

2. *Dictyosperma fibrosum* ebenso 19,1, 20,9 und 15,9 ‰, durchschnittlich 18,6 ‰ Bruchdehnung.
3. *Attalea funifera* entsprechend 8,8, 9,9 und 7,27 ‰, durchschnittlich 8,7 ‰ Bruchdehnung.
4. *Leopoldinia Piaçaba* zeigt das gleiche Verhalten wie *Agave*; im lufttrockenen Zustande nämlich ist die Bruchdehnung nur 3,18 ‰ im Durchschnitt von drei Proben, dagegen steigt im feuchten Zustande die Duktilität auf 24,85 ‰.

Alle vier Fasern werden aus den Blattscheiden von Palmen gewonnen.

Kann die Ursache der Duktilität in der chemischen Beschaffenheit der Zellwände liegen?

A. Verholzung.

In einer früheren Arbeit über die Elastizitäts- und Festigkeitsverhältnisse von Fasern¹⁾ hatte ich die Meinung ausgesprochen, daß die starke Verholzung dieser Fasern eine Rolle spiele bei der Erscheinung ihrer geschmeidigen Dehnbarkeit. Ergab sich doch, daß der Gehalt an „inkrustierenden Substanzen“ hier bei weitem den aller andern untersuchten Zellgewebe ähnlicher Art übertrifft, sogar den des Holzes. Ich fand für *Agave*, *Kokos* und *Caryota* entsprechend 46,22 : 58,4 : 59,01 ‰, während Kiefernholz (nach Schulze) nur 41,99 ‰ verholzende Substanzen aufweist.

Ich bin jetzt geneigt, den Einfluß der Verholzung geringer einzuschätzen. So viel steht aber jedenfalls fest, daß die Verhältnisse hier durchaus nicht so einfach liegen, daß ein einziger Faktor die mechanischen Eigenschaften der Zellwände beherrscht. Die Einwürfe Schwendener's²⁾, daß die aus den Untersuchungen der Techniker bekannten Eigenschaften der Hölzer niemals eine duktile Dehnbarkeit wie bei Metallen erkennen ließen und daß deshalb die Verholzung keine Rolle spielen könnte, sind als zutreffend anzuerkennen. Allerdings wird man gut tun, wenn man sich darauf beschränkt, zu sagen, daß sie nicht die einzige Rolle spielt. Ich werde das im Verlaufe dieser Untersuchung noch näher zu begründen versuchen. Es sei vorerst nur darauf hingewiesen, daß es in der Tat Hölzer gibt, die mindestens die gleiche prozentische Inkrustierung mit Holzsubstanzen zeigen wie die oben er-

1) Vergl. Landw. Jahrbücher 1892, Die Beziehungen zwischen Verholzung, Festigkeit und Elastizität vegetab. Zellw., pag. 839 ff.

2) Ber. d. D. bot. Ges. 1894.

wähnten klassischen duktilen Fasern. Da ist z. B. das sog. Rotholz der Fichte, das nach meinen eigenen Untersuchungen¹⁾ 62,14—67,7 % Inkrustierung zeigt und doch kaum Spuren von Dehnbarkeit über die Elastizitätsgrenze hinaus bemerken läßt. Dagegen hat dann wieder das Holz von Clematis Vitalba, Vinca minor und das Rotholz der Douglasfichte, wie oben gezeigt wurde, sehr hervortretend duktile Eigenschaften. Jedenfalls ist aber hier durch Heranziehen der Verholzung zur Erklärung der Duktilität ohne weiteres nichts gewonnen.

Nun ist aber unter dem Sammelbegriff der inkrustierenden Substanzen eine ganze Anzahl chemischer Individuen vereinigt, über die noch immer wenig Klarheit vorhanden. Das Czapeksche Hadromal ist schwierig darzustellen und in nur geringer Menge vorhanden. Aber das Thomsensche Holzgummi ist schon mehrfach quantitativ in Hölzern bestimmt, und man hat recht verschiedene Mengen bei den einzelnen Arten gefunden. Es könnte also wohl der Fall sein, daß die spezifische Art der Verholzung ihren Einfluß hier geltend machte. Die Hölzer der Koniferen enthalten nach den Untersuchungen von Thomsen, Tollens, Wheeler usw.²⁾ nur sehr geringe Mengen (Pinus silv. 2,23 %, Abies pect. 1,99 %) dieser wohldefinierten chemischen Substanz (sie hat die Formel $C_5H_8O_4 = \text{Xylan}$), dagegen Buchenholz 5—6 %, Kirschbaumholz 12,4 % usw.

Es war immerhin die Möglichkeit ins Auge zu fassen, daß ein großer Gehalt an Holzgummi die abnorme Dehnbarkeit mancher Fasern erzeuge. Ich habe deshalb nach den Vorschriften von Tollens eine Bestimmung des Holzgummis der Kokosfaser unternommen. Die Methode besteht in Kürze darin, daß möglichst fein zerkleinerte Späne 14 Tage mit 2 %iger NH_3 -Lösung bei Zimmertemperatur ausgezogen werden. Dann wird mit 5 %igem NaOH übergossen und unter häufigem Umrühren 48 Stunden bei Zimmertemperatur sich selbst überlassen. Die durch Abpressen erhaltene Flüssigkeit wurde nach teilweisem Absetzen filtriert und mit gleichen Teilen 95 %igen Alkohols versetzt, welcher das natronhaltige Gummi fällt. Nach dem Absetzen und Dekantieren des Alkohols und dem gelinden Abpressen des auf einem Tuche gesammelten Niederschlags mit der Hand wird der Niederschlag mit neuem Alkohol übergossen und Salzsäure bis zur sauren Reaktion zu-

1) Jahrb. f. wiss. Bot. 1903, pag. 89, Über die mechanischen Eigenschaften des Rot- und Weißholzes usw.

2) B. Tollens, Handb. der Kohlenhydrate 1895, 2 Bde.: Bd. I, pag. 223; Bd. II, pag. 201. — Wheeler u. Tollens, Untersuchungen über das Holzgummi. Ann. d. Chem. 1889, Bd. CCLIV.

gesetzt. Endlich wird durch Dekantieren mit Alkohol und häufiges Sammeln auf einem Tuche das Gummi bis zum Verschwinden der sauren Reaktion ausgewaschen, mit Äther behandelt und über H_2SO_4 abgepreßt. Man erhält eine trockene, fast weiße, poröse Masse.

Das Resultat war, daß nur 1,72 % Substanzen erhalten wurden, die als Holzgummi angesprochen werden konnten. Daher läßt sich nicht behaupten, daß diese Substanz von Einwirkung sein könnte, denn Buchenholz enthält 5—6 % davon und ist nicht duktil.

B. Verkorkung.

In neuerer Zeit ist weiter von Remec¹⁾ behauptet worden, daß gewisse Fasern verkorkt seien. Auch die Möglichkeit, daß etwa hierdurch ein Einfluß auf die physikalischen Eigenschaften der Zellwand ausgeübt wird, wurde eingehend geprüft. Remec sagt (pag. 368): „Man kann in chemischer Beziehung hauptsächlich drei Arten von Fasern unterscheiden: 1. solche, deren Membran aus nahezu reiner Zellulose besteht; 2. die Membran ist verholzt; 3. sie ist verkorkt oder noch anderweitig chemisch stark metamorphosiert (Attalea, Raphia, Bauhinia, Kokos, Borassus-Frucht). Daß diese Fasern wirklich verkorkt sind, konnte man aus der Cerinsäurereaktion ersehen, welche sie, mit dem Schulze'schen Gemisch behandelt, gegeben haben; es entstand nach dem Erkalten der Mazerationsflüssigkeit ein flockiger Niederschlag, welcher in heißem Alkohol und in Kalilauge löslich war. Einen ähnlichen Niederschlag gab auch konzentrierte Kalilauge, in welcher man die genannten Fasern gekocht hat, und die dann mit Salzsäure neutralisiert wurde. Die Zellmembran derselben Fasern färbte sich durch Chlorzinkjodlösung violett, wenn man vorher lange Zeit verdünnte Kalilauge auf sie hat einwirken lassen. An anderer Stelle (pag. 381) wird außer den oben angeführten Fasern auch die von Tillandsia als verkorkt bezeichnet.

Da die Behauptung, daß bei den genannten Arten mechanische Zellen „verkorkte“ Membranen besitzen, eine ganz ungewöhnliche ist und bisher wohl kaum sichere Angaben darüber gemacht worden sind, so mußte eine Nachprüfung stattfinden. Es sei hier gleich bemerkt, daß Remec die angenommene Verkorkung zur Erklärung gewisser optischer Eigenschaften der Zellwände dieser Faser im polarisierten Licht nach dem Vorgange Ambronns ins Feld führen will. Da jedoch hierauf später genauer eingegangen werden soll, so mögen hier vor-

1) Sitzungsber. d. Kaiserl. Akad. d. Wiss. zu Wien 1901, Bd. CX, Abt. I, pag. 364 ff.: Über die spezifische Doppelbrechung der Pflanzenfasern.

läufig diese Andeutungen genügen. Was die Verkorkung dieser Fasern betrifft, so war zu untersuchen, einmal, ob sich überhaupt eine solche sicher nachweisen läßt, weiter aber auch, ob gegebenenfalls alle Teile der Zellwand oder etwa nur die Mittellamelle resp. bestimmte Teile der Verkorkung unterliegen. Die zweite Frage ist natürlich erledigt, wenn sich die erste Angabe nicht bestätigt.

Es wurde nun die ganze Reihe der gebräuchlichen mikrochemischen Reaktionen angewendet, um die Verkorkung nachzuweisen, jedoch versagten sie alle oder gaben nur unsichere Resultate. Speziell wurde die Kokosfaser wiederholt eingehend geprüft, jedoch auch die andern Fasern nicht vernachlässigt.

Was zunächst die von Remec erwähnte Cerinsäurereaktion betrifft, so gelang es mir nicht, sie zu erhalten. Andererseits erhält man auch mit konzentrierter Kalilauge speziell bei Kokos keine Bildung von gelblichen Tropfen beim Erwärmen, während doch der Flaschenkork diese Reaktion sofort zeigt. Mit konzentrierter Schwefelsäure quillt die Faser (Querschnitte) schnell und stark auf und geht auch schnell in Lösung über, schneller als Libriform von *Picea excelsa*. Es bleibt nur ein sehr feines Netz der sog. Mittellamelle übrig. Das ist aber, wie lange bekannt, auch bei Libriform usw. der Fall und ist wohl auch mitunter behauptet worden, daß für die Mittellamelle eine Verkorkung vorliegt. Die eigentliche Membran ist aber jedenfalls nicht verkorkt. Flaschenkork verhält sich ganz anders als diese, er zeigt keine Spur von Quellung oder Lösung. Auch das schon von Wiesner angegebene „merkliche“ Aufquellen der Kokosfaser in Kupferoxydammoniak spricht gegen Verkorkung der Verdickungsschichten.

Die sog. „Bass fibre“ (*Raphia vinifera*) verhält sich zu konzentrierter Schwefelsäure ganz ähnlich. Dünne Querschnitte gehen in vollständige Lösung über, nur die morgensternartigen Kristalle bleiben übrig und schwimmen isoliert umher. Zuerst löst sich die Innenlamelle sehr schnell, bald folgt die sekundäre Lamelle, während die Mittellamelle am längsten widersteht. Die im inneren Teile des Bündels befindlichen helleren Stereiden sind am wenigsten widerstandsfähig. In konzentrierter Chromsäure bleibt nur ein Netz von Mittellamellen übrig, welches besonders in der Randzone zusammenhängend und stark erscheint.

Nach Ambronns Versuchen müßte sich, wenn Verkorkung vorliegt, beim Erwärmen in Glyzerin die Doppelbrechung ändern, was im Polarisationsmikroskop leicht zu beobachten ist. Versuche, in dieser Richtung angestellt, ergaben aber, daß keine bemerkbare Veränderung eintritt.

Attalea und *Tillandsia*, die nach Remec ebenfalls verkorkt sein sollen, verhalten sich zu konz. H_2SO_4 so, daß von einer Verkorkung keine Rede sein kann. Beide quellen stark auf, *Tillandsia* löst sich bis auf die Mittellamelle, *Attalea* bis auf den braunen Inthaltskörper der Zellen.

Eine Reihe von eingehenden Versuchen, Verkorkung bei der Kokosfaser durch Färbung nachzuweisen, fiel völlig negativ aus. Zwar färbt sich die Faser mit den bekannten Tinktionsmitteln für Kork, wie Chlorophyll, Alkannin, Sudan und Orlean¹⁾ in geringem Grade, aber das kann nicht als entscheidend gelten, denn eine Reihe verholzter Monokotylenfasern (z. B. von Orchideen nach Buscalioni²⁾) zeigen ein gleiches Verhalten, ohne daß sie deshalb als verkorkt anzusprechen wären. Dagegen versagen alle typischen Reaktionen, wie konz. H_2SO_4 , Verseifung mit KOH und auch die Cerinsäurereaktion.

Was die Kitoolfaser (*Caryota urens*) anbetrifft, die von Remec nicht unter den angeblich verkorkten angeführt wird, so bildet sie mit KOH braune Tropfen in großer Menge, die sich in Alkohol lösen. Es mag dahingestellt bleiben, ob diese Faser Korkstoffe enthält. Nötig zur Klarstellung dieser Frage wäre, daß man die Faser direkt der Pflanze entnimmt, denn zur Verleihung größeren Glanzes kann die präparierte Faser der Museen geölt sein³⁾. Auch können die braunen Stereiden andere Stoffe enthalten, die eine solche Reaktion erzeugen. Wie dem auch sein mag, es kann die Duktilität der Faser dadurch nicht bedingt sein, denn die Kokosfaser ist duktil ohne Verkorkung und dasselbe ist der Fall bei *Agave americana*.

Nach alledem wird man es aufgeben müssen, die chemischen Eigenschaften der Zellwandsubstanz als maßgebend für ihr Verhalten in Hinsicht der Geschmeidigkeit anzusehen. Wenn es auch einleuchtend ist, daß chemisch verschiedene Substanzen gerade infolge ihrer chemischen Verschiedenheit ganz abweichende physikalische Eigenschaften zeigen, wie ein Bleidraht nicht die Festigkeit eines Stahldrahtes erlangen kann und wie die Eigenschaften des Eisens durch den Gehalt an Kohlenstoff wesentlich geändert werden, so ist für die vegetabilische Zellwand offenbar die Anordnung der kleinsten Teilchen nach den Richtungen des Raumes hier ausschlaggebend, also das, was man wohl auch als Mizellarstruktur bezeichnet hat. Die chemische Verschieden-

1) Zeitschr. f. wiss. Mikroskopie 1907, Bd. XXIV, pag. 21—24.

2) Bot. Zentralbl. 1898, Bd. IV, pag. 398/99.

3) Daß dies in der Tat geschieht, ist mir nachträglich durch Herrn Dr. C. Brick (Hamburg) bestätigt worden.

heit der Membran, welche sich in der größeren oder geringeren Verholzung ausspricht (eine Verkorkung ist bei Fasern höchstens für einige Mittellamellen nachgewiesen¹⁾), kann nicht genügen, um ihre mechanischen Eigenschaften zu erklären.

Die feinere Struktur der Zellwände.

Da die chemischen Verschiedenheiten der Membran bei der Erklärung der Duktilität nicht ausreichen, blieb nur der Versuch übrig, den inneren Bau der Zellwände, Schichtung, Streifung, Zusammensetzung aus Lamellen und ähnliches zu Rate zu ziehen; zumal auf anderem Gebiete, nämlich bei den Quellungserscheinungen der Membran, gewisse Beziehungen zwischen der Streifung der Porenrichtung und der Richtung der kleinsten Kontraktion beim Austrocknen festgestellt wurden. Beide fallen zusammen; ob das auch für die Richtungen der kleinsten Dehnbarkeit und die Streifungsrichtung der Fall ist, muß vorläufig dahingestellt bleiben, jedenfalls liegt es aber nahe, die Frage weiter zu verfolgen.

Die geltende Ansicht über den Bau dicker Zellwände wird von Strasburger (Lehrb. d. Bot., 4. Aufl., pag. 54) folgendermaßen dargestellt. „Nicht selten ist in stärker verdickten Zellhäuten, besonders den Zellen des Holzes, eine Sonderung in drei, ihrem optischen und ihrem chemischen Verhalten nach verschiedene Schalen zu konstatieren, die sich als primäre, sekundäre und tertiäre Verdickungsschichten unterscheiden lassen. Am stärksten pflegt dann die sekundäre Verdickungsschicht entwickelt zu sein, sie bildet die Hauptmasse der Wandung. Die innerste Verdickungsschicht einer Zellhaut ist meist stärker lichtbrechend und wird als Grenzhäutchen bezeichnet.“ Auch wird von Strasburger darauf hingewiesen, daß die Verdickungsschichten gestreift erscheinen, wenn man sie von der Fläche betrachtet, und daß speziell bei Vinca-Bastzellen die Streifung in den aufeinanderfolgenden Verdickungsschichten entgegengesetzte Neigung zeigen. Die Abbildung (Fig. 69) läßt erkennen, daß die Streifung der äußeren Schale schräg spiralig rechtswindend (im botanischen Sinne), die der innern unter gleichem Winkel linkswindend verläuft. Auch von Schwendener wurde ein hiermit übereinstimmendes Verhalten an der Membran der Bastzellen von Nerium gefunden, worauf weiter unten noch genauer eingegangen werden soll.

1) Schwendener, Mechan. Prinzip, pag. 137 und Strasburger, Bau und Wachstum der Zelle, pag. 53 usw.

Was die sog. Mittellamelle anbetrifft, die als Trennungswand besonders deutlich auf Querschnitten stark verdickter Zellgewebe hervortritt, so wird die früher angenommene Interzellulärsubstanz zurzeit nicht mehr anerkannt. Sie besteht offenbar aus der ursprünglich beiden Zellen gemeinschaftlichen sehr feinen Scheidewand, welche aber durch die primären Verdickungsschichten verstärkt ist. Oft genug ist daher, wenn die primären Verdickungsschichten erhebliche Ausdehnung gewonnen haben, die „Mittellamelle“ deutlich in zwei Schalen zerlegt, welche die primären Verdickungsschichten jeder Zelle darstellen, während die eigentliche Mittellamelle im strengen Sinne wegen ihrer großen Feinheit wenig hervortritt.

Infolge ihrer Löslichkeit im Schultze'schen Mazerationsgemisch können durch dieses die einzelnen Zellen isoliert werden, wonach sie allerdings der primären Scheidewand und mitunter auch der primären Verdickungsschichten verlustig gegangen sind ¹⁾.

Correns (Jahrb. f. w. Bot., XXIII, pag. 307) sagt: „Die einzelnen Schichten einer Bastzellmembran sind nicht gleichmäßig ausgebildet und gleich reaktionsfähig. Man kann unterscheiden: 1. die primäre Membran; 2. die gestreiften Lamellen, welche man als sekundären Lamellenkomplex bezeichnen kann, und 3. die innersten, ungestreiften Lamellen, den tertiären Lamellenkomplex.“

Weiter wird über die primäre Membran von Correns angegeben, daß sie gewöhnlich vollkommen homogen und ohne Streifung erscheint. „Daß aber eine Verschiedenheit in der Kohäsion ihrer Mizelle in zwei aufeinander senkrechten Richtungen vorhanden ist, geht daraus hervor, daß sie beim Präparieren zuweilen (z. B. bei *Euphorbia palustris*, Fig. 5 u. 6, Taf. XV l. c.) zu einem spiralförmig gewundenen Bande zerreißt.“

Correns ist auch der Ansicht, daß bei einer Trennung der Bastfasern diese meist „in der zwischen den primären Membranen liegenden Mittellamelle (im Sinne Dippels)“ erfolgt und „die einzelne Faser behält beim Herausziehen ihre primäre Membran“.

Zuweilen, z. B. bei *Welwitschia*, soll die primäre Membran feine quer oder schräg verlaufende Falten bilden.

Die bekannte, eigenartige Streifung dieser einzelnen Membranalarmellen verdient nun unsere größte Aufmerksamkeit bei der Beurteilung des inneren Baues der Membran. Da läßt sich zunächst sagen, daß man meist schon ohne besondere Methoden der Präparation den

1) Vergl. Strasburger, Noll usw., Lehrbuch der Botanik, 4. Aufl., pag. 81.

Verlauf der Streifen an günstigen Objekten wahrnehmen kann. Durch höhere und tiefere Einstellung kann man auch feststellen, ob die Streifung der äußeren oder inneren Lamelle angehört. Ja, es gelingt sogar, den Winkel zu messen, den die Streifung mit der Längsachse der Zelle in den einzelnen Lamellen bildet. Ganz bequem für derartige Beobachtungen sind die Bruchenden der Zellen, dort, wo sich bei Zerreißungsversuchen die einzelnen Schichten voneinander getrennt haben. So gelang es für die Bastzellen von *Raphia vinifera* (bass fibre)¹⁾ festzustellen, daß in der äußeren Membranschicht der Winkel der feinen Streifung zur Längsachse 50 bis 60° beträgt, während die Innenmembran Porenschiefen von 22—25° aufweist, d. h. in der inneren Lamelle haben die Spiralen der Zellwand eine viel größere Steilheit als in der äußeren. Bei Bastzellen von *Bauhinia spec.* bilden die spiralförmigen Poren der Innenmembran Winkel von 10° mit der Längsachse der Zelle, während die Außenmembran eine Neigung der feinen Streifen von 45—53° zeigt.

Über den Zusammenhang der Tüpfel und Streifen mit dem inneren molekularen Bau der Membran sagt G. Haberlandt (Physiol. Pflanzenanat., 2. Aufl., pag. 137/138) folgendes:

„Am häufigsten sind die schiefgestellten Tüpfel, deren Stellung mit seltenen Ausnahmen einer linksläufigen Schraubenlinie entspricht. Diese Stellungsrichtung der Tüpfel ist deshalb von Bedeutung, weil aus derselben die Richtung der Molekularreihen erschlossen werden kann. Verschiedene Tatsachen sprechen nämlich dafür, daß man sich in prosenchymatischen Zellen die kleinsten Membranpartikelchen reihenweise verwachsen zu denken hat, so daß sie überaus zarte, mikroskopisch nicht mehr wahrnehmbare Fibrillen darstellen (vgl. C. v. Nägeli, Theorie der Gärung. München 1879, pag. 126). Die Wandungen einer Bastzelle mit schiefgestellten Tüpfeln beständen demnach aus einem mehrfach gedrehten, von einem Kanale, dem Zellumen, durchzogenen Bündel solch feinsten und überaus zahlreicher Fasern. Man könnte also die Bastzelle mit einem Tau vergleichen, dessen einzelne Fasern ja gleichfalls in Schraubenlinien verlaufen. Und so wie die Tordierung der Faserbündel des Taus die Festigkeit desselben erhöht, so dürfte auch der schraubenlinige Verlauf der Molekularreihen in den Bastzellwänden mechanisch vorteilhaft sein.“

Ich habe die Streifung bei einer ganzen Reihe von Fasern, welche hier speziell für unsere bisherigen und weiteren Betrachtungen inter-

1) Ich erhielt die Faser durch die Güte des Kgl. bot. Museums in Berlin.

essieren, genauer verfolgt und bin zu bemerkenswerten Resultaten gekommen. Was zunächst die Beobachtung der sehr feinen Streifung der Membran betrifft, so ist dieselbe keineswegs ganz einfach. Man ist immer geneigt, sofort eine scharfe mittlere Einstellung anzuwenden, wobei man das Profil der Zellwände am deutlichsten vor sich hat. Das würde aber für die Beobachtung der oft sehr dünnen Mittellamellen nicht zweckmäßig sein. Nur eine sehr hohe Einstellung und die Anwendung einer etwas stärkeren Vergrößerung (ich benutzte meist Immersion $\frac{1}{10}$ Seibert) bei schrittweise tieferer Einstellung läßt die vorliegenden Verhältnisse an günstigen Stellen meist ohne langes Suchen erkennen. Auf die viel erörterte Frage nach der Natur der Streifung der Membranen hier einzugehen, liegt nicht im Rahmen dieser Untersuchung. Die beste kritische Bearbeitung dieses Gebietes findet man bei Correns in seiner Untersuchung „Zur Kenntnis der inneren Struktur der vegetabilischen Zellmembran“ (Jahrb. f. wiss. Bot., Bd. XXIII, pag. 277 f.). Für unsere Betrachtung kommt nur die von Correns als „Streifung“ bezeichnete Erscheinung in Betracht, die auf einem Wechsel wasserreicher und wasserarmer Schichten beruht. Die Beziehungen dieser Art von Membranstruktur zur Lage der optischen Elastizitätsachsen ist die, daß die größte Achse parallel der Streifung¹⁾ liegt.

1) Was noch die Begrenzung des Begriffs der „Streifung“ betrifft, soweit sie in dieser Untersuchung in Betracht kommt, so muß hervorgehoben werden, daß es sich nur um die nach Nägeli und Correns auf dem Wechsel wasserreicherer und wasserärmerer Schichten beruhende sehr feine Streifung handelt, die eine allgemein verbreitete Erscheinung der stärker verdickten Zellwände zu sein scheint. Denn nach meinen Erfahrungen kann man diese feine Streifung bei stärkerer Vergrößerung immer mehr oder weniger deutlich wahrnehmen. Sie fällt zusammen mit der Richtung der Porenspalten und verläuft bei prosenchymatischen Zellen spiralig unter größerer oder geringer Neigung der Spirale zur Zellachse. Ausgeschlossen für die Beurteilung des Verlaufs der Mizellarreihen ist die sogenannte Querlamellierung (C. Correns, Über die Querlamellierung der Bastzellmembranen. Ber. d. D. bot. Ges. 1893, Bd. XI, pag. 410) von Bastzellen der Apocynen und auch die ringartige oder spiralige, auch netzartige Verdickung der Innenlamelle (des Grenzhäutchens) mancher Nadelholztracheiden, und zwar besonders der Elemente des sog. Weißholzes von der Oberseite der Äste.

Es bleibt noch die so sehr auffallende Streifung der Rotholzzellen von der Unterseite der Äste der Koniferen zu erwähnen. Diese ist neuerdings von Gothan (Zur Anatomie lebender und fossiler Gymnosporenhölzer. Abh. d. Kgl. pr. geol. Landesanst. 1905, Neue Folge, H. 44) für eine sekundäre Erscheinung, welche mit der Verkernung des Holzes zusammenhängen soll, erklärt worden, und zwar für eine Rißbildung. „Die Risse entstehen durch chemische und darauf folgende mechanische Eingriffe“ (l. c. pag. 80). Vor Gothan ist diese Streifung schon von den verschiedensten Forschern untersucht worden, besonders von Dippel (Mikro-

Im folgenden ist es nun für eine ganze Reihe Stereiden unternommen worden, sowohl die Streifung der äußeren primären Lamelle als auch die der sekundären Membran durch Skizzierung mit dem Zeichenapparat und Messen des Winkels, den sie mit der Längsachse der Zelle bildet, festzustellen. Eine eventuell vorhandene tertiäre Innenlamelle ist nicht weiter berücksichtigt, da sie für unsere Untersuchung ohne Bedeutung sein würde. Der Winkel der Mizellarreihen der sekundären, fast immer sehr starken Lamelle ist leicht an den meist vorhandenen linksschiefen Poren zu eruieren, selbst wenn die eigentliche Streifung der Membran nicht sichtbar ist. Schwieriger ist die Winkelmessung in der äußeren Lamelle (der primären Membran). Denn hier sind die Poren punktförmig oder fehlen anscheinend ganz. Es ist nötig, günstige Stellen zu suchen, an welchen die sehr feine Membranstreifung sichtbar wird und es ist auch nicht weiter zu verwundern, daß die Streifung der oft sehr dünnen äußeren Lamelle nicht immer sichtbar ist, denn es ist bekannt, daß sie selbst bei dicken

skop, 2. Aufl., Bd. II) und Correns, welche beide zu dem übereinstimmenden Resultat kamen, daß es sich um eine feine spiralige Wandverdickung handelt, welche an geeigneten Schnitten direkt zu beobachten ist. Dieser Meinung schließe ich mich an, da auch ich an Querschnitten direkt die Furchung der Membran beobachtet habe. Daß zuweilen Ribbildung noch dazu kommt, scheint mir nicht zu bezweifeln. Jedoch ist dieselbe häufig auch nicht wahrzunehmen und wird dann erst durch Anwendung von chemischen Reagentien erzeugt. Auch R. Hartig bildet eine solche in vortrefflichen Figuren ab (Holzuntersuchungen, pag. 47/48 und 60, Berlin 1901). Jedenfalls stimmt aber diese Art der Streifung mit der auf Wassergehaltsdifferenzen beruhenden anderer Stereiden insofern überein, als einmal die Porenrichtung den gleichen Verlauf zeigt und auch ferner, wie ich mehrfach an halbierten Zellen konstatierte, die größte Achse des optischen Elastizitätsellipsoids (im Sinne Nägelis und Schwendeners) in die Streifenrichtung fällt, d. h. diese Streifen haben den gleichen Verlauf wie die Mizellarreihen der Membran in ihrem Hauptteile. Ich halte es nicht für unwahrscheinlich, daß hier feine spiralige Verdickung mit Wassergehaltsdifferenzen zusammenfallen. (Die soeben erschienene Arbeit von W. Krieg [Die Streifung der Tracheidenmembran im Koniferenholz. Beihefte z. bot. Zentralbl. 1907, Bd. XXI], welche ich beim Niederschreiben noch nicht kannte, hat diese Annahme durch sehr sorgfältige Untersuchungen im Schwendenerschen Institute jetzt gegenüber Gothans Ansichten bestätigt.)

Auch Gothan, der allerdings „die Differenzierung der Membran in wasserärmere und -reichere Schichten“ hier in Abrede stellt, nimmt doch an, daß diese Risse gleichsinnig der Lagerung der Mizellen erfolgen, und zwar an der Tüpfelspalte beginnend (l. c. pag. 86). Es ist also eine allgemein anerkannte und wohlbegründete Annahme, daß sich in dieser Art der Streifung der innere Bau der Membran ausdrückt, und man kann daher unbedenklich diese Streifung in gleicher Weise wie die optischen Erscheinungen der Membran benutzen, um sich Aufklärung über den inneren Bau derselben zu verschaffen.

Membranen oft unsichtbar bleibt. Auch ist die primäre Membran bei der Präparation und durch die Führung des Schnittes oft streckenweise entfernt. Bei genauem Suchen läßt sie sich jedoch überall mit Sicherheit feststellen. Genaueres wird sich im einzelnen aus den folgenden speziellen Angaben ergeben. Es sei noch bemerkt, daß man deutlichere Bilder bei Anwendung von Säuren (Essigsäure, Chromsäure und Schwefelsäure), Kalilauge und Chlorzinkjod erhält. Jedoch ist ein allgemein gute Resultate lieferndes Mittel nicht anzugeben, es muß vielmehr für jeden Einzelfall ausprobiert werden. Sehr gut bewährte sich oft ein etwa $\frac{1}{4}$ stündiges Auskochen der Schnitte in Wasser und Zusatz von konzentrierter Essigsäure. Mit Ferrocyankalium und Eisenchlorid (nach Correns) konnte ich keine Erfolge erzielen.

Weiter möge hervorgehoben werden, daß bei der Untersuchung der primären Membran eine Mazeration nach Schulze erfolglos bleibt, da ja dadurch die Mittellamelle (Interzellulärsubstanz und primäre Membran) meist gänzlich gelöst wird. Ich konnte auf diese Weise keine brauchbaren Präparate erhalten. Auch Strasburger (Bot. Prakt. 1902, 4. Aufl., pag. 224) gibt an, daß die durch Mazeration erhaltenen Zellen nur noch die sekundären Verdickungsschichten besitzen.

Dagegen bewährte sich wiederholt eine Methode, die ich „Zerungsmethode“ nennen möchte, wenn es sich um die Streifung der primären Membran handelt, die ja besondere Schwierigkeiten macht. Sie besteht darin, daß man Fasern oder dünne geschnittene Holzstäbchen zerreißt, von der Zerreißungsstelle Schnitte anfertigt oder die hervorragenden, herausgerissenen Fasern direkt in Wasser untersucht. Durch die Gewalt der Zugkräfte werden die einzelnen Stereiden oft voneinander getrennt, wobei dann Fetzen der Membranlamellen, besonders der primären Lamelle, losgetrennt, aus dem Verbande freigelegt werden und den unverletzten Zellen anhängen. Diese Fetzen zeigen ihre Streifung meist sehr deutlich, vielleicht ist das Gefüge der Mizellarreihen durch die Zugkräfte gelockert. Gegenüber dieser sehr empfehlenswerten Methode fällt auch der Einwand fort, daß die angewandten chemischen Reagentien irgendwie Einfluß auf die Erscheinung der Streifen haben könnten.

Zum Messen der Winkel der Streifung sind stets Präparate benutzt worden, die keine Behandlung mit Quellungsmitteln erfahren hatten.

Über die eigentliche Mittellamelle (im Sinne Dippels = Interzellulärsubstanz) läßt sich nur bei den Tracheiden der Koniferen etwas Sicheres aussagen. Hier ließ sich die genau quergestreifte Mittellamelle

von der primären Membran deutlich unterscheiden. Näheres darüber im speziellen Teil. Bei den meisten Stereiden der Mono- und Dikotylen war das unmöglich.

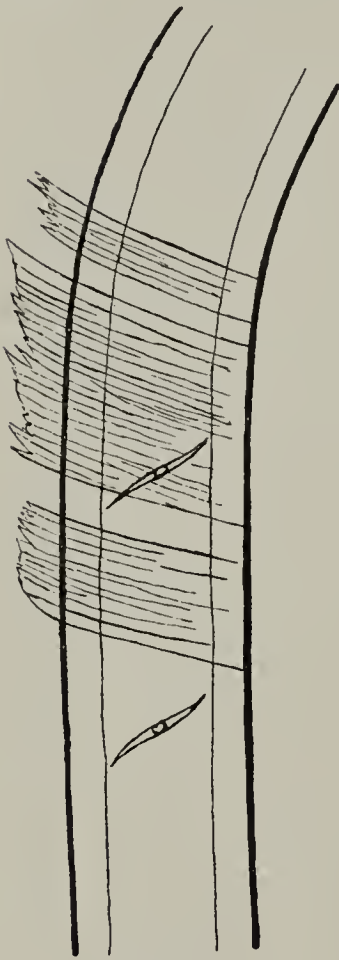


Fig. 1.

Stereide von *Caryota urens* mit gestreifter Außenlamelle und linksschiefen Poren d. sekund. Membran.

1. *Caryota urens*¹⁾.

Die Streifung der äußeren Lamelle ist wegen der großen Feinheit der äußeren Schale nicht leicht zu beobachten. Häufig bieten aber die Enden zer-rissener Zellen (es empfiehlt sich eine Faser vor der Präparation zu zerreißen) gute Objekte. Man kann alsdann direkt das Ausgehen der Streifung von der Mittellamelle in der Profilansicht sehen. Ätzung mit HCl erleichtert die Beobachtung. Da bei der Mazeration die äußere Lamelle aufgelöst wird, so sind mazerierte Zellen nur an denjenigen Stellen zu benutzen, wo sich noch Teile der Mittellamelle und primären Membran unzerstört zeigen.

Die großen spaltförmigen Poren der sekundären Lamellen lassen sich leicht zeichnen und messen. Es wurden an der primären Zellhaut Winkel der Streifung von 40° , 52° , 52° gemessen, an der sekundären 37° , 37° , 44° . Die äußere Streifung kreuzt die innere, ist also rechtsläufig gegenüber der linksläufigen der sekundären Lamelle. Selbst an mazerierten Zellen ist bei guter Beleuchtung noch stellenweise eine sehr feine Streifung an

Resten der äußeren Membran wahrzunehmen (Fig. 1).

1) Nach Sadebeck (Über die südamerikanischen Piassavearten. Ber. d. D. bot. Ges. 1902, Bd. XX, pag. 393) soll die „Kitul“-Faser von der südafrikanischen Zuckerpalme, *Arenga saccharifera*, abstammen. Die mir zur Verfügung stehenden Proben erhielt ich unter der Bezeichnung „*Caryota urens*“ aus dem Museum der Königl. landw. Hochschule zu Berlin. Von dort erhielt ich auch eine andere Probe als „*Arenga saccharifera*“. Beide stimmen nicht überein. Sie unterscheiden sich durch ihre Stärke, Farbe und Glanz schon makroskopisch. Die als „Kitul“ bezeichnete ist bedeutend stärker und, wenn geölt, von pechschwarzer, glänzender Farbe, sie erzeugt beim Reiben auf Papier braune Flecke. Die als „Arenga“ bezeichnete Faser läßt noch deutlich Teile der Blattscheiden erkennen, aus denen sie gewonnen, sie ist braun, ohne Glanz und färbt beim Reiben Papier kaum merklich. Die Duktilität der „Kitul“-Faser ist zirka dreimal so groß als die der als „Arenga“ bezeichneten Faser. Auch sind an den Stereiden Unterschiede bemerkbar (vgl. pag. 224), besonders in bezug auf die primäre Lamelle, die bei der „Arenga“-Faser sehr stark ist. — Das Hamburger Museum hält ebenfalls, wie mir Herr Dr. C. Brick freundlichst mitteilt, die Angaben Sadebecks über die Herkunft der „Kitul“-Faser nicht für begründet.

2. *Cocos nucifera*.

Trockene Schnitte in Chlorzinkjod gebracht zeigten die Streifung der äußeren Membran gut. Aber auch ohne jegliche Behandlung mit Quellungsmitteln ist die gleichmäßige feine Streifung der Außenhaut zu beobachten, während die sekundäre Lamelle durch die spaltenförmigen linksschiefen Poren die Schräge der Mizellarreihen offenbart. Die Poren verlieren nach der Außenlamelle zu ihren spaltförmigen Charakter und endigen in kreisrunden, kleinen Öffnungen. Von diesen geht mitunter ein sehr feiner Streifen aus, dem sich andere parallel anschließen. Bei hoher Einstellung sieht man diese feine Streifung über den darunter befindlichen linksschiefen Spaltporen.

Eine Verwechslung mit der Streifung einer etwa angrenzenden unteren Zellwand der Nachbarzelle, die halbiert ist, läßt sich durch Beobachtung der Mittellamelle ausschließen. Die sekundären Zellwände sind stets schon durch die großen spaltförmigen Poren kenntlich gemacht, dagegen finden sich in der dünnen Haut der Außenlamelle nur sehr feine Streifen bzw. auch Risse. Von besonderer Wichtigkeit ist die Beobachtung des Ausgangspunktes der Streifen. Es ist nötig, zu konstatieren, daß diese von der Mittellamelle der Profilansicht ausgehen. Ist das der Fall, so ist eine jede Täuschung ausgeschlossen (Fig. 2). Würde nämlich die feine Streifung die ganze Membran durchsetzen, nicht bloß die Außenhaut, so müßte ein Umbiegen bzw. ein Anschließen der Streifen an die innere Begrenzung der Membran wahrzunehmen sein, wie es bei den großen Spaltporen tatsächlich zu bemerken ist. Wenn aber die feinen Streifen glatt über die innere Kontur der Zellwand fortlaufen und erst in die Mittellamelle einbiegen, so ist damit der Beweis gegeben, daß diese Art Streifung einer anderen Schicht angehört und da sie in der Mittellamelle endigt, kann es nur diese oder die hier nicht davon zu trennende primäre Membran sein. Die entgegengesetzten Seiten der sekundären Lamelle sind stets durch höhere und tiefere Einstellung deutlich zu unterscheiden. Offenbar ist ihre Niveaudifferenz immer groß genug, um infolge ihrer Dickenausdehnung eine solche Unterscheidung möglich zu machen. Dagegen erscheinen die äußere und sekundäre Lamelle, die ja unmittelbar übereinander lagern, meist gleichzeitig klar und deutlich wegen des außerordentlich geringen Abstandes.

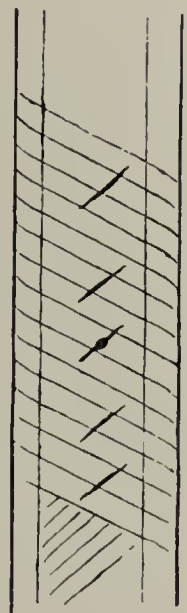


Fig. 2.
Stereide der Kokosnuß. Faser mit rechtsläufiger Streifung der primären Außenhaut. Darunter links-schiefe Poren.

Es wurden gemessen für die Streifung der äußeren Membranelle 52° und 54° , für die Porenschiefe der sekundären Membran $30-53^{\circ}$ als Minimum und Maximum einer größeren Zahl von Winkeln. Die Streifung der äußeren Lamelle ist rechtsläufig, die der sekundären geht nach links (Fig. 2).

3. *Arenga saccharifera*.

Sehr gut sieht man die Streifungssysteme beider Lamellen an Präparaten, die zuerst in Wasser gelegt waren, dann aber einen Zusatz von Chlorzinkjod erhielten. Die braun gefärbten Membranen sind stark verdickt. Da die Mittellamelle samt der primären Membran hier ziemlich stark ist, so sieht man mitunter zwei sich kreuzende Streifensysteme von ihr ausgehen, entsprechend den beiden primären Lamellen, die verschiedenen Zellen angehören. Die sekundäre Membran zeigt Poren mit runder Öffnung und spaltförmiger „Tüpfelrinne“ (vgl. W. Krieg, l. c.). Die äußere Streifung weist Winkel von $42, 47, 53, 62^{\circ}$ auf, in der sekundären Membran wurden Winkel von $36, 40, 45, 48$ und 50° an den Poren gemessen. Hier ist überhaupt die Streifung der Mittellamelle meist stärker hervortretend als die der sekundären Membran. Die Messung der Winkel wurde wie immer an Präparaten gewonnen, die keine Behandlung mit Quellungsmitteln usw. erfahren hatten.

4. *Chlorogalum pomeridianum*.

Die sehr dickwandigen Stereiden dieser Faser, die den äußeren Zwiebelblättern einer kalifornischen Liliacee entstammt, haben meist einen gelblichbraunen Inhalt, während die Zellwände hell erscheinen. Die ganze Faser sieht fast schwarz aus. Die Stereiden haben die typische zugespitzte Form, die Poren laufen nach der Mittellamelle zu in einen kleinen Hof aus, nach innen dagegen nehmen sie mehr oder weniger die Spaltform an und verlaufen in linksschiefer Spirale.

Zur Verdeutlichung der Streifung ist eine Behandlung mit HCl oder KOH zu empfehlen. Chlorzinkjod dagegen läßt uns hier im Stich, da es eine starke Bräunung des Inhaltes der Zellen und so starkes Aufquellen verursacht, daß die Verhältnisse der Membranstruktur verwischt werden. Die äußere Membran zeigt nun bei entsprechender Präparation der Schnitte (an günstigen Stellen auch ohne diese) sehr deutliche Streifung, ausgehend von der Mittellamelle. Diese erscheint bei etwas höherer Einstellung in rechtsläufiger Spirale, wenn darunter die linksschiefen Porenspalten der sekundären Lamelle sichtbar werden. Zuweilen und nicht gar selten treten Risse in der Richtung der Streifung auf. Es wurden gemessen an der äußeren Lamelle Winkel von $50, 41$ und 45° , an der sekundären $45, 52, 45, 39^{\circ}$, die die Streifung resp. Poren mit der Zellängsachse bilden.

5. *Agave americana*.

Da die im Handel und in den Sammlungen vorkommenden Fasern schon feine Stränge darbieten, so können Präparate einfach durch gelindes Zerreißen mit der Nadel hergestellt werden. Zur Sicherheit wurden aber auch direkt aus dem Blatt gewonnene Stränge verglichen. Es läßt sich an günstigen Stellen eine sehr feine äußere Streifung der Stereiden wahrnehmen, man erkennt sie bei ganz hoher Einstellung. Sie hat anscheinend meist einen gleichen oder etwas größeren Neigungswinkel als die darunter folgende Streifung der sekundären Membran oder die linksschiefen Poren derselben. Es wurden gemessen an der äußeren Lamelle Streifungswinkel von 25, 32 und 38°, an der sekundären Membran 25, 27, 37 und 40°.

Hier leistet ein Zusatz von Chlorzinkjod zu dem in Wasser liegenden Schnitte ganz ausgezeichnete Dienste, da alsdann die Streifung der äußeren Membran durch Auftreten dunkelvioletter Linien, die von der Mittellamelle auslaufen, auf das deutlichste hervortritt. Darunter sind dann bei etwas tieferer Einstellung die linksschiefen Poren sichtbar

6. *Fourcroya gigantea*.

Die im Handel und in den Museen vorhandene rohe Faser verhält sich in ihren mikroskopischen Merkmalen fast ganz wie die Agavefaser. Bei Anwendung stärkerer Vergrößerung sieht man die feine äußere Streifung der Stereiden ohne weiteres überall, wenn die höchste Einstellung angewendet wird. Es wurden gemessen Streifungswinkel der Außenlamelle zu 41°, 52°, 55°, in der sekundären Membran Porenschiefen zu 10° und 23°, die linkswindend verlaufen, während die äußere Streifung entgegengesetzt ist. Danach sind die Poren der sekundären Lamelle steiler aufgerichtet und der Unterschied der beiden Streifungen außen und innen größer als bei Agave. Das sog. Innengrenzhäutchen, ausgezeichnet durch seinen Glanz, zeigt mitunter einzelne zerstreute ringartige Verdickungen, die, wie auch die seltenen „Verschiebungen“, kaum zu Verwechslungen mit der Streifung der äußeren primären Membran führen können.

Auch hier tritt, wie bei Agave, auf Zusatz von Chlorzinkjod die Streifung des Außenhäutchens sehr deutlich hervor, sobald die Membranen in der Fläche eine braunviolette Farbe angenommen haben. Die feinen dunklen Streifen überlagern die Poren und entspringen deutlich an den Mittellamellen oder laufen bei einzeln liegenden Stereiden ganz außen herum. Ein Versuch, mit Ferrocyankalium und Eisenchlorid zu färben, blieb erfolglos.

7. *Monstera deliciosa*.

Die Faser des Blattstieles unterscheidet sich zwar durch die Häufigkeit der Spaltporen, welche zu mehreren nebeneinander liegen, von *Agave* und *Fourcroya*, jedoch zeigt sie in ihrem sonstigen Verhalten, die Streifungen betreffend, die größte Übereinstimmung mit diesen. Die in Wasser schwierig erkennbare Streifung des Außenhäutchens tritt in Gestalt dunkelvioletter Streifen (zum Teil auch Spalten, welche bei der Quellung die Struktur des Häutchens offenbaren) in Erscheinung auf Zusatz von Chlorzinkjod. Auch hier kreuzt die feine äußere Streifung die linksschiefen Poren der sekundären Lamelle.

Es wurden gemessen an Stereiden, die in reinem Wasser befindlich, Streifungswinkel des Außenhäutchens von 32, 38, 55°, an der sekundären Lamelle Porenschiefen von 19, 22, 27, 22 und 33°.

8. *Clematis Vitalba*.

Die spitzauslaufenden Stereiden des Libriforms sind reichlich mit kleinen linksschiefen Poren versehen, über welchen meist schon ohne weitere Behandlung eine äußere feine Streifung der Mittellamelle resp. der primären Membran in rechtsläufiger Spirale sichtbar wird. Eine Anwendung von Chlorzinkjod ist ohne Erfolg, aber auch unnötig, da die Streifung schon ohnehin ganz deutlich erscheint. Die Streifung der äußeren Lamelle scheint regelmäßig etwas steiler zu verlaufen als die der sekundären Verdickungsschichten. So wurden gemessen an einer Zelle: äußere Streifung ca. 50°, innere Porenschiefe ca. 55°, ferner entsprechend an einer anderen Stereide 43°:47° und endlich 50°:52°. Die Möglichkeit, daß die rechtsläufige Streifung etwa nicht der primären Lamelle, sondern der durch den Schnitt abgetrennten unteren Wand einer darüberliegenden Zelle angehört, ist ausgeschlossen. Das erkennt man einmal daran, daß die feinen Linien direkt an der Profilansicht der Mittellamelle entspringen, ferner aber auch daran, daß keine rechtschiefen Poren auftreten, die in der sekundären Verdickungsschicht regelmäßig vorhanden sind. Messerstreifen, welche mitunter auftreten, erkennt man an ihrer Erstreckung über viele nebeneinanderliegende Zellen, wenn sie auch sonst mitunter von täuschender Ähnlichkeit mit der echten Zellwandstreifung sind.

9. *Vinca minor*.

Das Holz älterer Stengel enthält in der Hauptmasse stark verdickte Tracheiden mit spiraligen Verdickungen der Innenwand und kleinen linksschiefen behöften Poren. Eine Streifung der dünnen Mittellamelle konnte nicht mit Sicherheit festgestellt werden. Die Poren bilden Winkel von 42—54°.

10. Chamaerops humilis.

Faser aus feinen Stereiden mit strichförmigem Lumen bestehend. Die Streifung des äußeren Häutchens ist verhältnismäßig leicht zu erkennen. Man präpariert die Faser durch Schaben. Es wurden gemessen 64, 67 und 78°. Die kleinen Poren bilden linksschiefe Spiralen unter 22, 23 und 27°. Ein Zusatz von Chlorzinkjod verdeutlicht die bei höchster Einstellung erscheinende Streifung des Außenhäutchens. In starker konzentrierter Lösung dieses Reagens löst sich die äußere Membran streckenweise ab und zeigt überall deutlich die rechtsläufige Streifung.

11. Nerium Oleander.

Hier läßt sich eine Streifung der sehr feinen Außenlamelle nicht nachweisen, die sekundäre Membran besteht, wie schon wiederholt nachgewiesen¹⁾, aus zwei Lamellen mit sich kreuzenden Streifungszügen, von denen der äußere rechtsläufig, der darunter liegende linksläufig ist. Durch allmähliches Tiefeinstellen sieht man zuerst die äußere Rechtsstreifung, dann die darunter laufende Linksstreifung und zuletzt erscheint das Lumen der Zelle scharf. Das ist besonders gut an großen Zellen mit breitem Lumen zu beobachten. Die äußere Streifung zeigt Winkel von 12—20°, die innere solche von 14—19°. Die Streifung wird durch HCl deutlicher.

Die entgegengesetzte Streifung in den beiden Verdickungsschichten der Bastzellen von Nerium und Vinca ist bereits von verschiedenen Autoren beobachtet worden unter anderem von Strasburger²⁾ und Correns³⁾. Nach Strasburger (l.c. pag. 65) ist bei Vinca die Streifung der inneren Schicht oft deutlicher als die der äußeren. Er fährt dann fort: „Wie Nägeli bereits angibt, sind die äußeren Streifen meist links, die inneren rechtsgewunden, doch kommt auch das Umgekehrte vor. Die Neigung beider zur Zellachse ist beinahe die nämliche.“ Bei Nerium fand Schwendener dagegen meist die äußere Lamelle mit Rechtsstreifung versehen und meine eigenen Beobachtungen bestätigen dies. Es ist jetzt auch allgemein anerkannt, daß die beiden Streifensysteme verschiedenen Schichten angehören.

Correns machte ferner die Beobachtung, „daß die Streifen ein und desselben Systemes, z. B. des linksschiefen, nicht alle genau parallel sind, sondern selbst Winkel von mehreren Graden (z. B. 5° bei Nerium Oleander) miteinander bilden“. Diese verschieden geneigten Streifen gehören dann verschiedenen Lamellen an.

1) Vergl. Schwendener, Quellung und Doppelbrechung, pag. 668.

2) Bau und Wachstum der Zellhäute, pag. 64/65. Jena 1882.

3) Zur Kenntnis der inneren Struktur der vegetabil. Zellmembran, pag. 281.

12. *Urtica (Laportea) canadensis*.

Die großen Bastzellen zeigen sowohl auf Querschnitten als auch an Längsschnitten ihre Zusammensetzung aus zwei ziemlich gleich starken Lamellen, dagegen fehlt anscheinend jede Spur der Mittellamelle. Auch nach Einwirkung konzentrierter Schwefelsäure bleibt nichts übrig. Daß sie trotzdem vorhanden, ist nicht zu bezweifeln. Es ist leicht festzustellen, daß die äußerste sekundäre Lamelle eine stark hervortretende Streifung hat, die rechtsläufig steil aufsteigt. Um die Streifung der darunter liegenden inneren Schale mit Sicherheit zu erkennen, empfiehlt es sich Längsschnitte herzustellen, an deren abgeschrägten Enden man halbierte Zellen beobachten kann. Behandelt man diese mit Chromsäure, so treten die Streifungssysteme sehr deutlich auf und man erkennt unter den steilen schräg verlaufenden Linien der äußeren Schale fast genau parallel der Zellachse gehende Streifen der inneren Lamelle. Oft kann man Luftblasen in dem Lumen zur Orientierung benutzen. Es ist nämlich keineswegs leicht, das Lumen hier zu erkennen und an ganzen Zellen wenigstens nur schwer möglich durch Einstellung die vier übereinander lagernden Schalen mit ihren Streifensystemen zu unterscheiden. Liegt nun eine Luftblase im Innern, so ist damit der Anhaltspunkt gegeben. Man sieht bei höchster Einstellung steil rechtsläufige Streifen, darunter fast parallele und endlich nach dem Verschwinden beider die scharfen Konturen der Luftblase. Die Befunde an halbierten Zellen bestätigen diese Angaben. Messerstreifen erwecken bei dieser Faser leicht den Anschein einer äußeren Querstreifung, ebenso können Reste anhängender Parenchymzellen zu Täuschungen führen. Die Streifen der sekundären Doppelmembran bilden mit der Zellachse 3—6°.

13. *Cannabis sativa*.

Eine falsche Querstreifung wird hier oft vorgetäuscht durch die sog. „Verschiebungen“ (v. Höhnel's), welche von Schwendener genauer untersucht wurden. Dieselben sind oft von gröberer Natur und dann als solche leicht erkennbar an den Vorsprüngen der Membran. Oft sind sie aber auch von derartiger Feinheit, daß absolut keine Verschiebungen der longitudinalen Streifen zu erkennen sind und sie täuschend den Eindruck von Querstreifen erzeugen. Da sie aber immer in den inneren Membranschichten auftreten, also nur bei tieferer Einstellung scharf hervortreten, so erkennt man sie hieran als sekundäre Bildungen der Membranschalen. Oft reichen sie nicht durch die ganze Breite der Zelle, sondern endigen an dem Lumen oder einer Schalgrenze.

Die Überreste von Membranen äußerlich anhaftender Parenchymzellen sind so leicht zu erkennen an ihren regelmäßigen Abständen, ihrer Dicke und ihren netzartigen, rechteckigen Verbindungen, daß sie keine Verwechslungen erzeugen können.

Endlich sieht man besonders an den dünneren Enden der großen Bastzellen aber noch eine wirkliche Querstreifung des Außenhäutchens, als solche an günstigen Stellen erkennbar an den in genau gleichen sehr engen Abständen quer verlaufenden sehr feinen hellen und dunklen Linien, die nur bei ganz hoher Einstellung sichtbar werden. Diese Streifung ist, wo sie auftritt, fast immer genau senkrecht zur Zellachse, seltener in meist rechtsspiraliger Neigung schwach ansteigend. An gehecheltem Hanf ist die sehr feine Außenhaut streckenweise ganz entfernt. An rohem Hanf sieht man, wie bei *Morus* später näher erörtert werden wird, die Außenlamelle abgestreift und auf eine Stelle zusammengeschoben, wobei mehr oder weniger einander genäherte Falten gebildet werden.

Die Streifung der sekundären Verdickungsschichten ist bei *Cannabis* auch nach dem Kochen mit Essigsäure schwieriger zu sehen als bei *Linum*. Deutlich erscheinen in der Profilansicht stets nur die Pseudostreifen, welche durch die konzentrische Schichtung der Zellwand erzeugt werden.

Dennoch ist auch hier ein doppeltes System von schrägen Streifen vorhanden, das besonders an großen Bastzellen deutlich hervortritt. Es wurde, wie bei *Linum* und *Nerium*, die äußere Lamelle der sekundären Schichten rechtsläufig gefunden, die innere entgegengesetzt. Die Winkel sind kleiner und die Abweichung von der Zellachse sehr gering. Es wurden gezeichnet und gemessen, innere Lamelle 5° , äußere 5° , bzw. $4^{\circ}:7^{\circ}$, bzw. $7^{\circ}:5^{\circ}$, bzw. $8^{\circ}:6^{\circ}$.

14. *Bochmeria tenacissima*.

Diese Faser zeigt einen ähnlichen Bau der Bastzellen wie *Linum*, *Nerium* usw., insbesondere in der Beziehung, daß die äußere sekundäre Lamelle rechtsläufige, die innere dagegen linksläufige Streifung aufweist. Dieselbe ist schon ohne Anwendung von ätzenden Reagentien kenntlich, da oft langgestreckte Spalten auftreten. Gemessen wurden Winkel von 11° innen und 12° außen an derselben Zelle, bzw. 4° und 7° , bzw. 12° und 12° . Eine eigentliche Mittellamelle ist nur beim Quellen in conc. Schwefelsäure wahrnehmbar. Auch *Apocynum cannabinum* verhält sich wie die Fasergruppe *Linum*, *Nerium* usw. Bei all diesen lassen sich keine deutlichen Poren nachweisen.

15. *Linum usitatissimum*.

An guten Querschnitten erkennt man stets deutlich, daß die sekundäre Membran zwei ziemlich gleichstarke Lamellen (Doppelmembran) und außerdem eine äußerst feine Außenhaut besitzt. Die Streifung der letzteren ist selbst bei Anwendung von Quellungsmitteln kaum wahrzunehmen. Dagegen ist die Streifung der äußeren sekundären Lamelle schon ohne weiteres als rechtsläufig, die der inneren als linksläufig zu erkennen. Die Rechtsstreifung, welche stets bei höchster Einstellung zuerst sichtbar wird, zeigt mitunter tiefe Spalten, kann also schon aus diesem Grunde nicht der sehr feinen Außenhaut angehören, in welcher bei ihrer Dünne keine Spalten mit tiefen Schatten auftreten könnten. Alle dickeren Zellen zeigen die Streifenspalten deutlich ohne besondere Präparation. Besonders klar erscheinen die Streifungsverhältnisse an Schnitten, welche halbierte Bastzellen aufweisen. An solchen Zellen, welche von einem Flachsstengel präpariert waren, war es unmöglich, die Streifung der abgewandten Membran zu erkennen, wenn die offene Lumenrinne nach oben liegt. Der körnige, plasmatische Inhaltsrest verhindert in Verbindung mit der Dicke der Membran die Durchsicht. Dagegen erkennt man im Profilschnitt des Randes die zwei Lamellen und in diesen einzelne Spalten, die der Oberflächenstreifung entsprechend verlaufen. Ist der Schnitt so geführt, daß auch das Lumen mitsamt dem Inhalt fortgenommen ist, so bleibt nur die untere Wand übrig, die dann beide Streifungen übereinander zeigt. Es ist bekannt, daß auch bei *Linum* typische Verschiebungen vorkommen, ebenso täuschen Reste parenchymatischer Zellen, die der Oberfläche anhängen, oft eine falsche Querstreifung vor. Ausgezeichnet deutlich erscheint die Streifung, wenn die Schnitte in Essigsäure auf dem Objektträger gekocht werden.

Meist erscheinen die Schichtenkonturen der parallel der Zylinderoberfläche geschichteten Membran, d. h. der feinen Schalen, welche konzentrisch um das strichförmige Lumen der Zelle gelagert sind, deutlicher als die schräge Streifung.

Es wurde an Zellen in reinem Wasser gemessen: innen 8° , außen $10,5^{\circ}$, bzw. $9^{\circ}:12^{\circ}$, bzw. $13^{\circ}:17,5^{\circ}$, bzw. $8^{\circ}:10^{\circ}$ der Streifungswinkel. Die innere Streifung ist linksläufig, die äußere rechtsläufig im botanischen Sinne.

16. *Morus alba*.

Die stark verdickten, meist nur ein strichförmiges Lumen aufweisenden Stereiden der Rinde zeigen von Zeit zu Zeit fast genau longitudinal verlaufende, spaltförmige Poren. Zuweilen hat die Zelle

spindelförmige Verbreiterungen, ihre Enden sind zackig. „Verschiebungen“ sind nicht selten, auch anhängende Fetzen von Parenchym kommen vor, die zuweilen wie spiralförmige äußere Verdickungen erscheinen. Das Außenhäutchen tritt hier stellenweise sehr auffällig dadurch hervor, daß es durch die Präparation losgelöst wird und zusammengeschoben und gefaltet wie eine futteralartige Hülle die innere Stereide einschließt. Ähnliche Abstreifung der Außenhaut ist schon von Wiesner und anderen bei den Bastzellen von *Crotalaria juncea* beobachtet worden¹⁾. Auch sonst ist die Außenhaut leicht als feine glashelle Membran wahrnehmbar, dagegen tritt die Streifung derselben erst nach Behandlung mit Salzsäure (Aufkochen) deutlich hervor, während Chlorzinkjod hier keine Vorteile bietet. Dann aber ist die sehr feine Streifung bei hoher Einstellung des Fokus ganz deutlich; sie verläuft in schwach ansteigender, rechtswindender Spirale. An nicht gequollenen Zellen ist diese Streifung stellenweise auch wahrzunehmen, es wurden Winkel von 56° , 61° und 67° gemessen, während die sekundäre Membran genau parallelstreifig wie die Poren erscheint.

17. *Pirus Malus*.

Die Stereiden des Rindenbastes lassen erst nach Quellung in KOH die Mittellamellenstreifung deutlich erkennen. Die Poren der feinen Stereiden erscheinen bei höchster Einstellung auf dem Außenhäutchen punktförmig gerundet, bei tieferer Einstellung in den inneren Schichten spaltförmig. Von den Poren gehen die Streifen der Außenhaut regelmäßig stark markiert aus; die letztere löst sich leicht in Stücken und Fetzen ab. Ist sie an einzelnen Stellen durch die Präparation entfernt, so tritt die linksläufige Spiralstreifung der sekundären Lamelle hervor. Häufig erscheinen parallele Leisten auf der Oberfläche der Zellen, von denen dann die Streifung ausgeht. Die Streifung der Mittellamelle bzw. der primären Membran weist Winkel von 70° und 67° auf, rechtsläufig ansteigend, die Poren der sekundären Membran 18° , 21° , 22° und 23° .

18. *Tilia parvifolia*.

Die Stereiden des Rindenbastes zeigen nach viertelstündigem Kochen in Wasser ganz deutlich eine Streifung des feinen Außenhäutchens, welche in geringer Neigung rechtsläufig aufsteigt. Starke Vergrößerung und gute Beleuchtung lassen an fast jeder Zelle diese Verhältnisse erkennen. Die gleichmäßigen, sehr feinen Linien erscheinen oft besonders schön an den Spitzen von aus dem Verbande gezerrten Zellen.

¹⁾ Wiesner, Rohstoffe, II. Aufl., 1903, Bd. II, pag. 314.

Die Streifung der Hauptmembran ist steil linksläufig, wie aus dem Verlauf der Poren hervorgeht. Bei Anwendung von Qellungsmitteln, z. B. Kalilauge, erscheint diese Streifung, parallel den Poren verlaufend, deutlich. Salzsäure, Essigsäure und Chlorzinkjod sind zur Verdeutlichung der beiden Streifungen nicht mit Vorteil zu verwenden. An der äußeren Streifung wurden Winkel von 75° , 83° und 86° gemessen, an der inneren sekundären Lamelle dagegen 7° , 10° und 16° .

19. *Althaea officinalis*.

Die Stereiden besitzen ein sehr dünnes Außenhäutchen, welches nur selten deutlich gestreift erscheint. An günstigen Stellen ist aber doch die Streifung mit Sicherheit wahrzunehmen, sie verläuft fast senkrecht zur Achse. Bei Anwendung von Chlorzinkjod treten viele dunkle Streifen auf, allerdings auch Verschiebungslinien, die sich aber deutlich unterscheiden lassen, da sie immer vereinzelt bleiben und kein enggedrängtes Streifungsbild liefern. Kochen in Wasser und Anwendung von Säuren bietet keine erhebliche Verbesserung der Bilder. Unter der feinsten rechtsläufigen Streifung des Außenhäutchens ist eine linksläufige oft bemerkbar; an günstigen Stellen sieht man beide übereinander. Auf die darunterliegende linksgestreifte Lamelle folgen allmählich steiler gestreifte, bis die starke innere Schale mit fast parallelen Poren folgt. Winkel der Streifung der Mittellamelle 67° — 90° , der Poren 3° und 4° , der äußersten Lamelle der sekundären Membran 27° . Ein ähnliches Verhalten, d. h. ein allmähliches Steilerwerden der Mizellarreihen, erkennbar an dem sich nach innen zu ändernden Winkel der Poren mit der Zellachse fand Correns beim Libriform von *Fagus*.

20. *Phormium tenax*.

Man präpariert ein einzelnes Bastbündel aus dem Blatt mit der Nadel und zerreißt resp. zerfasert es. Empfehlenswert ist es, die Bündel vor der weiteren Präparation ca. $\frac{1}{4}$ Stunde zu kochen. An derartigen Präparaten sieht man bei höchster Einstellung an den glatten Zellen eine genau querverlaufende feine Streifung. Die feine Außenlamelle hängt oft in feinen Hautfetzen neben der Hauptmembran. Mitunter erscheint das Außenhäutchen (wie bei *Morus*) durch die Präparation verschoben, und eine untere linksläufige Streifung tritt deutlicher hervor. Sie gehört den äußersten Schichten der sekundären Lamelle an. Auch hier sind es oft die Enden der Bastzellen, welche die Streifung des Außenhäutchens mit ausgezeichneter Deutlichkeit hervortreten lassen. Sie verläuft fast immer genau quer zur Längsachse der Stereide, seltener an starken Zellen in schwach ansteigender rechtsläufiger Spirale. An zwei zusammenhängenden Zellen sieht man mitunter das Mittelhäutchen

von einer vorspringenden Längsleiste (der Eckenausfüllung) der einen ausgehen und mit der Streifung die andere noch überdeckend. Die linksläufige Streifung der sekundären Lamelle wird anscheinend in den innersten Schichten immer steiler. Winkel der Streifung des Außenhäutchens meist 90° , selten 74° — 50° rechtsläufig, Winkel der Poren der sekundären Lamelle 13° , 15° , 25° und 35° .

21. *Pseudotsuga Douglasii*.

Die Tracheiden des Holzes der Douglasfichte zeichnen sich bekanntlich durch das fast regelmäßige Auftreten von spiraligen oder ringförmigen Verdickungen der tertiären (innersten) Membranlamelle aus, die bei anderen Koniferen sonst nur im Weißholze der Astoberseite zu finden sind. Eine eventuelle Streifung ist an dieser innersten Lamelle, wie auch von anderen Autoren hervorgehoben wird, niemals deutlich zu erkennen.

Die sekundären Membranlamellen aber lassen an einzelnen Zellen besonders von der Astunterseite (Rotholz) die Streifung deutlich hervortreten. Ob dieselbe wie im Rotholze anderer Koniferen auf einer feinen schraubigen Verdickung beruht, was zuerst von Dippel behauptet und später von Correns bestätigt worden ist, kann für unsere Zwecke dahingestellt bleiben. Sicher ist, daß diese Streifung des Rotholzes mit der Porenrichtung übereinstimmt und auch der Lage der größten Achse des optischen Elastizitätsellipsoids entspricht, wie ich an halbierten Zellen fand. An den durch Streifung ausgezeichneten Zellen fehlt meist die spiralige Verdickung des inneren Grenzhäutchens, und die spiralig-verdickten Zellen zeigen wieder keine Streifung, so daß man hier die Richtung der Poren zu Rate ziehen muß, um den Verlauf der Mizellarreihen festzustellen. Sowohl diese Poren als auch die Streifung an den Rotholzzellen weist auffallend große Winkel mit der Zellachse auf, wenn man Präparate von der Astunterseite, also dem sog. Rotholze untersucht. Es wurden gemessen 48° , 51° , 55° , 53° an gestreiften typischen Rotholzzellen, und noch größere Winkel bilden die Poren der mit spiralig verdicktem Grenzhäutchen versehenen Zellen, die hier, abweichend von dem Verhalten anderer Koniferen, auch im Rotholze auftreten, nämlich bis 62° und 71° .

Dem entspricht auch das Verhalten dieser Zellen im polarisierten Licht. Bei gekreuzten Nicols zeigen alle Tracheiden Subtraktionsfarben (gelb), wenn ihre Achse parallel zu der längeren Achse des Gipsblättchens liegt, wodurch bestätigt wird, daß die Mizellarreihen in den ausschlaggebenden wirksamen Schichten größere Winkel als 45°

mit der Zellachse bilden. Die sich kreuzenden Streifen der zu- und abgewandten Zellwände einer Stereide bilden hiernach spitze Winkel, die durch eine Senkrechte zur Zellachse halbiert werden.

Was endlich die Streifung der primären Membran betrifft, die uns hier speziell interessiert, so ist es nicht immer möglich dieselbe sichtbar zu machen, sei es durch Kochen in Wasser oder durch Behandeln mit mikrochemischen Reagentien. Dagegen erhielt ich die besten Resultate bei Anwendung der Zerrungsmethode. Schneidet man nämlich mit dem Skalpell kleine Stäbchen, die man an einer Stelle möglichst schwach macht, und zerreißt sie alsdann durch Anwendung eines starken Zuges, so kann man die zersplitterten Enden zur Herstellung von Präparaten benutzen. Unter dem Mikroskop findet man stets an den durch die Gewalt der Zugkräfte voneinander getrennten Stereiden hautartige feine Überreste der Mittellamelle, die sich bei dem Zerreißungsakte losgetrennt haben. Diese Fetzen der primären Membran (die Mittellamelle besteht ja hier deutlich aus zwei primären Membranlamellen und der Interzellularsubstanz) zeigen eine fast quer verlaufende sehr feine Streifung schon ohne jede Anwendung von Chemikalien. Sie verläuft entweder direkt senkrecht und quer zur Zellachse oder unter geringer südwestlicher (rechtsläufiger) Steigung. Nicht selten ist das Häutchen der primären Lamelle durch die Zugkräfte in einzelne Fibrillen zerlegt.

22. *Pinus silvestris* und *Abies pectinata*.

Die eigentliche Mittellamelle im engsten Sinne zeigt, wie ich wiederholt bei *Pinus silvestris* und *Abies pectinata* beobachtete, ziemlich genau senkrecht zur Zellachse verlaufende Streifung. Das kann man an Zerreißungsstellen dünner Stäbchen sehr leicht beobachten, da hier den von ihren Nachbarzellen abgelösten Zellelementen Stücke der eigentlichen Mittellamelle, seltener auch noch der primären Membran anhängen. Diese freigelegten Zellhäute erleichtern sehr die Beobachtung. Behandelt man derartige Präparate mit konzentrierter Schwefelsäure, so tritt ein starkes Aufquellen mit Strukturveränderung aller Schichten und Lamellen ein mit Ausnahme jener quergestreiften Fetzen der Mittellamelle und des inneren Grenzhäutchens Strasburgers. Es ist sehr auffällig wie diese Fetzen der Mittellamelle ihre ursprünglichen Größenverhältnisse beibehalten, während die aller übrigen Teile mächtig aufquellen. Dadurch ist es wohl als sicher anzusehen, daß die anhängenden Fetzen in Wirklichkeit Teile der kutikularisierten Mittellamelle sind, jenes in Schwefelsäure unlöslichen Häutchens zwischen den primären Verdickungsschichten.

Die primären Verdickungsschichten lassen aber ebenfalls an günstigen Stellen eine Streifung erkennen. Man findet nämlich im Verein mit der eben beschriebenen Mittellamelle mitunter Teile der primären Membran, kenntlich an den die senkrechte Streifung unter kleinem Winkel kreuzenden feinen Linien (Fig. 3). Meist aber verbleibt bei der Trennung der Zellelemente durch die Zugkräfte die primäre Membran auf der sekundären. Man sieht alsdann über den steilen Poren der sekundären Membran, die einer linksläufigen (südöstlichen) Spirale entsprechen, die schwach ansteigende rechtsläufige (südwestliche) Streifung bei höchster Einstellung (Fig. 4). Läßt man auf derartige Zellelemente z. B. von *Abies pectinata* konz. H_2SO_4 wirken, so quillt alles gleichmäßig auf, wobei beide Streifungen, die steile linksläufige der sekundären Membran und auch die wenig ansteigende, rechtsläufige der primären, schließlich verschwinden. Es ist dadurch das von Correns für Libriformzellen vom *Fagus silvatica* beobachtete allmähliche Steilerwerden der Streifung resp. der Poren nach innen zu in den Schichten der Membran auch hier festgestellt.

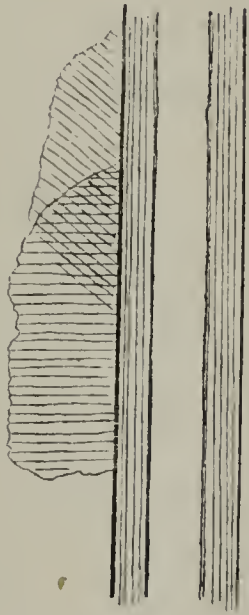


Fig. 3.
Tracheide von *Pinus* mit anhängenden Membranstücken der Mittellamelle (quergestreift) und der primären Lamelle (südwestl. gestreift).

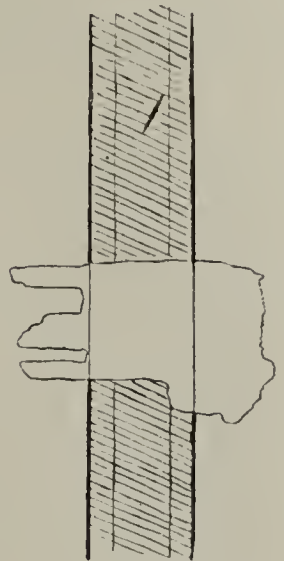


Fig. 4.
Tracheide von *Abies* mit Mittellamelle, primärer Membran (südwestl. gestreift) und einer südöstlich gerichteten Pore der sekundären Lamelle.

Vielleicht ist damit eine Angabe Nägeli's aufgeklärt über die sog. Ringstreifung bei den Tracheiden der Koniferen. (In anderen Fällen sind allerdings Nägeli's Ringstreifen sicher nichts anderes als v. Höhnel's „Verschiebungen“.)

In Betreff dieser Ringstreifung sagt schon Correns (l. c. pag. 323): „Dagegen verdienen die Angaben Nägeli's (Bot. Mitt., Bd. II, pag. 57 f. u. Taf. VI, Fig. 14—21) über das Vorkommen von Ringstreifung bei Nadelholztracheiden eine Nachprüfung. Er beschreibt und bildet sie ab an Tracheiden aus altem Holze von *Abies excelsa* und *Pinus silvestris*. Die Zellen wurden erst mit Jodtinktur, dann mit Schwefelsäure behandelt. Dabei traten bald horizontale, bald mehr oder weniger schief geneigte Linien in der Membran auf, deren Verhalten beim Heben und Senken des Tubus bewies, daß sie nicht Spiralen, sondern Ringe oder Stücke von solchen darstellen.“

Correns selbst konnte diese Art der Streifung nicht wiederfinden, nur „Verschiebungslinien“ wurden von ihm beobachtet. Mir ist trotz mehrfacher Bemühungen die Originalabhandlung Nägeli's nicht erreichbar geworden; in den Sitzungsber. d. Münch. Akad. 1864 (Innerer Bau vegetabilischer Zellmembranen) sind diese Angaben nicht vorhanden. Dennoch scheint es mir offenbar zu sein, daß die oben beschriebene horizontale Streifung der Mittellamelle den von Nägeli gesehenen Linien gleich zu setzen ist. Das ist mir überzeugend klar geworden durch den Befund bei *Pinus* und *Abies*, der im vorigen näher dargelegt wurde. Hier ergab sich, daß die horizontalen Ringstreifen der eigentlichen Mittellamelle, die mehr oder weniger schiefen der primären Membran angehören. Allerdings halte ich diese letzteren für Spiralen.

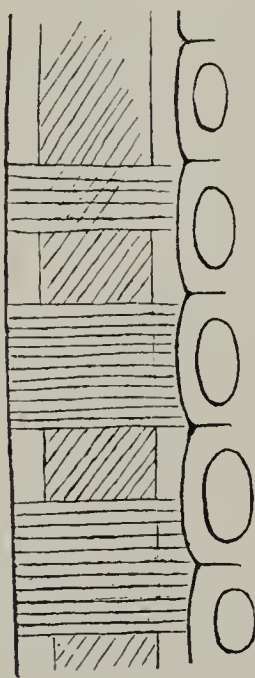


Fig. 5.
Tracheide von *Picea excelsa* mit Querstreifung der Mittellamelle und südöstlich gestreifter sekundärer Membran.

23. *Picea excelsa* und andere Koniferen.

Tangentialschnitte durch Stammholz von *Picea* aus dem Herbstteile des Jahresringes zeigen, wenn sie einige Minuten in Wasser gekocht sind, die Streifung der Mittellamelle mit schlagender Deutlichkeit. Es ist dies ein ausgezeichnetes Objekt zur Demonstration dieser Erscheinungen (vgl. Fig. 5). Man erkennt an den Stellen, wo der Schnitt richtig geführt ist, die Mittellamelle mit deutlicher Querstreifung (normal zur Zellängsachse), unter welcher die linksschiefe Streifung der sekundären Membran hervortritt, die nur bis zur inneren Kontur der Zellwand reicht, während die Querstreifung bis zur Mittellamelle übergreift.

Am sog. Weißholz ist die Streifung der dünnen primären Membran meist mehr hervortretend als die horizontale der Mittellamelle, wenn auch die spiralige Verdickung des „Innenhäutchens“, die ja dieser Holzart eigentümlich ist, die Beobachtung erschwert. Sie bildet mit der Zellachse Winkel von 49° , 51° , 58° , 59° und 63° in rechtsläufiger Spirale. Die Poren des Weißholzes habe ich früher¹⁾ gemessen und als Mittel von 20 Messungen $20,5^{\circ}$ gefunden.

An Schnitten des Rotholzes der Äste sieht man (besonders gut nach Behandlung mit HCl) bei hoher Einstellung ohne große Mühe die Streifung der Mittellamelle, welche fast stets senkrecht zur Zellachse verläuft. Sie nimmt ihren Ursprung an dem Mittellamellenstreifen

1) Rotholz der Fichte, Bot. Jahrb. 1903, Bd. XXXIX.

der Profilsicht. In seltenen Fällen ist sie etwas geneigt und gehört dann den primären Verdickungsschichten an. Der Winkel der Poren ist im Durchschnitt von 20 Messungen hier $40,5^\circ$. Daß die Streifung der Mittellamelle des Rotholzes schon von R. Hartig gesehen worden ist, beweist die Fig. 11, pag. 48 in seinen „Holzuntersuchungen“. Hier sind zwei Rotholzzellen dargestellt, deren sekundäre starke Lamelle die auffallende Spiralstreifung zeigt, während die dünne primäre Außenhaut typische querverlaufende Streifung darbietet, Hartig hat jedoch diesen Umstand, der seinen Untersuchungen fern lag, nicht weiter beachtet und im Text ist nichts darüber erwähnt.

Von anderen Koniferenhölzern wurden noch *Larix decidua* und *Picea ajanensis* untersucht und im allgemeinen übereinstimmend mit *Picea excelsa* gefunden.

24. Libriform der dikotylen Bäume.

Am Libriform von *Fagus silvatica* ist die Streifung der primären Verdickungsschichten des Außenhäutchens ohne große Schwierigkeit nachzuweisen. Sie verläuft, wie bisher fast stets gefunden, rechts-spiralig unter geringem Winkel ansteigend. Wenn eine linksläufige Streifung deutlicher hervortritt, so gehört sie der darüberliegenden Zelle und ihrer Außenhaut an, die durch den Schnitt mit abgetrennt ist. Die sekundäre Membran hat fast parallel der Zellachse verlaufende Spalt-poren, die nicht immer behöft sind (Fig. 6).

Ganz entsprechende morphologische Verhältnisse wurden bei *Corylus*, *Acer campestre*, *Platanus*, *Fraxinus* und *Quercus* angetroffen und scheint daher dieser Bau des Libriform bei den Dikotylen weit verbreitet zu sein.

Eine Streifung der eigentlichen Mittellamelle im Gegensatz zu den primären Schichten wurde nicht beobachtet. Es muß jedoch gesagt werden, daß auch nicht gerade darauf hin besondere Untersuchungen angestellt wurden, da es für den Hauptzweck der vorliegenden Arbeit genügte festzustellen, daß die äußeren Lamellen größere Neigung der Streifen besitzen als die inneren.

Correns (l. c. pag. 313) fand bei den Libriformzellen von *Fagus silvatica* eine Änderung der Neigung der Porenspalten nach den inneren Schichten zu. Er sagt: „Die Porenspalten steigen südöstlich, selten



Fig. 6.
Libriformzelle von
Fagus mit Streifung
der Außenlamelle u.
Poren der sekund.
Membran.

südwestlich in steilen Spiralen an. Derselbe Porus zeigt in Bezug auf seine Gestalt und seine Neigung häufig eine Änderung, in den äußeren Schichten sind die Porenspalten kurz und stark geneigt (Winkel von 30° bis 40° mit der Zellachse bildend), in den inneren sind die Porenspalten lang und schmal und stehen fast longitudinal (Neigung 1° bis 2°). Die beim Quetschen sichtbar werdende Streifung verläuft parallel der steileren Porenneigung und gehört wohl meist den inneren Schichten an. In Schwefelsäure verquillt die Faser unter Drehung, das resistenteren Oberhäutchen (die primäre Membran)¹⁾ ist sehr deutlich, bei vorhergehender Behandlung mit Jodjodkaliumlösung treten, bereits vor dem eigentlichen Aufquellen, die Knickungslinien durch ihre intensive Färbung hervor.“

Zusammenfassung der Ergebnisse der anatomischen Untersuchung.

Schon Correns machte am Libriform von *Fagus* die Beobachtung, daß die Neigung der Membranstreifen zur Zellachse von außen nach innen in den Schichten geringer wird, d. h. daß die Porenspalten nach innen zu größere Steilheit erlangen.

Auch Nägeli beobachtete bereits den ungleichen Verlauf der Streifen in den verschiedenen Schichten einer Membran. In seiner Arbeit „Über den inneren Bau vegetabilischer Zellmembranen“ (Ber. d. Münch. Ak., 1864, Bd. II, pag. 145) sagt er: „Gewöhnlich scheidet sich die Membran (der Bastzellen der Chinarinde) in zwei ungefähr gleich dicke Hälften, welche die entgegengesetzte Wendung der Spiralstreifen aufweisen. Diejenigen der äußeren Hälfte steigen gewöhnlich südwestlich (rechts), die der inneren südöstlich auf; ausnahmsweise kommt auch der umgekehrte Fall vor.“ Und weiter: „Die Streifen der äußeren Hälfte sind rücksichtlich ihrer Neigung sehr verschieden; der Winkel, den sie mit der Zellenachse bilden, variiert von 25° — 75° , so daß sie also bald sehr steil, bald beinahe horizontal sind. Die inneren Streifen dagegen steigen immer sehr steil empor; sie schneiden die Zellenaxe gewöhnlich unter einem Winkel von 15° — 25° .“ Dieser Änderung der Streifungsrichtung schließt sich die Richtung der Porenspalten an, wie Nägeli es auch abbildet (l. c. Abb. 45). „Dabei scheint es aber, daß der Wechsel in der Wendung nur einmal eintritt, und daß einerseits die verschiedenen Schichtenkomplexe der äußeren, andererseits

1) Nach Correns.

die der inneren Hälfte unter sich homodrom, nur durch einen ungleichen Neigungswinkel voneinander abweichen.“

Nach unserer Untersuchung scheint ein derartiges Verhalten bei Stereiden ziemlich verbreitet zu sein, wenn es auch nicht immer an den Poren deutlich hervortritt und auch nicht immer allmähliche Übergänge vorhanden sind. Es scheint mir in der Regel sogar eine sprungweise Änderung in der Neigung der Mizellarreihen vorzuherrschen, entsprechend den nacheinander angelegten Lamellen der Membran.

So verhalten sich die untersuchten Tracheiden der Koniferen ausnahmslos. Hier folgt auf die genau horizontal gestreifte Mittellamelle eine mit schwach rechtsläufig ansteigenden Streifen versehene primäre Membran, während die mächtige sekundäre Lamelle plötzlich mehr oder weniger steile linksläufige Spiralstreifung aufweist.

Beim Libriform der Laubhölzer läßt sich eine feine flach rechtsläufig gestreifte äußere Lamelle (primäre Membran?) von den sekundären Membranschichten unterscheiden, welche mit nach innen zu steiler werdender Streifung versehen sind. Die mächtig entwickelten inneren Schichten zeigen fast genau longitudinale Poren und dementsprechende Mizellarreihen.

Die Bastzellen der Dikotylen, der Rinde entnommen, lassen, soweit sie verholzt sind, deutlich einen ähnlichen Bau ihrer Membranlamellen erkennen. Sie besitzen, soweit sie untersucht wurden, Poren, die bei mangelndem Hervortreten der Streifung die Richtung der Mizellarreihen angeben, wie sie die sekundäre Lamelle besitzt; eine äußere, sehr dünne Lamelle aber läßt eine oft genau quere oder auch schwach südwestlich ansteigende Streifung hervortreten.

Die wenig oder nicht verholzten Bastzellen der Linumgruppe (*Cannabis*, *Nerium*, *Vinca*, *Apocynum*, *Boehmeria*, *Urtica* usw.) zeichnen sich dadurch aus, daß sie die so auffallend entwickelten „Doppelmembranen“ (im sekundären Teil) besitzen, deren äußere meist rechtswendig spirallige sehr steile Streifen führt, während die innere linkswendig gestreift erscheint. Beide Streifensysteme bilden fast gleiche Winkel mit der Zellachse. Deutliche Poren fehlen hier. Wo eine Mittellamelle deutlicher hervortritt wie bei *Cannabis*, zeigt sie horizontale (quere) Streifen. Oft aber ist die Mittellamelle so fein, daß sich eine Streifung nicht nachweisen läßt. Mittellamelle und primäre Membran lassen sich hier nicht unterscheiden. Es ist mir nicht unwahrscheinlich, daß morphologisch die äußere starke Membranlamelle mit der rechtswendigen Streifung als primäre Membran anzusehen ist, da auch in anderen Fällen die primäre Membran rechtsgestreift ist (vgl. Koniferentracheiden).

Endlich gibt es auch eine große Anzahl von Monokotylen-Bastfasern wie Phormium und Chamaerops, die sich in der abweichenden Streifung der Mittellamelle den vorigen anschließen.

Wenn nun auch, wie aus obigem hervorgeht, die bei weitem größte Zahl der Stereiden im Aufbau ihrer Membranen den Unterschied der äußeren Lamellen mit flachen Mizellarreihen von den inneren mit steiler Streifung deutlich hervortreten läßt, so findet sich doch eine nicht unbedeutende Zahl von Fasern, wo die Streifen in der äußeren Lamelle entweder gleiche oder doch annähernd gleiche Winkel mit der Zellachse bilden wie in der inneren stärkeren Membran. Erstere verlaufen dabei rechtswindend, letztere linkswindend. Die genannten zeigen zwei sich kreuzende Streifensysteme, von denen das äußere südwestliche der feinen äußeren (primären?) Membran angehört, jedoch ist der Neigungswinkel beider gleich und erreicht meist fast 45° oder selbst mehr. Einige wie Monstera und Fourcroya zeigen kleine Unterschiede in den Neigungswinkeln beider Streifungssysteme, auch sind die Winkel hier kleiner. In seltenen Fällen findet man auch Libriform von Dikotylen dementsprechend morphologisch ausgeprägt. Das ist der Fall bei Clematis Vitalba und vielleicht auch bei Vinca.

Bei manchen Tracheiden der Koniferen z. B. im Rotholze der Astunterseite von Pseudotsuga Douglasii nähert sich der Verlauf der Streifen der sekundären Membran wegen seiner großen Flachheit (die Streifen bilden Winkel bis zu 70° mit der Zellachse) der Neigung der Streifen in der primären Membran, aber wie immer unter Kreuzung beider Systeme.

Verhalten der äußeren und inneren Membranlamellen im polarisierten Licht.

Als Hilfsmittel bei der Untersuchung der Mizellarstruktur der Membranen ist seit Nägeli das Polarisationsmikroskop in Gebrauch. Es würde natürlich zu weit führen, hier die Technik und die Theorie dieser Beobachtungsmethode auseinanderzusetzen. Vielmehr muß in dieser Hinsicht auf die einschlägigen Werke verwiesen werden, von denen hier nur Ambronns Anleitung zur Benutzung des Polarisationsmikroskops (Leipzig 1892) und das grundlegende, alle diese Erscheinungen eingehend behandelnde „Mikroskop“ von Nägeli und Schwendener (II. Aufl., 1877) erwähnt werden mögen.

Bei Bastzellen einer brasilianischen Bauhinia spec. zeigte sich, um gleich ein Beispiel der in Betracht kommenden Erscheinungen anzu-

führen, die deutlich abgesetzte äußere Membranlamelle (primäre Membran) in der Randansicht auf Längsschnitten einfach brechend. Bei gekreuzten Nicols und über einem Gipsblättchen Rot I weist die äußere Membran das Rot des Blättchens auf, wenn die Zellachse in die Richtung der größten Achse des Blättchens fällt, d. h. also, wenn diese beiden Achsen übereinanderliegend einen Winkel von 45° mit den Polarisationsebenen bilden (Diagonalstellung). Dagegen zeigt bei derselben Orientierung die bis auf ein strichförmiges Lumen verdickte sekundäre Membran in Rand und Fläche kräftige Additionsfarben (Blau II).

Auf dem Querschnitt tritt die Verschiedenheit der beiden Membranlamellen ebenfalls deutlich hervor, aber hier ist umgekehrt die verdickte Innenmembran so gut wie unwirksam, während die Außenlamelle stärkere Farben zeigt. Ganz ähnlich verhält sich *Bauhinia anguina* Roxb. Jedenfalls zeigt dieses Verhalten, welches, wie schon im „Mikroskop“ angegeben wird, auch bei einer Reihe anderer Stereiden zutrifft (Tracheiden von manchen Koniferen), daß entweder die Membran hier in ihren äußeren Schichten eine ganz andere Lagerung der Mizelle haben muß, wie in den inneren, oder daß vielleicht auch die optische Dichtigkeit bzw. die chemische Beschaffenheit der einzelnen Lamellen voneinander abweicht.

Fassen wir zunächst die erste der angegebenen Möglichkeiten ins Auge.

In dem gewählten Beispiele von *Bauhinia* bilden die Mizellarstreifen der äußersten Lamelle, wie sich direkt zeichnen und messen läßt, Winkel von $73\text{--}84^\circ$ mit der Zellachse, die der starken inneren (sekundären) Lamelle dagegen solche von 10° . Dabei sind die äußeren Streifen südwestlich, die inneren südöstlich geneigt, so daß sie untereinander $(73 + 10) = 83^\circ$ oder $(84 + 10) = 94^\circ$, also ungefähr 90° , bilden.

Diese verschiedene Neigung der Mizellarreihen muß allein schon ihren Ausdruck in der Verschiedenheit der Polarisationsfarben finden. Es ist nämlich bekannt, daß die größte Achse des Elastizitätsellipsoids in die Richtung der Streifen fällt. Auf Längsschnitten sind nun aber die Streifen, also auch die größte Achse, nur wenig zur Ebene des Objekttisches geneigt, wenn wir die innere Membranlamelle in Betracht ziehen. Durchgehende polarisierte Lichtstrahlen treffen die größte Achse des Ellipsoids nahezu senkrecht. Auf dem Querschnitte dagegen stehen dieselben Streifen sehr steil aufgerichtet, so daß die Strahlen des durchgehenden polarisierten Lichtes fast parallel zu ihnen laufen. Im

ersten Falle reagieren sie durch kräftige Additionsfarben, verstärken also die Wirkung des Gipsblättchens, im letzten Falle aber ist ihre Wirkung unerheblich, die Membran reagiert neutral. Da die Streifen in der äußeren Schale unter einem Winkel von ca. 90° zu den vorigen geneigt sind, so muß sich die äußere Membranlamelle auf dem Querschnitt verhalten, wie die innere auf dem Längsschnitt.

Betrachten wir jedoch diese Verhältnisse noch etwas genauer. Bekanntlich ist die Wirkung der polarisierten Lichtstrahlen abhängig von der Lage des Elastizitätsellipsoids des Objekts und dem Schnitt durch dasselbe, der parallel zum Objektisch gelegt ist. Letzterer wird die wirksame Elastizitätsellipse genannt (vergl. hierzu „Mikroskop“, pag. 318). Das Elastizitätsellipsoid sei, wie für die meisten Fälle konstatiert worden ist, dreiachsig, die größte Achse sei a , die mittlere b und die kleinste c . Dann ist weiter für die Membranen der Stereiden mit longitudinalen Poren festgestellt worden, daß die größte Achse des Ellipsoids in die Richtung der Streifen resp. Poren, also longitudinal, die mittlere quer tangential und die kleinste radial fällt¹⁾. „Soweit bekannt, verhalten sich die Bastzellen mit schiefen Poren mutatis mutandis ebenso.“

Danach ist also für Stereiden mit linksschiefen Poren die größte Achse des Ellipsoids in der Richtung dieser zu suchen, die mittlere tangential und schief zur Zellachse, die kleinste radial und senkrecht zur Zellachse. Im „Mikroskop“ findet sich folgende hier interessierende Angabe (II. Aufl., pag. 325):

„Die Achsen der Elastizitätsellipsen, welche bei Flächenansichten wirksam sind, erweisen sich beim Drehen stets als Achsen des Ellipsoids. Die vorkommenden Richtungsverschiedenheiten beziehen sich also nur auf die Lage derselben innerhalb einer Ebene, d. h. auf die Winkel, welche die Achsen mit der Längs- und Querrichtung der Zelle bilden. Auf senkrecht zur Membranfläche geführten Schnitten verläuft dem entsprechend eine Achse der wirksamen Elastizitätsellipse in der Richtung der Schichten; die andere steht senkrecht darauf und ist zugleich Achse des Ellipsoids. — Von den Membranen der Gewebezellen gilt, soweit sie bekannt sind, dasselbe; allein die Beobachtung wird hier durch den Umstand erschwert, daß die beiden Lamellen, woraus die Scheidewände bestehen, eigentlich zwei Objekte darstellen, deren Elastizitätsachsen möglicherweise sehr verschieden orientiert sind.“

1) Schwendener, Über Quellung und Doppelbrechung. Ber. d. Akad. Berlin 1887, pag. 675.

Diese hier angedeutete Möglichkeit der verschiedenen Orientierung der Elastizitätsachsen in den einzelnen Membranlamellen ist, wie die Streifung schon zeigt, bei den Rindenbastzellen von *Bauhinia* sicher vorhanden. In der äußeren primären Membranlamelle bildet die größte Achse 73° — 84° mit der Zellachse, in der sekundären inneren dagegen 10° .

Denken wir uns nun für diesen Fall die wirksamen Elastizitätsellipsen durch Schnitte parallel zum Objektisch durch das Ellipsoid konstruiert, so wird auf dem Längsschnitte in der inneren Lamelle die Längsachse der Ellipse nur wenig kleiner als a , die größte Achse des Ellipsoids, sein (angenähert $a \cos 10^{\circ}$), die senkrechte Achse dazu aber gleich c . In der äußeren Membran dagegen, wo das Ellipsoid gegen 80° geneigt ist zur Zellachse, wird die größere Achse der wirksamen Ellipse nur wenig größer als b sein (angenähert $b : \cos 10^{\circ}$; $\cos 10^{\circ} = 0.9848$). Die andere Achse ist auch hier wieder c . Danach würde in der inneren Lamelle die wirksame Ellipse angenähert die Achsen a und c , in der äußeren b und c besitzen.

Der Unterschied der Achsen a und c ist aber bedeutender als der von b und c , ja, da b und c oft nur wenig verschieden (vergl. „Mikroskop“, pag. 358 [*Abies excelsa*]), so wird an dünnen Lamellen (da die Ellipse sich der Kreisgestalt nähert) die Membran sehr schwach doppeltbrechend erscheinen. Das stimmt denn auch mit der Beobachtung überein. Die innere sekundäre Membran mit der Ellipse $a:c$ zeigt auf dem Längsschnitt lebhaftere Farben, sie ist, wie der größere Achsenunterschied klar macht, stark doppeltbrechend. Die äußere primäre Membran ist entsprechend der kreisähnlichen Ellipse einfach brechend.

Betrachten wir noch einen Querschnitt der Zelle, so sind die Verhältnisse, wie leicht zu übersehen, hier in bezug auf die innere und äußere Membran einfach vertauscht, die äußere zeigt stärkere Doppelbrechung als die innere. Auch das stimmt mit den beobachteten Tatsachen überein.

Wenn auch demnach der Verlauf der Mizellarreihen in den verschiedenen Schalen der Membran ausreicht, ihr optisches Verhalten zu erklären, so möge hier doch noch die Möglichkeit der Wirkung von Dichteverschiedenheiten und chemischen Variationen betrachtet werden.

Es ist schwer, über die Dichte von Membranlamellen und Verschiedenheiten derselben bestimmte Angaben zu machen. Derartige Verschiedenheiten müßten aber jedenfalls, wie die hellen und dunklen Streifen der Membran, sich schon durch Abstufungen in der Helligkeit bemerkbar machen, was bei den primären und sekundären Schichten

jedenfalls nie in der Weise wie bei der Streifung hervortritt. Da sich die Lamellen auch gegen Quellungsmittel gleich verhalten, mit Ausnahme des Mittelhäutchens, und da ferner stets sehr dünne Schichten zur Wirkung kommen, so wird man diesen Faktor vernachlässigen können.

Von chemischen Verschiedenheiten ist zunächst die Verholzung zu beachten. Von dieser ist durch Untersuchungen mehrerer Forscher festgestellt, daß sie keinen Einfluß auf die Doppelbrechung ausübt (Schwendener, Remec).

Dagegen erzeugt die Kutikularisierung wesentliche Änderungen der Doppelbrechung. Die Unlöslichkeit der Mittellamelle und der primären Schichten in konz. H_2SO_4 hat zu der Annahme geführt, die Mittellamelle sei als kutikularisiert oder verkorkt anzusehen. So sagt beispielsweise Strasburger (Zellhäute, pag. 52/53), daß bei der Einwirkung konzentrierter Schwefelsäure auf das Holz der Kiefer oder Fichte die sekundären Verdickungsschichten sehr stark aufquellen und sich schließlich lösen. „Das Grenzhäutchen (Innenlamelle) widersteht besser der Quellung und tritt deutlich hervor. Zwischen den quellenden Verdickungsschichten zeichnen sich alsbald die primären Wände, von welchen schließlich nur das gelbbraun sich färbende zarte Netzwerk der Mittellamellen zurückbleibt.“ Nach Dippels Ansicht, die wohl die größte Wahrscheinlichkeit hat, besteht die Mittellamelle stets aus drei Teilen, der mittleren Teilplatte (Interzellulärsubstanz), aus der Substanz der kambialen Scheidewand hervorgegangen, und den primären Zellhüllen. „Diese bilden zusammen die primäre Wand, die mittlere Lamelle derselben ist die ursprünglich einfache Kambiumwand, sie ist es, die kutikularisiert. An den radialen Wänden sind kutikularisierte Mittellamellen und Zwickel das Produkt der ursprünglich dicken, mit Grenzhäutchen versehenen Kambialwandung, welche ebenfalls durch eine primäre Verdickungsschicht zur primären Wandung ergänzt wurde.“ (Vgl. Strasburger, l. c. pag. 53.)

Den hier entwickelten Ansichten über den Bau der primären Wand aus drei Lamellen, von denen die innerste sehr fein und kutikularisiert ist, kann man sich wohl unbedenklich anschließen. Die primären Verdickungsschichten auf beiden Seiten der Interzellulärsubstanz sind aber jedenfalls nicht kutikularisiert, was ja auch aus Strasburger's Darstellung hervorgeht. Es liegt also auch kein Grund vor, ein abweichendes optisches Verhalten dieser Lamellen anzunehmen, etwa nach der Art des von Ambronn konstatierten abweichenden Verhaltens der Kutikula von Blättern im polarisierten Licht. Ambronn

fand bekanntlich, daß die Kutikula beim Erhitzen in Glyzerin ihre Eigenschaft, das Licht doppelt zu brechen, verliert, beim Abkühlen aber wiedergewinnt, abgesehen von der abweichenden Orientierung des Elastizitätsellipsoids im Vergleich zu der darunter liegenden Zellwand. Man kann sich von diesem Verhalten an Schnitten durch Agaveblätter mit ihrer Epidermis überzeugen. Behandelt man aber Querschnitte von Stereiden von *Bauhinia*, *Pinus silvestris* und *Picea excelsa* in dieser Weise, so gelingt es nicht, die Farben der primären Verdickungsschichten der Mittellamelle zum Verschwinden zu bringen, worin man eine Bestätigung der Annahme erblicken kann, daß von einer Verkorkung oder Kutikularisierung dieser Schichten keine Rede sein kann. Eine Beobachtung der optischen Eigenschaften der „Interzellulärsubstanz“ selbst ist wegen der großen Feinheit nach meinen Erfahrungen unmöglich. Die Möglichkeit, daß sie kutikularisiert, ist nicht ausgeschlossen, sie übt jedoch keine wahrnehmbaren optischen Effekte aus, da sie zu dünn ist.

Es ergibt sich demnach aus diesen Betrachtungen, daß die Wirkung der Dichteverschiedenheiten und der chemischen Differenzen keine Rolle spielt, die Doppelbrechung dünner Schnitte wird nicht merklich durch diese Faktoren beeinflusst. Die Beobachtung der Winkel, welche die Streifung in den einzelnen Lamellen bildet, und die Erscheinungen im polarisierten Licht stehen im Einklang, so daß zwischen Streifung und optischen Erscheinungen einfache Beziehungen bestehen, die oben für *Bauhinia* näher auseinandergesetzt wurden.

Ein Verhalten entsprechend dem von *Bauhinia* zeigen nun die auch ähnliche Streifungsverhältnisse aufweisenden Stereiden von *Cannabis sativa*, *Fagus silvatica* (Libriform), *Abies pectinata*, *Picea vulgaris*, *Pinus silvestris*, *Larix decidua* (Tracheiden), *Chamaerops humilis*, *Phormium tenax*. Natürlich sind im einzelnen kleine quantitative Unterschiede bei den genannten Arten vorhanden, meist aber ist die Beobachtung doch so, daß unter dem Polarisationsmikroskop bei gekreuzten Nicols und unter Benutzung des Gipsblättchens Rot I die Innenmembran an Querschnitten fast neutral reagiert, also das Rot des Blättchens zeigt, während die Außenlamelle starke Farben, meist blau II oder gelb I hervortreten läßt. Bei *Cannabis* ist die Mittellamelle sehr fein. An sehr dünnen Querschnitten aber kann man doch an der Mittellamelle grünblau II wahrnehmen, während die Innenmembran blau II zeigt. Noch schwieriger ist die Beobachtung bei *Linum* wegen der überaus großen Feinheit der Mittellamelle. Ganz besonders auffallend und schön tritt die besprochene Erscheinung des Farbenunterschieds beim Libriform

von *Fagus* und an Tracheiden von *Abies* hervor, und auch die übrigen genannten Hölzer zeigen sie typisch.

Gleiche Farben der Lamellen in dem obigen Sinne zeigen nach meinen Beobachtungen dagegen nur verhältnismäßig wenige Bastzellen. Dazu gehören *Caryota urens*, *Cocos nucifera*, *Chlorogalum*, *Agave americana* (annähernd), *Monstera deliciosa*, *Fourcroya* Bast (letztere beide nur annähernd), *Arenga saccharifera*, ferner gehört hierher das Holz von *Vinca minor*, *Clematis Vitalba*. Bei *Clematis* zeigen die stark verdickten Holzzellen, welche gruppenweise die großen Gefäße flankieren, durchaus gleiche Polarisationsfarben der dicken Mittellamelle und der Innenmembran. Auch alle anderen Elemente des Querschnittes des Holzkörpers lassen kein abweichendes Verhalten der Mittellamelle erkennen. In der Längsansicht zeigen alle diese Zellen, soweit sie nicht halbiert sind, mit seltenen Ausnahmen ein solches Verhalten, daß entsprechend der Porenschiefe von $44-49^\circ$ in Parallelstellung zum Gipspfeil Gelb I statt des normalen Blau II hervortritt¹⁾. Typisches Libriform ist hier übrigens nur in geringem Prozentsatz vorhanden, dagegen viel spiralig verdickte Elemente.

Der eigentliche Bast der Rinde dagegen zeigt an sehr dünnen Querschnitten die Mittellamelle leuchtend (blau und gelb) mit Gips Rot I, die Innenmembran aber farblos, d. h. vom Rot des Blättchens.

Bei der Beobachtung der Farben mit dem Polarisationsmikroskop sind oft kleine Schwierigkeiten zu überwinden. Man darf nur ganz ebene, sehr dünne und genau senkrecht zur Achse geführte Schnitte untersuchen. Bei dickeren Schnitten zeigen die Membranen gleichmäßig Weiß höherer Ordnung. Ganz regelmäßig und schön erhält man auf Querschnitten die Mittellamelle blau bzw. gelb, die Innenmembran im Rot I des Gipsblättchens bei *Fagus silvatica* (Libriform), bei *Picea* und *Pinus*, bei *Glycine*, bei *Aspid. spinulosum* (Stereiden des äußeren

1) Die Wirkung des entgegengesetzten Verlaufs der Streifung auf den beiden Seiten des Zellzylinders ist von Correns (l. c. pag. 292) erörtert. „Infolge des Sichkreuzens der Bänder (Streifen) auf der zu- und abgewandten Seite und in derselben Membran in den inneren und äußeren Schichten ist ein und dieselbe Bastzelle verschieden stark doppelbrechend, bei steiler Streifung am stärksten, bei einer Neigung von 45° zur Zellachse tritt überhaupt keine Doppelbrechung auf — an lokal erweiterten Stellen läßt sich das schön beobachten (*Vinca*), weil die Systeme sich sogar gegenseitig in ihrer Wirkung aufheben können. Nach N. J. C. Müller (Polarisationerscheinungen usw., -Pringsh. Jahrb., Bd. XVII, pag. 20) soll bei lokal erweiterten Bastfasern von *Vinca* dort, wo die Erweiterungen beginnen, die längere Achse des Ellipsoides quer zur Längsrichtung der Fasern stehen, was ich nie gesehen habe.“

mechanischen Ringes im Blattstiel). Bei dem letzteren Objekt kann an etwas dickeren Schnitten der Unterschied zwischen der primären Lamelle und der sekundären Verdickung in Hellblau zu Violett bzw. Hellgelb zu Braungelb übergehen. Dieses Verhalten findet man auch bei *Abies* und *Pinus Mughus*.

Ganz regelmäßig gleiche Farben zeigen sich an primären und sekundären Verdickungsschichten des Querschnitts von Kokosfasern, von *Chlorogalum*, hier mit schönen mehrfachen Lamellen, bei *Clematis Vitalba* (Libriform), *Vinca minor* (Libriform). Etwas stärkere Farben zeigen (wieder entsprechend den kleinen Differenzen der Streifungswinkel) die primären Membranen bei *Agave*, *Monstera* und *Fourcroya*. *Caryota* zeigt durchaus gleiche Farben der Mittellamelle und Innenmembran. Jedoch tritt hier, falls die Schnitte etwas schief zur Zellachse geführt sind, die eigenartige Erscheinung ein, daß die Farben immer nur auf einer Seite erscheinen, also z. B. die rechts liegende sekundäre Membran und die links anstoßende Mittellamelle gleich blau erscheinen, während die nun links anstoßende sekundäre Membran der Nachbarzelle neutral erscheint. Ebenso verhält sich oft auch *Agave* und *Fourcroya*, während bei *Arenga*, wo die Mittellamelle sehr dick ist und in zwei deutliche Lamellen zerfällt, ein regelmäßiger Wechsel eintritt, daß immer die rechts vom Lumen liegende sekundäre Membran und die rechte Mittellamelle gleiche Farben zeigen, die andern neutral reagieren. Ich führe diese Erscheinung darauf zurück, daß bei etwas schief geführten Schnitten in der rechten Wand die Neigung der optischen Achsen anders ist als in der linken (vgl. dazu Mikroskop, II. Aufl., pag. 349: Neigung von zylindrischen Objekten). In vielen Fällen ließ sich auch durch Drehung des Spiegels der Farbeffekt auf die andere Seite schaffen, was auf Reflexionserscheinungen hindeutet. Mitunter treten auch infolge nicht ganz glatt durchschnittener Ränder der Zellen Zerrungen nach der Richtung des geführten Schnittes ein, wodurch die Fibrillen der Membran am Rande horizontal gelegt werden und sofort die entsprechenden Farbenerscheinungen seitlich und horizontal ausgestreckter Micellarstreifen erscheinen.

In allen diesen Fällen entspricht die Farbenerscheinung vollständig der beobachteten Streifung der einzelnen Lamellen.

Apocynum cannabinum und *Boehmeria nivea* (Ramié) gehören zu den Bastzellen, die sich durch sehr deutliche „Doppelmembranen“ auszeichnen. Hier ist außer den zwei Lamellen der Doppelmembran, die gleiche Farben erzeugen, eine Mittellamelle kaum wahrnehmbar. Jedoch

soll nicht behauptet werden, daß sie überhaupt nicht vorhanden ist. Es ist wohl die Annahme wahrscheinlicher, daß sie infolge ihrer sehr großen Feinheit optisch schwer nachzuweisen ist und erst bei der Auflösung der Membran in konzentrierter Schwefelsäure sichtbar wird. Dasselbe ist bei *Boehmeria* der Fall. Hier muß man besondere Sorgfalt bei der Herstellung dünner Schnitte anwenden, da die Faser auf dem Querschnitt optisch sehr stark reagiert und man sonst Farben höherer Ordnung erhält. Da auf das dünne Außenhäutchen dieser Bastzellen gleich die sehr dicke äußere Lamelle (mit Rechtsstreifung) der Doppelmembran folgt, so ist wohl anzunehmen, daß diese rechtsläufig gestreifte Lamelle als primäre Membran anzusehen ist, die sich hier sehr stark entwickelt hat. Denn auch in den meisten sonst beobachteten Fällen ist die primäre Verdickungsschicht rechtsläufig gestreift. Die so außerordentlich feine Außenhaut enthält wohl außer der Mittellamelle (im strengen Sinne) keine primären Schichten.

Die Farben der wirklichen Mittellamelle (Interzellulärschicht) sind schwer festzustellen. Nach einigen Beobachtungen an Querschnitten der Tracheiden von *Pinus Mughus* und von *Abies pectinata* ist die Doppelbrechung etwas schwächer auf diesen Schnitten als bei der primären Membran. Dagegen zeigt hier das „Grenzhäutchen“, das das Lumen der Zelle innen auskleidet und das, wie die Interzellulärschicht, in konz. H_2SO_4 unlöslich (kutikularisiert?) ist, dieselben Farben wie die primäre Membran, hebt sich also kräftig von der starken sekundären Membran ab.

Zusammenhang zwischen der Zellwandstruktur und der Dehnbarkeit.

Es wird, auch ohne daß darauf besonders hingewiesen wurde, dem aufmerksamen Leser die Tatsache nicht entgangen sein, daß unter der Gruppe der gleiche Farben aller Membranlamellen im Polarisationsmikroskop gebenden Fasern sich sämtliche wiederfinden, die als duktil zu bezeichnen sind. Wenn nun die gleichen Farben auf einen gleichen Verlauf der Reihen der kleinsten Teilchen, seien es Mizellen oder andere, in den Zellwandlamellen hinweisen und ein derartiger Verlauf auch durch direkte Beobachtung der Streifung sichergestellt ist, so scheint dies in der Tat eine Bedingung für das Auftreten von starker Dehnbarkeit zu sein.

Da aber alle duktilen Fasern einen großen Neigungswinkel der Mizellarreihen zur Zellachse in den Membranen aufweisen, so ist die

Annahme nicht von der Hand zu weisen, daß die Duktilität auch hiermit in Zusammenhang steht.

Für diese letztere Ansicht scheint, ganz abgesehen von *Caryota*, *Cocos* und *Agave*, besonders auch das Verhalten des Rotholzes der Douglasfichte zu sprechen. Dasselbe zeigt im frischen Zustande die auffallende geschmeidige Dehnbarkeit von 5—7 % (vgl. auch pag. 210), das ist für Stereiden des Holzes etwas Außergewöhnliches. Die mikroskopische Untersuchung zeigt, daß die Poren der sekundären Schichten die starke Neigung von 50—70° aufweisen, und im polarisierten Licht ergeben alle Zellen Subtraktionsfarben, wenn sie in die Diagonalstellung parallel zur größeren Achse des Gipsblättchens bei gekreuzten Nicols beobachtet werden.

Endlich sei hier noch als ebenfalls für die obige Annahme sprechend das Verhalten der Stereiden der Doldenstielchen von *Daucus Carota* angeführt. Diese zeigen an Streifen von der Unterseite 6,8 % Dehnbarkeit (Durchschnitt von sechs Versuchen, Maximum 10 %), an Streifen von der Oberseite dagegen nur 3,07 % (sechs Versuche, Maximum 3,5 %). Es ist durch die Untersuchungen Kleins über die Bewegungen der Doldenstielchen und ihren Mechanismus bekannt geworden, daß die Stereiden von der Unterseite der Infloreszenzachsen quergestellte Poren besitzen. Jedoch ist das, wie ich mich überzeugt habe, nur an der starken Außenlamelle der Fall; die dünne Innenlamelle ist mit Spiralstreifen versehen. Dagegen besitzen die Stereiden der Ober- resp. Innenseite der Doldenstielchen in der Hauptmembran schief gestellte Poren. Der Vollständigkeit wegen sei noch bemerkt, daß die Dehnungsproben an Doldenstielchen ausgeführt wurden, die dem Herbarium entnommen und 24 Stunden in Wasser gequollen waren.

Eine nachträgliche Untersuchung frischer Doldenstielchen ergab für die Unterseite 11,4 %, für die Oberseite nur 7,6 % durchschnittlich.

Ich habe in folgender Tabelle die Resultate einer ganzen Anzahl von Messungen der Winkel von Poren und Streifen in den Membranen zusammengestellt und gleichzeitig die Bruchdehnung der betreffenden Fasern beigelegt. Die Zahlen für die Porenschiefe sind außer denjenigen für *Picea*, welche um je 20 Messungen nach Zeichnung mit der Kamera gewonnen waren, keine Durchschnittszahlen. Es wurden meist nur drei Winkelmessungen angestellt, was aber für unsere Zwecke ausreichend erscheint.

Die geringe Dehnbarkeit ohne dauernde Verlängerung der meisten unverholzten Fasern fällt zusammen mit zur Längsrichtung der Zelle fast parallelem Verlauf ihrer Poren, wie das beispielsweise bei *Can-*

Abstammung der Faser	Neigung der Streifen in der		Bruchdehnung	Bemerkung
	primären Membran	sekundären Membran		
Caryota urens	40—52°	37—44°	bis 27,6 ‰	lufttrocken
Cocos nucifera	52—54°	30—53°	„ 16,0 ‰	„
Arenga saccharifera	42—62°	36—50°	„ 8,8 ‰	„
Chlorogalum pomerid.	41—50°	39—52°	6,7—10 ‰	„
Agave americana	25—38°	25—40°	4,4—5,9 ‰	„
Clematis Vitalba (Libriform)	43—50°	47—55°	3,3—3,4 ‰	„
Fourcroya gig.	41—55°	10—32°	3—3,4 ‰	„
Monstera delic.	32—55°	19—33°	1,9 ‰	„
Agave americana	25—38°	25—40°	20—30 ‰	frisch
Clematis Vitalba (Libriform)	43—50°	47—55°	14,5—18,6 ‰	„
Vinca minor (Libriform)	?	42—54°	3,45—4,26 ‰	„
Pseudotsuga can. (Tracheiden, Rotholz)	bis 90°	48—71°	4,7—7,0 ‰	„
Daucus Carota (Doldenstiele, Unterseite)	ca. 90°	ca. 45°	6,8 ‰ (Max. 10 ‰)	in Wasser gequollen
Phormium tenax	50—90°	13—35°	1,36 ‰	lufttrocken
Chamaerops humil. (Blattfaser)	64—78°	22—27°	1,25 ‰	„
Picea excelsa (Rotholz)	bis 90°	40,5°	1,4—2 ‰	„
„ „ (Weißholz)	bis 90°	20,5°	1,6—1,9 ‰	„
Cannabis sat.	bis 90°	4—8°	1,27 ‰	„
Linum usit.	?	8—13°	1,02 ‰	„
Boehmeria tenac.	?	4—12°	1,1—1,4 ‰	„
Morus alba (Bast)	56—67°	9—10°	1,52 ‰	frisch
Tilia (Bast)	75—86°	7—10°	1,3 ‰	„
Pirus Malus (Bast)	67—70°	18—23°	2,6—3 ‰	„
Althaea off. (Bast)	67—90°	3—4°	1,33 ‰	„
Laportea canad.	?	3—6°	2 ‰ (bis 3,6 ‰ nach Schwendener)	„
Nerium Oleander (Bast)	?	12—20°	1,07 ‰	„

nabis zu beobachten ist. Bei Linum und Urtica dioica (die ebenfalls keine Duktilität besitzt aber in der Tabelle nicht aufgeführt), erreicht die Porenschiefe meist nicht 10°. Bei Laportea canadensis habe ich in drei Fällen Winkel von 3,5 und 6° gemessen.

Es spielen nach alledem jedenfalls mehrere Faktoren bei der Erzeugung der Duktilität mit. Wichtig außer der größeren oder geringeren Steilheit der Mizellarreihen scheint vor allem der gleiche Verlauf der Mizellarspiralen in allen Schichten der Zellwand zu sein, ohne den niemals Duktilität zu beobachten ist.

Versuch einer Erklärung der Beobachtung, daß Duktilität nur bei gleichem Streifenverlauf in den verschiedenen Membranlamellen auftritt.

Geht man von der wohlbegründeten Annahme aus, daß die Membranlamellen aus schraubig verlaufenden Fibrillen zusammengesetzt sind,

so kann man sie in ihrem Verhalten gegen äußere Kräfte mit Spiralen aus Metalldrähten vergleichen. Von dem Verhalten solcher Metallspiralen kann man sich leicht durch einen sehr einfachen Versuch überzeugen. Man wickle einen elastischen Metalldraht, beispielsweise Kupferdraht, um einen Bleistift, so daß er eine steile Schraubenlinie bildet. Darüber lege man einen zweiten Draht in flachen Windungen in der Weise, daß auf eine vollständige Windung der steileren Spirale zwei oder mehrere Windungen der flacheren kommen (Fig. 7). Beide Spiralen berühren sich natürlich an allen Kreuzungspunkten, da sie ja über denselben zylindrischen Bleistift gewickelt sind. Versucht man jetzt die Spiralen auszudehnen, ohne den Bleistift zu entfernen, so zeigt sich daß dieses unmöglich ist. Eine Verlängerung der Spirale setzt nämlich ein Engerwerden der Spiralen voraus, woran aber die Festigkeit des Bleistiftholzes hindert.

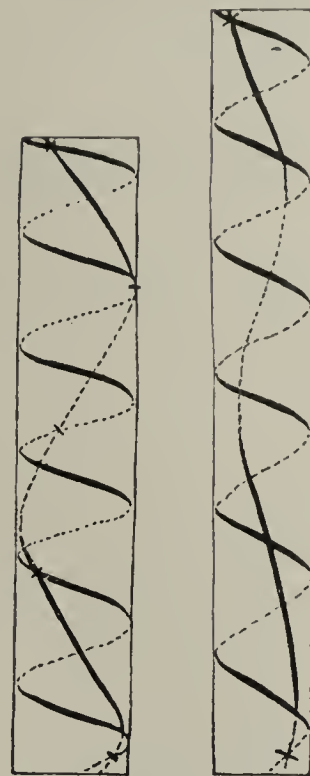


Fig. 7 (vgl. Text).

Entfernt man jedoch den Bleistiftkern vorsichtig ohne Deformation der Spiralen und übt einen Zug auf die übereinander liegenden Windungen aus (wobei zwei Punkte oben und unten vereinigt festgehalten werden), so lösen sich die Drähte der inneren Spirale von der äußeren los. Die innere Spirale, welche steilere Windungen besitzt, streckt sich eher gerade als die äußere, wenn wir gleich diesen äußersten Fall in Betracht ziehen. Das ist aber nur möglich, wenn die Spiralen sich von einer sie ursprünglich gemeinsam einschließend berührenden Röhrenwand entfernen, natürlich nach innen. Es ist also eine Kraftkomponente senkrecht zur Länge der Röhre vorhanden. Diese wird bei der steileren Spirale größer sein als bei der flacheren. Um das einzusehen, braucht man sich, wie gesagt, nur den Grenzfall vorzustellen, bei welchem die steilere innere Spirale zur geraden Linie ausgezogen ist, die äußere aber noch nicht. Beide Spiralen entfernen sich also an allen denjenigen Punkten voneinander, an denen sie sich vorher berührten. Sie lösen sich voneinander los, wie der Versuch bestätigt.

Wenden wir dies auf unsere Zellmembranen an, so braucht nicht weiter auseinandergesetzt zu werden, daß bei allen Membranen, deren Wände aus zwei Lamellen von verschieden steilen Mizellarspiralen bestehen, die Gefahr des Loslösens bei starkem Zug besteht, wobei dann sofort Bruch eintritt.

Diese theoretische Betrachtung entbehrt nicht der Grundlage der Beobachtung. Man kann tatsächlich an den Bruchstellen von durch Zug zerrissenen Zellen Erscheinungen wahrnehmen, die hiermit in Einklang stehen.

Beobachtungen an Bruchstellen zerrissener Faserstränge.

Es ist eine auffallende Erscheinung, daß die Enden der Faserstränge, welche bei gewaltsamem Zerreißen an der Bruchstelle entstehen,

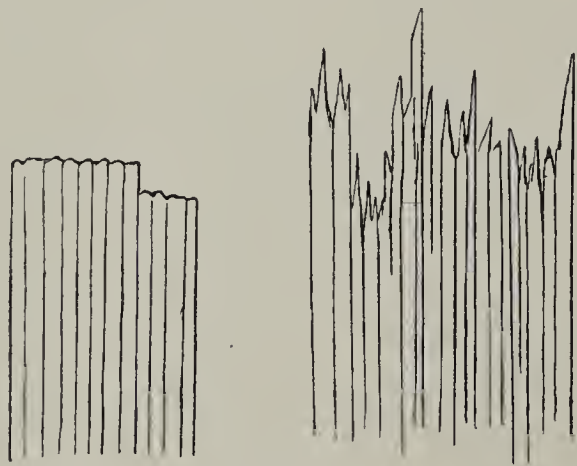


Fig. 8.
Bruchstellen von Fasern.
a Arenga; *b* Fagus.

bei Betrachtung mit der Lupe oder mit dem Mikroskop bei schwacher Vergrößerung ein ganz verschiedenartiges Aussehen zeigen, je nachdem die Faser duktil oder nicht ist. Im ersten Falle erscheint die Fläche der Bruchstelle fast eben oder doch nur schwach höckerig (vgl. Fig. 8 *a*), im anderen Falle jedoch treten einzelne Zellenden weit aus der Bruchfläche hervor, die Stereiden sind teilweise aus ihrem Verbande herausgerissen

und das Ganze zeigt mitunter eine Oberfläche, die ähnlich einer Bürste, gebildet aus den hervortretenden Zellenden, eine in der Tat ganz eigenartige Erscheinung (vgl. Fig. 8 *b*). Es lösen sich demnach hier die Membranen aneinander grenzender Stereidenzellen streckenweise los, sobald sie stark gedehnt werden, was eben seine Ursache in der verschiedenen Dehnungsfähigkeit der inneren stärkeren Lamellen der Membran und der sie verbindenden Interzellularschichten hat, entsprechend der steileren und flacheren Spirale unserer vorigen Betrachtung. Ganz besonders deutlich tritt dieses Verhalten bei dem Holz von *Fagus silvatica* hervor.

Bei stärkerer Vergrößerung erkennt man weitere Einzelheiten. Da findet man bei Präparaten von *Larix* und *Picea* an einzelnen Stellen abgelöste Stücke der äußeren Membranlamelle (vulgo Mittellamelle) mit zackigem Rande über der inneren Membran der Zelle liegend. Die Streifung der äußeren Haut ist meist deutlich anders verlaufend als die der inneren. Häufig werden auch schraubig verlaufende Bänder der Innenmembran an der Bruchstelle herausgerissen. Alle diese Beobachtungen beweisen, daß tatsächlich eine Trennung der Membranschichten bei starker Dehnung stattfindet, wenn der Streifenverlauf in den einzelnen Lamellen in erheblichem Maße verschieden ist.

Zweckmäßigkeit duktiler Stränge für bestimmte Fälle.

Wie in der Technik für bestimmte Zwecke die Anwendung fester, aber zäher Stoffe unentbehrlich erscheint, so wird auch bei den Konstruktionen des Pflanzenkörpers die Verwendung duktiler Stränge mitunter von Vorteil sein können. Konstruktionen, welche ihre Form dauernd und unveränderlich beibehalten sollen, wie freistehende Stämme, Stengel, Äste usw., dürfen allerdings nicht aus weichem, dehnbarem Material hergestellt werden. Aber wie ein Wasserleitungsrohr, das sich an der Wand eines Zimmers hinzieht, ohne Nachteil aus unelastischem, zähem Bleirohr hergestellt werden kann und infolge der Zähigkeit des Bleimetalles gegen Bruchgefahr bei Biegungen besser gesichert ist, als wenn es aus hartem, sprödem Material hergestellt wäre, so können auch die Wasserleitungsröhren der Pflanze, die Gefäße, vorteilhaft aus zähem Material aufgebaut werden. Das zeigt sich denn auch auf das schönste an den Gefäßen der Blattstiele des „dornigen Wurmfarne“ (*Aspid. spinulosum*) und des Wegerichs, deren Dehnbarkeit die enormen Werte von 16 resp. 40 % erreicht. Auch der leitende Weichbast schließt sich in seinem Verhalten genau an seine Begleitung, d. h. an die Gefäßröhren an. In beiden Fällen ist aber auch für Herstellung der biegungsfesten Konstruktion in ausreichender Weise durch andere Teile gesorgt. Der Farnwedel besitzt einen äußeren, starken „mechanischen Ring“ nach Art der hohlen Säule, welche alles andere in seine schützende Höhlung aufnimmt, während der Blattstiel von *Plantago* durch einen äußeren Mantel von Kollenchym genügend gegen äußere Einflüsse in seinem kurzlebigen Dasein geschützt ist.

Etwas anders liegen die Verhältnisse bei dem Stengel von *Clematis* und *Vinca*. Die Holzkörper der Stengel dieser Pflanzen haben nicht die Aufgabe, senkrechte biegungsfeste Konstruktionen darzustellen. Die niederliegenden Stengel von *Vinca* erheben sich nie durch eigene Kraft vom Erdboden und bei *Clematis* ist die Lebensweise als Schlingpflanze und Liane allgemein bekannt. Für Pflanzen, die sich an fremden Gegenständen befestigen müssen, um zum Lichte emporzudringen, und die dabei mehrjährige Holzstengel entwickeln, wird es offenbar von Vorteil sein, wenn sie nach Art eines Drahtes oder biegsamen Seiles allen Formveränderungen ihrer Stütze folgen und sich anpassen können. So scheint mir die zähe Biegsamkeit des frischen Holzes bei *Vinca* und besonders bei *Clematis Vitalba* (bis 18 % Dehnbarkeit) als zweckmäßige Einrichtung wohl begründet zu sein, da sie das Klettern des Gewächses unterstützt. Dabei zeigt sich, daß der spröde, nicht duktile Bast der Rinde sich streifenweise löst und alljährlich abgeworfen wird. Er

hat offenbar nur lokale mechanische Aufgaben zu erfüllen zum Schutze des alljährlich erneuten Weichbastes der Rinde. Was die Lebensweise der Schlinggewächse, Lianen usw., betrifft, so sagt schon Kerner (Pflanzenleben I, pag. 444), daß Vorrichtungen, welche die Tragfähigkeit und Elastizität erhöhen, bei ihnen überflüssig sind, da diese Aufgabe von der Stütze übernommen wird; dagegen ist der Schutz gegen seitlichen Druck dringend nötig. Die Biegungsfähigkeit ist ein Haupterfordernis für den Lianenstamm, und sie sind daher oft wie ein tordiertes Seil oder Kabel gebaut, wobei Zugfestigkeit und Biegsamkeit zugleich erreicht wird (vgl. auch Haberlandt, Phys. Pflanzenanatomie, II. Aufl., pag. 524). Die Zerklüftung des Holzkörpers in einzelne getrennte Stränge ist ein Mittel, diesen Anforderungen zu genügen und so entsteht der merkwürdige anatomische Bau der Lianen, der so oft und eingehend Gegenstand botanischer Untersuchung gewesen ist (vgl. die Literatur hierüber bei Haberlandt).

Daß einzelne Lianen ein besonders dehnbares, in seinen Eigenschaften dem schmiedeeisernen Drahte ähnliches Material verwenden, um Biegsamkeit zu erreichen, ist meines Wissens noch nicht bekannt geworden und ist jedenfalls ein interessantes Beispiel dafür, wie die Pflanze auf verschiedenem Wege zu demselben Ziele gelangt.

Wenn man aber hieraus schließen möchte, daß alle Schlinggewächse diese Anpassung an ihre lianenartige Lebensweise zeigen, so irrt man sich. Ich habe bei einer ganzen Reihe holziger Schlingpflanzen keine duktilen Holzkörper finden können; das war der Fall beispielsweise bei *Glycine*, *Periploca graeca* und *Solanum Dulcamara*. Diese haben sich offenbar nicht zur Verwendung des passendsten Materials für ihre festen Teile durchgerungen oder sorgen, wie oben angedeutet, in anderer Weise für ihre Bedürfnisse nach dieser Richtung hin.

Was die Blattscheiden der Palmen betrifft, deren Fasern sehr häufig duktile Eigenschaften aufweisen (*Caryota*, *Arenga* etc.), so läßt sich dabei folgendes hervorheben. Es ist ein sehr merkwürdiger Anblick, den uns schon eine kleine Palme mit ihrem Büschel von stolzen Blattwedeln bietet, besonders wenn wir die Basis der Blätter an ihrem Ursprunge betrachten. Hier sind die Blätter anscheinend durch braune drahtartige Fasern am Grunde ihrer Stiele unter sich verbunden, wie der Gärtner mit Bast einen Pflanzenteil an der Stütze befestigt. Von der Basis jedes Blattes ausgehend, legen sich die braunen Stränge abgestorbenen Gewebes um sämtliche jüngeren Blätter einschließend herum und bei jedem Blatt wiederholt sich dieses, so daß hier ein ganzes Bündel vielfach miteinander verbundener Stiele entsteht.

Wie verhalten sich aber nun diese Befestigungsfasern der Blattscheiden beim Dickenwachstum des Stammes? Durch jedes neu hervortretende Blatt werden die älteren Blätter nach außen gedrängt und die Spannung der Fasern in den das Ganze einschließenden Blattscheiden erhöht, bis sie schließlich zerreißen und die äußersten Blätter ihren Halt an den übrigen verlieren. Um diesen Moment möglichst lange hinauszuschieben, wird es für die Pflanze von Vorteil sein, wenn die befestigenden Fasern nachgiebig sind und ausziehbar. Die Blattscheiden werden also hier ganz ähnlich in Anspruch genommen wie wachsende Pflanzenteile und wie die letzteren im Kollenchym ein Material besitzen, welches Festigkeit mit einer gewissen Duktilität vereinigt, so ist das auch hier in dem eigentümlichen Bast dieser Scheiden der Fall¹⁾. So läßt es sich verstehen, daß gerade der aus den Blattscheiden gewonnene Bast von *Caryota urens*, Kitool genannt, noch im trockenen Zustande eine unelastische Dehnbarkeit von 27 % aufweist, während die Faser der Blattscheiden von *Arenga saccharifera* sich zwar weniger, aber noch bis zu 4 % duktil zeigt. Die Fasern von Palmen, welche aus den Blattstielen oder Blattspreiten gewonnen werden, zeigen dieses Verhalten nicht. So ist die sog. Indiafaser aus den Blättern von *Chamaerops humilis* keineswegs duktil, auch die Piassavefasern von *Raphia vinifera* entbehren jeder erheblichen Duktilität. Sie sind zwar angeblich auch den Blattscheiden entnommen; jedoch zeigt schon ihre Dicke und Starrheit, daß sie zur Ausübung einer Funktion untauglich sind, die auf das Zusammenbinden des Blätterschopfes hinausläuft. Die *Caryota Piassave* (Kitool), welche, wie einige andere Piassave-Sorten, starke Duktilität zeigt, unterscheidet sich denn auch nach Wiesner (Rohstoffe, II, pag. 411) wesentlich von der westafrikanischen Piassave durch ihre geringe Dicke (nur bis 0,5 mm) und ihr den Roßschweifhaaren ähnliches Aussehen. Es gibt eben in den Blattscheiden der Palmen zwei ganz verschiedene Arten von Fasern, was die Beanspruchung anbetrifft. Das ist bereits von Schwendener in klarster Weise ausgesprochen (Mech. Prinzip, pag. 125). Da heißt es: „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 nötige Widerstandsfähigkeit verleihen, in der Mitte des Ge-

1) Beim Kollenchym bestehen übrigens die äußeren Membranlamellen aus Pektose, wovon ich mich wenigstens in einzelnen Fällen durch Anwendung des Salzsäurealkohols überzeugte. Sie lassen daher keinen Vergleich zu.

webes, nicht an der Oberfläche; überdies 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.“ Daraus ergibt sich, daß die Blattscheiden (besonders in ihrem mittleren Teile, wo sie in den Blattstiel übergehen) sehr wohl Faserstränge enthalten können, für welche die oben geschilderte Inanspruchnahme nicht in Betracht kommt, und es ist daher auch nicht auffällig, wenn aus ihnen Fasern gewonnen werden, die die gewöhnlichen Eigenschaften des normalen Bastes zeigen, also keine Duktilität besitzen.

Wir kommen zur Betrachtung der Agavefaser. Nach Schwendener (Mech. Pr., pag. 77 resp. 81) gehört das Blatt von Agave zu jenen bilateralen Organen, welche mit einem System innerer Träger versehen sind. Die Stellung der Träger in der Mitte zwischen der Ober- und Unterseite des Blattes ist eine mechanisch ungünstige und kann vom mechanischen Gesichtspunkte aus nicht erklärt werden. Nach Schwendener dienen die Bastscheiden offenbar zunächst den saftleitenden Gefäßbündeln zum Schutz und erst in zweiter Linie zur Erhöhung der Biegezugfestigkeit. Weiter unten (l. c.) sagt Schwendener direkt, daß bei den fleischigen Blättern von Agave und Fourcroya sowie bei einigen anderen weniger fleischigen Blättern (*Dracaena*, *Yucca* usw.) die innere Bogenreihe großer Gefäßbündel „offenbar nicht der Biegezugfestigkeit wegen da sind“.

In diesen Bemerkungen des scharfsinnigen Forschers scheint mir auch schon die Erklärung für das Auftreten der duktilen Stereiden gegeben zu sein. Ist nämlich der Bast nicht zur Herstellung biegezugfester Konstruktionen verwendet, so kann er sich den lokalen Bedürfnissen der Gefäße und des Weichbastes anpassen und nach Art des Collenchyms dem Blatte seine Wachstumsfähigkeit erhalten oder eine gewisse Biegsamkeit erteilen. Es ist sehr merkwürdig, daß die fleischigen Agaveblätter an einem Übermaß von Starrheit zu leiden scheinen, trotzdem sie der biegezugfesten Konstruktionsteile entbehren. Sie erhalten ihre Starrheit in ähnlicher Weise wie der Schlauch einer Feuerspritze, durch den Druck des Wassers, durch den Turgor der Zellen des fleischigen Gewebes, während die starke Epidermis die widerstandsfähige Hülle bildet. Auch den nichtstarken Luftschiffen erteilt man durch das Ballonet in ähnlicher Weise ihre feste Form. Andererseits

sind derartig saftige Pflanzenteile meist sehr lange wachstumsfähig, und bei Agave scheint mir das auch zutreffend zu sein, wenigstens für die Stammteile wird dies von den Autoren mit Nachdruck hervorgehoben (vgl. Pax, Amaryllidaceen, in Engler-Prantl, Pflanzenfam). In diesem Falle trägt die Pflanze durch Anwendung des duktilen Bastes mehr den Bedürfnissen der Gefäße Rechnung. Daß letztere sehr dehnbar, erkennen wir aus ihrem Verhalten bei *Plantago* und *Aspidium*.

Überall, wo wir duktile Stereidenstränge finden, ist es in Pflanzenteilen, die keiner Biegungsfestigkeit bedürfen oder wo sie diese durch andere Einrichtungen, beispielsweise Turgeszenz, erreichen. Das tritt auch hervor bei den Fasern der Hülle der Kokosnuß. Die feste Steinschale hat offenbar kein Bedürfnis, ihre Biegungsfestigkeit durch den äußeren Fasermantel zu erhöhen. Sie hat ganz andere Funktionen auszuüben, ob Erzielung der Schwimmfähigkeit, wie oft behauptet worden ist (Kerner, Pflanzenleben II, pag. 784), oder Schutz gegen mechanische Angriffe¹⁾ von außen während der Entwicklung des Kerns, kann dahingestellt bleiben. Biegungsfestigkeit herzustellen ist nicht die Aufgabe dieser Fasern, und daher können sie auch der typischen Eigenschaften der normalen Stereiden entbehren, um durch ihre Zähigkeit der Pflanze vielleicht größeren Nutzen zu gewähren. Besonders dick ist die Faserhülle an den gefährdeten Keimlöchern der Steinschale am Grunde der Nuß.

Von den in unserer Tabelle (pag. 250) sonst noch aufgeführten Pflanzen mit duktilen Stereidensträngen bleiben noch zu erörtern *Chlorogalum* und *Monstera*. Die Faser der ersten Art, die ich aus dem Museum der Kgl. Landw. Hochschule²⁾ erhielt, entstammt den Zwiebelchalen dieser kalifornischen Liliacee. Daß die Baststränge hier zur Herstellung von biegungsfesten Konstruktionen Anwendung finden, dürfte ausgeschlossen sein und daher die Duktilität derselben erklärlich³⁾. Bei der Blattstielfaser von *Monstera*, welche allerdings nur geringe Duktilität zeigt und getrocknet kaum von normalem Bast zu unterscheiden ist, liegt das nicht so einfach. Der lange Blattstiel trägt die große lederartige Blattspreite und wird daher auf Biegungsfestigkeit erheblich

1) Beispielsweise wird angegeben, daß ein Eichhörnchen (*Sciurus maximus*) Löcher in die Nüsse macht, um die Milch auszusaufen.

2) Durch die Güte des Herrn Geheimrat Wittmack.

3) Man vergleiche hierzu die Abhandlung von Tavel, Die mechanischen Schutzvorrichtungen der Zwiebeln. Ber. d. D. bot. Ges., Bd. V, pag. 438—458. Die Gattung *Chlorogalum* ist zwar nicht untersucht, jedoch werden die biologischen Gesichtspunkte und die Bedeutung der Stereiden eingehend erörtert.

in Anspruch genommen. Von den Blattstielen der Palmen unterscheidet er sich aber durch seine Fleischigkeit. Das saftreiche markartige Grundgewebe des Stiels enthält zerstreute Gefäßbündel, welche anscheinend nach keinem mechanischen Gesichtspunkt für Biegungsfestigkeit verteilt sind. Es scheint hier auch Turgeszenz ähnlich wie bei *Agave* die Biegungsfestigkeit in erster Linie zu beeinflussen. Auch zeigen die Blätter sehr auffallend die Fähigkeit ihre Lichtlage zu verändern, je nach den äußeren Umständen. Diese beiden Gesichtspunkte dürften ausreichen, um das Auftreten schwach duktiler Stränge zu begründen.

Einfluß der Verholzung.

Es ist eine bekannte Tatsache, daß viele Fasern wirklich große Duktilität nur so lange zeigen, als die Membranen mit Wasser imbibiert sind. So zeigt *Agave americana* im frischen wassergesättigten Zustande, wie sie aus dem lebenden Blatte gewonnen ist, nach Schwendener 20—30 % Dehnbarkeit. Trocken dagegen reduziert sich diese auf ca. 6 %. Bei *Clematis* sinkt die Duktilität von 14—18 % im feuchten Zustande auf 3,3—3,4 %, falls sie ausgetrocknet ist (vgl. Tabelle pag. 250). Auch für die Elastizität ist von Schwendener und v. Weinzierl ähnliches gefunden worden; auch der normale Bast ist dehnbarer (innerhalb der Elastizitätsgrenze) so lange er frisch und wasserhaltig ist.

Nur wenige von den bisher bekannten duktilen Fasern behalten auch im trockenen Zustande ihre gewaltige Duktilität, nämlich Kokos- sowie einige als „Piassave“ bezeichnete Fasern (*Caryota*, *Borassus*, *Arenga*, *Dictyosperma*, *Attalea*) und diese sind sehr stark verholzt. Sie übertreffen selbst die meisten Hölzer durch ihren Gehalt an inkrustierenden Substanzen. Nach meinen früheren makrochemischen Bestimmungen beträgt derselbe bei Kokosfaser 58,4 %, bei *Caryota* 59,1. Es liegt nahe, anzunehmen, daß hier die Inkrustierung gewissermaßen die Rolle einer nicht durch Austrocknen verschwindenden Durchtränkung spielt, so daß die Faser auch im lufttrockenen Zustande die Fähigkeit behält, sich geschmeidig ausdehnen zu lassen.

Die Agavefaser mit 46 % Inkrustierung verliert trotz dieser bedeutenden Mengen von inkrustierenden Substanzen beim Trocknen sehr viel von ihrer Dehnbarkeit. Es bliebe noch festzustellen, wie groß die Duktilität der frischen, wasserhaltigen Faser von *Cocos* und *Caryota* ist. Durch bloßes Anfeuchten läßt sich allerdings kein ganz sicherer Maßstab finden, denn durch einmaliges Austrocknen können die Eigenschaften der Faser dauernd verändert sein. Es müssen also an Ort

und Stelle an frischem Material Versuche gemacht werden. Danach könnte man den Verlust an Duktilität bei Caryota und Cocos beurteilen und mit dem von Agave vergleichen. Immerhin ist aber doch die Menge der Verholzungssubstanz bei diesen letztgenannten zwei Fasern mehr als 10% größer und besteht die ganze Faser zu fast zwei Dritteln aus dieser Inkrustierung, während die Zellulose ganz zurücktritt. Es wäre wunderbar, wenn dadurch keine Veränderung der physikalischen Eigenschaften der Zellwände erzeugt würde. Wasser nehmen die Fasern bei ihrer Sättigung bis zu 50% auf, wie Wiesner (Rohstoffe d. Pflanzenreiches, II. Aufl., Bd. II, pag. 181) angibt.

Ich habe einige Versuche angestellt, um die Wirkung des Anfeuchtens zu erproben. Eine Agavefaser erlangte durch Anfeuchten (24 Stunden in Wasser) 17,3% Dehnbarkeit gegen 6% trocken.

Dasselbe Verhalten wie die Agavefaser zeigt in sehr auffallender Weise auch die Faser von Leopoldinia Piacaba (aus dem Hamburger botan. Mus.), die sog. Para-Piassave. Während nämlich im lufttrocknen Zustande die Bruchdehnung hier nur bis 3,85% erreicht, steigt sie im wassergesättigten Zustande auf die enorme Höhe von 26,5%. Auch diese Faser ist nicht so stark inkrustiert wie Caryota. Das geht schon daraus hervor, daß ihre Membranen unter dem Mikroskop fast rein weiß erscheinen, im Gegensatz zu Caryota. Die braune Farbe, welche die Para-Piassave makroskopisch zeigt, ist durch den Zellinhalt verursacht. Zu den Verholzungsreagentien verhält sie sich wie Agave.

Eine Caryotafaser, welche ebenfalls 24 Stunden in Wasser gelegen, zeigte 19% Dehnbarkeit, während trockene Fasern nicht selten 27% erreichen. Hier ist also keine Erhöhung durch die Quellung erreicht, während bei der weniger verholzten Agavefaser dieselbe deutlich hervortritt.

Diese noch sehr lückenhaften Versuche sprechen dafür, daß starke Verholzung ähnlich der Imbibition mit Wasser eine Erhöhung der Duktilität bewirkt, allerdings nur, wenn sonst die übrigen notwendigen Bedingungen im inneren Bau der Zellelemente Duktilität zulassen.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Flora oder Allgemeine Botanische Zeitung](#)

Jahr/Year: 1909

Band/Volume: [99](#)

Autor(en)/Author(s): Sonntag P.

Artikel/Article: [Kann die Ursache der Duktilität in der chemischen Beschaffenheit der Zellwände liegen? 211-250](#)