eines Ovals an, dessen Excentricität mit zunehmender Spannung grösser wird; dann entsteht auf der concaven Seite plötzlich ein einspringender Winkel: eben darauf beruht das Einknicken der Röhre. Dasselbe Verhalten zeigen häufig auch hohle Pflanzenstengel, ebenso Röhren aus dünnem Blech u. dgl. Es geht daraus deutlich hervor, dass das Verhältniss der Wanddicke zum Durchmesser eine gewisse Grenze nicht überschreiten darf. Fragen wir aber, welches diese Grenze sei, so gibt uns die theoretische Mechanik hierauf keine genügende Antwort. Alle einschlägigen Capitel der Festigkeitslehre, die Theorie der hohlen Säulen inbegriffen, bedürfen noch gar sehr der Ausbildung. Wir sind also vorläufig einzig und allein auf die Resultate der experimentellen Prüfung angewiesen. Diese sagen uns allerdings, dass die erforderliche Wanddicke im Allgemeinen um so grösser ausfällt, je dehubarer das Material, aus dem die Röhre besteht; allein sie lassen uns ebenfalls vollständig im Stich, sobald wir in einem gegebenen Falle nach speziellen Daten suchen. Die Ingenieure bedienen sich gewöhnlich verschiedener Aussteifungsmittel, um den röhrenförmigen Gurtungen schmiedeiserner Brücken die nöthige Wandfestigkeit zu verleihen. So wandte z. B. Brunel für die gedrückten Gurtungen der Royal-Albert-Brücke bei Saltash Eisenblechröhren von 5,1 Meter Breite und 3,66 Meter Höhe an und verstärkte dieselben durch 6 Längsrippen von 356 Mill. Höhe und 13 Mill. Dicke, sowie ferner durch besondere Aussteifungsringe von 50 Centimeter Höhe, welche in Längenabständen von je 6,1 Meter angebracht wurden. In ähnlicher Weise ist auch die Brücke über den Wye bei Cheptow construirt. Von den in Deutschland ausgeführten schmiedeisernen Brücken haben, soviel mir bekannt, nur die nach Pauli'schem System construirten (Rheinbrücke bei Mainz, Isarbrücke bei Grosshesselohe oberhalb München etc.) Träger mit röhrenförmigen Druckbogen, und zwar ist der Querschnitt derselben ein Viereck. Hier wird die Aussteifung dadurch bewerkstelligt, dass die Massen möglichst in die Ecken gelegt werden; überdiess ist jede Verbindungsstelle der Verticalständer als fester Knoten zu betrachten. In gleicher Weise sind bei manchen andern Constructionen aus Schmiedeeisen besondere Einrichtungen vorhanden, welche die röhrenförmigen Träger vor dem Einknicken schützen. Bei den gusseisernen Röhren, welche als Gurtungen oder Streben Verwendung finden, fallen allerdings diese Vorrichtungen weg; dafür ist aber die in der Praxis übliche

Wanddicke hier verhältnissmässig sehr bedeutend; sie beträgt in der Regel $\frac{1}{5}$ bis $\frac{1}{6}$ und selbst in den extremsten Fällen noch $\frac{1}{8}$ bis $\frac{1}{9}$ des Durchmessers.

Die biegungsfesten Pflanzenorgane sind nun zwar in der Regel so construirt, dass das Einknicken schon erfolgt, bevor die Längsspannung das zulässige Maximum erreicht hat; denn es ist diess für die Pflanze im Allgemeinen vortheilhaft. Ein allzufrühes Einknicken darf aber gleichwohl nicht stattfinden, wenn die Construction ihrem Zwecke entsprechen soll. Die Wanddicke muss also doch annähernd im richtigen Verhältniss zum Durchmesser stehen. Welches aber dieses Verhältniss sei, das lässt sich hier noch viel weniger genau bestimmen, als für Guss- und Schmiedeeisen, da das Material ja mannigfach verschieden sein kann. Trotzdem glaube ich der Wirklichkeit nahe zu kommen, wenn ich das Minimum der zulässigen Wanddicke auf ungefähr $\frac{1}{7}$ bis $\frac{1}{8}$ des Durchmessers ansetze¹⁾. Ein erheblich geringeres Maass ist jedenfalls nur unter der Bedingung statthaft, dass besondere Aussteifungsvorrichtungen die Festigkeit der Wand erhöhen, ähnlich wie bei den vorhin genannten schmiedeisernen Gurtungsröhren. Solche Aussteifungen dünner Wände kommen in der Natur häufig vor und sollen darum auch im folgenden Capitel gebührend berücksichtigt werden.

Um für die Festigkeit der Wand gegen Einknicken einen arithmetischen Ausdruck zu haben, kann man sich die Röhre aufgeschnitten und die Wand eben gelegt denken. Das Maass des Biegemomentes einer solchen riemenartig ausgebreiteten Wand fällt natürlich viel kleiner aus als dasjenige der Röhre; das Verhältniss zwischen den beiden Ziffern darf jedoch eine gewisse Grenze nicht überschreiten, wenn die Röhre gegen Einknicken geschützt sein soll. Für eine Röhre aus Kautschuk, die übrigens bei starker Krümmung immer noch einknickt, ist dieses Verhältniss ungefähr 1 : 40; für hohleylindrische Constructionen aus festerem Material steigt dasselbe je nach Umständen bis auf 1 : 100, 1 : 200 u. s. w.

Um die in den Pflanzenorganen vorkommenden mechanischen Systeme unter sich und mit verwandten künstlichen Constructionen vergleichen zu können, ist es nothwendig, dieselben auf den gleichen Durchmesser zu reduciren. Denn nur unter dieser Bedingung sind die Querschnittsflächen der mechanischen Zellen und die daraus abgeleiteten Maasse der Biegemomente vergleichbare Grössen. Damit will ich natürlich nicht sagen, dass eine in kleinen Dimensionen ausgeführte Construction, die man in Gedanken beispielsweise hundertmal vergrössert, in diesem vergrösserten Maassstab gleich zweckmässig construirt sei wie im kleinen. Diess wäre ein entschiedener Irrthum. Jede Construction kann

¹⁾ Beim Roggen beträgt die Wanddicke der Halme allerdings oft nur $\frac{1}{10}$ des Durchmessers, z. B. 0,4 Mill. auf 4 Mill. Solche Halme knicken aber auch leicht ein. Noch geringer ist die Wanddicke im Kiel der Schwungfedern mancher Vögel, während die Röhrenknochen der sämtlichen Wirbelthiere als Beispiele für das entgegengesetzte Extrem gelten können. Beim Menschen wird z. B. die normale Wandstärke eines Röhrenknochens zu $\frac{1}{5}$ des Durchmessers angegeben.

mur für diejenigen Dimensionen, für welche sie berechnet wurde, möglichst rationell sein: für jede andere ist sie entweder zu leicht oder zu plump. Dessen-

ungeachtet bietet die Vergleichung der Querschnittsverhältnisse nach vorhergegangener Reduction auf den gleichen Durchmesser manches Interesse. Ich finde überhaupt keine andere Grundlage, um wirklich belehrende Vergleichen anzustellen.

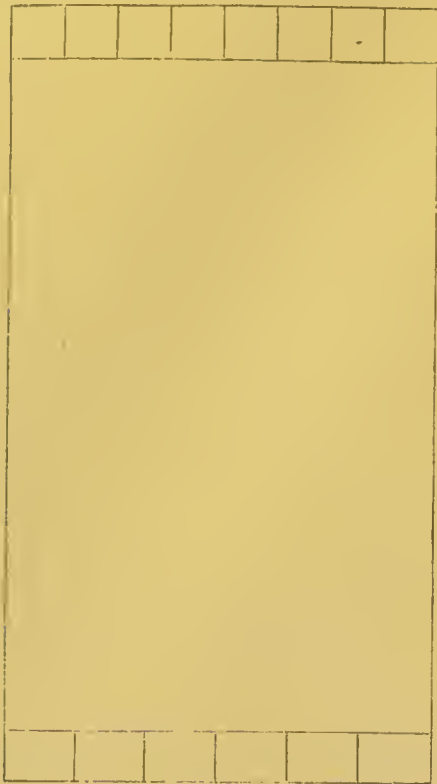


Fig. 1.

Was nun noch die Constructionen aus todtm Material betrifft, die mit cylindrischen Pflanzenorganen mehr oder weniger vergleichbar sind, so wären mit Rücksicht auf rationelle Materialvertheilung in erster Linie die eisernen Brücken zu nennen. Da jedoch die Brücken nur für einseitig wirkende Kräfte eingerichtet sind und die Uebertragung der entsprechenden Festigkeitsverhältnisse auf die Röhrenform bei gewöhnlichen Gitter- oder Fachwerkbrücken ohne Willkürlichkeiten kaum möglich ist, so habe ich eine der englischen Röhrenbrücken, nämlich die bekannte Britanniabrücke, als Vergleichsobject gewählt. Der Querschnitt derselben (Fig. 1¹⁾) hat eine solche Form, dass ihre Vervollständigung zur Röhre ohne Veränderung der maassgebenden Dimensionsverhältnisse

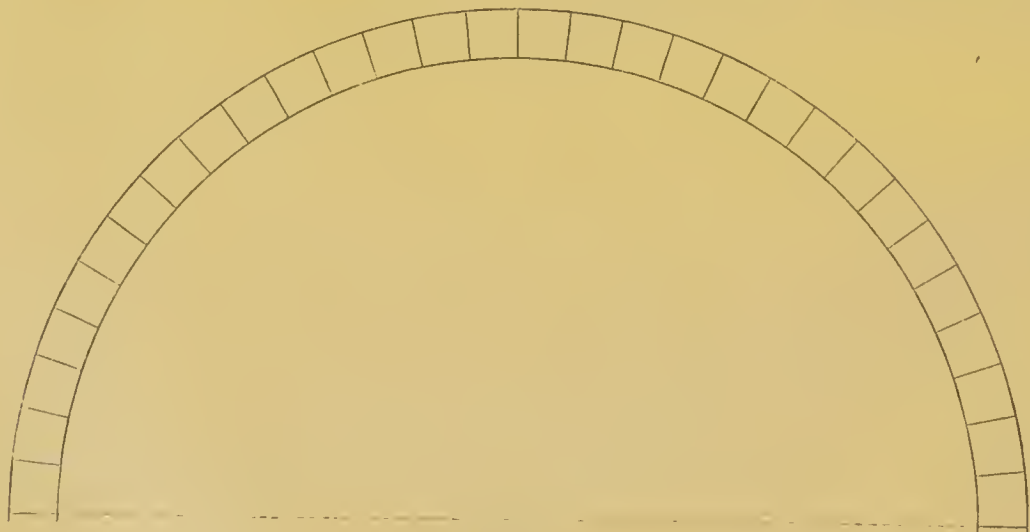


Fig. 2.

möglich ist. Man hat nur nöthig, die Constructionsförm der obern und untern Wand auch auf die Seitenwände auszudehnen und sodann den rechteckigen Querschnitt zum Kreisring werden zu lassen (Fig. 2; Hälfte der Querschnitts-

¹⁾ Obige Figur nach Laissle und Schübler, der Bau der Brückenträger, II pag. 165, jedoch mit Weglassung der Winkeleisen und anderer Einzelheiten. — Die Röhre ist 14 Fuss breit, an den Enden 23, in der Mitte 30 Fuss hoch. Die Seitenwände derselben bestehen aus Eisenblech von 13 bis 16 Millimeter Dicke. Die Decke hat 8, der Boden 6 Zellen.

ansicht). Ist der Durchmesser dieses Kreisringes = 10 Meter, so kann die Differenz zwischen dem äusseren und inneren Radius zu 50 Cent. und die Zahl der Rippen im ganzen Umfang zu 60 angenommen werden. Die Zellen fallen unter dieser Voraussetzung nahezu quadratisch aus. Für die Berechnung der Querschnittsfläche ist jetzt nur noch eine bestimmte Annahme in Betreff der Wanddicke notwendig. Beträgt diese für die beiden concentrischen Röhren je 1,5 Cent. und für die radialen Rippen 1 Cent., so ergeben sich folgende approximative Ziffern:

Querschnittsfläche = 11860 □Centimeter.

Maass des Biegemomentes 1310 Millionen Kilogr. Cent.

Steigert man die Höhe der Rippen unter übrigens gleichen Voraussetzungen auf 70 Cent., was den beiden Seitenöffnungen der Britanniabücke eher entsprechen würde, so ergibt sich als Querschnitt 12870 □Cent. und als Maass des Biegemomentes c. 1400 Millionen. In Berücksichtigung dessen können wir für unsere Röhre in runder Zahl einen Querschnitt von 12000 □Cent. und als Maass des Biegemomentes etwa 1350—1400 Millionen annehmen. Auf diesen nämlichen Querschnitt von 12000 □Cent. werde ich in der Folge die mechanischen Systeme der stielrunden Organe reduciren.

Ueber die Senkungsgrösse einer solchen Röhre, die ich mir für diese rein theoretischen Betrachtungen ohne Vernietungen denke, geben die folgenden Berechnungen einige Anhaltspunkte. Es sei l die Länge der Röhre, W das Maass des Biegemomentes = 1350 Millionen, E das Elasticitätsmodul = 1,900 000, Q das Eigengewicht der Röhre = 0,0077 Kilo per Kubikcentimeter, dann ist die Senkung S der mit den Enden frei aufliegenden Röhre in deren Mitte gegeben durch

$$S = \frac{5 l^3}{384 W E} \cdot Q$$

oder wenn $l = 10$ Meter = 10 000 Cent., folglich das Gesamtgewicht = $12 000 \cdot 10 000 \cdot 0,0077 = 924 000$ Kilo

$$S = \frac{5}{384} \cdot \frac{10 000^3 \cdot 924 000}{1350 \text{ Millionen} \cdot 1,900 000} = 4,6 \text{ Centim.}$$

Die Röhre beschreibt also einen nach unten convexen Bogen, dessen Pfeilhöhe in der Mitte 4,6 Centimeter beträgt. Da die Senkung der Belastung proportional ist, so würde ein die Röhre ausfüllender Güterzug von 4000 Kilo Gewicht per laufenden Meter obige Pfeilhöhe um c. 2 Centimeter vergrössern, so dass die Totalsenkung jetzt auf c. 6,6 Cent. zu veranschlagen wäre. Dabei würde die Maximalspannung in der Röhrenwandung annähernd 600 Kilo per Quadratcentimeter betragen.

Soll nun irgend eine Construction aus Bast, z. B. das mechanische System eines Scirpusstengels oder eines Grashalmes, mit obiger Röhre verglichen werden, so ist zunächst die Querschnittsfläche des Bastes zu bestimmen und auf 1000 Cent. Durchmesser zu reduciren. Damit sind auch die erforderlichen Daten zur Berechnung des Biegemomentes gegeben. Das spezifische Gewicht des frischen Bastes kann höchstens 1,5 betragen, also nur ungefähr $\frac{1}{3}$ des

Eisengewichts. Nehmen wir ferner an, das Elasticitätsmodul sei zu 125 000 bestimmt worden, so wird in der Formel für die Durchbiegung das Verhältniss $\frac{Q}{E}$ constant einen andern Werth erhalten. Q ist bei gleichem Querschnitt 5 Mal, E e. 15 Mal kleiner als beim Eisen, folglich die Senkung in der Mitte im Verhältniss von 15 zu 5 grösser, d. h. ungefähr 3 Mal so gross. In Wirklichkeit ist nun aber die Querschnittsfläche der Bastconstructions bei den meisten Pflanzenorganen bedeutend grösser, als bei der angenommenen schmiedeisernen Röhre; sie erreicht in vielen Fällen den 5 — 6fachen, bei den Gramineen nicht selten den 10fachen Werth. Damit steigt aber natürlich auch das Gewicht. In Folge dessen würde thatsächlich die Senkung der meisten Bastconstructions, isolirt gedacht, zwei- bis dreimal so gross ausfallen, als bei der schmiedeisernen Röhre. So erhält man z. B. für das mechanische System von *Molinia coerulea*, auf 1000 Centim. Durchmesser vergrössert gedacht, bei einem Querschnitt von 90,000 □ Cent. und einem Eigengewicht von 1,350,000 Kilo ungefähr eine Senkung von 12 Cent. auf 100 Meter Länge; dieselbe würde durch eine weitere Belastung von 450 000 Kilo (welche einem starken Güterzuge entspricht) auf 16 Cent. gesteigert werden¹⁾. Das Maximum der zulässigen Belastung wäre damit noch lange nicht erreicht; die Spannung würde im mittleren Theil nur 115 Kilo per Quadracentimeter betragen.

Will man die diesen grossen Dimensionen entsprechenden Ziffern auf die wirklichen Grössenverhältnisse reduciren, so kann diess durch einfache Division geschehen. Ist n die Verkleinerungsziffer, z. B. 1000 für einen wirklichen Durchmesser von 1 Centimeter, so wird in der Formel

$$S = \frac{5}{384} \cdot \frac{l^3 Q}{WE}$$

der Zähler n^6 mal kleiner, weil das Gewicht Q den dritten Potenzen der Längeneinheit proportional ist; im Nenner dagegen verändert sich bloss W und zwar mit der vierten Potenz. Die Senkung S fällt also n^2 Mal kleiner aus, beträgt somit bei 1 Cent. Durchmesser auf 10 Cent. Länge nur 1 Millionstel des oben berechneten Werthes. Das will sagen, dass die Länge der Röhre jetzt im Verhältniss zur Dicke um Vieles grösser sein muss, wenn das Eigengewicht nebst einer entsprechenden Belastung eine erhebliche Senkung bewirken soll. — Für *Molinia coerulea*, deren Bastring nur 3 Millimeter Durchmesser hat, ist $n = 3333$, n^2 in runder Zahl 11 Millionen. Die oben gefundene Senkung von 12 Cent. reducirt sich also bei entsprechender Länge (= 30 Mill.) auf e. 0,00011 Mill. Setzen wir für l den 20fachen Werth = 600 Mill. ein, so wird Q 20mal grösser, folglich der Zähler in unserer Formel, da l in der 3. Potenz figurirt, 160 000 Mal grösser. Der Nenner bleibt unverändert. Die Senkung S erreicht jetzt den Werth $160\,000 \cdot 0,00011 = 17,6$ Millimeter. Es

¹⁾ Das Elasticitätsmodul E ist hiebei mit 150 000, das Maass des Biegemomentes W mit 9400 Millionen in Rechnung gebracht.

versteht sich übrigens von selbst, dass die den wirklichen Dimensionen entsprechenden Senkungen auch direct erhalten werden können, wenn man in obiger Formel für l , Q und W deren Werthe einsetzt. Die Reduction führt aber in der Regel rascher zum Ziele.

Die Berechnung der Einsenkung, welche das mechanische System eines Organs für sich allein oder unter der Last der damit verbundenen Gewebe zeigen würde, ist namentlich für die Vergleichung mit der auf experimentellem Wege bestimmten Senkung des ganzen Organs von Interesse. Die letztere fällt natürlich kleiner aus, weil die parenchymatischen Gewebe, auch wenn sie gegen Zug sehr schwach sind, doch mindestens auf der Druckseite den Widerstand bedeutend erhöhen.

Für die experimentelle Bestimmung der Senkungsgrösse ist übrigens die Belastung der Mitte eines frei aufliegenden Organs weniger bequem, als das Anhängen von Gewichten am freien Ende eines horizontal eingespannten Organs. Ich habe daher vorzugsweise diese letztere Methode angewendet. In der Regel kann hierbei das Eigengewicht vernachlässigt werden. Die Senkung des freien Endes ist alsdann gegeben durch die Formel

$$S = \frac{l^3}{3WE} \cdot P$$

in welcher P das angehängte Gewicht bezeichnet. Der hieraus berechnete Werth ist natürlich auch für diesen Fall im Allgemeinen grösser, als die am ganzen Stengel beobachtete Senkung, da der Widerstand des Parenchyms gegen Druck in der Formel nicht enthalten ist.

Man darf übrigens nicht vergessen, dass die erwähnten Formeln nur für Träger von gleichmässiger Dicke, nicht aber für solche von gleichem Widerstande, Geltung haben. Diese letztern zeigen unter übrigens gleichen Verhältnissen eine erheblich stärkere Durchbiegung, was bei Pflanzenorganen von beträchtlicher Länge wohl zu berücksichtigen ist.

In den nicht gerade seltenen Fällen, in denen die Querschnittsfläche des Bastes und folglich auch die Grössen W und E schwer zu bestimmen sind, kann der Nenner $3WE$ in vorstehender Formel durch leichter zu ermittelnde Werthe ersetzt werden. Bezeichnet man nämlich mit λ die beobachtete Verlängerung eines senkrecht eingespannten Organs beim Anhängen des Gewichtes G am untern Ende, ferner mit r den Radius des mechanischen Systems (z. B. eines Bastringes), so hat man:

$$3WE = \frac{3}{2} \cdot \frac{l}{\lambda} r^2 G$$

Beispiel: Eines der untern Internodien von *Secale cereale*. 235 Mill. lang und 5 Mill. im Durchmesser, verlängert sich nach Beobachtungen an den beiden Hälften zur Zeit der Fruchtreife bei 20 Kilo Belastung um 1,4 Millimeter. Da der Bastring des untern von der Scheide umschlossenen Halmstücks grossentheils subepidermal ist, folglich r nahezu $2\frac{1}{2}$ Mill., so hat man für die Senkung eines 100 Mill. langen, horizontal eingespannten Stückes bei einer Belastung von 50 Gramm = 0,05 Kilo:

$$\begin{aligned}
 P &= 1000000 \cdot 0,05 = 50000; \text{ ferner} \\
 W E &= \frac{3}{2} \cdot \frac{235}{1,1} \cdot \frac{25}{4} \cdot 20 = 40000; \text{ folglich} \\
 S &= \frac{50000}{40000} = 1,25 \text{ Millimeter}
 \end{aligned}$$

Das Experiment ergab in diesem Falle eine etwas stärkere Senkung, nämlich 1.5 Millimeter.

Die Zug- und Druckspannungen, welche die Fasern oder Schichten eines belasteten Trägers in longitudinaler Richtung in Anspruch nehmen, sind nicht die einzigen, welche im Innern der Trägermasse zur Geltung kommen. Es treten in Folge der Belastung auch scheinende Kräfte auf, welche die kleinsten Theilchen nach allen Richtungen auf einander zu verschieben trachten. Solche Scheerkräfte wirken z. B. auch parallel der Axe, und es ist leicht, ihr Vorhandensein auf experimentellem Wege nachzuweisen. Legt man z. B. zwei gewöhnliche Lineale von gleicher Länge und Dicke so über einander, dass die entsprechenden Endflächen in die gleiche Ebene fallen, und lässt nun nach geeigneter Befestigung (etwa durch Einspannen des einen Endes in den Schraubstock) eine biegende Kraft darauf einwirken, so beobachtet man sofort ein Verschieben der freien Endflächen gegen einander, wobei natürlich auch die sich berührenden Seitenflächen auf einander gleiten, und zwar so, dass in Folge davon die convex gewordene um eine entsprechende Grösse über die concave hervor steht. Will man dieser longitudinalen Verschiebung der Lineale vorbeugen, so kann diess nur durch eine Verkittung oder Verkoppelung geschehen, deren Widerstandskraft der Grösse des Longitudinalschubes mindestens gleich ist. Diese Grösse lässt sich für jeden gegebenen Fall berechnen; sie erreicht übrigens in der Berührungsfläche der beiden Lineale einen grössern Werth als in jeder andern Schicht. Ueberhaupt nimmt der Longitudinalschub in Trägern, deren Querschnittsansicht ein Rechteck bildet, mit dem Abstände von der neutralen Ebene nach beiden Seiten hin stetig ab und wird an der Oberfläche gleich Null.

Besteht der mediane Theil eines Trägers aus Fachwerk oder einer beliebigen Füllungsmasse, welche die Gurtungen unter sich verbindet, so muss selbstverständlich diese Füllung stark genug sein, um neben andern wirksamen Kräften auch der longitudinalen Schubspannung widerstehen zu können. In der lebenden Pflanze liegen freilich die Verhältnisse selten so, dass die Füllungen auch nur einen beträchtlichen Theil dieser Schubspannung aufzunehmen hätten: denn gewöhnlich werden dieselben von andern Geweben, zum Theil vom mechanischen Gerüste selbst, in ihrem Widerstande unterstützt. Bei Holzgewächsen mit stark entwickelter Rinde mag indess diese Spannung unter Umständen immerhin eine Höhe erreichen, welche nothwendig ein Gleiten der innern Rinde auf der Oberfläche des Holzes bewirken müsste, wenn nicht an der gefähr-

lichen Stelle besondere Einrichtungen zur Steigerung der Schubfestigkeit oder zu gleichmässiger Vertheilung der Schubspannungen getroffen wären.

Dass auch in der Querschnittsfläche Schubkräfte wirksam sind, vermöge welcher die kleinsten Theilchen das Bestreben haben, in der Richtung senkrecht zur Axe an einander vorbei zu gleiten, leuchtet ohne Weiteres ein. Ist z. B. ein Träger am einen Ende horizontal eingespannt und am andern mit einem Gewicht P belastet, so hat man sich bloss die Querschnittsfläche, an welcher das Gewicht hängt, durch einen Sägeschnitt isolirt und dann wieder angeleimt zu denken, um sofort einzusehen, dass die Leimschicht dem Gewicht P das Gleichgewicht halten muss, um ein Gleiten der abgesägten Scheibe auf der Schnittfläche zu verhindern. So verhält es sich auch in jedem andern Querschnitt. Die Summe der Schubkräfte längs der ganzen Querschnittsfläche ist stets gleich der Kraft P , oder wenn mehrere Kräfte rechtwinklig zur Trägeraxe wirksam sind, gleich der Summe dieser Kräfte¹⁾.

Aus der Schubspannung in der Querschnittsfläche und derjenigen parallel der Axe, combinirt mit den früher besprochenen Zug- und Druckspannungen, deren Grösse mit dem Abstand von der neutralen Faserschicht zunimmt, lässt sich nun auch durch gewöhnliche Kraftzerlegung (nach dem Kräfteparallelogramm) die Spannung für jede beliebige schiefe Richtung in der Verticalebene bestimmen. Lassen wir z. B. eine Querschnittsfläche des belasteten Trägers sich dergestalt gegen die neutrale Faserschicht neigen, dass sie einen beliebigen Winkel φ mit derselben bildet, diese aber nach wie vor rechtwinklig zur Längsaxe schneidet, so ist es ein Leichtes, die wirksamen Kräfte in zwei Gruppen von Componenten zu zerlegen, von denen die eine in die fragliche geneigte Fläche zu liegen kommt, während die andere rechtwinklig dagegen gerichtet ist. Die ganze Operation kann ebenso gut mit Zirkel und Lineal als durch trigonometrische Berechnung ausgeführt werden.

Bezeichnen wir jetzt die Spannung längs unserer geneigten Fläche, welche den Winkel φ mit der neutralen Faserschicht bildet, als *Tangentialspannung* T und die rechtwinklig gegen dieselbe gerichtete als *Normalspannung* N , so lässt sich auf mathematischem Wege derjenige Werth des Winkels φ bestimmen, bei welchem die Tangentialspannung oder die Normalspannung zum Maximum oder Minimum wird. Man erhält mit Rücksicht auf die Tangentialspannung T für einen beliebigen Punkt

$$\operatorname{tang} 2 \varphi = \frac{1}{2} \cdot \frac{\text{Spannung in Folge der Biegung}}{\text{Schubspannung parallel der Axe}}$$

und mit Rücksicht auf die Normalspannung N

$$\operatorname{tang} 2 \varphi = - 2 \cdot \frac{\text{Schubspannung parallel der Axe}}{\text{Spannung in Folge der Biegung}}$$

Für die graphische Darstellung der Spannungsverhältnisse haben nun namentlich die grössten und kleinsten Normalspannungen eine besondere Bedeutung. Ihre Richtungen im Innern der Träger bilden nämlich zwei Curven-

¹⁾ Das Eigengewicht der Trägersubstanz ist hiebei nicht in Anschlag gebracht.

systeme (Fig. 3), welche die neutrale Axe stets unter 45° , sich selbst aber und ebenso die äussersten Fasern unter 90° schneiden. Es sind das die Druck- und Zuglinien oder Spannungstrajectorien, so genannt, weil hier die vor-

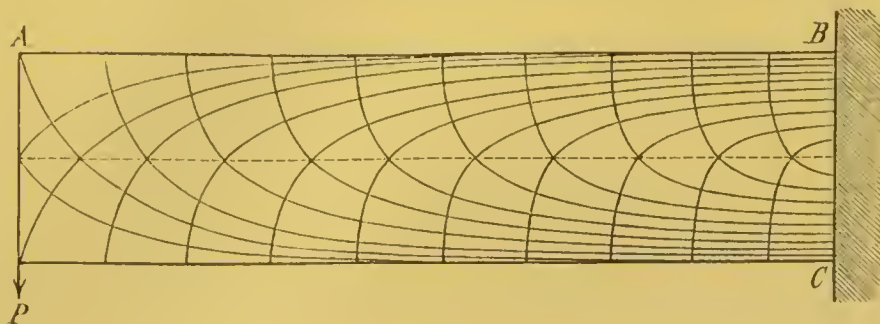


Fig. 3.

handenen Spannungen nur als Druck oder Zug in der Richtung der betreffenden Curven wirken und demgemäss keine den Curven parallelen scheinenden Componenten liefern. Mit andern Worten: die Träger-

elemente werden in der Richtung des einen Systems von Trajectorien bloss gedrückt, d. h. gegen einander gepresst oder positiv gespannt, in der dazu rechtwinkligen Richtung des andern Systems dagegen aus einander gezogen oder negativ gespannt. Bei einem Träger, der am einen Ende horizontal eingespannt und am andern Ende belastet ist (wie in unserer Figur), sind die den Druckkräften entsprechenden Trajectorien nach oben concav, die Trajectorien der Zugkräfte dagegen nach oben convex. Die steilern Enden einer jeden Curve entsprechen den kleinsten, die flacheren, mehr der Längsrichtung folgenden Enden den grössten Spannungen¹⁾.

Denken wir uns nun einen beliebigen Träger, z. B. den Waagebalken einer chemischen Waage, in Form eines Gitterwerkes construiert, und zwar so, dass der Verlauf der sich krenzenden Gitterstäbe ein getreues Bild der entsprechenden Zug- und Drucklinien darstellt, so können wir die Stäbe, welche nur auf Druck in Anspruch genommen sind, an beliebigen Stellen durchschneiden, ohne dadurch irgend welche Störungen zu bewirken, da ein Bestreben der Stücke, in den Schnittflächen an einander vorbei zu gleiten, nicht vorhanden ist. Dagegen wäre selbstverständlich eine solche Operation im andern System von Stäben, welches den Zugkräften Widerstand leistet, nicht zulässig. Es ist ferner einleuchtend, dass die gedrückten Stäbe bezüglich der Querschnittsform so construiert sein müssten, dass ein Ausbiegen nach der Seite nicht möglich ist, also röhrenförmig oder T-förmig etc., und was die Querschnittsfläche betrifft, so würde dieselbe für jedes Stück einer Curve nach den an dieser Stelle wirkenden Kräften zu bestimmen sein.

¹⁾ Die Construction Fig. 3 ist für einen bestimmten Fall annähernd genau. Es wurde angenommen, der Träger AB sei homogen und im Querschnitt rechteckig. Die Breite (senkrecht zur Papierfläche) betrage 1, die Höhe $BC = 2$ Centimeter, das Gewicht P am freien Ende des Trägers = 2 Kilogramm. Unter diesen Voraussetzungen wurde die Neigung der Curven für die verschiedenen Abstände von der neutralen Axe in gleicher Weise berechnet, wie diess weiterhin an einem Beispiel ausführlich gezeigt werden soll. Selbstverständlich musste die Rechnung für eine Reihe von Querschnitten durchgeführt werden. Die Figur stellt den Träger in natürlicher Grösse dar.

Die Construction von Gitterträgern nach Zug- und Drucklinien würde un-
streitig auch in der Technik gewisse Vortheile bieten: allein sie ist mit so
grossen practischen Schwierigkeiten verbunden, dass hier die viel einfachere
Herstellung der Gitterwerke mittelst geradliniger Constructionstheile entschieden
den Vorzug verdient. Im Bau der Organismen dagegen, wo dergleichen Schwie-
rigkeiten nicht in Betracht kommen, begegnet man hin und wieder den frag-
lichen Curvensystemen, jedoch begreiflicher Weise nur in Organen oder Ge-
webetheilen mit maschiger Textur und bei entsprechender Inanspruchnahme.
Sehr schön treten dieselben beispielsweise in der spongiösen Substanz des
menschlichen Obersehenkelknochens, speziell im Gelenkknopf und dem an-
grenzenden Halse, hervor. Hier sind aber auch die Bedingungen so günstig,
wie es gewiss nur selten vorkommt. Ein voller, dabei aber doch schwammig
gebanter und relativ kurzer Träger, der etwas schief nach oben steht, ist zur
Aufnahme einer bedeutenden Last bestimmt, welche denselben fast immer in
der nämlichen bestimmten Weise und zwar ungefähr nach Art eines gebogenen
Krahns in Anspruch nimmt. Unter solchen Umständen erhalten die in Rede
stehenden Curven eine Krümmung, welche, wenn sie in der Anordnung der
festen Theile ihren Ausdruck findet, dem Beobachter sofort auffallen muss¹⁾. —
In pflanzlichen Geweben habe ich bis dahin kaum eine Andeutung dieser Druck-
und Zuglinien beobachtet, und ich glaube annehmen zu dürfen, dass sie hier
überhaupt nur selten vorkommen²⁾. Die Erklärung dieser Thatsache mag haupt-
sächlich in dem Umstande liegen, dass die beobachteten vegetabilischen Objecte
meist sehr langgestreckt sind, so dass die (wirksamen) Schubspannungen gegen
die Druck- und Zugspannungen verschwindend klein werden. Dazu kommt
dann noch, dass in der Pflanzenwelt die Grundbedingungen der fraglichen An-
ordnung, nämlich maschiger Bau und annähernd constante oder doch gleich-
sinnige Inanspruchnahme keineswegs häufig zusammentreffen. Wenn ich trotz-
dem die Frage der Zug- und Drucklinien in belasteten Trägern hier in aller
Kürze berührt habe, so geschah es einerseits, um den Leser darüber aufzuklären,
was diese Linien zu bedeuten haben und warum sie in Pflanzengeweben ge-
wöhnlich nicht zur Ersehung kommen, andererseits aber auch, um darauf
hinzuweisen, dass die Kenntniss dieser Linien und der entsprechenden Kraft-
grössen in jedem gegebenen Falle die beste Einsicht in die zu untersuchenden
Spannungsverhältnisse gewährt. Ob irgend eine krummlinige Anordnung der
Zellen oder Maschen eines Gewebes als Ausdruck der mechanisch-wirksamen
Kräfte zu betrachten sei, kann offenbar nur Derjenige entscheiden, der über
Grösse und Richtung derselben sich wenigstens annähernd zu orientiren im
Stande ist.

1) Vgl. J. Wolf, Ueber die innere Architectur der Knochen, in Virchow's Archiv L.
Der Abhandlung sind photographische Abbildungen dünner Sägeschnitte beigegeben.

2) Culmann, Graph. Statik, p. 237, sagt zwar, die fragliche Fiberanlage finde »ihre
Bestätigung in den Millionen Modellen, welche uns die Natur und der Sägmüller in jedem

Zum Schlusse mag hier noch die Berechnung der Zug- und Druckkräfte für eine bestimmte Region eines gegebenen Trägers beigefügt werden. Ein concreter Fall ist in mancher Hinsicht belehrender als allgemeine Betrachtungen. Ich habe zu diesem Behuf absichtlich andere und zwar viel schlankere Dimensionsverhältnisse gewählt als sie in den Lehrbüchern der Mechanik gewöhnlich vorausgesetzt werden, um dadurch den im Pflanzenreiche vorwaltenden Verhältnissen näher zu kommen. Im Uebrigen sind natürlich die Daten so einfach als möglich gewählt.

Es sei gegeben ein horizontal eingespannter, am freien Ende mit zwei Kilo belasteter Träger von ca. 1 Meter Länge, 1 Centimeter Breite und 2 Centimeter Höhe. Auf Grund dieser Daten sollen die Maxima und Minima der Normalspannungen, sowie die Richtungen derselben, für einen Abstand von 50 Centimeter vom freien Ende berechnet werden. Die Querschnittsfläche ist in diesem Fall ein aus zwei Quadraten bestehendes Rechteck: das eine Quadrat liegt oberhalb, das andere unterhalb der neutralen Ebene. Das Maass des Biegemomentes W beträget demzufolge, wenn b die Breite und h die Höhe

$$W = \frac{b h^3}{12} = \frac{1 \times 2^3}{12} = \frac{2}{3}$$

Ebenso hat man für die Spannung R in den äussersten Fasern, d. h. an der obern und untern Grenzfläche, die Formel

$$R = \frac{P x e}{W},$$

wobei P das angehängte Gewicht, x den Abstand des gegebenen Schnittes vom freien Ende und e die Entfernung der äussersten Faser von der Neutralen bedeutet. In unserem Fall, wo $x = 50$ und $e = 1$, ist folglich

$$R = \frac{2 \cdot 50 \cdot 1}{\frac{2}{3}} = 150 \text{ Kilo per } \square \text{ Centimeter.}$$

Bezeichnen wir jetzt den Abstand eines beliebigen Punktes von der Neutralen mit z (wobei natürlich z alle Werthe zwischen 0 und e annehmen kann), so ist die Schubkraft L längs der Axe für Balken mit rechtwinkligem Querschnitt gegeben durch die Gleichungen

$$L = \frac{6 P}{b h^3} (e^2 - z^2) = \frac{1}{2} \cdot \frac{P}{W} (e^2 - z^2),$$

worin b wie gewöhnlich die Breite und h die Höhe bedeutet. Für die Dimensionen unseres Trägers ist demnach ganz allgemein

$$L = \frac{3}{2} (1 - z^2)$$

zu Brettern verschnittenen Baum zeigen. Dieser Anschauung liegt aber offenbar irgend eine irrthümliche Deutung der Jahrringe zu Grunde.

Der Longitudinalsehuh L berechnet sich hienach wie folgt:

für $z = 0$ ist	$L = \frac{3}{2}$	$= 1,5$	Kilo per □Centim.
- $z = \frac{1}{100} \cdot e$ ist	$L = \frac{3}{2} \cdot \frac{9999}{10000}$	$= 1,499$	- - -
- $z = \frac{1}{16} \cdot e$	- $L = \frac{3}{2} \cdot \frac{255}{256}$	$= 1,494$	- - -
- $z = \frac{1}{8} \cdot e$	- $L = \frac{3}{2} \cdot \frac{63}{64}$	$= 1,476$	- - -
- $z = \frac{1}{4} \cdot e$	- $L = \frac{3}{2} \cdot \frac{15}{16}$	$= 1,406$	- - -
- $z = \frac{1}{2} \cdot e$	- $L = \frac{3}{2} \cdot \frac{3}{4}$	$= 1,125$	- - -
- $z = \frac{3}{4} \cdot e$	- $L = \frac{3}{2} \cdot \frac{7}{16}$	$= 0,656$	- - -
- $z = e$	- $L = 0$	$= 0,000$	- - -

Die Normalspannung N rechtwinklig zu der oben erwähnten geneigten Ebene, deren Neigung φ übrigens nachträglich noch besonders zu bestimmen ist, erreicht für einen beliebigen Abstand von der Neutralen den Maximalwerth

$$N_{\max.} = \frac{R}{2} + \sqrt{\left(\frac{R}{2}\right)^2 + L^2}$$

und den Minimalwerth

$$N_{\min.} = \frac{R}{2} - \sqrt{\left(\frac{R}{2}\right)^2 + L^2}$$

in welchen Formeln die Grössen R und L für die verschiedenen z arithmetisch zu berechnen sind. In unserem Fall, wo R für die äussersten Fasern $= 150$ Kilo beträgt, ergeben sich für die Maximalspannung folgende Werthe:

für $z = 0$ ist	$N_{\max} = \sqrt{L^2} = L$	$= 1,5$	Kilo per □Centim.
- $z = \frac{1}{100} \cdot e$ ist	$N_{\max} = \frac{1}{2} \cdot \frac{150}{100} + \sqrt{0,75^2 + 1,499^2}$	$= 2,427$	- - -
- $z = \frac{1}{16} \cdot e$	- $N_{\max} = \frac{1}{2} \cdot \frac{150}{16} + \sqrt{4,69^2 + 1,494^2}$	$= 9,6$	- - -
- $z = \frac{1}{8} \cdot e$	- $N_{\max} = \frac{1}{2} \cdot \frac{150}{8} + \sqrt{9,375^2 + 1,476^2}$	$= 18,865$	- - -
- $z = \frac{1}{4} \cdot e$	- $N_{\max} = \frac{1}{2} \cdot \frac{150}{4} + \sqrt{18,75^2 + 1,406^2}$	$= 37,55$	- - -
- $z = \frac{1}{2} \cdot e$	- $N_{\max} = \frac{1}{2} \cdot \frac{150}{2} + \sqrt{37,5^2 + 1,125^2}$	$= 75,02$	- - -
- $z = \frac{3}{4} \cdot e$	- $N_{\max} = \frac{450}{8} + \sqrt{56,25^2 + 0,656^2}$	$= 112,50$	- - -
- $z = e$	- $N_{\max} = R$	$= 150$	- - -

Bei der Berechnung der Minimalspannungen ist statt des $+$ vor den Wurzelzeichen ein $-$ zu setzen. Die Ziffern bleiben unverändert. Man findet für

$z = 0$	$N_{\min} = - 1,50$	Kilo per	\square Centim.
$z = \frac{1}{100} \cdot e$	$N_{\min} = - 0,92$	-	-
$z = \frac{1}{16} \cdot e$	$N_{\min} = - 0,22$	-	-
$z = \frac{1}{8} \cdot e$	$N_{\min} = - 0,10$	-	-
$z = \frac{1}{4} \cdot e$	$N_{\min} = - 0,05$	-	-
$z = \frac{1}{2} \cdot e$	$N_{\min} = - 0,02$	-	-
$z = e$	$N_{\min} = 0$	-	-

Die negativen Vorzeichen bedeuten die entgegengesetzten Spannungen, also Druck statt Zug, und umgekehrt.

Die Richtung dieser Maximal- und Minimalspannungen ist gegeben durch den Winkel φ , welcher die Neigung der fraglichen schiefen Ebene zur Horizontalen oder, was dasselbe ist, die Neigung der Spannungsrichtungen zur Verticalen bezeichnet. Nach der Formel für das Maximum oder Minimum

$$\operatorname{tang} 2\varphi = - \frac{2L}{R}$$

erhält man für die verschiedenen Werthe von z folgende Winkelgrößen. Bei $z = 0$ ist $\operatorname{tang} 2\varphi = -\infty$, also $2\varphi = 270^\circ$ und $\varphi = 135^\circ$, die man ebenso gut nach rechts wie nach links herum abzählen kann. Mit Rücksicht auf einen bestimmten in der neutralen Axe liegenden Nullpunkt des Kreises, von dem aus in gleicher Richtung gezählt wird, ist also $\varphi = 135$ oder $= 45^\circ$. Die beiden Richtungen kreuzen sich also rechtwinklig und schneiden die neutrale Axe unter 45° . Maximal- und Minimalspannung haben in diesen Kreuzungspunkten gleichen Werth, nämlich 1,5 Kilo per \square Centim., dabei aber entgegengesetzte Vorzeichen, weil die eine von Druck-, die andere von Zugkräften bewirkt wird. — Bei $z = e$, d. h. für die äusserste Faser, ist $\operatorname{tang} 2\varphi = 0$, also Winkel $2\varphi = 0$ oder 180° , folglich $\varphi = 0$ oder 90° . Die Maximalspannung ist hier $= 150$ Kilo und dabei longitudinal gerichtet; die Minimalspannung ist zwar in der Grenzfläche selbst gleich Null, muss aber transversal gedacht werden, da sie schon in der nächstliegenden Faser diese Richtung wirklich zeigt.

Für die übrigen Werthe von z berechnen sich in ähnlicher Weise die nachstehend bezeichneten Winkel. Die gefundenen Grenzwerte sind der Vollständigkeit wegen noch einmal aufgeführt, die bei der Berechnung erhaltenen Minuten unter $\frac{1}{2}$ Grad dagegen weggelassen.

$$z = 0; \quad \varphi = 45^{\circ} \text{ oder } 135^{\circ}$$

$$z = \frac{1}{100} \cdot e; \quad \varphi = 58^{\circ} - 148^{\circ}$$

$$z = \frac{1}{16} \cdot e; \quad \varphi = 81^{\circ} - 171^{\circ}$$

$$z = \frac{1}{5} \cdot e; \quad \varphi = 85^{\circ} - 175^{\circ}$$

$$z = \frac{1}{4} \cdot e; \quad \varphi = 88^{\circ} - 178^{\circ}$$

$$z = \frac{1}{2} \cdot e; \quad \varphi = 89^{\circ} - 179^{\circ}$$

$$z = \frac{3}{4} \cdot e; \quad \varphi = 90^{\circ} - 180^{\circ}$$

$$z = e; \quad \varphi = 90^{\circ} - 180^{\circ}$$

Die Richtungen der Maximal- und Minimalspannungen, welche die neutrale Axe unter 45° schneiden, nähern sich hienach sehr rasch der Längs- und Querrichtung unseres Trägers. Schon bei $z = \frac{1}{5} \cdot e$ beträgt die Abweichung nur noch 5° , bei $z = \frac{1}{4} \cdot e$ nur noch 2° ; alle ausserhalb liegenden Fasern werden also ziemlich genau in der Längs- und Querrichtung in Anspruch genommen. Die Spannungen in der Längsrichtung steigen hierbei, wenn wir allmählig von der Neutralen bis zur äussersten Faser fortschreiten, von 1,5 Kilo bis auf 150 Kilo; diejenigen in der Querrichtung fallen dagegen von 1,5 Kilo bis auf Null.

Behufs Construction der Curven hat man nun bloss zu berücksichtigen: 1) dass eine kleine Verschiebung der Querschnittsfläche, für welche die Spannungen berechnet wurden (sei es nun in der Richtung gegen das freie Ende hin oder umgekehrt), die gefundenen Spannungswerthe und Spannungsrichtungen nicht erheblich modificirt, und 2) dass die Curvenstücke der untern Trägerhälfte zu denen der obern symmetrisch sind. Statt also die kurzen Linien, welche die Spannungsrichtungen bezeichnen, in der nämlichen Verticale aufzutragen, schliesst man dieselben so an einander an, dass z. B. diejenigen, welche den Minimalspannungen entsprechen, eine gebrochene Curve bilden, welche in der neutralen Faserschicht 45° , bei $z = \frac{1}{5} \cdot e$ aber schon 85° und bei $z = \frac{1}{2} \cdot e$ 89° gegen die Horizontale geneigt ist, u. s. f. Es bleibt alsdann nur noch übrig, dieser Curve eine möglichst regelmässige, den Neigungen entsprechende Krümmung zu geben. Ebenso für die Maximalspannungen, die indess etwas weiter von der gegebenen Querschnittsfläche hinwegführen. Um genau zu construiren, müsste die Berechnung hier für eine Reihe von Querschnitten ausgeführt werden. Soviel ist aber auch ohne diese Berechnung klar, dass die Curve der Maximalspannungen, welche die neutrale Axe unter 45° schneidet, schon bei $z = \frac{1}{5} \cdot e$ nur noch 5° , bei $z = \frac{1}{4} \cdot e$ noch ungefähr 2° von der Längsrichtung abweicht und dass sie in ihrem weiteren Verlaufe nach der Befestigungsstelle hin sich immer mehr der Längsrichtung nähert, um in der äussersten Faser dieselbe vollständig zu erreichen. Sowohl Druck- als Zuglinien der obern Trägerhälfte sind also für die bezeichnete Entfernung von

50 Centim. vom belasteten Ende bekannt und auch der weitere Verlauf der Zuglinien ist wenigstens annähernd gegeben. Man hat jetzt zur Vervollständigung des Bildes nur noch nöthig, in der untern Trägerhälfte das Spiegelbild der gezogenen Curven herzustellen, oder was dasselbe ist, die Zeichnung auf dem Papier um die neutrale Axe zu drehen und auf der andern Seite abzudrucken oder durchzupausen. Die Drucklinien verlaufen alsdann von der obern Grenzfläche in der bezeichneten Weise quer nach innen, beschreiben in der Nähe der Neutralen einen starken Bogen, um dieselbe unter 45° zu schneiden und nehmen dann in der untern Trägerhälfte ziemlich rasch eine der Axe nahezu parallele Richtung an. Die Zuglinien gehen in symmetrischer Krümmung von der untern in die obere Trägerhälfte über. In Fig. 4 ist ein zusammengehöriges Paar solcher Linien dargestellt ¹⁾.

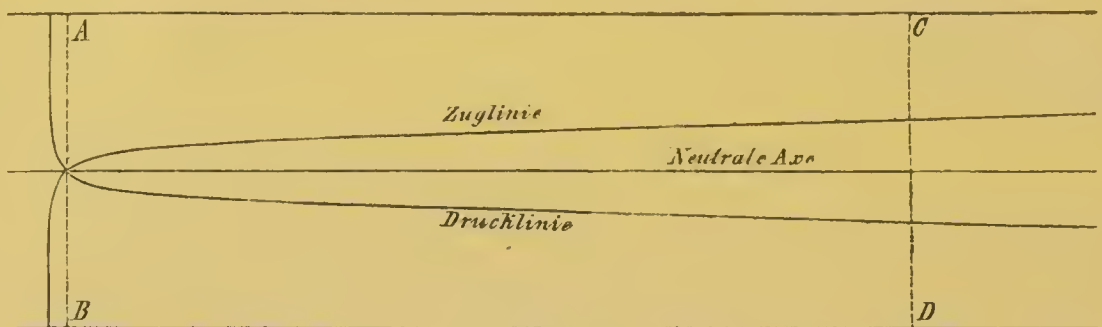


Fig. 4.

Für die Beurtheilung der im folgenden Capitel zu besprechenden Trägerformen ist es nun wichtig, darauf hinzuweisen, dass hier das Verhältniss der Länge zur Höhe sich gewöhnlich in viel höheren Ziffern bewegt, als für die vorhergehende Berechnung vorausgesetzt wurde. Die Druck- und Zuglinien gehen folglich in schlanken vegetabilischen Trägern noch in viel stärkerer Krümmung, unter Umständen beinahe in rechten Winkeln (natürlich immer mit abgerundeten Ecken) von der Quer- in die Längsrichtung über, d. h. die Maximal- und Minimalspannungen entsprechen noch viel entschiedener der Vertiealen und Horizontalen. Wenn nun schon in unserem Falle die Maximalspannung in der äussersten Faser 150 Kilo erreicht, während die quer gerichtete Minimalspannung bloss zwischen 0 und 1,5 Kilo variirt, so muss der Unterschied in schlanken Blüthenschäften u. dgl. noch viel grösser sein. Mit zunehmender Länge des Trägers steigen nämlich unter übrigens gleichen Bedingungen auch die Maxima der longitudinalen Spannungen, während die Minima, obsehon sie in der Axe selbst den constanten Werth L haben, in den äussern Fasern immer kleiner werden. Es darf uns daher nicht wundern, wenn in der Pflanze die Füllungen zwischen den Trägergurtungen, weil dieselben ja bloss die quer gerichteten Minimalspannungen anzunehmen haben, oft auffallend schwach gebaut sind. Wenn vollends der einzelne Träger bloss Bestandtheil eines hohl-

¹⁾ Die Rechnung wurde für die Schnitte AB und CD ausgeführt. In letzterem Schnitt weichen die Curven nur noch um ca. $1\frac{1}{3}^{\circ}$ von der Longitudinalen ab.

cylindrischen Systems ist und folglich die neutrale Axe nicht in sich aufnimmt, wie das z. B. im Stengel von *Scirpus caespitosus* (vgl. Taf. I Fig. 5) der Fall ist, so erreichen die Querspannungen in der Füllung nur einen verschwindend kleinen Betrag.

Wir haben nun allerdings im Vorhergehenden die Tangentialspannungen, d. h. die Schubspannungen parallel der schiefen Ebene, deren Neigungen φ für das Maximum oder Minimum nach der oben aufgestellten Gleichung zu ermitteln wären, unberücksichtigt gelassen. Allein diess ist unter den gegebenen Umständen gestattet. Denn obschon die Rechnung für die peripherischen Fasern einen nicht unbedeutenden Maximalschub ergibt und überdiess zeigt, dass die Richtungen, in denen diese Schenkkräfte ein Maximum erreichen, die rechten Winkel der sich kreuzenden Druck- und Zuglinien genau halbiren, so kann doch die schiefe Schubspannung für die weiche Füllungsmasse schon desshalb nicht in Betracht kommen, weil jeder schiefe Schnitt nicht bloss die Füllung, sondern auch die festern Gurtungen trifft. Die Füllung hat also für sich allein bloss den oben bezeichneten kleinen Spannungen zu widerstehen. Aus demselben Grunde haben z. B. die Nietendreihen in der Mittelwand eines schmiedeeisernen Blechträgers, wie sie bei kleineren Brücken angewandt werden, nicht dem Maximum der schiefen Schubspannung, sondern einfach dem Longitudinalschub zu widerstehen, wozu dann allerdings zunächst der Gurtung noch die entsprechende Zug- oder Druckspannung kommt.

Mit den Spannungstrajektorien belasteter Träger nicht zu verwechseln sind die Drucklinien in Gewölben, auf deren nähere Besprechung an dieser Stelle ich indess verzichte, weil die Spannungsverhältnisse gewölbeartiger Constructionen im Allgemeinen bekannt oder doch jedenfalls weniger unbekannt sind. Einiges Spezielle hierüber soll bei Besprechung bestimmter Fälle mitgetheilt werden.

Zweiter Abschnitt.

Spezielle Betrachtung der Monocotylen.

Drittes Capitel.

Die mechanischen Systeme zur Herstellung der erforderlichen Biegefestigkeit mit möglichst geringem Materialaufwande.

Nachdem ich im vorhergehenden Capitel die Grundlehren der Mechanik, welche zum Verständniss des Folgenden unentbehrlich sind, einer kurzen Betrachtung unterzogen, gehe ich nun zur Darlegung der mechanischen Systeme über, durch welche die oberirdischen Organe der Monocotylen die erforderliche Biegefestigkeit erhalten. Wie sich zum Voraus erwarten lässt, stimmen diese Systeme sämmtlich darin überein, dass die festen Theile — es mögen nun isolirte Stränge oder zusammenhängende Gewebe sein — soviel als thunlich von der neutralen Axe oder Ebene abstehen, dabei aber unter sich oder auch mit weniger festen Geweben so combinirt sind, dass beim Biegen ein Einknicken der Wandung erst durch eine Kraft erfolgt, welche zugleich die Zugfestigkeit der gespannten und die Druckfestigkeit der comprimirten Fasern nahezu bis zur zulässigen Grenze in Anspruch nimmt. Die Anordnung der widerstandsfähigen Elemente, im Querschnitt betrachtet, wird also in cylindrischen Organen, weil hier die biegende Kraft in allen zur Längsaxe rechtwinkligen Richtungen wirksam sein kann, im Allgemeinen eine peripherisch-kreisförmige, in Flächenorganen dagegen, deren Festigkeit offenbar vorzugsweise in der Richtung senkrecht zur Flächenausdehnung einer Steigerung bedarf, in der Regel eine oberflächlich-zweireihige sein. Aber innerhalb der Umrisse, welche diese gemeinsamen Merkmale zu ziehen gestatten, sind so mannigfache Verschiedenheiten der Anordnung denkbar und auch thatsächlich vorhanden, dass zu allernächst eine Sichtung der verschiedenen Typen nach rein mechanischen Gesichtspunkten nothwendig erscheint, um die Bedeutung und die durchgreifende Herrschaft des mechanischen Princips klar darzulegen. Namentlich sind es die Querschnittsformen der vorkommenden Systeme, welche als besonders geeignet zur Characteristik derselben eine eingehende Betrachtung erheischen. Im Querschnitt verräth sich, wie man aus nachstehenden Erörterungen entnehmen wird, der ganze Constructionsplan des Systems. und wenn auch manche Einzelheiten und

3. Die mechanischen Systeme zur Herstellung der erforderlichen Biegefestigkeit. 41

Eigenthümlichkeiten des Baues erst auf Längsansichten deutlich hervortreten, so fällt doch bei dem vorherrschenden Parallelismus der Systemtheile die Anordnung derselben im Querschnitt stets vorzugsweise ins Gewicht.

Dieser Anforderung sucht die folgende Zusammenstellung der verschiedenen Querschnittsformen Genüge zu leisten; sie ist indess nicht etwa auf die Ansicht basirt, als ob die Natur hier scharfe Grenzen gezogen oder vielleicht gar systematischen Einheiten ihre Signatur verliehen habe, sondern hat einzig und allein den Zweck, der mechanischen Betrachtung möglichst bestimmte Fälle zu unterbreiten und nebenbei einen Ueberblick über die wichtigeren Combinationen zu gewähren, welche innerhalb unserer Pflanzenklasse zur Entwicklung gekommen sind.

Betreffend die Bezeichnung der Systemtheile glaubte ich vom üblichen Sprachgebrauche etwas abweichen zu sollen. In der Mechanik werden nämlich die Hauptstücke einer Construction (z. B. einer eisernen Brücke), wenn sie senkrecht stehen als Säulen, Pfosten, Ständer, und wenn sie wagrecht stehen als Balken oder Träger bezeichnet.² Da nun die Uebertragung dieser Ausdrücke auf Pflanzenorgane sich nicht ohne Weiteres empfiehlt, indem das nämliche Organ unten vertical gestellt, weiter oben aber schief oder wagrecht, ja selbst überhängend sein kann, so habe ich mir erlaubt, die Benennung »Träger« ohne Rücksicht auf die Neigung zum Horizont durchgehends anzuwenden. Die übrigen Bezeichnungen, wie z. B. Rippen, Streben u. dgl., sind im gewöhnlichen Sinne gebraucht.

I. Die Querschnittsformen des mechanischen Systems in cylindrischen Organen.

Ich verstehe unter cylindrischen Organen ganz allgemein solche, welche nach allen Richtungen rechtwinklig zur Längenausdehnung in Anspruch genommen werden. Ob sie auch im geometrischen Sinn des Wortes cylindrisch, oder etwa drei- bis mehrkantig sind, kommt hiebei nicht in Betracht.

Da die Zahl der Querschnittsformen ziemlich gross ist, so habe ich die nachstehend angeführten Typen im Interesse einer übersichtlichen Gruppierung zwar fortlaufend numerirt, dieselben jedoch höheren Einheiten, die als Systeme bezeichnet sind, untergeordnet.

1. System der subepidermalen Bastrippen.

Erster Typus. Bastrippen in einfacher Ringlage, combinirt mit dünnwandigem Mestom. — Hieher die Aroidecegenera *Arum*, *Atherurus*, *Arisaema*, *Dracunculus*, deren Blüthenschäfte und Blattstiele im Wesentlichen übereinstimmen.

Abgebildet: *Arum maculatum*, Taf. I, 1, 2; *Atherurus ternatus*, Taf. I, 3.

Die Bastbündel, welche hier die einzigen dickwandigen und daher vorzugsweise widerstandsfähigen Elemente sind, liegen entweder unmittelbar unter der

Epidermis oder sind durch 1 bis 2 Schichten chlorophyllfreier Parenchymzellen davon getrennt. Die genetische Beziehung der letztern zur peripherischen Zellschicht ist mir unbekannt: dennoch glaube ich dieselben unbedingt zu den epidermalen Bildungen zählen zu dürfen, und zwar in einem viel engeren Sinn des Wortes, als in neuester Zeit Pfitzer¹⁾ den Ausdruck »oberhautartige Schichten« angewandt hat.

Die begleitenden Mestomstränge, welche ausser bei Gefässen keine verdickten Zellwände aufweisen, schliessen sich nur bei den kleinen Bündeln unmittelbar an den Bast an: bei den grössern, weiter nach innen vorspringenden sind zwischen die innersten Bastzellen und die peripherischen Cambiformelemente (*vasa propria*) drei bis vier zum Theil chlorophyllführende Parenchymzellen eingeschoben, die sich von den rechts und links liegenden Zellen des Grundgewebes nicht unterscheiden lassen. Die morphologische Zusammengehörigkeit der Bast- und Mestomzellen ist in diesem Falle nur noch durch die Lage derselben auf dem gleichen Radius und durch die Uebergänge zu normalen Gefässbündelformen angedeutet.

Die tiefer liegenden Gefässbündel sind sämmtlich ohne Bast und können daher mechanisch um so weniger ins Gewicht fallen, als die Gefässe die einzigen Elementarorgane mit verdickten Wandungen und dabei fast durchweg Ringgefässe sind, von denen höchstens die nach aussen gekehrten kleinlumigen, weil hier der Abstand der Ringe kleiner ist — aber auch diese nur gegen Druck — etwelchen Widerstand leisten. Ebenso wenig kann das durchgehends dünnwandige Grundgewebe, das überdiess zuweilen von Luftkanälen durchsetzt wird (*Atherurus ternatus*), mechanisch von Bedeutung sein. Dem entsprechend besitzt das ganze bastlose Gewebe des Blüthenschaftes oder des Blattstieles, wie die experimentelle Prüfung lehrt, nur eine äussert geringe Zugfestigkeit, indess die Bastrippen für sich allein sehr beträchtliche Gewichte zu tragen vermögen.

Die Bastrippen, deren Zahl bei einer Schaftdicke von 4 bis 5 Millim. etwa 22 bis 25, in andern Fällen auch nur 15 bis 20 beträgt, verlaufen unter sich und mit der Längsaxe des Organs parallel. Dasselbe gilt von den zugehörigen Mestomsträngen und im Allgemeinen auch von den übrigen Gefässbündeln. — Auf das collenchymatische Aussehen des Bastes wurde bereits oben (p. 6) hingewiesen; im Uebrigen stimmen die Zellen mit typischen Bastzellen überein.

Zweiter Typus. Kleinere subepidermale Bastrippen wechseln ab mit grössern etwas tiefer liegenden, welche sämmtlich oder zum Theil durch chlorophyllführende Zellen von der Epidermis getrennt sind. Alles Uebrige wie im vorhergehenden Fall. — Hieher die Blattstiele von *Colocasia Antiquorum* (Taf. I, 4) und *Alocasia metallica*.

Die peripherischen Bastbündel bilden hier eine Zickzaeklinie, stellenweise sogar eine doppelte Ringlage, und sind überdiess nicht streng subepidermal²⁾;

¹⁾ Pringsheim's Jahrb. VII.

²⁾ Nach van Tieghem (Ann. sc. nat. 5. série vol. VI pag. 95 ff.) bilden die peripherischen

3. Die mechanischen Systeme zur Herstellung der erforderlichen Biegefestigkeit. 43

auch sind die einzelnen Zellen in geringerem Grade oder gar nicht collenchymatisch. Das Grundgewebe ist von zahlreichen Luftgängen durchzogen, welche meist nur durch eine ein- bis zweischichtige Parenchymwand von einander getrennt sind. Auch die Xylemstränge der innern, bastfreien Gefässbündel umschliessen je einen Luftkanal.

Für die mechanische Betrachtung der beiden Typen dieses Systems gewährt die Voraussetzung kreisförmig gestellter vierkantiger Träger in entsprechender Anzahl und Stärke einen hinlänglich genauen Ueberblick. Der bequemeren Vergleichung wegen denken wir uns ferner den Durchmesser des Schaftquerschnittes auf 1000 Centimeter vergrössert. Die mittlere Dicke eines Trägers darf alsdann nach Maassgabe der bei *Arum* und *Atherurus* vorkommenden Verhältnisse auf etwa 0,04 des Schaftdurchmessers, also auf 40 Centim. geschätzt werden. Die Zahl derselben sei 25 auf den ganzen Umfang. Unter diesen Voraussetzungen ist die Querschnittsfläche eines Trägers $1600 \square \text{Centim.}$, folglich aller zusammen $25 \cdot 1600 = 40,000$. Das Maass des Biegemomentes für sämtliche Träger, die man sich natürlich in tangentialer Richtung fest verbunden zu denken hat, darf als gleichwerthig mit dem eines Kreisringes von gleichem Querschnitt und gleichem Durchmesser betrachtet werden. Ein solcher Kreisring müsste 13 Centim. Dicke haben; das Maass seines Biegemomentes berechnet sich nach der Formel $W = \frac{F}{2} r^2$ (vgl. p. 23) auf 5000 Millionen. Eine Reduction auf einen Querschnitt von nur $12000 \square \text{Centim.}$, wie wir ihn oben zur Vergleichung gewählt haben, ergibt 1500 Millionen. Es ist das eine überaus günstige Ziffer; dagegen erhält man für den flach gelegten Cylinder, d. h. für die 25 neben einander gelegten Träger, ein 280 mal kleineres Maass, ein Verhältniss, das für eine Construction in Eisen zulässig sein mag, für jedes dehnbarere Material aber die Gefahr des Einknickens in sich schliesst.

Das vorliegende System von Bastbündeln würde demnach für sich allein seinem Zwecke nicht ganz entsprechen; es setzt eine hinreichende Aussteifung durch andere Gewebe voraus, wenn seine ganze Kraft der Pflanze zu Gute kommen soll.

2. System der zusammengesetzten peripherischen Träger.

Subepidermale Bastbündel mit tiefer liegenden zu radial gestellten (symmetrischen oder unsymmetrischen) Trägern verbunden; das verbindende Gewebe theils Mestom, theils Parenchym.

Dritter Typus. Radiale I-förmige Träger, bestehend aus je zwei durch Mestom verbundenen Bastmassen. Kleinere Träger, welche die Epidermis nicht

Träger bei einer andern hierher gehörigen Pflanze, die offenbar etwas stärker gebaut ist, nämlich bei *Alocasia odora*, eine viergliedrige Phalanx mit auffallend regelmässiger Anordnung der einzelnen Bündel. Natürlich sind in Folge dessen die innersten Bündel ziemlich weit von der Epidermis entfernt.

berühren, weecheln gewöhnlich mit den subepidermalen grössern ab. — Hieher die oberirdischen Stengel folgender Cyperaceen: *Scirpus caespitosus* L. und *Sc. alpinus* Schleich. *Eriophorum alpinum* L. *Elyna spicata* Schrad. *Kobresia caricina* Willd.; ferner verschiedene Carices, zumal solche von schwächlichem oder mittlerem Wuchs, z. B. *Carex arenaria* L., *brizoides* L., *disticha* Huds., *stenophylla* Wahlbg., desgleichen die Aehrenstiele stärkerer Repräsentanten, wie z. B. von *Carex maxima* Scop. Zum gleichen Typus gehören endlich auch gewisse Axentheile von Gramineen, so z. B. der obere Theil der Halme von *Panicum sanguinale*.

Abgebildet: *Scirpus caespitosus*, Taf. II, 5; *Kobresia caricina*, Taf. I, 6.

Die grösseren Träger bestehen aus zwei [ungefähr gleich starken Bastmassen, von denen die peripherische sich nach aussen stets an die einfache Epidermis, nach innen jeweilen an ein Mestombündel anlehnt, indess die zugehörige tiefer liegende Masse das nämliche Mestombündel halbkreisförmig umschliesst. Je nach der Grösse dieser beiden Bastkörper ist auch der Abstand ihrer Ränder an den Seiten des Mestoms grösser oder kleiner; dagegen zeigt das Verhältniss der Trägerhöhe, d. h. ihrer radialen Durchmesser zur Stammdicke bei den verschiedenen hieher gehörigen Gewächsen nur geringe Schwankungen. Die Gesamtzahl solcher Träger sinkt in den mir bekannten Fällen nie unter 5 bis 6 herunter, steigt dagegen bisweilen auch wohl auf das Doppelte und darüber.

Die kleineren Träger, welche gewöhnlich in gleicher Anzahl vorhanden sind, aber auch gänzlich fehlen können, sind häufig auf einen einzigen an die Innenseite des Mestoms angelehnten Bastkörper reducirt. In andern Fällen scheint es wenigstens Regel zu sein, dass diese innere Seite mit stärkeren Bastbündeln ausgestattet ist, als die der Epidermis zugekehrte, so z. B. bei *Eriophorum alpinum* und *Scirpus caespitosus* (Taf. I, Fig. 5). Beide Vorkommnisse sind offenbar so zu deuten, dass der ganze radiale Gewebestreifen zwischen dem innern Bastbündel und der Oberfläche, die Epidermis inbegriffen, jenem als Gegengewicht dient. Kleinere Abweichungen von dieser Regel, deren Motivierung zum Theil mit Schwierigkeiten verbunden ist, kommen namentlich bei Stengeln vor, welche zwischen je zwei Hauptträgern von einem Luftkanale durchzogen sind (*Elyna*, *Kobresia*, *Carex stenophylla* u. a.), wodurch natürlich auch die mechanischen Beziehungen eine Aenderung erfahren. Die Kleinheit der Bündel mag es indessen entschuldigen, wenn ich die hierauf bezüglichen Fragen unberührt lasse.

Das Mestom ist stellenweise ziemlich dickwandig und daher mechanisch widerstandsfähig; namentlich gilt diess von den gestreckten porösen Zellen zwischen den grossen Gefässen. Auch die Zellen der Mestomscheide sind meist etwas verdickt, oft so stark, dass das Lumen im etwas gequollenen Zustande, z. B. nach dem Koehen in verdünnter Kalilösung, vollständig ausgefüllt erscheint; die Mestomscheide hat dann ungefähr das Aussehen eines Perlenkranzes.

3. Die mechanischen Systeme zur Herstellung der erforderlichen Biegefestigkeit. 45

Fast alle hierher gehörigen Organe sind hohl, im Querschnitt also ringförmig. Der centrale Hohlraum ist mit einem zarten und immer sehr lockern Fasergeflecht ausgefüllt, das übrigens in spätern Stadien stellenweise auch fehlen kann.

Zur Beurtheilung dieses Typus in mechanischer Hinsicht mag die approximative Berechnung eines bestimmten Falles, wie er in Fig. 5 dargestellt ist, als Grundlage dienen. Die Figur ist schematisch gehalten, entspricht aber ungefähr den bei *Scirpus caespitosus* vorkommenden Dimensionsverhältnissen.

Wir denken uns auch hier wieder den Durchmesser des peripherischen Kreises auf 1000 Centim. vergrössert; die Wanddicke AA , sei 0,17 oder ungefähr $\frac{1}{6}$ des ganzen Durchmessers. Für die speziellen Daten genügt folgendes Verfahren. Die Querschnittsfläche der Bastbündel, die übrigens nachträglich durch einfache Division reducirt werden kann, lässt sich mittelst directer Messung am Objecte selbst oder an genauen Abbildungen ungefähr bestimmen; der Abstand

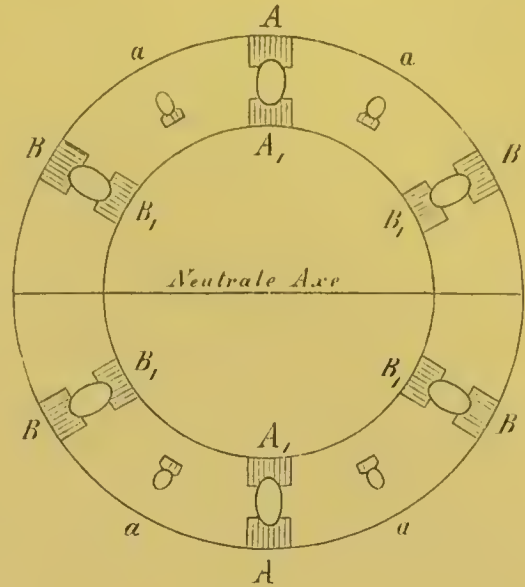


Fig. 5.

derselben resp. ihrer Schwerpunkte von der neutralen Axe wird dagegen am besten auf der schematischen Figur (hinreichend gross ausgeführt) mit dem Zirkel gemessen. Nachstehend das Ergebniss der Messung und das davon abgeleitete Maass der Biegemomente: die Querschnittsflächen sind mit F , die Abstände von der neutralen Axe mit D , die Maasse der Biegemomente mit W bezeichnet. Die Epidermis wurde wegen ihrer beträchtlichen Widerstandsfähigkeit mit in Rechnung gebracht.

1) Die Epidermis, 1 Ctm. dick;	$F= 3140 \square \text{Ctm.};$	—	$W= 392$ Million.
2) Die zwei Bastbündel AA	$F= 9000$	-	$D=470; W=1988$ -
3) Die zwei Bastbündel $A, A,$	$F= 9000$	-	$D=350; W=1102$ -
4) Die 4 Bündel $BBBB$	$F=18000$	-	$D=240; W=1036$ -
5) Die 4 Bündel $B, B, B, B,$	$F=18000$	-	$D=180; W= 583$ -
6) Die 4 kleinen Bündel $aaaa$	$F= 4000$	-	$D= 330; W= 436$ -
	<u>61140 \square Ctm.</u>		<u>5537</u> Million.

Eine Reduction der Querschnittsfläche auf 12000 \square Centim. — natürlich unter der Voraussetzung, dass die Schwerpunkte der Bastmassen unverrückt bleiben — ergibt als Maass des Biegemomentes 1087 Millionen. Die 6 grossen Träger nebeneinander gelegt repräsentiren dagegen bei gleichem Querschnitt nur etwa 43 Millionen oder $\frac{1}{25}$ obiger Ziffer. Wir dürfen hieraus den Schluss ziehen, dass eine nach dem Schema Fig. 5 angeführte Construction in Bast ungefähr das richtige Verhältniss zwischen Wandstärke und Biegemoment

darbietet und folglich einer Aussteifung durch andere Gewebe nicht bedarf¹⁾.

Anhangsweise mögen hier zwei Arten der Gattung *Eriocaulon* Erwähnung finden, deren Blüthenschäfte mit einer doppelten Ringlage von Gefässbündeln und c. 5 bis 10 subepidermalen Rippen ausgestattet sind, welche den grösseren Gefässbündeln entsprechen (Taf. VII, 5). Bei *E. flavidulum* Michx. schliessen sich diese Rippen unmittelbar an die Gefässbündel an; bei *E. decangulare* L. dagegen (s. die eitrte Figur) gehen dieselben nach innen ganz allmählig in dünnwandiges Gewebe über, von welchem der die Gefässbündel begleitende Bast sich deutlich abhebt. Der letztere ist überdiess hier wie dort derbwandiger als die beinahe collenchymatischen Elemente der Rippen. Das Mark ist geschlossen parenchymatisch, die Rinde von ebenso vielen, mit grünen Zellen ausgesteiferten Luftgängen durchzogen, als Rippen vorhanden sind. — Eine andere Eriocaulace, *Tonina fluviatilis* Aubl. (*Eriocaulon amplexicaule* Rottb.) stimmt im Querschnitt ziemlich genau mit *Juncus bufonius* (Taf. VII, 4) überein.

Vierter Typus. Die subepidermalen Bastrippen mit den tiefer liegenden Mestomsträngen nicht direct verbunden, denselben aber häufig in Zahl und Lage entsprechend; nur bei beträchtlicher Uebersahl ohne Beziehung zum Mestom. — Hieher die oberirdischen Stengel folgender Cyperaceen: *Papyrus Antiquorum*; *Cyperus alternifolius*, *aureus* Ten., *egregius* Kth., *flavescens*, *fuscus*, *vegetus* Willd., *Monti* Lin. und zahlreiche andere Arten; *Fimbristylis annua*, *dichotoma*, *spadicea* Vahl, *exilis* R et Sch., *squarrosa* Vahl, *Kraussiana* Hochst.; *Scirpus Michelianus* und *Holoschoenus*. — *Blysmus compressus* vermittelt den Uebergang zum vorhergehenden Typus, dem die stärkeren Stammtheile in jeder Hinsicht angehören, indess bei schwächeren zwischen Mestom und Bastrippen dünnwandige Parenchymzellen eingeschoben sind. Auch bei *Cyperus badius* und *longus* habe ich hin und wieder eine directe Verbindung der Bastrippen mit den zugehörigen Mestomsträngen beobachtet. *Cyperus conglomeratus* Rottb. und *albostrigatus* Schrad. gehören zum siebenten Typus.

Abgebildet: *Scirpus Michelianus*, Taf. I, 7; *Sc. Holoschoenus*, Taf. I, 8; *Cyperus badius*, Taf. I, 9; *C. vegetus*, Taf. I, 10; *Papyrus Antiquorum*, Taf. II, 1 und III, 1; *Cyperus egregius*, Taf. XI, 2; *C. spec.*, Taf. XI, 6; *Fimbristylis spadicea*, Taf. XI, 3; *Hypolytrum argenteum*, Taf. XI, 5.

Die hier zu besprechende Anordnung der mechanisch-wirksamen Elemente bietet trotz der bescheidenen Anzahl typischer Repräsentanten eine so auffallende

¹⁾ Die Resultate der vorstehenden Rechnung würden natürlich für jede andere Lage der neutralen Axe etwas abweichend ausfallen. Unsere Figur veranschaulicht den günstigsten Fall, indem die grossen Bastmassen möglichst weit von der genannten Axe abstehen. Auch darf nicht übersehen werden, dass das Verhältniss der Wandstärke zum Biegemoment im lebenskräftigen Stengel ein wesentlich anderes sein kann, als im isolirt gedachten System der Bastbündel. Je grösser die Festigkeit der übrigen Gewebe, wenn auch nur gegen Druck, desto bedeutender ihr Einfluss.

3. Die mechanischen Systeme zur Herstellung der erforderlichen Biegefestigkeit. 47

Mannigfaltigkeit der Querschnittsformen, dass für die nähere Betrachtung derselben zunächst eine Auswahl der einfacheren Fälle rathsam erscheint. Als solche betrachte ich diejenigen Formen, bei welchen die subepidermalen Bastrippen mit tiefer liegenden Gefässbündeln im nämlichen Radius liegen, wie diess beispielsweise bei *Cyperus flavescens* und *fuscus*, meist auch bei *C. vegetus*, ferner bei *Scirpus Michelianus*, *Fimbristylis exilis* u. a. der Fall ist. Einzelne überzählige Bastbündel können natürlich auch hier vorkommen; noch häufiger sind kleine peripherische Mestomstränge zwischen die den Bastrippen entsprechenden eingesehoben (z. B. in den stärkeren Halmen von *Fimbristylis* und bei *Cyperus Monti*) oder auch einzelne grössere Gefässbündel im Marke zerstreut (*Sc. Michelianus*, *Cyperus badius*, *egregius* u. a.). Ueber alle diese Verhältnisse geben die oben eitrirten Figuren den erforderlichen Aufschluss. Besondere Erwähnung verdient nur noch, dass die Gefässbündel, welche den subepidermalen Rippen radial opponirt stehen, vorzugsweise oder ausschliesslich auf der Innenseite durch Bastmassen verstärkt sind und demnach mit den genannten Rippen radial gestellte I-förmige Träger bilden, an welchen die zwei Bastkörper (Gurtungsbänder) durch Mestom und Parenchym mit einander verbunden sind. So z. B. sehr deutlich bei *Sc. Michelianus*, *Cyperus vegetus*, *longus*, *badius*, *Fimbristylis squarrosa Vahl* etc. Bei schwächerer Construction sind die Gefässbündel nicht selten fast gänzlich ohne Bast; das ganze verfügbare Material ist in diesem Falle, dem mechanischen Principe gemäss, auf die peripherischen Rippen verwendet worden. Noch grösser sind die bereits angedeuteten Abweichungen bei *Blysmus compressus*, dessen kräftigere Stengel sich zunächst an *Scirpus caespitosus* anschliessen, indess die schwächeren mit den kleineren *Fimbristylis*-Arten übereinstimmen.

Für die in Rede stehenden einfacheren Fälle lassen sich demnach die hauptsächlichsten Trägerformen, soweit sie zu diesem Typus gehören, durch die schematischen Darstellungen Fig. 6 A bis D veranschaulichen. Der Bast

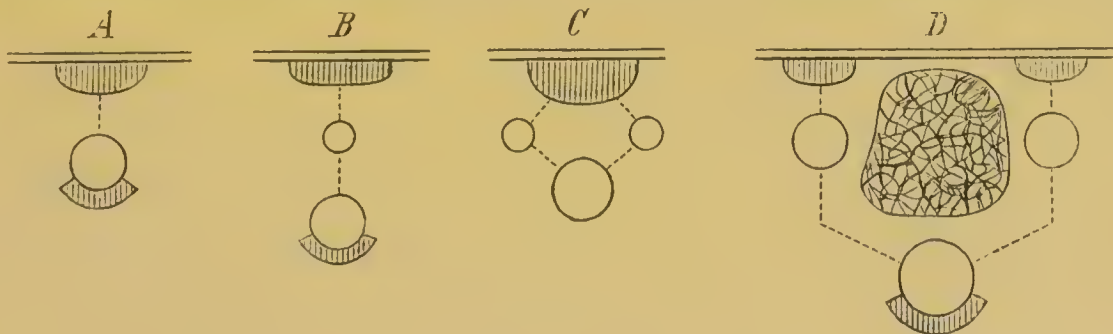


Fig. 6.

ist wie gewöhnlich schraffirt, das Mestom durch einen Kreis bezeichnet. Gerade punctirte Linien bedeuten eine Verbindung mittelst Parenchym. Lockere Gewebe mit grösseren Interstitien, wie z. B. die chlorophyllführenden Zellgruppen zwischen den grossen Gefässbündeln und den zugehörigen Rippen, bei *Fimbristylis spadicea*, können natürlich nicht als solche Verbindungen betrachtet werden.

Nach dem Schema Fig. 6 A sind im Wesentlichen auch die Träger von *Cyperus vegetus* und *C. spec. construit* (Taf. XI, 6). Jedes subepidermale Bastbündel (oder hie und da auch ein Paar solcher Bündel) entspricht wiederum einem grössern Mestomstrang, an den sich auf der Innenseite eine starke Bast-sichel anschliesst. Dazu kommen aber noch — und darin liegt eben die Abweichung — mehrere markständige Gefässbündel mit schwächerem Bastbeleg, von denen schon mit Rücksicht auf ihre Lage kaum anzunehmen ist, dass sie noch zum mechanischen System gehören; der Bast dient hier offenbar einem andern, mehr localen Zweck, von dem weiter unten in einem besondern Capitel die Rede sein wird. Bei *Cyperus spec.* (Taf. XI, 6) ist überdiess die Form der Bastrippen beachtenswerth. Dieselben sind nämlich auf der Innenseite concav, und die Krümmung ist ungefähr so beschaffen, als ob eine directe Verbindung mit den tiefer liegenden Gefässbündeln stattfände. Auch hierin erblicke ich eine Anpassung besonderer Art, welche zur Festigkeit der Rippen in keiner Beziehung steht, dagegen dem anliegenden Parenchym zu Gute kommen mag.

Schon beträchtlich complicirter ist die Querschnittsform von *Cyperus alternifolius* Lin. Die Bastrippen sind hier viel stärker und in ungefähr doppelt so grosser Anzahl vorhanden als die peripherischen Mestomstränge, denen sie übrigens hinsichtlich der Lage noch grossentheils entsprechen. An diese Mestomstränge lehnen sich auf der Innenseite, aber stets nur auf dieser, starke Halbmonde von Bast, welche mechanisch als innere Trägerhälften oder Gurtungsbänder zu betrachten sind. Gewöhnlich sind jedoch diese einfachen I-förmigen Träger noch mit tiefer liegenden Gefässbündeln dergestalt combinirt, dass dadurch mehrgliedrige Trägergruppen entstehen, wie sie z. B. in Fig. 1 auf Taf. II für *Papyrus Antiquorum* dargestellt sind. Weiter nach innen wird die Bastbekleidung der Gefässbündel sehr schwach; sie gehört hier offenbar nicht mehr zu den eigentlichen Constructionstheilen des Systems.

Die höchste Stufe der Gliederung endlich nimmt unter den Cyperaceen *Papyrus Antiquorum* ein, indem die peripherischen Gefässbündel hier in mehrfacher Abstufung, gleichsam als mechanische Phalanx, den subepidermalen Bastrippen gegenüber stehen. Den letzteren am meisten genähert sind kleine Mestombündel, welche nur als Verbindungsglieder eine Rolle spielen: dann folgen etwas grössere, alteruirend in zwei bis drei Reihen geordnete Gefässbündel, deren Innenseite mit einer starken Bastsichel ausgestattet ist, weiter nach innen in verschiedenen Abständen endlich solche, welche auf der äussern wie innern Seite durch eine kleine Bastbekleidung verstärkt sind (Taf. II, Fig. 1 und Taf. III, Fig. 1). Diese doppelten Bastbekleidungen erreichen indess nie die Stärke der vorhin genannten innenseitigen Bastsicheln und sind an den zahlreichen tiefer liegenden Bündeln nicht selten auf eine einfache Reihe von Bastzellen reducirt, deren Vorhandensein für die Festigkeit des Organs nicht in Betracht kommen kann.

3. Die mechanischen Systeme zur Herstellung der erforderlichen Biegmgsfestigkeit. 49

Eine interessante Eigenthümlichkeit, die ich hier anhangsweise noch erwähnen will, zeigte mir *Cyperus Monti*. Die peripherischen Träger dieser Art bestehen aus starken subepidermalen Rippen und aus je zwei im gleichen Radius befindlichen Bastbündeln, von denen das innere stets, das äussere bisweilen mit Mestom combinirt ist. Die radiale Verbindung zwischen diesen drei Bestandtheilen eines Trägers wird durch eine schmale Parenchymwand vermittelt, welche beiderseits an einen grossen, mit sternförmigen Zellen ausgefüllten Luftkanal grenzt. Behufs-tangentialer Versteifung der innern Trägerhälften sind dieselben in das peripherische Markgewebe eingesenkt. Dieser eigenthümliche Bau, der uns hier zum ersten Mal entgegentritt, steht offenbar mit der maschigen Structur des Organs in engem Zusammenhang. Wir werden ähnlichen Verhältnissen bei wasserliebenden Gewächsen in der Folge noch öfter begegnen, so z. B. in den Blättern von *Typha latifolia* und in den Blattscheiden von *Scirpus lacustris* und dessen Verwandten.

An *Cyperus* reiht sich schliesslich noch *Scirpus Holoschoenus* an, dessen Querschnitt auf Taf. I, Fig. 8 dargestellt ist. Das mechanische Princip ist hier rein zum Ausdruck gekommen: markständige Bastbündel fehlen. Die Anordnung der Systemtheile, obschon keineswegs ganz regelmässig, ist immerhin äusserst zierlich und dabei leicht zu überblicken; sie stimmt in den Hauptpunkten mit derjenigen bei *Cyperus alternifolius* überein. Hier wie dort springen die Bastrippen ungewöhnlich weit nach innen vor; die meisten derselben, zumal jene, welche den Mestomsträngen ungefähr entsprechen, reichen gewöhnlich bis zu der chlorophyllfreien Parenchymschicht, welche die Gefässbündel scheidenartig umschliesst. Eine Verschmelzung der Rippen mit der Mestomscheide findet indessen nie statt. Auch die Bastsicheln gewähren so ziemlich das nämliche Bild: sie kommen bei den kleineren peripherischen Bündeln nur auf der Innenseite, bei den tieferliegenden grösseren — freilich in viel schwächerer Ausbildung — auch auf der äusseren oder Cambiformseite vor. Ob diese kleinen Bastsicheln hier wirklich motivirt sind, oder ob sie vielleicht vorzugsweise einem andern, mehr localen Zwecke dienen (Verstärkung der Mestomscheide zum Schutze des Cambiforms n. dgl.), darüber sollen weiterhin einige allgemeinere Erwägungen mitgetheilt werden.

Das Grundgewebe der im Vorhergehenden erwähnten Cyperaceen ist stets dünnwandig-parenchymatisch, dabei in der Regel, aber keineswegs ausnahmslos, von luftführenden Kanälen durchzogen. In der Vertheilung dieser Kanäle auf den ganzen Querschnitt herrscht indess dieselbe Mannigfaltigkeit, die wir so eben auch in anderer Beziehung kennen gelernt haben. Bei *Cyperus vegetus* liegt zwischen je zwei peripherischen Trägern ein grosser Luftgang, während das Mark keine Luftlücken zeigt, und ähnlich verhält sich auch *Fimbristylis squarrosa*, *Kraussiana* u. a. *Blymus* dagegen hat ein von Luftkanälen durchzogenes Mark, das in älteren Stadien auch wohl vielfach zerrissen ist; immer aber zieht sich auf der Innenseite der peripherischen Gänge zur Herstellung einer tangentialen Verbindung ein relativ starkes parenchymatisches Band von

Träger zu Träger. Umgekehrt ist bei *Papyrus Antiquorum* das Gewebe zwischen den äusseren Bündeln durchgehends dicht, das Mark dagegen von zahlreichen Luftkanälen durehsetzt, welche durch eine einzige Zellschicht von einander geschieden sind — ein Verhalten, das man bekamtlich bei Wasserpflanzen häufig beobachtet. Ebenso zeigt auch bei *Scirpus Holoschoenus* ein äusserer ringförmiger Theil des Gewebes keine Luftflücken; das Mark aber ist hohl und mit lockerem Filzgewebe ausgefüllt. Bei *Cyperus sphaerospermus Schrad.* ist das Mark ebenfalls hohl und die Rinde überdiess mit kleinen Luftkanälen ausgestattet, u. s. w.

Was nun noch den äusseren Umriss der hieher gehörigen Querschnittsformen betrifft, so zeigt derselbe mannigfache Uebergänge von der Kreisform zu einem mehr oder minder scharfwinkligen Dreieck. Je deutlicher aber diese letztere Form hervortritt, desto entschiedener verlangt das mechanische Princip, wie leicht einzusehen, eine Verstärkung der Ecken. Solche Verstärkungen kommen nun in der That vor, und zwar oft in sehr augenfälliger Weise. Als ein prägnantes Beispiel dieser Art verdient namentlich *Cyperus badius* erwähnt zu werden, von dem ein Querschnitt durch die Kante in Fig. 9 auf Taf. I dargestellt ist. Man ersieht aus dieser Figur ohne Weiteres, dass die starken Bastverbindungen zwischen den peripherischen Trägern einen bedeutenden Materialaufwand beanspruchen.

Die genaue mechanische Werthung all' dieser verschiedengestaltigen Gruppierungen würde natürlich ebensoviele besondere Berechnungen voraussetzen, als Verschiedenheiten in den maassgebenden Form- und Distanzverhältnissen der einzelnen Systemtheile vorkommen. Auf eine so umständliche Prüfung glaube ich indess füglich verzichten zu dürfen. Statt dessen mag der vorhin erwähnte ausgezeichnete Repräsentant dieses Typus, *Scirpus Holoschoenus*, der sich schon durch seine cylindrische Form besonders empfiehlt, für die approximative Schätzung des Systems als Beispiel dienen. Wir setzen den Durchmesser des ganzen Querschnittes wieder = 1000 Centimeter und legen sodann der Berechnung folgende weitere Annahmen zu Grunde.

1) Die Epidermis wird als eine mit Bast gleichwerthige Haut von 1 Ctm. Dicke in Rechnung gebracht.

2) Die Zahl der Bastrippen sei 96, ihre Höhe 40, die mittlere Breite 12 Ctm., folglich der Querschnitt 480 oder zusammen 46080 □Ctm.; endlich der Abstand der Schwerpunkte vom Centrum = 480 Ctm.

3) Die Gefässbündel, resp. deren Bastsiehel, sind in drei Kreise geordnet. Auf je 4 Bastrippen kommt ein Bündel der äussersten Reihe mit einem Querschnitt von 250 □Ctm., zusammen 24.250 = 6000 □Ctm.; Abstand vom Centrum = 430 Ctm. Auf je zwei dieser Bündel kommt ein damit alternirendes der mittleren Reihe, macht im Ganzen 12 Bündel mit je 500 □Ctm. oder zusammen 6000 □Ctm.; Abstand vom Centrum = 400 Ctm. Endlich ebensoviele Bündel der innersten Reihe mit je 750 □Ctm. Querschnittsfläche, zusammen 9000 □Ctm.; Abstand vom Centrum 360 Ctm.

3. Die mechanischen Systeme zur Herstellung der erforderlichen Biegefestigkeit. 51

Unter diesen Voraussetzungen, welche annähernd der Wirklichkeit entsprechen, ergibt die Rechnung einen Gesamtquerschnitt von 70220 □Ctm. und als Maass des Biegemomentes 7318 Millionen, folglich auf 12000 □Ctm. 1250 Millionen. Die Wanddicke der Construction beträgt ungefähr $\frac{1}{7}$ des Durchmessers, also etwas weniger als bei *Scirpus caespitosus*; dafür ist dieselbe auf der Innenseite durch einen wenigstens ebenso dicken Beleg von Markparenchym hinlänglich angesteift. Das Alles beweist uns, dass *Scirpus Holoschoenus* unstreitig eines der stärksten und zugleich bestonstruirten mechanischen Systeme besitzt.

Fünfter Typus. Die subepidermalen Bastrippen nicht direct an die Mestomstränge angelehnt, meist sehr massiv aber wenig zahlreich, stets mit den inneren und grössten Gefässbündeln im gleichen Radius liegend und zu Trägern verbunden; zu beiden Seiten dieser Hauptträger die kleineren Gefässbündel in symmetrischer Anordnung. — Hieher die Stengel von *Juncus glaucus*, *Schoenus nigricans* und *ferrugineus*.

Abgebildet: *Juncus glaucus*, Taf. II, 2 und Taf. III, 3; *Schoenus nigricans*, Taf. II, 4.

Zwischen diesem und dem vorhergehenden Typus kommen Uebergänge vor, die jedoch schon desshalb kein besonderes Interesse gewähren, weil selbst die oben aufgezählten typischen Repräsentanten den im Vorhergehenden besprochenen Cyperaceen ausserordentlich nahe stehen. Die Hervorhebung der wenigen abweichenden Eigenthümlichkeiten wird daher zur Characteristik dieses Typus vollständig genügen.

In erster Linie fällt wohl jedem Beobachter der relativ grosse Abstand zwischen den subepidermalen Bastrippen in die Augen, deren Gesamtzahl in der Regel, je nach der Stärke des Stammes, nur 12 bis 18 beträgt und bei den einheimischen Formen wohl nie über 20 steigt. Dafür sind diese Rippen beträchtlich stärker construiert als bei *Cyperus* oder auch bei *Scirpus Holoschoenus* und überdiess durch eine beinahe glockenförmige Querschnittsform ausgezeichnet. Ein weiteres Unterscheidungsmerkmal liegt darin, dass die grossen radialen Träger durch Combination der Bastrippen mit den Gefässbündeln der inneren Reihen zu Stande kommen, indess die kleineren, mehr peripherischen Bündel, die übrigens auf eine einfache Reihe beschränkt sein können, als unter sich und mit den Hauptträgern verbundene Zwischenglieder zu betrachten sind. In complicirteren Fällen, wie sie namentlich bei *Juncus glaucus* vorkommen, gruppiren sich die Gefässbündel in eine förmliche Phalanx von 4 bis 6 Glic-

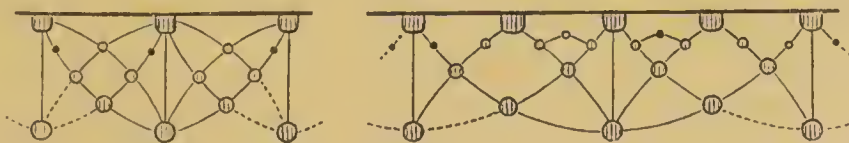


Fig. 7.

dern, welche ungefähr nach den Schemata Fig. 7 aufgestellt sind. Die grösste Complication fand ich bei einem Riesenexemplare, welches von Herrn

Dr. W. Schimper »ad scaturigines regionis Raphidim« gesammelt worden war. Dasselbe hatte bis zum Gipfel der Inflorescenz genau 2 Meter Höhe und zunächst der Basis 5 Millimeter Durchmesser. Ein Stück eines Querschnittes ist auf Taf. III, Fig. 3 dargestellt. Die peripherischen Rippen sind hier ausnahmsweise viel kleiner als gewöhnlich, dafür aber in grösserer Zahl vorhanden. — In dritter Linie stimmt auch der Bau der einzelnen Bündel nicht ganz mit demjenigen überein, der bei den Cyperaceen des vierten Typus der gewöhnliche ist. Die Bastsieheln sind zwar auch hier vorwiegend (und bei schwächeren Stengeltheilen zuweilen ausschliesslich) auf die innere Seite der Mestomstränge verlegt; allein es kommt doch im Ganzen, zumal bei den kleineren Bündeln, selten vor, dass die Aussenseite einer Bastbekleidung vollständig entbehrt. Ja bei diesen kleineren, mehr peripherischen Bündeln halten sich die beiden Bastbekleidungen hin und wieder so ziemlich die Waage, während die den Rippen opponirten grösseren Gefässbündel auf der Cambiformseite ausnahmslos eine schwächere oder auch gar keine Bastbekleidung aufweisen. Unter den allerkleinsten Bündeln der äussersten Reihe gibt es sogar einzelne, welche nur auf der Aussenseite Bast besitzen, und in seltenen Fällen kommen auch vollständig isolirte, von grünen Rindenzellen rings umschlossene Bastbündel in dieser nämlichen Region vor.

Wie alle diese Vorkommnisse mechanisch zu erklären seien, ist mir in den Einzelheiten nicht ganz klar. Im Allgemeinen aber scheint mir die richtige Deutung der Sache in folgender Betrachtung zu liegen. Der grosse Abstand zwischen den subepidermalen Rippen, der für *Juncus glaucus* im Gegensatz zu *Cyperus* und dessen Verwandten charakteristisch ist, bedingt auch einen entsprechenden Bau des zwischenliegenden Wandstücks. Wenn dieses Wandstück, für sich allein betrachtet, eine möglichst grosse Festigkeit erhalten und dadurch den hohlen Stengel vor dem Einknicken bewahren soll, so müssen seine widerstandsfähigen Elemente nothwendig so gruppirt sein, dass die innere Hälfte ungefähr so stark ist als die äussere und mit dieser eine Trägergruppe bildet, deren neutrale Queraxe nahezu in die Mitte der Wand fällt. Mit andern Worten: die Bastsieheln der inneren Gefässbündel finden in diesem Wandstück ihre Opponenten nicht in den subepidermalen Rippen, wie bei *Cyperus*, sondern in den aussenseitigen Bastbündeln der peripherischen Mestomstränge. Die subepidermalen Bastrippen sind gleichsam, soweit sie nicht zu Hauptrippen verschmolzen erscheinen, weiter nach innen gerückt und haben sich mit den benachbarten Gefässbündeln vereinigt.

Besondere Erwähnung verdient ferner die Mestomseide, die in den meisten Fällen mit seltener Deutlichkeit hervortritt. Der äussere oder Cambiformbogen besteht nämlich aus stark verdickten, schon in Wasser gelblichen (in Kali goldgelben oder dunkel-orangefarbigem) Zellen, welche sich beiderseits an das hier ziemlich feste Holzparenchym anschliessen; der grössere innere Bogen dagegen, der die sämmtlichen Gefässe unspannt, ist aus dünnwandigen oder nur wenig verdickten Zellen zusammengesetzt.

3. Die mechanischen Systeme zur Herstellung der erforderlichen Biegefestigkeit. 53

Endlich hat auch noch das Grundgewebe seine Eigenthümlichkeiten. Dasselbe besteht wie gewöhnlich aus einer peripherischen grünen und einer inneren farblosen Zone. Die Gefässbündel sind fast ausschliesslich in diese letztere eingebettet; in der grünen Rinde liegen meist nur die subepidermalen Rippen. Es ist ferner beachtenswerth, dass die Luftkanäle, welche bei *Juncus glaucus* das Grundgewebe durchziehen, sich im Radius der grossen Träger befinden, statt wie bisher zwischen dieselben eingeschoben zu sein; jede Bastrippe entspricht einem mit lockerem Filzgewebe ausgefüllten Luftkanal.

Der innere Umriss des Grundgewebes ist im Allgemeinen durch die Lage der Gefässbündel bestimmt, d. h. die Höhlung des Markes reicht nahezu bis an die inneren Reihen der Gefässbündel. Immerhin ist dieses ringförmige Grundgewebe stark genug, um zwischen den Trägergruppen einen genügenden tangentialen Verband herzustellen. Das lockere Gewebe, welches den grossen centralen Hohlraum ausfüllt, besteht aus zierlich verbundenen sternförmigen Zellen.

Bezüglich der Festigkeit dieser Construction mögen die folgenden approximativen Ziffern, die sich zunächst auf die stärkeren Stengeltheile von *J. glaucus* beziehen, zur Vergleichung dienen. Die Gefässbündel seien nach dem Schema Fig. 7 geordnet. Man hat alsdann für die Querschnitte der Bastbekleidungen:

- 1) Im innersten Kreis 8 Bündel mit je 780 \square Ctm., zusammen = 6240 \square Ctm.; Abstand der Schwerpunkte vom Centrum = 320 Ctm.
- 2) Im folgenden Kreis 8 Bündel mit je 700 \square Ctm., zusammen = 5600 \square Ctm.; Abstand vom Centrum = 330 Ctm.
- 3) Im dritten Kreis 16 Bündel mit je 640 \square Ctm., zusammen = 10240 \square Ctm.; Abstand vom Centrum = 400 Ctm.
- 4) Im vierten Kreis 32 Bündel mit je 400 \square Ctm., zusammen = 12800 \square Ctm.; Abstand vom Centrum = 420 Ctm.
- 5) Sechzehn Bastrippen, jede 50 Ctm. hoch und im Mittel 30 Ctm. breit, folglich mit einer Querschnittsfläche von $16 \cdot 1500 = 24000 \square$ Ctm.; Abstand vom Centrum = 480 Ctm.
- 6) Endlich die Epidermis, 1 Ctm. dick; Querschnitt = 3140 \square Ctm.; Abstand vom Centrum = 500 Ctm.

Diess vorausgesetzt ergibt die Rechnung einen Gesamtquerschnitt von 62020 \square Ctm. und als Maass des Biegemomentes 5729 Millionen, folglich auf 12000 \square Ctm. Querschnitt 1108 Millionen. Da die Wanddicke in der Regel zwischen $\frac{1}{5}$ und $\frac{1}{6}$ des Durchmessers variirt, so ist die Gefahr des zu frühen Einknickens von vorn herein als beseitigt zu betrachten.

Sechster Typus. Die subepidermalen Bastrippen den peripherischen Mestomsträngen in Zahl und Lage entsprechend und bei mässigem Abstände häufig mit denselben verwachsen. Gefässbündel in Abstufungen, wie bei vorhergehendem Typus. — Hieher die Stengel folgender Binsen: *Juncus conglo-*

meratus und *effusus*; als Uebergangsform zum vierten Typus auch *Schoenus mucronatus*.

Abgebildet: *Juncus conglomeratus*, Taf. II, Fig. 3; *Schoenus mucronatus*, Taf. II, Fig. 5.

Die genannten Gewächse schliessen sich zunächst an die stielrunden Formen des vierten Typus, weniger eng an *Juncus glaucus* an. Mit jenen haben sie die grosse Zahl der subepidermalen Bastrippen, mit diesem die anatomischen Eigenthümlichkeiten der Gefässbündel und des Grundgewebes, die sternförmigen Zellen des Markes und stellenweise auch die Lage der Luftkanäle gemein. In der Anordnung der Gefässbündel stimmen ohnehin die in Rede stehenden Typen im Wesentlichen überein. Das Unterscheidende dieser Gruppe liegt demzufolge hauptsächlich darin, dass viele der zahlreichen Bastrippen (es sind deren oft über 50) mit den benachbarten Mestomsträngen verwachsen sind (Fig. 3 auf Taf. II). Dieses eine Merkmal, das auf den ersten Blick von geringem Belang zu sein scheint, zeigt indessen eine so merkwürdige Constanz, dass ich die Aufstellung einer darauf basirten kleinen Gruppe nicht wohl umgehen konnte. Ich habe z. B. nie Uebergänge zu *Juncus glaucus* gefunden, obschon diese Species den hierher gehörigen Arten systematisch nahe steht. Selbst die hybride Form *J. diffusus* Hoppe = *J. effuso-glaucus* Schinzl. & Frickh. von welcher ich zwei Exemplare untersuchte, zeigte in einem Falle genau das Verhalten von *J. glaucus*, im andern dasjenige von *J. effusus* oder *conglomeratus*. Nichtsdestoweniger liegt natürlich die Vermuthung nahe, dass unter einer grösseren Anzahl Bastarde auch Zwischenformen vorkommen werden.

Bei dem als Uebergangsform bezeichneten *Schoenus mucronatus* sind nur etwa 5 bis 7 grössere Bastrippen mit Mestomsträngen verwachsen: die übrigen sind frei. Auch ist das Mark nicht hohl, sondern geschlossen-parenchymatisch.

In mechanischer Hinsicht sind die zwei typischen Repräsentanten dieser Gruppe beträchtlich leichter, aber im Uebrigen ähnlich construirt, wie *J. glaucus*. Der Gesamtquerschnitt der Bastmassen mag bei einem Durchmesser von 1000 Ctm. etwa 40,000 □Ctm. betragen, welche wegen der grossen Abstände vom Centrum zwar ein verhältnissmässig hohes Biegemoment, aber eine geringe Wandstärke ergeben. In der That knicken die Halme von *J. conglomeratus* schon bei schwacher Biegung leicht ein, schnellen aber nachher wieder elastisch empor.

Siebenter Typus. Die Mehrzahl der subepidermalen Bastrippen mit den peripherischen Mestomsträngen verwachsen. Vom vorhergehenden Typus durch die unregelmässige Anordnung der tiefer liegenden Gefässbündel verschieden. Halm dreikantig. — Hieher die Cyperaceen: *Carex maxima*, *lupulina* Mhlbg., *japonica* Thbg. u. a. von starkem Wuchs, *Eriophorum latifolium* und *vaginatatum*, *Scirpus maritimus*, *sylvaticus* und *atrovirens* Willd.; ferner *Cyperus conglomeratus* Rottb. und *albostriatus* Schrad.

Abgebildet: *Scirpus atrovirens*, Taf. II, 6; *Sc. sylvaticus*, Taf. IV, 1; *Eriophorum latifolium*, Taf. III, 2; *Cyperus conglomeratus*, Taf. XI, 4.

3. Die mechanischen Systeme zur Herstellung der erforderlichen Biegefestigkeit. 55

Die Querschnittsformen dieses Typus haben unverkennbar, trotz der nahen Verwandtschaft mit dem vorhergehenden, etwas Eigenartiges, was sie vor andern Halbgräsern und binsenartigen Gewächsen auszeichnet. Wir sehen hier das vorhandene Bastmaterial vorzugsweise, znmal in den stärkeren Stengeltheilen, auf die peripherischen Rippen verwendet, welche in manchen Fällen mindestens drei Viertel des ganzen Querschnittes in Anspruch nehmen. Schon die Bastsicheln der zugehörigen Mestomstränge erscheinen im Verhältniss zu den Rippen klein; noch schwächer sind die Bastbekleidungen der tiefer liegenden Bündel, dabei aber nicht selten auf der Innen- und Aussenseite ungefähr gleich stark oder auch zu einer ringsum geschlossenen Hülle verbunden. Die Gruppierung dieser inneren Gefässbündel ist fast immer eine unregelmässige. Im einfachsten Falle alterniren dieselben in nicht ganz gleichen Abständen mit den peripherischen Trägern; in andern Fällen bilden sie eine unregelmässige Doppelreihe oder liegen beliebig im peripherischen Theil des Markes zerstreut. Hin und wieder mögen sie auch etwas weiter nach innen vordringen, als es das mechanische Princip der Biegefestigkeit verlangen würde; doch sind solche Vorkommnisse im Ganzen genommen nicht häufig. Bei *Scirpus sylvaticus* beträgt z. B. die Wanddicke von der Epidermis bis zur innersten Gefässbündelreihe nur etwa $\frac{1}{6}$ des Durchmessers, den letzteren von einer Seite des Dreiecks bis zur gegenüber liegenden Ecke gemessen. Ähnlich bei *Eriophorum* und bei *Scirpus atrovirens*. Der aussergewöhnlich stark construirte *Cyperus conglomeratus* dagegen besitzt eine Wandstärke von ca. $\frac{1}{4}$ des Durchmessers.

Da der untere Theil des Stengels oder wenigstens der Internodien von starken Scheiden umhüllt ist, so zeigt das mechanische System in diesem Theil des Halmes im Allgemeinen eine schwächere Ausbildung, indem z. B. die peripherischen Rippen nicht selten in kleinere Bastpartieen zerrissen erscheinen, von denen die einen sich an das Mestom, die andern an die Epidermis anlehnen. Durch Verschmelzung der letzteren in tangentialer Richtung entstehen zuweilen breite Lamellen (sog. Hautgewebe), deren Elemente indess ächte Bastzellen sind.

Das Grundgewebe ist in den meisten mir bekannten Fällen zwischen den peripherischen Trägern durch grössere oder kleinere Luftkanäle unterbrochen, welche wie gewöhnlich ein zartes Fasergebälke enthalten: nur bei den genannten *Cyperus*-Arten fehlen dieselben. Auch der centrale, gefässbündelfreie Theil des Stengels ist gewöhnlich mehr oder weniger gelockert oder in ein Maschengewebe (wie bei *Papyrus*) verwandelt; aber nur selten kommt eine grössere centrale Höhlung zu Stande.

Unter den schwächeren Stammorganen der hierher gehörigen Gewächse gibt es mauehe, welche als Uebergangsformen zum dritten Typus zu betrachten sind oder auch geradezu diesem Typus angehören. So z. B. *Eriophorum Scheuchzeri*, dessen obere Stengeltheile an *Scirpus caespitosus* und *Eriophorum alpinum* erinnern, indess die unteren sich an die grösseren mehrjährigen Wollgräser

anschliessen. Aehnlich bei *Carex*, wo die Stengel und deren Verzweigungen zwischen den nämlichen zwei Typen zu schwanken pflegen.

Bezüglich der Widerstandsfähigkeit dieses Typus bemerke ich nur, dass die dreieckige Form des Querschnittes bei gleichmässiger Vertheilung des Materials, sei es nun auf den Umfang oder über die ganze Fläche, mechanisch ungünstig ist. Sowohl die Annäherung an die Kreisform als die Verstärkung der Constructionstheile in den Ecken muss demnach als eine Anpassung zu Gunsten des mechanischen Principes gedeutet werden.

Achter Typus. Zahlreiche subepidermale Rippen ohne directe Verbindung mit den benachbarten Mestomsträngen, aber mit letzteren zu einem peripherischen Trägersystem combinirt. Das Grundgewebe ein Maschenwerk mit eigenthümlicher, mechanisch zweckmässiger Anordnung der Scheidewände. — Hieher *Scirpus lacustris*, *Tabernaemontani*, *Duvallii*, *triqueter* und *mucronatus*.

Abgebildet: *Scirpus lacustris*, Taf. IV, 2, 4, 5; *Sc. Duvallii*, Taf. IV, 3.

Die reihenförmige Anordnung der Typen bringt es mit sich, dass die Verwandtschaftsbeziehungen derselben nicht immer den richtigen Ausdruck finden. Diess gilt namentlich auch von den oben genannten *Scirpus*-Arten. Dieselben schliessen sich gewissermaassen zunächst an *Papyrus* an, dessen Trägersystem in allen wesentlichen Punkten, wie eine Vergleichung der Querschnitte (Taf. IV, Fig. 2, 3, 5 mit Taf. II, Fig. 1) sofort ergibt, übereinstimmend construirt ist. In beiden Fällen zahlreiche subepidermale Rippen, combinirt mit Mestomsträngen, von denen die nächstliegenden nur auf der Innenseite mit Bastsicheln bekleidet sind, während die weiter abstehenden beiderseits kleine Bastbelege aufweisen; dazu ein Grundgewebe, dessen peripherischer Theil aus einem geschlossenen Parenchym besteht, das nur zunächst der Epidermis chlorophyllhaltig, in der Umgebung der Gefässbündel aber farblos ist.

Diesen übereinstimmenden Merkmalen steht aber eine durchaus verschiedene Architectonik des Markgewebes und die damit zusammenhängende Gruppierung der marktändigen Gefässbündel gegenüber. Das ganze Innere des Halmes ist nämlich von sehr schwammiger Beschaffenheit; es zeigt uns grosse luftführende Kammern, welche durch relativ dünne, meist aus drei Zellschichten bestehende Scheidewände von einander geschieden sind. In den oberen Regionen des Stammes bilden diese Wände ein einfaches, auffallend regelmässiges Balkenwerk (Fig. 4, 5 auf Taf. IV), das unwillkürlich an gewisse Holzconstruktionen (Lehrgerüste u. dgl.) erinnert. Weiter nach unten wird dieses Balkenwerk entsprechend complicirter: die Grundfigur bleibt zwar dieselbe, es kommen aber mehr und mehr neue Streben hinzu, die sich in verschiedener Weise an die schon vorhandenen ansetzen. Eine Vergleichung der Figuren 4 und 5, von denen die letztere einen Quadranten vorstellt, zeigt am besten, wie auf diesem Wege ein immer höherer Grad der Gliederung bei augenfälliger Regelmässigkeit der Construction zu Stande kommt. Erst ganz unten im Stamm, wo die Zahl der Kammern eine sehr grosse ist, geht diese Regel-

3. Die mechanischen Systeme zur Herstellung der erforderlichen Biegefestigkeit. 57

mässigkeit theilweise verloren; einzelne Theile der Grundfigur treten aber auch dann noch deutlich hervor.

Den Knotenpunkten dieses Fachwerkes, wenigstens denjenigen der Grundfigur, entspricht nun je ein grösseres Gefässbündel; einzelne kleinere Bündel (bei *S. Duvalii* ausnahmsweise auch isolirte Stränge von Bast) kommen auch ausserhalb der Knoten in den secundären Streben vor. Die Bastbekleidungen dieser Bündel, zumal der inneren, haben stets nur eine geringe Mächtigkeit, sind aber in der Regel auf der Aussen- und Innenseite vorhanden; bei schwächeren Stengeln sind es oft nur wenige Zellen, die auch vollständig fehlen können.

Diese Angaben beziehen sich zunächst auf *S. lacustris* und *Tabernaemontani*, sowie auf die vorherrschenden Formen von *S. Duvalii*. Die Festigkeit des Stammes variirt übrigens bei allen diesen Arten bedeutend. Sowohl die Wanddicke, als die Anzahl und Stärke der Bastbündel erscheint je nach dem Standorte mehr oder weniger verändert. Am stärksten war unter den Formen, die mir zu Gesichte kamen, ein Herbarienexemplar von *S. Duvalii* construirt, das nach der Etiquette »an einem ganz abgelegenen, unter dichtem Gebüsch verborgenen Waldgraben bei Zienken (Baden)« gesammelt worden war und von dem ein Stück eines Querschnittes in Fig. 3 auf Taf. IV dargestellt ist. — Die beiden letztgenannten Repräsentanten des Typus, *S. triqueter* und *mucronatus*, weichen schon durch die scharfdreikantige Form des Stengels und ausserdem durch einige Eigenthümlichkeiten des Baues von den vorhergehenden ab; sie besitzen jedoch ein ähnlich zusammengesetztes Markgebälke und können daher ungezwungen hier untergebracht werden.

Zur Beurtheilung der Biegefestigkeit mögen nachstehend noch einige Ziffern folgen, welche auf Messungen und approximativen Schätzungen an einem 10 Millimeter dicken Halm von *S. lacustris* beruhen. Man hat auf 1000 Ctm. Durchmesser:

- 1) Die Epidermis, deren Dicke ich hier bloss zu 0,5 Ctm. veranschlage; Querschnitt 1570 □Ctm. Maass des Biegemomentes 196 Millionen.
- 2) Dreihundert Bastrippen zu 8 □Ctm., zusammen 2400 □Ctm.; Maass des Biegemomentes 300 Millionen.
- 3) Eine Zickzacklinie von Gefässbündeln, deren Bastbekleidungen zusammen etwa 3500 □Ctm. Querschnitt besitzen und im Durchschnitt 20 Ctm. von der Oberfläche, folglich 480 Ctm. vom Centrum abstehen. Maass des Biegemomentes 403 Millionen.
- 4) Zwanzig Gefässbündel mit doppelter Bastbekleidung in den peripherischen Knotenpunkten des Markgebälkes; Querschnitt = 2000 □Ctm.. Abstand vom Centrum = 450 Ctm. Maass des Biegemomentes 203 Millionen.
- 5) Zehn etwas tiefer liegende Gefässbündel mit einem Gesamtquerschnitt von 500 □Ctm.; Abstand vom Centrum = 425 Ctm. Maass des Biegemomentes 45 Millionen.

Die Addition ergibt einen Querschnitt von 9970 \square Ctm. und als Maass des Biegemomentes 1147 Millionen: folglich auf 12000 \square Ctm. 1380 Millionen. Dieser hohen Ziffer entspricht jedoch eine auffallend geringe Wanddicke des Systems, in Folge welcher die Halme trotz der mancherlei Aussteifungsvorrichtungen dem Einknicken unterworfen sind. Diese Gefahr kann indessen durch einen hinreichend hohen Wasserstand beseitigt werden; die Halme bieten alsdann dem Winde einen kürzern Hebelarm und neigen sich überdiess in ziemlich starken Winkeln von demselben ab.

Nennter Typus. Die subepidermalen Bastrippen mit einem einfachen Kreis von 3 bis 6 Gefässbündeln combinirt; zwischen diesen Bündeln gewöhnlich grosse Luftkanäle. Das Mark geschlossen-parenchymatisch. — Hieber die sämtlichen kleinen *Isolepis*-Formen: *I. pauciflora*, *Saviana* R. S., *Bergiana* Nees, *prolifera* R. Br., *setacea* und *supina*, sowie die Blütenstiele von *I. fluitans*. Die fluthenden Halme der letztgenannten Art gehören dagegen, weil sie keine Biegungsfestigkeit bedürfen, nicht hieber, sondern verhalten sich wie Rhizome.

Der vorstehenden Charakteristik dieser kleinen Binsengewächse habe ich nur wenige Worte beizufügen. Die Gefässbündel, deren Zahl für die untersuchten Fälle oben angegeben wurde, haben durchgehends schwache oder auch gar keine Bastbekleidungen, dabei aber doch immer starke Mestomscheiden und widerstandsfähige Holzzellen. Der Bast ist demnach in manchen Fällen auf die Rippen beschränkt, ganz wie bei *Arum maculatum*; da jedoch bei der nämlichen Species Uebergänge vorkommen und alles Uebrige sonst gleich bleibt, so hätte eine Trennung auf Grund der fehlenden oder vorhandenen Bastbelege keinen Sinn. — Die Querschnittsform ist in Fig. 7 auf Taf. IV veranschaulicht. Verschiedene stärkere Repräsentanten der Gattung *Isolepis* gehören zum vierten Typus.

Zehnter Typus. Die subepidermalen Rippen frei oder zum Theil mit den Mestomsträngen verwachsen; eine Ringlage der letzteren durch Bastverbindungen in tangentialer Richtung verschmolzen. — Hierher die Halme von *Juncus paniculatus* (Taf. V, Fig. 2) und *J. acutus*, sowie von *Cladium Mariscus* (Taf. IV, 8 und V, 1).

Das wesentlichste Merkmal dieser Gruppe scheint mir darin zu liegen, dass ein Theil der Gefässbündel durch tangentiale Bastverbindungen zu einem continuirlichen oder auch öfter unterbrochenen Ring verschmolzen erscheint und dass gleichzeitig subepidermale Bastrippen vorhanden sind. In diesem Punkte stimmt *Cladium* mit den genannten *Juncus*-Arten überein, während in manchen andern allerdings erhebliche Unterschiede hervortreten. Der Gefässbündelring ist z. B. bei *Cladium* in der Regel nicht unterbrochen; es ist ein förmlicher Bastring, der überdiess mit den grösseren subepidermalen Rippen in ähnlicher Weise in Verbindung steht, wie man es gewöhnlich bei den Gramineen beobachtet. *Juncus* dagegen gewährt weniger den Eindruck eines Bastringes als den-

3. Die mechanischen Systeme zur Herstellung der erforderlichen Biegefestigkeit. 59

jenigen verschmolzener Bündel: auch stehen die Unterbrechungen, wie sie bei schwächeren Stengeln häufig vorkommen, mit dem Begriff eines Bastringes in Widerspruch. Wie dem auch sein mag, in mechanischer Beziehung liegt so wie so eine Combination von Bastrippen mit einer ringartigen Verbindung tiefer liegender Constructionstheile vor, wozu sich dann noch kleinere und grössere isolirt stehende Bündel als versteifende Elemente gesellen.

In gewissem Sinne kommen übrigens solche ringförmige Verbindungen widerstandsfähiger Elemente schon bei den früher besprochenen Typen hin und wieder vor, besonders da, wo peripherische Träger mit Luftkanälen alterniren und nach innen an ein lockeres Markgewebe grenzen. In solchen Fällen ist nämlich das Parenchym, welches die inneren Gurtungen (Trägerhälften) unter sich verbindet, bisweilen stark verdickt und jedenfalls sehr fest, so z. B. bei *Kobresia caricina*; da jedoch für unsere Betrachtung die Gruppierung der Bastzellen als der spezifisch mechanischen Elemente maassgebend ist, so können die bezeichneten Constructionen höchstens als gleich starke, nicht aber als gleichartige Systeme betrachtet werden.

Ausserhalb der Ringlage von Gefässbündeln finden sich bei sämtlichen Repräsentanten dieser Gruppe kleinere Mestomstränge, welche bei *Cladium* mit den Rippen verwachsen, bei *Juncus* dagegen durch besondere Bastsicheln verstärkt sind: ebenso auf der Markseite des Ringes grössere, mit Basthüllen versehene Bündel, die sich mehr oder weniger weit nach innen vorseiben. Die meisten dieser Bündel dienen offenbar zur Aussteifung des Systems.

Die arithmetische Bestimmung der Biegefestigkeit würde für die verschiedenen Vertreter des Typus sehr ungleich ausfallen, da die Querschnittsflächen bedeutend differiren. Am stärksten ist wohl *Cladium* gebaut, wo die Rippen (wie gewöhnlich auf eine Halmdicke von 1000 Ctm. berechnet) etwa 15000 □Ctm. und der Bastring wenigstens 60000 □Ctm. Querschnitt besitzt.

* * *

Als Uebergangsformen zu dem später zu besprechenden Luzulatypus, zu dem auch *Juncus compressus. bufonius* n. a. gehören, erwähne ich nachträglich noch *Rhynchospora alba* (Taf. V, Fig. 3) und *Rh. fusca*, deren Gefässbündelring nur an etwa 2 bis 4 Punkten durch vorspringende Bastrippen mit der Epidermis verbunden ist; auch bei *Juncus tenuis*, der sich sonst eng an *J. compressus* anschliesst, fand ich bisweilen eine solche vorspringende Bastrippe. Es geht aus diesen Vorkommnissen klar hervor, dass die Unterschiede des Baues, denen wir bei den Juncaceen begegnen, selbst innerhalb dieser Familie nicht unvermittelt dastehen und in ihren Anfängen, gleichsam als Wurzelformen, schon bei den Cyperaceen vertreten sind. — Den Anschluss an die Gramineen vermittelt *Rhynchospora florida* A. Dietr., von welcher ein Stück eines Halmquerschnittes auf Taf. IV, Fig. 6 dargestellt ist.

3. System des gerippten Hohleylinders mit Anschluss der Rippen an die Epidermis.

Subepidermale Bastrippen in Verbindung mit einem continuirlichen Bastring, welcher die kleinen Gefässbündel der äussersten Reihe in sich aufnimmt und auch mit den tiefer liegenden — zum Mindesten mit einem Theil derselben — verwachsen ist.

Das System des gerippten Hohleylinders, das bei *Cladium* noch mit freien subepidermalen Bastrippen combinirt war, gelangt in der Familie der Gräser zu völlig selbständiger Ausbildung und tritt nun bei einer grossen Anzahl von Repräsentanten als ein in sich zusammenhängendes Ganze auf. Wenn wir eine kleine Gruppe von Gattungen ausscheiden, welche sich theils den Scitamineen, anderntheils den Palmen anschliessen (*Saccharum*, *Bambusa* etc.), so herrscht bei den übrigen eine so grosse Einförmigkeit des Baues, dass ihre natürliche Verwandtschaft auch in anatomischer Hinsicht sofort in die Augen springt. Der Bast erscheint nämlich durehgehends als ein continuirlicher Ring, an welchen sich auf der Aussenseite eine veränderliche Zahl von Rippen, auf der Markseite ein Kranz von Gefässbündeln anlehnt. Die Rippen entsprechen gewöhnlich den Stellen, wo die kleinen peripherischen Gefässbündel sich an den Bastring anschmiegen oder in denselben eingebettet sind, zuweilen aber auch den grösseren Bündeln, welche nach innen vorspringen. Diese innern Bündel stehen nicht selten ungefähr gleich weit von der Oberfläche ab und bilden alsdann auch ziemlich gleich grosse Vorsprünge in regelmässiger Ringlage. Oder sie liegen in einer Zickzacklinie und springen zum Theil so weit nach innen vor, dass die Verbindung mit dem Bastring nur durch starke Fortsätze des letztern erhalten bleibt. Bei grösseren Abständen kann es auch vorkommen, dass solche Bastfortsätze in der Mitte wie eine Sanduhr zusammengezogen oder auch vollständig zerrissen sind, indem ein Theil des Bastes am Bastring, der andere am Gefässbündel haften blieb. Noch ein Schritt weiter, und das Bündel ist ohne alle Beziehung zum Bastring.

Endlich gibt es auch Gramineen, bei denen nicht bloss einzelne Gefässbündel vom Bastring getrennt und mehr oder weniger nach innen vorgeschoben sind, sondern wo eine grössere Anzahl solcher Bündel im Grundgewebe zerstreut liegen. Obschon nun freilich dieser letztere Fall durch mancherlei Uebergänge mit dem erstgenannten verbunden ist, so schien es mir doch im Interesse einer bessern Uebersicht geboten, solche Abweichungen in einen besondern Typus zusammen zu fassen.

Elfter Typus. Character des Systems; die Gefässbündel sämmtlich mit dem Bastring in Verbindung oder höchstens in den unteren Internodien etwas tiefer ins Mark vorgeschoben und dann isolirt. — Hieher zahlreiche Gramineen, z. B. *Molinia coerulea*, *Festuca glauca*, *Bromus spec.*, *Koeleria cristata*, *Ly-*

3. Die mechanischen Systeme zur Herstellung der erforderlichen Biegefestigkeit. 61

geum spartum, *Phalaris arundinacea*, *Briza media*, *Piptatherum multiflorum*, *Alopecurus pratensis* u. a.

Abgebildet: *Piptatherum multiflorum*, Taf. V, 4; *Molinia coerulea*, Taf. V, 5; *Bromus spec.*, Taf. V, 6; *Alopecurus pratensis*, Taf. V, 7.

Der den Rippen entsprechende äussere Gefässbündelkreis besteht vorwiegend aus kleineren Bündeln, die sich von aussen an den Bastring anlehnen oder auch mehr oder weniger tief in denselben einsenken. Auf der Aussen- seite werden diese Bündel von den Rippen überwölbt, und da letztere sich beiderseits an den Ring anschliessen, so liegen die Mestomstränge thatsächlich in einer geschlossenen Scheide von Bast. Auch die grösseren inneren Bündel, deren Cambiformseite vom Bastring gedeckt ist, besitzen zuweilen noch eine förmliche Basthülle, welche den vorspringenden Theil des Bündels vollständig umschliesst, oder doch eine starke Mestomscheide, die mechanisch den nämlichen Zweck erfüllt.

Der Abstand des Bastringes von der Oberfläche und die damit zusammenhängende Höhe der Rippen ist im obern Theil der Internodien fast immer etwas grösser als in dem von der Scheide bedeckten untern. Hier nehmen die Rippen eine viel breitere, gleichsam plattgedrückte Form an, und in manchen Fällen verschwinden sie vollständig, indem der Bastring sich unmittelbar an die Epidermis anlegt. Und wie für die einzelnen Glieder, so bestehen merkliche Unterschiede zwischen unten und oben auch für den ganzen Halm. Insbesondere ist das letzte Internodium nahe der Inflorescenz nicht selten durch verschiedene kleine Eigenthümlichkeiten ausgezeichnet, welche dem Querschnitt eine etwas abweichende Physiognomie verleihen. In der Hauptsache jedoch bleibt das Schema der Anordnung unverändert.

Das Markgewebe, das für die Aussteifnung des Hohleylinders von Bast immer eine gewisse Bedeutung hat, ist bekanntlich in der Mitte meistens unterbrochen, d. h. im Querschnitt ringförmig. Die Grösse der Höhlung variirt übrigens bedeutend: sie ist beispielsweise sehr klein bei *Festuca glauca*, kaum entwickelt bei *Lygeum spartum* und vollständig fehlend bei *Piptatherum multiflorum*. Wo isolirte Gefässbündel im Marke vorkommen, sind dieselben stets nur auf eine peripherische Zone vertheilt.

Die Epidermis ist bei den meisten hieher gehörigen Arten, wie überhaupt fast durchweg bei den Gramineen, sehr widerstandsfähig. Ausnahmsweise erscheint dieselbe überdiess durch einen Beleg aus bastähnlichen Zellen verstärkt, der sich ununterbrochen über die ganze Innenfläche hinwegzieht, so z. B. bei *Phalaris canariensis*. Diese Zellen, die man gewöhnlich zum Hautgewebe rechnet, sind allerdings nicht immer identisch mit den Bastzellen der nämlichen Pflanze; sie heben sich gerade bei *Phalaris* schon durch ihre hellere Färbung (zumal in Kalilösung) sehr deutlich von denselben ab. Allein sie gehören doch unstreitig zur Bastreihe im weitern Sinne, indem hiefür schon ihre bedeutende Länge und die kleinen linksschiefen Poren die erforderlichen Anhaltspunkte liefern. Uebrigens ist es mir wahrscheinlich, dass bei der An-

lage und Ausbildung solcher Zellschichten unter der Epidermis, wo immer sie auch vorkommen mögen, in erster Linie andere Rücksichten als diejenige auf die grösstmögliche Biegungsfestigkeit maassgebend gewesen sind.

Der mechanische Werth der besprochenen Construction leuchtet im Allgemeinen ohne Weiteres ein, da sie zu den in der Architectur und beim Maschinenbau häufig angewandten gehört. Speziellere Daten über die Dimensionsverhältnisse geben die dargestellten Querschnitte (Taf. V, Fig. 4—7), von denen man im Durchschnitt sagen kann, dass sie eine beträchtlich grössere Bastfläche enthalten, als sie bei den Cyperaceen vorzukommen pflegt. Der untere Theil eines ca. 2 Mill. dicken Halmostückes von *Molinia coerulea* ergibt z. B. — auf 1000 Ctm. Durchmesser berechnet — folgende Querschnittsverhältnisse:

- 1) Dicke des Ringes 32 Ctm.; Abstand der Ringmitte von der Peripherie 50 Ctm. Querschnittsfläche des Ringes 90432 □Ctm. Davon abgezogen die Querschnitte der eingeschlossenen Gefässbündel, zusammen höchstens 20000 □Ctm.; bleiben für den Bastring in runder Zahl 70000 □Ctm.
- 2) Zahl der Rippen 30; davon 15 kleinere zu 6880 □Ctm. und 15 grössere zu 11500 □Ctm., zusammen 18380 □Ctm. Abstand der Schwerpunkte vom Centrum 490 Ctm. — Die nach innen vorspringenden Bastfortsätze und Basthüllen sind nicht in Rechnung gebracht.

Der Gesamtquerschnitt beträgt demnach gegen 90000 □Ctm., während die bisher erhaltenen Ziffern nicht über 60—70000 hinausgingen. Ein nahezu übereinstimmendes Ergebniss lieferte auch die möglichst genaue Berechnung der Querschnittsflächen einer grossen Bromus-Art, deren Halmdicke 3 Mill. betrug. Als Maass des Biegunsmomentes ergibt sich hiernach rund 9400 Millionen; folglich auf 12000 □Ctm. 1250 Millionen.

Zwölfter Typus. Die inneren Gefässbündel des Stammes nicht mit dem Bastring verwachsen, meist in grösserer Anzahl im Grundgewebe zerstreut und zuweilen bis gegen die Mitte vorgeschoben. Entschiedene Neigung zur Unterdrückung der subepidermalen Bastruppen. — Hieher die folgenden Gräser: *Calamagrostis argentea*, *Apera spica venti*, *Arundo Donax*, *Cynodon Dactylon*, *Spartina stricta*; ferner die Paniceen: *Pennisetum longistylum* Hochst., *Panicum imbecille* Trin., *plicatum* Lam., *Crus galli*, *miliaceum*, *undulatifolium* u. a.

Abgebildet: *Calamagrostis argentea*, Taf. VI, Fig. 1; *Setaria viridis*, Taf. VI, Fig. 2; *Panicum Crus galli*, Taf. VI, Fig. 3; *Pennisetum longistylum*, Taf. VI, Fig. 4.

Dem vorhergehenden Typus am nächsten verwandt und nur durch die zahlreicheren markständigen Gefässbündel davon verschieden sind *Calamagrostis* und *Apera*. Bei den übrigen Repräsentanten geht die Divergenz noch etwas weiter, indem beispielsweise die Halme nur stellenweise, etwa im obersten Internodium, subepidermale Rippen besitzen, die noch dazu den Bastring nicht immer direct berühren, während die untern Stengelglieder gar keine Rippen aufweisen. So bei *Arundo*, *Cynodon*, *Pennisetum*. Andere zeigen zwar durchgehends directe Bastverbindungen zwischen Epidermis und Ring; allein dieselben

3. Die mechanischen Systeme zur Herstellung der erforderlichen Biegefestigkeit. 63

kommen nur dadurch zu Stande, dass die peripherischen Gefässbündel sich radial hinter einander legen und mit ihrer Basthülle nach aussen vorspringen; so z. B. bei *Panicum plicatum*. Eigentliche Rippen habe ich in älteren Internodien nur bei *Panicum Crus galli* und *undulatifolium* beobachtet; aber auch hier haben dieselben bei weitem nicht die Höhe, wie bei den früher besprochenen Gramineen.

Die genannten Paniceen inclusive *Cynodon*, das alte *Panicum Dactylon* Linné's, stimmen überhaupt in manchen wesentlichen Punkten überein; ihre Zusammengehörigkeit spricht sich auch in den anatomischen Merkmalen, trotz der bezeichneten Unterschiede, deutlich aus.

Die markständigen Gefässbündel bilden in den einfacheren Fällen (*Panicum Crus galli* und *undulatifolium*) einen — freilich nicht immer regelmässigen — Kreis, welcher um die Dicke eines solchen Bündels oder etwas darüber vom Bastring absteht. Offenbar sind alsdann sämtliche Bündel, obgleich ihre Basthüllen meist sehr schwach sind, im Zusammenhang mit dem Markgewebe als versteifende Elemente des mechanischen Systems zu betrachten. Bei andern Paniceen ist die Zahl der markständigen Gefässbündel grösser (bei *Pennisetum* gegen 50) und in Folge dessen auch die Anordnung eine weniger regelmässige. Wo das Mark voll ist, sind die Bündel nicht selten fast über den ganzen Querschnitt zerstreut. Was endlich *Arundo Donax* betrifft, so liegen hier die Gefässbündel mit ihren starken Basthüllen in etwa 6 bis 8 Lagen hintereinander, im Ganzen mehrere Hundert, zuweilen in unregelmässigen schiefen Reihen, welche den Radius unter ungefähr gleichen Winkeln schneiden. Dabei ist der Stengel hohl, und die Wanddicke verhält sich zum Durchmesser etwa wie 3 zu 17.

4. System der peripherischen, meist durch Mestom verstärkten Bastbündel, mit unregelmässigen Verschmelzungen derselben sowohl unter sich als mit der Epidermis.

Dreizehnter Typus. Kein eigentlicher Bastring, aber die peripherischen Mestomstränge mit starken Basthüllen, von denen die äussersten mit der Epidermis direct verbunden sind. Das Grundgewebe nicht hohl (oder höchstens stellenweise), in der Nähe der Oberfläche — gleichsam als Ersatz für den Bastring — beträchtlich fester, gegen die Mitte dünnwandig-parenchymatisch; die inneren Gefässbündel im Marke zerstreut. — Hieher die Stengel von *Erianthus Ravennae*, *Saccharum strictum* Spr., *Zea Mais*, *Andropogon Gryllus* und *Ischaemum*, *Heteropogon Allionii*, *Sorghum halepense*.

Abgebildet: *Saccharum strictum*, Taf. VI, Fig. 5, 7; *Zea Mais*, Taf. VI, Fig. 6.

Während einige der im Vorhergehenden erwähnten Paniceen den rippenlosen Bastring zur Entwicklung bringen und dadurch den Uebergang zu einer langen Reihe von Monocotylen vermitteln, wo diese Form des mechanischen Systems stereotyp wird, können die hier zu besprechenden Gräser als Ver-

bindungsglieder zwischen den gewöhnlichen Gramineen und den palmenähnlichen Bambusen betrachtet werden. Der Bastring tritt zurück: er kommt nur noch hin und wieder durch tangentialen Verschmelzung benachbarter Bündel zu Stande und fehlt bei der Mehrzahl der genannten Vertreter vollständig. Dagegen sind die subepidermalen Rippen insofern geblieben, als die Basthüllen der peripherischen Bündel sich in ähnlichen Formen an die Epidermis anlehnen, wie es bei den vom Ring ausgehenden Fortsätzen anderer Gräser der Fall ist. Hierin eben liegt das unterscheidende Merkmal im Vergleich mit den Bambusen, während das Fehlen des Bastringes beiden gemeinsam ist.

Die Basthüllen der Gefässbündel erreichen nur im festen peripherischen Theil des Querschnitts eine beträchtliche Mächtigkeit; weiter nach innen, wo das Gewebe dünnwandig und luftführend ist, werden dieselben allmählig dünner und bald so schwach, dass sie mechanisch kaum mehr in Betracht kommen. Statt eines geschlossenen festen Gürtels bleiben oft nur noch zwei kleine Bastsieheln übrig, von denen die eine dem Cambiform, die andere dem Luftkanal in der Umgebung der primordialen Gefässe als Deckung dient. Oder die Basthüllen sind zwar ununterbrochen, aber auf eine einfache Zellschicht reducirt, welche nur an den zwei radial-opponirten Stellen eine kleine Verstärkung zeigt. Die Querschnittsflächen dieser inneren Bastbelege, denen ich ohnehin eine mehr locale Bedeutung zuschreibe, können offenbar in vielen Fällen gegenüber den weit grösseren der peripherischen Zone ganz und gar vernachlässigt werden.

Die Wanddicke des festeren peripherischen Gewebes variirt. Bei *Erianthus* beträgt dieselbe durchschnittlich nicht über einen Millimeter auf 10 Millimeter Durchmesser. Noch schwächer ist sie bei *Saccharum strictum*; dafür gruppieren sich hier die markständigen Bündel grossentheils in einen unregelmässigen Kreis, der in den unteren Internodien etwa 1—1,5 Mill. auf 5 Mill. Halmdicke von der Oberfläche absteht und daher als Versteifungskreis zu betrachten ist; nur wenige Bündel dringen tiefer in das Markgewebe ein. Aehnlich verhält sich auch *Andropogon*, während bei *Zea* die markständigen Bündel wieder in grösserer Anzahl auftreten. Solche Abweichungen kommen auch in anderer Hinsicht vor; allein sie sind zu geringfügig, als dass hier eine weitere Besprechung derselben am Platze wäre.

5. System der subcorticalen (von der Epidermis getrennten) Fibrovasalstränge mit starker Bastentwicklung und zuweilen mit Verschmelzungen in tangentialer und radialer Richtung.

Mit diesem fünften System verlassen wir die subepidermalen Bastbündel für immer. Von jetzt an behauptet das der Ernährung dienende parenchymatische Gewebe in der Nähe der Epidermis die Oberhand und drängt die mechanischen Elemente bis auf eine gewisse, freilich nur unbedeutende Tiefe zurück. Hier bilden dieselben entweder eine Phalanx isolirter Bündel, was für dieses System

3. Die mechanischen Systeme zur Herstellung der erforderlichen Biegefestigkeit. 65

characteristisch ist, oder sie verschmelzen zu einem continuirlichen Ring, wie wir diess bei den Lilioideen und manchen andern Familien beobachten.

Vierzehnter Typus. Zahlreiche peripherische Gefässbündel mit ausserordentlich starker Bastbekleidung: die grössern Bastmassen auf der Innenseite der Bündel, von den kleineren äussern durch Parenchym getrennt. Rinde von geringer Mächtigkeit: Stengel hohl. Hieher *Bambusa spec.* und *B. nigra Lodd.*, desgleichen die dickeren Triebe von *Arundinaria falcata Nees.*

Abgebildet: *Bambusa spec.*, Taf. VII, Fig. 1.

Auf eine dünne Rindenschicht folgen zuerst kleine, dann etwas grössere Gefässbündel mit starken Bastbekleidungen, welche zuweilen in tangentialer Richtung zu einem unvollständigen, da und dort unterbrochenen Ring verschmelzen, häufiger jedoch, zumal bei *Bambusa*, durch Parenchymstrahlen von einander getrennt sind. Weiter nach innen folgt eine vielgliedrige, in unregelmässige Reihen geordnete Phalanx isolirter Bündel, von denen die äussern nur durch schmale Parenchymwände geschieden sind, während die tiefer liegenden mehr und mehr aus einander rücken. Je dichter die Gruppierung, desto augenfälliger ist die Tendenz der Reihenbildung — offenbar eine rein mechanische Wirkung des wechselseitigen Druckes. Die Bastsicheln nehmen zwar nach innen an Grösse ab, sind aber doch durchgehends, die innersten ansgenommen, ganz aussergewöhnlich stark, wie ich es sonst nirgends beobachtet habe.

Als eine beachtenswerthe Eigenthümlichkeit verdient auch der Umstand hervorgehoben zu werden, dass die beiden zu einem Gefässbündel gehörigen Bastbelege nie mit einander verschmelzen, sondern zu beiden Seiten der grossen Gefässe durch eine Brücke von Parenchym unterbrochen sind, welche die Verbindung zwischen Mestom und Grundgewebe offen erhält. In den Zellen dieser Brücke beobachtet man nicht selten kleine Stärkekörner, welche auf eine Wanderung der Stärkesubstanz hindeuten. Zu diesen zwei Parenchymbrücken kommen bei den innersten Gefässbündeln noch zwei andere zu beiden Seiten der primordialen Gefässe. Am merkwürdigsten aber ist das an *Bambusa* beobachtete Vorkommen von durchgehenden Parenchymunterbrechungen in den innenseitigen Bastbelegen, doch immer nur bei denjenigen Gefässbündeln, welche ungefähr in der Wandmitte und innerhalb derselben liegen (Taf. VII, Fig. 1). Diese Bastbelege sind bei *Bambusa spec.* in zwei ungleiche Theile geschieden, von welchen der dem Mestomstrang anliegende kleinere aus dickwandigen, der andere aus dünnwandigen oder doch nur mässig verdickten Bastzellen besteht. Jener ist gewöhnlich unterbrochen, indem von der trennenden Parenchymlamelle zwei Brücken zum benachbarten Mestom hinüberführen. Diess deutet nun allerdings zunächst auf ernährungsphysiologische Anpassungen; die trennende Parenchymlamelle bildet gleichsam die Zufahrt zu den genannten Brücken. Es wäre aber doch möglich, dass in diesen Lagerungsverhältnissen auch mechanische Zwecke, über deren Natur ich freilich im Unklaren bin, ihren Ausdruck gefunden hätten.

Für die mechanische Werthung dieses Typus wähle ich den 33 Mill. dicken Stengel von *Bambusa spec.* als Beispiel. Die etwas ungleichmässige Wanddicke desselben beträgt 6 bis 7 Mill. In einer äussern Zone von 3,5 Mill. Breite stehen die Gefässbündel so dicht, dass das zwischenliegende Grundgewebe wie ein feines Maschenwerk aussieht; die Bastbelege nehmen hier nach einer möglichst genauen Schätzung mindestens die Hälfte der entsprechenden Querschnittsfläche in Anspruch. Bringt man nun bloss diese Hälfte in Rechnung und vernachlässigt alle tiefer liegenden Bastbelege, so erhält man auf 1000 Ctm. Stammdicke einen Querschnitt von 150000 □Ctm., welche Ziffer, obgleich unter der Wirklichkeit, doch alle bis dahin erhaltenen weit übertrifft. Das Maass des Biegemomentes würde sich hienach auf ca. 15000 Millionen stellen, was auf 12000 □Ctm. 1200 Millionen ausmacht.

Fünftehnter Typus: Palmen. Zahlreiche subcortiale Gefässbündel mit starker Bastbekleidung, letztere auf die Aussenseite der Bündel beschränkt, jedoch bei kleineren Mestomsträngen zuweilen übergreifend. Stengel nicht hohl, aber im Innern weich; die markständigen Bündel im Gewebe zerstreut, mit schwachen Bastbelegen. Rinde von zahlreichen kleinen Bastbündeln durchzogen.

Abgebildet: *Rhapis flabelliformis*, Taf. III, Fig. 6.

Ueber den innern Bau der Palmen stehen mir nur wenig eigene Beobachtungen zu Gebote; ich stütze mich desshalb hauptsächlich auf die einschlägigen Arbeiten Mohl's und auf die in den Lehrbüchern mitgetheilten Thatsachen. In einem Punkte jedoch muss ich auf Grund meiner Untersuchungen an *Chamaedorea* und *Rhapis*, sowie nach Analogie der übrigen, mir genauer bekannten Monocotylen, den Anschauungen Mohl's entgegen treten¹⁾. Es ist nämlich unrichtig, dass die peripherischen Gefässbündel des Holzkörpers, nachdem sie in ihrem bogenförmigen Verlaufe nach unten und aussen die Oberfläche des letzteren erreicht haben, endlich als Bastbündel in die Rinde eintreten. In

¹⁾ H. v. Mohl scheint übrigens seine Ansicht über den hier zu besprechenden Punkt später geändert zu haben. Man vergleiche z. B. folgende Stellen. In den »Vermischten Schriften« p. 130 unten heisst es: »Zwischen diesen holzartigen Massen (der peripherischen Gefässbündel) und der dünnen Rinde liegt eine dünne Lage feiner bastähnlicher Fasern«; sodann p. 133 oben: »dass die bastähnliche Faserschicht unter der Rinde aus den unteren Endigungen der Gefässbündel gebildet ist«. Den gleichen Sinn hat offenbar auch das unmittelbar folgende Alinea, desgleichen p. 140 die Stelle, welche von den cocosartigen Stämmen handelt, und p. 155 (oben) die Angabe, dass bei Cocos nicht alle gefässlosen Faserbündel (also doch ein Theil derselben!) in ihrem Verlaufe nach oben in das Innere des Stammes eintreten. Dagegen heisst es p. 184 unten: »Ich habe in meiner Beschreibung des Palmestammes angeführt, dass die zweite Klasse von Fasern (nämlich die gefässlosen Bastbündel der Rinde) die untern Endigungen von Bündeln sind, welche, ohne vorher ins Innere des Stammes einzutreten, in die äussern Schichten der Blätter verlaufen und sich hier grossentheils in wahre Gefässbündel verwandeln.« Diese Stelle ist dem später hinzugefügten Anhang entnommen, welcher allerdings viel jüngeren Datums ist, als die ursprüngliche Abhandlung *de structura palmarum*, und darin mag dem auch die Erklärung des offenbaren Widerspruchs liegen.

3. Die mechanischen Systeme zur Herstellung der erforderlichen Biegungsfestigkeit. 67

dieser Beziehung kann ich die gegentheilige Ansicht von Schacht¹⁾ nur bestätigen. Es kommt überhaupt bei den Monocotylen nirgends vor, dass ein Gefässbündel, das sich dem Holzkörper (Bastring mit Gefässbündeln u. dgl.) einmal angeschlossen, denselben weiter unten wieder verlässt, um in die Rinde überzugehen. Die rindenständigen Bündel — es mögen nun Gefäss- oder Bastbündel sein — sind nichts anderes als Blattspuren, welche entweder das Gefässbündelsystem des Stammes auf ihrem Wege nach unten und innen noch nicht erreicht, oder — wie alle Bastbündel — überhaupt nicht die Bestimmung haben, sich diesem System je anzuschliessen. Dadurch ist natürlich nicht ausgeschlossen, dass, wenn der Stamm nach oben oder unten beträchtlich an Dicke zunimmt, auch die Zahl der rindenständigen (und ebenso der subepidermalen) Bündel sich entsprechend vermehrt. Auch lässt sich zum Voraus erwarten, dass diese Bündel an der Basis des Stammes mit den Wurzeln anastomosiren; nur möchte ich deshalb Schacht nicht beistimmen, wenn er bei den Palmen den Bildungsheerd und Ausgangspunkt aller Bastbündel in diese Wurzeln verlegt.

An diese Bemerkungen, die mir für das Verständniss des Querschnittes nothwendig schienen, knüpfte ich nun den Satz, dass das mechanische System des Palmenstammes in dem ausserordentlich festen peripherischen Theil des Holzkörpers, und nur in diesem, zu suchen ist. Sowohl die tiefer liegenden Fibrovasalstränge des Markes als die im Rindenparenchym zerstreuten Bastbündel können mit Rücksicht auf Biegungsfestigkeit gar nicht in Betracht kommen, letztere schon darum nicht, weil es nach mechanischen Principien ganz und gar keinen Sinn hätte, ausserhalb der beiden Gurtungen eines Trägers, als welche hier offenbar die auf dem nämlichen Durchmesser liegenden peripherischen Bastbelege des Holzkörpers zu betrachten sind, noch ein paar schwächere Gurtungen in der Rinde und zwar in Gestalt von kleinen Bastbündeln anzubringen. Das Vorhandensein solcher Bündel muss daher nothwendig mit irgend welchen andern Bedürfnissen der Pflanze, worüber wir freilich auf Vermuthungen angewiesen sind, im Zusammenhang stehen. Nach den bei zugfesten Organen beobachteten Vorkommnissen ist es mir wahrscheinlich, dass diese rindenständigen Bastbündel das Zerreißen oder Abschieben der Rinde beim Biegen des Stammes, etwa durch Herstellung einer grössern Gleichmässigkeit der Ausdehnung, verhüten sollen. Eine erhebliche Aenderung der absoluten Ausdehnungsgrösse ist selbstverständlich nicht denkbar.

Der mechanisch-wirksame Theil des Holzkörpers ist also wiederum, wie bei den Bambusgewächsen, ein aus zahlreichen Bastbelegen bestehender Hohlzylinder, dessen Wanddicke nur einem verhältnissmässig kleinen Bruchtheil des ganzen Durchmessers entspricht. Vermöge dieser Eigenthümlichkeit des Baues werden denn auch manche Palmen, deren Mark besonders weich ist, wie z. B. *Arenca saccharifera* Labill., *Lodoicea Sechellarum* Labill., *Borassus flabelliformis* L., nach Entfernung des Markes als Wasserleitungsröhren, Dachrinnen

¹⁾ Schacht, Lehrbuch. I, p. 328.

u. dgl. verwendet, und von dem rohrartigen Stengel der *Iriartea setigera* Mart., *Euterpe oleracea* Mart. und der *Kunthia montana* H. B. wird berichtet, dass die Indianer ihre Blasrohre daraus verfertigen, indem sie das weiche Mark mit einer langen Ruthe herausstossen. Selbst der cocosartige Stamm, von welchem Mohl sagt, er sei »in der Mitte beinahe so hart als aussen«, entfernt sich offenbar nicht so weit vom gewöhnlichen Typus, als man nach diesen Angaben vermuthen möchte. Von *Cocos nucifera* sagt B. Seemann¹⁾, dass das Markholz während der Periode des reichlichen Fruchttragens, etwa vom 10. bis 35. Jahr, sehr weich und schwammig sei, und von *Cocos coronata* Mart., dass sie ein Mark enthalte, welches die Eingeborenen zu Brod verbacken. Dass auch *Syagrus*, eine mit *Cocos* nahverwandte Gattung, sich ähnlich verhält, davon habe ich mich an einem in der Münchener Sammlung befindlichen Stammstück selbst überzeugen können. Unter diesen Umständen scheint mir die Vermuthung gerechtfertigt, dass auch die übrigen cocosähnlichen Palmen im frischen Zustande ein weiches Markgewebe besitzen, wie es das mechanische Princip verlangt. Ob vielleicht die niederliegenden Stämme der Oelpalme (*Elaeis*), über deren Structur ich keine näheren Angaben gefunden habe, von dieser Regel eine Ausnahme machen, lasse ich dahingestellt. Was endlich die Rotangpalmen (*Calamus*) betrifft, so entspricht der allerdings abweichende Bau derselben den mechanischen Verhältnissen der Schlinggewächse, von denen später die Rede sein wird.

Ueber die Querschnittsgrössen der Bastsicheln, welche bei den Palmen die Aussenseite der Gefässbündel einnehmen, bemerke ich nur, dass sie ungefähr denjenigen der Bambusen entsprechen. Das Grundgewebe des peripherischen Holzkörpers erscheint auch hier wegen der zahlreichen und aussergewöhnlich starken Bastbelege als ein feines, wenn auch etwas weniger regelmässiges Netz, dessen Maschen nach aussen allmählig kleiner werden. Nach einem mir vorliegenden 10 Centim. dicken Stammstücke der Sagopalme zu schliessen, ergibt die Rechnung auch in Beziehung auf Gesamtquerschnitt und Biegemoment des mechanischen Systems ungefähr dieselben Ziffern, wie für die Bambusgewächse. Jedenfalls besitzen die Palmen einen sehr hohen Grad von Festigkeit²⁾.

Sechszehnter Typus. Zahlreiche subcorticale Bündel mit starken Libriformbelegen; Libriformzellen mit behöften Poren (wie bei den Coniferen), mechanisch widerstandsfähig und zugleich die Gefässe ersetzend. Stamm nicht hohl, aber im Innern weich, mit zerstreuten Gefässbündeln von geringer Widerstandsfähigkeit. — Hierher *Dracaena*, *Cordyline*, *Yucca*.

¹⁾ Seemann, Die Palmen. p. 112.

²⁾ Den Palmen schliessen sich in mechanischer Hinsicht die Pandaneen an. Da ich indess von dieser Gruppe nur *Pandanus pygmaeus* zu untersuchen Gelegenheit fand, die grösseren baumartigen Formen dagegen nicht aus eigener Anschauung kenne, so beschränke ich mich auf diese kurze Notiz.

3. Die mechanischen Systeme zur Herstellung der erforderlichen Biegefestigkeit. 69

Das Merkwürdigste an diesem Typus ist ausser der bekannten Eigenschaft des Stammes, in die Dicke zu wachsen, die Beschaffenheit des Bastes oder, wenn man lieber will, der mechanisch-wirksamen Zellen, welche den Bast ersetzen. Es sind Tracheiden im Sinne Sanio's, den Holzzellen der Coniferen nicht unähnlich. Dass sie wirklich das morphologische Analogon des Bastes sind, geht am deutlichsten aus den Veränderungen hervor, welche die Gefässbündel beim Eintritt aus dem Blatt in den Stamm erfahren. Im Blatte sind nämlich die Gefässbündel durchaus normal gebaut; ihre Basthüllen oder gepaarten Bastsieheln bestehen aus ächten Bastzellen von gewöhnlicher Beschaffenheit. Sobald aber diese Bündel in die weiche Basalregion des Blattes und dann in das Rindenparenchym des Stammes eintreten, verschwindet dieser Bast; an seiner Stelle erblickt man ein jungliches cambiales Gewebe ohne alle Verdickungen und folglich ohne bestimmten Character. Auch das Mestom, rings von diesem Gewebe umschlossen, besteht hier nur aus Gefässen und zartwandigen Zellen. Beim Vordringen des Bündels in das Innere des Stammes erfährt sodann der Querschnitt etwelche Veränderungen. Die cambialen Zellen auf der Markseite verschwinden gewöhnlich; das Mestom erhält alsdann an dieser Stelle zunächst keine Bekleidung. Auf der Cambiformseite dagegen erscheinen jetzt bei *Dracaena* an der nämlichen Stelle, wo vorher ächter Bast gewesen, die oben genannten Tracheiden mit Porenhöfen. Ebenso erhalten die mehr peripherischen Bündel der Blattspur eine starke Bekleidung von Tracheiden und zwar meist in Gestalt eines geschlossenen Ringes. Das Nämliche gilt auch von den gefässlosen Bündeln, welche nachträglich im Verdickungsring angelegt wurden; das Cambiform liegt hier ausnahmslos im Centrum einer ovalen Libriformmasse. — Aehnliche Metamorphosen finden auch bei *Yucca aloefolia* statt; nur erscheinen hier die mechanischen Zellen stets innerhalb des Cambiforms, bei den grösseren Blattspuren zwischen jenem und den Gefässen. Die im Verdickungsring auftretenden Bündel sind übrigens auch hier gefässlos, im Querschnitt oval, mit kleinen Cambiformgruppen auf der äussern oder Rinden-seite. Diese Lagerungsverhältnisse sind nun allerdings derart, dass die fraglichen Libriformzellen mit behöften Poren topographisch als Xylemzellen erscheinen. Da sie jedoch in jeder andern Beziehung mit den entsprechenden Zellen von *Dracaena* übereinstimmen, deren Vorkommen aussen am Cambiform entschieden auf Bast deutet (nämlich im topographisch-anatomischen Sinne), so geht aus diesen Schwankungen des morphologischen Characters nur hervor, dass das mechanische Princip in diesem Falle das morphologische durchkreuzt. In der That sind die mechanischen Zellen bei *Yucca* und *Dracaena* dieselben; sie haben die nämlichen mikroskopischen Merkmale und ungefähr gleiche Widerstandsfähigkeit. Aber wie durch Zufall, jedenfalls nicht aus mechanischen Gründen, sehen wir sie das eine Mal zwischen Cambiform und Gefässen, das andere Mal aussen am Cambiform auftreten. Ich bemerke übrigens, dass solche Verschiebungen, für welche ich allerdings bei Monocotylen kein zweites Beispiel kenne, bei den Dicotylen nicht selten sind. Es kommt hier, wie später gezeigt

werden soll. häufig vor, dass die nämlichen Zellen, die in der Regel ausserhalb des Cambiumringes zur Entwicklung kommen und folglich zum Phloem gezählt werden, bei gewissen grösseren und kleineren Gruppen durchweg im Xylem figuriren.

Was die Vertheilung der mechanischen Zellen über die Fläche des ganzen Querschnittes betrifft, so sind zwar auch die innern Bündel nicht ohne Libriforbekleidungen, doch nehmen die letztern nach aussen hin an Stärke zu. Hauptsächlich aber sind es die vorwiegend aus Libriform bestehenden stamm-eigenen Bündel des peripherischen Theils, welche späterhin die Festigkeit des Stammes bedingen. Diese Bündel bilden auch hier wieder, aber natürlich nur in Verbindung mit dem zwischenliegenden Grundgewebe, eine hohle Säule, deren Wanddicke zwar mit der Zeit zunimmt, jedoch nur bei älteren Exemplaren über das gewöhnliche Verhältniss zum Durchmesser des Stammes hinausgeht. Als Belege hiefür mögen folgende Beispiele dienen:

1) Bei einem Stämmchen von *Dracaena (Cordyline) australis*, dessen Durchmesser in der Mitte ca. 16 Mill. betrug, hatte der in Rede stehende Hohl-cylinder eine Wanddicke von 2 Mill., die Rinde nebst Meristem eine Mächtigkeit von 1,8 Mill., das weiche Mark einen Durchmesser von 9 Mill.

2) Ein anderer Stamm von *Dracaena* zeigte bei einem Durchmesser von 35 Mill. eine sehr feste peripherische Zone von 2,5 Mill. Dicke. Hier waren die Bündel nur durch schmale, wellenförmig verlaufende Parenchymstrahlen getrennt, welche beim Liegenlassen in Wasser der Maceration längere Zeit widerstanden, während das weichere Markgewebe sich rasch in die einzelnen Zellen auflöste, so dass die innern Bündel bald vollständig isolirt waren. Aber dessenungeachtet ist nicht zu bezweifeln, dass das frische Markgewebe, zumal der äussere Theil desselben, zur Aussteifung des peripherischen Hohl-cylinders wesentlich beiträgt.

3) Ein 80 Mill. dicker Stamm von *Yucca aloefolia* hatte einen festeren peripherischen Theil von etwa 11 Mill. Dicke; doch waren die Libriforbündel hier lange nicht so dicht gestellt, wie im vorhergehenden Falle, und die Abgrenzung nach innen war keine scharfe.

Solche Querschnittsverhältnisse sind nun allerdings viel zu unbestimmt und zu veränderlich, als dass sich eine genauere Berechnung der Festigkeitsverhältnisse daran knüpfen liesse: doch beweisen sie immerhin, dass das mechanische Princip auch hier zur Geltung kommt und selbst in ziemlich dicken Stämmen noch deutlich hervortritt.

Siebzehnter Typus. Subcorticale Gefässbündel mit Bastbekleidungen, hin und wieder in tangentialer Richtung mit einander verwachsen; die centralen Bündel mit schwächeren Bastsiebeln oder auch ganz ohne Bast. Mark nicht hohl: die Rinde mit zahlreichen Blattspurbündeln. — Hieher die Stammorgane von *Musa*.

3. Die mechanischen Systeme zur Herstellung der erforderlichen Biegefestigkeit. 71

Um Missverständnisse zu verhüten, mag es nicht ganz überflüssig sein, an dieser Stelle die Begriffsbestimmung der Rinde zu wiederholen. Ich verstehe darunter stets diejenige peripherische Schicht, in welcher die Blattspuren in ihrem Verlaufe nach unten sich entweder schief einwärts bewegen oder höchstens parallel mit der Oberfläche verlaufen. Die innere Grenze dieser Schicht fällt zusammen mit der Oberfläche eines Cylinders, welcher sämtliche in das Innere eingetretenen Blattspuren umschliesst, auch diejenigen, welche in bogenförmigem Verlaufe sich zuletzt der Peripherie soweit als möglich genähert haben. Die kleineren Blattspurbündel bewegen sich gewöhnlich nur bis zu dieser Grenze nach innen und verlaufen sodann parallel mit der Axe nach unten; die tiefer eingedrungenen grösseren Bündel nähern sich in ihrem untern Verlaufe dieser nämlichen Grenze von innen, ohne dieselbe je zu überschreiten.

Diese Abgrenzung der Rindenschicht ergibt sich für *Dracaena* und die meisten Palmen, überhaupt für Stammorgane mit kurzen Internodien, so zu sagen von selbst. Bei den übrigen Monocotylen ist allerdings die Sache nicht immer so einfach, doch beruht der Unterschied eigentlich nur auf dem langsameren Eintritt der kleinen Blattspuren. Wo, wie in unserem Falle, subepidermale Bastbündel nicht vorkommen, fällt die fragliche Grenzlinie stets mit dem äussern Contour des mechanischen Systems oder, was dasselbe ist, mit der Grenze der stärksten Bastbelege zusammen.

Das mechanische System dieses Typus besteht hiernach im Wesentlichen aus einer mehrfachen Ringlage von Fibrovasalsträngen, von denen die äussersten unmittelbar unter der Rinde liegen und zum Theil in tangentialer Richtung mit einander verschmolzen sind. Doch kommen solehe Verschmelzungen nicht gerade häufig vor; die Bündel sind jedenfalls vorwiegend isolirt und oft nur auf der äussern, jedoch an stärkeren Stellen auch auf der innern Seite mit Bastsicheln bekleidet¹. Weiter nach innen werden diese Bastbelege schwächer und verschwinden endlich vollständig oder sind doch meist auf eine einfache und nicht einmal immer continuirliche Lage von Bastzellen reducirt, die dann offenbar nur local-mechanische Bedeutung haben.

Eine nicht unerhebliche Verstärkung des mechanischen Systems bilden bei *Musa* die grossen Gefässbündel der Rinde, welche zum Theil mit starken Bastbelegen versehen sind. Aber noch viel wichtiger als diese Bündel sind die langen Blattscheiden, welche sich nicht bloss, wie bei den Gramineen, über ein Internodium, sondern über eine ganze Reihe von Internodien erstrecken, so dass beispielsweise der nämliche Querschnitt 5 bis 8 Scheiden zugleich trifft. Vom Bau dieser Scheiden wird indess später die Rede sein; hier bemerke ich nur noch, dass eine solche Combination von über einander gerollten Blattscheiden mit einem verhältnissmässig dünnen Stammorgan mechanisch ungünstig

¹ Die Bastbelege der Xylemseite berühren die grossen Gefässe hier niemals direct, sondern sind stets durch 1 bis 2 Schichten dünnwandiger Xylemzellen davon getrennt. Wittmack nennt diese Zellen in seiner Abhandlung über *Musa Ensete* (Linnaea, Bd. 35) Cambiformzellen, jedoch ohne diese Bezeichnung zu motiviren.

ist, weil dieselbe nothwendig eine fast gleichmässige Vertheilung der Bastbündel über den Gesamtquerschnitt, das Centrum des Stengels ansgenommen, zur Folge hat. Dem entsprechend sind denn auch die Bananen viel plumper gebaut, als die meisten andern Monocotylen mit absterbenden Stammorganen. Das mechanische Princip tritt überhaupt in den einzelnen Organen, zumal in den Blattscheiden, deutlicher hervor, als im Gestaltungsprocess der ganzen Masse. Es ist klar, dass bei letzterem vorwiegend Anpassungen anderer Art maassgebend sind.

Achtzehnter Typus. Subcorticale Bündel mit starken Bastbelegen, in tangentialer Richtung öfter verschmolzen. Die Rinde ohne Gefässbündel. Im Uebrigen wie der vorhergehende Typus. — Hieher *Maranta*.

Abgebildet: *Maranta spec.*, Taf. VII, Fig. 2.

Gewisse hochstämmige Marantaceen, wie z. B. *Stromanthe sanguinea*, weichen in der Tracht und im inneren Bau so sehr von den Bananen ab, dass ich nicht umhin konnte, sie in eine besondere Gruppe zu vereinigen. Diess geschieht zunächst allerdings nur mit Rücksicht auf die blattlosen schlanken Stämme unterhalb der Gabelungen, welche indess durch ihre viel dünnere gefässbündelfreie Rinde und durch die öftern Verschmelzungen der Bastbelege, die stellenweise fast den Eindruck eines Ringes gewähren, hinlänglich characterisirt sind.

Ein mir vorliegendes Präparat, bestehend in Querschnitten durch einen 5 Mill. dicken Stamm einer unbestimmten Art (wahrscheinlich von *Stromanthe*) zeigt beispielsweise nur eine Rinde von 40 bis 50 Mik. Dicke. Die nächstliegenden Bastbelege bilden durchgehends, sofern nämlich noch Mestom vorhanden ist, geschlossene Scheiden und sind entweder mit den benachbarten verschmolzen oder durch festes Grundgewebe damit verbunden. Weiter nach innen sind diese Scheiden unterbrochen und dann gewöhnlich auf zwei radial-opponirte Bastsieheln reducirt, die gegen das Centrum des Markes allmählig schwächer werden. Das Mark war übrigens in der Mitte etwas hohl, was ich an dünneren Zweigen von nur 2 Mill. Dicke nicht beobachtet hatte.

Als eine Besonderheit der untersuchten Marantastämme erwähne ich noch das Vorkommen isolirter Bastbündel im Mark, und zwar bei den dünnern Verästelungen im mittleren, bei den Hauptstämmen im peripherischen Theil desselben. Auch mag hier noch die Bemerkung Platz finden, dass der Querschnitt dieser Stämme nicht kreisrund, sondern elliptisch ist, wesshalb dieselben an den breiten Seiten auch leicht einknicken.

6. System der subcorticalen in tangentialer Richtung verbundenen Fibrovasalstränge. Von den folgenden Systemen nicht scharf getrennt.

Neunzehnter Typus. Fibrovasalstränge in einfacher oder doppelter Ringlage, mit tangential verbundenen Basthüllen; einzelne Bündel zuweilen weiter nach innen vorgeschoben. — Hieher die Halme folgender Juncaceen:

3. Die mechanischen Systeme zur Herstellung der erforderlichen Biegefestigkeit. 73

Luzula albida u. a., *Juncus balticus*, *arcticus*; *stygius*, *castaneus*, *triglumis*, *trifidus*; *capitatus*, *obtusiflorus*, *lamprocarpus*; *squarrosus*, *compressus*, *Gerardi*, *Tenageia*, *bufonius*.

Abgebildet: *Juncus balticus*, Taf. VII, Fig. 3; *J. bufonius*, Taf. VII, Fig. 4; *Luzula albida*, Taf. VII, Fig. 6.

Bei keiner andern Pflanzengattung gehen die mechanischen Typen so mannigfach aneinander, wie bei *Juncus*. Nachdem eine Anzahl von Repräsentanten mit subepidermalen Rippen bereits im fünften, sechsten und zehnten Typus untergebracht worden, folgt hier eine ansehnliche Reihe von Arten (denen auch *Luzula* beigezählt werden muss), welche sämmtlich durch das Fehlen der subepidermalen Bastbündel und durch das Vorhandensein tangentialer Bastverbindungen im Gefässbündelkreis ausgezeichnet sind. *Juncus tenuis* und *Rhynchospora* bilden, wie bereits früher bemerkt, Uebergangsformen zwischen diesem und dem zehnten Typus.

Manche der genannten Vertreter dieses Typus schliessen sich enge an das nächstfolgende System des einfachen Hohlzylinders an, indem die Bastbelege mit ihren Verbindungen den Eindruck eines Ringes gewähren; bei andern sind die entsprechenden tangentialen Verbindungen nicht continuirlich, sondern stellenweise fehlend oder durch dickwandiges Parenchym ersetzt, ja es gibt schwächere, mehr wasserliebende Formen, bei welchen der Gefässbündelring vorwiegend aus isolirten Bündeln besteht. Aber bei all diesen Abstufungen herrscht einerseits eine so grosse Uebereinstimmung im anatomischen Bau und andererseits eine so geringe Constanz bezüglich der vorkommenden Abweichungen, dass eine Vertheilung der oben bezeichneten Arten auf mehrere Typen kaum durchzuführen wäre. In meinen Augen sind die fraglichen Abweichungen der naturgemässe, wenn auch unvollständige Ausdruck der Schwankungen, welche einst beim Uebergange von den Cyperaceen zu den lilienartigen Gewächsen (oder umgekehrt) stattgefunden haben; es ist diess einer der Fälle, wo die Metamorphosen des mechanischen Systems in der gegenwärtigen Vegetation vollständiger vertreten sind, als diejenigen der Blüthe und Frucht. Die Juncaceen dieses Typus sind Uebergangsformen, und zum Zeichen, dass der Uebergang ein vollständiger ist, mögen auch diejenigen Arten, welche mit gleichem Rechte in das folgende System eingereiht werden könnten, mit ihren Verwandten vereinigt bleiben.

Dass die tangentialen Parenchymverbindungen zwischen den Bastcheiden gewissermaassen als Vorstufe eines continuirlichen Bastringes zu betrachten sind, dafür liefern namentlich die verschiedenen Formen von *J. articulatus* L. schöne Belege. Während z. B. bei *J. obtusiflorus* Ehrh. die in Rede stehenden Tangentialverbindungen durchweg aus dickwandigem Parenchym bestehen, zeigten mir *J. lamprocarpus* Ehrh. und *J. acuminatus* Michx. einen continuirlichen Ring von Bastzellen. Aehnliche Unterschiede mögen wohl auch zwischen Individuen der nämlichen Art und selbst zwischen Stengeltheilen des nämlichen Individuums vorkommen. Werfen wir endlich noch einen Blick auf die für diese Binsen charakteristischen stielrunden Blätter, die begreiflicher Weise schwächer con-

struirt, im Uebrigen aber stammähnlich sind, so finden wir hier eine doppelte Ringlage von Bündeln mit Bastbelegen, die aber vollständig isolirt, d. h. in dünnwandiges Parenchym eingebettet sind. Und nun zu diesen drei Abstufungen noch eine vierte hinzuzufügen, will ich nicht unerwähnt lassen, dass in den Spirrenzweigen von *Luzula albida* und ebenso im Stengel von *Juncus lamprocarpus* Bastverbindungen vorkommen, welche auf der Innenseite durch Belege von dickwandigem Parenchym verstärkt sind.

Betreffend die Formverhältnisse des mechanischen Systems, die Anordnung der Gefässbündel u. dgl. verweise ich auf die eifirten Abbildungen (Taf. VII, Fig. 3, 4, 6). Besondere Erwähnung verdient nur das Verhalten der unteren Internodien von *J. lamprocarpus* und *obtusiflorus*, wo in der Regel ein Kranz von Blattspurbündeln in der Nähe der Oberfläche zurückbleibt und sich mit dem Gefässbündelkreis des Stammes durch radiale Mestomanastomosen derart verkoppelt, dass zwischen den beiden Ringlagen das für Wasserpflanzen unentbehrliche luftführende Gewebe Platz findet, indess das Mark im Gegensatz zu den obern Stengeltheilen aus stärkeführendem, von Zwischenzellräumen durchzogenem Parenchym besteht. Doch scheinen diese Verhältnisse je nach der Höhe des Wasserstandes sehr zu variiren. So fand ich z. B. auf einem Querschnitt durch die Mitte eines unteren, 70 Mill. langen Internodiums von *J. lamprocarpus* das Mark etwas hohl und die Rinde bloss mit grossen luftführenden Zellen und vereinzelt Luftkanälen ausgestattet, dabei von normaler Dicke und ohne Blattspuren, den Bastring dagegen aussergewöhnlich stark entwickelt und überdiess auf der Innenseite mit dickwandigen Markzellen belegt.

Die Querschnittsfläche des mechanischen Systems, auf 1000 Ctm. Durchmesser berechnet, mag bei schwächeren Stengeln ea. 30000 \square Ctm., bei den stärksten ea. 70000 \square Ctm. betragen. Das Maass des Biegemomentes erreicht in günstigen Fällen ea. 12—1300 Millionen auf 12000 \square Ctm.

7. System des einfachen Hohleylinders mit eingebetteten oder angelehnten Mestomsträngen.

Zwanzigster Typus. Character des Systems. — Hieher die oberirdischen Stengel folgender Familien: Restiaceen, Eriocauloneen (zum Theil), Commelynaeaceen, Melanthaceen, Liliaceen, Smilaceen (mit Ausnahmen), Irideen, Burmanniaceen, Hypoxideen, Dioscoreen, Zingiberaceen, Orchideen (die einheimischen), Alismaceen, Butomeen, Juncagineen (Triglochin), Typhaceen.

Abgebildet: *Allium vineale*, Taf. VII, Fig. 5; *Typha latifolia*, Taf. VII, Fig. 7.

Der rippenlose Bastring, der mit Rücksicht auf seine grosse Verbreitung als das bei Monocotylen herrschende System bezeichnet werden darf, bildet naturgemäss den Schlussstein unserer Typenreihe. Uebergänge zu demselben, und zwar bis zur vollständigen Durchbildung, haben wir im Vorhergehenden bei den Juncaceen und schon früher einmal bei den Gräsern (12. und 13. Typus) kennen gelernt. In gewissem Sinne schliesst sich sogar das System der Gräser

3. Die mechanischen Systeme zur Herstellung der erforderlichen Biegungsfestigkeit. 75

am engsten an das hier zu besprechende an. Man hat sich bei jenem bloss die subepidermalen Rippen wegzudenken, so herrscht im Uebrigen die vollständigste Uebereinstimmung. Einige Paniceen und Chlorideen, bei denen wirklich diese Rippen fehlen (wenigstens in den unteren Internodien), könnten mit gleichem Recht hier wie dort eingereiht werden.

Der ächte Bastring kommt nicht bloss durch Verschmelzung von Basthüllen zu Stande; er ist ein Gebilde für sich, in Form und Lage nur wenig beeinflusst von andern Geweben: der unzweideutige Vertreter des mechanischen Princips. Die peripherischen Gefässbündel richten sich nach ihm, nicht umgekehrt; sie finden an ihm einen festen Halt oder eine schützende Hülle, indem sie sich bald von aussen und bald von innen an denselben anlehnen oder im Innern des Ringes einbetten. Im ersteren Falle sind sie gewöhnlich durch rippenartige Vorsprünge mehr oder weniger eingehüllt, im letzteren durch die Bastzellen des Ringes selbst. Kurz, es kehren hier alle die Variationen wieder, die wir schon bei den Gramineen gefunden haben. Auch die Vertheilung der Gefässbündel zeigt ähnliche Abstufungen; nur sind hier markständige Bündel, die sich nicht an den Bastring anlehnen, häufiger als bei den Gramineen. Scharfe Gegensätze kommen übrigens eben so wenig vor wie dort, und die Uebergänge sind derart, dass ich auf Grund der Gefässbündelvertheilung nicht einmal die Anstellung verschiedener Typen versuchen möchte. Ich beschränke mich daher auf die Zusammenstellung einiger Beispiele für einzelne bestimmte Fälle, die ich aus der grossen Zahl der Querschnittsansichten herausgegriffen habe.

1) Alle Gefässbündel von innen an den Bastring angelehnt: *Orchis militaris*, *Goodyera repens* und andere einheimische Orchideen, *Dioscorea sinuata*, *Tamus communis*, *Sisyrinchium anceps*, *Triglochin maritimum*, *Burmannia capitata* Mart., *Hypoxis erecta*, *Nyris caroliniana* Walt.

2) Eine Ringlage kleiner Gefässbündel von aussen an den Bastring angelehnt: *Dianella revoluta*, *Hyacinthus orientalis*, *Aloe verrucosa*, *Allium vineale* u. a., *Tritoma Burchelli*, *Tigridia Pavonia*, *Iris variegata* etc.

3) Die Bündel innerhalb des Bastringes (markständige Bündel) entweder durchgehends oder doch im mittleren Theil ohne Bast: *Tradescantia zebrina* und *erecta*, *Tricyrtis*, *Tulipa Gessneriana*, *Lilium auratum*, *Allium vineale* u. a., *Tritoma Burchelli*, *Fritillaria imperialis*, *Heimerocallis fulva*, *Medeola asparagoides*, *Paris quadrifolia*, *Convallaria multiflora*, *Tigridia Pavonia*, *Iris variegata* etc.

4) Auch die markständigen Bündel mit Bastbelegen: *Asphodelus luteus*, *Tritoma Rooperi* Hort., *Kniphofia aloides*, *Aspidistra lurida* (Blattstiel), *Ophiopogon Jaburan*, *Geitonoplesium cymosum*, *Ruscus aculeatus*, *Pardanthus chinensis*, *Aristea cyanea*, *Iris bighuis*, *Crocosmia aurea*, *Alpinia nutans*, *Typha latifolia*, *Restio vaginatus* Thbg., *Calopsis paniculata* Desv.

Vom mechanischen Gesichtspunkte aus betrachtet liefern diese Gewächse weitere Belege dafür, dass die Bastzellen nicht bloss zur Herstellung der

erforderlichen Biegungsfestigkeit verwendet werden, sondern jedenfalls auch andern Zwecken dienen können. Aber auch hier tritt diese secundäre Bedeutung mit Bezug auf den damit zusammenhängenden Materialaufwand im Ganzen genommen sehr in den Hintergrund.

Für die mechanische Werthung dieses Systems kommen, abgesehen von der Querschnittsfläche, verschiedene Momente in Betracht. Zunächst die hohl-cylindrische Form, die an und für sich eine der günstigsten ist; sodann das Verhältniss der Wanddicke zum Durchmesser oder überhaupt die relative Stärke der Aussteifungsgebilde; endlich der Abstand von der Oberfläche des Stammes, der unter allen Umständen ein ungünstiges Moment ist. Die Aussteifung betreffend, so tragen die angelehnten Gefässbündel, desgleichen die hin und wieder etwas verdickten Zellen des peripherischen Markes und der Rinde offenbar wesentlich dazu bei. Wo die dem Bastring benachbarten markständigen Gefässbündel starke Bastbelege besitzen, sind dieselben als besondere Vorrichtungen zu diesem nämlichen Zwecke zu betrachten. In seltenen Fällen kommen hiezu noch tangentiale Mestomanastomosen (*Hemerocallis fulva*). Bei *Tradescantia* endlich ist der schwache Bastring mit starken subepidermalen Collenchymplatten combinirt.

Der Abstand des Bastringes von der Oberfläche ist in den stärkeren Stengeltheilen relativ gering, oft nur $\frac{1}{20}$ bis $\frac{1}{50}$ des Durchmessers; er kann aber ausnahmsweise auch $\frac{1}{10}$ und selbst $\frac{1}{7}$ des Durchmessers erreichen, so z. B. im obern Theil des Blüthenschaftes von *Allium vineale*.

Die Bastzellen des Ringes sind gewöhnlich zunächst der Aussenfläche desselben stärker verdickt als weiter nach innen, übrigens von durchaus normaler Beschaffenheit. Nicht selten ist der Uebergang ins Markgewebe ein allmähiger zu nennen, indem die Dicke der Zellwandungen nach innen langsam abnimmt und die Zellformen sich ebenso allmähig dem Parenchym nähern. Auch wenn der anatomische Character der Zellen sich plötzlich ändert, tritt diess weniger auf Querschnittsansichten, als im Längsschnitt augenfällig hervor, da die peripherischen Markzellen bezüglich der Wanddicke den inneren Bastzellen oft nicht viel nachstehen.

Zur Vergleichung der Querschnittsflächen und Biegungsmomente habe ich nachstehend einige Daten zusammengestellt, die sich indess nur auf die stärkeren Stengeltheile der betreffenden Pflanzen beziehen. Die Berechnungen wurden, wie gewöhnlich, für einen Stammdurchmesser von 1000 Ctm. ausgeführt.

	Querschnitt des Bast- ringes in □Ctm.	Maass des Biegungsmomentes.	Maass des Biegungsmomentes auf 12000 □Ctm.
<i>Allium vineale</i>	140000	12000 Millionen	1030 Millionen
<i>Veltheimia viridissima</i>	93000	9300 »	1200 »
<i>Ixia grandiflora</i>	112000	11300 »	1200 »
<i>Lilium auratum</i>	100000	10800 »	1300 »

3. Die mechanischen Systeme zur Herstellung der erforderlichen Biegefestigkeit. 77

Die in der letzten Colonne enthaltenen Ziffern beweisen, dass das System des Hohleylinders zu den denkbar günstigsten gehört. Dass *Allium vineale* eine Ausnahme bildet, rührt von der relativ stärkeren Rinde her, deren Mächtigkeit hier etwa 6 Procent des Durchmessers beträgt.

Zum Schlusse erwähne ich noch einer interessanten Uebergangsbildung, die ich bei *Boeckhia striata* Knt. beobachtet habe. Diese Restiacee besitzt nämlich im untersten Theil des Stammes (Blüthenschaftes) einen einfachen Bastring mit eingebetteten Gefässbündeln. Etwas weiter nach oben sendet dieser Ring strahlenförmige Rippen aus (Taf. X, Fig. 11), welche das grüne Rindenparenchym im ganzen mittleren und oberen Theil des Schaftes vollständig durchsetzen. Die farblose peripherische Zone enthält jene eigenthümlichen, mit besonderen Schutzzellen austapezierten Spaltöffnungshöhlen, welche für die Restiaceen charakteristisch zu sein scheinen¹⁾. Die Gesamtdicke der Rinde wird dadurch beträchtlich erhöht und in Folge dessen das mechanische System weiter als gewöhnlich nach innen gedrängt.

II. Die Querschnittsformen des mechanischen Systems in bilateralen Organen.

Obschon mir über den Bau der bilateralen Organe, zumal der Blätter, nur unvollständige Materialien vorliegen, so halte ich sie doch für zureichend, um denselben eine Uebersicht über die wichtigeren Constructionsformen, welche in den Flächenorganen der Monocotylen vorzukommen pflegen, entnehmen zu können. Dabei habe ich allerdings vorzugsweise nur die wesentlich neuen Constructionsformen im Auge, welche in der Flächenentwicklung der Organe begründet sind, und lege dagegen auf die kleineren Eigenthümlichkeiten jener Blattstiele, deren mechanisches System zwar eine bilaterale Anordnung der Theile zeigt, sich aber im Uebrigen an die im Vorhergehenden erwähnten Typen unmittelbar anschliesst, kein Gewicht. Unter den verschiedengestaltigen bilateralen Organen bieten überhaupt die ausgesprochen blattartigen, wozu auch die Scheiden zu rechnen sind, für unsere Betrachtung ein grösseres Interesse, als die mannigfachen Uebergänge zu stammähnlichen Formen.

Die Eintheilung der Trägersysteme ist in der Hauptsache, wie bei den Stammorganen, auf das Verhältniss zur Epidermis basirt. Ich unterscheide demgemäss subepidermale, innere und gemischte Träger. Diesen Systemen sind die Typen untergeordnet.

1) System der subepidermalen Träger.

Erster Typus. Zusammengesetzte subepidermale Träger in bilateraler Anordnung; das Uebrige wie im vierten Typus der cylindrischen Organe. — Hieher die Blätter von *Scirpus Holoschoenus* (Taf. VIII, Fig. 1), *Schoenus nigri-*

¹⁾ Vergleiche hierüber Pfitzer in Pringsheim's Jahrb. VII, pag. 561.

cans. *Fimbristylis spadicea* Vahl (Taf. XI. Fig. 1) und verschiedene *Cyperus*-Arten.

Die Querschnittsform dieses Typus ist aus den citirten Figuren zu ersehen. Alles Uebrige entspricht in der Hauptsache der Beschreibung des vierten Typus der Stammorgane, auf welche ich hiemit verweise. Besondere Erwähnung verdient nur die Art und Weise, wie die innenseitigen Bastbelege bei *Fimbristylis spadicea* angebracht sind. Die Mestomstränge sind nämlich zunächst von einem lockeren Gewebe, bestehend aus radial verlaufenden grünen Zellreihen, umgeben, an welche sich auf der Innenseite das relativ feste parenchymatische Mark anschliesst (erinnert an *Selaginella* und *Lycopodium*). Hier erst sind in einem Halbkreise mehrere isolirte, aber durch das Markparenchym hinlänglich verbundene Bastbündel, welche offenbar aus einzelnen Markzellen entstanden sind, aufgestellt (Taf. XI. Fig. 1). Es ist klar, dass durch diese Anordnung nicht bloss die erforderliche Festigkeit erzielt, sondern zugleich eine schützende Hülle für die Mestomstränge und ihre nächste Umgebung hergestellt wird (wie diess auch bei den Lycopodiaceen, hier aber gewöhnlich mittelst eines Bastringes geschieht).

Zweiter Typus. Subepidermale, mit Mestom verbundene Träger auf der Druckseite, combinirt mit mestomfreien Bastbändern auf der Zugseite. — Hieher die Blattmittelrippen bei *Erianthus*, *Saccharum*, *Zea*, *Gymnothrix*, *Gynerium* u. a.

Abgebildet: *Zea Mais*, Taf. VIII, 2; *Saccharum strictum*, Taf. VIII, 5; *Erianthus Ravenae*, Taf. XII, 4; *Gynerium argenteum*, Taf. XII, 3.

Ein Blick auf die citirten Figuren gibt den nöthigen Aufschluss über die Anordnung der Constructionstheile im Allgemeinen. Ich beschränke mich daher auf die Hervorhebung einiger Einzelheiten und Variationen, welche auf Querschnitten weniger in die Augen fallen. Der nach unten vorspringende Mittelnerv zeigt auf der convexen Seite der Schmitte einen Halbkreis von stärkeren und schwächeren Trägern in regelmässiger Alternanz. Diese Träger bestehen entweder aus einer directen Verbindung von Bast und widerstandsfähigem Mestom, wobei das letztere überdiess seine besondere Bastbekleidung besitzt, oder es sind zwei durch Parenchym verkoppelte Gurtungen vorhanden, von denen die äussere von der subepidermalen Bastmasse, die innere vom Mestom nebst zugehörigem Bastbelege gebildet wird. In diesem Falle ist indess das verbindende Parenchym chlorophyllfrei und fast interstitienlos, zuweilen überdiess etwas dickwandig; es ist offenbar ein Gewebe, das für mechanische Zwecke mehr oder weniger angepasst ist. Die Mächtigkeit dieses Parenchyms ist sehr verschieden; bald ist es eine einzige Zellenlage, bald sind es deren mehrere, die sich aber stets deutlich von den beiderseits angrenzenden grünen Zellen abheben. Bei *Saccharum strictum* sind die subepidermalen Rippen der Medianpartie in tangentialer Richtung mit einander verschmolzen (Taf. VIII, 5).

Die bandartigen Bastplatten auf der oberen Seite des Mittelnervs liegen

3. Die mechanischen Systeme zur Herstellung der erforderlichen Biegefestigkeit 79

ebenfalls unmittelbar unter der Epidermis. Hievon macht nur die Basalregion der Blattspreite zuweilen eine Ausnahme, so z. B. bei *Saccharum strictum*, wo sich der Bast an der bezeichneten Stelle etwas von der Epidermis zurückzieht, um etwas unterhalb der Ligula wieder den gewohnten Platz einzunehmen. Die fraglichen Zugbänder beschreiben demnach beim Uebergang der Spreite in die Scheide einen etwas sanfteren Bogen als der äussere Contour.

An die oben erwähnten Beispiele für diesen Typus schliessen sich mit unwesentlichen Variationen noch verschiedene Blattscheiden von Gramineen an. Zwar herrscht hier im Allgemeinen der folgende Typus vor; doch habe ich in der Nähe der Basis Verschmelzungen der Bastrippen zu continuirlichen Bastbelegen hin und wieder beobachtet.

In mechanischer Hinsicht verdient das Verhalten der Blätter von *Gynerium argenteum* noch besonders hervorgehoben zu werden. Die morphologisch obere, d. h. die in der Knospe nach innen gekehrte Seite, ist hier ausnahmsweise für Druck, die untere oder convexe Seite dagegen für Zug construiert (Taf. XII, 3). Die mechanische Anpassung geschieht nun in der Weise, dass ohne Ausnahme jedes Blatt in einer gewissen Höhe, sobald es sich nämlich von der Verticalen entfernt und schief gegen den Horizont stellt, eine halbe Umdrehung erfährt, so dass nun doch die bandartige Bastplatte nach oben und die mehr für Druck eingerichteten Träger und Faltungen nach unten zu liegen kommen.

Dritter Typus. Einfache oder zusammengesetzte I-förmige Träger, obere und untere Blattseite mit einander verbindend. — Hieher die Blätter vieler Gramineen und Cyperaceen, sowie diejenigen von *Typha*, *Xerotes*, *Pincenectia*, *Cordylina*, *Phormium*, *Pandanus*, *Hyphaene thebaica*, *Antholyza*, *Crococsmia*, *Musa*, *Strelitzia* u. a.

Abgebildet a) volle Träger: *Xerotes mucronata* R. Br., Taf. VIII, 7; *Hyphaene thebaica*, Taf. VIII, 9; *Cladium*, Taf. VIII, 6; *Phormium tenax*, Taf. IX, 3; b) Träger mit Parenchymfüllungen: *Saccharum strictum*, Taf. VIII, 4; *Zea Mais*, Taf. VIII, 3; *Carex lupulina*, Taf. VIII, 8; *Gynerium argenteum*, Taf. IX, 1 und X, 1; *Strelitzia regina*, Taf. IX, 2; *Musa spec.*, Taf. IX, 4; *Crococsmia aurea*, Taf. IX, 5; *Typha latifolia*, Taf. IX, 8, 9; *Sparganium ramosum*, Taf. IX, 10 und X, 5—7; *Bromus spec.*, Taf. III, 5; die Bastpartie links schliesst sich an die Epidermis an.

Eine Constructionsform, welche in so einfacher Weise die mechanisch zweckmässigste Anordnung der festen Theile zur Anschauung bringt, bedarf keiner langen Erörterung. Es sind I-förmige Träger, wie wir sie bei kleinen Eisenbahnbriicken, Strassenübergängen u. dgl. häufig angewendet finden. Die einen dieser Träger sind voll, d. h. nur aus Bast (nebst eingeschlossenem Mestom) zusammengesetzt, so bei manchen Cyperaceen und Gramineen, bei *Hyphaene thebaica*, *Cordylina*, *Maranta* etc.; andere dagegen besitzen bloss subepidermale Gurtungen aus Bast, an welche sich auf der einen Seite (oder auf beiden) die Mestomstränge anlegen, indess die Verbindungen zwischen den Gurtungen mittelst Parenchym hergestellt sind. Wieder andere, wie *Phormium tenax*, verhalten sich zwar in den schwächeren Theilen der Blätter ebenso

(vgl. Taf. IX, 3), zeigen dagegen in den stärkeren einen complicirteren Bau, stellenweise sogar eine mehrfach abgestufte Trägerphalanx. Aehnlich bei *Cladium Mariscus*. Endlich sind als besonders zierliche Formen noch die Blätter von *Typha*, *Scirpus* und andern wasserliebenden Pflanzen erwähnenswerth, wo die parenchymatischen Trägerverbindungen zugleich die Scheidewände zwischen den grossen Luftkanälen sind.

Geht die Blattspreite nach unten in eine offene oder geschlossene Scheide über, wie bei den Gramineen oder Cyperaceen, so bleiben die in Rede stehenden Träger in ihren peripherischen Theilen im Wesentlichen unverändert; dagegen werden die auf der Innenseite liegenden subepidermalen Gurtungen, wie sich von vorne herein erwarten lässt, schwächer oder verschwinden vollständig. Das Letztere scheint bei den geschlossenen Scheiden der Cyperaceen Regel zu sein; wenigstens habe ich den entgegengesetzten Fall niemals beobachtet. Ein gleiches Verhalten zeigen auch manche Gramineen, doch gewöhnlich erst im mittleren oder unteren Theil der Scheide. Bei andern sind zwar noch innere Gurtungen vorhanden; allein sie bestehen aus schwächeren oft beinahe collenchymatisch aussehenden Zellen, die sich von den normalen Bastzellen schon durch ihre hellere Färbung und grössere Quellungsfähigkeit unterscheiden. Die Erklärung dieser Abweichungen mag in dem Umstande liegen, dass die Scheide offen ist und überdiess den Stamm oft nur locker umschliesst.

Hat das Blatt einen starken Mittelnerv, wie z. B. bei *Cordyline indivisa*, so ist der letztere nicht selten, zumal in der Nähe der Blattbasis, mehr oder weniger abweichend gebaut. Bei der eben erwähnten *Cordyline* erscheinen die Träger in der Mediane nicht mehr als durchgehende Rippen, sondern sie gruppieren sich derart, dass ihre Verbindungslinien eine geschlossene Figur bilden. Dabei sind die weitaus stärkeren Bastbelege beiderseits der Epidermis zugekehrt: die schwächeren bestehen meist nur aus 3 Zellschichten, welche zum Schutze des Cambiforms oder der Vasalpartie (des Gefässbündels nothwendig sein mögen¹⁾). Im oberen Theil des Blattes, wo der Mittelnerv schwächer ist, wird diese Trägergruppe durch einen einzigen Fibrovasalstrang ersetzt.

In den keineswegs seltenen Fällen, wo die Epidermis mehrschichtig ist, wie bei *Maranta*, *Musa*, *Phormium*, *Hyphaene* etc., gehen die Bastrippen gewöhnlich nur bis zur innersten oder zweitinnersten farblosen Schicht. Kommen auch hin und wieder Ausnahmen vor, so gilt doch im Allgemeinen die Regel, dass das Hypoderm die nach der Oberfläche strebenden Gurtungen zurückdrängt.

Die Festigkeit der hierher gehörigen Constructionen variirt zwischen weit aus einander liegenden Grenzwerten. Zu den stärksten gehören wohl die Blätter von *Hyphaene thebaica*, sowie diejenigen mancher Cyperaceen, Gramineen und Liliaceen (z. B. *Phormium tenax*), zu den schwachen die Blätter von *Typha* und *Sparganium*. Eine Vergleichung mit grösseren Brücken, wie sie

¹⁾ Vgl. weiter unten den Paragraphen über die Verwendung der Bastzellen zu local-mechanischen Zwecken.

3. Die mechanischen Systeme zur Herstellung der erforderlichen Biegefestigkeit. 81

oben für Stammorgane durchgeführt wurde, hätte hier nur für diejenigen Fälle etwelchen Sinn, in welchen die Träger nicht allzuweit von einander abstehen; man könnte alsdann ein Trägerpaar mit den beiden Tragbalken der Brücke vergleichen. Für die übrigen Fälle dagegen liesse sich höchstens eine Parallele mit kleinen Strassenübergängen, Dielen u. dgl. ziehen. Da überdiess eine herausgeschnittene Blattlamelle bei allen schmalen Blättern eine relativ geringere Festigkeit zeigt, als das unversehrte Blatt (weil sich bei letzterem die oberflächlichen Theile am Rande wechselseitig stützen), so verzichte ich auf die arithmetische Berechnung bestimmter Fälle.

Vierter Typus. Einfache I-förmige Träger auf der Aussen- oder Unterseite des Blattes oder der Blattscheide. — Hieher die Blätter von *Tradescantia*, sowie die Blattscheiden der Irideen und zum Theil auch der Gramineen.

Da dieser Typus sich unmittelbar an den vorhergehenden anschliesst, so mag die vorstehende Diagnose genügen, um denselben zu characterisiren. Wahrscheinlich kommen hieher gehörige Constructionsformen bei schwächeren Blättern noch da und dort vor.

Fünfter Typus. Einfache I-förmige Träger auf beiden Blattseiten, aber in alternirender (nicht opponirter) Stellung. — Hieher die Blattspreiten von *Kniphofia aloides*, *Pardanthus chinensis*, *Iris variegata* etc.

Vom vorhergehenden Typus bloss durch die Alternanz der Träger verschieden. Ausnahmsweise stehen übrigens die Bündel hie und da auch opponirt und bilden dann eine durchgehende Rippe. Die Bastbelege sind natürlich nach aussen gekehrt oder doch auf der Aussenseite stärker entwickelt.

2. System der inneren Träger. Die Bastbelege berühren die Epidermis nicht, sondern sind durch chlorophyllführende Zellen von derselben geschieden. Durch Uebergänge mit dem folgenden System verbunden.

Sechster Typus. Isolirte innere Träger in verschiedener Anordnung. — Hieher die Blätter von *Allium* (verschiedene Arten), *Tritoma*, *Asphodelus* (Gefässbündel ohne Bast), *Aspidistra*, *Ophiopogon*, *Cypripedium*; desgleichen mit abweichender Anordnung die Blätter von *Yucca*, *Dracaena*, *Agave*, *Fourcroya*, sowie die Blattstiele von *Rhapis* und anderen Palmen.

Ein umfassenderes Studium der hieher gehörigen Organe würde voraussichtlich eine beträchtlich weiter durchgeführte Eintheilung ihrer Querschnittsformen nothwendig erscheinen lassen. Denn schon die oben genannten Beispiele ordnen sich naturgemäss in zwei Gruppen, indem die vorhandenen Träger bald in einer Ebene liegen, bald zu geschlossenen Figuren (Dreiecken, Halbkreisen etc.) zusammengestellt sind. Da ich indess nur wenige Bemerkungen über einzelne Vorkommnisse zu machen habe, so hätte eine weiter gehende Zersplitterung der Fälle keinen Zweck.

Zu bemerken habe ich erstens, dass die Stellung der Träger in der Mitte zwischen der Ober- und Unterseite der Blätter, wie wir diess bei *Aspidistra lurida*, *Ophiopogon Jaburan* u. a. beobachten, eine mechanisch ungünstige ist und folglich vom mechanischen Gesichtspunkte aus nicht erklärt werden kann. Die betreffenden Bastcheiden, die übrigens nur selten mehr als drei Zellschichten zählen, dienen hier offenbar zunächst den saftleitenden Gefässbündeln zum Schutze und erst in zweiter Linie zur Erhöhung der Biegefestigkeit. Dem letzteren Zwecke entsprechen dagegen die starke Epidermis, die Collenchymplatten unter derselben, die Anordnung der festeren Parenchymzellen (z. B. bei *Ophiopogon*) und ähnliche Momente.

Zweitens ist zu berücksichtigen, dass hier die Biegefestigkeit, zumal bei breiten Blättern, nicht die Bedeutung hat, wie bei schlanken Stämmen, Blattstielen u. dgl. Eine ebenso wichtige oder oft wichtigere Rolle spielt gegenüber den äusseren Einflüssen, wie z. B. starken Windstössen, der Widerstand gegen Torsion und gegen Abscheeren. Hierbei kommt aber nur der Querschnitt, nicht die peripherische Lage der Träger in Betracht. Ebenso sind die Queranastomosen zwischen den längs verlaufenden Gefässbündeln der Blattspreite vorzugsweise für scheerende und drehende Kräfte berechnet.

Eine dritte Bemerkung bezieht sich auf die fleischigen Blätter von *Agave* und *Fourcroya*, sowie auch auf verschiedene weniger fleischige: *Dracaena*, *Yucca*, Blattstiele von *Rhapis* u. a. Hier zieht sich nämlich stets eine Bogenreihe grosser Gefässbündel, welche offenbar nicht der Biegefestigkeit wegen da sind, von Kante zu Kante, wobei der Scheitel des Bogens bald ungefähr in die Mitte zwischen Ober- und Unterseite, bald mehr in die Nähe der ersteren zu liegen kommt. Wo diese Bündel durch Queranastomosen verbunden sind, wie bei *Yucca*, vergrössern sie zunächst die Festigkeit gegen Abscheeren und zwar nicht bloss in der Querriechung (was bei allen Bündeln der Fall ist), sondern auch in der Richtung parallel mit der Axe des Blattes. Bei *Rhapis flabelliformis* gewähren diese nämlich Bündel auf den ersten Blick den Eindruck einer Querverspannung; da jedoch die Anastomosen hier vollständig fehlen, so fällt diese Deutung dahin.

Siebenter Typus. Unterbrochener Bastring mit nach innen vorspringenden Rippen. — Hieher die Blattstiele von *Aspidistra lurida*.

Dieser Fall lehnt sich unmittelbar an diejenigen der Stammorgane mit Bastring an und bedarf daher keiner weiteren Erklärung.

3. System der gemischten Träger. Subepidermale Rippen mit inneren Trägern combinirt.

Achter Typus. Character des Systems. — Hieher die Blattstiele verschiedener Palmen: *Rhapis flabelliformis*, *Chamaerops Fortunei*, *Phoenix dactylifera*, *Livistona sinensis*, *Jubaea spectabilis*, *Sabal Adansonii*; ferner die Blätter einiger *Juncus*-Arten: *J. compressus*, *Gerardi*, *Tenageia*, *bufonius*.

Abgebildet: *Juncus compressus*, Taf. IX, 6.

3. Die mechanischen Systeme zur Herstellung der erforderlichen Biegefestigkeit. 83

Unter den genannten Palmblättern gibt es solche, bei welchen die Bastzellen zum weitaus grösseren Theile der Biegefestigkeit dienen, zu deren Erhöhung überdiess auch die starken Epidermiszellen, bei manchen auch die vorspringenden Rippen nicht wenig beitragen. Bei andern sind dagegen die subepidermalen Baststränge spärlicher ausgestattet und dafür die inneren Bündel mit starken Bastbelegen versehen. Die Epidermis und das parenchymatische Hypoderm, obgleich mechanisch widerstandsfähig, sind wahrscheinlich in erster Linie für andere Zwecke eingerichtet.

Die oben bezeichneten »*Junci planifolii*« haben durchgehends zwei subepidermale Randrippen auf der oberen Seite, einzelne auch eine subepidermale Rückenrippe, welche mit dem mittleren Mestomstrang in Verbindung steht. Die übrigen Fibrovasalstränge berühren die Oberfläche nicht.

Eine mechanische Einrichtung besonderer Art, die unter den mir bekannten Fällen völlig isolirt dasteht, findet sich bei sämtlichen untersuchten *Maranta*-Arten auf der Unterseite der Blattmittelrippe, sowie im ganzen Umfange des verdickten Blattstieles an der Basis der Spreite: es sind mechanische Zellen, welche bei *Maranta bicolor* genau radial gestellt, bei den übrigen Arten dagegen unter ungefähr 45° gegen die Längsaxe geneigt sind, wobei der spitze Winkel dem Scheitel des Organs stets zugewendet ist (Längsschnitt auf Taf. X, Fig. 8; der linke Rand liegt scheidelwärts). In allen Fällen bilden diese Zellen einen ununterbrochenen, nur von der Epidermis und etwa noch einer oder wenigen Rindenzellschichten überzogenen Beleg, der im Querschnitt die Form einer Sichel oder eines Kreisringes zeigt. Einzeln betrachtet, haben dieselben allerdings nicht das Aussehen typischer Bastzellen, zum Theil schon wegen der geringeren Länge und der schwachen Verdickung der Membranen, hauptsächlich aber darum nicht, weil die beiden Enden mit Parenchym in Verbindung stehen, welches die gewöhnliche prosenchymatische Zuspitzung nicht gestattet. Dessenungeachtet steht die Bastnatur dieser Zellen in den meisten Fällen ausser allem Zweifel; ihre Lumina sind lufthaltig (selten schwach chlorophyllführend), die Membranen überdiess durch longitudinale oder etwas linksschiefe Molecularreihen ausgezeichnet, denen bei *Maranta bicolor* und *Maranta spec.* die für Bast charakteristischen spaltenförmigen Poren entsprechen.

Aus der Stellung dieser mechanischen Elemente zur Axe des Organs geht unzweifelhaft hervor, dass sie nicht — wie diess sonst bei biegefesten Constructionen immer der Fall ist — in der Richtung ihrer Längenausdehnung vorzugsweise in Anspruch genommen werden. Die Drucklinien verlaufen im Gegentheil annähernd senkrecht zu dieser Richtung oder krenzen dieselbe doch wenigstens unter ziemlich starken Winkeln. Andererseits lehrt das Experiment, dass dieses eigenthümliche Gewebe einem rechtwinklig zur Längsaxe der Zellen gerichteten Zuge nicht lange zu widerstehen vermag, da die Zellen sich bald

seitlich von einander ablösen. Die ganze Einrichtung ist also vorzugsweise auf Druck construirt und unterscheidet sich überdiess von andern Constructionen aus Bast noch durch den Umstand, dass die Elasticität, d. h. das Federn des Apparates beim Biegen der Organe nicht bloss auf den physikalischen Eigenschaften der Membransubstanz, sondern nebenbei auch auf den Formveränderungen der dünnwandigen Zellen beruht (die zwar ebenfalls durch jene Eigenschaften bedingt sind, aber doch als besondere Momente unterschieden werden müssen).

Merkwürdig ist, dass der verdickte Endtheil des Blattstieles, bei welchem die besprochene Einrichtung sich in nahezu gleicher Mächtigkeit über die ganze Peripherie erstreckt, im Uebrigen augenscheinlich auf Zug construirt ist. Die Fibrovasalbündel bilden hier nämlich eine centrale Gruppe, deren Durchmesser stets kleiner ist, als im übrigen Blattstiel und z. B. bei *Maranta bicolor* nicht viel mehr als ein Drittel des Stieldurchmessers beträgt; überdiess sind die stärkeren Bastbelege der einzelnen Stränge nach innen gekehrt, wie wir diess weiterhin auch bei den zugfesten Rhizomen von *Typha*, *Scirpus Tabernaemontani* u. a. finden werden. Die Vermuthung liegt nahe, dass diese Eigenthümlichkeiten des Baues mit der heliotropischen Krümmungsfähigkeit des Blattstiels an dieser Stelle im Zusammenhang stehen; denn bekanntlich sind ja auch die Blattstielpolster der Mimosen und die entsprechenden Bewegungsorgane der Oxalisblätter etc. nach demselben Princip gebaut. Man begreift auch, dass starke und ziemlich rasch eintretende Krümmungen (in Folge von grösserer Turgescenz oder von stärkerem Wachsthum des Parenchyms auf der einen Seite) bei biegungsfesten Constructionen aus Bast nicht wohl möglich sind; sie könnten hier nur durch andauernde Spannungsunterschiede, die sich immer wieder in Wachsthum umsetzen, allmählig zu Stande kommen. Die Pflanze construirt daher ihre beweglichen Organe mittelst zugfester axiler Stränge und druckfester peripherischer Hüllen, wozu in unserem Falle ausnahmsweise auch spezifisch mechanische Zellen, aber in ganz eigenthümlicher Anordnung, verwendet wurden.

III. Die mechanischen Einrichtungen zur Erhaltung der Querschnittsform.

Im Vorhergehenden wurde die stillschweigende Voraussetzung gemacht, dass die peripherischen Träger und deren Constructionstheile, welche das Gerüste biegungsfester Organe bilden, durch irgend welche Gewebe unter sich dergestalt verbunden seien, dass ihre gegenseitige Lage durch seitlich wirkende Kräfte keine wesentliche Veränderung erfährt. Diese Voraussetzung war gestattet, denn sie entspricht der Wirklichkeit. Es gewährt nun aber ein besonderes Interesse, den Mitteln nachzuspüren, welche die Natur zur Herstellung der fraglichen Verbindungen oder Querverspannungen in Anwendung bringt. Wir werden auch hier einer gewissen Mannigfaltigkeit begegnen, die sich zwar

3. Die mechanischen Systeme zur Herstellung der erforderlichen Biegefestigkeit. 55

nicht mit dem Reichthum der Querschnittsformen messen kann, aber doch manche nennenswerthen Einzelheiten mit sich bringt.

1. Verhalten des Parenchyms.

Was zunächst die zusammenhängenden parenchymatischen Gewebe der Rinde und des Markes im Allgemeinen betrifft, so leuchtet ein, dass dieselben im Zustande der Turgescenz einen bedeutenden Widerstand gegen Druck darbieten und folglich eine Verschiebung der eingebetteten mechanischen Elemente nicht gestatten. Diese Gewebe stellen alsdann nicht bloss die erforderlichen (freilich nur auf Druck construirten) Querverbindungen her, sondern sie dienen auch zur Aussteifung des Systems und verhüten dadurch ein allzu frühes Einknicken der Wände. Dagegen ist der Widerstand gegen Zug in den meisten Fällen, zumal bei dünnwandigen Geweben, ein äusserst geringer.

Auch die luftführenden, des Turgors entbehrenden Zellen, wie sie namentlich im Marke häufig vorkommen, besitzen eine nicht zu vernachlässigende Widerstandsfähigkeit, und wenn die Wände, wie es hin und wieder der Fall ist, an mechanisch wichtigen Stellen mehr oder weniger verdickt sind, so dürfen wir diess getrost als eine Concession zu Gunsten des mechanischen Systems betrachten. Solche Verdickungen kommen übrigens nicht bloss in abgestorbenen, sondern auch in lebensfrischen, saftführenden Geweben vor. Man findet sie beispielsweise 1) bei Stengeln, deren peripherische Träger mit Luftgängen alterniren, im Parenchym innerhalb dieser Luftgänge, einerseits um dadurch die Tangentialverbindungen zwischen den inneren Trägerhälften zu verstärken, andererseits zur Erhöhung der Festigkeit überhaupt (*Kobresia caricina*, Taf. 1, 6, *Schoenus nigricans* u. a.); 2) beim 19. Typus der Stammorgane (*Luzula* und einige *Juncus*-Arten) an den Stellen, wo die anderwärts vorkommende tangential Bastverbindung unterbrochen ist; ferner als Beleg auf der Innenseite continuirlicher Bastverbindungen zur Verstärkung derselben; 3) bei dem System des einfachen Hohlcyinders als Bekleidung der inneren Cylinderfläche, zuweilen unter Verwischung der Grenze zwischen Bast und Parenchym; 4) bei den Trägern der Gramineenblätter in jenem eigenthümlichen Parenchym, welches sich zwischen Mestom und Bast einschleibt, wenn der letztere den Raum zwischen Epidermis und Mestom nicht mehr ganz ausfüllt (Taf. X, 1).

Von allen diesen Zellen dürfen wir annehmen, dass sie in erster Linie, wenigstens ursprünglich, ernährungsphysiologischen Zwecken dienen und folglich in mechanischer Hinsicht eine secundäre Rolle spielen. Viele derselben führen auch im ausgebildeten Zustande Stärke, andere wässerigen Zellsaft, collenchymatisch verdickte hin und wieder auch Chlorophyll.

Wo die radialen oder tangentialen Verbindungen zwischen den isolirten Trägern durch grünes Parenchym hergestellt sind, beobachtet man da und dort eine Anordnung der Zellen, welche ungefähr den Linien des grössten Druckes entspricht. Sind auch die Curven nicht scharf genug ausgeprägt, um Anhalts-

punkte zu mathematischen Betrachtungen zu liefern, so treten sie doch in manchen Fällen in so angefalliger Weise hervor, dass über die Bedeutung derselben im Allgemeinen kaum ein Zweifel möglich ist. Solche Fälle habe ich bis dahin bei folgenden Pflanzen beobachtet: 1) bei *Juncus glaucus*, *J. paniculatus* und *J. acutus* im grünen Rindengewebe zwischen den subepidermalen Rippen (Taf. IX, 7; V, 2; Curven durch Punkte oder durch die Schraffurung angedeutet); desgleichen bei *Scirpus Duvalii* (Taf. IV, 3) in der grünen Rinde zwischen den subepidermalen Rippen und den tiefer liegenden Gefässbündeln (in der Figur unendlich); 2) bei *Gynerium argenteum* im grünen Parenchym zwischen den I-förmigen Trägern der Blätter (Taf. IX, 1 und X, 1; in letzterer Figur ist der Verlauf der Curven durch punctirte Linien angegeben). Die genannten Beispiele beziehen sich sämtlich auf Querschnittsansichten. Auf Längsschnitten können entsprechende Curvenbildungen nicht wohl stattfinden, da das intercalare Längenwachsthum und die damit verbundene Reihenbildung alle andern Einflüsse total verwischt.

Um die Bedeutung der in Rede stehenden Curven auch für Diejenigen klar zu machen, welche mit Druck- und Zuglinien in gewölbeartigen Constructionen nicht näher vertraut sind, mag hier die Erläuterung eines beliebigen hieher gehörigen Falles am Platze sein. Jedermann begreift, dass eine an den Enden befestigte Kette (Fig. 8), welche in der Mitte mit einem Gewicht P belastet



Fig. 8.

ist, ungefähr die in der Figur dargestellte Form annehmen wird. Die Krümmung wird im Wesentlichen dieselbe bleiben, wenn wir die kurzgliedrige Kette durch eine Verbindung von Stangen ersetzen, von denen jede einzelne mit der benachbarten beweglich verbunden ist. Die einzelnen Stangen wirken alsdann, wie vorher die entsprechenden Kettenstücke, mit ihrem eigenen kleinen Gewicht p auf das ganze System, wobei wir voraussetzen, p sei kleiner als P . Denken wir uns jetzt diese Stangenverbindung um 180° gedreht, dergestalt, dass das Gewicht P senkrecht über die Verbindungslinie der fixen Befestigungspunkte zu liegen kommt (Fig. 9 innere Curve), so befindet sich das System auch in dieser Lage im Gleichgewichtsstande; nur ist das Gleichgewicht jetzt ein labiles, während es vorher ein stabiles war. Die Stangenverbindung stellt uns nun die Drucklinie eines Gewölbes dar, in dessen Fugenflächen, sofern sie rechtwinklig zu jener Linie stehen, unter den vorausgesetzten Belastungsverhältnissen keine

punkte zu liegen kommt (Fig. 9 innere Curve), so befindet sich das System auch in dieser Lage im Gleichgewichtsstande; nur ist das Gleichgewicht jetzt ein labiles, während es vorher ein stabiles war. Die Stangenverbindung stellt uns nun die Drucklinie eines Gewölbes dar, in dessen Fugenflächen, sofern sie rechtwinklig zu jener Linie stehen, unter den vorausgesetzten Belastungsverhältnissen keine

3. Die mechanischen Systeme zur Herstellung der erforderlichen Biegefestigkeit. 87

andern Kräfte zur Wirkung kommen, als solche, welche mit der Drucklinie zusammenfallen. Mit andern Worten: Gewölbsteine von entsprechendem Gewicht und in der angegebenen Weise zusammengefügt, haben keine Neigung, sich in den Fugen zu verschieben, weil der gegenseitige Druck auf diese letztern rechtwinklig wirkt.

Denken wir uns jetzt zwei oder mehrere solcher Gewölbe über einander gestellt (in unserer Figur sind zwei angenommen), so erhalten wir ähnliche Curven, wie in den oben bezeichneten Geweben; auch ist in der That die Bedeutung derselben in beiden Fällen die nämliche. Die Bastrippen der genannten *Juncus*-Arten, welche beim Biegen des Stengels den stärksten radialen Druck auf die inneren Träger ausüben, entsprechen dem Gewicht P , die zwischenliegenden Stellen

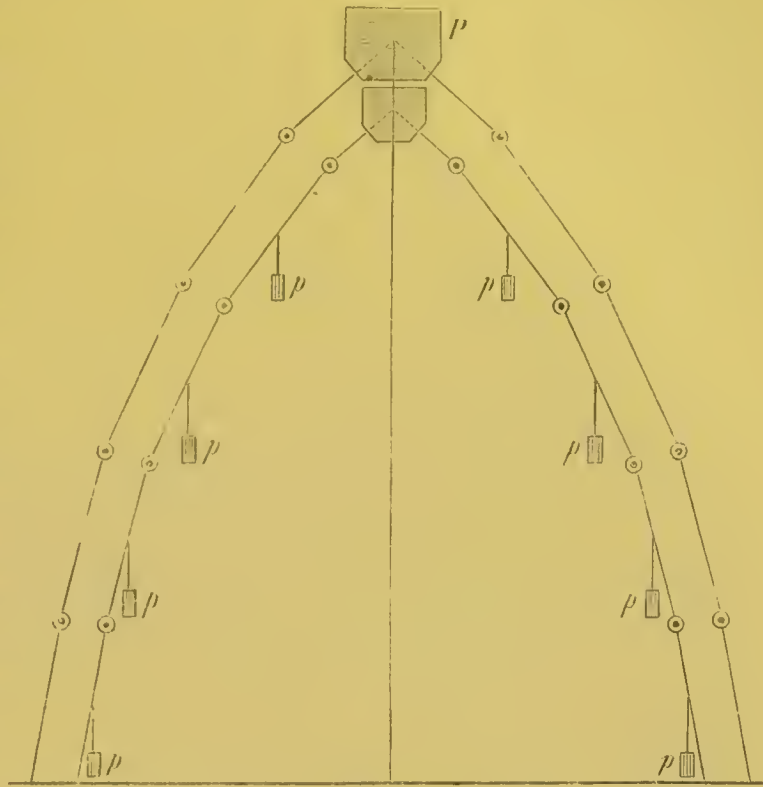


Fig. 9.

den kleinen Gewichten p ; die einzelnen grünen Zellen sind die Elemente des Gewölbes. Da diese letzteren in der Richtung des grössten Druckes, also parallel den Drucklinien, am meisten in Anspruch genommen sind, so ist es mechanisch zweckmässig, dass sie in dieser Richtung die grösste Widerstandsfähigkeit besitzen. Diess wird in den vorliegenden Fällen dadurch erreicht, dass die Zellen in der fraglichen Richtung verlängert sind und folglich pro Flächeneinheit eine grössere Zahl von stützenden Membranen aufweisen, als in irgend einer andern Richtung. Jede einzelne Zellreihe entspricht also gewissermaassen einer Verbindung von Stangen, wie wir sie vorhin vorausgesetzt haben. Demgemäss können luftführende Räume nur zwischen den Reihen, aber nicht zwischen den kleinen Berührungsflächen der einzelnen Glieder zur Ausbildung kommen.

In ähnlicher Weise sind auch die Curven zwischen den Trägern der *Gynerium*-Blätter zu erklären. Hier beobachtet man überdiess auch auf Längsschnitten deutliche Drucklinien, nämlich quer verlaufende Zellreihen oder vielmehr Reihen von Zwischenzellräumen, welche bei schwacher Vergrösserung eine deutliche Querstreifung bedingen. Ebenso bei *Erianthus Ravennae*. Die einzelnen chlorophyllführenden Zellen sind zwar in beiden Fällen in der Längsrichtung, die grösseren luftführenden Räume dagegen, zumal diejenigen an den obern und untern Grenzflächen, constant in der Querrichtung verlängert und in

dieser Richtung in Reihen geordnet. Räumlich genommen, verlaufen allerdings die kleineren Zwischenzellräume gürtelförmig um die Zellen herum; sie bilden im Querschnitt ein zusammenhängendes Maschenwerk und gewähren eben deshalb in jeder beliebigen Längsansicht ungefähr dasselbe Bild. Die Thatsache jedoch, dass sie sich in horizontale Schichten ordnen, welche mit ununterbrochenen Membranverbänden alterniren, erleidet dadurch keinerlei Einschränkung, und darin gerade liegt das mechanische Moment¹⁾. Für die Verstrebung der Träger in tangentialer Richtung wäre manche andere Anordnung der Interstitien mechanisch ungefähr gleichwertig: zur Herstellung der grösstmöglichen Festigkeit nach den verschiedenen Richtungen der Querschnittsebene eignen sich aber unbedingt durchgehende horizontale Platten am besten.

Ein weiteres Beispiel für die Verlängerung grüner Zellen in der Richtung des grössten Druckes liefert *Papyrus Antiquorum*. Die kleinen in der Rinde verlaufenden Mestomstränge sind hier von einem Kranz grüner Zellen eingeschlossen, welche in radialer Richtung gestreckt sind und mit ihren Aussenflächen den Druck der Oberhaut oder den Gegendruck ähnlicher Zellen aufnehmen, die zu benachbarten Bündeln gehören (Taf. III, Fig. 1).

In den farblosen Geweben der inneren Rinde, des Markes etc., die sich in der Regel durch etwas grössere Festigkeit auszeichnen, habe ich die fragliche Reihenbildung bis dahin nur selten und meist nur andeutungsweise beobachtet. Dennoch möchte ich einige Vorkommnisse, die offenbar in diese Kategorie gehören, nicht mit Stillschweigen übergehen. Ich rechne hier zunächst die in der Querriechung gestreckten Zellen in den Scheidewänden zwischen den grössern Luftkanälen von *Papyrus*, sodann die Anordnung dieser Scheidewände selbst, zumal im peripherischen Theil des Markes. Der Querschnitt zeigt nämlich, dass diese Wände zwischen der Rinde und den tiefer liegenden Gefässbündeln mehr oder weniger strahlenförmig, wenn auch in Zickzacklinien, gegen diese letztern convergiren (Taf. II, Fig. 1; die Convergenz tritt nicht selten noch deutlicher hervor als in der Figur), ein Fingerzeig, dass sie hier eine festere Stütze haben als im lockern Markgewebe. Man beobachtet ähnliche Erscheinungen noch da und dort bei wasserliebenden, von Luftgängen durchzogenen Pflanzen, so z. B. bei *Acorus Calamus* und verschiedenen Cyperus-Arten. In zweiter Linie mache ich auf die Anordnung der farblosen Rindenzellen bei dem auf Taf. III, Fig. 3 dargestellten Stengel von *Juncus glaucus* aufmerksam. Die Zellen sind hier in der Richtung der punctirten Linien merklich verlängert und in deutliche Reihen gestellt.

¹⁾ Um sich ein richtiges, wenn auch schematisches Bild von dieser Anordnung zu machen, denke man sich eine beliebige Zahl sechskantiger Prismen und auf jeder Seitenfläche derselben einen rinnenförmigen, quer gestellten Einschnitt in der Mitte zwischen den beiden Endkanten. Fügt man jetzt die Prismen nach Art der Zellen zusammen, so entsprechen sie einer horizontalen Zellschicht mit ihrem Netzwerk von Zwischenzellräumen. Die Verbindung zwischen den übereinander liegenden Lagen dieser Intercellularen wird nur durch die Athemhöhlen hergestellt.

2. Die Fächerung der Luftkanäle durch Diaphragmen und die Mestomanastomosen.

Die grossen Luftgänge, welche bei *Scirpus lacustris*, *Papyrus Antiquorum*, *Juncus glaucus* etc. den Stengel durchziehen, und welche in ähnlicher Weise auch bei andern Wasserpflanzen vorkommen, sind in kleineren oder grösseren Abständen durch Diaphragmen unterbrochen, welche gewöhnlich quer, zuweilen aber auch etwas schief gestellt sind. Bei *Scirpus lacustris* und *Juncus glaucus* stehen dieselben etwa 5 bis 10 Millimeter von einander ab, bei *Papyrus* etwa 10 bis 20 Millimeter und darüber. Zunächst der Peripherie sind die Abstände meist etwas geringer, bei *Scirpus* oft nur halb so gross als im mittleren Theil des Markes. Jeder Luftkanal hat gewöhnlich seine besondern Querwände, die höchstens zufällig mit benachbarten zusammenstossen; nur bei *Papyrus* durchsetzt die nämliche, meist etwas schief verlaufende Wand 5 bis 10 verschiedene Luftkanäle, und die nächstfolgenden Wände sind seitlich so verschoben, dass sie nur einen Theil dieser Luftkanäle treffen, dafür aber mehrere neue in die Verbindung aufnehmen. Auf diese Weise erhält das ganze Maschenwerk des Markes von Zeit zu Zeit die erforderliche Querverspannung.

Dass diese Einrichtung eine spezifisch-mechanische ist, liegt auf der Hand. Wendet man doch heutzutage in der Architectur ganz ähnliche Constructionen an, um beispielsweise hohlen schmiedeeisernen Pfeilern die nöthige Festigkeit zu geben. Will man indessen noch einen sprechenderen Beleg für die mechanische Bedeutung der Diaphragmen, so findet man denselben in den Mestomanastomosen, welche die Diaphragmen zwar nicht immer, aber doch jedenfalls sehr häufig begleiten. Diese Mestomanastomosen sind kleine Gefässbündel, bestehend aus mehr oder weniger langgestreckten, zum Theil etwas dickwandigen Zellen und aus kleinen ring- oder netzartig, selten porös verdickten Gefässen, die je nach der Stärke des Bündels in kleinerer oder grösserer Zahl sich vorfinden. Sie gehen stets vom Mestom irgend eines Trägers aus, verlaufen im Innern der Diaphragmen und setzen sich wieder nur mit dem Mestom benachbarter Träger in Verbindung. Es sind also Verspannungen zwischen Mestom und durch Mestom. Oft sind dieselben gabelig verzweigt und anastomosiren in gleicher Höhe mit 4 bis 6 verschiedenen Trägern, wobei sehr verschiedengestaltige Figuren zu Stande kommen. Man vergleiche mit Bezug auf diese Verhältnisse die Querschnitte Taf. IX, Fig. 8—14, wo diese Anastomosen durchgehends durch quer schraffierte oder punctirte Linien angedeutet sind, dergleichen die Figuren Taf. II, 1 und Taf. XII, 6.

Die Träger, welche durch diese Anastomosen fester gekoppelt werden, gehören bei Stammorganen mit markständigen Gefässbündeln nicht bloss dem peripherischen System an, sondern vertheilen sich zuweilen über die ganze Querschnittsfläche, so z. B. bei *Scirpus lacustris* und *Papyrus*. In diesem Falle ist das Vorkommen von Bastbelegen auch bei den inneren Bündeln mechanisch gerechtfertigt, indem die Anheftungsstellen der Anastomosen den seitlich wirken-

den Kräften gegenüber sonst leicht zu schwach sein könnten. Um die Rolle solcher Verspannungen, welche das Centrum mit der Peripherie verbinden (vgl. Taf. IX, Fig. 11 und 12), wenigstens in der Hauptsache zu verstehen, genügt die Erwägung, dass bei der Krümmung eines cylindrischen Stengels der kreisförmige Querschnitt desselben die Neigung hat, elliptisch zu werden, und folglich die radialen Verstrebungen je nach ihrer Lage auf Druck oder auf Zug in Anspruch nimmt.

Für eine peripherische Trägerphalanx, wie sie bei *Juncus glaucus*, *conglomeratus* etc. vorkommt, ist die Wirkungsweise der vorhandenen Anastomosen an und für sich klar. Das von Luftkanälen durchzogene und dadurch geschwächte Parenchym bedarf offenbar der Unterstützung durch besondere Vorrichtungen, um die Gefässbündel in ihrer gegenseitigen Lage erhalten zu können. Die Anastomosen spielen hier dieselbe Rolle, wie die eisernen Constructions-theile (Zugstangen u. dgl.) bei hölzernen Brücken oder Daehstühlen. Wir sehen sie desshalb bald schief-radial, bald tangential oder auch in Gestalt von Y-förmigen Gabelungen zwischen den Mestomsträngen ausgespannt (man vergleiche die Anordnung der Mestomstränge auf Taf. II, Fig. 2, 3 und Taf. III, Fig. 3).

Besonders häufig kommen die Mestomanastomosen in den Blättern vor. Man braucht nur einen Blick auf die durch Naturselbstdruck erhaltenen Abbildungen zu werfen, um sich hiervon zu überzeugen, obgleich das auf diesem Wege erhaltene Bild der anastomosirenden Rippen ein höchst unvollständiges ist. Denn es ist klar, dass beim Naturselbstdruck nur die tangential verlaufenden Querverbindungen deutlich hervortreten und dass auch für diese die Lage zu andern Blattnerven erst durch genaue mikroskopische Untersuchung bestimmt werden muss. Diese Beziehung zu andern Bündeln ist aber für unsere Betrachtung das wichtigste Moment. Uebrigens lässt sich in den meisten Fällen, da ja das mechanische System des Blattes im Allgemeinen aus I-förmigen Trägern besteht, zwischen denen nicht selten Luftkanäle oder luftführende Gewebestränge liegen, mit ziemlicher Sicherheit zum Voraus bestimmen, wie die Mestomanastomosen verlaufen werden. Sind z. B. die Gurtungen eines Trägers unter sich durch Mestom oder starke Parenchymplatten hinlänglich fest verbunden, so hätte eine Querverstrebung von Gurtung zu Gurtung keinen Zweck und kommt daher in solchen Fällen auch nicht vor: die Anastomosen gehen alsdann höchstens von Träger zu Träger, bald in der Nähe der Oberfläche zur Verbindung der Gurtungen, was zur Steigerung der Biegefestigkeit am meisten beiträgt, bald aber auch tiefer im Innern, wobei in erster Linie die Festigkeit gegen Abscheeren Berücksichtigung findet (Taf. IX, 4 und Taf. XII, 6). Sind dagegen die Träger sehr leicht gebaut und grossentheils parenchymatisch, wie z. B. bei *Typha* oder im Blattstiel von *Musa*, *Strelitzia* etc., so verlaufen die anastomosirenden Bündel sowohl parallel mit der Oberfläche, als rechtwinklig zu derselben (Taf. IX, 8—10, 13), weil eine Verstärkung nach beiden Richtungen augenscheinlich gleich nothwendig ist.

3. Die mechanischen Systeme zur Herstellung der erforderlichen Biegefestigkeit. 91

Es war vorzugsweise das Studium dieser Verhältnisse, welches mich über alle Zweifel in Betreff der Function der fraglichen Anastomosen hinwegsetzte. Ich hatte anfänglich an die Möglichkeit gedacht, dieselben möchten in erster Linie etwa bloss den Säfte- oder Luftaustausch zu vermitteln haben und nur nebenbei zur Verstärkung des mechanischen Systems dienen. Allein die Wahrnehmung, dass diese Verbindungsstränge fehlen, sobald die Parenchymfüllungen eine grössere Festigkeit zeigen, dass z. B. *Cyperus vegetus Willd.* derselben gänzlich entbehrt, während sie bei *Cyperus alternifolius* hin und wieder, bei dem schwammig gebanten *Papyrus Antiquorum* häufig vorkommen, dann die weitere Beobachtung, dass die Lage dieser Mestomverbindungen sich nach den mechanischen Anforderungen richtet, indem dieselben nach der Oberfläche streben, wenn es sich um Erhöhung der Biegefestigkeit handelt, nach der Mitte dagegen, wenn der Widerstand gegen Abscheerung gesteigert werden soll, wie z. B. bei den Palmblättern — das Alles zusammen genommen drängte die Bedenken gegen die mechanische Deutung der Mestomanastomosen zurück. Ich füge noch bei, dass auch die Zahl und Widerstandsfähigkeit derselben je nach Bedürfniss variirt. Die stärksten Anastomosen habe ich in den Blättern von *Sabal Adansonii*, *Livistona sinensis* und einigen Maranta-Arten beobachtet. Hier bestehen sie ausnahmsweise nicht bloss aus Mestom, sondern zum Theil und oft sogar vorwiegend aus Bast, wobei die Bastzellen in der Richtung des ganzen Bündels gestreckt und dabei stark verdickt sind. Die genannten Fälle, wie überhaupt die meisten Querverbindungen in Blättern, gehören indess, streng genommen, nicht hieher, da sie offenbar in erster Linie der Abscheerung parallel den Hauptnerven, nicht der Biegung, widerstehen sollen.

Zum Schlusse sei noch erwähnt, dass bei *Hedychiu Gardnerianum* in dem von Blattseiden umhüllten Stengel noch tief im Innern des Markes Anastomosen vorkommen, deren Bedeutung mir bis dahin unklar geblieben ist. Die Pflanze hat überhaupt sehr zahlreiche Mestomverbindungen; doch sind diejenigen der Blattseiden offenbar nach mechanischen Principien angeordnet. Möglich, dass im Marke irgend eine Nebenfunction der Anastomosen, wie z. B. die Vermittlung des Luftaustausches, ihr Vorkommen rechtfertigt.

3. Die Aussteifung der Luftgänge durch Filzgewebe.

Bekanntlich sind die Luftgänge verschiedener Cyperaceen und anderer wasserliebender Gewächse mit einem zarten Gebälke fadenförmiger, verzweigter Zellen ausgefüllt, das namentlich bei einigen Scirpus-Arten (*Sc. lacustris*, *maritimus* u. a.) ein überaus zierliches Bild gewährt. Diese verzweigten Zellfäden sind gewöhnlich vorwiegend in der Querriichtung ausgespannt; doch laufen manche derselben auch schief, ungerechnet die anastomosirenden Verästlungen, welche nach allen möglichen Richtungen abgehen. Ein Fall dieser letzteren Art ist auf Taf. X, Fig. 9 dargestellt. Die meisten der Fasern, aus welchen dieses Gebälke besteht, befinden sich im lebenden Stengel in gespanntem Zu-

stande: sie verhalten sich also wie ein Netzwerk gespannter Schnüre. Bei einigen verräth sogar die äussere Form und die Faltung der Oberfläche das Bestehen dieser Spannung und ihren Einfluss auf den Gestaltungsprocess. In Fig. 10 auf Taf. IX ist z. B. ein Stück einer langgestreckten Zelle abgebildet, welche ganz die Form einer über der Flaume ausgezogenen Glasröhre zeigt. Das Lumen ist im mittleren Theil bis auf wenige kleine Reste vollständig verschwunden; nur die Enden deuten noch die früheren Dimensionsverhältnisse an. Selbstverständlich sind solche Vorkommnisse nicht als directe Wirkungen des Zuges, sondern als Resultat eines unter bestimmten Spannungsverhältnissen erfolgten Wachstums zu betrachten. Auch die Spannung selbst ist nicht etwa bloss durch Krümmungen des Stengels momentan hervorgebracht, sondern im stärkeren Wachsthum der umgebenden Gewebe begründet und folglich bleibend in jedem Augenblick wirksam.

Ich möchte nun nicht behaupten, dass dieses zarte Gebälke von Zellfäden ein spezifisch-mechanisches Gebilde sei, weil mir hiefür die erforderlichen Anhaltspunkte fehlen; aber es lässt sich dessenungeachtet nicht in Abrede stellen, dass diese Zellfäden die Straffheit der Parenchymplatten in ähnlicher Weise erhöhen, wie etwa eine Steigerung der Turgescenz in den Parenchymzellen selbst. Die mechanische Bedeutung des Filzgewebes unterliegt also keinem Zweifel. Zweifelhaft ist nur, ob es daneben noch eine andere, vielleicht wichtigere Function hat.

Eine ähnliche Rolle, wie das im Vorhergehenden besprochene Fasergebälke, spielt auch das aus sternförmigen Zellen bestehende Schwammgewebe, wie es z. B. bei *Juncus conglomeratus* und dessen Verwandten im Mark, bei *Cyperus Monti* L. in den peripherischen Luftgängen vorkommt. Die Zellformen und die Faltungen der Membran deuten auch hier auf einen stetig wirkenden Zug.

4. Die Knoten der Gramineen.

Nur wenige Monocotylen haben Knoten in dem hier zu besprechenden Sinne. Ich zähle hieher nur diejenigen Insertionsstellen der Blätter, an welchen unabhängig von den Gabelungen und Verschmelzungen der Blattspuren zahlreiche Mestomanastomosen vorkommen, welche die sämtlichen Gefässbündel des Stammes sowohl in radialer wie tangentialer Richtung verbinden und dadurch die Festigkeit des mechanischen Systems erhöhen. Wo solche Querverspannungen in hohlen Stengeln anftreten, wie bei den Gramineen, sind dieselben in starke Diaphragmen eingebettet; im entgegengesetzten Falle verlaufen sie durch das continuirliche Mark, so z. B. bei *Tradescantia*. Von den gewöhnlichen Diaphragmen sind die Knoten dadurch verschieden, dass in ihnen wegen des Eintrittes neuer Gefässbündel eine theilweise Verschiebung der peripherischen Träger stattfindet und dass sie zugleich den Befestigungsstellen seitlicher Organe entsprechen. Demgemäss ist jedes Internodium eines mit Knoten

3. Die mechanischen Systeme zur Herstellung der erforderlichen Biegefestigkeit. 93

versehenen Stengels als ein besonderes Stockwerk oder Glied des mechanischen Baues zu betrachten.

Die Knoten der Gramineen haben übrigens noch eine besondere Bedeutung, welche mit dem anatomischen Begriff eines Knotens nicht nothwendig verbunden ist: sie sind in ausgezeichnetem Grade der geotropischen Krümmung fähig. Damit hängen einige weitere Eigenthümlichkeiten des Baues zusammen, deren spezielle Betrachtung zwar nicht hieher gehört, die ich aber doch mit einigen Worten erwähnen will, da sie neben der dynamischen auch eine statische Rolle spielen. Der Halm wird an der Stelle, wo die Scheide sich wulstartig verdickt, um das sogenannte Gelenkpolster zu bilden, beträchtlich dünner; er contrahirt sich z. B. bei *Poa pratensis* ungefähr im Verhältniss von 5 zu 3 (Taf. X, 2—4). Dieselbe Contraction, ja eher noch eine stärkere, erfahren auch die Gefässbündel, deren Basthüllen überdiess eine unverkennbare Aehnlichkeit mit denjenigen der Rhizome zeigen. Die starken Bastrippen der Blatt-scheiden werden an dieser Stelle noch viel stärker, nehmen aber zugleich einen mehr collenchymatischen Character an, was namentlich auf Längsschnitten un-gemein deutlich hervortritt (Taf. X, 4). Der normale (wenn auch kurzcellige) Bast hört da, wo die polsterförmige Verdickung beginnt, plötzlich auf; einzelne Zellen springen mit ihren zugespitzten Enden zackenförmig in den weicheren collenchymatischen Theil vor, welcher letztere schon vermöge seiner helleren Färbung sich scharf vom eigentlichen Baste abhebt. Dazu kommt, dass die in der Blattscheide verlaufenden Gefässbündel an dieser Stelle nur Spiral- und Ringgefässe enthalten, welche der Streckung des Gewebes keinen erheblichen Widerstand entgegensetzen.

Das volle Verständniss dieses Baues setzt die Kenntniss der zugfesten Organe voraus, welche erst im folgenden Capitel besprochen werden können. Diess berücksichtigend, beschränke ich mich hier auf nachstehende kurze Characteristik. Der wulstförmig verdickte Basaltheil der Scheide (Gelenkpolster) ist biegefest und zugleich streckungsfähig construirt, daher die Verwendung collenchymatischer Zellen für die einzelnen Constructionstheile¹⁾ und die starke Entwicklung des mechanisch activen Parenchym. Der eingeschlossene Basaltheil des Internodiums dagegen ist zugfest (zumal im Verhältniss zum Ganzen) und dabei streckungsunfähig; er wird bei der geotropischen Krümmung bloss auf die Seite gedrückt. Der cambiale Theil der Internodien, welcher den intercalaren Aufbau vermittelt, liegt merklich höher (etwa 1,5 bis 2 Millimeter und darüber); die Scheide ist an dieser Stelle nicht streckungsfähig, sie bildet daher eine starre und relativ feste Hülle um den schwachen Halm.

Die Knoten der Gramineen erfüllen demnach einen doppelten Zweck. Die

¹⁾ Da der collenchymatische Bast schwächer ist, als der normale, so ist die Querschnittsfläche desselben entsprechend grösser, bei *Poa pratensis* z. B. zwei bis drei mal so gross. Auf 1000 Cent. Durchmesser erhielt ich in einem bestimmten Falle für die Bastrippen der Scheide unmittelbar über dem Knoten 80,000 \square Centimeter, für den collenchymatischen Bast dagegen über 200,000 \square Cent.

unterste Region dient wesentlich zur Aussteifung des mechanischen Systems; der gelenkartig angeschwollene Theil dagegen ist in erster Linie Bewegungsorgan und daher nach denselben Principien gebant, wie die Blattstielkissen von *Phaseolus*, *Mimosa* etc. oder auch wie die Blattstielenden von *Maranta*, von denen oben die Rede war.

Von den oben citirten Abbildungen stellt Taf. X, Fig. 2 einen Querschnitt durch den Knotenwulst, Fig. 3 einen solchen durch den cambialen Theil des Internodiums nebst Scheide dar. Die Bastrippen der letzteren sind hier sehr stark entwickelt, weil die Festigkeit des Stengels an dieser Stelle einzig und allein auf dem Widerstande der Scheide beruht. Der Längsschnitt Fig. 4 soll die Lage des Gelenkwulstes zum eigentlichen Knoten und die Dimensionsverhältnisse der verschiedenen Theile veranschaulichen.

IV. Die mechanischen Einrichtungen für den intercalaren Aufbau.

Es gibt unter den Stammorganen der Monocotylen solche, bei welchen die das Längenwachsthum bedingende Zellbildung auf die Scheitelregion und etwa noch die jüngern Internodien beschränkt ist. So z. B. bei den Palmen, *Draecanen*, *Pandaneen*, verschiedenen *Liliaceen* etc. Wo diess der Fall, geschieht der Aufbau einfach dadurch, dass die neuen Constructionstheile auf einen hinlänglich erstarkten Unterbau aufgesetzt werden, also im Wesentlichen auf gleiche Weise, wie etwa ein Thurm oder ein Brückenpfeiler von unten nach oben aufgeführt wird.

Andere Stammorgane, wie die Halme der *Gramineen* und *Cyperaceen*, verdanken dagegen ihre Längenzunahme zum grossen Theil intercalaren Wachsthumsercheinungen, welche ihren hauptsächlichsten Sitz im Basaltheil der Internodien haben. Die letzteren verharren bis zu einem gewissen Abstände vom zugehörigen Knoten oft noch lange Zeit, nachdem alle übrigen Theile bereits vollständig in Dauergewebe übergegangen, im cambialen Zustande; sie bleiben hier weich, chlorophyllfrei und in stetem Wachsthum begriffen, und ihre mechanische Widerstandsfähigkeit ist so zu sagen Null. Diese Verhältnisse hat schon *Moldenhauer* richtig erkannt und demgemäss den entsprechenden Theil des Internodiums als dessen »Wachsthumstreifen« bezeichnet. Derselbe liegt natürlich nicht im Knoten selbst, sondern etwas über demselben.

Wie verfährt nun aber die Natur, um mitten im mechanischen System ein solches Einschleiben zartwandiger Zellen und deren längeres Verharren im bildungsfähigen Zustande möglich zu machen, ohne die Festigkeit der Stammorgane zu beeinträchtigen? Jedermann weiss, dass das gewöhnlichste Mittel zur Ueberwindung dieser Schwierigkeit in der Entwicklung von Blattseiden besteht, welche die schwächern Stellen des Stammes vollständig umhüllen und so die anstossenden festen Theile continüirlich verbinden. Zu diesem Behufe sind aber auch die Blattseiden, sofern sie nicht zu mehreren übereinander liegen, besonders angepasst, indem sie jeweilen über den Knoten beträchtlich

3. Die mechanischen Systeme zur Herstellung der erforderlichen Biegefestigkeit. 95

stärker gebaut sind als weiter nach oben. Diess tritt namentlich bei Gramineen sehr deutlich hervor. Man vergleiche z. B., um für diese Verstärkung einen Maassstab zu erhalten, den Querschnitt durch eine Scheide in der Mitte des Internodiums mit demjenigen über dem Knoten; man wird finden, dass die Bastrippen hier mindestens um die Hälfte grösser sind. Beim Biegen der Halme kann man sich auch leicht überzeugen, dass die gefährliche Stelle in der That hinreichend geschützt ist.

Bei Stammorganen mit verlängerten Scheiden, wie z. B. bei *Musa*, *Hedychium*, *Typha* u. a. ist eine solche Verstärkung weniger nothwendig, weil hier die schwächeren Stellen des Stammes durch eine entsprechend grössere Zahl von Scheiden geschützt sind. Auch bei manchen *Carex*-Arten und andern Cyperaceen, deren nackter Blüthenschaft am untern Ende lange Zeit wachstumsfähig bleibt, steckt dieser Theil in einer hinreichend festen Umhüllung. In der Hochblattregion dagegen, wo ein localisirter intercalärer Aufbau nicht stattfindet, sind auch die entsprechenden Blattgebilde scheidenlos.

Weniger ausgiebig, als die Umhüllung durch Blattscheiden, wirkt die stärkere Verdickung der Internodien nach unten hin, d. h. nach der Region des stärkeren intercalären Wachstums. Wir finden eine solche Dickenzunahme beispielsweise bei *Tradescantia erecta*, wo der Durchmesser eines mittleren Internodiums über dem untern Knoten 9 Millimeter, unter dem obern nur 5 Mill. betrug. Die Internodien haben also die Form eines abgestumpften Kegels, und die Beobachtung zeigt, dass der Querschnitt nach oben ungefähr in gleichem Verhältniss kleiner wird, als die Festigkeit der Gewebe zunimmt. Genauere Messungen über den Verlauf des intercalären Wachstums in den Internodien, womit die Festigkeit voraussichtlich im Zusammenhange steht, habe ich allerdings nicht angestellt.

Endlich kommt in der angeregten Frage auch noch das Collenchym in Betracht. Diese Gewebeform ist bei Monocotylen nicht gerade häufig, und *Tradescantia* ist (nebst den schlingenden Dioscoreen) das einzige mir bekannte Beispiel, wo dieselbe neben typischem Bast in ausgeprägter Weise vertreten ist, während diess bei Dicotylen zu den gewöhnlichen Vorkommnissen gehört. Das Collenchym bildet bei *Tradescantia* (und ebenso bei *Dioscorea* und *Tamus*) subepidermale Platten, zwischen denen das grüne Parenchym bis zur Epidermis vorspringt; die Spaltöffnungen finden sich nur an diesen Stellen. Wie bei allen Pflanzen, welche dergleichen Collenchymplatten besitzen, entwickeln sich dieselben auch hier viel früher als der eigentliche Bast oder das Xylem; sie bilden in jungen, streckungsfähigen Internodien das Gerüste, welches denselben die nöthige Festigkeit verleiht, ohne ihr Wachstum zu verhindern, da es ja selbst wachstumsfähig ist. Diese Collenchymplatten sind nun im untern Theil der Internodien dicker und zugleich breiter, folglich beträchtlich fester als in der Nähe des obern Knotens, während hier allerdings der Bast merklich stärkere Wandungen besitzt und dieselben auch früher zu verdicken beginnt als im untern Theil. Das Collenchym stellt also offenbar ein vorläufiges Skelett dar, ein

Arbeitsgerüste, welches in unserem Falle auch späterhin das eigentliche mechanische System während der ganzen (einjährigen) Vegetationsperiode unterstützt, während es bei Dicotylen, wie weiter unten gezeigt werden soll, gewöhnlich schon beim Beginn des zweiten Vegetationsjahres durch Korkbildung abgeworfen wird. Die Pflanze entledigt sich ihres Arbeitsgerüsts, nachdem der eigentliche Bau die erforderliche Festigkeit erlangt hat.

In einzelnen Fällen, wie z. B. bei den Amaryllideengenera *Leucojum*, *Galanthus*, *Clivia*, *Amaryllis*, desgleichen bei *Trillium grandiflorum* und *Allium fistulosum* hat es bei der Ausbildung des Collenchyms oder eines collenchymatisch verdickten Parenchym mit Zwischenzellräumen für alle Theile des Blüthenschaftes sein Bewenden: die Pflanze erzeugt keinen Bast. Die genannten Amaryllideen sind aber zum Theil auch so schwach, dass sie nach dem Abblühen sich auf die Erde senken und in dieser Lage ihre Früchte reifen; so z. B. *Galanthus* und *Leucojum*. Andere werden vorzugsweise durch die Mitwirkung der Gewebespannung aufrecht erhalten.

V. Die Festigkeitsabnahme des mechanischen Systems in acropetaler Richtung.

Eine Construction, welche der Anforderung möglichst geringen Materialaufwandes entsprechen soll, muss in jedem Querschnitt die gleiche relative Festigkeit besitzen; kein Theil derselben darf von den in Betracht kommenden Kräften stärker in Anspruch genommen werden, als irgend ein anderer. Wir wollen uns nun die Frage stellen, in wie weit die auf Biegungsfestigkeit construirten Pflanzenorgane dieser Bedingung genügen.

Zur Orientirung in dieser Frage muss ich einige Sätze aus der Mechanik voranstellen. Es sei AB (Fig. 10) ein horizontaler Träger, der in A befestigt

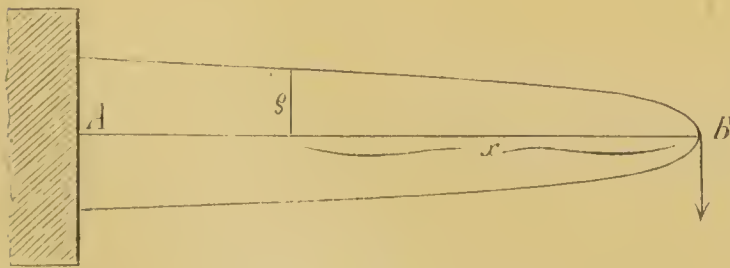


Fig. 10.

und in B belastet ist; der Querschnitt desselben ein Kreis mit veränderlichem Radius q , dessen Maximalwerth in A wir $= 1$ setzen; endlich der Abstand dieses Radius vom vorderen Ende $B = x$ und die Gesamtlänge $= l$: dann ist die Spannung der verschiede-

nen Querschnitte in Folge der Belastung in B durchgehends gleich gross unter der Bedingung, dass

$$q^3 = \frac{x}{l}, \text{ oder } q = \sqrt[3]{\frac{x}{l}}.$$

Ist z. B. die Gesamtlänge $l = 160$, so erhält man als zugehörige Werthe von x und q die folgenden Ziffern. Die Längeneinheit ist hierbei für x die-

3. Die mechanischen Systeme zur Herstellung der erforderlichen Biegefestigkeit. 97

selbe wie für l ; q ist in Bruchtheilen seines Maximalwerthes in A berechnet, welcher letztere von l unabhängig ist.

Werthe von x	1	10	20	40	60	80	100		
-	-	q	1,84	3,97	5	6,3	7,2	7,91	8,55

Trägt man die vorstehenden Ziffern als Abscissen und Ordinaten (letztere nach oben und unten) auf und setzt dabei $l = 160$ Mill. und den Maximalwerth von $q = 1$ Ctm., so erhält man die in Fig. 11 (aufrecht) dargestellte Curve. Denkt man sich den Scheitel derselben entfernt, so entspricht das übrig bleibende Stück annähernd einem abgestumpften Kegel, woraus hervorgeht, dass dieser letztere ungefähr die Form eines Trägers »von gleichem Widerstande« besitzt. Je geringer die Dicke im Verhältniss zur Gesamtlänge, desto kleiner fallen die Abweichungen aus.

Wenn ein solcher Träger von gleichem Widerstande und mit kreisförmigem Querschnitt horizontal eingespannt und durch eine am Ende wirkende Last gebogen wird, so ist die Linie, welche hierbei seine neutrale Axe beschreibt, eine Curve, deren Krümmungshalbmesser in A (Fig. 10) am grössten und in B am kleinsten ist. Bezeichnet man mit C eine Constante, welche von der Grösse der Last und der Natur des Materials abhängt, so berechnen sich die Krümmungsradien für die Abscissen 20, 40, 60 und 100 annähernd zu 31, 39, 44 und 53 mal C . Man begreift nun leicht, dass die fragliche Curve sich um so mehr der Kreisform nähern wird, je schlanker der Träger gebaut ist, d. h. je kleiner die Dickenunterschiede auf eine gegebene Länge. Und wenn umgekehrt ein schlanker Träger oder ein Trägersystem mit kreisförmigem Querschnitt, wie sie bei den Pflanzen häufig vorkommen, sich annähernd nach einem Kreisbogen krümmt, jedoch nach der Spitze hin eher etwas stärker, so dürfen wir annehmen, dass das betreffende Organ die Eigenschaften eines Körpers von nahezu gleichem Widerstande besitze¹⁾.

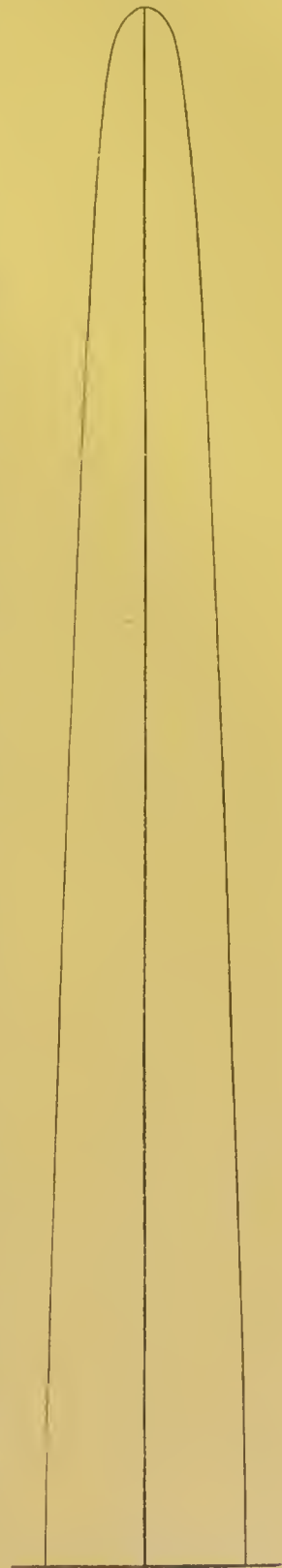


Fig. 11.

¹⁾ Für die genaue Kreisform der elastischen Linie gibt die Mechanik unter obigen Voraussetzungen die Formel

$$q^4 = \frac{x}{l}, \text{ oder } q = \sqrt[4]{\frac{x}{l}}$$

Da jedoch die Ableitung dieser Formel auf Annahmen basirt ist, welche bei stärkern Krümmungen nicht zutreffen, so habe ich darauf verzichtet, sie auf die vorliegende Frage anzuwenden.

Viel einfacher gestalten sich die Verhältnisse für bilaterale Träger von constanter Höhe (Dicke) und veränderlicher Breite. Wenn ein solcher Träger unter dem Einflusse biegender Kräfte sich nach einem Kreisbogen krümmt, so sind auch die Maximalspannungen in sämtlichen Querschnitten einander gleich. Beides tritt ein, wenn die Flächenansicht die Form eines Dreieckes hat, vorausgesetzt, dass der Angriffspunkt der biegender Kraft mit dem Endpunkt zusammenfällt. Ist diess nicht der Fall, vielmehr die Belastung gleichmässig über die ganze Fläche vertheilt, so gehen die Seitenlinien des Dreieckes in zwei mit der convexen Seite einander zugekehrte Parabelbögen über, die sich aber wieder in eine gerade Linie verwandeln, wenn der Träger nach der Befestigungsstelle hin (wie diess bei Blättern gewöhnlich der Fall) entsprechend dicker gedacht wird. Man wird also auch bei blattartigen Organen, sofern sie ungefähr die Form eines langgezogenen Dreieckes besitzen, im Allgemeinen (wenn auch nur approximativ) annehmen dürfen, dass kreisförmige Krümmung und gleichmässig vertheilte Spannung sich wechselseitig bedingen.

Wenden wir uns jetzt, nach diesen theoretischen Erörterungen, wieder der Beobachtung zu, so lehrt uns schon ein flüchtiger Blick auf die Curven, welche zuweilen die oberirdischen Stammorgane bei schiefer Stellung und genügendem Eigengewicht beschreiben, dass sie in der Mehrzahl der Fälle auch mit Bezug auf die Festigkeitsabnahme in acropetaler Richtung einen hohen Grad von Anpassung erreicht haben. Viele derselben sind offenbar annähernd Träger von gleichem Widerstande. Ebenso die Blätter der Gramineen, Cyperaceen etc. Eine vollständige Anpassung lässt sich von vorn herein nicht erwarten, weil der Wuchs der Pflanze mit den äussern Lebensverhältnissen variirt. Dasselbe Stammorgan, das unter normalen Bedingungen den stärksten Winden trotzt, kann unter andern Verhältnissen, z. B. in fettem Boden, bedeutende Mängel der Anpassung zeigen und an den schwachen Stellen schon bei mässigen Winde geknickt werden.

Beispiele eleganter Krümmungen liefern vor Allem die Halme der Gräser (*Molinia*, *Bromus* u. a.), die hohen Binsen (*Scirpus lacustris*, *Juncus glaucus* etc.) und ähnliche schlank gewachsene Stengelorgane; ferner verschiedene Blätter, insbesondere diejenigen von *Gynerium argenteum*. Andere Organe, wie z. B. die Blüthenschäfte der Irideen und Liliaceen, stehen gewöhnlich steif aufrecht und krümmen sich nur im Winde oder bei künstlicher Belastung, dann aber oft eben so schön.

Zur genaueren Prüfung der Biegungsfestigkeit in verschiedenen Höhen habe ich übrigens eine Reihe directer Bestimmungen ausgeführt, welche für das im Vorhergehenden entwickelte Gesetz der Abnahme die arithmetischen Belege liefern. Die betreffenden Stammstücke wurden in horizontaler Lage in den Schraubstock gespannt, am freien Ende belastet und die dabei eintretende Senkung dieses Endes direct gemessen. Selbstverständlich darf bei solchen Versuchen die Elasticitätsgrenze nicht überschritten werden. — Beispielsweise mögen hier zwei auf diesem Wege erhaltene Beobachtungsreihen Platz

3. Die mechanischen Systeme zur Herstellung der erforderlichen Biegefestigkeit. 99

finden. Die Zahlen geben die bei gleicher Belastung beobachtete Senkung 70 Millimeter langer Stengelstücke in verschiedenen Abständen von der Basis an.

1. *Juncus glaucus*.

Senkungen auf eine Belastung von 10 Gramm reducirt, d. h. für die Fälle, wo nur 5 Gramm Belastung zulässig waren, mit 2 multiplicirt:

Abstände von der Basis in Mill.	0	200	300	400	600	700	800
Beobachtete Senkung	—	5	—	9	—	16	—
Durchmesser des Stengels	2,4	2,28	2,25	2,20	2,0	1,8	1,7

Die Berechnung obiger Ziffern für die nämlichen Abstände von der Basis, den Stengel als Träger von gleichem Widerstande gedacht, ist nur unter der Voraussetzung ausführbar, dass die Gesamtlänge desselben und damit der Ursprung der Abscissenaxe (*B* in Fig. 10) gegeben sei, was in Wirklichkeit nicht der Fall ist. Setzen wir diese Gesamtlänge willkürlich (aber doch annähernd richtig) = 1100 Mill. und betrachten wir die kleinste der beobachteten Senkungen als bekannt, so ergeben sich für einen soliden (nicht hohlen) Träger, wenn der Durchmesser zunächst der Basis = 2,4 Mill. beträgt, folgende Ziffern¹⁾.

Abstand von der Basis	0	200	300	400	600	700	800
Berechnete Senkung	—	5	—	6,85	—	14,2	—
oder:	—	6	—	8,2	—	17	—
Berechneter Durchmesser	2,4	2,24	2,16	2,06	1,96	1,7	1,52

Ungefähr ebenso günstig fallen die Ziffern aus, wenn die Gesamtlänge auf 1000, statt auf 1100 Mill. veranschlagt wird. Die Senkungen verhalten sich alsdann wie 5 : 7 : 17 und die den gleichen Abständen entsprechenden Durchmesser berechnen sich auf 2,23 — 2,02 und 1,6 Mill. Man sieht, dass

¹⁾ Die Senkung *s* eines am freien Ende mit dem Gewicht *P* belasteten Trägers, dessen Länge = *l*, berechnet sich, wie schon früher bemerkt, nach der Formel:

$$s = \frac{Pl^3}{3WE}$$

wobei *W* das Maass des Biegemomentes und *E* das Elasticitätsmodul bezeichnet. Bei constanter Belastung und gleicher Länge verhalten sich demnach die Senkungen *s* und *s'* zweier Träger umgekehrt wie die Maasse *W* und *W'* ihrer Biegemomente. Sind diese Träger, wie in unserem Falle, Stücke eines längeren Trägers von gleichem Widerstande, so besteht zwischen den Grössen *W* und *W'* auf der einen und den entsprechenden Abständen vom freien Ende (den Abscissen *x*, *x*₁ . . .), multiplicirt mit den zugehörigen Radien der Querschnittsflächen (den Ordinaten *y*, *y*₁ . . .) auf der andern Seite die Gleichung:

$$W : W' = xy : x_1 y_1$$

Diese Gleichung wurde der Berechnung zu Grunde gelegt.

eine kleine Differenz bezüglich der angenommenen Gesamtlänge von geringem Belang ist.

2. *Molinia coerulea*.

Die Senkungen auf 20 Gramm Belastung reducirt. Länge der Stengelstücke = 60 Mill.

Abstand v. d. Basis	0	200	400	600	800	1000	1100	1200	1300
Durchm. d. Stengels	2,6	2,5	2,25	2	1,9	1,6	1,45	1,3	1,25
Beobacht. Senkung	—	1	1,3	1,6	3	5	9	—	—

Für die Berechnung der Durchmesser und Senkungen für einen Träger von gleichem Widerstande wurde die Gesamtlänge zu 1500 Mill. angenommen und die bei 200 Mill. Abstand beobachteten Werthe als gegeben betrachtet. Man erhält unter dieser Voraussetzung folgende Ziffern.

Abstand v. d. Basis	0	200	400	600	800	1000	1100	1200	1300
Durchm. d. Stengels	2,6	2,5	2,34	2,19	2,01	1,80	1,67	1,52	1,33
Berechn. Senkungen	—	1	1,2	1,4	2,3	3,6	4,9	7,1	12,2

Die Vergleichung dieser Werthe mit den beobachteten führt zu dem Ergebniss, dass sowohl die Stammdurchmesser als die Senkungsgrößen in Wirklichkeit etwas rascher ab- oder (nach unten hin) zunehmen, als bei einem Träger von gleichem Widerstande.

Die untersuchten *Molinia*-Halme, von denen die längsten mit Einschluss der Inflorescenz 2 Meter erreichten, verhielten sich übrigens keineswegs alle gleich. Die einen krümmten sich bei angemessener Belastung nahezu gleichmässig, während andere beispielsweise im untern und im obern Theil je ein Maximum der Krümmung zeigten. Immerhin sind diese Halme, da sie keine Knoten besitzen, für dergleichen Untersuchungen günstiger als manche andere.

Die Verjüngung der Organe von unten nach oben geschieht selten in der Art, dass die Formverhältnisse des mechanischen Systems constant bleiben und nur die Dimensionen allmählig kleiner werden. Vielmehr ist mit der Festigkeitsabnahme in aeropetaler Richtung in der Regel eine mehr oder weniger auffallende Veränderung der Querschnittsformen verbunden, welche selbst wieder als eine besondere Art der Anpassung zu betrachten ist. Besteht diese Veränderung, wie es öfter der Fall, bloss in einer Verstärkung der peripherischen Trägerphalanx durch Einschieben neuer Bündel oder subepidermaler Rippen, so ist die Sache an und für sich klar und jede weitere Erörterung überflüssig. Auch das stärkere Vorspringen der aussteifenden Constructionstheile an den festeren Stellen erklärt sich von selbst. Spezielle Erwähnung verdienen hier nur die weiter gehenden Unterschiede in der Anordnung der widerstandsfähigen Theile, wie wir sie bei *Scirpus lacustris*, *Juncus glaucus* und deren nächsten Verwandten beobachten.

Bei *Scirpus lacustris* und *Tabernaemontani* ist es namentlich die Architecto-

3. Die mechanischen Systeme zur Herstellung der erforderlichen Biegefestigkeit. 101

nik des Markes, d. h. die Zahl und Anordnung der Scheidewände zwischen den luftführenden Kanälen, welche mit zunehmender Dicke immer complicirter wird. Wie bereits erwähnt, bilden diese Wände im oberen Theil des Stengels ein rechtwinkliges Kreuz, dessen Arme gegen die Peripherie hin je zwei Seitenarme abgeben (Taf. IV, 4). Weiter nach unten kommen indessen immer neue Wände hinzu (Taf. IV, 5), bis endlich der Querschnitt einem vielnasigen Netz gleich sieht, in welchem aber meist der ursprüngliche Grundplan noch deutlich hervortritt: nur in der Nähe der Basis erscheint derselbe häufig verwischt oder schon in der Anlage modificirt. Der Zweck dieser Einrichtung ist klar. Mit zunehmender Dicke des Stengels müssen die in Rede stehenden Wände, da sie wie Querverspannungen wirken, entweder stärker werden oder in grösserer Zahl auftreten, wenn sie ihrem Zweck in immer gleicher Weise entsprechen sollen. Die Natur hat hier das Letztere gewählt, weil sie damit zugleich den Vortheil erlangt, in den Knotenpunkten eine grössere Zahl markständiger Bündel placiren zu können, welche nach Früherem als Pfosten zur Befestigung der zahlreichen Mestomanastomosen eine wichtige Rolle spielen.

Weniger augenfällig, aber doch deutlich, treten diese Veränderungen der Querschnittsform bei *Juncus glaucus* hervor. Abgesehen davon, dass die Bastbelege der Mestomstränge im oberen Theil des Stengels nur aus 1 bis 2 Zellschichten bestehen und daher im Vergleich mit den subepidermalen Rippen als sehr schwach bezeichnet werden müssen, findet nach unten hin, ausser der Verstärkung der Bastbekleidungen, ein Aneinanderweichen der Gefässbündel in radialer Richtung statt. Die doppelte Ringlage abwechselnd grösserer und kleinerer Bündel, welche die oberen Stengeltheile characterisirt, geht allmähig in eine mehrgliedrige Phalanx über, die zunächst der Basis mindestens 4 bis 5 Abstufungen unterscheiden lässt. Man vergleiche in diesem Betreff die Abbildungen Taf. II, 2 und III, 3, welche dem untern Theil des Stengels entsprechen, mit dem auf Taf. IX, Fig. 7 dargestellten oberen Stengeltheil. Besonders instructiv sind successive Querschnitte, welche etwa in Abständen von 20 zu 20 Ctm. angefertigt und neben einander gelegt werden. Solche Schnitte liegen mir vor, und auf die dazwischen liegenden Halmstücke beziehen sich die oben mitgetheilten Ziffern über Festigkeitsabnahme in acropetaler Richtung.

Endlich erwähne ich noch die analogen Veränderungen in den Blattstielen von *Scirpus Holoschoenus* (Taf. VIII, 1), wo jedoch nur die Kanten merklich differiren, indem hier die Anordnung der Gefässbündel nach oben einfacher, nach unten complicirter wird.

VI. Steigerung der Biegefestigkeit durch Gewebespannung und durch besondere Formverhältnisse.

Dass die Steifigkeit der Organe durch Gewebespannung erhöht wird, leuchtet im Allgemeinen ohne Weiteres ein¹⁾; denn jede mit comprimirt Luft

¹⁾ Man vgl. übrigens Sachs, Lehrbuch der Botanik. 3. Aufl. p. 753,

gefüllte Kantschukröhre, jeder mit Wasser gefüllte. unter starkem Druck stehende Schlauch einer Feuerspritze liefert Belege hierfür. Wie aber diese Steifigkeitszunahme mathematisch zu formuliren, wie der ganze Vorgang zu deuten und aufzufassen sei, verdient immerhin

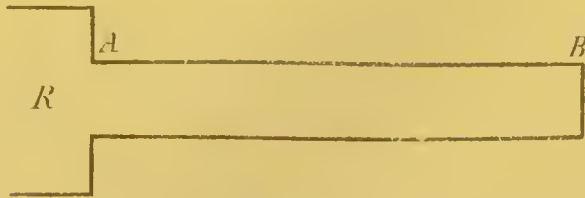


Fig. 12.

eine genauere Prüfung. Sei also AB Fig. 12 ein hohylindrischer, am freien Ende B belasteter und in A befestigter Träger, beispielsweise von Bast, und nehmen wir an, derselbe sei vom Behälter R aus mit comprimierter Luft gefüllt

worden, welche unter einem Druck von 5 Atmosphären stehe (also 4 über den Gegendruck). Wie verhält sich alsdann, gleiche Belastung vorausgesetzt, die Tragkraft dieses Trägers zu derjenigen im nicht gespannten Zustande? Um diese Frage in Zahlen zu beantworten, müssen natürlich die Dimensionen der Röhre gegeben sein. Es sei der Radius der äusseren Röhrenfläche = 10, derjenige der Innenfläche = 6 Millimeter, folglich die Wandstärke = 4 Mill. Unter diesen Voraussetzungen wirkt ein Druck von 4 Atmosphären auf die Endfläche bei B wie eine Quecksilbersäule von 4.760 Mill. Höhe, was einem Gewicht von 41,34 Gramm pro Quadratmillimeter entspricht. Auf die ganze Endfläche = 113 □ Mill. berechnet, ergibt sich demgemäss ein Druck von $113 \cdot 41,34 = 4671$ Gramm, welcher selbstverständlich dieselbe Streckung der Röhre bewirkt, wie ein gleich grosses in der Längsrichtung wirkendes Gewicht. Da der ringförmige Querschnitt der Röhre einen Flächeninhalt von 201 □ Mill. hat, so kommt auf den Quadratmillimeter ein Zug von $\frac{4671}{201} = 23,2$ Gramm.

Der Druck von 4 Atmosphären wirkt nun allerdings auch erweiternd auf unsere Baströhre ein und zwar mit einer Kraft, welche einem quer-tangentialem Zuge von ca. 62 Gramm per Quadratmillimeter entspricht¹⁾. Um indessen die Aufgabe nicht unnöthiger Weise zu verwickeln, wollen wir annehmen, diese Querspannung sei durch Metallringe oder sonst irgendwie eliminirt, wie diess gewöhnlich bei dergleichen Betrachtungen zu geschehen pflegt. Wir haben es also im Folgenden bloss mit der Längsspannung zu thun.

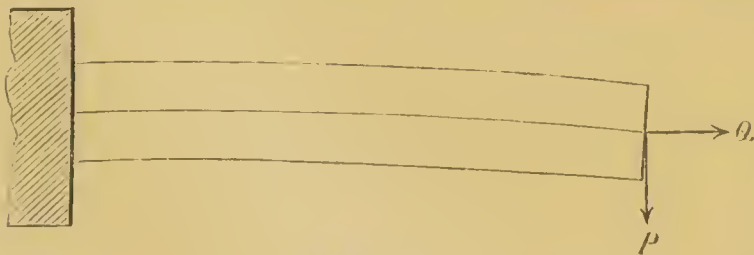


Fig. 13.

Für diesen vereinfachten Fall kann die Berechnung der Tragkraft mit Hülfe der Formeln geschehen, welche die Mechanik in der Theorie der gespannten Balken aufgestellt hat²⁾. Ist P die Tragkraft,

d. h. das Gewicht, welches ein durch die Axenkraft Q gespannter Balken (Fig. 13) an seinem freien Ende zu tragen vermag, wenn er bis zur Elasticitätsgrenze

¹⁾ Diese Berechnung nach Weisbach, Lehrbuch der Mechanik. 4. Aufl. II, pag. 912.

²⁾ Weisbach, l. c. I, 5. Aufl. pag. 624.

3. Die mechanischen Systeme zur Herstellung der erforderlichen Biegungsfestigkeit. 103

in Anspruch genommen wird, ferner P_1 das entsprechende Gewicht im nicht gespannten Zustande, d. h. ohne die Axenkraft Q ; endlich W das Maass des Biegunsmomentes, E das Elasticitätsmodul, F die Querschnittsfläche, l die Länge und T das Tragmodul, d. h. die Zugkraft, welche einen Balken vom Querschnitte Eins bis zur Elasticitätsgrenze ausdehnt, so hat man:

$$\frac{P}{P_1} = \left(1 + \frac{Ql^2}{3WE}\right) \cdot \left(1 - \frac{Q}{FT}\right).$$

Man ersieht hieraus, dass P grösser oder kleiner als P_1 ausfällt, je nachdem $\frac{Ql^2}{3WE}$ grösser oder kleiner als $\frac{Q}{FT}$. Durch die Axenkraft Q wird demnach die Tragkraft je nach Umständen gesteigert oder vermindert. Die grösste Steigerung findet statt, wenn Q für sich allein eine Spannung erzeugt, welche dem dritten Theil der zulässigen Maximalspannung gleichkommt.

Die Anwendung dieser Formel auf die oben bezeichnete Baströhre, für welche wir $E = 100000$ Kilogrammcentimeter oder $= 1000$ Kilogrammmillimeter, ferner $T = 10$ Kilogramm (die Verlängerung an der Elasticitätsgrenze zu 10% angenommen) setzen wollen, ergibt:

$$\frac{P}{P_1} = \left(1 + \frac{4,671 \cdot 40000}{3 \cdot 6834 \cdot 1000}\right) \left(1 - \frac{4,671}{201 \cdot 10}\right), \text{ woraus } \frac{P}{P_1} = 1,0066.$$

Die Differenz ist also sehr gering. Setzt man dagegen $E = 200$ und $T = 2$ (per Quadratmill. Querschnitt), so steigt dieselbe auf 1,033; bei $E = 100$ und $T = 1$ auf 1,066; bei $E = 10$ und $T = \frac{1}{10}$ auf 1,467 u. s. f. Wird die Verlängerung bis zur Elasticitätsgrenze doppelt so hoch, also $= 2$ Procent angesetzt, so erhält man für $E = 10$ eine noch günstigere Ziffer, nämlich $P : P_1 = 1 : 1,689$. Sinkt unter übrigens gleichen Umständen die axile Kraft Q von 4,671 auf 1 herunter, so reducirt sich das Verhältniss auf $1 : 1,14$, kann aber durch Annahme einer Röhrenlänge von 300 (statt 200) Mill. sofort wieder auf $1 : 1,4$ gesteigert werden, indess eine Verkürzung auf 50 Mill. dasselbe unter die Einheit herunterdrückt. Aus alledem geht hervor, dass die Längsspannung der Gewebe für die schwächeren und dehnbareren Internodien oder Theile von Organen eine viel grössere Bedeutung hat, als für die verholzten älteren Theile, und ebenso für langgestreckte dehnbare Organe eine grössere als für kurze. Wo die relative Länge des weichen Theils unter einem gewissen Grenzwert zurückbleibt, wird die Festigkeit desselben durch Längsspannung vermindert¹⁾.

¹⁾ Für den Fall, dass Q pro Flächeneinheit $= \frac{1}{3} T$, wobei $\frac{P}{P_1}$ sein Maximum erreicht, ergibt sich ganz allgemein:

$$\frac{P}{P_1} = \frac{2}{3} l \sqrt{\frac{T}{3E} \cdot \frac{F}{W}},$$

folglich für einen vollen Cylinder vom Durchmesser d , bei welchem

$$\frac{F}{W} = \frac{16}{d^2}$$

$$\frac{P}{P_1} = 1,51 \frac{l}{d} \sqrt{\frac{T}{E}}.$$

Torsion aufrechter Flächenorgane. Langgestreckte aufrechte Organe mit bilateraler Entwicklung, wie z. B. die Blätter von *Typha*, bieten dem Winde von der einen Seite eine so grosse Stossfläche dar, dass sie besonderer Einrichtungen zur Steigerung des Widerstandes bedürfen, um ihre aufrechte Stellung, zumal bei verhältnissmässig geringer Dicke, zu behaupten. Zu diesen Einrichtungen gehört unzweifelhaft auch die Drehung der betreffenden Organe um ihre Axe. Man beobachtet dieselbe hin und wieder bei aufrecht stehenden Blättern ohne Mittelrippe, in sehr auffallender Weise namentlich bei *Typha latifolia* und *angustifolia*. Hier erreicht die Drehung in der Regel $1\frac{1}{4}$ bis $1\frac{1}{2}$ Kreisumläufe, d. h. ein beliebiger Punkt der Blattspitze muss um 450° bis 540° zurückgedreht werden, um die Blattfläche wieder vollständig eben zu legen. Das gedrehte Blatt kehrt demnach dem Winde an mindestens zwei Punkten seiner Längenausdehnung die schmale Seite zu, in welcher Stellung begreiflicher Weise die Biegung fast unmerklich ist, und die zwischenliegende Blattfläche erscheint in der Projection auf den Hintergrund um einen erheblichen Bruchtheil kleiner. Dazu kommt, dass der Wind in Folge der Drehung des Blattes auch einen Seitendruck ausübt, wodurch die Bewegung desselben oft wesentlich beeinflusst wird. Ich habe diese Bewegungsercheinungen der *Typha*-Blätter im Winde öfter beobachtet und mich dabei von der günstigen Wirkung der Torsion hinlänglich überzeugt. Ob das äusserlich analoge Verhalten des zweischneidigen Blüthenschaftes von *Sisyrinchium anceps* die gleiche Auffassung zulässt, wie der eben besprochene Fall, erscheint mir zweifelhaft, da dieser Schaft auch sonst die nöthige Festigkeit erreicht. Die Drehung ist überhaupt eine im Pflanzenreich viel zu verbreitete Erscheinung, als dass man annehmen könnte, sie habe immer die nämliche Bedeutung für die Pflanzenorgane. Es ist im Gegentheil wahrscheinlich, dass z. B. bei der häufig beobachteten halben Drehung der Gramineenblätter, wobei die morphologisch untere Seite sich nach oben oder innen kehrt, die maassgebenden Momente in vielen Fällen nicht mechanischer Natur sind. Ich zähle deshalb nur diejenigen Fälle hieher, bei denen die mechanische Zweckmässigkeit der Torsion einleuchtend ist.

Querschnittsform der Flächenorgane. Viel häufiger als durch Drehung wird die Biegungsfestigkeit der Flächenorgane durch besondere Querschnittsformen erhöht. Beispiele hiefür liefern die vorspringenden Blattrippen bei verschiedenen Irideen (*Tigridia Pavonia*, *Crococsmia aurea*) und Palmen (*Rhapis*, *Sabal Adansonii*), ferner die bei Cyperaceen und Gramineen so häufig vorkommenden Faltungen, wodurch die Blattspreite eine rinnenförmige Gestalt

Ist $T = 10$ und $E = 1000$, wie oben für die besseren Bastsorten angenommen wurde, so muss l mindestens 7mal so gross sein als d , wenn die vorausgesetzte Longitudinalspannung die Tragkraft steigern soll. Für die als Beispiel erwähnte Baströhre von 6 Mill. Oeffnung und 4 Mill. Wanddicke erhält man unter den gleichen Voraussetzungen als Minimum der Länge 150 Millimeter.

3. Die mechanischen Systeme zur Herstellung der erforderlichen Biegefestigkeit. 105

erhält. Dabei ist die Rinne entweder einfach und dann in der Mitte am dicksten, also im Querschnitt mondsichelförmig, oder es sind zwei solcher Rinnen seitlich mit einander verwachsen; die Verwachsungsnaht bildet alsdann die Mittelrippe des Blattes, und die Concavität der Rinnen entspricht der morphologisch unteren Seite. Zuweilen sind die Blätter auch mehrfach gefaltet, so z. B. bei *Panicum plicatum*.

Dass diese Formverhältnisse die Steifigkeit der Organe erhöhen, ist leicht zu ermessen. Die Rinneform oder Ω -Form ist deshalb auch schon beim Bau eiserner Brücken (zuerst bei der Eipelbrücke) zur Anwendung gekommen, um den einzelnen Gitterstäben der Tragbalken eine grössere Festigkeit zu verleihen; sie wurde jedoch bald durch die leichter herstellbare T-Form verdrängt. Ob auch die Zu- und Abnahme der Dickendimension, zumal die Thatsache, dass viele Cyperaceen-Blätter in der Mitte zwischen Mediane und Rand am dicksten sind, mit mechanischen Principien im Zusammenhang steht, lasse ich dahingestellt. Einleuchtend ist jedenfalls, dass bei gefalteten Blättern die Kanten am meisten in Anspruch genommen sind.

VII. Das mechanische Princip in seinem Verhältniss zum ernährungsphysiologischen.

Da die Pflanzenorgane nicht bloss den Anforderungen genügender Festigkeit zu entsprechen, sondern nach den verschiedensten Seiten ihrer Lebendthätigkeit mit Anpassungsbedürfnissen zu kämpfen haben, so liegt es in der Natur der Sache, dass das mechanische Princip hin und wieder mit andern biologischen Principien, insbesondere mit den unabweislichen Ansprüchen der Ernährung, in Conflict geräth. Das mechanische Princip beansprucht, wie wir gesehen haben, eine peripherische Zone für die Aufstellung der widerstandsfähigen Elemente; auf die nämliche Zone sind aber auch, um das nächstliegende Beispiel voranzustellen, die assimilirenden Zellen angewiesen, weil sie hier offenbar die günstigsten Bedingungen der Lichtwirkung vorfinden. In diesem Widerstreit der Bedürfnisse bleiben zwei Auswege offen. Entweder die beiden Principien theilen sich in den Raum zunächst der Oberfläche, wie wir diess bei den 13 ersten Typen der Stammorgane und fast ausnahmslos auch bei den Blättern beobachten, oder die Ansprüche der Assimilation wiegen vor und die mechanischen Zellen treten um eine Stufe zurück, wie es bei den 6 letzten Typen, welche die Mehrzahl der Familien umfassen, der Fall ist. Zwischen diesen beiden Typenreihen bildet der gerippte Hohlzylinder gewissermaassen den Uebergang.

Im Längsverlaufe der mechanischen und der assimilirenden Gewebe kann nun aber das Verhältniss der Wichtigkeit zwischen diesen beiden Functionen sich ändern. Diess ist sogar nothwendig der Fall bei Stengelorganen, deren Internodien theilweise von Blattseiden umhüllt sind, wie z. B. bei den Gramineen. Hier gerathen die grünen Zellen, welche den Raum zwischen den

subepidermalen Rippen ausfüllen, jeweilen im untern Theil der Internodien in eine entschieden ungünstige Situation, welche die assimilatorische Thätigkeit beeinträchtigt und damit die Bedeutung der Zellen an dieser Stelle heruntersetzt. Sofort rücken in Folge dieser Umstände die mechanischen Zellen weiter gegen die Peripherie vor und verdrängen die assimilirenden beinahe vollständig. Diese letzteren sind in der Nähe des untern Knotens meist nur noch in kleinen Gruppen vertreten, welche sich beiderseits an die nach aussen vorspringenden Gefässbündel anlehnen. Bei *Poa pratensis* waren an den untersuchten Exemplaren auch diese Gruppen gänzlich verschwunden. Sind die Blattscheiden sehr lang, so kann sogar der Fall eintreten, dass der Bastring sich durchgehends an die Epidermis anschliesst, so z. B. bei *Oryza sativa*, an einzelnen Stellen des Umfangs auch bei *Secale cereale*.

Noch deutlicher tritt diese centrifugale Tendenz der mechanischen Zellen bei Organen hervor, welche der Assimilation nicht bedürfen, so z. B. in den Blüthenschäften einiger Schmarotzer, in den Stacheln der Palmen, Agaven u. dgl. Von den schmarotzenden Monocotylen nenne ich *Coralorrhiza innata*, deren Bastring fast oder ganz bis zur Epidermis geht: die etwa noch vorhandenen Rindenzellen sind collenchymatisch verdickt. Unter den stachelähnlichen Bildungen kenne ich nur solche mit streng subepidermalen Bastring, wobei jedoch die Epidermis, wenn sie sonst durchweg mehrschichtig ist, diesen Character beibehält¹⁾.

Bei den Monocotylen mit einfachem oder geripptem Bastring rückt der letztere in dem obern nackten Theil der Stammorgane gewöhnlich etwas weiter nach innen, als im untern beblätterten Theil, d. h. die assimilirenden Zellen des schaftartigen Stammstückes behaupten ein um so grösseres Arbeitsfeld, je weiter sie von der Region der Laubblätter entfernt sind. So z. B. bei den Gramineen, wo die Rippen zunächst der Inflorescenz eine relativ bedeutendere Höhe erreichen als weiter nach unten, desgleichen bei *Hyacinthus* und einigen *Allium*-Arten (*A. vineale*, *foliosum* u. a.), deren innere Rinde überdiess fast vollständig farblos ist, woraus hervorgeht, dass unter Umständen auch nicht assimilirende Zellen den Bastring zurückzudrängen vermögen.

Für die Collenchymzellen, soweit sie zum mechanischen System gehören, liegen in der Abtheilung der Monocotylen zu wenig Beispiele vor, als dass sich allgemeine Schlüsse daraus ableiten liessen. Die breiten Collenchymplatten bei *Tradescantia erecta* (und andern Arten), *Dioscorea sinuata* und *Tamus communis*, sowie die collenchymähnlichen Bastzellen verschiedener Aroideen — die

¹⁾ Um die Zahl der Beispiele noch durch eine Sporenpflanze zu vermehren, erinnere ich ferner an die chlorophyllfreien sterilen Schosse von *Equisetum Telmateja*, deren Bastring sich ebenfalls an die Epidermis anlehnt. Einen ähnlichen subepidermalen Ring besitzen auch die fertilen Triebe dieser und anderer Arten, nur ist derselbe hier viel schwächer. Im Uebrigen kommen bei den Equiseten zwischen den grünen und den mechanischen Zellen verschiedene Arrangements zu Stande, die ich hier nicht weiter erörtern will (vgl. Duval-Jouve, *Histoire naturelle des Equisetum de France*, Taf. VI).

3. Die mechanischen Systeme zur Herstellung der erforderlichen Biegefestigkeit. 107

einzigsten mir bekannten Vorkommnisse — schliessen sich, wie früher erwähnt, stets an die Epidermis an. Ebenso die etwas gelatinös-, aber gleichmässig verdickten Bastzellen auf der Innenseite der Gramineen-Scheiden, die Rippen von *Eriocaulon* etc. Dagegen können parenchymatische Zellen mit mehr oder minder ausgesprochen collenchymatischen Verdickungen überall vorkommen, selbst in Geweben von intensiv grüner Färbung. Diese Verdickungsform schliesst weder das Vorkommen von Chlorophyll oder Stärke im Inhalt, noch die Entwicklung von Zwischenzellräumen aus.

An diese Fälle, welche vorzugsweise den Conflict zwischen mechanischen und assimilirenden Zellen veranschaulichen sollen, schliessen sich einige weitere Vorkommnisse an, welche in analoger Weise die Ansprüche der saftleitenden Zellen mit Bezug auf gewisse Stellen der Fibrovasalstränge anzudeuten scheinen. Es ist ein ungemein häufig vorkommender Fall, dass die Bastbelege der Mestomstränge zu beiden Seiten der grossen Gefässe unterbrochen sind (Taf. III, 3, 4). Das sind die Stellen, die ich gelegentlich schon oben als »Zugänge« bezeichnet habe, weil hier offenbar das Einströmen gelöster Assimilationsproducte aus dem umgebenden Gewebe in die leitenden Zellen des Mestoms, eventuell auch die umgekehrte Bewegung derselben, vor sich geht. Die Mestomstränge verhalten sich gleichsam wie bedeckte Drainirkanäle, in welche die wässerigen Lösungen aus dem umgebenden Medium eindringen, um hier weiter fortgeführt zu werden. Zu diesem Behufe stehen die beiden Zugänge sowohl mit dem Cambium als mit den übrigen Elementen des Mestoms in Verbindung; sie führen bei den grossen Gefässen vorbei direct gegen das Centrum des Stranges. Und wie es scheint, können gerade die Bündel mit sehr starken Bastbelegen, wie z. B. diejenigen der Bambusen, diese Verkehrswege am wenigsten entbehren. Sie kommen hier ausnahmslos bei allen grösseren Bündeln vor, und wenn sie auch wegen der starken Verdickungen der Zellmembran auf Querschnitten nicht immer augenfällig sind, so treten sie doch in abgestorbenen Stengeln, weil sie hier durch ihre branne Färbung sich deutlich von den Bastzellen abheben, um so entschiedener hervor. Die inneren Bündel, welche in der Lage sind, dem ernährungsphysiologischen Princip etwas grössere Concessionen zu machen, besitzen sogar drei bis vier solcher Zugänge, nämlich ausser den beiden schon genannten noch einen oder zwei auf der inneren Seite des Mestoms. Diese letzteren kommen bei *Arundinaria* durch einfache Unterbrechung des innenseitigen Bastbeleges zu Stande; bei *Bambusa* dagegen münden dieselben in eine Parenchymlamelle, welche quer durch die innenseitige starke Bastbekleidung hindurchgeht (Taf. VII, 1). Eine solche Einschlebung parenchymatischer Zellen in Bastmassen, die sonst immer zusammenhängen, lässt meines Erachtens kaum eine andere Deutung zu, als diejenige, die ich ihr vorhin beilegte. Zugleich beweisen dergleichen Vorkommnisse, dass die Bastzellen für die Leitung der Säfte in der Querrichtung ungünstig gebaut sind. Wir werden später sehen, dass sie auch in der Längsrichtung zu den schlechten Leitern gehören.

Zu den anatomischen Thatsachen, welche mit den eben erwähnten unter den gleichen Gesichtspunkt fallen, glaube ich auch die Zertheilung der Cambiumstränge in den Stützwurzeln von *Pandanus odoratissimus* zählen zu dürfen¹⁾, von denen weiterhin noch speziell die Rede sein wird. Die Parenchymlamellen, welche bei diesen Wurzeln die zusammengehörige Fibrovasalmasse durchziehen, scheinen auch hier bloss den Zweck zu haben, der Störung des Säfte-austausches, welche mit zusammenhängenden Bastbekleidungen nothwendig verknüpft ist, vorzubeugen. — Ferner rechne ich hieher das Vorkommen einer farblosen inneren Rinde bei *Allium* und manchen anderen Pflanzen, ohne dass mir über die Rolle dieser Rindenschicht etwas Näheres bekannt wäre; desgleichen das Vorhandensein einer normalen Rinde bei einigen Schmarotzern, deren mechanisches System nicht bis an die Oberfläche vorzudringen vermag.

Endlich bleibt noch ein dritter Fall zu erwähnen übrig, in welchem die mechanischen Elemente den nicht mechanischen die erste Stelle einräumen: es ist die Entwicklung einer mehrschichtigen Epidermis oder eines Hypoderm und das dadurch bedingte Zurücktreten der subepidermalen Bastrippen von der Oberfläche. Wir beobachten diese Erscheinung in den Blattstielen und Blüthenschäften einzelner Aroideen (*Arum*, *Arisaema*) und Restiaceen, in den Blättern verschiedener Palmen (*Sabal Adansonii*, *Jubaea spectabilis*, *Chamaerops Fortunei*, *Hyphaene thebaica* etc.), desgleichen bei *Phormium tenax*, *Pandanus odoratissimus*, *Maranta*, *Musa* n. s. f. Wir wollen hier nicht untersuchen, wie dieses farblose Hautgewebe entsteht und welche Function seine parenchymatischen Zellen im Haushalt der Pflanze übernommen haben²⁾, sondern bloss darauf hinweisen, dass die Lage desselben zunächst der Oberfläche eine dringend gebotene sein muss, da selbst die grünen Zellen diesen Einfluss auf den Bast-ring oder auf die I-förmigen Träger der Blattflächen nirgends ausüben. Auch muss die fragliche Function dieser wasserhellen, die mechanischen Elemente stets zurückdrängenden Unterhaut der Art sein, dass eine Unterbrechung derselben, abgesehen von der Einbusse an Flächenausdehnung, für die Pflanze nachtheilig wäre.

Als Ersatz für die im Vorhergehenden besprochenen Concessionen, welche die Pflanze auf Kosten des mechanischen Systems zu machen genöthigt ist, sind auf der andern Seite die Wandungen der verschiedenen Gewebe, welche dem Ernährungssystem angehören, nicht selten so beträchtlich verdickt, dass auf diesem Wege die erlittenen Verluste mehr als gut gemacht werden. Zwar ist ein Verzicht auf die peripherischen Punkte, sofern das Biegemoment unverändert bleiben soll, nothwendig mit einem Mehraufwand von Material verbunden und insofern irreparabel: allein die Pflanze erhält für dieses Opfer ausser der nöthigen Festigkeit noch andere wichtige Vortheile, die begreiflicher

1) Vgl. Nägeli, Beiträge I, p. 30.

2) Vgl. hierüber Pfitzer: Ueber die mehrschichtige Epidermis und das Hypoderm, in Pringsheim's Jahrb. VIII, p. 63 ff.

3. Die mechanischen Systeme zur Herstellung der erforderlichen Biegefestigkeit. 109

Weise ihr besonderes Stück Arbeit erheischen. Zu dieser Unterstützung des mechanischen Systems können die verschiedenartigsten Gewebe, grüne und nichtgrüne, saft- und luftführende, parenchymatische und prosenchymatische (nur keine Bildungsgewebe) herbeigezogen werden. Eine spezielle Anzählung derselben ist daher überflüssig; es mag genügen, an dieser Stelle einige besonders wichtige Fälle hervorzuheben. Als solche möchte ich folgende bezeichnen:

1) Die Verdickung der Mestomzellen zwischen den grossen Gefässen. Ein ungemein häufig vorkommender Fall, der zunächst für das Mestom selbst von Bedeutung sein mag, nebenbei aber auch zur Steigerung der Biegefestigkeit beiträgt. Die betreffenden Zellen sind oft sehr stark verdickt, indess die in der Umgebung der Spiral- und Ringgefässe befindlichen meist dünnwandig bleiben.

2) Die poröse Verdickung der kleinklumigen Cambiformzellen in den Stammorganen von *Alisma Plantago*, sowie in den Blättern von *Pandanus odoratissimus* und *gramineus*, von *Gynerium argenteum*, *Juncus acutus*, *Aspidistra lurida* und in geringerem Grade noch hin und wieder. Die Wandverdickung geht bei den genannten Pflanzen eben so weit, wie bei den Holzzellen. Die engen Cambiformröhren bilden im Querschnitt gewöhnlich ein zusammenhängendes Netz, dessen Maschen die weiten Siebröhren vollständig umschliessen; so namentlich bei *Pandanus* und *Alisma*.

3) Die Verdickung der Mestomscheide. Ein so häufiges Vorkommniss, dass Beispiele überflüssig sind. Der concentrirten Schwefelsäure widersteht hier nur die sogenannte primäre Membran; die mechanischen Schichten sind nicht entcellularisirt.

4) Die starke collenchymatische Verdickung der peripherischen, Chlorophyll und Stärke führenden Markzellen bei *Panicum imbecille*. An diesen Fall würden sich nun die zahlreichen anderen Verdickungsformen parenchymatischer Zellen anschliessen, auf deren spezielle Erwähnung ich indess glaube verzichten zu dürfen.

Will man in Betreff des Vorkommens dieser Verdickungen eine allgemeine Regel, so könnte man etwa sagen, dass dieselben bei stärkeführenden und stärkeleitenden Geweben sich häufig vorfinden, seltener bei assimilirenden und eiweissleitenden Geweben. Auch die spezifisch wasserleitenden Parteen, sofern man die Umgebung der primordialen Gefässe und das farblose Hypoderm (von *Maranta*, *Musa* etc.) als solche bezeichnen darf, sind wenig zur Verdickung geneigt.

VIII. Die Nebenfunctionen der mechanischen Zellen.

Der Conflict zwischen dem mechanischen Princip und den Bedingungen der Ernährung, wie er im Vorhergehenden dargestellt wurde, behielt mit Rücksicht auf die mechanischen Zellen, d. h. die Bastfasern, den Character eines Kampfes um bestimmte Punkte oder Zonen des Querschnittes, während allerdings die

feindlichen Elemente nicht bloss vorrückten oder zurückwichen, sondern theilweise in ihrem innersten Wesen ergriffen und umgewandelt wurden. Im Folgenden soll nun gezeigt werden, dass auch die Bastzellen hin und wieder Umgestaltungen erfahren, durch welche sie für irgend eine Nebenfunction in höherem Grade, als diess sonst der Fall ist, angepasst werden. Solche Veränderungen sind immer als eine Concession zu betrachten, welche das mechanische Princip seinen eigenen Vertretern auferlegt.

Eine der gewöhnlichsten Anpassungen dieser Art ist diejenige für die Luftcirculation. Die ausgebildeten Bastzellen — ich rede hier nur von solchen, die unzweifelhaft zum mechanischen System gehören — führen zwar immer etwas Luft: wenigstens ist diess der normale Zustand. Auch wird man zum Voraus annehmen dürfen, dass ein gewisses Minimum von Durchlüftung, sei es nun durch Zwischenzellräume oder durch Lumina, für die Bastzellen ebenso unentbehrlich sei wie für andere. Wenn man indessen die Zellformen, welche zu den mechanisch günstigsten zählen, wie z. B. diejenigen des Palmenbastes oder die Bastzellen der Gramineen u. dgl., in Beziehung auf Lumengrösse als Norm betrachtet und die übrigen damit vergleicht, so ergeben sich mannigfache Abweichungen im Sinne einer stärkeren Durchlüftung, welche für den Bast allein offenbar nicht nöthig wäre. Die Lumina werden weiter, die Poren zahlreicher und grösser, Beides auf Kosten der Festigkeit. Zuweilen kommen noch trichterförmige Erweiterungen der Poren, die ersten Andeutungen von Höfen hinzu, so z. B. bei *Veltheimia viridissima*, *Funkia ovata* und verschiedenen andern Liliaceen. Bei *Dracaena* und *Yucca* endlich — jedoch nur im Stamm, nicht in den Blättern — kommen die Porenhöfe zur vollständigen Ausbildung, ganz wie bei den Coniferen. Die mechanischen Zellen sind hier zugleich die luftleitenden Organe geworden, welche der Pflanze für alle späteren Jahresschichten die Anlage besonderer Ventilationsröhren, etwa in Gestalt von porösen Gefässen, ersparen; wie schon früher erwähnt, besitzen nur die markständigen Fibrovasalstränge Gefässe. Aber trotzdem weicht die Form dieser eigenthümlichen Zellen nur wenig vom gewöhnlichen Typus ab. Dieselben erreichen die normale Länge von 0,7 bis 1,3 Mill., greifen in der Regel mit prosenchymatischen, mehr oder minder spitzen Enden über einander und besitzen überdiess linksschiefe spaltenförmige Poren mit Neigungen von ungefähr 45°. Dass es wirklich metamorphosirte Bastzellen sind, welche diese zahlreichen behöftten Poren zeigen, geht auch aus der Thatsache hervor, dass die nämlichen Zellen bei den markständigen Bündeln (Blattspuren) von *Cordyline australis* aussen am Cambiform (wo die Holzzellen jedenfalls ausgeschlossen sind) die Stelle einnehmen, die weiter oben im Blatte der Pflanze und auch sonst überall dem typischen Bast reservirt bleibt. — Die bei *Yucca* vorkommenden Abweichungen in Betreff der Lagerung dieser Libriformzellen wurden schon oben (p. 69) erwähnt, wo auch einiges Nähere über das Verhalten der Blattspuren mitgetheilt ist.

Im Allgemeinen kommen grosslumige, für die Durchlüftung in höherem

3. Die mechanischen Systeme zur Herstellung der erforderlichen Biegefestigkeit. 111

Grad in Anspruch genommene Bastzellen am häufigsten bei Monocotylen mit Bastring vor, also bei Liliaceen, Irideen, Commelynacéen etc. Die meist beanspruchten, mechanisch schwächsten Zellen liegen indess stets auf der minder wichtigen Innenseite des Ringes, wo sie zuweilen ganz allmählig ins Markgewebe übergehen. Dagegen bleiben die Bastzellen der Cyperaceen und Junaceen, wie überhaupt die meisten Typen mit subepidermalen Rippen, für diese Durchlüftungsanforderungen absolut unempfindlich. Die Pflanze sorgt hier auf andere Weise für die nöthige Ventilation.

Neben der Luftleitung spielen die übrigen Functionen, welche die Bastzellen gelegentlich übernehmen, eine untergeordnete Rolle. Was zunächst die Assimilationsthätigkeit oder, um mich bloss an das Beobachtete zu halten, den Gehalt an Chlorophyll betrifft, so mögen einzelne Chlorophyllkörnerchen hin und wieder im Bastgewebe vorkommen, aber sie sind doch im Ganzen genommen selten und stets nur auf dünnwandige Zellen beschränkt. Sicher beobachtet habe ich diesen Fall z. B. im Stengel von *Paris quadrifolia*, dessen Bastring allerdings aus sehr zartwandigen und öfters quergetheilten Zellen besteht, die sich aber doch durch die spaltenförmigen linksschiefen oder longitudinalen Poren, sowie durch die bei einigem Suchen nachweisbaren zugespitzten Enden als Bastzellen kennzeichnen; auch enthalten keineswegs alle Zellen Chlorophyll. — Ferner gehören zu diesen Ausnahmen die radial gestellten bastähnlichen Zellen, welche die polsterartige Verdickung am obern Ende des Blattstieles von *Maranta bicolor* bedingen. Es sind zwar ebenfalls keine typischen Bastzellen, schon wegen der durch die Stellung bedingten abweichenden Form; allein sie gehören doch unzweifelhaft zum mechanischen System und zeigen hier und da die charakteristischen spaltenförmigen Poren¹⁾.

Wie wenig die Natur der mechanischen Zellen sich im Allgemeinen mit der Entwicklung von Chlorophyll verträgt, beweist unter anderem auch das Verhalten der Collenchymzellen. Sobald diese letzteren den parenchymatischen Character ablegen, indem sie sich bis zu 1 Mill. und darüber verlängern und an den Enden bastähnlich zuspitzen, wobei sie gewöhnlich auch longitudinale oder schwach linksschiefe Poren erhalten; sobald sie überhaupt eigentliche Collenchymzellen sind und in die Reihe der spezifisch mechanischen Elemente eintreten: so verschwindet das Chlorophyll vollständig. Zwischen diesem Collenchym und dem typischen Bast gibt es überhaupt keine scharfe Grenze, vielmehr alle möglichen Uebergänge.

Schwieriger ist die Frage zu beantworten, inwieweit die Bastzellen bei der Leitung des Wassers in der Pflanze betheiligt seien. Vom vergleichend anatomischen Standpunkte aus lässt sich diese Frage mit Sicherheit nicht entscheiden; doch scheinen mir folgende Verhältnisse immerhin beachtenswerth. Die abnormen Bastzellen der Dracaenen sind dem Libriform der Coniferen so

¹⁾ Die nämlichen radial gestellten Zellen finden sich auch bei andern Arten der Gattung (*M. zebra* u. *regalis*); hier fand ich sie aber durchweg chlorophyllfrei.

ähnlich, dass wir *a priori* auch eine entsprechende Uebereinstimmung in der Function voraussetzen und somit die Leitungsfähigkeit denselben nicht absprechen dürfen — eine Folgerung, zu der übrigens schon der Bau des Dracaenastammes, für sich allein betrachtet, führen müsste. Da ferner die genannten Bastzellen sich eigentlich nur durch die grossen Porenhöfe von den weitlumigen typischen Formen unterscheiden, so liegt die Vermuthung nahe, obiger Schluss per Analogie könnte auch auf diese letzteren anwendbar sein, natürlich unter Vorbehalt verschiedener Abstufungen in der Leitungseapacität. Weiter kommt man indessen auf diesem Wege nicht: die Mehrzahl der besprochenen Typen, weil durch kleinumige Bastzellen characterisirt, bleibt ausserhalb der Tragweite solcher Schlüsse.

Auf der andern Seite lehrt die Beobachtung, dass gerade die weitlumigen Bastzellen hin und wieder durch Lamellen von Intercellularsubstanz getrennt sind. Diese Lamellen bleiben nach Zusatz von concentrirter Schwefelsäure ungelöst und verhalten sich überhaupt in jeder Beziehung wie die cuticularisirten Membranen. Mehr oder minder deutliche Spuren dieser Substanz lassen sich sowohl bei weit- als englumigen Bastzellen häufig nachweisen. Bei unterirdischen Organen, welche in feuchtem Erdreich vegetiren, z. B. in den Wurzeln und Rhizomen der *Carex*-Arten mit peripherischem Bastring, tritt dieselbe constant und in starker Ausbildung auf. Die Neigung der Bastzellen, sich durch ein korkähnliches Häutchen nach aussen abzuschliessen, scheint mir überhaupt so weit verbreitet zu sein, dass die Annahme einer allgemeinen Betheiligung derselben an der Wasserleitung von selbst dahin fällt. Dazu kommt, dass die experimentelle Prüfung der Leitungseapacität mittelst farbiger Flüssigkeiten (die ich zwar nicht als absolut entscheidend betrachte) mir stets nur negative Ergebnisse geliefert hat. Die dünnwandigen Holzzellen in der Umgebung der Spiralgefässe waren oft weit hinauf gefärbt, während die Bastbelege noch keine Spur von Färbung zeigten, obschon dieselben auf Querschnitten den Farbstoff zu speichern im Stande sind. Die Leitungsfähigkeit der Bastzellen ist nach alledem sehr in Frage gestellt.

IX. Die Biegungsfestigkeit des mechanischen Systems in ihrem Verhältniss zu derjenigen des ganzen Organs.

Zum Schlusse theile ich nachstehend noch einige Beispiele mit, welche über den Antheil, den das mechanische System an der Biegungsfestigkeit des Stengels hat, Aufschluss geben. Dabei bemerke ich jedoch, dass die angestellten Vergleiche weiter Nichts bieten können, als eine ungefähre Orientirung, die allerdings um so genauer ausfällt, je sorgfältiger die der Berechnung zu Grunde gelegten Daten bestimmt sind.

Die Bestimmung der Biegungsfestigkeit ganzer Organe geschah durch das oben schon erwähnte einfache Verfahren. Frisch geschnittene Stengel wurden mit dem einen Ende horizontal in den Schraubstock gespannt, hierauf am

3. Die mechanischen Systeme zur Herstellung der erforderlichen Biegefestigkeit. 113

freien Ende belastet und die dabei eintretenden Senkungen direct gemessen. Nöthigenfalls wurde die Messung mehrere Mal nach vorausgegangener Drehung um einen beliebigen Winkel wiederholt und aus den erhaltenen Ziffern das arithmetische Mittel genommen. In zweiter Linie bestimmte ich die Querschnittsfläche der Bastzellen und das damit zusammenhängende Maass des Biegemomentes, wobei indess kleine Fehler nicht zu vermeiden sind, auch wenn man mehrere (z. B. den beiden Enden und der Mitte entsprechende) Querschnitte möglichst genau zeichnet und misst. Endlich blieb noch das Elasticitätsmodul zu bestimmen übrig, wobei ich gewöhnlich mit längern Stengeltheilen experimentirte, als bei der Messung der Senkungen, was wiederum als eine Fehlerquelle bezeichnet werden muss. Kurz, es kann von mathematischer Genauigkeit in den folgenden Berechnungen keine Rede sein: aber dessenungeachtet gestatten sie eine approximative Schätzung der Druckfestigkeit des Parenchyms und eventuell auch des Einflusses, den die Turgescenz der Gewebe ausübt. Auch zweifle ich nicht, dass die maassgebenden Elasticitätsverhältnisse am nämlichen (nicht verlängerten) Stengelstück merklich genauer bestimmt werden könnten, wenn man sich hiefür die nöthigen Messeinrichtungen verschaffte.

Die Formel für die Senkung des belasteten Endes ist nach Früherem, wenn das Eigengewicht vernachlässigt wird:

$$S = \frac{l^3 P}{3WE}$$

wobei l die Länge, P das angehängte Gewicht, W das Maass des Biegemomentes und E das Elasticitätsmodul bezeichnet.

Da es keinen Werth hätte, Beobachtungen ohne die zugehörigen berechneten Grössen, oder Berechnungen ohne annähernd richtige Grundlage mitzutheilen, so beschränke ich mich auf die Darlegung der wenigen Fälle, die mir wenigstens innerhalb der Grenzen unvermeidlicher Fehler zuverlässig zu sein scheinen. Bezüglich der Schwankungen der Biegefestigkeit, welche mit der Ab- und Zunahme der Turgescenz in den parenchymatischen Geweben zusammenhängen, verweise ich auf die Lehrbücher¹⁾ und auf die einschlägigen Veröffentlichungen über Gewebespannung, in theoretischer Beziehung überdiess auf das oben (S. 101 ff.) Gesagte.

1. *Molinia coerulea*. Ein 2 Mill. dickes Halmstück von 60 Mill. Länge senkt sich bei 20 Gramm Belastung um 1,6 Mill. Der Querschnitt des Bastringes sammt Rippen beträgt nach früheren Angaben, auf 1000 Ctm. Durchmesser berechnet, ca. 90,000 □ Ctm., das Maass des Biegemomentes 9400 Millionen. Letztere Grösse wird in Wirklichkeit (5000)¹⁾ Mal kleiner = $\frac{94}{6,250,000}$ Kilogrammcenimeter. Setzt man $E = 200,000$, so erhält man als Senkung für das isolirt gedachte mechanische System:

$$S = \frac{216 \cdot 6250000 \cdot 20}{3 \cdot 200000 \cdot 94 \cdot 1000} = 0,47 \text{ Ctm. oder } S = 4,7 \text{ Mill.}$$

¹⁾ Hofmeister, physiol. Bot. I p. 278. Sachs, Lehrb. der Bot. 3. Aufl. p. 695.

Die berechnete Senkung des mechanischen Systems ist somit ca. 3 Mal so gross, als die am ganzen Halm beobachtete.

2. *Piptatherum multiflorum*. Ein 2,5 Mill. dickes und 100 Mill. langes Halmstück vom untersten Internodium senkt sich bei 20 Gramm Belastung um 3,5 Mill. Die Dicke des Bastrings ist auf ca. 0,15 Mill. zu veranschlagen (eine schärfere Bestimmung ist unmöglich); die Querschnittsfläche desselben beträgt hienach ca. $2,4 \pi \cdot 0,15 = 1,13 \square \text{Mill.}$, das Maass des Biegemomentes $= 1,13 \cdot (1,2)^2 = 0,8$. Das Elasticitätsmodul berechnet sich nach directen Versuchen auf ca. 200,000 per Quadratcm. oder 2000 per $\square \text{Mill.}$ Man hat folglich:

$$S = \frac{1000000 \cdot 0,20}{3 \cdot 0,8 \cdot 2000} = 4,17 \text{ Mill.}$$

3. *Secale cereale* zur Zeit der Fruchtreife. Ein Halmstück von 100 Mill. Länge und 5 Mill. Durchmesser senkt sich bei 50 Gramm Belastung um 1,5 Mill. Für die Rechnung wurde statt $3WE$ die gleichwerthige Grösse $\frac{3}{2} r^2 \frac{l}{\lambda} G$ (s. pag. 29) nach directen Messungen eingeführt. Es war $r = 2,5$; $l = 285$, $\lambda = 1,25$ Mill., $G = 20$ Kilo (für das ganze Internodium); folglich $3WE$ in runder Zahl $= 40000$ und $S = 1,25$ Mill.

4. *Juncus glaucus*. Halmstück von 2,25 Mill. Dicke und 70 Mill. Länge. Beobachtete Senkung bei 10 Gramm Belastung $= 5$ Mill. Die Rechnung ergibt, wenn E zu 150,000 und das Maass des Biegemomentes, auf 1000 Ctm. Durchmesser berechnet, zu 5700 Millionen angenommen wird (in Wirklichkeit 4400⁴ Mal kleiner);

$$S = \frac{343 \cdot 0,010 \cdot 4400^4}{3 \cdot 5700,000000 \cdot 120,000} = 0,53 \text{ Ctm.} = 5,3 \text{ Mill.}$$

Setzt man $E = 100,000$, was vielleicht richtiger ist, so steigt dieser Werth auf 6,8 Mill.

5. *Lilium auratum*. Stengel von 12 Mill. Durchmesser und 200 Mill. Länge. Belastung 400 Gramm. Beobachtete Senkung $= 4,5$ Mill. Für die Berechnung hat man: Dicke des Bastringes $= 0,475$ Mill., Querschnittsfläche desselben annähernd $16 \square \text{Mill.}$, nach Abzug der Lumina noch ungefähr $8 \square \text{Mill.}$ Maass des Biegemomentes ca. 0,012 Kilogrammetm., endlich $E = 200,000$; folglich:

$$S = \frac{8000 \cdot 0,4}{3 \cdot 0,012 \cdot 200,000} = 0,44 \text{ Ctm.} = 4,4 \text{ Mill.}$$

Für $E = 150,000$ wird $S = 5,5$ Mill. Hienach scheint die Festigkeit des Stengels fast ausschliesslich auf dem Widerstand des Bastringes zu beruhen. Ich vermuthe jedoch, dass das Biegemoment des Ringes bei Liliaceen, weil hier die innern Zellen stets bedeutend schwächer sind als die peripherischen, auch bei möglichst genauer Bestimmung des Elasticitätsmoduls leicht zu hoch angesetzt wird, so dass also die berechnete Senkung etwas kleiner ausfällt, als sie am frei präparirten Basteylinder sich thatsächlich herausstellen würde.

4. Das mechanische System in Organen, welche der Biegungsfestigkeit nicht bedürfen. 115

6. *Funkia ovata*. Blüthenschaft von 5,5 Mill. Durchmesser und 60 Mill. Länge. Rinde 0,3, Bastring = 0,14 Mill. dick; folglich der Radius bis zur Mitte des Ringes = 2,12 Mill. und der Querschnitt des Ringes = 1,8 □ Mill. Belastung = 0,2 Kilo: beobachtete Senkung = 3 Mill.

Für die Rechnung hat man als Maass des Biegunsmomentes $0,212^2 \cdot 0,009 = 0,0004$ Kilogrammetm., als Elasticitätsmodul ca. 100,000. Die Senkung des isolirt gedachten mechanischen Systems beziffert sich hiernach auf

$$S = \frac{216 \cdot 0,2}{3 \cdot 0,0004 \cdot 100,000} = 0,36 \text{ Ctm.} = 3,6 \text{ Mill.}$$

Also abermals ein geringer Unterschied zwischen der beobachteten Senkung des ganzen Schaftes und der berechneten des Bastringes.

7. *Papyrus antiquorum*. Stammstück von 28 Ctm. Länge, abgerundet-dreikantig: Durchmesser eines ungefähr aequivalenten Kreises = 2 Ctm. (nach den mir vorliegenden Selbstabdrücken der obern kleinern und der untern grössern Endfläche bestimmt). Belastung = 0,2 Kilo; Senkung = 4 Mill. Bei 0,5 Kilo erreicht die Senkung = 12 Mill.

Querschnitt der peripherischen Bastmassen eines 4 Mill. breiten Riemens nach Früherem (pag. 11) = 0,56 □ Mill. Solcher Riemen gehen ca. 15 auf den aequivalenten Kreis: Gesamtquerschnitt des Bastes demnach $15 \cdot 0,56 = 8,4$ □ Mill. = 0,084 □ Ctm. (was auf 1000 Ctm. Durchmesser ca. 21000 □ Ctm. ausmacht). Maass des Biegunsmomentes, da der Radius = 1, die Hälfte von 0,084 = 0,042; Elasticitätsmodul nach Früherem = 131000. Folglich

$$S = \frac{28^3 \cdot 0,2}{3 \cdot 0,042 \cdot 131000} = 0,266 \text{ Ctm.} = 2,66 \text{ Mill.}$$

Ich schreibe diese Nichtübereinstimmung zwischen Rechnung und Beobachtung vorzugsweise dem Umstande zu, dass der untersuchte Stengel sich nach oben verjüngte, folglich nicht mehr als prismatischer Träger zu betrachten war.

Viertes Capitel.

Das mechanische System in Organen, welche der Biegungsfestigkeit nicht bedürfen.

Ein grosser Theil der Pflanzenorgane vegetirt in Verhältnissen, welche von den im vorigen Capitel vorausgesetzten durchaus verschieden sind und darnach auch meistens eine totale Aenderung der mechanischen Anforderungen mit sich bringen. Die einen dieser Organe leben unterirdisch in loekerer oder fester Erde, deren Druck sie während ihrer ganzen Vegetationsdauer auszuhalten und stellenweise zu überwinden haben, indess die oberirdischen Theile, mit denen sie in Verbindung stehen, in der Regel zugleich ihre Zugfestigkeit in Anspruch nehmen. Man denke z. B. an den enormen Zug, den ein im Sturme sich biegender Palmstamm oder ein hohes Bambusrohr auf einen Theil seiner

Wurzeln ausübt. Andere Organe und selbst ganze Gewächse wachsen untergetaucht in stehendem Wasser, wo sie bald aufrecht stehen (*Najas* etc.) und dann ausser dem Druck der entsprechenden Wassersäule wegen ihres Luftgehaltes einem continuirlichen, wenn auch schwachen Zuge nach oben ausgesetzt sind, bald aber auch (z. B. gewisse *Potamogeton*-Arten) liegend und nahe der Oberfläche sich, ausbreiten, wo die mechanischen Anforderungen sich auf ein Minimum reduciren. Wieder andere sind auf fliessende Gewässer angewiesen, wo vorzugsweise die Zugkraft der Strömung in Betracht kommt, die je nach der Form der Organe kleiner oder grösser ausfällt. Manche von diesen Wasserpflanzen besitzen überdiess neben ihren vegetativen Organen noch Blüten- und Fruchtsiele, welche sich über die Wasseroberfläche erheben und folglich ganz andern Festigkeitsansprüchen zu genügen haben. Weiter gibt es auch unter den in Luft vegetirenden Organen solche, welche sich nicht selbst zu tragen brauchen: Ranken, Schling- und Klettergewächse, bei denen nur in der Jugend, so lange sie noch keine Stütze gefunden, eine gewisse Biegungsfestigkeit nothwendig ist, während sie später zum Theil gar nicht, anderntheils auf Zug in Anspruch genommen werden. Es gibt ferner Flächenorgane, welche dem Zerfetzen (Abschecren) durch Wind oder Wasser ausgesetzt sind und daher gegen scherrende Kräfte geschützt sein müssen. Endlich besitzen wir in den Wurzeln von *Pandanus* und einigen Palmen (*Iriarteia*, *Wettinia*) auch Beispiele von Organen, welche nach Art der Säulen belastet sind.

Diese Aufzählung, obgleich unvollständig, mag immerhin ein Bild geben von der Mannigfaltigkeit der mechanischen Anpassungen, welche die Pflanze anzustreben hat. Zwar stimmen die genannten Fälle, wenn man die wenigen bereits bezeichneten Ausnahmen abrechnet, durchgehends darin überein, dass die biegenden Kräfte vernachlässigt werden können: allein die übrigen Bedingungen zeigen dafür um so grössere Verschiedenheiten. Manche Wurzeln und Rhizome werden fast nur auf Zug, andere auf radial gerichteten Druck, noch andere nach beiden Richtungen in Anspruch genommen; auch gibt es solche, deren mechanische Leistungen so zu sagen Null sind. Es gewährt unter diesen Umständen ein besonderes Interesse, den anatomischen Bau dieser Organe vergleichend zu untersuchen und unter Berücksichtigung der äussern Lebensbedingungen den Principien nachzuspüren, welche bei der Anpassung — bestimmten mechanischen Anforderungen gegenüber — zur Geltung kommen. Wie construirt die Natur jene Organe, welche fast nur durch Zug, wie diejenigen, welche ausserdem durch radialen oder longitudinalen Druck in Spannung versetzt werden? Diese Frage soll im Folgenden erörtert werden.

1. Zugfeste Einrichtungen.

Um die gestellte Frage zunächst mit Rücksicht auf Zugfestigkeit zu beantworten, ist vor Allem nöthig, sich der hierauf bezüglichen mechanischen Grundsätze zu erinnern. Die Zugfestigkeit hängt einzig und allein von der

4. Das mechanische System in Organen, welche der Biegungsfestigkeit nicht bedürfen. 117

Grösse des Querschnittes der widerstandsfähigen Elemente ab; die Anordnung derselben ist daher theoretisch vollkommen gleichgültig, sofern nur der Zug gleichmässig auf alle widerstandsfähigen Elemente einwirkt. Aber gerade um diese Gleichmässigkeit zu erzielen, wird man in der Praxis im Allgemeinen einer compacten Masse vor isolirten und beliebig zerstreuten Strängen den Vorzug geben. Man hängt bekanntlich grössere Gewichte nicht an einzelne Fäden, sondern an Schnüre oder Seile auf; ebenso construirt man die Zugstangen bei Brücken und Dacheconstructionen nicht etwa röhrenförmig, sondern solid. Das hat nun freilich noch seine practischen Gründe, die für die Pflanze nicht vorhanden sind. Dafür kommen hier physiologische Rücksichten in Betracht, welche im Allgemeinen nach derselben Seite hin den Ausschlag geben müssen. Ist es auch nicht möglich, alle die maassgebenden Momente zu präcisiren, so begreift man doch, dass eine Wurzel, welche bloss dem Zug ausgesetzt ist, ihre widerstandsfähigen Zellen von der Oberfläche mehr oder weniger zurückziehen muss, sobald das mechanische Princip diess gestattet oder sogar begünstigt.

In der That zeigt die Beobachtung, dass bei sämmtlichen Wurzeln, welche dem Zuge zu widerstehen haben, sowohl die mechanischen, als die damit verbundenen leitenden Elemente in Form eines axilen Stranges zur Entwicklung kommen. So allgemein die Inanspruchnahme auf Zug, so constant ist der hierdurch bedingte anatomische Bau. Diess gilt nicht bloss für die Wurzeln der Monocotylen, sondern ausnahmslos auch für diejenigen der übrigen Gefässpflanzen. Wie die oberirdischen Stengelorgane, den vorhergehenden Darstellungen zufolge, zum Theil als wahre Muster biegungsfester Constructionen zu betrachten sind, so die Wurzeln im Ganzen genommen als Modelle zugfester Constructionen. Beide haben in ihrer Weise den höchsten Grad der Anpassung erreicht, was sich offenbar dadurch erklärt, dass die Anforderungen gleicher Natur sind und überdiess schon an die Urtypen der jetzt lebenden Monocotylen gestellt wurden.

Von den Rhizomen kann man diess in gleicher Allgemeinheit nicht sagen. Sie sind zweifelsohne verschiedenen Alters, auch morphologisch schon desshalb nicht ohne Weiteres vergleichbar, weil einzelne ein besonderes unterirdisches Organsystem bilden (*Paris quadrifolia*), indess die übrigen sich später in directer Fortentwicklung dem Lichte zuwenden, wobei das horizontal verlaufende Fussstück bald ziemlich lang, bald aber auch sehr kurz ausfällt. Das sind alles Unterschiede, welche eine gleichmässige Anpassung von vorn herein nicht erwarten lassen. Dazu kommt, dass manche Rhizome bloss zur Vermehrung der Individuen, aber Nichts zu deren Befestigung beitragen, folglich auch nicht zugfest zu sein brauchen; so z. B. bei *Hemerocallis* und *Agave*, deren reiche und frühzeitige Bewurzelung keiner Verstärkung bedarf. Andere Rhizome dagegen liegen so nahe an der Oberfläche und sind dabei so kurz, dass sie an den Biegungen des Stengels, zumal bei schwacher Bewurzelung, mehr oder weniger Theil nehmen und dem entsprechend gebaut sein müssen. Die Anpassungsbedingungen enthalten also eine ganze Reihe variabler Grössen, deren

Werth in jedem gegebenen Falle erst eingesetzt werden müsste, um den wahren Inhalt der mechanischen Ansprüche zu ermitteln. Aber trotz alledem ist bei sämtlichen Rhizomen, wenige begründete Ausnahmen abgerechnet, eine entschiedene Annäherung an den anatomischen Bau der Wurzel nicht zu verkennen, und es gibt Beispiele, wo diese Annäherung fast bis zur Uebereinstimmung geht. In dieser Hinsicht sind namentlich die Halbgewächse — Gramineen, Cyperaceen und Juncaceen — äusserst interessant. Während im oberirdischen Stengel die mechanischen Elemente, wie von einer centrifugalen Kraft getrieben, nach der Peripherie streben und häufig sogar der ganze Aufbau einen dünnwandig-röhrenartigen Character erhält, kommt im Rhizom der entgegengesetzte Zug nach innen zur Geltung. Die Mestomstränge und die sie begleitenden Bastzellen sind hier zu einer viel engeren und oft sehr dickwandigen axilen Röhre oder sogar zu einem compacten Bündel zusammengezogen, dessen Durchmesser oft nicht einmal die Hälfte des Gesamtdurchmessers beträgt (Taf. XIII, 1—3, 5—10). Auch das eingeschlossene Markgewebe, obgleich hin und wieder mit kleiner centraler Höhlung oder von Luftgängen durchzogen, ist doch im Allgemeinen viel dichter, als in den Stammorganen, oft sogar ein vollständig geschlossenes und ziemlich festes Parenchym mit kleinen Zwischenzellräumen. Ja es gibt Fälle, wo von einem Mark eigentlich nicht mehr die Rede sein kann, wenn man nicht die markstrahlenartigen Parenchymwände zwischen den centralen Fibrovasalsträngen mit diesem Namen belegen will. So z. B. im Rhizom einzelner *Carex*-Arten. Für Höhlungen bleibt unter diesen Verhältnissen im ganzen mittleren Theil nur wenig oder gar kein Raum. Die grossen Luftkanäle, welche bei wasserliebenden Gewächsen gewissermaassen die Atmosphäre ersetzen und darum unentbehrlich sind, liegen denn auch ganz ausserhalb des axilen Stranges, in einer ringförmigen Zone zwischen diesem und der Oberfläche, womit allerdings der Nachtheil verbunden ist, dass ein hinlänglich fester, dem radialen Druck widerstehender Abschluss nach aussen unter Umständen besondere mechanische Einrichtungen erheischt. Man vergleiche zur vorläufigen Orientirung Taf. XIII, 1—3.

Diese centripetale Tendenz der Fibrovasalstränge tritt auch bei Rhizomen hervor, welche mechanisch sehr schwach gebaut sind oder selbst gar keine mechanischen Zellen besitzen, so bei *Hemerocallis fulva*, *Agave americana*, *Sagittaria sagittaeifolia*. Entweder muss also auch im Mestom die nämliche centripetale Tendenz obwalten, oder die axile Stellung ist das morphologische Erbtheil von Vorfahren, bei denen der mechanische Factor in höherem Maasse zur Geltung kam. Die grössere Wahrscheinlichkeit spricht wohl für die erstere Annahme, namentlich wenn man berücksichtigt, dass die leitenden Zellen auch bei Stammorganen, die keinen Bast besitzen und wo die angedeutete mechanische Degeneration kaum vorausgesetzt werden darf, sich dennoch stets in der Nähe der Axe zusammengruppiren; so bei *Potamogeton crispus*, *Najas*, *Ruppia*, *Hydrilla* etc., und zwar auch bei Arten, welche im Wasser fluthen und daher nur in verschwindend geringem Maasse dem Zuge angesetzt sind. Es scheint

4. Das mechanische System in Organen, welche der Biegungsfestigkeit nicht bedürfen. 119

nach alledem zu genügen, dass die Ansprüche auf Biegungsfestigkeit aufhören, um sofort ein Zurückweichen der leitenden wie der mechanischen Zellen zu veranlassen. In dieser Beziehung bieten besonders die fluthenden Stengel von *Juncus supinus*, *Scirpus fluitans* und *Alisma natans* wichtige Anhaltspunkte. Sie haben ganz den anatomischen Character der Rhizome: ein festes Mark, umgeben von einem Kranz von Gefässbündeln, beide zu einem axilen Strang von verhältnissmässig geringer Dicke vereinigt: ausserhalb desselben grosse luftführende Kanäle oder ein lockeres Filzgewebe, umschlossen von der Epidermis und etwa noch einer Ringlage von Parenchymzellen (Taf. XIII, Fig. 8). Bei *Scirpus fluitans* (s. die eben citirte Fig.) sind ausserdem noch kleine subepidermale Bastrippen vorhanden, die sonst der Biegungsfestigkeit dienen, hier aber, wie weiterhin gezeigt werden soll, die Zugfestigkeit der Rinde steigern sollen. Diese Bastbündel werden indess in den Blütheustielen, weil diese eine gewisse Biegungsfestigkeit unzweifelhaft bedürfen, sofort beträchtlich stärker, und der ganze anatomische Bau nimmt hier wieder den normalen *Isolepis*-Character an (s. den 9. Typus). Solche Vorkommnisse scheinen mir deutlich zu zeigen, dass die Principien der Biegungsfestigkeit allein es sind, welche die fragliche centrifugale Tendenz nothwendig mit sich bringen; alle andern Momente wirken in der Regel centripetal und nur ausnahmsweise und unter besondern Umständen (z. B. bei dem sogleich zu besprechenden Zuge durch fliessendes Wasser im entgegengesetzten Sinn).

Zwischen den biegungsfesten oberirdischen Stengeln und den unterirdischen Organen, welche diese Art von Festigkeit entbehren können, besteht demnach ein so radicaler Gegensatz, dass Rhizome und Wurzeln, bloss weil sie unter verwandten mechanischen Verhältnissen leben, sich anatomisch näher stehen, als Rhizome und oberirdische Stammorgane. Dieser Gegensatz steht aber keineswegs unvermittelt da. Es gibt liegende Stämme, Ausläufer und ausläuferartige Rhizome, in denen der Kampf der entgegengesetzten Principien noch nicht zum Austrag gekommen ist und welche in Folge dessen die mannigfachsten Uebergänge zwischen den beiden Extremen aufweisen. Der aufstrebende Wurzelstock von *Holcus mollis* verhält sich anatomisch noch ganz wie ein Stamm; die Ausläufer von *Agrostis stolonifera* und *Poa pratensis* dagegen haben bereits die subepidermalen Rippen eingezogen, die Mächtigkeit der Rindenschicht etwas verstärkt und die Markhöhlung verkleinert, zum Theil sogar geopfert. Viel weiter gehen auch einzelne Rhizome nicht; doch findet man hier bei der nämlichen Pflanze, z. B. bei *Triticum repens*, verschiedene Abstufungen sowohl mit Bezug auf Rindendicke als auf Grösse der Markhöhlung. Es gibt Queggenrhizome, deren Durchmesser stark doppelt so gross ist, als derjenige des Fibrovasaleylinders, und wieder andere, wo sich das Verhältniss ungefähr wie 10 zu 7 gestaltet. Dass diese Dimensionen auch sonst sehr erhebliche Schwankungen zeigen und theilweise durch die Luftkanäle bedingt sind, geht aus den Abbildungen der Taf. XIII zur Genüge hervor.

Was die Anordnung der Gefässbündel, die Form der Bastbelege, die Be-

schaffenheit des Mark- und Rindengewebes etc. betrifft, so ist trotz der grossen Mannigfaltigkeit des Baues wenig zu erwähnen, was für unsere Betrachtung von Belang wäre. Die Einrichtungen, welche sich auf die Festigkeit der peripherischen Rindenschicht gegen radiale Druckkräfte beziehen, sollen weiterhin besonders besprochen werden: für alles Uebrige beschränke ich mich auf die Hervorhebung einiger Unterschiede. Wir können hierbei folgende Fälle unterscheiden:

a) Gefässbündel in einfacher oder mehrfacher Ringlage, zusammen einen Kreisring von grösserer oder geringerer Dicke bildend; jedes einzelne Bündel durch eine geschlossene Bastscheide geschützt, die peripherischen Scheiden nicht selten zum Ring verschmolzen. So bei verschiedenen Gräsern (*Triticum repens*, *Arrhenaterum elatius* (Taf. XIII, 6), *Calamagrostis stricta* etc.) und *Carex*-Arten (*C. incurva* Taf. XIII. 2 u. a.), ferner bei *Scheuchzeria palustris* und im zugfesten Basaltheil der Internodien bei Gramineen (Taf. X, 2).

b) Wie im vorhergehenden Fall, aber die Gefässbündel zahlreicher und weiter ins Mark vorspringend, zuweilen sogar über den ganzen Querschnitt desselben zerstreut. Mit der vorhergehenden Gruppe durch alle möglichen Uebergänge verbunden. Hieher die Rhizome von *Carex glauca* (Taf. XIII, 1), *disticha*, *stricta* etc., desgleichen von *Phalaris arundinacea* und *Cynodon Dactylon*.

c) Mit continuirlichem Bastring; die Gefässbündel von innen an denselben angelehnt, ohne Bastscheiden, aber das Cambiform von den Gefässen umschlossen und geschützt (was übrigens auch bei der vorhergehenden Gruppe vorkommt). So bei *Crocasmia aurea* (Taf. XIII, 9) und *Paris quadrifolia*. — Das Rhizom dieser letztern Pflanze wächst bekanntlich nie nach oben, sondern erzeugt die oberirdischen Triebe aus Seitenknospen. Also ein mehr wurzelähnliches Verhalten. Daher denn auch die grosse Contraction des Gefässbündelkreises, der hier nur ungefähr $\frac{1}{3}$ des ganzen Durchmessers einnimmt, sowie der ausgeprägt eigenartige Bau der Mestomstränge. Der Bastring besteht aus einer einfachen Zellreihe, während er bei *Crocasmia* stark entwickelt ist.

d) Mit schwachem Bastring, die Bastzellen dünnwandig; Gefässbündel bastlos, im Marke zerstreut. So bei *Asphodelus luteus*.

e) Gefässbündel im mittleren Theil des Rhizoms zerstreut, alle mit starken Bastbelegen auf der dem Centrum zugewandten Seite, zum Theil auch mit kleinen Belegen auf der Aussenseite. So bei *Tritoma Burchelli* (Taf. XIII, 7), *Typha angustifolia* und *Scirpus Tabernaemontani* (Taf. XIII, 11), sowie in den Blattstielen der Marantaceen, worüber bereits oben das Nähere mitgetheilt wurde.

Hiezu bemerke ich noch, dass die bei den Rhizomen häufig vorkommende Schutzscheide, welche den ganzen Fibrovasaleylinder umschliesst, namentlich bei den *Carex*-Arten, dann bei *Triticum repens* u. a. sehr schön entwickelt ist und meist aus zierlich verdickten Zellen besteht. Aehnliche Scheiden besitzen hin und wieder auch die einzelnen in der Rinde verlaufenden Blattspurbiindel.

Die Verdickungsformen der Scheidenzellen sind im Rhizom dieselben, wie in der Wurzel.

Besondere Beachtung verdienen nachträglich noch diejenigen Gewächse, deren Zugfestigkeit durch fließendes Wasser oder überhaupt durch Wasserbewegung auf die Probe gestellt wird. Dahin gehören z. B. verschiedene Potamogeton-Arten (*P. fluitans*, *longifolius*, *lanceolatus*, *praelongus* u. a.), und da zwischen diesen und den in stehendem Wasser vegetirenden alle Abstufungen des Baues und der Standortverhältnisse vorkommen, so bietet sich hier eine besonders günstige Gelegenheit, die Beziehungen zwischen den gegebenen mechanischen Lebensbedingungen und dem anatomischen Bau der Organe zu untersuchen. Diejenigen Arten, welche nur in stehenden und langsam fließenden Gewässern leben, wie z. B. *P. crispus*, *densus* und *pectinatus*, besitzen weder in der Rinde, noch im axilen Fibrovasalcylinder besondere mechanische Zellen. Sie verhalten sich demnach, wie die von Caspary beschriebenen Hydrilleen¹⁾ oder wie die Stämme von *Najas* und *Caulinia*, deren genauere Kenntniss wir den Untersuchungen von P. Magnus²⁾ zu verdanken haben; sie stimmen überhaupt mit all' den Gewächsen überein, welche im ruhigen Wasser vegetiren. Andere Potamogeton-Arten, darunter *P. rufescens*, zeigen in einzelnen Formen kleine Gruppen von Bastzellen im axilen Fibrovasalstrang, dazu collenchymatische Verdickungen im übrigen Gewebe. Am stärksten gebaut waren die Exemplare aus der Ober-Lausitz (um Rietschen) und aus der Gegend von Kaiserslautern. Diese hatten bereits zusammenhängende Belege von 4 bis 7 bogenförmig gestellten Bastzellen, zumal in der Umgebung der axilen Luftkanäle: das Maschenwerk der Rinde war aber noch durchgehends ohne Bast. Aehnlich verhalten sich auch *Potamogeton perfoliatus* und *Hornemannii*; nur sind die Bastbelege der axilen Gefässbündel hier beträchtlich stärker. Gehen wir jetzt zu den Formen über, welche auch stärker fließendes Wasser vertragen können oder geradezu auf dasselbe angewiesen sind, wie etwa *P. lanceolatus* Sm., *longifolius* Gay, *compressus* u. dgl., so finden wir hier nicht bloss den Centralstrang entsprechend verstärkt, sondern auch die maschige Rinde mit einer grössern oder kleinern Zahl von Bastbündeln ausgestattet. Diese letzteren sind bald nur subepidermal (*P. compressus*, *obtusifolius*, *acutifolius*), bald aber auch in viel grösserer Anzahl auf die zahlreichen Knotenpunkte des parenchymatischen Maschenwerkes vertheilt (*P. lanceolatus* Sm., *P. longifolius*): manche derselben sind übrigens nicht bloss Bastbündel, sondern enthalten auch einige Cambiformzellen oder sogar kleine Gefässe.

Was soll nun dieses peripherische System von Strängen, das wir allmählig mit der steigenden Inanspruchnahme auf Zug sich entwickeln sehen, dem betreffenden Organ nützen, und wie erklärt sich eine solche Zerstreung der

¹⁾ Caspary, die Hydrilleen, Pringsh. Jahrb. I, S. 377.

²⁾ P. Magnus, Beiträge zur Kenntniss der Gattung *Najas*, Berlin 1870.

mechanischen Elemente über den ganzen Querschnitt im Gegensatz zu der sonst so entschieden hervortretenden centripetalen Tendenz derselben? Die Antwort liegt in folgenden Erwägungen. Da die Rindenschicht von zahlreichen, meist nur durch eine einschichtige Wand getrennten Luftkanälen durchzogen wird, so ist sie begreiflicher Weise mechanisch sehr schwach, dabei aber doch ziemlich voluminös. Sie würde deshalb Gefahr laufen, durch den Zug des fließenden Wassers, der zunächst auf die Oberfläche wirkt, zerrissen und abgestreift zu werden, wenn sie nicht selbst mechanische Elemente enthielte und in Folge dessen eine gewisse Widerstandsfähigkeit besäße. Diess gilt nicht bloss für die Stamminternodien, sondern auch für die Blätter, die darum auch ganz übereinstimmend gebant sind. Ein Querschnitt durch das Blatt von *P. compressus* zeigt z. B. in der Mitte einen axilen Strang mit schwachen Bastbelegen, in der Umgebung der Luftlöcher aber noch sieben subepidermale Bastrippen. Dazu kommen dann noch die Rippen (Nerven) der Randpartieen, deren Zahl bekanntlich bei den verschiedenen Arten der grasblättrigen Laichkräuter variiert, die aber ebenfalls nur aus Bastzellen bestehen.

Zu dem Zug, den das einzelne Organ für sich allein auszuhalten hat, kommt dann bei allen Stamminternodien noch die Summe aller Zugkräfte, welche auf die mehr scheidelwärts gelegenen Theile einwirken; denn alle diese Theile stehen direct oder indirect mit den unteren Stengelgliedern im Zusammenhang. Diese Zugkräfte wirken indess einfach wie ein angehängtes Gewicht und würden für sich allein bloss eine Verstärkung des axilen Cylinders verlangen. Da nun aber das System der peripherischen Bündel einmal da ist, so erheischen auch diese, sofern sie nicht von Zeit zu Zeit durch hinlänglich starke Anastomosen mit dem Centralstrang verbunden sind, eine entsprechende Verstärkung.

Wie sehr die Ausbildung dieser peripherischen Bastbündel von den mechanischen Anforderungen des Mediums abhängig ist, beweist unter Anderem auch die Thatsache, dass Varietäten derselben Art in diesem Punkte differiren können, wenn sie unter verschiedenen Bedingungen leben. So hat z. B. *P. fluitans* ein ziemlich entwickeltes System von Rindenbündeln, während die Varietät *β stagnatilis Koch*, welche in stehendem Wasser wächst, derselben vollständig entbehrt. Ich bemerke noch, dass die untersuchte Pflanze ein F. Schultz'sches Original Exemplar von *P. Billotii* war.

An die *Potamogeton*-Arten mit subepidermalen Bastrippen schliessen sich nun auch die oben erwähnten fluthenden Stengel von *Scirpus fluitans* an, welche nach einem ganz analogen Typus gebaut sind: nur ist die Zahl der subepidermalen Rippen hier so gross (ca. 16 bis 20), dass sich mir unwillkürlich die Frage aufdrängt, ob sie vielleicht auch zur Erhöhung der Festigkeit gegen radialen Druck beitragen sollen. Wahrscheinlich ist das gerade nicht, da die Natur zu diesem Zweck, wie ich später darlegen werde, sonst immer die hohleylindrische Röhre verwendet. Allein da andererseits der Standort, so-

4. Das mechanische System in Organen, welche der Biegungsfestigkeit nicht bedürfen. 123

weit die Angaben der Floren hierüber Aufschluss geben¹⁾, starke Wasserbewegungen (Wellenschlag oder Strömungen) ausschliesst und die fragile Pflanze in der Familie der Cyperaceen vereinzelt dasteht, so wollte ich die angedeutete Frage doch nicht ganz unterdrücken. Uebrigens bemerke ich noch, dass auch der Bau der Blätter eher eine Anpassung an strömendes Wasser verräth. — Die beiden andern, früher mit *Sc. fluitans* genannten Ausnahmen, nämlich die fluthenden Stengel von *Juncus supinus* und *Alyisma natans*, welche beide nur in stehendem Wasser vorkommen, besitzen keine subepidermalen Rippen, obschon die Rinde ebenfalls sehr locker und mechanisch ungefähr gleich schwach ist. Dieselben schliessen sich also ungezwungen den *Species et varietates stagnatiles* der übrigen Gattungen an.

Wie *Potamogeton*, so verhält sich gewissermassen auch *Najas*. Unsere einheimischen Arten, welche stets nur in ruhigem Wasser vorkommen, entwickeln keine mechanischen Zellen. Bei gewissen indischen und amerikanischen Formen, die ich übrigens nur aus der trefflichen Darstellung von Magnus²⁾ kenne, scheint dagegen ein etwas stärkerer Bau nothwendig zu sein: denn man findet sowohl bei *N. graminea* Del. und *N. tenifolia* R. Br., als auch bei der amerikanischen *N. microdon* A. Br. die Blattränder durch mechanische Zellen verstärkt, welche Magnus mit Recht als Bastzellen bezeichnet. Bei den erstgenannten Arten figuriren einzelne dieser Zellen auch auf der Ober- und Unterseite der Mittelrippe, also in ähnlicher Stellung, wie bei *Potamogeton compressus* und seinen Verwandten. Obschon mir nun die Standortsverhältnisse der genannten Gewächse gänzlich unbekannt sind, so glaube ich doch nicht zu irren, wenn ich die erwähnten Bastnerven als Einrichtungen gegen den Wellenschlag oder gegen den Zug des fliessenden Wassers deute.

Das Auftreten von Bastbündeln in der masehigen Rinde von *Potamogeton*, zusammengehalten mit den Ursachen, welche dasselbe angeseheinlich bewirken, legt die Vermuthung nahe, es möchte auch mit den markständigen Bastbündeln in den stielrunden Blättern von *Juncus acutus*, sowie im Stamme von *Scirpus Duvallii* (wo sie übrigens nicht constant vorkommen) eine analoge Bewandtniss haben. Ja, es wäre sogar möglich, dass auch die Bastbündel im Marke der Marantastämme einem öfter einwirkenden Zuge ihre Entstehung zu verdanken hätten. Die Vegetationsverhältnisse der genannten Gewächse sind mir indessen nicht genau genug bekannt, um diese Vermuthungen näher prüfen oder motiviren zu können. Dagegen ist es mir allerdings mehr als wahrscheinlich, dass die zahlreichen Bastbündel in der Rinde der Palmenwurzeln (und vielleicht auch der Palmenstämme) mit dem hier wirksamen starken Zuge in causalem Zusammenhange stehen.

Eine weitere Thatsache, von der ich vermuthe, dass sie auf die mecha-

¹⁾ Die Angaben lauten z. B.: *In inundatis Westphaliae, an der Themse etc.*

²⁾ P. Magnus, l. c. Taf. VI, Fig. 1—5; vgl. auch Taf. VIII.

nischen Bedingungen in zugfesten Organen zurückzuführen sei, ist die Lage des Bastes in Rhizomen und Wurzeln mit einseitigen Bastbelegen. Ich habe hier zunächst die horizontalen Ausläufer von *Typha angustifolia* und *Scirpus Tabernaemontani* im Auge, deren Fibrovasalstränge vorwiegend oder ausschliesslich auf der Innenseite mit Bastsicheln versehen sind. Die Cambiformbelege von *Typha* sind nicht stärker als in vielen andern Fällen, wo sie ausser dem Schutze der leitenden Zellen keinen andern Zweck haben können. Es darf unter diesen Umständen angenommen werden, dass sämtliche Bastzellen, welche einzig und allein die Zugfestigkeit des Organs bezwecken, auf der Innenseite liegen. Das nämliche Stellungsverhältniss findet sich in sehr ausgeprägter Weise auch in den Rhizomen von *Tritoma Burchelli* und in gewissem Sinne auch in den Wurzeln der Monocotylen: denn die Cambiformstränge und die primordiales Gefässe liegen bekanntlich an der Peripherie des Fibrovasalcylinders, die Bastzellen weiter nach innen. Wie ist nun diese Thatsache zu erklären? Ich denke mir die Sache folgendermaassen.

Zwischen Mestom und Bast besteht, wie ich weiterhin ausführlicher darlegen werde, eine gewisse Abhängigkeit in dem Sinne, dass die Mestomstränge sich gerne an die vorhandenen Bastbündel anlehnen, weil diese ihnen Schutz gegen Druck und andere störende Einflüsse gewähren. Wir sehen desshalb den Bast so häufig in Verbindung mit Mestom auftreten; das letztere folgt jenem in biegungsfesten Organen bis in die Nähe der Oberfläche, was voraussichtlich der eigenen Neigung des Mestoms wenig entspricht und daher auch bei Gefässcryptogamen, deren mechanisches System isolirt auftritt, thatsächlich nicht geschieht. Der Bast zieht also vermöge seines centrifugalen Strebens das Mestom hinter sich her, wie der Komet seinen Schweif. Dabei kann es vorkommen, dass das Mestom Widerstand leistet und so zu sagen auf halbem Wege zurückbleibt. Es behält dann nicht selten einen Theil des Bastes für sich, indess der übrige seinem Zuge nach der Oberfläche freien Lauf lässt; so z. B. bei *Phormium tenax* und hie und da auch bei den kleineren subepidermalen Rippen der Gramineen. — In den zugfesten unterirdischen Organen verhält sich die Sache umgekehrt. Die mechanischen Zellen streben nach innen, die Mestomstränge wahrscheinlich auch, aber in den oben genannten Fällen nicht in demselben Grade; jene gehen also wiederum voran und ziehen diese hinter sich her.

Werfen wir jetzt noch einen Blick auf die schlingenden Organe, so ist hier das Bedürfniss der Biegungsfestigkeit während der Zeit des Suchens nach einer Stütze für die Anordnung der Theile maassgebend. Wir treffen daher sowohl bei *Tamus* und *Dioscorea* als auch bei den kletternden Smilacéen einen normalen Bastring, der bei jenen sogar durch starke Collenchymplatten verstärkt und in jüngeren Stadien ersetzt wird. Eine Markhöhlung kommt indessen nie zu Stande; die Markzellen sind im Gegentheil, wenigstens in den älteren zugfesten Internodien, fast immer etwas verdickt, so dass die verholzten Mestomelemente oft nur wenig dagegen abstechen. Dasselbe gilt

mutatis mutandis auch vom Gewebe der Kletterpalmen¹⁾. Es ist überhaupt eine allgemeine Regel, dass sowohl das Mark, als die markständigen Bündel, sofern solche vorkommen, durchgehends etwas fester gebaut sind, als bei nicht kletternden Gewächsen; überdiess ist der ganze Stamm bekanntlich viel schlanker angelegt und dafür behufs hinlänglicher Ventilation mit aussergewöhnlich grossen Gefässen ausgestattet. — Wie die Schlinggewächse verhalten sich im Wesentlichen auch die Ranken von *Smilax* und *Gloriosa superba*, und ich füge hinzu: auch diejenigen der Dicotylen. Nur kommt es hier vor, dass das Colenchym für sich allein den Anforderungen der Biegungsfestigkeit im Jugendzustande nahezu genügt, so dass die Bastzellen etwas weiter nach innen rücken, d. h. mit etwelcher Rücksicht auf die später herzustellende Zugfestigkeit angelegt werden (Taf. XIII, 10 Querschnitt durch eine Ranke von *Smilax aspera*).

Stengelorgane, welche von Anfang an nur dem Zuge zu widerstehen haben, sind unter den Landpflanzen offenbar äusserst selten; ich wüsste kein Beispiel zu nennen. Die grösste Annäherung an diese Bedingung dürfte etwa bei den hängenden Blüthenschäften epiphytischer Orchideen und bei den Inflorescenzen einiger Palmen zu finden sein. Von diesen Objecten kenne ich indess nur den Blüthenschaft von *Stanhopea insignis*. Hier fehlt der Bastring und die Fibrovasalstränge sind über den ganzen Querschnitt zerstreut, die innern aber entschieden grösser und mit stärkeren Bastbekleidungen ausgestattet. Die centripetale Tendenz ist also unverkennbar.

Schliesslich erwähne ich noch die Blattscheiden der Palmen, welche bekanntlich später, sobald die nächstoberen Blätter entfaltet sind, einen sehr starken Zug auszuhalten haben. Auch hier liegen die Bündel, welche der Scheide die nöthige Widerstandsfähigkeit verleihen, in der Mitte des Gewebes, nicht an der Oberfläche; überdiess stimmt selbstverständlich die Richtung der Fasern mit derjenigen der Zugkräfte überein. Die letzteren bilden im Allgemeinen zwei Systeme, von denen das eine den Wirkungen der Schwerkraft und der entsprechenden Belastungen der Blattspreite durch den Wind, das andere dem Seitendruck des Windes entspricht. Durch die Kreuzung der beiden, den Zugkräften entsprechenden Fasersysteme entsteht das bekannte Netzwerk der Blattscheiden.

2. Festigkeit gegen radialen Druck.

Unterirdische oder in Wasser vegetirende Organe, deren Rindenparenchym von Luftkanälen durchzogen oder doch mehr oder weniger gelockert ist, be-

¹⁾ Eine mehr oder minder ausgesprochene Contraction der festen Theile beobachtet man auch bei den kletternden Aroideen, von denen ich allerdings bloss *Philodendron Imbe* und *Ph. pertusum* selbst untersucht habe. Die erstgenannte Art zeigt einen peripherischen Cylinder von Hornparenchym, welcher nur um 2 bis 3 Zellschichten von der Epidermis absteht. Das Periderm entsteht innerhalb dieses Cylinders. — Bezüglich der Contraction des Fibrovasalcylinders in kriechenden Aroideenstämmen verweise ich auf die Abhandlung von Tieghem's »Recherches sur la structure des Aroidées« in Ann. sciences nat. 5. série, 6 (1866), Taf. V, Fig. 1 (*Monstera Adansonii*).

dürfen einer festen Abgrenzung nach aussen, welche dem radialen Druck des umgebenden Mediums auf die Oberfläche den erforderlichen Widerstand entgegen setzt. Wären die Organe biegnngsfest oder nach Art der Säulen gebaut, so würden besondere Vorkehrungen in der Regel entbehrlich sein; allein da sie in erster Linie auf Zugfestigkeit angepasst sind, so verlangt die Herstellung eines festen peripherischen Mantels ihren besondern Materialaufwand, und es kann leicht vorkommen, dass die Epidermis nebst Parenchym für diesen Zweck nicht mehr genügt, so dass die Pflanze sich mit spezifisch-mechanischen Zellen behelfen muss. Bei welchem Drucke oder unter welchen Umständen diese Nothwendigkeit eintritt, lässt sich *a priori* nicht bestimmen, da die einschlägigen Formeln (die Festigkeit der Feurröhren in Dampfesseln etc. betreffend) aus verschiedenen Gründen nicht anwendbar sind. Es bleibt also nur übrig, das herrschende Gesetz aus den anatomischen Vorkommnissen zu erschliessen. Die Beobachtung zeigt nun, dass zugfeste Organe, welche in stehendem oder langsam fliessendem Wasser vegetiren, wie die Stengel von *Juncus supinus*, *Alisma natans*, *Scirpus fluitans*, sowie ferner diejenigen von *Najas*, *Caulinia*, *Sagittaria* etc. keinen andern Abschluss nach aussen besitzen, als eine schwach verdickte Epidermis, an welche sich eine oder mehrere Lagen dünnwandiger Parenchymzellen anschliessen. Und doch ist dieser dünne Parenchymmantel zuweilen bloss durch einschichtige radiale Wände mit dem axilen Fibrovasalstrang in Verbindung, d. h. er verhält sich wie eine Röhre mit schwachen Radialversteifungen. Ein solcher Bau kann natürlich nur bei annähernd gleichmässigem Wasserdrucke, der überdiess vom Luftdruck in den Gängen nicht merklich abweichen darf, haltbar sein. — Es gibt zweitens unterirdische Organe, welche zwar theilweise unter einem beträchtlichen Erddruck stehen, dafür aber keine so grossen Luftkanäle bedürfen, ja zum Theil sogar eine continuirliche Rinde besitzen, und in Folge dieser Begünstigung ebenfalls keinerlei Verstärkung der peripherischen Zellen nöthig haben. Dahin gehören z. B. die Rhizome von *Agave*, *Hemerocallis* und *Asphodelus*, die überhaupt — da sie bloss der Vermehrung dienen — sehr schwach construirt sind; dann aber auch die in viel höherem Grade zugfesten Rhizome von *Milium effusum*, *Calamagrostis stricta*, *Tritoma Burchelli*, *Carex alba* und *Carex pilosa*, überdiess viele Wurzeln, deren spezielle Aufzählung ich übergehe. Die Rinde ist bei diesen sämtlichen Gewächsen durchweg parenchymatisch, zuweilen überdiess dünnwandig bis zur Oberfläche, andere Male zunächst der Epidermis um ein Weniges stärker. Ein solcher Bau setzt offenbar einen lockern, luftführenden Boden voraus. — Eine dritte Kategorie von unterirdischen Organen vegetirt in lehmigem oder wasserdurchtränktem Boden und bedarf in Folge dessen wieder grössere, zum Theil sogar sehr grosse Luftkanäle, welche natürlich die Festigkeit der Rinde beeinträchtigen. Hier stellt sich nun die Nothwendigkeit ein, den peripherischen Theil der Rinde durch dickwandiges Parenchym oder auch durch typische Bastzellen in zweckmässiger Stellung zu verstärken: das Letztere ist der gewöhnliche Fall. Ueberdiess hat die Pflanze der Anforderung zu

4. Das mechanische System in Organen, welche der Biegungsfestigkeit nicht bedürfen. 127

genügen, das Eindringen des Wassers durch Herstellung einer genügenden Schicht verkorkter Membranen zu verhüten. Die mechanische Verstärkung geschieht in den mir bekannten Fällen fast ausnahmslos durch einen hohlcylindrischen Bastmantel, welcher sich entweder unmittelbar an die Epidermis oder aber an eine peripherische Lage verkorkter Rindenzellen anschliesst; nur die Uebergangsformen begnügen sich mit dickwandigem Parenchym. Die Abhaltung des Wassers dagegen wird in verschiedener Weise: bald nur durch die Epidermis in Verbindung mit der verkorkten Zwischenzellsnbstanz des Bastcylinders, bald anserdem noch durch die vorhin genannten verkorkten Rindenzellen bewirkt. Auf Querschnitten erscheint also der Bastring entweder subepidermal oder aber durch korkartige Zellen etwas weiter nach innen gedrängt. Das erstere ist beispielsweise der Fall in den unterirdischen Ausläufern von *Carex stricta* (Taf. XIII, 1), *caespitosa. vulgaris* und *limosa* (Taf. XIII, 3), ferner im Rhizom und im untern Theil des aufrechten Stammes von *Scheuchzeria palustris*, endlich in den Rhizomen verschiedener Gramineen. Durch verkorkte Rindenzellen nach innen gedrängt ist dagegen der Bastring in den Rhizomen von *Carex Schreberi*, *Ohmülleriana. brizoides. stenophylla, incurva* (Taf. XIII, 2) und *disticha*.

Die Ringlage, in der die mechanischen Zellen hier auftreten, ist offenbar radialen Kräften gegenüber die zweckmässigste. Man gibt ja auch den Feuerrohren in Dampfkesseln, welche einem Druck von mehreren Atmosphären widerstehen sollen, eine möglichst genaue Cylinderform, da jede Ungenauigkeit eine allmähige Abplattung derselben herbeiführt. Ebenso bei Gasleitungsrohren u. dgl. Aber es ist doch immerhin bemerkenswerth, dass die erwähnten unterirdischen Stammorgane, weil sie unter andern mechanischen Bedingungen vegetiren, von den biegungsfesten oberirdischen Stengeln, welche bekanntlich isolirte peripherische Träger besitzen, so ganz und gar verschieden sind. Ist das nicht abermals ein deutlicher Hinweis auf die unbestrittene Herrschaft des mechanischen Principis?

Zur Verstärkung des Bastcylinders bestehen hier und da die radialen und schief-radialen Wände zwischen den Luftlücken der Rinde aus dickwandigen Zellen. Die ganze Construction gewährt alsdann im Querschnitt ungefähr das Bild eines Rades. So z. B. bei *Carex brizoides* und *C. Schreberi* und in geringerem Maasse auch bei *C. rigida* und *limosa*. In den Fällen, wo das luftführende Gewebe zwischen dem axilen Fibrovasalstrang und dem Bastring ein vielmaschiges Netzwerk ist, wie bei *C. disticha, stricta* (Taf. XIII, 1) und *caespitosa*, sind zuweilen die sämtlichen Maschen durch Verdickung der Zellwandungen mehr oder weniger verstärkt (*C. stricta*). Bei *C. supina* endlich ist fast die ganze Rindenschicht dickwandig und ansergewöhnlich fest.

In der Reihe der Abstufungen, welche das mechanische Rindensystem in anatomischer Hinsicht darbietet, lassen sich demgemäss etwa folgende Stadien unterscheiden, die übrigens noch lange nicht alle beobachteten Uebergänge umfassen. Die Beispiele beziehen sich nur auf Stammorgane. Die Charakteristik

der Standorte ist bloss zur Orientirung beigesetzt; Genaueres findet man in den Floren.

Medium.	Anatomischer Bau.	Beispiele.
Wasser	Rinde mit grossen Luftkanälen; Umhüllungsmantel dünnwandig-parenchymatisch, aus 2 bis 3 Zellschichten gebildet; nur bei beträchtlicher Dicke des Organs mehrschichtig.	<i>Potamogeton crispus</i> , <i>Najas</i> , <i>Juncus supinus</i> , <i>Scirpus fluitans</i> etc.
Lockerer Boden	Luftkanäle fehlend oder sehr klein; Rinde durchgehends dünnwandig-parenchymatisch.	<i>Milium effusum</i> , <i>Carex pilosa</i> .
Waldboden.	Kleine Lufträume in der Umgebung des Fibrovasalcylinders constant vorhanden; Umhüllungsmantel vielschichtig, dünnwandig-parenchymatisch.	<i>Carex alba</i> .
Fester Wald- oder Wiesboden.	Rinde ohne Luftkanäle, mit schwachem peripherischem Bastring.	<i>Carex glauca</i> , <i>Triticum repens</i> .
Fester Haideboden.	Kleine Luftkanäle in der Umgebung des Fibrovasalcylinders. Peripherischer Theil der Rinde vielschichtig, mit mässig verdickten Wandungen, z. Th. collenchymatisch; hie und da vereinzelt Auftreten von Bastzellen.	<i>Carex cricetorum</i> (Haideform).
Fester Grasboden.	Kleine Lufträume in der Umgebung des Fibrovasalcylinders. Rindengewebe dickwandig, aussergewöhnlich fest, zunächst der Oberfläche aus bastähnlichen Zellen gebildet.	<i>Carex supina</i> .
Feuchter Wald- oder Sandboden.	Kleinere und mittelgrosse Luftwege in der Umgebung des Fibrovasalcylinders; der Bastring gewöhnlich etwas schwach, dafür aber durch dickwandiges Rindengewebe (z. B. in Gestalt von speichenartigen Fortsätzen nach innen) verstärkt und von verkorkten Rindenzellen umschlossen.	<i>Carex brizoides</i> , <i>C. Schreberi</i> .
Sumpfboden.	Luftkanäle so gross oder doch nicht viel kleiner, als bei untergetauchten Organen. Peripherischer Bastring mit verkorkter Zwischenzellsubstanz, bald subepidermal, bald innerhalb verkorkter Rindenzellen; die Rinde dünnwandig-parenchymatisch.	<i>Carex disticha</i> , <i>C. stricta</i> , <i>C. caespitosa</i> etc. <i>Juncus Gerardi</i> .

Bezüglich der Uebergänge zwischen Bast und Parenchym bieten neben den nächstverwandten *Carices* auch einige *Juncus*-Arten interessante Abstufungen. Während z. B. die Rhizome von *J. compressus* einen festen Umhüllungsmantel

4. Das mechanische System in Organen, welche der Biegnngsfestigkeit nicht bedürfen. 129

von dickwandig-parenchymatischem Aussehen besitzen, dessen Zellen auf keinen Fall, trotz der hie und da vorkommenden schiefen Wände, als typische Bastzellen bezeichnet werden können, obwohl sie im Querschnitt sich nicht von denselben unterscheiden, zeigen die entsprechenden Zellen bei dem kaum spezifisch verschiedenen *J. Gerardi* bereits die charakteristischen schiefen Poren und prosenchymatisch zugespitzte Enden; diese letztere Form besitzt also einen ausgesprochenen Bastring. Dabei ist die verkorkte Zwischenzellsubstanz hier wie dort gleich schön entwickelt. Der Querschnitt gewährt überhaupt in beiden Fällen so ziemlich dasselbe Bild.

Von besonderer Wichtigkeit ist die Uebereinstimmung der im Vorhergehenden erwähnten Rhizome mit den Wurzeln, besonders mit denjenigen der nämlichen Pflanze. Dem es ist klar, dass hierin der Prüfstein meiner Anschauungen liegt. Wenn der peripherische Bastring in einem schweren oder wasserdurchtränkten Boden nothwendig ist, um die Luftwege der Rhizome offen zu erhalten, so ist er natürlich ganz ebenso unentbehrlich für die Wurzeln, welche unter gleichen Bedingungen vegetiren. Hat dagegen der Bastring einen andern Zweck, soll er z. B. bloss eine gewisse Biegnngsfestigkeit bewirken, die vielleicht für Rhizome von einigem Nutzen sein könnte, so lässt sich nicht ohne Weiteres behaupten, dass sich die Wurzeln im gleichen Falle befinden. Aus diesem Grunde erscheint mir die Parallele zwischen Rhizom und Wurzel besonders beachtenswerth. Die angestellten vergleichenden Beobachtungen haben nun ausnahmslos zu dem Ergebniss geführt, dass die Wurzel auch mit Rücksicht auf diesen Punkt das Modell ist, nach dem die Rhizome geformt sind, ein Modell *en miniature*, in welchem aber doch die leitenden Principien durchweg einen etwas schärferen Ausdruck gefunden haben, als in der vergrösserten Nachbildung. So haben z. B. die Wurzeln der *Carex*-Arten, deren Rhizome mit grossen Luftkanälen und einem peripherischen Bastring versehen sind, durchschnittlich noch etwas grössere Luftkanäle und einen relativ stärkern Bastring. Grenzt der letztere im Rhizom unmittelbar an die Epidermis, wie bei *Carex limosa* und *vulgaris*, so ist diess auch in der Wurzel der Fall; liegt er dort innerhalb einer verkorkten Rindenschicht, wie bei *C. Schreberi* und *disticha*, so auch hier in der Wurzel (Taf. XIII, 5). Kommen im Rhizom Schwankungen vor, indem der Bastring sich zuweilen an die Epidermis anlehnt, während er gewöhnlich etwas von ihr zurückweicht, wie ich es hin und wieder bei *C. stenophylla* beobachtete, so scheint das Zurückweichen für die Wurzel Regel zu sein. Eine ähnliche Parallele besteht auch bezüglich der anatomischen Variationen, welche man bei *C. ericetorum* je nach der Anpassung an mehr feuchte (z. B. *alpine*) oder trockene Standorte beobachtet¹⁾. Bei

1) Die Standorte der alpinen Formen von *Carex ericetorum*, wie überhaupt der meisten Alpenpflanzen, sind während der Zeit der Schneeschmelze mehrere Wochen hindurch von Wasser durchtränkt, daher die Nothwendigkeit grösserer Luftwege in den unterirdischen Organen. Die beobachteten Unterschiede beziehen sich übrigens nicht bloss hierauf, son-

C. arenaria endlich, wo der Bastring des Rhizoms im Radius der Scheidewände unterbrochen ist, indem nur die Aussenseite der zahlreichen Luftkanäle mit verdickten Zellen angekleidet, die Zwischenwände und die übrige Rinde aber dünnwandig-parenchymatisch sind, besitzt die Wurzel, deren Luftgänge relativ grösser und durch eine kleinere Zahl von Scheidewänden geschieden sind, einen zwar schmalen, aber ununterbrochenen Bastring.

Die meisten Rhizome stimmen nach dem Gesagten auch darin mit den Wurzeln überein, dass sie neben dem peripherischen druckfesten System noch einen zugfesten Fibrovasalstrang besitzen, welcher nebenbei auch die saftleitenden Zellen enthält. Davon macht indess *Carex chordorrhiza*, eine nur in tiefen Mooren und Sümpfen vorkommende Art, eine Ausnahme. Ihre schiefe nach oben wachsenden Rhizome sind nämlich in der Mitte hohl und daher bloss mit der peripherischen Baströhre ausgestattet. Die Rinde ist von zahlreichen Luftkanälen durchzogen, welche durch radiale Parenchymwände von einander getrennt sind. Zwischen diesen und der centralen Markhöhlung — also im innersten Theil der Rinde — liegt ein Kranz von isolirten Gefässbündeln mit kleinen Bastbelegen (Taf. XIII, 4). — Aehnlich verhalten sich auch die Ausläufer von *Phragmites communis*, nur dass hier ausser dem subepidermalen Bastring noch ein zweiter innerer vorhanden ist, der später in den Bastring des aufrechten Stammes übergeht und an welchen sich demgemäss die kleinen peripherischen Mestombündel von aussen anlehnen. Auch die grössern inneren Bündel sind durch verdickte Parenchymzellen in tangentialer Richtung verbunden. Die Markhöhlung ist ungefähr so gross wie in den Halminternodien; die peripherischen Luftkanäle gehen in den untern Theil des Halmes über, verschwinden aber etwas weiter nach oben fast vollständig.

Ob bei solchen Constructionen, die zugleich den Bedingungen der Biegefestigkeit entsprechen, diese letztere als eines der Anpassungsziele zu betrachten sei, ist eine Frage, deren Beantwortung ihre besondern Erwägungen verlangt. Bei den *Carex*-Arten, wo die biegefesten Organe nach einem gänzlich verschiedenen Plane gebaut sind, ist diese Abweichung schon an und für sich ein wichtiger Anhaltspunkt, der mir in Verbindung mit den Standortverhältnissen, wie sie für *C. chordorrhiza* gegeben sind, zu genügen scheint. Schwieriger ist die Sache bei *Phragmites*, weil hier der anatomische Bau verschiedene Deutungen gestattet. Denn einerseits lässt sich nicht behaupten, dass die Combination zweier concentrischer Hohlcylinder, welche durch Radialstreben zu einem Ganzen verbunden sind, bei radial wirkendem Druck auf die Aussenseite irrationell sei; eine solche Combination kann im Gegentheil zur Verhütung des Einknickens oder der Abplattung, zumal bei grösserem Durchmesser, sehr zweckmässig sein. Andererseits dient aber die nämliche Verbindung auch zur Erhöhung des Widerstandes gegen longitudinalen Druck, wie überhaupt

den auch auf den Bau des axilen Fibrovasalcylinders, der bei den einen gänzlich marklos ist, während er bei andern ein kleines Mark enthält.

4. Das mechanische System in Organen, welche der Biegungsfestigkeit nicht bedürfen. 131

gegen alle Kräfte, welche unter Umständen Einknicken der Wand bewirken müssten. Da ferner die fraglichen Ausläufer unter sehr verschiedenen Bedingungen vegetiren, so lässt sich auch von dieser Seite ein bestimmtes Anpassungsziel nicht ermitteln. Möglich, dass die Pflanze gleichzeitig verschiedenen Anforderungen zu genügen suchte.

3. Festigkeit gegen longitudinalen Druck.

Es handelt sich hier um die sogenannte rückwirkende Festigkeit, die wir natürlich nur bei Organen erwarten dürfen, welche nach Art der Säulen in Anspruch genommen werden. Diess ist nun allerdings bis zu einem gewissen Grade bei allen aufrechten Organen der Fall, da dieselben zum Mindesten ihr eigenes Gewicht zu tragen haben; allein in erster Linie kommt hier doch die bereits besprochene Biegungsfestigkeit in Betracht, die überdiess in der Hauptsache die gleiche Materialvertheilung verlangt wie die rückwirkende Festigkeit der Säulen. Aus diesem Grunde glaubte ich die folgenden Betrachtungen hauptsächlich auf diejenigen Organe beschränken zu sollen, welche gewöhnlich zugfest construirt sind, ausnahmsweise aber auch rückwirkend als Pfosten oder Säulen fungiren. Zu diesen Ausnahmen gehören z. B. die Stützwurzeln von *Pandanus odoratissimus*, *Iriartea exorrhiza* und *Wettinia*, deren äussere Erscheinung ich im Allgemeinen als bekannt voraussetze. Diese Stützwurzeln sind bei gleichmässiger Vertheilung der Last, d. h. bei senkrechtem Wuchs der Stämme, einem continuirlichen longitudinalen Drucke ausgesetzt. Wirkt ausser der Schwere noch eine seitliche Kraft, z. B. bewegte Luft, auf die Gewächse ein, so wird der Druck auf der dem Winde zugekehrten Seite vermindert; er kann sogar negativ, d. h. in Zug übergeführt werden, wenn das Angriffsmoment der seitlichen Kraft eine gewisse Grösse überschreitet. Dieser Fall wird unter übrigens gleichen Umständen um so öfter eintreten, je grösser die Krone des Baumes und je höher der Stamm. Wir werden also, nach diesen rein theoretischen Betrachtungen, erwarten dürfen, dass das mechanische System der fraglichen Stützwurzeln sowohl gegen Zug als Druck die nöthige Festigkeit besitze und dem entsprechend construirt sei. Diese Erwartung wird denn auch durch die Beobachtung bestätigt.

Was zunächst die Stützwurzeln von *Pandanus* betrifft, so hat bereits Nägeli Bau und Entwicklung derselben genau beschrieben¹⁾. Ich hebe für meinen Zweck bloss hervor, dass sie vom gewöhnlichen Typus der Monocotylenwurzeln gänzlich abweichen, ja geradezu stammähnlich gebaut sind. Zahlreiche Gefässbündel mit starken Bastbekleidungen nehmen den ganzen innern Theil des Querschnittes ein; zwischen dieselben und in die umhüllende Rinde sind kleinere und grössere Bastbündel eingestreut, welche die Festigkeit noch bedeutend erhöhen. Die Bastbündel der Rinde gehen in sehr erheblicher Anzahl und Stärke bis zum Periderm; manche liegen noch ansserhalb desselben

¹⁾ Nägeli, Beiträge I, pag. 30.

in der ringförmigen Borke, welche voraussichtlich später abgeworfen wird. Die einzelnen Zellen, aus welchen die über den ganzen Querschnitt zerstreuten Stränge bestehen, ebenso alle dickwandigen prosenchymatischen Elemente der Fibrovasalstränge, sind durchweg spezifisch-mechanische Zellen, d. h. Bastzellen ohne erhebliche Unterschiede. Es ist kein Grund vorhanden, einzelne derselben als »Holzzellen« von den übrigen zu unterscheiden. Wirkliche Holzzellen, welche mit denen der übrigen Monocotylen übereinstimmen, kommen nur in der Nähe der Gefässe und zwar in so geringer Zahl vor, dass sie für unsere Betrachtung vernachlässigt werden können.

Die nahezu gleichmässige Vertheilung der mechanischen Elemente scheint mir nun in der That die Annahme zu rechtfertigen, dass der anatomische Bau dieser Wurzeln der wechselnden Einwirkung von Zug und Druck angepasst worden sei. Denn würden dieselben bloss nach Art der Säulen in Anspruch genommen, so wäre ein hohlylindrischer Aufbau des mechanischen Systems entschieden vortheilhafter, und hätten sie bloss dem Zuge zu widerstehen, so wäre der axile Strang beibehalten worden. Nur die Combination von Zug und Druck lässt die thatsächliche Vertheilung des Materials begründet erscheinen.

Von den Stützwurzeln wesentlich verschieden sind die viel dünnern Normalwurzeln, welche die Bestimmung haben, im Boden zu vegetiren. Dieselben besitzen einen axilen Fibrovasalstrang, dessen Durchmesser kaum etwas mehr als ein Drittel des Gesamtdurchmessers beträgt, stimmen also in mechanischer Hinsicht mit den Wurzeln anderer Monocotylen überein; nur ist die Rinde auch hier von zahlreichen Bastbündeln durchzogen, welche nicht bloss die Zugfestigkeit im Allgemeinen erhöhen, sondern speziell auch für die Cohäsion der Rinde ihre besondere Bedeutung haben mögen.

Ueber die Stützwurzeln von *Iriartea exorrhiza* gibt Hugo v. Mohl in seinen Vermischten Schriften (S. 159) eine ziemlich eingehende Beschreibung, aus welcher deutlich hervorgeht, dass der Bau dieser Wurzeln vom gewöhnlichen Typus durchaus abweicht, indem statt eines Centralstranges eine aus gedrängten Gefässbündeln bestehende hohle Säule vorhanden ist, in deren Mitte ausserdem noch einzelne Gefässbündel zerstreut liegen.

Die Wurzeln von *Wettinia* endlich sind mir allerdings nicht näher bekannt. Da indess die Stämme 30 bis 40 Fuss Höhe erreichen, so ist für jene ein ziemlich fester Bau absolutes Bedürfniss und demgemäss eine entsprechende centrifugale Tendenz der mechanischen Elemente kaum zweifelhaft.

Als Organe mit rückwirkender Festigkeit sind auch die geraden Stacheln an den Blattspitzen von *Agave americana*, sowie an den Blattstielen von *Calamus adpersus*, *Chamaerops humilis*, *Livistona sinensis* etc. zu betrachten. Alle diese Gebilde besitzen einen starken subepidermalen Bastring, der nach oben in einen vollen Cylinder übergeht; ihre äussere Form nähert sich derjenigen eines Körpers von gleichem Widerstande. Da ein solcher Bau zugleich biegungsfest ist, so tritt eine wesentliche Veränderung bei den Stacheln, welche hackenförmig gekrümmt sind und auch wirklich nach Art der Haeken in An-

spruch genommen werden, nicht ein. Nur wird hier der Querschnitt, zumal gegen die Basis zu, in der Regel elliptisch, wobei die grosse Axe der Ellipse der stärkern Inanspruchnahme entspricht.

4. Festigkeit gegen Abscheeren.

Von den Querverbindungen, welche vorwiegend den erforderlichen Widerstand gegen Abscheeren bedingen, war schon oben bei Besprechung der Flächenorgane gelegentlich die Rede. Wie bereits bemerkt, ist hier die Biegungsfestigkeit durch die einfachen Iförmigen Träger oder durch combinirte peripherische Stränge hinlänglich gesichert, und da diese Träger nicht selten genau, in andern Fällen wenigstens annähernd in einer Ebene liegen, so können die seitlichen, parallel der Oberfläche wirksamen Kräfte bei einer einfachen Biegung nicht von Belang sein; jedenfalls würde die Epidermis in Verbindung mit dem Parenchym vollständig genügen, um denselben das Gleichgewicht zu halten. Ebenso wäre auch bei Wasserpflanzen ein so starker tangentialer Verband, wie er thatsächlich vorhanden ist, ganz und gar überflüssig, wenn es sich bloss um einen gleichmässigen Zug parallel der Axe handelte. Allein die Inanspruchnahme der Flächenorgane ist in Wirklichkeit viel complicirter. Man darf nicht vergessen, dass bei starker Strömung des Wassers oder der Luft, zum Theil schon wegen der dadurch bewirkten flatternden Bewegung oder auch in Folge einer Torsion der Organe, Kräfte ins Spiel kommen, welche dieselben senkrecht zur Flächenausdehnung und zwar an benachbarten Stellen oft in entgegengesetztem Sinne ergreifen. Diese Kräfte stellen demnach die Widerstandsfähigkeit des Organs gegen Abscheeren und nebenbei auch dessen Zugfestigkeit auf die Probe, wobei natürlich die Querverbindungen zwischen den longitudinalen Trägern sehr ins Gewicht fallen. Da nun die Festigkeit gegen Zug sowohl als gegen scheerende Kräfte bei gegebenem Material bloss vom Querschnitt abhängig ist, so ist es begreiflich, dass die in Rede stehenden Anastomosen ins Innere der Flächenorgane verlegt sind; denn wir wissen, dass die Pflanze, sobald das mechanische Princip diess gestattet, ihre Fibrovasalstränge von der Oberfläche zurückzieht. Stehen dagegen die Anastomosen in Beziehung zur Biegungsfestigkeit, wie in den Blättern von *Typha*, den Blattstielen von *Musa* etc., so behaupten sie durchgehends eine mehr peripherische Lage.

Hierher gehörige, d. h. den Scheerkräften widerstehende Anastomosen kommen in den Blättern der Monocotylen häufig vor. Sie sind meist schon mit blossem Auge zu erkennen und treten namentlich in dem durch Naturselbstdruck erhaltenen Blattnetz überaus deutlich hervor. Am stärksten fand ich sie bei *Maranta* und einigen Palmen (*Livistona sinensis*, *Sabal Adansonii*) entwickelt, wo sie ausnahmsweise mit starken Bastbelegen ausgestattet sind. Sonst bestehen diese Verbindungen stets aus Mestom; nur bei Wasserpflanzen (*Potamogeton acutifolius* n. a.) kommen Bastanastomosen, die aber oft nur aus einer einzigen Zelle bestehen, zwischen den subepidermalen Bastbündeln vor.

Die Festigkeit gegen Abscheeren, auch Schubfestigkeit genannt, kommt übrigens auch bei biegungsfesten Constructionen in Betracht, da bei der Biegung sowohl ein longitudinaler Schub parallel der Axe, als auch ein Seitenschub in der Querschnittsfläche stattfindet. Die Vorrichtungen, welche diesen Schubkräften entgegenwirken, sind jedoch identisch mit jenen, welche die Erhaltung der Querschnittsform bewerkstelligen: es sind wiederum Mestomastomosen in Verbindung mit Parenchym, worüber bereits früher das Nähere mitgetheilt wurde. Hier bemerke ich nur noch, dass die Schubspannung bei allen längeren biegungsfesten Constructionen im Verhältniss zur Zug- und Druckspannung so klein ausfällt, dass sie vernachlässigt werden darf. Sie erlangt erst bei verhältnissmässig kurzen Trägern eine grössere Bedeutung, in der Pflanzenwelt z. B. in den hackenförmigen Stacheln der Kletterpflanzen und andern ähnlichen Gebilden, welche unter Umständen einem beträchtlichen Zuge ausgesetzt sind. Doch darf man auch hier nicht erwarten, dass die festen Theile etwa nach den bogenförmig verlaufenden und in der neutralen Axe sich rechtwinklig kreuzenden Zug- und Drucklinien¹⁾ angeordnet seien, da diess bei einem vollen hohl-cylindrischen Träger aus Bast gar nicht denkbar wäre. Eine solche Anordnung scheint mir überhaupt nur bei Gitterconstructionen, also bei maschigem Bau der Gewebe oder wenigstens der mechanischen Partien möglich und zweckmässig zu sein²⁾.

5. Ueber die Verwendung von Bastzellen zu local-mechanischen Zwecken.

Es erübrigt jetzt noch, die schon früher gelegentlich erwähnten Bastbekleidungen oder Bastbündel zu besprechen, welche weder in biegungs- oder zugfesten, noch in druck- oder schubfesten Organen eine rationelle Stellung einnehmen. Haben auch diese einen mechanischen Zweck oder verdanken sie ihre Gegenwart irgend einer nicht näher bekannten Nebenfunction? Ich glaube diese Frage ohne Bedenken dahin beantworten zu können, dass die meisten der fraglichen Bastbelege offenbar keinen andern Zweck haben, als einerseits dem Cambiform, andererseits dem zartwandigen Xylem und den hier vorkommenden Luftgängen den nöthigen Schutz zu gewähren. Sie bilden mit andern Worten ein localen Zwecken dienendes inneres Skelett, vergleichbar

¹⁾ Vgl. pag. 30 ff.; ferner: Weisbach, Mechanik I, 5. Aufl. pag. 572; Culmann, Graphische Statik, pag. 236.

²⁾ Die Bedeutung der Zug- und Drucklinien für die innere Architectur der menschlichen Knochen hat zuerst Hermann Meyer hervorgehoben (Reichert's und Dubois-Reymond's Archiv 1867). Seitdem ist dieser Gegenstand wiederholt behandelt worden, in trefflicher Weise namentlich von Julius Wolff (Virchow's Archiv L.). Die Grundanschauungen, die sich durch die bezüglichen Abhandlungen hindurch ziehen, sind zweifelsohne richtig; in der speziellen Durchführung derselben sind jedoch die Zug- und Drucklinien zum Theil willkürlich und geradezu unrichtig wiedergegeben. In dieser Beziehung ist nur die Wolff'sche Darstellung correct. Uebrigens sind mir Pflanzengewebe mit analoger Architectur nicht bekannt.

4. Das mechanische System in Organen, welche der Biegungsfestigkeit nicht bedürfen. 135

dem Visceralskelett der Fische, dem Aequatorialring im Auge der Sepia etc. Diese Auffassung scheint mir namentlich durch die Art und Weise, wie die Bastbelege bei *Potamogeton* allmählig zur Ausbildung kommen, nahe gelegt zu werden. Die Arten der stehenden Gewässer besitzen, wie oben dargelegt wurde, keinen Bast. Die ersten Bastbelege erscheinen alsdann im centralen Fibrovasalstrang, dessen Zugfestigkeit im fliessenden Wasser einer Steigerung bedarf. Allein sie nehmen hier nicht etwa eine beliebige axile Stellung ein, wie sie es mit alleiniger Rücksicht auf Zugfestigkeit thun könnten, sondern sie schliessen sich an die dünnwandigen Xylemzellen an, welche die Luftgänge der Gefässbündel umgeben und verrathen dadurch das unzweideutige Bestreben der Pflanze, diese Stränge nebst den darin verlaufenden Ventilationskanälen zu schützen. Andererseits kann man bei den Monocotylen mit Bastring oft genug die Wahrnehmung machen, dass der Bast den benachbarten Gefässbündeln gleichsam entgegengeht, um denselben eine feste Stütze zu bieten, an die sie sich anlehnen können. Der Bastring bildet zu diesem Behufe nicht bloss Fortsätze nach innen, sondern schiebt in der Regel auch einzelne Zellen oder Zellgruppen nach aussen vor, zum Schutze der kleinen peripherischen Bündel, die sich ihm anschmiegen. Es besteht überhaupt, wenn ich mich so ausdrücken darf, eine gewisse Anziehung zwischen Mestom und Bast; das eine reicht dem andern die Hand. Bei den Gramineen sind zahlreiche Mestomstränge zwischen Bastring und Rippe vollständig eingeschlossen, wie das Rückenmark in die Wirbelsäule. In den Rhizomen der Gramineen, Cyperaceen und Juncaceen, wo die Fibrovasalstränge zu einem axilen Cylinder oder Hohlcylinder zusammengedrängt sind, besitzt jedes einzelne Mestombündel seine besondere Bastbekleidung. Ein täuschend ähnliches Bild liefert auch der zugfeste Basaltheil der Internodien im Knoten der Gramineen, von welchem oben (pag. 92) die Rede war. In all diesen Fällen ist offenbar der Schutz der Mestomstränge bei der Vertheilung der Bastzellen als maassgebend zu betrachten. Aus demselben Grunde finden wir bei den subepidermalen Trägern der Blattmittelrippe von *Cordyline indivisa* Hort., *Antholyza aethiopica* und in manchen ähnlichen Fällen einen Theil des Bastes auf die Innenseite der Gefässbündel verlegt, obschon das Biegungsmoment hier begreiflicher Weise etwas geringer ausfällt, als auf der Cambiformseite. Und so begegnen wir noch da und dort Lagerungsverhältnissen, welche mit der Festigkeit des ganzen Organs Nichts zu thun haben, sondern nur auf localen Schutz der Mestomstränge berechnet sein können. Wenn dem aber so ist, so kann leicht der Fall eintreten, dass das Bedürfniss nach localem Schutz für sich allein genügt, um die Herstellung entsprechender Bastbekleidungen zu veranlassen, die dann allerdings ein sehr bescheidenes Maximum von Dicke nicht überschreiten dürfen.

In dieser Weise erkläre ich mir z. B. die sämmtlichen Bastbekleidungen, welche zuweilen in biegungsfesten Stammorganen im innern Theil des Markes vorkommen. Es sind mir übrigens bis jetzt nur folgende Fälle bekannt geworden:

1) Markständige Bündel mit schwacher Bastbekleidung auf der äussern oder Cambiformseite. Hieher die Blüthenschäfte von *Ophiopogon Juburan*, *Hyacinthus orientalis*.

2) Markständige Bündel mit je zwei opponirten Bastbelegen, wovon der eine das Cambiform, der andere die dümmwandigen Holzzellen schützt. Hieher: *Saccharum*, *Zea Mais*, *Typha latifolia*, *Geitonoplesium cymosum*, *Asphodelus luteus*, *Pardanthus chinensis*, *Aristea cyanea*, *Alpinia nutans*, *Anacamptis pyramidalis*.

3) Markständige Bündel mit geschlossenen Bastcheiden von geringer Mächtigkeit. Hieher die Blüthenschäfte von *Iris biglumis* und *Crocsmia aurea*, sowie der Blattstiel von *Aspidistra lurida*.

Ich bemerke übrigens noch, dass die drei hier unterschiedenen Fälle nicht etwa scharf getrennt sind. So findet man z. B. bei *Iris biglumis* im untern Theil des ca. 500 Mill. langen Blüthenschafte geschlossene Bastcheiden, die an den Seiten aus einer Zellenlage, aussen und innen aber aus zwei bis drei solcher Lagen bestehen, während im obern Theil bald nur eine einzige kleine Bastgruppe auf der Aussenseite, bald zwei radial opponirte Belege vorhanden sind. Aehnliche Abstufungen zeigen auch die übrigen der genannten Pflanzen.

Anfallend starke Belege, zumal auf der Innenseite der Markbündel, habe ich bei zwei Liliaceen, nämlich im Blüthenschaft von *Tritoma Rooperi* und *Kniphofia aloides* beobachtet. Da die Zahl der Zellschichten hier drei übersteigt, so wage ich allerdings nicht zu behaupten, dass ein so starker Materialaufwand zum Schutze der Gefässbündel nothwendig sei. Das Gegentheil lässt sich jedoch ebensowenig beweisen. Ueberdiess ist es beachtenswerth, dass bei *Kniphofia aloides* auch die Gefässbündel der Blätter zum Theil auffallend starke innere Bastbelege besitzen.

Dass diese Bastbelege im Allgemeinen um so stärker anfallen, je weiter die Gefässbündel von der Axe abstehen, wurde bereits früher erwähnt und dabei darauf hingewiesen, dass die peripherischen Fibrovasalstränge im mechanischen System die Bedeutung von anssteifenden Constructionstheilen haben, was auch unzweifelhaft richtig ist. Es wäre aber doch möglich, dass nebenbei auch das Bedürfniss einer festen Hülle oder Stütze für die Mestomstränge, das mit der Entfernung von der neutralen Axe jedenfalls eher zu- als abnimmt, etwelchen Einfluss übt. Diese Auffassung scheint mir namentlich da eine gewisse Wahrscheinlichkeit für sich zu haben, wo die Bastbelege vom Centrum nach der Peripherie hin ganz allmählig an Stärke zunehmen.

Kehren wir jetzt noch einmal zu *Potamogeton* zurück, so können uns die in der maschigen Rinde von *P. fluitans* u. a. auftretenden Bastbündel oder Bastcheiden als Fingerzeig dienen, um ähnlichen Vorkommnissen bei andern Gewächsen auf den Grund zu kommen. Ich habe bereits oben die Vermuthung ausgesprochen, dass die Fibrovasalstränge im Marke von *Scirpus Duvalii* und *Juncus acutus*, vielleicht auch von *Maranta*, eine analoge Bedeutung haben könnten. Ebenso glaubte ich die rindenständigen Bastbündel der Palmen und

1. Das mechanische System in Organen, welche der Biegungsfestigkeit nicht bedürfen. 137

Pandaneen als Einrichtungen zum Schutze des Rindenparenchym (nicht des ganzen Organs) bei starkem Zuge deuten zu dürfen. Das sind freilich vorerst blosse Vermuthungen: allein sie stützen sich immerhin auf Analogieen, welche Beachtung verdienen. Auch will ich nicht unerwähnt lassen, dass bei unsern einheimischen Bäumen ähnliche (wenn auch durch die Beziehungen des Bastes zum Cambiform hinlänglich ausgezeichnete) Verhältnisse vorkommen, welche diesen Vermuthungen günstig sind. Das Nähere hierüber kann indess erst später, wenn vom Bau der Dicotylen die Rede sein wird, mitgetheilt werden.

Man wird nach alledem nicht behaupten können, dass meine Deutung der Bastzellen als spezifisch-mechanischer Elemente mit dem Vorkommen derselben im Widerspruch stehe. Bedarf auch hie und da ein vereinzelter Fall noch besserer Aufklärung, als ich sie im Vorhergehenden bieten konnte, so wüsste ich doch keine Thatsache anzuführen, welche mit dieser mechanischen Auffassung in einem klaren und unlösbaren Widerspruche stünde. Uebrigens wäre für den Fall eines solchen Widerspruches doch erst die Frage zu erledigen, ob nicht irgend eine Nebenfunction der Bastzellen ihr Dasein rechtfertige.

Mit Rücksicht auf diesen letzteren Punkt mag hier noch eine kurze Bemerkung Platz finden. Es ist mir kein Beispiel bekannt, dass Bastzellen als Durchlüftungsorgane an Stellen figurirten, wo sie mechanisch überflüssig sind. Die Durchlüftung scheint also niemals die einzige Function des Bastes zu sein, sondern immer nur nebenbei berücksichtigt zu werden. Schwieriger ist die Frage zu entscheiden, wie sich der Bast zur Wasserleitung verhalte und ob vielleicht dessen Betheiligung hierbei mit dem Vorkommen oder der Stärke gewisser Bastbelege im Zusammenhang stehe. Hier ist indess zunächst zu berücksichtigen, dass Bastzellen, welche mit korkähnlicher Intercellularsubstanz überzogen sind, von vorne herein nicht in Betracht kommen können, da sie zur Wasserleitung von Zelle zu Zelle absolut unfähig sind. Nun ist allerdings diese Zwischenzellsubstanz bei oberirdischen Organen selten derart entwickelt, dass sie nach Behandlung des Präparates mit concentrirter Schwefelsäure als zusammenhängendes Netz zurückbleibt; aber mehr oder minder deutliche Spuren derselben, die natürlich beim Anquellen der Membransubstanz leicht zerrissen werden können, lassen sich doch häufig und zwar bei Repräsentanten der verschiedensten Familien nachweisen, und das scheint mir zu genügen, um die Bastzellen im Allgemeinen als schlechte Wasserleiter zu characterisiren. Da überdiess die experimentelle Prüfung der Leitungscapacität mittelst farbiger Flüssigkeiten entschieden ungünstige, wenn auch nicht gerade genaue und entscheidende Resultate liefert, so halte ich es für unwahrscheinlich, dass die etwa noch vorhandene Fähigkeit, Wasser zu leiten, auf das Vorkommen des normalen Monocotylenbastes, von dem hier allein die Rede ist, irgend einen nennenswerthen Einfluss übe.

6. Festigkeit der Verbindungen zwischen Tochter- und Mutterorgan.

Die Beziehung der seitlichen Organe zum Mutterorgan hat neben der morphologischen jedenfalls auch ihre mechanische Seite. Ich erachte es deshalb für meine Aufgabe, die bezüglichen Verhältnisse wenigstens mit einigen Worten zu berühren, obschon ich andererseits nicht verkenne, dass die hierher gehörigen Fragen mit dem bisher eingehaltenen Ideengang in keinem directen Zusammenhang stehen. Die Befestigung der seitlichen Organe ist in der That eine Sache für sich, auf deren eingehende Betrachtung ich hier gänzlich verzichte.

Was zunächst die Blätter betrifft, so greifen ihre Fibrovasalstränge beim Eintritt in den Stamm um so weiter nach den Seiten herüber, je grösser das Angriffsmoment an dieser Stelle. Während die Hochblätter der Liliaceen, Orchideen, Bananen etc. eine verhältnissmässig schwache Blattspur besitzen, deren einzelne Stränge die Rinde des Stammes in nahezu radialer Richtung durchsetzen, sehen wir die Blattbasis bei Palmen, Draeaenen u. a. stark verbreitert und die Blattspur stets stengelumfassend, auch wenn es die Blattbasis nicht ist. Die seitlichen Spurstränge verlaufen in schief-tangentialem Bogen bis auf die Rückseite des Stammes, und sind dort durch Einbiegen in den festen peripherischen Theil des Holzkörpers gleichsam verankert. Um dem centrifugalen Zug Widerstand zu leisten, den das Gewicht des Blattes in der Umgebung des Blattwinkels hervorruft, dringen die stärksten Medianstränge sofort in beinahe horizontaler Richtung bis tief in das Innere des Stammes ein, so dass sie den abreissenden Kräften mit ihrer vollen Zugfestigkeit entgegenwirken. Die schwächeren Bündel verlaufen in verschiedenen Abstufungen und meist in grosser Anzahl schief nach unten und innen; sie verhalten sich bei ruhiger Luft vorzugsweise wie Streben, dem Winde gegenüber, wenn er die untere Blattfläche trifft, aber ebenfalls wie Zugstangen. Bei den Palmen kommt hiezu noch das Bastnetz der Scheiden, welches nicht bloss dem Zug nach aussen, sondern auch der seitlichen Ausbiegung des Blattes entgegenwirkt.

Sind die Stammorgane krantartig und mit schwachem mechanischem System ausgerüstet, wie z. B. bei *Tradescantia*, so findet in dem Knoten eine Verkoppelung sämmtlicher Bündel theils durch tangentiale, theils durch radiale Mestomanastomosen statt. Die eintretenden Blattspurstränge schliessen sich zum Theil unmittelbar an diese wesentlich verstärkten Punkte des Systems an; anderntheils anastomosiren sie wenigstens mit den Gefässbündeln des Bastriuges, um dadurch einen festen Halt zu gewinnen, dringen aber dann bis gegen die Mitte des Markes vor, wo sie bis zum nächsten Knoten parallel verlaufen. In Organen, die einen starken Bastring besitzen, sind dergleichen Anastomosen überflüssig und daher auch nicht vorhanden.

Die Blattscheiden der Gramineen, Cyperaceen etc. sind für die Befestigung der Blätter am Stamm ohne Bedeutung; sie sind bloss zum Schutze der Internodien während der Streckung, nicht der Spreiten wegen da. Mit der Festig-

4. Das mechanische System in Organen, welche der Biegefestigkeit nicht bedürfen. 139

keit der Verbindung steht nur die Stärke der Scheiden (*Musa*) und die Art und Weise, wie dieselben den Stamm umfassen, im Zusammenhang. Die Anastomosen im Knoten der Gramineen dienen daher zunächst dem Halm, nicht den Blättern.

Die Befestigung der Wurzeln betreffend, so hat schon Mohl¹⁾ gezeigt, dass ihre Centralbündel bei den Palmen auf der äussern Schicht des Holzkörpers sich in Form einer Scheibe ausbreiten und sodann in zahlreiche einzelne Fasern zerfallen, welche strahlenförmig nach allen Seiten aus einander laufen, um zwischen den Gefässbündeln des Stammes ins Innere desselben einzutreten. Aehnliche Verhältnisse fand er auch bei *Dracaena*. Ich füge hinzu, dass ich eine scheiben- oder trichterähnliche Ausbreitung der Wurzelfasern an der Befestigungsstelle und den dadurch bedingten möglichst vielseitigen Anschluss der Faserbündel auch bei andern Monocotylen beobachtet habe. Für zugfeste Organe ist diess offenbar eine sehr zweckmässige Befestigungsweise.

A n h a n g.

Bemerkungen über den Bau der Monocotylen im Allgemeinen.

Bevor ich die Monocotylen ganz verlasse, um mich der unabweisbaren Frage zuzuwenden, inwieweit die gewonnenen Anschauungen sich auf die übrigen Gefässpflanzen übertragen lassen, füge ich anhangsweise noch einige anatomische und entwicklungsgeschichtliche Bemerkungen bei, welche gewisse herrschende Ansichten auf das ihnen zukommende Maass zurückführen und dadurch zur richtigen Auffassung des mechanischen Systems beitragen sollen.

Zunächst ist zu bemerken, dass das Mohl'sche Schema des Gefässbündelverlaufes nur bei denjenigen Monocotylen dem Sachverhalte entspricht, bei welchen eine nachträgliche Streckung der Internodien unterbleibt, also bei Palmen, Dracaenen, Pandaneen u. dgl. Und selbst hier sind es nur die grössern Blattspurstränge, welche den bekannten bogenförmigen Verlauf zeigen; die bastreichen Bündel der Peripherie, aus welchen das mechanische System der genannten Pflanzen vorzugsweise besteht, verlaufen stets sowohl unter sich als mit der Axe des Stammes parallel oder doch nahezu parallel.

In den schaftartigen Stengeln mit Bastring (z. B. von *Allium* und andern Liliaceen), ebenso in manchen gestreckten Internodien, bilden die Mestomstränge des Markes und der Rinde zwei physiologisch getrennte Systeme. Da nämlich der Bastring für wässerige Lösungen wenig oder gar nicht permeabel ist und die Mestomstränge denselben nicht durchsetzen, so ist die Rinde bezüglich ihres Säfteverkehrs ausschliesslich auf die Mestomstränge ausserhalb, das Mark auf

¹⁾ H. v. Mohl, Verm. Schriften, p. 156. Vgl. auch p. 172 eine hierauf bezügliche Angabe Mirbel's.

diejenigen innerhalb des Ringes angewiesen. Mestomstränge, welche sich einmal von aussen oder von innen an den Bastring angelehnt haben, behalten diese Stellung in ihrem weitem Verlaufe nach unten bei: so z. B. die kleinen rindenständigen Bündel im Blüthenschaft von *Allium* (Taf. VII, 8) in ihrem ganzen Längsverlaufe von der Inflorescenz bis zur Basis des Schaftes. Aehnlich bei Juncaceen, Irideen, Gramineen und andern Repräsentanten mit blattlosen Schäften oder schlanken Internodien.

In der Umgebung der Mestomstränge findet man hin und wieder, auch wenn das übrige Gewebe farblos ist, chlorophyllführende Zellen, zum Theil in scharf abgegrenzten kleinen Gruppen: so z. B. im untern Theil der Internodien bei Gramineen, wo die grüne Rinde bis auf diese Gruppen, welche hier zu beiden Seiten der peripherischen Gefässbündel liegen, verdrängt ist. In andern Fällen, wie z. B. bei *Papyrus antiquorum*, finden sich parenchymatische grüne Zellen sogar innerhalb der Mestomscheide der einzelnen Bündel in der unmittelbaren Umgebung des Cambiforms, jedoch nur bei den kleineren peripherischen Gefässbündeln und den gefässlosen Cambiformsträngen; die letzteren sind von den grünen Zellen meist vollständig umschlossen. Als etwas Gewöhnliches (auch bei Dicotylen) erwähne ich endlich das Vorkommen von Chlorophyll in den jungen Xylemzellen zwischen den primordialen Gefässen. Alle diese Vorkommnisse deuten darauf hin, dass die assimilirenden und die leitenden Zellen (insbesondere das Cambiform) in einer hier nicht näher zu erörternden Weise auf einander angewiesen sind.

Das Cambiform der Gefässbündel kommt zuweilen in Lagerungsverhältnissen vor, welche deutlich zeigen, dass die übliche Zweitheilung der Gefässbündel in Cambiform und Holztheil unstatthaft ist. So zeigt uns z. B. *Dioscorea sinuata* zwei bis drei kleine, durch Holzzellen getrennte Cambiformgruppen innerhalb der grösseren Gefässbündel, und zwar radial hinter einander, in der Umgebung der Spiralgefässe überdiess eine Gruppe zartwandiger Xylemzellen. Hin und wieder sind zwei benachbarte Cambiformgruppen durch eine schmale Brücke verbunden, die jedoch an andern Stellen der Internodien auch unterbrochen sein kann. Dessenungeachtet bilden diese Fibrovasalstränge stets ein sehr regelmässig gebautes Ganzes, das sich namentlich durch eine vollständige Ringlage symmetrisch gestellter Gefässe auszeichnet. Aehnliche, aber weniger regelmässige Ringlagen kommen auch in den meisten unterirdischen Stammorganen vor. In den Rhizomen von *Paris quadrifolia* endlich ist die Lagerung der Gefässe eine so eigenthümliche, dass sie sich einer charakteristischen Bezeichnung, etwa durch ein paar Worte, vollständig entzieht; man kann höchstens sagen: die Gefässe sind theilweise in Cambiform und zartwandiges Xylem eingetaucht.

Andrerseits bilden die Holzparenchymzellen sehr häufig zwei scharf abgegrenzte Gruppen: eine primordiale mit zarten Wandungen, welche offenbar vorzugsweise die Wasserleitung vermittelt, und eine Mediangruppe mit festeren Wandungen, welche nebenbei auch mechanisch und zwar als Querverspannung

4. Das mechanische System in Organen, welche der Biegungsfestigkeit nicht bedürfen. 141

zwischen den grossen porösen Gefässen wirksam ist. Wir müssen demgemäss in anatomischer Hinsicht nicht bloss zwei, sondern mehrere Categorieen von Elementarorganen unterscheiden, deren Anordnung in einzelnen Fällen mancherlei Abweichungen zeigt. Aber alle diese verschiedenen Elementarorgane sind Theile einer höheren Einheit und modelliren sich aus der cambialen Anlage derselben allmählig heraus. Darum scheint mir eine gemeinsame Bezeichnung dieser zusammengehörigen Elemente vollständig gerechtfertigt zu sein. Ich hätte hiefür am liebsten die physiologische Bezeichnung »Leitbündel« gewählt, wenn dieses Wort nicht schon in einem ganz andern Sinne gebräuchlich wäre. Der Ausdruck »Mestom« ist nicht gerade bezeichnend, aber er hat doch wenigstens das Gute, dass er die herkömmlichen morphologischen Begriffe nicht alterirt.

Das mechanische System der Monocotylen geht natürlich aus einer besondern Anlage oder, was auf dasselbe hinauskommt, aus einem besondern Cambium hervor. Bei den Familien mit Bastring erscheint demgemäss auch die cambiale Anlage ringförmig: es ist diess der »Verdickungsring« nach der Auffassung von Schacht und Sanio. Kleinere Bastbündel, wie sie im Mark und in der Rinde auftreten, haben im Querschnitt oft genau die Form und Grösse einer gewöhnlichen Parenchymzelle und verdanken thatsächlich ihre Entstehung der Theilung einer solchen Zelle im jugendlichen Zustand (vgl. Taf. XI, 1, 3; Taf. XII, 6). Der Theilungsprocess erinnert an die bekannte Bildung der Cambiumbündel im Meristemring von *Dracaena*.

Der vermeintliche »Verdickungsring« war bekanntlich eine Zeit lang Gegenstand lebhafter Erörterungen. Man stimmte im Allgemeinen (namentlich auch bezüglich der Dicotylen) darin überein, dass das Cambium der Gefässbündel, wenigstens der peripherischen, zu den Zellen des Verdickungsringes in irgend einer genetischen Beziehung stehe, wie diess nach Früherem auch häufig genug der Fall ist; aber in der Art und Weise, wie man sich diese Wechselbeziehung vorstellte, gingen die Ansichten aus einander. Es ist hier nicht der Ort, auf diese Gegensätze näher einzutreten; dagegen glaube ich nochmals betonen zu sollen, dass das mechanische System, obschon öfter mit Mestomsträngen in Verbindung, doch etwas im Principe durchaus Unabhängiges ist, und dass demzufolge auch entwicklungsgeschichtlich von einer Gemeinsamkeit des Ursprungs, wie sie z. B. Sanio¹⁾ für *Ruscus* durchzuführen sucht, im Allgemeinen nicht die Rede sein kann, am wenigsten bei Pflanzen mit zahlreichen markständigen Gefässbündeln.

¹⁾ Bot. Ztg. 1863, pag. 383.

Dritter Abschnitt.

Vergleichende Ausblicke auf die übrigen Pflanzenklassen.

Fünftes Capitel.

Die Dicotylen.

Das Studium der Monocotylen hat uns bezüglich des anatomischen Baues zu einer Auffassung der Dinge geführt, deren Tragweite weit über die Grenzen dieser einen Pflanzenklasse hinausreicht. Wenn es wahr ist, dass die Bastzellen, das Libriform und die bastähnlichen Collenchymzellen bei den Monocotylen die spezifisch-mechanischen Elemente sind, deren Vertheilung nach den Grundsätzen der Mechanik stattfindet, so ist es vor Allem ein unabweisbares Bedürfniss, die Richtigkeit dieser Anschauungsweise auch für die Dicotylen darzuthun; denn es ist allbekannt, dass hier genau dieselben Zellformen wiederkehren, und es wäre ungereimt, denselben nun eine andere Bedeutung zuschreiben zu müssen. Diese Erwägung war es, welche mir Veranlassung gab, eine grössere Anzahl dicotyler Gewächse zu untersuchen, in der Voransicht, die Schwierigkeiten, welche sich auf den ersten Blick der Uebertragung meiner Auffassung auf unsere Laubhölzer entgegenstellen, durch genauere Prüfung der Sachlage beseitigen zu können. Ich will es nun versuchen, die Resultate meiner Beobachtungen, jedoch nur soweit sie sich auf die kritischen Punkte beziehen, in aller Kürze vorzuführen: eine spezielle Beschreibung des Dicotylenstammes liegt nicht in meiner Absicht¹⁾.

¹⁾ Ebenso wenig finde ich Veranlassung, mich bei den nun folgenden Aufstellungen in Erörterungen über einschlägige Beobachtungen anderer Autoren einzulassen. Ich hätte z. B. die sorgfältigen Untersuchungen Sario's über die Zusammensetzung des Holzkörpers und über endogene Gefässbündelbildung (Bot. Ztg. 1863 und 1864) hin und wieder benutzen und auf die dort gegebenen Deutungen näher eintreten können; ich habe darauf verzichtet, weil es sich ja nicht um diese oder jene einzelne Thatsache, sondern um eine wesentlich neue Auffassung der Verhältnisse handelt. Um diese Auffassung zu motiviren, musste ich mit eigenen Augen sehen; die citirten Beispiele stützen sich denn auch durchgehends, wo das

1. Bastbildungen in der Rinde.

Erste Gruppe: Stammorgane mit Bastring. Den Anschluss der Dicotylen an die Monocotylen vermitteln mit Rücksicht auf das mechanische System diejenigen Gattungen, welche (ausserhalb des Verdickungsringes oder der Cambiumbündel) einen continuirlichen Bastring besitzen. Der Querschnitt gewährt hier ungefähr dasselbe Bild, wie bei den einheimischen Orchideen und andern Monocotylen, deren Mestomstränge ebenfalls eine einfache oder doppelte Ringlage innerhalb des Bastringes bilden. — Hieher gehören folgende Gattungen, von denen ich zum Theil mehrere Arten untersucht habe; bei den strauchartigen sind die jungen Triebe zu verstehen:

Heuchera, Saxifraga, Aristolochia, Thalictrum glaucum, Anemone, Lychnis, Saponaria, Silene, Tunica, Dianthus, Phytolacca, Chenopodium, Hablitzia, Boussingaultia, Houltuynia, Epimedium, Berberis, Mahonia, Pelargonium, Geranium, Glaux, Primula, Trientalis, Hottonia, Cortusa, Plantago, Statice, Plumbago, Armeria, Lonicera, Geum, Agrimonia, Lagenaria, Ecbalium, Thladiantha, Pilogyne, Polygonum Bistorta, Mühlenbeckia, Coccoloba platyclada, Papaver, Koelreuteria u. a. Sapindaceen.

Also eine sehr ansehnliche Zahl von Repräsentanten, die sich zum Theil eng an die Monocotylen anschliessen. Manche derselben besitzen ausser dem Bastring noch subepidermale Collenchymplatten, die namentlich bei den Cucurbitaceen sehr stark entwickelt sind. Die Mestomstränge lehnen sich bald von innen an den Bastring an, bald liegen sie isolirt im Mark. Im erstern Fall bildet der Bastring zuweilen Vorsprünge nach innen, welche sich an das Cambium des Mestomstranges anlegen (Taf. XIV, 7) oder dasselbe vollständig umschliessen, zuweilen sogar in dasselbe eindringen (*Geranium pyrenaicum*). Hie und da finden sich auch im Innern des Ringes kleine Gefäss- oder Cambiumbündel, ganz wie bei den Monocotylen; so z. B. bei *Saxifraga ligulata*, *Plantago lanceolata*, *Statice latifolia* (Taf. XIV, Fig. 2), *Armeria plantaginea*. Ist der Stamm mehrjährig, so wird dieser Bastring später (oft schon im zweiten Jahr) entweder in mehrere Stücke aus einander gesprengt, die dann noch eine Reihe von Jahren Bestandtheile der Rinde bleiben (*Mühlenbeckia sagittifolia* und *varians*, *Aristolochia Siphon*¹⁾), oder er wird durch Korkbildung abgeworfen

Gegentheil nicht ausdrücklich angegeben, auf eigene Beobachtungen. Ob ich dabei gewisse Lagerungsverhältnisse zum ersten Mal gesehen oder bloss eine längst bekannte Sache durch Autopsie constatirt habe, ist völlig gleichgültig. Aus diesem Grunde glaubte ich einer speziellen Berücksichtigung früherer Angaben, da sie doeh nur die rein anatomische Seite meiner Darstellung berühren, überhoben zu sein.

¹⁾ Man darf hiebei nicht übersehen, dass *Aristolochia Siphon* und *Mühlenbeckia* Schlingpflanzen sind, die nur in den jungen Trieben biegungsfest zu sein brauchen. Diese sind denn auch mit einem sehr starken Bastring ausgestattet. — Bei *Mühlenbeckia* tritt später Hornparenchym in die Lücken des Bastringes, woraus hervorgeht, dass derselbe für die Pflanze nach wie vor eine gewisse mechanische Bedeutung hat. Wahrscheinlich soll er die Rinde gegen radiale Druckkräfte schützen. Aehnlich bei *Koelreuteria* und andern Sapindaceen.

(*Berberis*, *Lonicera*), sobald das Libriform die erforderliche Festigkeit erlangt hat. Die Pflanze verlegt hier schon im zweiten Jahr ihre mechanischen Zellen vorzugsweise innerhalb des Verdickungsringes in das sogenannte Xylem, offenbar zu dem Zwecke, den jährlich wiederkehrenden, durch Peridermbildung bedingten Verlusten an Material vorzubeugen. In der Rinde treten fortan bloss noch einfache Tangentialreihen (*Berberis*) oder kleine Gruppen von Bastzellen auf, welche augenscheinlich nicht mehr der Biegungsfestigkeit, sondern nur noch local-mechanischen Zwecken dienen.

Das Vorkommen eines Bastringes scheint für manche natürliche Familie charakteristisch, wenn auch nicht gerade absolut durchgreifend zu sein, so z. B. für die Chenopodiaceen, Cucurbitaceen, Berberideen, Sileneen etc. Andere Familien, wie die Ranunculaceen, Polygoneen, Lonicereen etc. zeigen dagegen diese Uebereinstimmung nicht. Während z. B. *Lonicera* und *Caprifolium* einen förmlichen Bastring entwickeln, der höchstens an einzelnen Stellen kleine Unterbrechungen zeigt, stellen sich diese Unterbrechungen bei *Leycestria* zwischen den grossen Gefässbündeln regelmässig ein, und bei *Weigelia* treten die Bastzellen nur noch in kleinen Gruppen auf. Doch diess nur nebenbei; es lag ausserhalb meiner Aufgabe, dergleichen Abstufungen weiter zu verfolgen.

Als Curiosum mag noch erwähnt werden, dass der Bastring von *Coccoloba platyclada* mit starken Rippen versehen ist, welche in der Regel bis zur Epidermis vorspringen. Es ist das gewissermaassen eine Wiederholung des Gramineentypus, wofür ich unter den Dicotylen kein zweites Beispiel anzuführen wüsste.

Zweite Gruppe: Stammorgane mit einer Ringlage von Bastbündeln, die später abgeworfen werden. Wir begegnen hier gleichsam einem in zahlreiche Bündel aufgelösten Bastring. Diese Bündel bilden das primäre mechanische System, welches später durch den Holzring ersetzt wird. Sobald der letztere hinlänglich erstarkt ist, hört die Bastbildung vollständig auf; es entstehen jetzt höchstens noch Gruppen dickwandiger Parenchymzellen in der secundären Rinde, von denen aber, jedenfalls soviel feststeht, dass sie mit der Biegungsfestigkeit in keiner Beziehung stehen, weil sie niemals continuirliche Stränge, sondern bloss isolirte Nester bilden. Hieher gehören:

Paulownia imperialis, *Periploca graeca*, *Nerium Oleander*, *Cornus sanguinea*, *Rhus Cotinus*, *Menispermum canadense*, *Alnus imperialis*. Nach Hanstein¹⁾ und Schacht²⁾, ferner: *Platanus*, *Acer campestre* (einige Jahre Bast, dann nicht mehr), *Fagus*, *Betula*, *Viscum*.

Die erwähnten Hornparenchymzellen finden sich z. B. bei *Fagus*, *Paulownia*, *Cornus* etc.

1) Hanstein, Untersuchungen über den Bau und die Entwicklung der Baumrinde.

2) Schacht, Der Baum.

Dritte Gruppe: Einfache Ringlage von Bastbündeln im ersten Jahr, später bloss einzelne zerstreute Bastzellen und kleine Gruppen von solchen. Von der vorhergehenden Gruppe bloss durch die nicht vollständig unterdrückte Bastbildung der späteren Jahre verschieden. Hieher gehören:

Ulmus campestris, *Aesculus Hippocastanum*, *Pterocarya caucasica*, *Boehmeria nivea*, *Glycine sineusis*, *Cytisus Laburnum*, *Maclura aurantiaca*.

Einzelne dieser Pflanzen entwickeln in der secundären Rinde ausser den Bastzellen auch Hornparenchym in grössern oder kleinern Nestern. Bei *Cytisus Laburnum* kommen hiezu noch die zahlreichen tangential verlaufenden Zonen von abgestorbenem Cambiform, welches mit dünnwandigem Rindenparenchym abwechself. Die spärlichen Bastzellen legen sich gewöhnlich an diese abgestorbenen und bis zum Verschwinden des Lumens zusammengedrückten oder verzerrten Cambiformzellen, welche gewissermassen den Bast zu ersetzen scheinen, an. Auf Längsschnitten erscheinen diese eigenthümlichen Cambiformstränge in Abständen von ca. 120 bis 110 Mik. knotig verdickt: es sind das die Stellen, welche den Querwänden entsprechen. — Aehnlich verhält sich auch *Cytisus sessilifolius*; nur ist die Zahl der nachträglich entstandenen Bastzellen hier relativ grösser, sie bilden kleine Gruppen, welche sich häufig nicht bloss an abgestorbenes Cambiform, sondern auch an gelbliches Hornparenchym anschliessen. Einzelne Bastzellen laufen übrigens hier wie dort mitten im parenchymatischen Gewebe aus, ohne sich an andere anzuschliessen, woraus deutlich genug hervorgeht, dass sie mit der Biegungsfestigkeit des Stammes Nichts zu thun haben. Alle diese Thatsachen sprechen zu Gunsten meiner Auffassung, wonach nur der primäre Bast zum biegungsfesten System gehört, während der spätere bloss mit Bezug auf die Rinde, vielleicht speziell für das Cambiform, eine gewisse Bedeutung hat.

Vierte Gruppe: Mit starker Bastbildung auch in späteren Jahren. Ich gestehe, dass diese Gruppe mir Anfangs manche Bedenken erregte, da es mir fraglich erschien, ob so starke Bastbelege, wie sie z. B. bei der Linde vorkommen, bloss den localen Bedürfnissen des Rindengewebes entsprechen. Es bleibt mir indessen keine andere Annahme übrig; da jede Bastbildung in der Rinde bei einem ältern Baume, dessen ganze Widerstandskraft ihren Sitz im Holzkörper hat, mit Bezug auf Biegungsfestigkeit durchaus irrationell ist. Damit soll natürlich nicht gesagt sein, dass solche Bastlagen, wenn sie einmal da sind, nicht ebenfalls das Ihre zur Erhöhung der Festigkeit beitragen; allein ihre Anlage ausserhalb der Hauptmasse der mechanischen Zellen, in der Eigenschaft als Trägerelemente, bleibt nichts desto weniger widersinnig und muss daher nothwendig durch andere Rücksichten bedingt sein. Dafür spricht übrigens auch der Umstand, dass diese Gruppe von der vorhergehenden keineswegs scharf abgegrenzt, vielmehr durch alle möglichen Uebergänge mit derselben verbunden ist. Die Anordnung der Bastbündel ist überdiess

durchgehends dieselbe: sie nimmt auch in den bastreichsten Rinden keinen wesentlich andern Character an.

Ausser der Linde gehören hierher noch folgende baumartige Pflanzen:

Magnolia Yulan. *Eucalyptus Globulus.* *Crataegus monogyna,* *Castanea vesca.* *Elaeagnus sativa.* *Juglans nigra.* *Vitis vinifera.* *Clematis Vitalba,* *Quercus Robur.*

Bezüglich der Bastbildung bei *Vitis* und *Clematis* glaube ich noch speziell auf den Unterschied zwischen den starken primären Bastbündeln und den späteren bandartigen Bastbelegen hinweisen zu sollen. Die primären Bastbündel bilden die Pfosten eines biegnngsfesten Gerüstes, dessen die Pflanze im ersten Jahre bedarf; die späteren haben einen andern Zweck und sind daher auch anders gebaut.

Gehen wir von der Idee aus, die Bastbündel der späteren Jahre seien als schützende Belege für das Cambiform, d. h. für die Siebröhren und die parenchymatischen Gitterzellen zu betrachten, so hätte man sich die Sache folgendermaassen vorzustellen. Das junge Cambiform erhält zunächst eine einfache, aus zwei bis drei Zellschichten bestehende Bastbekleidung. Dasselbe nimmt jedoch in Folge des Zuwachses von innen allmähig an Mächtigkeit zu, die schützende Bastzone rückt weiter nach aussen, und so entsteht für die inneren Schichten des Cambiforms das Bedürfniss nach Erneuerung der Bastplatte. Diesem Bedürfniss wird entsprochen, indem der Cambinring eine zweite Bast-schicht abscheidet. Dieser Process kann sich im Laufe der Vegetationsperiode noch ein drittes und viertes Mal wiederholen, so dass jede Jahresschicht der secundären Rinde drei bis vier tangentiale Bastreihen erhält. Die nämliche Betrachtungsweise lässt sich auch auf die vorhergehende und auf manche nachfolgende Gruppe ausdehnen ¹⁾.

Fünfte Gruppe: Mit subepidermalen Bastrippen. Unter den Bastbildungen der Rinde steht das Auftreten von subepidermalen Bastrippen ziemlich vereinzelt da. Mir sind bloss zwei Beispiele hierfür bekannt, nämlich *Casuarina* und *Russelia*. Bei *Casuarina* legen sich diese Rippen, etwa 8 bis 10 an der Zahl, mit breiter Basis an die Epidermis (oder an eine oder zwei

¹⁾ Für die Berechtigung obiger Idee im Allgemeinen sprechen hauptsächlich folgende Punkte: 1) die Analogie mit den Monocotylen; 2) das Vorkommen von Bastbelegen, welche augenscheinlich keine andere Bedeutung haben als die bezeichnete, so z. B. bei den markständigen Bündeln der Passifloren, Aralicien und Piperaceen, sowie bei den kleinen Cambiformsträngen, die sich bei *Hypochoeris* u. a. von aussen an den Libriformring anlehnen; 3) das Vorkommen von schützenden Belegen aus dickwandigem Parenchym auf der Innenseite der Gefässbündel im Fruchtstiel von *Cucurbita Melopepo*, welche für das Cambiform das Bedürfniss nach Schutz constatiren; 4) das regelmässige Auftreten der fraglichen Bastzonen in der Rinde, welches namentlich bei den Gymnospermen (*Juniperus*, *Wellingtonia* etc.) sehr augenfällig ist, indem z. B. je die 3. oder 4. Zelle einer radialen Reihe zur Bastzelle wird, das aber auch bei mehrschichtigen Bastzonen sich hin und wieder recht deutlich ausspricht.

Lagen subepidermaler Parenchymzellen) an und springen nach innen ins grüne Parenchym, zuweilen bis zur farblosen Rinde spitz vor. Zwischen die Bastzellen sind übrigens merkwürdiger Weise Längsreihen farbloser, dünnwandiger Parenchymzellen eingelagert, welche auf Querschnitten als dunklere Stellen erscheinen. Nach der Erstarkung des Holzkörpers sind diese Rippen überflüssig; sie werden daher durch Peridermbildung abgeworfen¹⁾. — *Russelia juncea* verhält sich ähnlich; nur sind die Rippen kleiner und von abweichender Querschnittsform. An den mir zur Verfügung stehenden ältern Zweigen waren dieselben zum Theil durch Abblättern der Epidermis verschwunden, ohne dass Peridermbildung stattgefunden hätte.

2. Uebergänge zum intracambialen Libriformring.

Sechste Gruppe: Das Cambium der Gefässbündel theils dem innern, theils dem äussern Contour des mechanischen Ringes anliegend oder in den Ring selbst eingebettet. Zwischen den Dicotylen mit Bastring und den hier zu besprechenden Pflanzen gibt es mannigfache Uebergänge. Während z. B. manche Chenopodiaceen einen normalen Bastring besitzen, an dessen Innenseite sich die Gefässbündel anlehnen, zeigt schon *Blitum Bonus Henricus* ein Verhalten, welches den Uebergang zur intracambialen Libriformbildung vermittelt (Taf. XIV, 1). Der Bastring springt hier zwischen den Cambiformsträngen nach innen vor und setzt sich beiderseits an die Vasalpartie der Gefässbündel an. Denken wir uns also eine tangentielle Linie mitten durch die Cambiformgruppen geführt und dadurch den mechanischen Ring in zwei Theile getheilt, so ist der peripherische Theil ein normaler Bastring, der innere ein intracambialer Libriformring, wie er thatsächlich bei manchen Pflanzen vorkommt, wobei zu bemerken, dass ein anderer Unterschied, als der der Lage, hier ebensowenig besteht als bei *Bonus Henricus*.

Aber noch interessantere Zwischenstufen finden sich bei einigen Compositen. Ich hebe hier namentlich *Hypochoeris radicata* hervor, wo die grösseren Gefässbündel innerhalb, die kleineren ausserhalb des mechanischen Ringes liegen (Taf. XIV, 3). Auch *Coreopsis grandiflora*, *Gaillardia* u. a. bieten ähnliche Querschnittsansichten, mit Bezug auf Anschluss der Bastsicheln an den intracambialen Libriformring auch *Astrantia major* (Taf. XIV, 8) und *Lysimachia vulgaris*.

Siebente Gruppe: Isolierte Gefässbündel mit Bastsicheln auf der Innen- und Aussenseite. Eine zweite Reihe von Uebergängen bilden diejenigen Stammorgane, deren Fibrovasalstränge zwar normale Bastbe-

¹⁾ Dasselbe Schicksal erfahren auch die subepidermalen Rippen von *Abies excelsa* und *Ephedra*, wovon später die Rede sein wird, desgleichen die Rippen nebst Bastring von *Coccoloba platyclada*, welche der ersten Gruppe beigezählt wurde. — Ueber die Peridermbildung bei *Casuarina* vgl. Sanio in Pringsheim's Jahrbüchern, Bd. II.

kleidungen auf der Aussenseite besitzen, die aber auch auf der Innenseite mit ähnlichen und oft ebenso starken Belegen ausgestattet sind. Das mechanische System besteht hier wiederum, wie bei manchen Monocotylen, aus peripherischen Trägern, deren Gurtungen durch Mestom unter sich verbunden sind. Hin und wieder schieben sich einzelne Libriformzellen mit Porenhöfen, zum Theil auch mit durchbrochenen Querwänden, zur Verstärkung des Mestoms in den peripherischen Theil der Vasalpartie herein, wo sie nebenbei auch die Durchlüftung vermitteln. Hieher gehören:

Rheum undulatum, *Polygonum salignum* (stellenweise), *Senecio coriaceous*, *Scorzonera lasiocarpa*, *Silphium perfoliatum*, *Echinops bannaticus*¹⁾.

Die Parenchymstrahlen zwischen den Fibrovasalsträngen bestehen zuweilen aus dickwandigen porösen Zellen, welche die isolirten Träger zu einem festen Hohleylinder verbinden (*Echinops*). — Lassen wir hier die äussern Belege allmählig kleiner, die innern dagegen grösser werden und bis zur Verschmelzung in tangentialer Richtung sich ausdehnen, so entsteht abermals ein intracambialer Libriformring.

3. Intracambialer Libriformring ohne Markstrahlen.

Achte Gruppe: Ohne Bast auf der Aussenseite des Cambiums oder Cambiforms. Im Libriform, zwischen den Mestomsträngen, keine Gefässe. Das mechanische System ist hier, an und für sich betrachtet, dasselbe wie bei der ersten Gruppe und wie bei den Monocotylen mit Bastring; nur die Stellung zum Cambium der Gefässbündel (oder zum »Cambiummantel«) ist eine andere. Die Zellen des Ringes sind in vielen Fällen ächte Bastzellen von 0,7 bis 1 Mill. Länge und darüber, nicht selten aber auch beträchtlich kürzer. Uebergänge zu Gefässen kommen hier nicht vor; die Elemente des Mestoms bilden stets geschlossene Stränge, wie bei den Monocotylen. Nur die Libriformzellen, welche sich zuweilen, zumal in stärkeren Gefässbündeln, zwischen das Cambiform und die zugehörige Vasalpartie des Mestoms einschieben, sind theilweise mit Porenhöfen ausgestattet und dadurch für eine ergiebigere Durchlüftung eingerichtet. Hieher gehören:

Tropaeolum majus (Laubstamm), *Impatiens Nolitantere*, *Centranthus ruber*, *Tragopogon spec.*, *Cachrys (Daucus) littoralis*, *Sedum reflexum*, *altissimum* u. a.¹⁾ ²⁾*Echeveria retusa*, *Mesembryanthemum rubricaulis* u. a. Arten.

Der Laubstamm von *Tropaeolum majus*, den ich schon früher als beach-

¹⁾ Auch manche Holzgewächse, wie z. B. *Cocculus laurifolius*, verhalten sich im Wesentlichen ebenso. Sie haben starke Bastsieheln auf der Aussen- und Innenseite der Gefässbündel; nur ist das Mestom in viel höherem Grade von Libriformzellen durchsetzt. — Aehnlich bei *Polygonum cuspidatum*.

²⁾ Bei grösserer Dicke des Libriformringes treten im Innern desselben scharf abgegrenzte Mestomgruppen auf, so z. B. bei *Sedum praecaltum*.

tenswerthles Beispiel auführte, verdient in der That besondere Erwähnung, weil er hinsichtlich der Lage des Ringes zum Cambium der Gefässbündel sich vom Blütenstiel unterscheidet. Der letztere verhält sich wie der Blattstiel und gehört mit diesem in die erste Gruppe. — *Mesembryanthemum* zeichnet sich durch mancherlei Eigenthümlichkeiten des Baues aus, deren nähere Beschreibung indess nicht hierher gehört.

Neunte Gruppe: Mit grösseren oder kleineren Bastbelegen auf der Aussenseite des Cambiforms; alles Uebrige wie bei der vorhergehenden Gruppe. Die peripherischen Gefässe sind oft vollständig in Libriform eingebettet, die zwischen den Bündeln liegenden Libriformzonen aber ohne Gefässe. Hieher gehören:

Eryngium planum, ältere Internodien mit Markstrahlen, aber keine durchgehenden: *Hieracium praealtum*; *Piper nigrum*, *Macropiper excelsum* (ältere Stadien dieser Piperaceen mit breiten Markstrahlen, die aber den ursprünglichen Libriformring nicht durehsetzen), *Physostegia speciosa*. *Astrantia major*, *Begonia floribunda* (zahlreiche, aussen Libriform führende Gefässbündel durch gefässfreie Libriformzonen tangential verbunden, Taf. XIV, 5), *Urtica dioica*, *Passiflora trifasciata*.

Zwischen der achten und neunten Gruppe gibt es alle nur denkbaren Uebergänge, indem nicht selten die nämliche Pflanze in ihren stärkern Exemplaren kleine Bastbelege aufweist, indess die schwächtigeren an deren Stelle höchstens langzelliges Collenchym entwickeln. Die Bastbelege der neunten Gruppe sind überdiess selten so stark, dass man sie als Constructionstheile des mechanischen Systems zu betrachten hätte. Bei einigen Repräsentanten der beiden Gruppen wäre überhaupt die Eintheilung nach einem andern Princip naturgemässer. Der Libriformring ist nämlich bei *Passiflora*, *Piper*, *Tragopogon* etc. nicht bloss intracambial, sondern auch intravasal, indem er sich in nahezu gleichmässiger Stärke auf der Innenseite der primordialen Gefässe hindurchzieht. Bei *Begonia*, *Urtica* u. a. liegen dagegen die primordialen Gefässe innerhalb des Ringes; die Gefässbündel bilden hier die nach aussen und innen vorspringenden Pfeiler des mechanischen Systems, und das gefässlose Libriform stellt bloss die Verbindungen zwischen ihren Seitenflächen her¹⁾. Allein der Zweck meiner Gruppierung ist nicht die Aufstellung natürlicher Gruppen im Sinne der Systematiker, sondern die Veranschaulichung der mannigfachen Uebergänge vom extracambialen Bastring zum normalen Holzring der typischen Dicotylen. Mit Rücksicht hierauf hat der intravasale Libriformring von *Passiflora* etc. keine besondere Bedeutung. Ebenso wenig konnte für mich die Länge der mechanischen Zellen,

¹⁾ Auf Durchschnitten durch ältere Stämmchen von *Begonia* sprangen zwar die gefässführenden Parteen des Libriformringes nach aussen nicht und nach innen nur wenig vor; sie waren jedoch in Folge der stärkeren Verdickung der Wandungen immer noch die Pfeiler des Systems. Das Libriform hatte hier eine Mächtigkeit von 1 Millimeter.

die z. B. bei *Begonia* nur gering, bei *Passiflora* und *Tragopogon* dagegen sehr bedeutend ist, maassgebend sein.

Beiläufig mag hier noch die Bemerkung wiederholt werden, dass *Passiflora trifasciata* 6 markständige Gefässbündel besitzt, welche auf der Innen- und Aussenseite mit kleinen Bastbelegen zum Schutze der leitenden Zellen versehen sind.

Als Uebergänge zur 10. und 11. (oder auch zur 12.) Gruppe liessen sich einzelne Labiaten anführen, welche nur in den Ecken Parenchymstrahlen zeigen, an den Seiten dagegen nicht oder nur ausnahmsweise (*Scutellaria costaricana*), und wo auch die Gefässe vorwiegend, wenn auch nicht ausschliesslich, auf die Ecken vertheilt sind, so zwar, dass die eine oder andere Seite oft gar keine Gefässe besitzt. Auch andere Labiaten, wie z. B. *Salvia tricolor*, welche in den ältern Trieben ausser den vier kantenständigen Mestomsträngen noch vier kleinere seitenständige aufweisen, gehören in diese vermittelnde Reihe, da das zwischenliegende Libriförmig gewöhnlich mestomfrei ist. Weitere Uebergangsformen, aber von wesentlich anderer Art, findet man bei den verschiedenen Vertretern der Gattung *Mühlenbeckia*. Junge Triebe besitzen hier stets — soweit wenigstens meine Untersuchungen reichen — einen continuirlichen Bastring und innerhalb desselben einen Kranz von zahlreichen Mestomsträngen, welche durch Libriförmig mit einander verbunden sind. Dadurch kommt ein intracambialer Libriförmigring zu Stande, welcher in der Folge vom Verdickungsring aus neuen Zuwachs erhält. Gefässe und Parenchymzellen treten hierbei allerdings nur im Radius der primären Mestombündel auf; da jedoch der tangentialer Abstand dieser Gefässreihen nur klein ist, so hat die Querschnittsansicht des Libriförmigringes mit derjenigen der 10. Gruppe viel Aehnlichkeit. Bei fortgesetztem Dickenwachsthum kommen endlich, wie bei den oben erwähnten Piperaceen, noch mehrschichtige Markstrahlen hinzu, die aber den primären Libriförmigring nie durchsetzen. So z. B. bei *Mühlenbeckia sagittifolia*. Eine andere Polygonee, die schon wiederholt genannte *Coecoloba platyclada*, hat durchgehende Markstrahlen.

Zehnte Gruppe: Im Libriförmig, unabhängig von den Mestomsträngen, alle Uebergänge zur Gefässbildung oder doch fertige Gefässe (aber keine Parenchymstrahlen). In den vorhergehenden Gruppen war der Ort der Gefässbildung durch die Lage der primordialis Mestomstränge bestimmt. Diese Abhängigkeit besteht hier nicht mehr. Die Gefässe, welche nach beendigtem Längenwachsthum auftreten, sind über die ganze Querschnittsfläche des Libriförmigringes zerstreut; sie gehen direct und regellos aus dem peripherischen Cambium, das zugleich den Zuwachs des mechanischen Systems bedingt, hervor. Hieher gehören:

Gentiana asclepiadea, *Allionia nyctaginea*, *Mirabilis Jalapa*, *Vesicaria sinuata*, *Iberis sempervirens*, *Centradenia grandifolia*, *Echium fastuosum*, *Veronica Andersonii* (Hort.) *Ardisia crenulata*, *Myrsine africana*.

Die beiden zuletzt genannten Myrsineen besitzen in den jungen Trieben einen continuirlichen Bastring, der später unterbrochen wird. Bei den übrigen Vertretern dieser Gruppe ist dagegen die Bastbildung in der Rinde oft ganz unterdrückt. Die Cruciferen, von denen ich ausser den oben genannten noch verschiedene andere untersucht habe, scheinen zwischen dieser und den beiden vorhergehenden Gruppen zu schwanken. Einjährige Stammorgane gehören meist in die neunte Gruppe.

4. Intracambialer Libriformring mit Parenchymstrahlen.

Eilfte Gruppe: Parenchymstrahlen aus longitudinal gestreckten Zellen gebildet, meist ohne deutliche Fortsetzung durch das Cambium in die Rinde. Im Libriform gewöhnlich Uebergänge zur Gefässbildung, wie bei vorhergehender Gruppe. Die zahlreichen, für diese Gruppe charakteristischen Parenchymstrahlen, welche den Ring durchsetzen oder wenigstens bis in die Nähe seines Innenrandes vordringen, dürfen mit normalen Markstrahlen, wie sie bei unsern einheimischen Laubhölzern gewöhnlich vorkommen, nicht ohne Weiteres auf gleiche Linie gestellt werden. Denn erstens gehen dieselben nicht durch das Cambium in die secundäre Rinde über oder sind doch in letzterer nur sehr undeutlich differenzirt; zweitens sind die einzelnen Zellen in der Richtung der Längsaxe des Organs nicht selten in einem für Markstrahlen ganz aussergewöhnlichen Grade gestreckt, sie erreichen zuweilen 300 bis 400 Mik. Länge bei nur 15 bis 18 Mik. Breite; drittens bilden sie auf Tangentialschnitten longitudinale Reihen, welche in viel grösseren Abständen anslanfen, als diess bei normalen Markstrahlen der Fall ist. Wahrscheinlich stehen diese Unterschiede mit der verschiedenen Richtung des Säfteaustausches, der in den Parenchymstrahlen sich vollzieht, im Zusammenhang. In unserm Fall ist diese Richtung eine vorwiegend longitudinale, bei den typischen Markstrahlen dagegen eine radiale. Dass Uebergänge vorkommen, soll damit nicht in Abrede gestellt sein, habe ich doch oft genug selbst welche beobachtet¹⁾. Die Anstellung dieser Gruppe hat überhaupt nur den Zweck, auf Markstrahlenformen hinzuweisen, welche an das Holzparenchym der Monocotylen erinnern. Hieher gehören:

Cephalaria tartarica und *leucantha*. *Valeriana officinalis*, *Epilobium rosmarinifolium*. *Vinca major*. *Holmskioldia sanguinea*, *Teucrium Marum*.

Einzelne dieser Gewächse sind überdiess mit einer Ringlage kleiner Bastbündel ausgerüstet (*Epilobium*, *Vinca*), die jedoch zum grössten Theil nicht als Bestandtheile des biegungsfesten mechanischen Systems zu betrachten sind. Bezüglich der Uebergangsformen zwischen den ächten Gefässen und behöftporigem Libriform ist namentlich *Cephalaria* beachtenswerth.

¹⁾ Ich bemerke noch ausdrücklich, dass diese und die folgende Gruppe systematisch durchaus zusammengehören, indem die oben hervorgehobenen Unterschiede nicht einmal für Gattungen, geschweige denn für grössere Einheiten, charakteristisch sind.

Zwölfte Gruppe: Typische Dicotylen mit normalen Markstrahlen. Wir sind hier bei dem gewöhnlichen Dicotylenstamme angekommen, dessen Bau ich im Allgemeinen als bekannt voraussetze. Ich beschränke mich daher auf die Hervorhebung von Einzelheiten, welche für meine Auffassung eine gewisse Bedeutung haben.

1) Bei *Leptospermum juniperinum* bildet der intracambiale Holzring unzweifelhaft das biegungsfeste mechanische System. Dessenungeachtet findet man im Marke, innerhalb der primordialen Gefässe und der dieselben begleitenden dünnwandigen Holzparenchymzellen, eine Anzahl kleiner, meist nur aus einer einfachen Zellreihe bestehender Bastbelege, welche unwillkürlich an die entsprechenden kleinen Bastsicheln der Monocotylen erinnern. Offenbar dienen sie auch im vorliegenden Falle bloss zum Schutze der dünnwandigen Vasalpartie der Mestomstränge. Aehnliche Reihen typischer Bastzellen kommen nun auch in der Rinde vor, hier aber in mehreren Lagen hinter einander (wie bei der Linde, nur viel schwächer). Man kommt hierbei ganz von selbst auf den schon oben erwähnten Gedanken, die äusserste Reihe habe im jungen Gefässbündel das Cambiform in gleicher Weise geschützt, wie die markständigen Bastzellen die Vasalpartie. Später wurde natürlich das primäre Cambiform mit sammt seiner Bastbekleidung in Folge des Dickenwachsthums weiter nach aussen geschoben; andere Zellen nahmen jetzt die Stelle aussen am Verdickungsring ein und erhielten ebenfalls ihre schützenden Bastbelege. Dieser Process musste sich nothwendig von Zeit zu Zeit wiederholen: so entstanden die tangentialen Bastreihen der secundären Rinde. Ich habe schon oben die Vermuthung ausgesprochen, dass diese Auffassungsweise auch bei unsern einheimischen Bäumen mit rindenständigen Bastbündeln berechtigt sein möchte. — Als ein weiteres Beispiel von Stammorganen mit schwachen Bastbelegen auf der Markseite der primordialen Mestomstränge und ungefähr gleich schwachen Belegen auf der Rindenseite nenne ich *Nicandra physaloides*, wobei indess zu bemerken, dass hier, wie bei andern Solaneen, auch die Cambiformstränge zum Theil auf die Markseite verlegt sind.

2) Im Phloem der grösseren Aster- und Solidagoformen. z. B. bei *Aster Norae Angliae*, *Solidago altissima* u. a. kommen innerhalb der starken primären Bastbündel, wie schon früher angedeutet, kleine secundäre Gruppen mechanischer Zellen zur Entwicklung, welche zum Theil mit den kürzesten Libriformzellen, die überhaupt vorkommen, übereinstimmen und jedenfalls durchgehends vom typischen Bast verschieden sind. Die Länge dieser Zellen variiert in der Regel zwischen 150 und 300 Mik.: die kürzesten erreichen oft nur 60 bis 80 Mik. Dazu kommt, dass die neben einander liegenden schiefen Querwände ähnliche Zickzacklinien bilden, wie sie sonst nur im kurzzelligen Libriform vorzukommen pflegen. Bei *Solidago* schliessen diese Gruppen nicht selten kleine Cambiformbündel ein; bei *Aster* bilden sie im Querschnitt netzförmig anastomosirende Reihen, zwischen denen ein parenchymatisches Cambiform, stellenweise mit deutlichen Siebporen, eingebettet liegt. Beiläufig sei noch

bemerkt, dass hier diese bastähnlichen Zellen, so lange sie nur wenig verdickt sind, etwas Chlorophyll enthalten.

Im Anschlusse hieran erinnere ich ferner an die ebenfalls schon früher erwähnte Thatsache, dass auch bei den baumartigen Dicotylen die secundären Bastzellen der späteren Jahre zuweilen beträchtlich kürzer sind als die primären: so bei *Crataegus monogyna*, wo das Minimum der Längenausdehnung unter 100 Mik. heruntersinkt, indess die mittleren Werthe etwa zwischen 150 und 300 Mik. variiren. Dergleichen Vorkommnisse scheinen mir deutlich zu zeigen, dass die Länge der mechanischen Zellen auch bei den normalsten Dicotylen durch die Streckung der umgebenden Gewebe (vielleicht auch durch andere Ursachen) mehr oder weniger beeinflusst wird. Frühzeitig angelegte Libriformzellen, wie sie zuweilen innerhalb der Spiralgefässe vorkommen, sind dem entsprechend immer lang und dabei den Bastzellen der Monocotylen oft auffallend ähnlich; später angelegte, besonders wenn sie zusammenhängende Massen bilden, bleiben in der Regel kürzer. Eine Trennung von Libriform und Bast ist in anatomischer Hinsicht auf keinen Fall durchführbar.

3) Bei manchen unserer Laubhölzer treten die mechanischen Zellen des Holzringes in gesonderten Gruppen oder Zonen auf, welche den intracambialen Mestomelementen — ich denke hier vorzugsweise an die Holzparenchymzellen und Gefässe — noch ziemlich viel Raum übrig lassen, so z. B. bei *Mahonia* (mit radialen Mestomzonen), *Sapindus Saponaria* und *Casuarina* (mit tangentialen Mestomzonen), ferner bei den Leguminosen-Gattungen *Cytisus*, *Robinia*, *Coronilla* u. a.; ebenso im Rhizom von *Glycyrrhiza glandulifera*, der krantartigen Stammorgane (Kohlrabi etc. gar nicht zu gedenken. Selbst bei den härtesten Laubhölzern, wie z. B. der Buche, Eiche u. dgl. sind die Holzparenchymzellen bekanntlich keineswegs ganz unterdrückt, und ihre Anordnung lässt deutlich genug erkennen, dass sie zu den Gefässen und Markstrahlen in näherer Beziehung stehen als zum Libriform¹⁾. Auch darin erblicke ich eine Bestätigung meiner Auffassung. Wir haben ja schon bei den Monocotylen gesehen, dass das Mestom in der Regel, zumal bei starker Bastbekleidung, durch parenchymatische »Zugänge« mit dem Parenchym der Umgebung in Verbindung bleibt. Die Dicotylen bedürfen natürlich ähnlicher Verkehrswege, und es darf uns nicht wundern, dass letztere in Gestalt von Markstrahlen und davon abgehenden

¹⁾ Vgl. hierüber Sanio in *Linnaea* Bd. 29 (1857), pag. 131 ff. — Die Sanio'schen Beobachtungen beziehen sich indess ausschliesslich auf das Abhängigkeitsverhältniss zwischen Holzparenchym und Gefässen. Wo eine solche Abhängigkeit nicht besteht oder doch sehr zurücktritt, sollen die Holzparenchymzellen entweder kurze tangentiale Reihen bilden oder vereinzelt liegen (*Pyrus*). Diese Darstellung entspricht allerdings dem Verhalten des Querschnittes; allein auf tangentialen Längsschnitten habe ich mich mehrfach überzeugen können, dass die angeblich isolirten Holzparenchymzellen longitudinale Reihen bilden, welche in benachbarte Markstrahlen ausmünden. Holz- und Strahlenparenchym bilden also zusammen ein System von Saftwegen, welchem die Gefässe und Tracheiden die zum Stoffwechsel nöthige Luft zuführen. Wo das Holzparenchym fehlt, wie z. B. bei *Berberis*, sind ausnahmsweise die Libriformzellen zur Speicherung von Stärke befähigt.

Reihen von Holzparenchymzellen um so regelmässiger auftreten, je weniger die mechanischen Zellen sich selbst bei der Leitung wässeriger Lösungen betheiligen. Radiale Verkehrswege werden bei dickem Holzring selbst da noch nothwendig sein, wo die longitudinale Wasserströmung sich vorzugsweise im Libriform bewegt.

In vorstehender Charakteristik der verschiedenen Dicotylengruppen wurde dem Worte *Mestom* durchweg dieselbe Bedeutung beigelegt, wie bei den Monocotylen. Dasselbe bezeichnet demgemäss die sämtlichen Elemente der Fibrovasalstränge mit Ausnahme der mechanischen Zellen, und soweit bloss vom Holze unserer Bäume die Rede ist: das Holzparenchym mit Einschluss der Parenchymstrahlen und die Gefässe. Diese Bezeichnung hat unstreitig Manches für sich; sie findet schon darin ihre Berechtigung, dass sie die bestehenden Analogieen zwischen Mono- und Dicotylen, und ich kann hinzufügen zwischen Phanerogamen und Gefässcryptogamen, festhält und dass sie überhaupt der Einheit der Auffassung entspricht, die ich in dieser Abhandlung auf alle höheren Gewächse auszu dehnen bestrebt war. Es sollte gezeigt werden, dass die im zweiten Abschnitt als *Mestomstränge* bezeichneten Gewebebündel bei den Dicotylen wiederkehren und zwar bei zahlreichen Repräsentanten in wesentlich übereinstimmender Weise: dass sie jedoch bei den mehr abweichenden Vertretern ihre ursprüngliche Selbständigkeit und Abgeschlossenheit einbüssen, indem die mechanischen Zellen sich zwischen ihre eigenen Elementarorgane einschieben und dieselben in getrennte Zonen oder einzelne Gruppen etc. aus einander drängen. Es sollte namentlich auch darauf hingewiesen werden, dass diese scheinbar isolirten Theile des *Mestoms* nach wie vor ein zusammenhängendes System bilden, wie es die Function derselben nothwendig verlangt, und dass Unterbrechungen in diesem System nur da einzutreten pflegen, wo die mechanischen Zellen selbst zur Speicherung von Reservennahrung (Stärke) und zur Saftleitung befähigt sind.

Ich bin sonst kein Freund von neuen Benennungen, besonders wenn es nur Worte und keine Begriffe sind; allein die Aufstellung eines besondern mechanischen Systems, der Nachweis der Zusammengehörigkeit der Saft- und Luftwege in jedem einzelnen Fibrovasalstrang, nicht bloss in topographisch-anatomischer, sondern auch in physiologischer Beziehung, dazu die Verschiedenheit der Principien, welche die Natur und Anordnung der beiderlei Gewebe beherrschen, — das Alles bedingt rein begrifflich eine von den herkömmlichen Anschauungen so sehr abweichende Auffassung, dass sie nothwendig auch in der Terminologie sich irgendwie abspiegeln muss. Es mag mir daher nachträglich gestattet sein, die beiden Begriffe, um die es sich hier handelt, noch einmal einander gegenüber zu stellen und damit weitere Vorschläge für die Bezeichnung derselben zu verbinden. Ich unterseheide:

1) Das Gewebe, aus welchem die wesentlichen Constructionstheile des mechanischen Systems bestehen. Man könnte dasselbe etwa als *Stereom* und

die einzelnen Zellen als Stereiden bezeichnen. Zur nähern Characteristik des Stereoms, wie sie die beschreibende Anatomie verlangt, mögen die bisherigen Ausdrücke (Bast, Collenchym etc.) Anwendung finden. Will man die Stereiden, welche im Holzkörper der Dicotylen vorkommen, mit Sanio als Libriformzellen bezeichnen, wie ich es selbst im Vorhergehenden gethan habe, oder will man überhaupt irgend eine Eintheilung nach der Lage oder nach dem morphologischen Ort der Entstehung vornehmen, so ist dagegen Nichts einzuwenden; nur darf man nicht vergessen, dass die so entstandenen Begriffe, auch wenn sie für gewisse Betrachtungen im Vordergrunde stehen, dem Begriff des Stereoms untergeordnet sind.

2) Das Gewebe der Fibrovasalstränge oder Fibrovasalmassen, welches vorzugsweise die Leitung der Säfte besorgt und zeitweise naturgemäss auch bei der Speicherung der Reservennahrung mit betheilig ist. Mit demselben sind in gesetzmässiger Lagerung verbunden, weil physiologisch unentbehrlich, die luftführenden Gefässe oder Tracheiden. Dieses Gewebe, welches ebenfalls ein zusammenhängendes System bildet, habe ich im Vorhergehenden als Mestom bezeichnet. Dasselbe zerfällt, wie schon früher bemerkt, in mehrere anatomisch und physiologisch differenzirte Gruppen, die ihre besondere Bezeichnung verdienen, und sofern die einzelnen Elemente dieser Gruppen abermals verschieden sind, wie z. B. beim Cambiform, so mag die Histologie auch für diese Unterschiede ihre Benennungen einführen.

Die Markstrahlen der dicotylen Hölzer zeigen in Bezug auf Durchlüftung insofern ein abweichendes Verhalten, als die dazu gehörigen Gefässe longitudinal verlaufen, so dass der nämliche Durchlüftungskanal sich bald an diesen, bald an jenen Markstrahl anlegt, bald auch mit Holzparenchymzellen in Verbindung steht.

5. Mechanisches System zugfester Organe.

Dreizehnte Gruppe: Wurzeln und Rhizome, fluthende und schlingende Stammorgane. Dass die Wurzeln der Dicotylen im Allgemeinen den Bedingungen der Zugfestigkeit entsprechen, bedarf keines Nachweises. Von Rhizomen, bei welchen die centripetale Tendenz der Fibrovasalstränge dentlich hervortritt, nenne ich folgende: *Adoxa moschatellina*, mit vollständig wurzelähnlichem Bau; *Menyanthes trifoliata*; *Viola palustris*; *Petasites nireus*, mit Sieheln dickwandiger Zellen auf der Markseite der Stränge; *Thalictrum galioides*, mit starken innenseitigen Bastbelegen; *Houttuynia cordata*, deren Gefässbündelkreis ungefähr auf die Hälfte des Gesamtdurchmessers contrahirt ist; *Pyrola media*, *chlorantha* etc., *Teucrium Scordium*, beide mit sehr stark zusammengezogenem Libriformring. Noch viel ausgeprägter ist der zugfeste Bau bei den unterirdischen Ausläufern von *Linaria striata*, *Apocynum androsaemifolium*, *Rhus glabra* und *Aristolochia Clematitis*, die ich indess, gerade auf Grund ihres anatomischen Verhaltens, sämmtlich für ächte Wurzeln

halten möchte. — Dass sich nebenbei, insbesondere bei kürzeren Rhizomen, mancherlei Uebergänge zur Biegungsfestigkeit vorfinden, lässt sich erwarten; auch mögen hin und wieder Lagerungsverhältnisse zur Geltung kommen, die ihre besondere Erklärung verlangen. Manche Rhizome haben offenbar eine vollständigere Anpassung einfach deshalb noch nicht erreicht, weil es Bildungen einer verhältnissmässig jungen geologischen Periode sind. Man findet bei den Arten der nämlichen Gattung hin und wieder interessante Uebergänge.

Die Stengel der wasserliebenden oder vollständig untergetauchten Dicotylen, wie z. B. von *Myriophyllum*, *Ceratophyllum* und *Hippuris*, stimmen bekanntlich in der Lage der Mestomstränge mit *Najas*, *Potamogeton* und den mechanisch verwandten Monocotylen überein. Eine starke Contraction der Gefässbündel zeigen auch die fluthenden Stengel von *Montia rivularis* und die wurzelnden von *Isnardia palustris*, ebenso die liegenden, für zeitweise Durchtränkung des Mediums angepassten Stämmchen von *Aretia Vitaliana*. Bei *Ranunculus aquatilis* verhält sich allerdings die Sache anders; aber gerade diese Abweichung, zusammengehalten mit der Metamorphose der schwimmenden und ausserhalb des Wassers vegetirenden Blättern (*Var. quinqueloba, succulenta* etc.), sowie mit der grossen Zahl der übrigen Arten, welche meist zu den ächtsten Landpflanzen gehören, scheint mir auch hier auf eine relativ späte Abzweigung der Wasserranunkeln von irgend einer terrestren Form hinzuweisen.

Die schlingenden Stammorgane bedürfen in den ersten Stadien ihrer Entwicklung der Biegungsfestigkeit und sind demgemäss construiert. Ihr späteres Verhalten entspricht dem der schlingenden Monocotylen. Bei *Tecoma radicans* entsteht sogar nachträglich innerhalb der Markscheide ein zweiter Verdickungsring, welcher sich allmählig weiter nach innen vorsehbt, indem er nach aussen Libriform, Gefässe und Markstrahlenparenchym ausscheidet¹⁾. Einen deutlicheren Ausdruck der centripetalen Tendenz kann man sich kaum denken.

6. Mechanisches System blattartiger Organe.

Was zunächst die Blattstiele betrifft, so verhalten sich viele geradezu wie biegungsfeste Stammorgane, so z. B. bei *Ricinus communis*, *Lupinus floribundus*, *Aralia japonica, edulis* (Taf. XIV, 6) und *hispida* (Taf. XIV, 9), *Rhus glabra*, *Vitis vinifera*, *Aesculus Hippocastanum*, *Paulownia imperialis* etc. Diese bedürfen keiner weitem Erklärung.

In der Blattspreite sind zweierlei Nerven zu unterscheiden, nämlich 1) Hauptnerven, welche biegungsfest gebaut und gewöhnlich mit starken Colenchymgürtungen und kleinen inneren Bastsieheln zum Schutze des Cambiforms versehen sind; 2) kleine netzartig anastomosirende Nerven, welche vorzugsweise die Festigkeit gegen Abscheeren und gegen Zerreißen bedingen. Jene ragen

¹⁾ Schon von Sanio beobachtet und in der Bot. Ztg. Jahrgang 1864 mitgetheilt, natürlich ohne weitere Erklärung.

bekanntlich oft nach aussen vor, weil dadurch ihre Tragfähigkeit erhöht wird; diese verlaufen mitten durch das Gewebe, wie die Mestomanastomosen der Gramineenblätter. Die Verwendung des Collenchyms für die Gurtungen findet ihre Erklärung in dem lange andauernden intercalaren Wachstum der Blattspreite, welches nothwendig die Streckungsfähigkeit des Gerüstes voraussetzt.

Die Vertheilung der Hauptnerven auf die Blattfläche gestattet natürlich die verschiedensten Variationen, deren spezielle Betrachtung indess nicht hieher gehört. Die mechanischen Bedingungen sind nur bei wenigen Blattspreiten, wie z. B. bei den handförmig getheilten, den schildförmigen und einigen andern so bestimmt, dass damit zugleich das Constructionsschema in den Hauptzügen gegeben ist. Bei den übrigen hat die Natur einen ziemlich freien Spielraum, und es ist bekannt, dass hier die Mannigfaltigkeit der Blattskelette einen ausserordentlich hohen Grad erreicht.

7. Das Collenchym der Dicotylen.

Die Bedeutung des Collenchyms für den Aufbau der Gewächse wurde bereits in der Einleitung hervorgehoben. Wie schon dort erwähnt, bieten gerade die Dicotylen die besten Anhaltspunkte zur Würdigung dieses Gewebes, indem dasselbe hier ungemein häufig, ja fast regelmässig zur Entwicklung kommt. Und immer sind die eigenthümlichen Wandverdickungen schon in jungen Internodien, deren Bast- und Libriformzellen sich noch im eaubialen Zustande befinden, vollständig ausgebildet. Besonders schöne subepidermale Collenchymplatten oder Collenchymrippen finden sich bei Compositen, Araliaaceen, Umbelliferen, Cucurbitaceen, Chenopodiaceen, Labiaten und manchen andern Familien. Einem tiefer liegenden, von der Epidermis getrennten Collenchymeylinder begegnet man bei *Macropiper excelsum*, *Althaea armeniaca*, *Cephalaria tartarica*, endlich kleineren oder grösseren Collenchymbelegen ausserhalb des Cambiforms der Gefässbündel hin und wieder.

Sowohl im subepidermalen, wie im tiefer liegenden Collenchym differenziren sich zuweilen einzelne Zellen als förmliche Bast- oder Libriformzellen heraus, worüber das Nähere schon oben (pag. 5 u. 6) mitgetheilt wurde. Es ist das meines Erachtens ein deutlicher Beleg dafür, dass das bastähnliche Collenchym nur eine andere Stufe in der Reihe der mechanischen Zellen einnimmt, als der ächte Bast, sich aber im Uebrigen nicht von diesem trennen lässt, ja sogar durch directe Metamorphose in Bast übergeführt werden kann.

Das Collenchym bildet das provisorische Gerüste während des intercalaren Aufbaues. Dieses Mittel, einen solchen Aufbau zu ermöglichen, findet bei den Dicotylen so allgemeine Anwendung, dass sowohl die stellenweise Verdickung der Internodien (nämlich jeweilen in der Region des stärksten Wachstums), als auch die Aulage von Blattscheiden fast vollständig zurücktritt. Dabei spielt die Gewebespannung eine sehr bedeutende Rolle. Ich habe an saftigen Frühjahrstrieben, z. B. von *Polygonum cuspidatum*, wiederholt beobachtet, dass sie

bei annähernd horizontaler Stellung ihr eigenes Gewicht nicht mehr zu tragen vermochten, sobald das Thermometer auf Null oder etwas darunter gesunken war. Die Triebe knickten in Folge der Abnahme der Turgescenz ein, jedoch ohne zu erfrieren; sie vegetirten den ganzen Sommer über fort, und die durch das Einknicken entstandenen Wunden vernarbten.

Dem mechanischen Princip gemäss streben die Collenchymmassen, soweit sie als Constructionstheile des mechanischen Systems zu betrachten sind, nach der Peripherie; sie oecipiren daher bei kantigen Stengeln (Labiaten, Cucurbitaceen, Chenopodeen etc.) die vorspringenden Theile. Ihr Zurückweichen von der Epidermis muss folgerichtig immer als eine Concession zu Gunsten anderer Gewebe gedeutet werden.

S. Mechanisch wirksame Parenchymzellen.

Die Wandungen der Parenchymzellen sind hin und wieder gerade an den Stellen verdickt, wo sie sich zwischen die Constructionstheile des mechanischen Systems einschieben. In diesem Falle ist ihre mechanische Bedeutung unzweifelhaft; sie dienen zur Absteifung oder Verspannung der aus Bast bestehenden Hauptträger. So sehen wir z. B. bei *Helianthus mollis* die Fibrovasalstränge durch scharf abgegrenzte tangentialen Zonen von Hornparenchym unter sich verbunden, und ähnliche Verbindungen finden sich auch bei *Echinops bannaticus*, *Cocculus laurifolius* und *Aralia edulis*, desgleichen zwischen den Bastbelegen des Cambiforms bei *Veronica virginica* und *Spiraea Ulmaria*.

Eine analoge Bedeutung haben natürlich auch die dickwandigen Parenchymstrahlen des Libriformringes, zumal wenn sie mehrschichtig sind und eine beträchtliche Längenausdehnung erreichen. Bei den holzigen Gewächsen ist das allerdings gewöhnlich nicht der Fall, indem hier sowohl Bast- als Libriformzellen in tangentialer Richtung direct verbunden sind; die Markstrahlen werden also nur noch auf Druck in Anspruch genommen.

Uebrigens können auch dünnwandige Zellen, bloss durch ihre Form und Anordnung, den Einfluss mechanischer Principien verrathen. Das grüne Pallisadenparenchym der Blätter ist z. B. in manchen Fällen so regelmässig gebaut — man sehe z. B. einen Querschnitt durch das Blatt von *Iberis sempervirens* an — dass man auf den ersten Blick ein System eleganter Drucklinien zu sehen glaubt. Ich zweifle auch nicht daran, dass Druckverhältnisse die Anordnung dieser Zellen mit beeinflussen, ja unter Umständen geradezu maassgebend sein können. Allein die wissenschaftliche Erledigung dieser Sache hat vorläufig noch ihre Hacken, die sich nicht so ohne Weiteres beseitigen lassen. Meine eigenen Beobachtungen über diesen Punkt sind überdiess viel zu lückenhaft, als dass ich eine bestimmte und wohl begründete Ansicht über die maassgebenden Factoren hätte gewinnen können. — Als einen Fall, der sich unmittelbar an die Monocotylen (*Juncus glaucus*) anschliesst, möchte ich dagegen die Curven bezeichnen, welche die grünen Rindenzellen bei *Casuarina* bilden. Die-

selben stützen sich zum Theil auf die Bastrippen, andern Theils auf die eingefaltete Epidermis und sind ohne Zweifel als Drucklinien zu deuten.

Als mechanisch wirksame Elemente und zwar als Einrichtungen gegen radiale Druckkräfte betrachte ich endlich auch die Zellen der Schutzscheide in Wurzeln und Rhizomen, jedoch nur soweit sie verdickte Wandungen besitzen; ebenso jene eigenthümlichen Membranverdickungen, welche zuweilen im Parenchym ausserhalb der Schutzscheide auftreten und um diese letztere ein zusammenhängendes Netzwerk mit longitudinalgestreckten Maschen herstellen¹⁾. Wo solche Verdickungsleisten unter der Epidermis oder sonst im Parenchym vorkommen, mögen sie einem analogen Zwecke dienen. Aber auch hier ist es bloss eine hypothetische Ansicht, die ich ausspreche; die wissenschaftliche Prüfung und Durchführung derselben würde eingehendere Untersuchungen voraussetzen, als ich sie bis dahin angestellt habe.

Sechstes Capitel.

Die übrigen Gefässpflanzen.

1. Gymnospermen.

Wie bei den dicotylen Holzgewächsen, so liegt auch hier die mechanische Kraft mehrjähriger Stammorgane einzig und allein im Libriformring, dessen Mächtigkeit mit den Jahren stetig zunimmt. Dieser Ring ist in allen mir bekannten Fällen von ächten Markstrahlen durchzogen, und die mechanischen Zellen, die zuweilen 2 bis 4 Mill. Länge erreichen²⁾, sind nebenbei durch grösseres Lumen und durch behöfte Poren für die Durchlüftung eingerichtet; zur eigentlichen Gefässbildung kommt es aber bekanntlich nur bei den Gnetaeen, welche sich auch in anderer Hinsicht den Dicotylen näher anschliessen. Von den im Vorhergehenden als Mestom bezeichneten Elementen fallen also die Gefässe für die späteren Jahresschichten in der Regel vollständig weg: an ihrer Stelle figurirt das tracheale Libriform. Dagegen scheinen die Holzparenchymzellen, obsehon sie numerisch sehr zurücktreten, doch nirgends ganz zu fehlen.

Der extracambiale Bast kommt bei den Gymnospermen entweder gar nicht zur Entwicklung, oder er findet sich nur in kleinen Gruppen oder tangentialen Reihen, welche wahrscheinlich dem Cambiform den nöthigen Schutz gewähren sollen, mit der Biegungsfestigkeit aber jedenfalls Nichts zu thun haben. Aehn-

¹⁾ So z. B. bei *Viburnum Opulus* und *Lantana*. — Aehnliche Verdickungen kommen bekanntlich auch bei den Coniferen vor.

²⁾ Vgl. Sanio, über die Grösse der Holzzellen bei der gemeinen Kiefer, in Pringsheim's Jahrb. VIII, p. 401 ff.

liche Gruppen trifft man zuweilen auch innerhalb der primordialen Mestomstränge im Markgewebe.

Als Constructionstheile des mechanischen Systems sind dagegen die subepidermalen Bastrippen zu betrachten, wie man sie bei *Abies excelsa* und *Ephedra* beobachtet. Bei *Abies* sind es ca. 4 bis 6 Rippen von je 10 bis 60 Zellen, die indess schon durch die erste Peridermzone abgeschnitten und später abgeworfen werden. Der rindenständige Bast figurirt also auch hier nur als vorläufiges Gerüste, an dessen Stelle schon im zweiten Jahr der Libriformring tritt. Dasselbe Schicksal erfährt auch das subepidermale Collenchym, welches bei einigen Nadelhölzern die peripherischen Bastrippen ersetzt.

Von besonderer Bedeutung für die einjährigen Zweige sind die herablauenden Blätter, wie sie bei manchen Conpressineen (sehr entwickelt z. B. bei *Thuja gigantea*) vorkommen. Dieselben bilden hier mit ihren subepidermalen Bastzellen das eigentliche Skelett der Internodien. Eine Verschiebung der letzteren innerhalb ihrer Schienenhülle ist jedoch wegen der vollständigen Verwachsung von Stamm und Blatt nicht denkbar. Folglich kann unter diesen Umständen auch von scharf localisirter Gewebebildung, etwa über dem Knoten, nicht die Rede sein. Die Streckung der Internodien, soweit eine solche thatsächlich stattfindet, muss sich also nothwendig auf deren ganze Länge ausdehnen.

Viel häufiger als in den Stammorganen treten die subepidermalen Bastrippen in den Blättern der Gymnospermen auf. Ich habe hier namentlich die langen Nadeln von *Pinus Sabiniana*, *Laricio*, *Strobus* u. a. im Auge, wo die genannten Rippen nach Form und Anordnung ein biegungsfestes System bilden. Kommen dagegen die Bastzellen bloss einzeln oder in tangentialen Reihen unter der Epidermis vor, wie z. B. bei der Rothtanne, oder liegen sie zerstreut im Blattparenchym, wie bei *Ceratozamia*, so ist ihre Bedeutung voraussichtlich eine andere¹⁾.

Die Wachstumsverhältnisse der Nadelhölzer gehören bekanntlich zu den regelmässigsten, die man kennt. Grosse, schön gewachsene Fichtenstämme sind dem auch annähernd Träger von gleichem Widerstande. Sie verhalten sich im Grossen, wie beispielsweise die Gras- und Binsenhalme im Kleinen. Nur ist es eine nothwendige Folge des Dickenwachstums, dass diese Stämme nicht hohl, sondern von unten bis oben voll construiert sind. Die Gleichungen, welche früher für beliebige Träger mit kreisförmigem Querschnitt aufgestellt, und die Zahlenreihen, die daraus abgeleitet wurden (pag. 96), beherrschen hier nicht bloss die äussere Form, sondern auch die jährliche Dickenzunahme. Lassen wir in Fig. 11 (p. 97) die Scheitelregion als der Wirklichkeit weniger entsprechend ganz bei Seite, so erhalten wir für die nachbezeichneten Abstände x die beigesetzten Zuwachsgrössen für q .

¹⁾ Ueber den Bau der hierher gehörigen Blätter vgl. Thomas in Pringsheim's Jahrb. IV, pag. 23; ferner Kraus, ebenda IV, p. 305, und Dippel, das Mikroskop II, p. 392.

Abstände.	Zuwachs von ρ .
Von $x = 40$ bis $x = 60$	0,9
- $x = 60$ - $x = 80$	0,74
- $x = 80$ - $x = 100$	0,61
- $x = 100$ - $x = 120$	0,53
- $x = 120$ - $x = 140$	0,48
- $x = 140$ - $x = 160$	0,44

Um diese Werthe den wirklichen Grössenverhältnissen einer ausgewachsenen Fichte ungefähr anzupassen, setzen wir die Längeneinheit für $\rho = 30$ Mill. und die Längeneinheit für $x = 300$ Mill. Die halbe Dicke des Stammes für die Abscisse $x = 160$ beträgt alsdann $\rho = 10 \cdot 30 = 300$ Mill. Ebenso erhält man für die Gesamtlänge von $x = 40$ bis $x = 160$ die Ziffer $120 \cdot 300 = 36000$ Mill. = 36 Meter. Nehmen wir jetzt ferner an, die Längenzunahme per Jahr betrage im Mittel anderthalb Einheiten = 450 Mill., so kommen auf einen Zuwachs von 20 Einheiten 13,3 Jahre, während welcher Zeit der Radius des Stammes sich um die obenbezeichneten Grössen verlängert. Unsere Tabelle kann dem entsprechend auch folgendermaassen geschrieben werden:

Abstand von der Basis.	Abnahme des Radius.	Dicke der Jahresschichten.
Von 0 bis 6 Meter	13,2 Mill.	1,0 Mill.
- 6 - 12 -	14,4 -	1,08 -
- 12 - 18 -	15,9 -	1,2 -
- 18 - 24 -	18,3 -	1,45 -
- 24 - 30 -	22,2 -	1,67 -
- 30 - 36 -	27,0 -	2,0 -

Der Stamm bleibt hiernach in Bezug auf Biegungsfestigkeit ein Träger von gleichem Widerstande, wenn die Dicke der Jahresschichten in der angegebenen Weise von unten nach oben zunimmt. Das ist nun aber thatsächlich nicht der Fall, sondern die Jahresschichten haben nach Sanio¹⁾ oben wie unten ungefähr dieselbe Mächtigkeit und sind sogar im untern Theil des Stammes durchgehends fester als im obern. Daraus folgt aber, dass die Festigkeitsabnahme in aeropetaler Richtung hier merklich rascher erfolgt, als in einem Träger von gleichem Widerstande²⁾.

2. Farnkräuter.

Meine Beobachtungen hierüber beziehen sich vorzugsweise auf die Blattstiele. Diese besitzen durchgehends eine subepidermale oder doch streng-peri-

¹⁾ Vgl. die Tabelle zur oben erwähnten Abhandlung in Pringsheim's Jahrb. VIII.

²⁾ Selbstverständlich kann diese Betrachtungsweise auch auf andere Pflanzen mit Dickenwachstum übertragen werden.

pherische Zone mechanischer Zellen¹⁾ und sind in hohem Grade biegungsfest. Die Gefässbündel stehen mit diesem Ring in keinem Zusammenhang; dafür besitzen sie zuweilen ihre besondern Prosenchymcheiden, die übrigens nicht selten einen halb-parenchymatischen Character annehmen und selbst vollständig fehlen können, während sie allerdings in andern Fällen eine beträchtliche Mächtigkeit erreichen oder durch mehrere Lagen fester Parenchymzellen ersetzt sind. Zuweilen sind es übrigens keine geschlossenen Scheiden, sondern bloss isolirte Gruppen, welche beispielsweise den einspringenden Winkeln der Fibrovasalstränge entsprechen. In allen Fällen haben diese innern Belege zunächst den Zweck, dem Cambium der Gefässbündel den erforderlichen Schutz zu gewähren.

Als Beispiel schwacher Bast- oder Parenchymbekleidung führe ich an: *Lastraea crinita*, *Pteris arguta* und *argyrea*, *Cibotium Schiedei*, *Diplazium celtidifolium*. *Pteris cretica*, *Aspidium violaceum*; stärkere findet man bei *Balanium antarcticum*, *Stenochlaena scandens*, *Didymochlaena humilata*.

Eine ähnliche Anordnung der festen Theile zeigen nach den übereinstimmenden Angaben der Autoren auch die aufrechten Stämme der Baumfarne. Die Rhizome dagegen, von denen ich mehrere untersuchte, sind theils sehr schwach und dann von einem einzigen centralen Fibrovasalbündel durchzogen, theils aber auch entschieden zngfest, wie bei der Mehrzahl der Monocotylen. Die centripetale Tendenz der Gefässbündel tritt überall deutlich hervor, hie und da auch die Neigung der peripherischen Rindenzellen, eine feste röhrenartige Hülle zu bilden.

Die Wurzeln sind zum Theil mit einem peripherischen Umhüllungsmantel ausgestattet, welcher das Rindengewebe gegen Druck schützt. Sehr ausgeprägt ist derselbe z. B. bei *Psaronius*, einem vorweltlichen, offenbar an feuchte Standorte angepassten Farnkraut, bei welchem die Rinde von zahlreichen Luftkanälen durchzogen war und daher des Schutzes gegen radiale Druckkräfte um so eher bedurfte. Querschnitte durch diese Wurzeln sind in Corda's Beiträgen zur Flora der Vorwelt (Taf. XLV, 2; XLVI, 3; XLVII, 2, 4) abgebildet.

3. Equisetaceen.

Die oberirdischen Stengel der Equiseten sind streng nach den Principien der Biegungsfestigkeit construirt. Sie besitzen eine starke Epidermis mit anliegenden Bastrippen oder continuirlichem Bastring, dazu einen Kranz von Me-stombündeln, zum Theil mit starken tangentialen Verbindungen, als Aussteifungsapparat. Die Construction erinnert in mancher Beziehung an gewisse Cyperaceen,

¹⁾ Die Zahl der dünnwandigen Zellschichten ausserhalb der Bastzone variirt. Gewöhnlich sind es nur 1 bis 2, andere Male 3 bis 4. Wie in diesem Falle die Epidermis zu definiren sei, mag hier unerörtert bleiben. Dagegen bemerke ich noch, dass der mechanische Ring zuweilen in zwei symmetrischen Punkten auf der rechten und linken Seite unterbrochen ist.

namentlich auch mit Bezug auf das lang andauernde intercalare Wachstum im untern Theil der Internodien, wie es sonst bei Cryptogamen nicht vorkommt.

Die Rhizome fügen sich ebenso augenfällig dem Princip der Zugfestigkeit. Die centrale Höhlung ist verschwunden oder doch bedeutend redneirt, der Gefässbündelkranz enger zusammengezogen, das System der Luftkanäle vorzugsweise in die Rinde verlegt u. s. w. Man vergleiche hierüber die Abbildungen bei Duval-Jouve¹⁾, Taf. V und VI, und dessen Beschreibungen der einzelnen Arten. — Aehnlich verhalten sich auch die hängenden Zweige.

Im Wesentlichen übereinstimmend, obschon im Einzelnen weniger abweichend, erscheint den Beschreibungen und Abbildungen zufolge auch der Bau der vorweltlichen Calamiten²⁾. Die Internodien waren aber doch durchgehends kürzer, zum Theil sehr kurz, das Wachstum also vorwiegend acropetal, die Blattquirle nicht zu Scheiden verschmolzen, d. h. für den intercalaren Aufbau der Internodien nicht eingerichtet, der ganze Bau also noch ursprünglich und dem Plan der übrigen Gefässcryptogamen mehr conform. Aus der Art und Weise, wie die Calamiten der Steinkohle erhalten sind, scheint mir überdiess hervorzugehen, dass die subepidermalen Bastbelege nur schwach, die intracorticalen Gefässbündel dagegen um so stärker entwickelt waren. Dem Fibrovasalcyllinder von *Calamodendron* Binney³⁾ muss sogar entschiedenes Dickenwachstum zugeschrieben werden; die Frage jedoch, ob er neben Gefässen und Markstrahlen auch spezifisch-mechanische Zellen enthielt, lässt sich auf Grund der bezüglichen Darstellungen nicht mit Sicherheit beantworten.

4. Rhizocarpeen.

Von den aufrechten Organen dieser Gruppe erwähne ich zuerst die Blattstiele von *Marsilea Drummondii* und *M. spec.* (einer zweiten exotischen Art). Beide besitzen einen continuirlichen Bastring, der zu den Gefässgruppen in keiner Beziehung steht und offenbar einzig und allein die Biegungsfestigkeit des Organs bezweckt, sich aber dessenungeachtet etwas weiter als gewöhnlich von der Oberfläche entfernt. Diess geschieht indess nur, um den luftführenden Gängen in der peripherischen Rinde den nöthigen Raum zu gewähren. Man beobachtet das nämliche Verhalten auch bei *Juncus articulatus* (L), *Scheuchzeria palustris* u. a., jedoch stets nur in demjenigen Theil des Stengels, welcher mindestens zeitweise von Wasser umgeben ist. Bei den genannten Marsileen erstreckt sich diese Ventilationsvorrichtung auf die ganze Länge des Blattstieles. — Dasselbe gilt von *M. quadrifolia*, nur ist der mechanische Ring hier schwächer und mehr parenchymatisch, von der nächsten Umgebung des Gefässbündels überdiess weniger deutlich abgegrenzt, das feste Gewebe überhaupt stark contrahirt, indem die peripherischen Luftkanäle mindestens die Hälfte der

1) Duval-Jouve, histoire nat. des Equisetum de France.

2) Vgl. Schimper, Paléontologie végétale, I, pag. 291 ff.

3) Vgl. Schimper, l. c. Taf. XXI, Fig. 8, 15.

ganzen Querschnittsfläche einnehmen, — alles Merkmale, welche offenbar mit der vorwiegenden Anpassung an Wasser im Zusammenhang stehen.

Die kriechenden Stengel der Marsileen zeigen ein ähnliches Verhalten, wie die eben beschriebenen Blattstiele. Das feste Gewebe ist stark contrahirt und das Ventilationssystem sehr entwickelt, fast wie bei eigentlichen Wasserpflanzen. Besondere Erwähnung verdient der centrale, oft dunkelfarbige Faserstrang innerhalb der Gefässzone, ein deutlicher Beleg für die centripetale Tendenz der mechanischen Zellen.

5. Lycopodiaceen.

Es gibt wenige Gefässpflanzen, deren Architectur so plump und irrationell aussieht, wie bei der Mehrzahl der Lycopodiaceen, denen sich die vorweltlichen Lepidodendren anschliessen. Halten wir uns vorläufig an die Gattung *Lycopodium*, so bilden hier die Gefässe und das Cambiform bekanntlich einen axilen Cylinder, der zuweilen von kleineren oder grösseren luftführenden Räumen umgeben ist. Einzelne Arten, wie z. B. *L. complanatum*, *annotinum* und *clavatum*, verhalten sich in dieser Beziehung, wenigstens in den untern Theilen oder in den Seitenzweigen, ganz wie *Selaginella*. Es wäre nun rationell, diesen axilen Mestomecylinder, beziehungsweise den umgebenden Luftraum, durch eine relativ feste Umhüllung zu schützen und hiefür je nach Bedürfniss Parenchymzellen oder spezifisch-mechanische Zellen zu verwenden. Das biegungsfeste mechanische System dagegen müsste, wie immer, in die Nähe der Oberfläche verlegt werden. Dieses System würde in liegenden oder aufsteigenden Stämmen schwächer, in stramm aufrechten stärker zu construiren sein; bei ersteren könnte es unter Umständen auch ganz wegfallen, während die centrale Scheide vielleicht angemessen zu verstärken wäre, um ihr eine grössere Zugfestigkeit zu verleihen.

Ein solcher Ban ist nun allerdings sowohl bei *Lycopodium clavatum* und *Selago*, als auch bei verschiedenen Selaginellen thatsächlich vorhanden; doch zeigt er auch hier eine geringe Empfindlichkeit gegenüber den Veränderungen in den mechanischen Lebensbedingungen. Der liegende Stamm von *L. clavatum* ist z. B. nach demselben Plan gebant, wie der aufrecht stehende Stiel der Aehre. Bei andern Arten dagegen, so bei *L. complanatum*, *inundatum* und *alpinum*, ist eine breite peripherische Zone der Rinde dünnwandig, oft sogar locker-maschig (*L. complanatum*, *Chamaecyparissus*), wie es sonst nur die Anpassung an zeitweise oder danernde Ueberfluthung mit sich bringt: die mechanischen Zellen, mit Einschluss der verdickten Parenchymzellen, bilden in Folge dessen einen einzigen starken Ring, dessen Innenfläche sich unmittelbar an die Umgebung des Fibrovasalcylinders anschliesst. Die Scheide des letztern ist gleichsam verschmolzen mit dem biegungsfesten mechanischen System. Welche Vortheile die Pflanze dadurch erzielt, ist mir nicht bekannt; in mechanischer Beziehung büsst sie jedenfalls ein, da der Aufwand an Material in Folge der

ungünstigen Vertheilung ein beträchtlich grösserer wird. Der Bau dieser Lycopodien muss daher im Allgemeinen als schwerfällig bezeichnet werden: er verhält sich zu der schlanken und correcten Architectur der Equiseten ungefähr wie ein alter Thurm mit colossalen Mauern zu einer modernen Eisenconstruction.

Die mechanischen Zellen der Lycopodien sind übrigens in manchen Fällen typische Bastzellen mit schiefen spaltenförmigen Poren (sehr ausgeprägt bei *L. inundatum*). In andern Fällen erhalten sie durch die öfteren Quertheilungen und die Grösse der Lamina einen halb-parenchymatischen Character. Die verschiedenen Formen gehen aber auch hier ohne scharfe Grenze in einander über.

Von den exotischen Gattungen habe ich nur *Psilotum* untersucht. Die aufrechten Stämme dieser Pflanze besitzen einen normalen peripherischen Bastring, welcher durch etwa zwei bis drei grüne Rindenzellschichten von der Epidermis getrennt ist. Die Bastzellen sind mässig verdickt, zum Theil chlorophyllführend und mit deutlichen linkschiefen Poren versehen. Dem axilen Mestomstrang fehlt eine besondere Bastscheide: selbst in den ältesten Stengeltheilen sind höchstens die nächstliegenden Parenchymzellen mit etwas stärkern Wandungen ausgestattet. Dagegen enthält der Mestomstrang selbst ausnahmslos einige Bast- oder Libriformzellen, die ihm eine gewisse Zugfestigkeit verleihen. — In den unterirdischen Stammorganen, den sogenannten Rhizoiden, fehlt der Bastring, weil er hier zwecklos wäre. Dass zugleich die Vasalgruppen zu einem einzigen centralen Strang verschmelzen, ist bekannt.

Die vorweltlichen Lepidodendren, bekanntlich Bäume von 60 bis 100 Fuss Höhe, waren im Allgemeinen ähnlich gebaut wie die Lycopodien. Die bezüglichen Daten sind aber doch zu lückenhaft, als dass es mir möglich wäre, über die Dimensionsverhältnisse des mechanischen Systems eine klare Vorstellung zu gewinnen. Wie waren z. B. jene starken Stämme construiert, die 10 bis 12 Fuss Durchmesser erreichten und eine stattliche Krone zu tragen hatten? Ich kann mir nicht denken, dass hier bloss eine Art *«epiderme. composé de cellules très-étroites et allongées»*, wie Brongniart angibt, vorhanden gewesen sei: es bedurfte gewiss einer sehr bedeutenden Wandstärke dieser biegungsfesten peripherischen Zone oder dann eines viel dickeren centralen Hohleylinders, als diess gewöhnlich dargestellt wird¹⁾. Nach den Angaben Binney's über das verwandte Genus *Sigillaria* war das erstere der Fall; derselbe nennt die oberflächliche Schicht ein sehr festes kleinzelliges Rindengewebe²⁾. Ebenso Corda in seinen Beiträgen zur Flora der Vorwelt.

¹⁾ Vgl. z. B. Unger, Anat. u. Physiol. der Pflanzen, p. 225, Fig. 95. Der Durchmesser des centralen Cylinders beträgt hier weniger als $\frac{1}{3}$ der Gesamtdicke. Aehnliche Verhältnisse zeigen auch andere Abbildungen.

²⁾ Binney, citirt von Schimper, Paléontologie végétale II, p. 80. Originalabhandlung in Phil. Transact. 1865, p. 580. — Mit obiger Auffassung stimmen auch die neuesten Veröffentlichungen dieses Autors überein (Palaeontographical Society, vol. XXV, 1871).

Siebentes Capitel.

Die Zellencryptogamen.

Die mechanischen Zellen sind nicht bloss auf die Gefässpflanzen beschränkt; sie finden sich in verschiedenen Graden der Ansbildung auch bei den Muscineen. Jener Ring von braunen oder braungelben Zellen, welcher auf Querschnitten durch die Stämmchen oder die Fruchtstiele der Laubmoose das peripherische Rindengewebe bildet¹⁾, ist nichts Anderes als das biegungsfeste mechanische System. Sind auch die Zellen, aus denen dieser Ring besteht, in der Regel porenlos²⁾ und folglich weniger deutlich characterisirt, so ist doch ihre Länge oft so bedeutend und die prosenchymatische Zuspitzung so ausgeprägt, dass sie in diesem Punkte sogar mit typischen Bastzellen concurriren können. Zuweilen findet man in der Umgebung des centralen Leitbündels abermals einen Ring schwach verdickter Zellen; diesen glaube ich als schützende Umhüllung des Leitbündels denten zu dürfen.

Bei einigen wasserliebenden Moosen (*Sphagnum*, *Aulacomnium palustre*, *Encalypta ciliata*) treten die mechanischen Zellen mehr oder weniger von der Oberfläche zurück, um diese Stelle einem Durchlüftungsmantel einzuräumen, der bei *Sphagnum* sogar 3 bis 4 Zellschichten in Anspruch nimmt. Man ist zwar gewohnt, diese luftführenden peripherischen Zellen als Capillarapparate zu betrachten, welche angeblich die Wasserströmung von unten nach oben zu unterhalten bestimmt sind. Es mag auch thatsächlich vorkommen, dass sie unter Umständen diese Verrichtung übernehmen. Allein diese Zellen sind nur bei *Sphagnum cymbifolium* und etwa noch bei ein paar anderen Arten mit offenen Poren versehen, bei den übrigen, wie z. B. bei *Sph. squarrosum*, geschlossen, so dass hier von Capillarwirkung von vorneherein nicht die Rede sein kann. Das Vorkommen solcher Zellen ist aber für die Sphagneen ein durchgreifendes Merkmal. Ich möchte daher diese Erscheinung eher dem Zurücktreten des mechanischen Systems bei den biegungsfesten Organen wasserliebender Gefässpflanzen, z. B. von *Juncus articulatus*, *Marsilea Drummondii*, *Hottonia palustris* etc. an die Seite stellen, wo ebenfalls Ventilationsapparate die peripherische Zone zunächst unter der Epidermis behaupten und die mechanischen Zellen um so weiter zurückdrängen, je mehr die Pflanze für öftere oder länger andauernde Ueberschwemmungen der Standorte angepasst ist.

Die kriechenden und fluthenden Stammorgane der Muscineen stimmen hinsichtlich der peripherischen Lage der mechanischen Zellen mit den aufrechten überein, wobei indess zu berücksichtigen, dass die cylindrische Röhre nicht bloss den Bedingungen der Biegungsfestigkeit entspricht, sondern zugleich gegen

¹⁾ Vgl. Lorentz, Grundlinien zu einer vergleichenden Anatomie der Laubmoose, in Pringsheim's Jahrb. VI, Taf. XXI — XXVIII.

²⁾ Lorentz gibt nur bei *Racomitrium protensum* Poren an, jedoch ohne etwas Näheres über deren Form mitzutheilen.

radiale Druck- und longitudinale Zugkräfte widerstandsfähig ist. Bei *Fontinalis squamosa* und *antipyretica*, deren Stämmchen oft nur 0,2 Millimeter Dicke erreichen, wird übrigens der feste peripherische Hohleylinder so eng, dass nur noch ein kleiner Straug von parenchymatischen Leitzellen darin Platz findet. Eine wesentlich andere Anordnung der dickwandigen Zellen lässt sich hier gar nicht erwarten.

Steigen wir in der Stufenleiter der Gewächse noch weiter abwärts zu den Flechten, Pilzen und Algen, so fehlen hier allerdings die spezifisch-mechanischen Zellen, aber die Herrschaft des mechanischen Princips tritt nichtsdestoweniger oft recht deutlich hervor. Wir erkennen z. B. in dem röhrenförmigen Thallus der Cladonien, im hohlen Fruchtstiel mancher Agarici und anderer Pilze sofort wieder den biegungsfesten Hohleylinder, indess der centrale Faserstrang von *Usnea* unverkennbar die ursprüngliche Inanspruchnahme auf Zug verräth. Ich glaube daher nicht zu irren, wenn ich die hängenden Formen von *Usnea* für die primären, die aufrechten für die abgeleiteten erkläre, während bei *Bryopogon* und *Cornicularia* das umgekehrte Verhältniss das wahrseheinliche ist. Eine hängende Form wird allmählig zur aufrechten, indem der Markstrang schon in der Anlage eine grössere Querschnittsfläche erhält und für die Folge die Fähigkeit einer stärkeren Diekenzunahme. Eine aufrechte Form wird hängend, wenn das Längenwachsthum zu sehr vorwiegt und zugleich die Höhlung des Hohleylinders theilweise von Marksträngen ausgefüllt oder überhaupt relativ kleiner wird¹⁾. Die Haftfasern der Parmelien und Imbricarien, die natürlich schon bei den Urformen auf Zug construirt waren, sind nie hohl.

Bei den Algen spielt natürlich die Festigkeit eine mehr untergeordnete Rolle. Dessenungeachtet ist der Gegensatz zwischen zugfesten und druckfesten Organen keineswegs ganz verwischt. Man denke z. B. an die hohlen Thallome einzelner Fucoideen und an die nicht hohlen Haftorgane bei *Laminaria* und *Fucus*. Eine genauere Untersuchung würde gewiss auch auf diesem Gebiete manches Neue zu Tage fördern. Ich halte es sogar für wahrscheinlich, dass sich manche längst bekannte Thatsachen unter den mechanischen Gesichtspunkt ordnen. Dahin rechne ich z. B. die Stellung der Scheidewände bei einzelnen Meeresalgen. Es muss Jedermann auffallen, dass die Querschnittsansicht von *Scirpus lacustris* (Taf. IV, 4, 5) gewissermaassen das Bild eines Querschnittes durch ein *Sphaecelaria*-Stämmchen im vergrösserten Maassstabe wiedergibt. Hier sind es freilich einfache Zellmembranen, welche die Maschen des Netzwerkes bilden, dort hingegen Parenchymwände, welche gewöhnlich aus 3 Zellseichten bestehen; aber beide werden sowohl auf Druck als auf Zug in ungefähr gleicher Weise in Anspruch genommen. Ebenso besteht eine gewisse Aehnlichkeit zwischen den Querschnittsansichten von *Juncus glaucus*, *conglomeratus* etc. auf der einen, und denjenigen von *Sphaecelaria*-Zweigen auf der an-

¹⁾ Man vergleiche z. B. die Querschnitte von *Cornicularia* und *Evernia* auf Taf. IV meiner »Unters. über d. Flechtenthallus« in Nägeli's Beiträgen z. wiss. Bot. II.

deru Seite. Und wie in den Luftkanälen von *Juncus* Zellenreihen als Zugbänder von Wand zu Wand ausgespannt sind, so im Thallom von *Caulerpa* die bekannten Cellulosefäden. Dergleichen Analogieen liessen sich noch manche anführen. Soviel ist sicher: auch bei den einfachsten Gewächsen behält unter den verschiedenen Momenten, welche den Aufbau beeinflussen, das mechanische stets eine hervorragende Bedeutung.

Achtes Capitel.

Das mechanische System in phylogenetischer Hinsicht.

Wir wollen uns zum Schluss noch mit der Frage beschäftigen, inwieweit das mechanische System bezüglich der Entwicklungsfolge der verschiedenen Typen Anschluss oder doch gewisse Anhaltspunkte zu bieten vermag.

Es ist zunächst wahrscheinlich, dass das Wachsthum derjenigen Gewächse, in welchen zum ersten Mal ein aus mechanischen Zellen bestehendes System zur Entwicklung kam, ein streng basifugales war. Denn der intercalare Aufbau durch localisirte Streckung, d. h. durch fortdauernde Gewebebildung in der Basalregion der Internodien, beruht offenbar auf einer weiteren Differenzirung und bekundet daher eine höhere Stufe der Architectur. Hiernach bilden Pflanzen, wie z. B. die Moose, Farnkräuter und Lycopodien unter den Cryptogamen, und wie die Mehrzahl der Coniferen, dann die Dracaenen, Palmen und Pandaneen unter den Phanerogamen die unterste oder Ausgangsstufe, deren Abgrenzung nach oben allerdings die bekannten systematischen Gruppen mannigfach durchkreuzt. Nicht einmal alle Gefässcryptogamen gehören hieher. Die Equiseten sind bekanntlich durch ein scharf localisirtes Wachsthum der Internodien ausgezeichnet. In ähnlicher Weise stechen unter den Gymnospermen die Gnetaeen gegen den herrschenden Wachsthumstypus der Klasse mehr oder weniger ab: von Monocotylen und Dicotylen, bei denen bekanntlich die langen Internodien vorwiegen, gar nicht zu reden. Aber dessenungeachtet glaube ich zeigen zu können, dass die oben genannten Gewächse mit acropetalem Aufbau thatsächlich die ältern sind und dass für eine bestimmte Entwicklungsreihe die mit der localisirten Streckung verbundene Complication des mechanischen Systems einer geologisch jüngern Zeit angehört.

Was zunächst die Equisetaceen betrifft, so sind die ältesten Repräsentanten derselben die Calamiten aus dem Devonischen und der Steinkohle. Die meisten derselben haben kurze, einzelne sehr kurze Internodien, und alle ohne Ausnahme besitzen freie, nicht zur Scheide verbundene Quirlelemente. Das sagt uns deutlich, dass eine nachträgliche Gewebebildung über dem Knoten nicht stattfand. Bei *Calamocladus equisetiformis*, dessen Stamminternodien den relativ längsten beizuzählen sind, beweist überdiess auch die regelmässig tonnenförmige Gestalt derselben die Gleichmässigkeit der Streckung. Uebrigens sind die als *Calamocladus* beschriebenen Formen nach den übereinstimmenden Ansichten der Paläontologen nichts Anderes als die Aeste der Calamiten, und ich füge hinzu:

es sind wahrscheinlich grossentheils hängende Aeste gewesen. Ich schliesse diess einerseits aus dem Verschwinden der centralen Höhlung in den Aesten verwandter Calamiten (*Calamodendron* Binney¹⁾), andererseits aus der Krümmung der Zweige und Blätter, welche entweder auf eine entsprechende Steifheit (die jedoch bei andern Arten wahrscheinlicher ist als bei *C. equisetiformis*), oder aber auf den Zug der Schwere schliessen lässt. Wenn das Letztere der Fall, was meine Vermuthung rechtfertigen würde, so haben auch die am stärksten gestreckten Internodien, wie sie an den Zweigen dritter und vierter Ordnung vorkommen, nichts Auffällendes; denn die letzten Auszweigungen waren wahrscheinlich schlaffer als die übrigen und der Streckung durch Zug in höherem Grade unterworfen.

Wie dem auch sei, die Calamarienstämme der Steinkohle, welche nach Schimper zu den Gattungen *Calamites*, *Calamocladus* und *Huttonia* gehören, sind zum grössten Theil kurzgliedrig, und die wenigen Arten mit etwas längeren Internodien gehen doch selten über das Maass hinaus, das wir z. B. an den gegliederten Palmstämmen (*Sagus*, *Areca*, *Caryota* etc.) beobachten²⁾. Eine entschiedene Ausnahme hievon machen nur *Annularia* und *Sphenophyllum*, welche vermuthlich im Wasser vegetirten und daher der Biegungsfestigkeit nicht bedurften. Kein einziger Repräsentant der ganzen Gruppe lässt auf localisirte Streckung schliessen.

Wenden wir uns jetzt zu den geologisch jüngern Formen, deren Culminationsperiode mit der Triasformation zusammenfällt³⁾, so begegnen wir hier zunächst dem Genus *Schizoneura*, das gewissermaassen den Uebergang zu den Equiseten vermittelt. Die ziemlich langen, quirlig gestellten Blätter bleiben nämlich längere Zeit zur Scheide verschmolzen, trennen sich aber später vollständig von einander und bilden dann ein »verticillum liberum, primo erectum, postea patulum, tandem reflexum et deciduum«. Die beträchtliche Streckung der Internodien, die bis 10 mal so lang als dick sind, findet hier offenbar unter dem Schutze der Scheide statt. Bei *Phyllothecca* und *Equisetum* ist die Scheide bleibend, aber die Dimensionsverhältnisse derselben und die Länge der freien Blattspreiten zeigen mancherlei Abstufungen. Bei der erstern Gattung sind die Spreiten meist abstehend oder zurückgeschlagen und durchgehends länger als

¹⁾ Vgl. Schimper, Paléontologie végétale, Taf. XXI, 15 n. 17. — Ueber andere Calamarien liegen anatomische Untersuchungen hierüber nicht vor.

²⁾ Die längsten Internodien scheinen bei *C. Suekowi* Brg. und *C. Cistii* Brg. vorzukommen; allein so schlank wie Dawson dieselben restaurirt darstellt (*Acadian Geology*, pag. 442), können sie nach den mir bekannten Abbildungen und Grössenangaben doch kaum gewesen sein. Uebrigens lege ich das Hauptgewicht nicht auf die Länge der Internodien, sondern auf die Art ihres Wachthums.

³⁾ Ich weiss wohl, dass Equisetum-ähnliche Stämme mit Scheiden (*Equisetides* Schimper) schon in der Steinkohle auftreten. Die Zahl der hieher gehörigen Arten, ja sogar der sämtlichen gefundenen Exemplare ist indessen sehr klein, während die Calamiten bekanntlich in ungeheurer Anzahl vertreten sind. Hieraus geht jedenfalls hervor, dass die Stammformen dieser letztern schon lange vorher existirt haben müssen. Dass sie den Equiseten vorausgehen, wird, soviel mir bekannt, allgemein angenommen.

die Scheiden. Die mögliche Streckung der Internodien erreicht bei beiden einen ziemlich hohen Grad.

Wie die Equiseten unter den Gefässcryptogamen, so entsprechen auch die Gnetaceen unter den Gymnospermen einer spätern Entwicklungsstufe. Bis jetzt sind fossile Ueberreste dieser Gruppe (Arten der Gattung *Ephedra*) nur aus der spätern Tertiärzeit bekannt, während die Coniferen und Cycadeen in ihren ältesten Repräsentanten bis zur Steinkohlenperiode zurückreichen. Und selbst unter den Nadelhölzern gehören die Typen mit einigermaassen gestreckten Internodien, wozu beispielsweise *Thuja gigantea* zu rechnen ist, den relativ jüngsten Formationen an. Intercalare Streckung durch localisirte Gewebebildung findet übrigens auch hier nicht oder doch nur in sehr begrenztem Maasse statt.

Neben dem Längenwachsthum scheint auf den ersten Blick das Dickenwachsthum als zweites gleichwerthiges Merkmal in Betracht zu kommen. Wie ganz anders geschieht z. B. der Aufbau eines dicotylen Baumes als derjenige einer Palme. Dort ein rasches Emporschiessen in Gestalt eines holzigen Reises, das vorerst kann stark genug ist, sich selbst zu tragen, dabei aber die Fähigkeit besitzt, mit jedem Jahre eine neue Ringlage von mechanischen Zellen zu entwickeln und so ganz allmählig, nach Maassgabe der Längenzunahme, zu erstarken. Hier dagegen ein langsames Anschwellen der Stammanlage, gleichsam ein vorsichtiges Fundamentiren auf breiter Basis, und dann erst der bekannte säulenartige Aufbau des Stammes. Das sind so radicale Gegensätze der Architectur, dass die Vermuthung, dieselben möchten auch für die Entwicklungsgeschichte des Pflanzenreiches eine gewisse Bedeutung haben, beinahe selbstverständlich erscheint. Dessenungeachtet geben uns die paläontologischen That-sachen, soweit ich sie zu beurtheilen im Stande bin, zwar mancherlei Winke, aber keine ganz zuverlässigen Fingerzeige im Sinne einer phylogenetischen Auffassung des Dickenwachsthums. Wir sehen schon unter den fossilen Gewächsen der Steinkohle solche mit und ohne Dickenwachsthum, spitz-pyramidale Coniferen neben den Säulenformen der Sigillarien. Auch die Calamiten, obsehon in ihren oberirdischen Organen einjährig, hatten — nach den oben erwähnten Abbildungen Binney's zu schliessen — einen Verdickungsring, während ihre jüngeren Descendenten, die Equiseten, und ebenso die baumartigen Farne denselben entbehren. Zwischen den Lepidodendreen und ihren nächsten Verwandten, den Lycopodien, bestand wahrscheinlich ¹⁾ ein ähnliches Verhältniss; nur ist hierbei zu berücksichtigen, dass baumartige Gewächse nicht ohne Weiteres mit Kräutern oder Zwergsträuchern verglichen werden dürfen. Endlich scheint auch bei den Monocotylen das Vermögen, in die Dicke zu wachsen, gerade die ältesten Vertreter derselben, die Yucca-artigen Liliaceen, vor allen andern auszuzeichnen. Solchen That-sachen gegenüber kann man sich des Gedankens nicht erwehren, das Principle des peripherischen Dickenwachsthums habe mit dem Zurücktreten

¹⁾ Für einzelne Repräsentanten muss jedenfalls die Fähigkeit, in die Dicke zu wachsen, angenommen werden.

der baumartigen Vegetation allmählig an Bedeutung verloren, bis endlich das Erscheinen der Dicotylen in einer relativ späten Periode demselben aufs Neue die Herrschaft verleiht. In diesem Wandel der Dinge, der sich im Laufe der Zeit vollzogen zu haben scheint, blieben nur die Coniferen, von jeher conservativ, bei ihrer altbewährten Architectur. Das ist das Bild, in welchem ich die Hauptzüge im Wechsel der Wachstumstypen ungefähr richtig wiedergegeben finde: aber ich wiederhole, die Anhaltspunkte sind trügerisch und unzuverlässig. Es wäre daher wohl möglich, dass eine genauere Kenntniss der vorweltlichen Vegetation die Sache in ein anderes Licht stellen würde.

Ein drittes Merkmal, das uns einige weitere Schlüsse über die Entwicklungsfolge gestattet, ist die Porenbildung in der Membran der mechanischen Zellen. Doch ist dabei wohl zu beachten, dass der Gestaltungsprocess, um den es sich hier handelt, keineswegs alle Gewächse umfasst, sondern nur denjenigen Theil der Pflanzenwelt, in welchem die fragliche Ausbildung der Poren tatsächlich stattgefunden hat. Die einfachste Porenform, welche zugleich als die typische bezeichnet werden muss, ist die spaltenförmige. Wir finden sie bei den Farnkräutern durchweg ausgebildet, während die mechanischen Zellen der Moose (vielleicht mit einigen Ausnahmen) noch poreulos sind. Bei *Lycopodium inundatum* zeigen die Poren bereits kleine trichterförmige Erweiterungen, die ersten Andeutungen der Höfe. Bei den Gymnospermen kommen diese Höfe zur vollen Ausbildung: die mechanischen Zellen dienen nebenbei der Durchlüftung. Ebenso bei *Dracaena*, *Cordyline* und *Yucca*. Ich möchte hieraus den Schluss ziehen, dass die genannten Monocotylen sich neben den Gymnospermen als ein besonderer Zweig von Nachkömmlingen gemeinsamer Vorfahren entwickelt haben, und zwar möglicher Weise gleichzeitig mit den in der Steinkohle vertretenen, schon vollständig ausgebildeten Typen der Cycadeen und Coniferen. Ueber die Art der Abzweigung lässt sich natürlich, da wir weder die Uebergänge zu den Gymnospermen, noch diejenigen zu den Monocotylen kennen, nichts Näheres sagen. Die Palaeontologie hat bis jetzt bloss constatirt, dass *Yucca*-artige Gewächse (*Yuccites* und *Eolyrion*) unter den bekannten Vertretern der Monocotylen die ältesten sind.

Für die Palmen, Pandaneen und andere Monocotylen, welche mit den *Dracaenen* das streng aeropetale Wachstum gemein haben, deren mechanisches System aber einer andern Entwicklungsreihe angehört, fehlen bestimmte anatomische Anhaltspunkte zur Feststellung des relativen Alters. Ich halte es für möglich, dass diese Gruppen zu den frühesten Vertretern ihrer Klasse gehören, für wahrscheinlicher jedoch, dass sie erst nach dem *Dracaenatypus* aufgetreten sind. Gewissheit ist einstweilen in dieser Frage nicht zu erlangen. Die Palaeontologie lässt dieselbe ebenfalls unentschieden.

Was nun noch die Monocotylen mit interealarem Aufbau betrifft, so verräth zwar das mechanische System derselben mancherlei Verwandtschaftsbeziehungen, worüber schon bei der Aufstellung der Typen das Nähere mitgeteilt wurde. Allein die Reihenfolge, in welcher diese Typen entstanden sein mögen, lässt

sich aus den angedeuteten Beziehungen nicht ermitteln. Blicken wir z. B. auf die kleine Gruppe der Juncaceen, welche sich einerseits unmittelbar an die Cyperaceen, andererseits den Monocotylen mit Bastring anschliesst, so lässt sich durchaus nicht mit Bestimmtheit sagen, welche von den beiden Uebergangsreihen die ältere sei. Die gewöhnliche Annahme, dass die lilienartigen Gewächse die vollkommeneren und darum die später entstandenen seien, ist offenbar vorzugsweise aus der einseitigen Berücksichtigung der Blüten hervorgegangen und hat im Uebrigen keine thatsächliche Grundlage. Es ist überdiess mehr als wahrscheinlich, dass der anatomische Bau dieser Gewächse älteren Ursprungs ist, als die grossen corollinischen Blütenhüllen. Warm soll man also nicht eben so gut annehmen dürfen, dass die schlanken Gramineen und Cyperaceen, schon wegen ihres starken intercalaren Wachstums und der damit zusammenhängenden Scheidenbildung, mit zu den jüngsten Descendenten der monocotylen Urtypen gehören? Diese Annahme lässt sich, wie gesagt, nicht streng begründen, ist aber jedenfalls ebenso berechtigt als die entgegengesetzte.

Die Palaeontologie lässt uns auch in dieser Frage vollständig im Stich. Sie zeigt uns in der Kreide die ersten kümmerlichen Spuren hieher gehöriger Gewächse und stellt uns dann in der Tertiärperiode mit einem Mal die Vegetation der Jetztwelt vor Augen. Das ist so ziemlich Alles, was man in dieser Sache thatsächlich weiss. Eine plausible Entwicklungsfolge von der ältesten Tertiärzeit bis zur Gegenwart vermag ich wenigstens aus den palaeontologischen Werken nicht herauszulesen.

Soll ich endlich noch ein Wort über die Entwicklung der Dicotylen sagen, so scheinen mir hierüber, soweit ich die Sache beurtheilen kann, fast gar keine Anhaltspunkte vorzuliegen. Dass sie im Ganzen die höchst differenzirten Pflanzen sind, lässt sich im Hinblick auf die so mannigfach abgestufte Ausbildung der mechanischen Zellen und auf ihre verschiedenartigen Beziehungen zu den Elementen der Gefässbündel nicht in Abrede stellen. Man darf sogar dreist behaupten, dass gerade die vergleichende Anatomie des mechanischen Systems in dieser Beziehung die deutlichsten Winke gibt. Dessenungeachtet ist die Aufstellung der successiven Differenzirungstypen, wie sie am Stammbaum der Angiospermen nach einander zur Entwicklung kamen, mit grossen Schwierigkeiten verbunden. Denn auch hier fehlt uns, wie in so manchen andern Fällen, die nöthige Kenntniss der vermittelnden Uebergänge. Und selbst das vorhandene lebende Material ist in vergleichend-anatomischer Hinsicht noch viel zu wenig durchgearbeitet, als dass eine systematische Gruppierung der fraglichen Abstufungen möglich wäre. Man kann allerdings auf Grund des anatomischen Baues eine Reihe von Typen aufstellen und mancherlei Uebergänge nachweisen: aber es ist schwer zu sagen, wie diese Uebergänge genetisch zu einander stehen. Die Palaeontologie bietet uns in dieser Frage so gut wie gar keinen Halt. Man begegnet zwar hin und wieder der Angabe, es seien zuerst die Apetalen, dann die Dialypetalen, endlich die Gamopetalen auf-

getreten, oder bezüglich der beiden letztern Abtheilungen auch umgekehrt: zuerst die Gamopetalen und nachher die Dialypetalen. Allein dergleichen Aufstellungen haben von vorne herein nur für solche Leser einen Sinn, welche die fragliche Dreitheilung der Dicotylen für eine natürliche halten, und auch diese werden sich fragen müssen, ob die palaeontologischen Thatsachen wirklich einer so einfachen Entwicklungsfolge — ich meine nicht bloss der Blüthenformen, sondern der Pflanzentypen — entsprechen. Die Antwort kann jedenfalls nicht sehr entschieden ausfallen¹⁾. Ueberdiess ist bekannt, dass die erwähnte herkömmliche Dreitheilung von der neueren Systematik nicht mehr allgemein anerkannt wird. Stellen wir uns vollends auf den Standpunkt der vergleichenden Anatomie, so wird es sicherlich Niemanden einfallen, unsere einheimischen Laubhölzer, wie z. B. die Eiche und Buche, die zu den typischen Repräsentanten der Dicotylen gehören, als Stammformen derselben hinzustellen. Ein solcher Einfall hätte, soweit ich die Verhältnisse kenne, nicht die geringste thatsächliche Grundlage. Die fraglichen Stammformen haben ohne allen Zweifel ganz anders ausgesehen.

Wir dürfen uns nach alledem nicht verhehlen, dass zuverlässige Anhaltspunkte bezüglich der Entwicklungsfolge der Dicotylen-Typen zur Zeit noch vollständig fehlen. Die Botanik ist in dieser Beziehung viel weiter zurück als die Zoologie. Unsere Pflanzensysteme sind im Vergleich mit den zoologischen einseitig und conventionell, es sind reine Blüthensysteme; sie mögen immerhin für einzelne Gebiete, ja für ganze Reihen von Familien, natürlich sein; für die grossen Hauptabtheilungen, auf die es hier ankommt, sind sie es jedenfalls nicht. Hier ist eine Lücke, welche die Wissenschaft erst ausfüllen muss, wenn die sogenannten natürlichen Systeme der phylogenetischen Entwicklungsfolge auch nur in den Hauptzügen gerecht werden sollen.

¹⁾ Man lese z. B. die hierauf bezüglichen Angaben Schimper's (*Paléontologie végétale*, p. 521 ff. — In der Einleitung (pag. 83 ff.) huldigt freilich auch Schimper der Ansicht, die Apetalen seien die ersten, die Gamopetalen die zuletzt erschienenen Repräsentanten der Monocotylen. Allein die hierauf bezüglichen Angaben sind rein statistischer Natur und beweisen höchstens, dass die Pflanzen mit gamopetalen Blüthen aus irgend einem Grunde, vielleicht wegen des erfolgreicheren Insectenbesuches, seit der mittleren Tertiärzeit die bevorzugten waren. Die anatomischen Typen waren aber voraussichtlich schon vollständig differenzirt, bevor dieser Einfluss der Blüthenform zur Geltung kam. Daher denn auch die Thatsache, dass der gewöhnliche Dicotylentypus uns schon bei den Apetalen ganz ebenso ausgeprägt entgegentritt, wie bei den Gamopetalen.

Schlussbemerkungen.

1) Das Verhalten der mechanischen Zellen in Bezug auf Anordnung der Moleküle entspricht in den Hauptpunkten, wie wir gesehen haben, demjenigen der gezogenen oder gewalzten Metalle. Nur wendet die Natur statt der longitudinalen Reihen, wie sie die Technik z. B. im Schmiedeisen herstellt, häufig schiefe, schraubenlinige Gruppierungen an, die gewissermaassen an die Drahtseile der ältern Hängebrücken erinnern. Welche Vortheile damit verbunden sind oder doch unter gewissen Bedingungen verbunden sein können, will ich hier nicht erörtern, obschon die Frage einer theoretischen Behandlung fähig wäre. Dagegen mag hier noch speziell hervorgehoben werden, dass die constante Linksläufigkeit der fraglichen Schraubenlinien sich durchaus jeder Erklärung entzieht, auch wenn wir die physikalischen Eigenschaften des Materials als vollständig gegeben betrachten.

2) Die Form- und Structurverhältnisse der mechanischen Zellen, sowie die Stärke und Anordnung der betreffenden Zellcomplexe, gehen durch Vererbung von einer Generation auf die andere über, wobei natürlich kleine Abweichungen vorkommen können, welche dem Einfluss der natürlichen Zuchtwahl unterworfen sind. Diese Abweichungen mögen mit beliebigen andern darin übereinstimmen, dass sie grossentheils durch innere Ursachen bedingt sind; ich glaube indessen nicht, dass sie ganz und gar unabhängig von den mechanischen Lebensbedingungen stattfinden. Es erscheint mir im Gegentheil kaum zweifelhaft, dass die Spannungen, denen die Gewebe ausgesetzt sind, gewisse Abweichungen, die sich dann allerdings durch natürliche Zuchtwahl weiter ausbilden können, mit Nothwendigkeit hervorrufen. Hiebei habe ich nicht etwa bloss Dehnungen und Pressungen im Auge, wobei die von aussen wirkenden Kräfte sich so zu sagen direct in Wachsthum umsetzen, wie z. B. beim Anbinden krummer Stämmchen an einen Pfahl u. dgl., sondern ich denke mir Anregungen ganz anderer Art und als deren Folgen eine den jeweiligen statischen Bedingungen entsprechende Veränderung der inneren Architectur. Es wird Sache der experimentellen Prüfung sein, dergleichen Anregungen herbeizuführen, die entsprechenden Veränderungen zu untersuchen und durch geeignete Mittel zu modifiziren, um auf diesem Wege neue Anhaltspunkte für die Mechanik des Wachsthums zu gewinnen. Den vorhergehenden Untersuchungen lag diese Frage ferne; aber dessenungeachtet sind mir gewisse individuelle Verschiedenheiten im Bau des Parenchyms nicht entgangen, und die Vermuthung, dass sie in dem bezeichneten Sinne zu deuten sein möchten, hat sich mir oft aufgedrängt.

3) Das Vorkommen spezifisch-mechanischer Zellen ist nicht bloss auf solche Organe und Gewebe beschränkt, in welchen dieselben eine ausschliesslich statische Bedeutung haben. Sie finden sich bekanntlich auch in den Wandungen verschiedener Pericarprien und als Schutzzellen der Athemhöhlen im »Hautgewebe« der Restiaceen etc., und in diesen Fällen ist ihre Anordnung jedenfalls mehr den mechanischen Vorgängen des Aufspringens der Früchte und des hermetischen Abschliessens der betreffenden Athemhöhlen, als den statischen Bedingungen der Festigkeit angepasst. Diess der Grund, warum ich diese Vorkommnisse im Vorhergehenden unberücksichtigt liess.

4) Die Substanzen, welche im Pflanzen- und Thierreich zu mechanischen Zwecken, speziell zu biegungsfesten Apparaten, verwendet werden (Cellulose, Chitin, Knochen-substanz etc.), sind sämmtlich viel leichter als Schmiedecisen, ohne demselben an Tragvermögen innerhalb der Elasticitätsgrenze entsprechend oder auch nur erheblich nachzustehen. Es ist nun ohne Weiteres klar, dass dieser Umstand für die Grenzen der möglichen Dimensionen und bei Thieren zugleich für die Beweglichkeit der einzelnen Theile des mechanischen Gerüstes überaus wichtig, ja geradezu entscheidend ist. Ebenso einleuchtend ist, dass ein solches Material auch für künstliche Constructionen manche Vortheile bieten würde. Wenn es z. B. möglich wäre, gewöhnliches Holz durch ein geeignetes Verfahren in eine compacte Masse zu verwandeln und derselben die Festigkeit der bessern Bastarten zu geben, so wäre das eine nicht zu unterschätzende Errungenschaft.



Erklärung der Abbildungen.

Die mechanischen Zellen und Zellcomplexe sind durchgehends gelb colorirt, die Mestomstränge bald nur im Umriss als einfaches Oval, bald auch in gewissen augenfälligen Einzelheiten (Cambiformgruppen, grosse Gefässe, Luftkanäle in der Umgebung der Spiralgefässe etc.) wiedergegeben. Parenchymatische Gewebe und ähnliche Details wurden bloss hin und wieder, wo es zur bequemeren Orientirung nöthig erschien, flüchtig angedeutet, wichtige histologische Verhältnisse dagegen in besonders hiefür bestimmten Abbildungen dargestellt. — Die Vergrösserung wurde der Figurennummer in Parenthesen beigesezt.

Tafel I.

- Fig. 1 (11): Querschnitt durch den Blüthenschaft von *Arum maculatum*.
Fig. 2 (380): Stück eines Querschnittes durch eine Bastrippe von der nämlichen Pflanze.
Fig. 3 (250): Dasselbe (nebst Epidermis) von *Atherurus ternatus*.
Fig. 4 (30): Querschnitt durch den Blattstiel von *Colocasia antiquorum*. Mit Luftkanälen im Grundgewebe.
Fig. 5 (90): Hälfte eines Querschnittes durch den Halm von *Scirpus caespitosus* (Herbarienexemplar).
Fig. 6 (60): Stück eines Querschnittes durch den Halm von *Kobresia curicina*. Innere Trägergürtungen durch festes Parenchym tangential verbunden.
Fig. 7 (90): Theil eines Querschnittes durch den stumpfdreikantigen Halm von *Scirpus Michelianus*.
Fig. 8 (60): Theil eines Querschnittes durch den stielrunden Halm von *Scirpus Holoschoenus*.
Fig. 9 (80): Querschnitt durch eine Stengelkante von *Cyperus badius*.
Fig. 10 (50): Theil eines Querschnittes durch den stumpf-dreikantigen Halm von *Cyperus vegetus*.

Tafel II.

- Fig. 1 (60): Stück eines Querschnittes durch den Stengel von *Papyrus antiquorum*. Markgewebe von zahlreichen Luftgängen durchzogen, welche in der Figur hell gelassen sind, während das Maschenwerk der Wände schattirt ist. Am rechten und linken Rande Stücke von Mestomanastomosen.
Fig. 2 (60): Theil eines Querschnittes durch den Halm von *Juncus glaucus*.
Fig. 3 (70): Dasselbe von *Juncus conglomeratus*.
Fig. 4 (60): Dasselbe von *Schoenus nigricans*.
Fig. 5 (60): Dasselbe von *Schoenus mucronatus*.
Fig. 6 (60): Kantenstück eines Querschnittes durch den Halm von *Scirpus atrovirens*.

Tafel III.

- Fig. 1 (150): Peripherisches Stück eines Querschnittes durch den Stengel von *Papyrus antiquorum*.

- Fig. 2 (220): Querschnitt durch einen peripherischen Träger von *Eriophorum latifolium*.
 Fig. 3 (30): Theil eines Querschnittes durch einen aussergewöhnlich starken Stengel von *Juncus glaucus*. Die punctirten Linien deuten die Richtung an, in welcher die Parenchymzellen verlängert und in Reihen geordnet sind.
 Fig. 4 (300): Querschnitt durch einen Mestomstrang nebst Bastbelegen von *Juncus articulatus*. Zwischen Cambiform und Xylem die Zugänge zum Mestom.
 Fig. 5 (160): Querschnitt durch einen Mestomstrang nebst Bastbelegen aus der Blattscheide von *Bromus spec.* Zwischen den grossen Gefässen eine Querzone verdickter Zellen.
 Fig. 6 (20): Stück eines Querschnittes durch den Stamm von *Rhapis flabelliformis*.

Tafel IV.

- Fig. 1 (40): Stück eines Querschnittes durch den Stengel von *Scirpus sylvaticus*.
 Fig. 2 (60): Dasselbe von *Scirpus lacustris*.
 Fig. 3 (60): Dasselbe von *Scirpus Duvallii*.
 Fig. 4 (9): Querschnitt durch den obern Theil des Halmes von *Scirpus lacustris*, um die Architectur des Markes zu veranschaulichen.
 Fig. 5 (13): Vierter Theil eines Querschnittes durch ein etwas älteres Halmstück der nämlichen Pflanze.
 Fig. 6 (20): Kantenstück eines Querschnittes durch den Halm von *Rhynchospora florida* (Herbarienexemplar).
 Fig. 7 (60): Querschnitt durch den Halm von *Isolepis pauciflora* (Herbarienexemplar).
 Fig. 8 (60): Stück eines Querschnittes durch den Halm von *Cladium Mariscus*.

Tafel V.

- Fig. 1 (27): Querschnitt durch den Halm von *Cladium Mariscus*.
 Fig. 2 (70): Stück eines Querschnittes durch den Halm von *Juncus paniculatus*. Die Curven der grünen Rindenzellen sind durch die Schraffirung angedeutet.
 Fig. 3 (60): Querschnitt durch den Stengel von *Rhynchospora alba*.
 Fig. 4 (40): Theil eines Querschnittes durch den Halm von *Piptatherum multiflorum*.
 Fig. 5 (70): Dasselbe von *Molinia coerulea*.
 Fig. 6 (40): Dasselbe nebst zugehöriger Blattscheide von *Bromus spec.*
 Fig. 7 (70): Hälfte eines Querschnittes durch den obern Theil des Halmes von *Alopecurus pratensis*.

Tafel VI.

- Fig. 1 (70): Stück eines Querschnittes durch den Halm von *Calamagrostis argentea*.
 Fig. 2 (70): Dasselbe von *Setaria viridis*.
 Fig. 3 (60): Dasselbe von *Panicum Crus galli*.
 Fig. 4 (19): Dasselbe von *Pennisetum longistylum*. Der luftführende Theil des Markes ist schraffirt.
 Fig. 5 (70): Dasselbe von *Saccharum strictum*. Der luftführende Theil des Markes ist dunkler gehalten.
 Fig. 6 (70): Dasselbe von *Zea Mais*.
 Fig. 7 (70): Stück eines Querschnittes durch den obern Theil des Stengels von *Saccharum strictum*.

Tafel VII.

- Fig. 1 (27): Stück eines Querschnittes durch den Stengel von *Bambusa spec.* Die innern Bündel mit parenchymatischen Zugängen auf der Xylemseite.
 Fig. 2 (60): Dasselbe von *Maranta spec.*
 Fig. 3 (60): Dasselbe von *Juncus balticus*.
 Fig. 4 (90): Querschnitt durch den Halm von *Juncus bufonius*. Markparenchym flüchtig angedeutet.
 Fig. 5 (60): Theil eines Querschnittes durch den Blüthenschaft von *Eriocaulon decangulare*. Gesamtzahl der peripherischen Rippen = 8.

- Fig. 6 (70): Stück eines Querschnittes durch den Stengel von *Luzula albida*.
 Fig. 7 (40): Dasselbe von *Typha latifolia*.
 Fig. 8 (20): Querschnitt durch den Blüthenschaft von *Allium vineale*.

Tafel VIII.

- Fig. 1 (40): Querschnitt durch den Blattstiel von *Scirpus Holoschoenus*.
 Fig. 2 (28): Querschnitt durch den Blatt-Mittelnerv von *Zea Mais*.
 Fig. 3 (28): Querschnitt durch die Blattspreite von *Zea Mais*.
 Fig. 4 (70): Querschnitt durch die Blattscheide von *Saccharum strictum*. Die parenchymatischen Zellen sind flüchtig angedeutet, die Bastzellen der Zugbänder einzeln gezeichnet, um die Zahl der Reihen zu veranschaulichen.
 Fig. 5 (15): Querschnitt durch den Blatt-Mittelnerv von *Saccharum strictum*.
 Fig. 6 (60): Querschnitt durch die Blattspreite von *Cladium Mariscus*.
 Fig. 7 (40): Querschnitt durch das Blatt von *Xerotes mucronata*.
 Fig. 8 (40): Querschnitt durch die Blattspreite von *Carex lupulina*.
 Fig. 9 (60): Querschnitt durch einen Blattstrahl von *Hyphaene thebaica*. Die mehrschichtige Epidermis flüchtig angegeben; ebenso die grossen Gefässe und einzelne Zellen des Mestoms.

Tafel IX.

- Fig. 1 (40): Querschnitt durch die Blattspreite von *Gynerium argenteum*.
 Fig. 2 (60): Dasselbe von *Strelitzia reginae*.
 Fig. 3 (35): Dasselbe von *Phormium tenax*.
 Fig. 4 (60): Dasselbe von *Musa rosacea*.
 Fig. 5 (24): Querschnitt durch den Blatt-Mittelnerv von *Crocasmia aurea*.
 Fig. 6 (27): Querschnitt durch das Blatt von *Juncus squarrosus*.
 Fig. 7 (70): Querschnitt durch den obern Theil des Stengels von *Juncus glaucus*.
 Fig. 8 (70): Stück eines Querschnittes durch das Blatt von *Typha latifolia*.
 Fig. 9 (12): Querschnitt durch das nämliche Blatt bei schwächerer Vergrösserung.
 Fig. 10 (14): Querschnitt durch die Blattmedianen von *Sparganium ramosum*.
 Fig. 11 (27): Diaphragma mit Mestomanastomosen aus dem Stengel von *Scirpus lacustris*.
 Fig. 12 (20): Dasselbe von der nämlichen Pflanze.
 Fig. 13 (6): Querschnitt durch den Blattstiel von *Musa rosacea*, mit Mestomanastomosen.
 Fig. 14 (20): Gefässbündel mit Mestomanastomosen aus einer Blattscheide von *Hedychium Gardnerianum*.

Tafel X.

- Fig. 1 (150): Querschnitt durch einen I-förmigen Träger aus dem Blatte von *Gynerium argenteum*. Die punctirten Linien bezeichnen die Richtung der Zellreihen.
 Fig. 2 (27): Querschnitt durch einen Stengel-Knoten von *Poa pratensis*. Bastbelege der Blattscheide collenchymatisch.
 Fig. 3 (27): Querschnitt durch das nämliche Internodium, unmittelbar über dem Knoten.
 Fig. 4 (27): Längsschnitt durch einen solchen Knoten.
 Fig. 5 (150): Stück eines Querschnittes durch das Blatt von *Sparganium ramosum*. *g* ein Gefäss, *c* Cambiform.
 Fig. 6 (170): Gefässbündel mit Bastbelegen aus dem nämlichen Blatte.
 Fig. 7 (150): Ein anderes Gefässbündel aus demselben Blatte.
 Fig. 8 (100): Radialer Längsschnitt durch den verdickten Endtheil (Gelenkpolster) des Blattstieles von *Maranta*.
 Fig. 9 (150): Längsansicht des Filzgewebes in den Luftkanälen von *Scirpus maritimus*.
 Fig. 10 (300): Stück eines Zellfadens aus dem Filzgewebe in Fig. 9.
 Fig. 11 (60): Querschnitt durch den Schaft von *Boeckhia striata*.

Tafel XI.

- Fig. 1 (60): Querschnitt durch das Blatt von *Fimbristylis spadicea*.

- Fig. 2 (60): Theil eines Querschnittes durch den Halm von *Cyperus egregius*.
 Fig. 3 (60): Querschnitt durch den Halm von *Fimbristylis spadicea*.
 Fig. 4 (60): Stück eines Querschnittes durch den Halm von *Cyperus conglomeratus*.
 Fig. 5 (60): Dasselbe von *Hypolytrum argenteum*.
 Fig. 6 (60): Dasselbe von *Cyperus spec.* (einer mit *C. dives* Del. verwandten Art).

Tafel XII.

- Fig. 1 (70): Querschnitt durch das Blatt von *Arundo Donax*.
 Fig. 2 (150): Stück eines Querschnittes durch das Rhizom von *Carex brizoides*.
 Fig. 3 (20): Querschnitt durch die Blattmediane von *Gynerium argenteum*.
 Fig. 4 (24): Querschnitt durch die Blatt-Mittelrippe von *Erianthus Ravennae*. Die senkrechte Linie entspricht der Mediane des Schnittes.
 Fig. 5 (60): Querschnitt durch den Halm von *Cyperus sphaerospermus* (Herbarienexemplar).
 Fig. 6 (50): Stück eines Querschnittes durch das Blatt von *Pandanus odoratissimus*.

Tafel XIII.

- Fig. 1 (25): Querschnitt durch das Rhizom von *Carex stricta*.
 Fig. 2 (60): Dasselbe von *Carex incurva*.
 Fig. 3 (27): Dasselbe von *Carex limosa*.
 Fig. 4 (60): Dasselbe von *Carex chordorrhiza*.
 Fig. 5 (35): Querschnitt durch die Wurzel von *Carex Schreberi*.
 Fig. 6 (27): Querschnitt durch das Rhizom von *Arrhenaterum elatius*.
 Fig. 7 (17): Dasselbe von *Tritoma Burchellii*.
 Fig. 8 (90): Querschnitt durch den fluthenden Stengel von *Scirpus fluitans*.
 Fig. 9 (25): Querschnitt durch das Rhizom von *Crococsmia aurea*.
 Fig. 10 (60): Querschnitt durch eine Ranke von *Smilax aspera*.
 Fig. 11 (27): Stück eines Querschnittes durch das Rhizom von *Scirpus Tabernaemontani*. Die Rinde ist weggelassen. Das Sternchen bezeichnet das Centrum des Schnittes.

Tafel XIV.

- Fig. 1 (40): Stück eines Querschnittes durch den Stengel von *Blitum Bonus Henricus*. Mit subepidermalen Collenchymrippen.
 Fig. 2 (40): Stück eines Querschnittes durch den Stengel von *Statice latifolia*.
 Fig. 3 (70): Dasselbe von *Hypochoeris radicata*.
 Fig. 4 (150): Querschnitt durch eine Bastzellengruppe von *Eryngium planum*. Zwischen den Bastzellen comprimirt Collenchymzellen.
 Fig. 5 (25): Theil eines Querschnittes durch den Stengel von *Begonia floribunda*.
 Fig. 6 (30): Theil eines Querschnittes durch den Blattstiel von *Aralia edulis*. Mit subepidermalen Collenchymplatten.
 Fig. 7 (45): Theil eines Querschnittes durch den Stengel von *Thalictrum glaucum*.
 Fig. 8 (40): Dasselbe von *Astrantia major*. Mit subepidermalen Collenchymrippen.
 Fig. 9 (40): Theil eines Querschnittes durch den Blattstiel von *Aralia hispida*.

Druck von Breitkopf und Härtel in Leipzig.

