

Ueber die Entstehung der Kristallzellreihen mit besonderer Berücksichtigung der Drogenpflanzen.

Von EWALD C. KONSTANTY (Berlin).

A. EINLEITUNG UND HISTORISCHER THEIL.

Bei der anatomischen Untersuchung der Drogen und Drogenpulver spielen die Kristallzellreihen (Kristallkammerfasern) zur Unterscheidung der einzelnen Drogen eine wichtige Rolle. Ich möchte nur daran erinnern, dass für die Drogen *Folia Sennae*, *Radix Liquiritiae* und viele andere das Vorhandensein von Kristallzellreihen mit Einzelkristallen, für *Cortex Granati* mit Kristalldrusen ein Hauptcharakteristicum darstellen.

Namentlich bei Verfälschungen und Verwechslungen können diese Kristallzellreihen neben anderen spezifischen Merkmalen schnell zur Identifizierung eines Drogenpulvers herangezogen werden. Ist zum Beispiel eine gepulverte Rhizomdroge von *Veratrum album* mit *Rhizoma Calami pulvis* verfälscht oder vermennt, so wird in diesem Falle das Vorhandensein von Kristallzellreihen, die *Acorus calamus* eigen sind, sofortige Aufschlüsse geben.

Es erscheint daher geboten, über die Entstehung dieser Kristallanhäufungen Untersuchungen anzustellen, besonders auch aus dem Grunde, weil die Nomenklatur dieser Gewebebildungen durchaus nicht feststeht und der Ausdruck "Kristallkammerfasern" bereits eine entwicklungsgeschichtliche Auffassung festlegt, deren Berechtigung zu prüfen ist. Wenn schon über die einzelnen Calciumoxalat-Zellen, ihre Entstehung und über die Einschlüsse des Oxalates innerhalb der Zelle eine ganze Reihe von eingehenden Arbeiten erschienen ist, so sind die sogenannten "Kristallkammerfasern" immer nur soweit behandelt, dass wohl der Ort der Entstehung ermittelt ist, niemals jedoch die eigentliche Entwicklung aus einer meristematischen Zelle. Ferner liegen keine Untersuchungen vor, aus denen hervorgeht, ob es sich hier um "Fasern" handelt, also ob ähnliche Wachstumsverhältnisse vorliegen wie bei den Sklerenchymfasern, die ja auch Fächerungen durch Bildung von Querwänden aufweisen können.

SANIO (34, 35) hat das Auftreten der Kristalle in Längsreihen zum ersten Male im Jahre 1857 genauer beschrieben und sich über die Entstehung wie folgt geäußert: "Da wo die Kristalle in der Umgebung des primären Bastes vorkommen, findet man sie am häufigsten in den Zellen der Interstitien, welche durch Auseinanderweichen der Bastbündel oder auch einzelner Bastzellen entstehen. Ein Teil dieser Zellen verdickt sich häufig bedeutend, ein anderer Teil bleibt dünnwandig und führt Kristalle, wie es scheint, gewöhnlich einen Kristall für jede Zelle. Ferner beobachtet man auch Längsreihen von Kristallen, welche die primären Bastbündel begleiten wie z.B. bei *Fagus sylvatica* und *Aesculus hippocastanum*. Im ganzen genommen sind diese ungleich seltener als bei den sekundären Bastbündeln, sodass man zuweilen lange danach suchen muss. Die Kristalle, welche in solchen Längsreihen vorkommen, sind zuweilen sehr kümmerlich ausgebildet. In der sekundären Rinde kommen die Kristalle auf mehrfache Weise angeordnet vor. Entweder begleiten sie ausschliesslich die Bastbündel in Längsreihen (z.B. *Quercus pedunculata*) oder sie kommen sowohl in der Umgebung des Bastes, als auch unabhängig davon in zerstreuten Längsreihen vor oder sie sind ganz unabhängig vom Baste und kommen dann entweder in Längsreihen oder ungeordnet vor."

Er fährt dann fort: "Die Zellen, in welchen die in der sekundären Rinde vorkommenden Kristalle eingeschlossen sind, zeigen mit Ausnahme derer, welche die in Längsreihen angeordneten Kristalle enthalten, nichts besonderes Bemerkenswertes, letztere dagegen verdienen eine nähere Besprechung. Bei Längsschnitten be-

obachtet man, dass die Kristalle unter diesen Umständen in kubischen Zellen vorkommen, welche manchmal wie ein Netzwerk die Bastbündel umstricken. Mazeriert man aber den betreffenden Pflanzenteil mit chlorsaurem Kali und Salpetersäure und isoliert die Zellen, so erfährt man, dass jene kuboidischen Zellen kein für sich abgeschlossenes Ganzes bilden, sondern nur Tochterzellen einer grösseren bastähnlichen Zelle sind. So auffällig dies nun anfangs scheint, so leicht erklärt es sich, wenn man die Entstehungsweise der sekundären Rinde aus dem Gefässbündelkambium näher betrachtet."

SANIO führt nun die Entstehung der einzelnen Elemente des Holz- sowie Siebteils aus der Kambiumzelle an und sagt dann weiter: "Teilt sich die Kambiumzelle ferner in zylindrische Zellen, so entsteht das gewöhnliche Rindenparenchym, teilt sie sich in kurze Zellen, so erhalten wir die beschriebenen kristallführenden Zellen".

Seiner Meinung schliessen sich noch eine ganze Reihe von Forschern an. HARTIG (16) hat besonders an vielen Leguminosen das Auftreten der Kristallzellreihen beobachtet und von ihm stammt auch der terminus technicus: "Kristallfaser". Er stellte schon fest, dass die Kammern kleiner wären als die Zellen der Schicht- und Zellfasern, sodass die Wandungen sich dicht an die Kristalle anlegten. Nach seiner Ansicht geht die Kristallfaser aus einer Holzfaser hervor. Die Querwände werden "durch Abschnürung eines zweiten inneren Ablagerungskomplexes" gebildet. Dies letztere geschieht nun früher oder später. "Geschieht es im früheren Kambialzustande der Holzfaser, ehe noch Celluloseschichten zwischen den Häuten der primitiven Zellwand sich ausbilden konnten, dann bleibt von letzterer nur noch der häutige Bestand als gemeinschaftlicher Überzug aller aus ein und derselben Faser entstandenen Zellen. Findet hingegen die Abschnürung der sekundären Zellwand zu inneren Zellen erst dann statt, wenn zwischen den Häuten der primitiven Zellwand Celluloseschichten bereits entstanden sind, dann erkennt man im Umfang der Einzelzellen eine ziemlich dicke, gemeinsame Faserwand." DE BARYs (1) Auffassung über die Entstehung dieser Kristallzellreihen lehnt sich an die SANIOs an. Er sagt jedoch, dass diese Kristallfasern nur den Baststrängen dikotyler Gewächse eigen wären, und ihr Ursprung in einer Kambiumzelle zu suchen sei. Er gibt zu, dass auch einzelne Querteilungsprodukte der Kambiumzelle zu Kristallbehältern werden können, macht dieses aber von der Kleinheit der Einzelkristalle bzw. der Drusen abhängig. "Auch bei Pflanzen mit kleinen Einzelkristallen oder Drusen mögen öfters nur einzelne Querteilungsprodukte sich zum Kristallbehälter ausbilden." Die Fächerung einer Kambiumzelle soll bei vielen Holzgewächsen 30 - 30 Kammern ergeben, ohne dass dabei der Gesamtumriss der ursprünglichen Kambiumzelle verändert wird. Für manche Gruppen ist das Auftreten von gekammerten Kristallschläuchen mit klinorhombischen Kristallen charakteristisch, namentlich, wenn sie in Begleitung der Bastfasern auftreten. "Drusen kommen öfter ausschliesslich und massenhaft vor bei Abwesenheit von Fasern, bei *Punica*, *Ribes* usw."

In TSCHIRSCHs Pflanzenanatomie (48) findet man zuerst den Ausdruck "Kristallkammerfaser" anstelle der bisher genannten Kristallfasern oder Kristallschläuche der anderen Autoren. Es wird hier betont, dass die aus einer Kambiumzelle entstandene "Kristallkammerfaser" sich oft wie eine gekammerte Faser in toto isolieren lässt, und dass diese Kristallzellreihen Begleiter der Gefässbündel und Bastgruppen nicht nur der Stengel, sondern auch der Blätter und anderer Pflanzenorgane seien.

In ähnlichem Sinne äussert sich auch HABERLANDT (15) hierüber: "In der sekundären Rinde vieler Holzgewächse kommt die Reihenbildung dadurch zustande, dass je eine Kambiumzelle durch Querwände in eine Anzahl Kammern zerlegt wird, von denen jede einen Einzelkristall oder eine Druse enthält. Solche Kristallfasern, wie sie HARTIG (16) genannt, können aus einigen, aber auch aus 20 - 30 Kammern bestehen."

In gleichem Sinne äussert sich auch FRANK (11) über die Entstehung der Kristallreihen; er sagt nämlich bei der Beschreibung des Bastgewebes: "Gewöhnlich liegen an den äusseren und inneren Seiten der Bastfasergruppen vertikale Reihen von ungefähr kubischen Parenchymzellen, welche einseitig und zwar an der der Bastfasergruppe anliegenden Seite stark verdickt sind und von denen jede in der Regel mit einer Kristalldruse oder einem einzigen, unvollständig ausgebildeten Kristalle

von oxalsaurem Kalk fast völlig ausgefüllt ist. Diese Vertikalreihen parenchymatischer Zellen entstehen jedenfalls durch Teilung ursprünglicher Prosenchymzellen, denn man findet bei der Mazeration häufig die konischen, das Ende der prosenchymatischen Mutterzellen bezeichnenden Schlusszellen derselben". Eine ähnliche Auffassung wie FRANK hat VESQUE (50, 51), der in seinen Ausführungen ausdrücklich erwähnt, dass eine derartige Reihe in ihrer Höhe einer Kambiumzelle gleicht, und dass trotz Ausbildung nur dünner Wände Ähnlichkeit mit Fasern besteht. VESQUE macht dann dem Aussehen der Kristallzellen nach Unterschiede, je nachdem einfache Teilungen senkrecht zur Wand der Kambiumzelle vorkommen oder ob neben den horizontalen Scheidewänden nochmals vertikal-radiale Wände angelegt werden.

Eine vorsichtiger Erklärung, aus der man nicht ersehen kann, ob es sich bei den Kristallkammerfasern um Parenchym oder echte Fasern handelt, gibt KOCH (20). Die betreffende Stelle möchte ich hier wiedergeben: "Die Kristallkammerfasern sind Bestandteile der Innenrinde mancher, jedoch nicht aller Rindendrogen. Es handelt sich hier um dünnwandige Zellen, die im Verlauf der Entwicklung des Gefässbündels eine bedeutende Streckung in der Längsrichtung erfahren haben und zwar unter mehr oder minder scharfer Zuspitzung. Die Umrisse sind somit faserähnlich, kaum aber der Zelloharakter, der mehr parenchymatisch ist. Letzteres besonders deshalb, weil durch Querfächerung mittels dünner Wände - sie entsprechen in Bezug hierauf der dünnen Aussenwand - die Zelle in eine sehr grosse Anzahl von Kammern von unter sich parenchymatischer Beschaffenheit zerfällt. Jede dieser Kammern enthält einen Kristall von Calciumoxalat, der sie so ziemlich ausfüllt." Hieraus ist ohne weiteres zu schliessen, dass die grosse Anzahl der hinter einander gereihten Kristallzellen aus einer Mutterzelle entstanden, und dass eben der Streckung dieser Mutterzelle die grosse Zahl der Tochterzellen zu verdanken ist.

KARSTEN-OLTMANN'S (17) äussern sich über die Entstehung wie folgt: "Die fraglichen Zellen (Kristallzellen) sind in vertikalen Reihen angeordnet und entstehen durch Querteilung von Faserzellen." Ebenso sagt ROTHERT (33), dass eine faserförmige Mutterzelle durch Querteilungen in Kammern zerlegt "Längsreihen von kurzen Kristallzellen" bildet. MOEBIUS (23) und GILG (14) sehen ebenfalls den Entstehungsort im Kambium. Aber GILG (14) bringt zu der bisherigen Ansicht ein neues beachtenswertes Moment, das ich durch meine Untersuchungen bestätigt fand. Er erkennt richtig, dass die regelmässigen Kristallzellzüge aus mehreren Mutterzellen entstanden sind.

In STRASBURGER-KOERNICKE'S Praktikum (45) findet sich bei der Anatomie von *Pinus silvestris* die Bemerkung: "Die kristallführenden Schläuche des Bastes stossen vorwiegend mit geraden Querwänden auf einander und sind augenscheinlich durch quere Teilung der Kambiumzelle entstanden."

MÖLLER (24) schreibt, dass sich die Kammerfasern aus den die Faserbündel unmittelbar umlagernden Parenchymfasern bilden. "Die Teilung der Parenchymfasern in Kristallkammern erfolgt zumeist durch horizontale, selten auch durch vertikale Membranbildung. Mit der Ausscheidung der Kristalle scheint das Wachstum der Zellen abgeschlossen zu sein, wie aus dem Umstande geschlossen werden dürfte, dass sowohl isolierte Kristallzellen als auch Kammerfasern in der Regel kleinere Dimensionen zeigen als das umgebende Parenchym." MÖLLER sieht also die Entstehung der Kristallzellreihen nicht im Cambium, sondern in dem die Bastbündel umgebenden Parenchym. Er nennt auch jede reihenweise Anordnung von Kristallen, sowohl in der primären als auch sekundären Rinde, Kammerfasern, was besonders durch die Ausdrucksweise: "die Kristallzellen bilden kurze oder längere Kammerfasern" gekennzeichnet wird.

Dass es sich bei den Kristallzellreihen um parenchymatische Zellen handelt, wird von SAUPE (36), der speziell die Leguminosen untersucht hat, berichtet. Auffällig erscheint ihm jedoch, dass die aneinander gereihten Kristallzellen der Länge der Kambiumzellen entsprechen. BERG (2), WIEGAND (53) und N.I.C.MÜLLER (25) sprechen von parenchymatischem Gewebe, DIPPEL (6) rechnet die Kristallreihen zum Parenchym, das durch Teilung von Kambiumzellen entstanden ist. "In älterem Bastparenchym, welches aus reihenweise angeordneten Zellen besteht, finden sich in letzteren fast bei allen von mir untersuchten Holzpflanzen ein oder mehrere Kri-

stalle oder einzelne Drusen oxalsauren Kalkes, welche dem monosymmetrischen oder schiefrhombischen System angehören." Bei der Erklärung seiner Zeichnungen findet man für die Kristallreihen immer die Bezeichnung Kristallparenchym. WILHELM (54) gibt an einer Stelle seiner Untersuchungen an, dass die Kristallkammern durch Querteilungen von Strangparenchym entstanden sind, an einer anderen erwähnt er, dass sie durch Querteilung aus Rindenparenchym hervorgingen. SCHACHT (39) spricht in seiner Anatomie von Längsreihen von Kristallen, die die Bastbündel umgeben und macht ferner darauf aufmerksam, dass auch Blattstiele, ja selbst Gefässbündel, derartige Zellreihen in ihrer Nähe haben. Ebenso nennt FLÜCKIGER (9) in seiner Anatomie der Drogen die Kristallzellreihen kristallführendes Parenchym.

Mit der Entstehung der Kristallzellreihen in den Blättern hat man sich weniger oder garnicht befasst. Man findet wohl Angaben über die reihenweise Anordnung der Kristalle, aber nichts über die Entstehung und ihren Ursprung. N.J.C.MÜLLER (25) hebt hervor, dass auch in der Nähe der leitenden Gewebe der Blattstiele Kristallreihen vorkommen. Auch DE BARY (1), FRANK (10), HABERLANDT (15) und andere Forscher erwähnen die reihenweise Anordnung von Calciumoxalat-Kristallen im Parenchym der Blattstiele und Blattrippen. BORODIN (3) hat speziell Blätter von Leguminosen und Rosaceen untersucht und gefunden, dass die Kristalle kleinrhombisch, hantelförmig und immer längs der Blattrippen angeordnet sind. Hier bilden sie oft eine Kristallschicht, die die faserförmigen Teile fast völlig umschliesst. Bei seinen weiteren Untersuchungen konnte er feststellen, dass nicht alle Papilionaten eine derartige Kristallanordnung besitzen, und dass eine Abweichung in der Form der Kristalle des Blattparenchyms und des Parenchyms der Blattnerven sehr häufig sei. Nach PERROT und GERAD (28) haben bei den Leguminosen die Kalkoxalatkristalle in der Nähe der Blattnerven ihren bevorzugten Sitz.

Über die Kristallzellreihen in den Wurzeln schreibt PETERSEN (29), der speziell Wurzeln der Papilionaten untersucht hat: "Die Kristalle erscheinen oft schon als kleine kurze Körperchen, während die sie beherbergenden Zellen noch ganz kurz sind und wachsen dann in die Länge mit der Streckung der Zellen. Bisweilen geht jedoch das Wachstum der Kristalle der Streckung der Zellen voraus, sodass jene dann in den auf dem Längsschnitt rechteckigen in der Richtung der Wurzeln gestreckten Zellen mehr oder weniger diagonal angeordnet sind. Diese Kristalle-führenden Zellen bleiben übrigens in vielen Fällen kürzer als benachbarte kristallfreie. - Es finden sich immer parallel verlaufende, bald kürzere, bald längere, bald wenig, bald wiederum weiter von einander entfernte, mit Kristallen versehene Zellreihen, während die übrigen Zellen keine Kristalle enthalten.

ONKEN (27) hat in seiner Arbeit: "Über die Bedeutung des Calciums im Leben der Pflanzen" bereits darauf hingewiesen, dass Meinungsverschiedenheiten über den Ort der Entstehung der Kristallzellreihen bestünden, dass von den einen das Cambium, von den anderen dagegen parenchymatische Rindenzellen als Bildungsstelle der Reihen angesehen würden. Jedoch enthält sich ONKEN jeder weiteren Kritik hierüber und entscheidet sich für keine der beiden Ansichten.

Es lag nun daran zu untersuchen, ob es sich bei den sogenannten Kristallkammerfasern um echte Fasern, ähnlich den Sklerenchymfasern handelte, namentlich in Bezug auf das Wachstum, oder ob rein parenchymatisches Gewebe vorlag. Ferner galt es nach dem Entwicklungsgang der Kristallzellreihen aus den in der Literatur sich findenden Ausdrücken: Kristallreihen, Kristalle in Reihen, Kristallkammern, Kristallfasern und Kristallkammerfasern den geeignetesten auszuwählen und eine einheitliche Nomenklatur zu finden. Schliesslich musste untersucht werden, in welchen Gewebeteilen sich derartige Kristallanhäufungen finden, und ob nur das Kambium mit seinen lang gestreckten Zellen den Ausgangspunkt für derartige Kristallzellreihen bildet, zumal TSCHIRSCH (49) auch bei *Rhizoma Calami*, SOLEREDER (44) und MÖLLER (24) bei reihenweiser Anordnung von Kristallzellen, die offensichtlich ihren Ursprung dem Kambium nicht verdanken können, von "Kristallkammerfasern" sprechen.

B. SPEZIELLER TEIL.

1. TECHNISCHES.

Als Material für die Untersuchungen dienten frische Pflanzenteile aus dem Botanischen Garten zu Berlin-Dahlem. Die Objekte wurden in absolutem Alkohol fixiert und dann in Paraffin von 52° Schmelzpunkt eingebettet. Die Mikrotomschnitte wurden in einer Dicke von 7,5 bis 15 μ angefertigt. Bei ihrer Herstellung musste besonders genau darauf geachtet werden, dass die Radialschnitte genau radial und die Tangentialschnitte genau tangential angefertigt wurden, auch dass die Schnitte möglichst parallel zur Pflanzenaxe verliefen, da sonst Bilder entstanden, die den wahren Tatsachen nicht entsprachen und man dadurch zu falschen Schlüssen verleitet werden konnte. Die Schnitte wurden zuerst mit Haematoxylinlösung nach DELAFIELD gefärbt. Bei der späteren Untersuchung konnten, obwohl die Objekte in frischem Zustande Kristalle aufwiesen, diese nicht mehr beobachtet werden. Da die DELAFIELDSche Haematoxylinlösung bezogen war, lag der Gedanke nahe, dass die Lösung mit einer Säure, in der die Calciumoxalat-Kristalle löslich sind, angesäuert war. Bei der Untersuchung stellte sich dann heraus, dass Salzsäure in der Lösung vorhanden war. Ich stellte selbst eine Lösung von Haematoxylin her und differenzierte mit Eisenalaun. Hierbei war jedoch zu beachten, dass die Eisenalaunlösung nicht zu stark angefertigt wurde, denn zu starke Eisenalaunlösung löst, wie ich feststellen konnte, Calciumoxalat sehr leicht. Diese Beobachtung konnte ich durch Versuche mit frisch gefälltem Calciumoxalat beweisen. Auch die mikrochemischen Reaktionen zeigten, dass durch eine zu starke Eisenalaunlösung Calciumoxalat-Kristalle ganz allmählig gelöst wurden. So beobachtete ich, dass die Kristalle in der Rinde von *Punica granatum* selbst bei sehr dicken Schnitten schon nach 1 1/2 stündiger Einwirkung einer 20 prozentigen Eisenalaunlösung völlig verschwunden waren. Um derartigen Veränderungen bei den Objekten vorzubeugen, wurde Haematoxylinlösung nach EHRLICH verwandt, daneben aber auch eine Haematoxylin-Safraninlösung nach PLOWMANN, um eine gute Färbung der verholzten Teile zu erzielen.

Zur Feststellung der Kristalle und der Entwicklungszustände der Kristalle wurde das Polarisationsmikroskop verwendet.

Zu meinen Untersuchungen habe ich folgende Pflanzen verwendet:

a) für die Untersuchungen der Rinde:

<i>Fagaceae</i>	<i>Fagus silvatica</i> L.
	<i>Quercus robur</i> L.
<i>Rosaceae</i>	<i>Rosa canina</i> L.
<i>Leguminosae</i>	<i>Tamarindus indica</i> L. (<i>T. officinalis</i> Hook).
	<i>Ceratonia siliqua</i> L.
	<i>Trigonella foenum graecum</i> L.
	<i>Melilotus officinalis</i> Lam.
	<i>Glycyrrhiza glabra</i> L. (<i>Liquiritia officinalis</i> Pers.)
	<i>Gl. echinata</i> L.
<i>Rutaceae</i>	<i>Citrus aurantium</i> Risso (<i>C. sinensis</i> Pers.)
<i>Rhamnaceae</i>	<i>Rhamnus purshiana</i> D.C.
<i>Punicaceae</i>	<i>Punica granatum</i> L.
<i>Myrtaceae</i>	<i>Eucalyptus globulus</i> Lab.

b) für die Untersuchungen der Blätter:

<i>Juglandaceae</i>	<i>Juglans regia</i> L.
<i>Leguminosae</i>	<i>Cassia tomentosa</i>
<i>Rutaceae</i>	<i>Citrus aurantium</i> Risso (<i>C. sinensis</i> Pers.)
<i>Myrtaceae</i>	<i>Eucalyptus globulus</i> Lab.
<i>Ericaceae</i>	<i>Arctostaphylos uva ursi</i> Sprengel.

c) für die Untersuchungen der Rhizome und Wurzeln:

<i>Araceae</i>	<i>Agrostis calamus</i> L.
<i>Leguminosae</i>	<i>Ononis spinosa</i> L.
	<i>Glycyrrhiza echinata</i> L.

2. ÜBERSICHT ÜBER DAS VORKOMMEN DER KRISTALLZELLREIHEN.

Die Kristallzellreihen findet man am häufigsten als Begleiter der Bastfasern sowohl in der primären als auch sekundären Rinde, in Wurzeln und Rhizomen. Auch in der Nähe der Leitstränge von Blättern sind sie häufig. Es ist jedoch damit nicht immer gesagt, dass, sobald in der primären Rinde Längsreihen von Kristallen auftreten, auch unbedingt in der sekundären Rinde derartige Kristallansammlungen vorhanden sein müssen, und ebenso ist die Kristallzellreihenbildung unabhängig von dem Vorhanden- oder Nichtvorhandensein von Kristallen in der primären Rinde. Bei vielen Pflanzen hat man nur Kristallreihen in der primären Rinde, während die sekundäre Rinde nur vereinzelt Kristalle beherbergt. Bei anderen Pflanzen beschränkt sich der Kristallzellreihen-Reichtum lediglich auf die sekundäre Rinde. Vielfach kann man auch beobachten, dass die Kristalle des Grundgewebes eine andere Form haben als die Kristalle der Bastgewebe. Bei meinen Untersuchungen konnte ich dann auch feststellen, dass auch ganz unabhängig vom Bast Kristallreihen vorkommen, und auch das Mark und die Markscheide reich an Kristallreihen sein können. In der Nähe von Steinzellgruppen, in Begleitung der Gefässbündel, des Siebteiles und schliesslich vielfach ohne jede Anlehnung an ein besonderes Gewebe trifft man derartige Kristallzellreihen an. Diese Kristallreihen können nun einzeln auftreten, zu mehreren neben- oder hintereinander oder sie können den Raum zwischen den Rindenmarkstrahlen völlig ausfüllen.

Die Bastbündel sind oft völlig von einem Netz oder besser Mantel von Kristallzellen umgeben. Bei den primären Bastfasern beschränkt sich der Kristallreichtum vielfach nur auf die Aussenseite des Bastbündels. Diese spezielle Lagerung der Kristallzellreihen kann so weit gehen, dass für viele Gattungen die konstante Umhüllung der Bastfaserbündel mit Kristallzellen charakteristisch wird. Bei manchen Pflanzen kommen in dem sekundären Teil der Rinde und des Holzes nur spärlich Kristallreihen vor, bei anderen können sie aber in solchen Mengen auftreten, dass, wie SAUPE (36) sagt, das "Parenchym ohne Kristalle völlig verschwindet". Vielfach kann man auf dem Querschnitt die Kristallreihen sehr verstreut liegen sehen, mitunter aber in konzentrische Zonen geordnet, die mit kristallfreiem Parenchym abwechseln. Im Holzteil finden sich die Kristallzellreihen seltener, und KOHL (22) erwähnt schon, dass nur einige besonderen Reichtum an Calciumoxalat im Hadrom aufweisen.

Die Kristallreihen verlaufen meist parallel den Gefässbündelsträngen, also stets in der Wachstumsrichtung der betreffenden Pflanze. Wenn dies in der primären Rinde auch beobachtet werden konnte, so zeigen die Reihen, vorausgesetzt, dass sie nicht aus langgestreckten Mutterzellen entstanden sind, doch nicht jene gerade starre Form, wie in vielen sekundären Rinden.

An Kristallen kommen in den Kristallzellen Einzelkristalle und Drusen vor, daneben sind Zwillingskristalle, die flach V-förmig oder stäbchenförmig zusammengesetzt sind, nicht selten. Die Einzelkristalle sind Rhomboeder oder Prismen, seltener sind Drusen vorhanden und zwar herrschen Zellreihen mit Einzelkristallen als Begleiter des Sklerenchyms vor. Drusen findet man häufig in solchen Reihen, die nicht an den Bast gelehnt sind, oder wo Bastgewebe überhaupt nicht auftritt. Man kann auch beobachten, was viele Forscher schon festgestellt haben, dass die Einzelkristalle der Kristallzellreihen oft nicht vollständig ausgebildet sind, während die Drusen immer gut kristallisiert erscheinen. Eine Beziehung zwischen Kristallform und Bast oder dem Gewebe, das von den Kristallzellreihen umgeben wird, besteht nicht.

3. EIGENE UNTERSUCHUNGEN.

a) Untersuchungen an Stammrinden.

Fagus sylvatica L.

Kristallzellreihen finden sich hier sowohl in der primären Rinde als auch im Mark. SANIO (34, 35) hat diese Kristallzellreihen beschrieben, und auch eine grössere Anzahl Autoren erwähnen sie bei der Besprechung der Anatomie der Rinde.

Bei einem radialen Längsschnitt durch die Rinde eines über zwei Jahre alten Zweiges erblickt man aussen dickwandige flache Korkzellen, daran schliesst sich in wenigen Schichten der kollenchymatische Teil der primären Rinde. Der innere Teil dieser Rinde zeigt grosszelliges Parenchym, das durch Bastfasern und Stein-

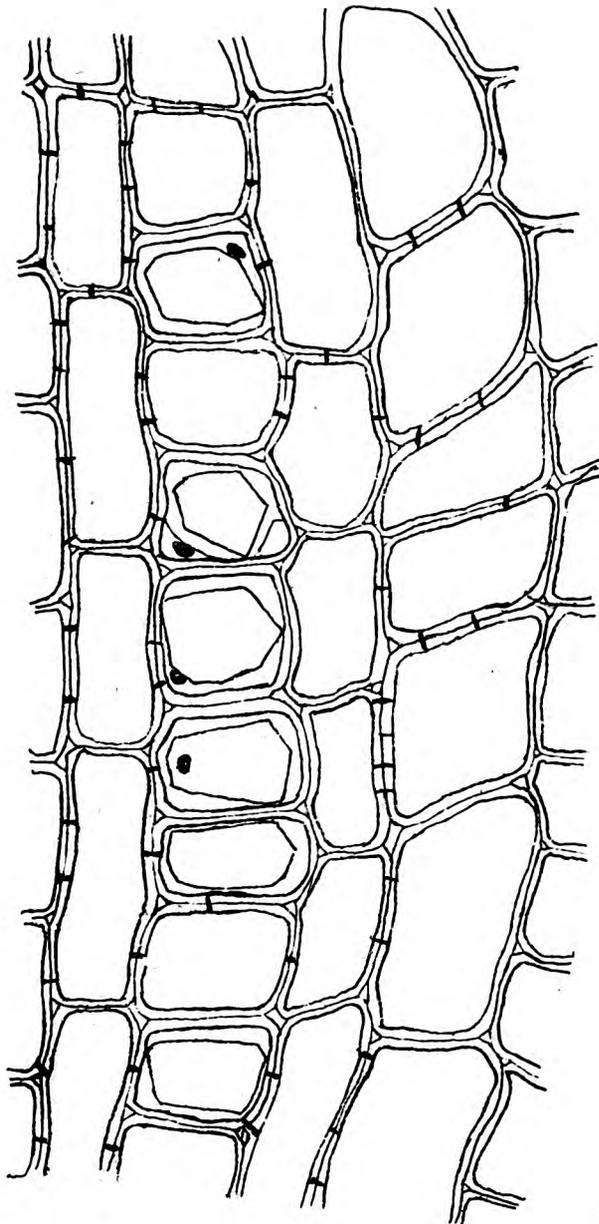


Fig. 1.

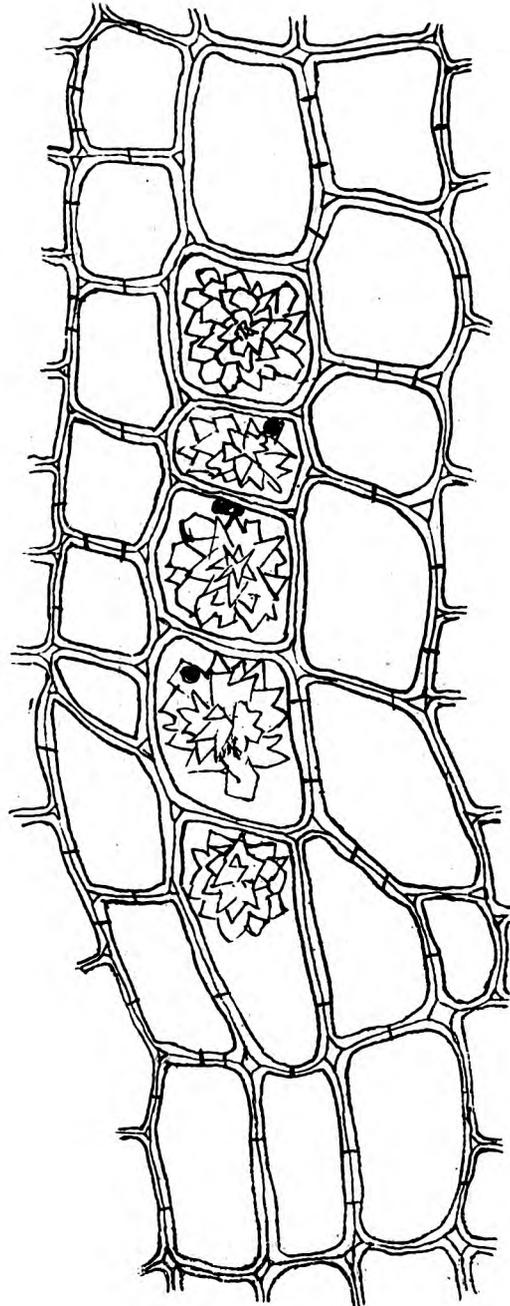


Fig. 2.

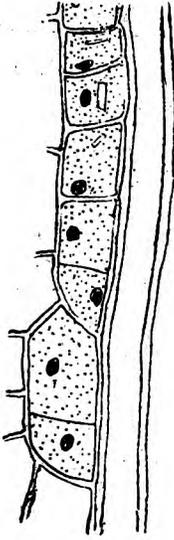


Fig. 4.

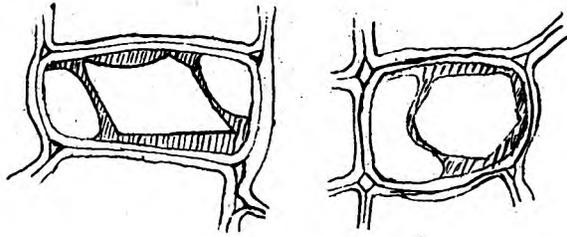


Fig. 3.

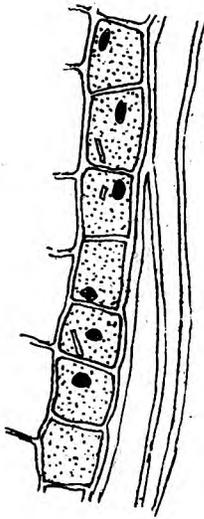


Fig. 5.

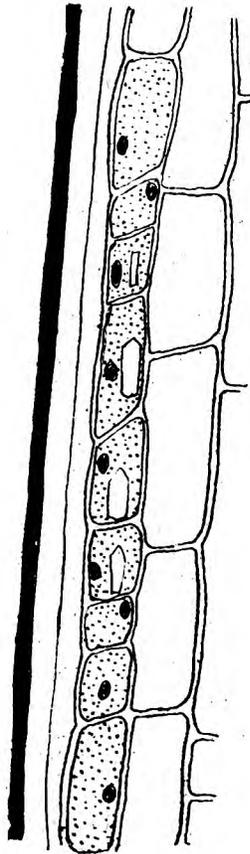


Fig. 6.

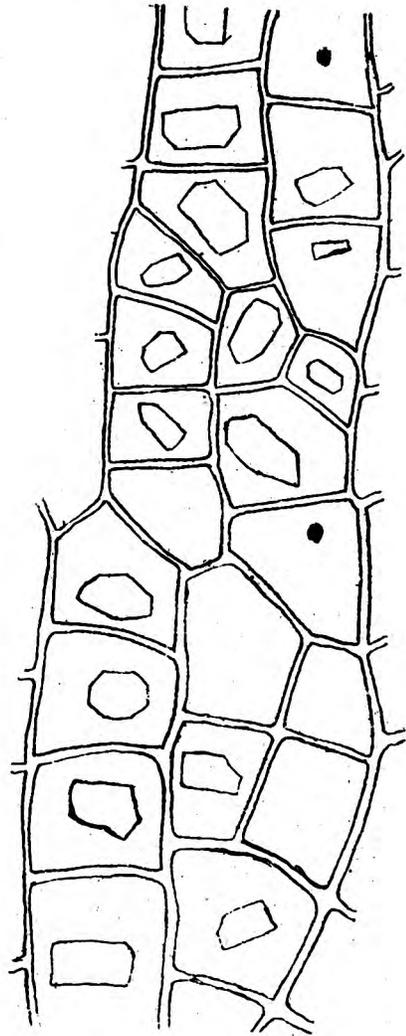


Fig. 7.

zellen des gemischten mechanischen Ringes gegen die sekundäre Rinde abgegrenzt wird. In der sekundären Rinde sind keine Bastfasern vorhanden, sondern Nester von Steinzellen. Die Kristallreihen liegen nun mitunter in mehreren Schichten auf der äusseren Seite des Sklerenchymringes. Diese Reihen sind entstanden durch Einlagerung von Kristallen in die an die Bastfasern bzw. die Steinzellnester grenzenden Zellen, die mitunter auch vor der Kristallablagerung eine einfache Teilung eingehen. Die Zellen sind von quadratischer bis rechteckiger Form. Teilungsverhältnisse, wie man sie in vielen sekundären Rinden, bei denen langgestreckte Zellen in eine grosse Anzahl kleiner Zellen geteilt werden, beobachten kann, liegen nicht vor. Genau so verhält es sich mit den Kristallreihen im Mark. Während sich in der primären Rinde in der Nähe des Bastes Einzelkristalle befanden, treten im letzteren Gewebe Drusen und Einzelkristalle in Reihen auf. Festgestellt konnte hier werden, dass in einer solchen Reihe nur eine Art von Kristallen vorherrscht, also nur Drusen oder Einzelkristalle. Sehr gut liessen sich die Taschen, in denen die Einzelkristalle sassen, feststellen. Teilweise gaben die Schichten um die Einzelkristalle eine mehr oder weniger starke Ligninreaktion. Fig. 1 und 2 zeigen solche Reihen aus dem Markgewebe, Fig. 3 die Kristalle mit den Zellulose-taschen.

Quercus robur L.

In der primären Rinde sowohl wie in der sekundären finden sich Kristallzellreihen, deren Zellen in der primären Rinde in Anlehnung an den Sklerenchymring Einzelkristalle führen, in der sekundären Rinde in Anlehnung an die mechanischen Elemente ebenfalls meist Einzelkristalle.

Jedoch kommen auch, unabhängig von den Sklerenchymfasern, Drusen in Reihen vor. In der primären Rinde kann man, wie Fig. 4 es zeigt, teils quadratische, teils gestreckte Zellen beobachten. Diese letzteren teilen sich vor der Kristallbildung, während die anderen Zellen ohne vorherige Teilung zur Kristallablagerung schreiten. Fig. 5 stellt kleine Kristalle in der Entwicklung dar, die bei Fig. 6 unter gleichzeitiger Zellvergrösserung weiter herangewachsen sind. Auf dem Tangentialschnitt erscheinen diese Kristallreihen nicht immer so reihenweis geordnet, wie man es auf dem Radialschnitt beobachten kann. Fig. 7 veranschaulicht den Kristallbelag der Bastfasern eines älteren Zweiges aus der primären Rinde. Während man im Radialschnitt die sogenannten "Kristallkammerfasern" der sekundären Rinde meist ohne Zuspitzung in langen Reihen hinter einander liegen sieht, erkennt man im Tangentialschnitt zugespitzte Formen, die Fasern ähnlich sehen. Verfolgt man nun die Entstehung dieser Reihen, so findet man in der kambialen Zone die ersten Teilungsvorgänge für die Kristallzellreihen. Auf dem Tangentialschnitt erscheinen diese Zellen zugespitzt. Diese Mutterzellen teilen sich zunächst in zwei Tochterzellen, wobei die Wände meist so angelegt werden, dass die Tochterzellen ungefähr gleich gross erscheinen. Die beiden Zellen können dann noch weitere Teilungen eingehen, sodass man Bilder erhält, wie sie Fig. 9 und 10 veranschaulichen. Sowohl bei den Reihen, die Einzelkristalle als auch Drusen führten, konnte beobachtet werden, dass nur ein Teil der Mutterzellen sich aufgeteilt und Kristalle ausgebildet hatte, während der übrige Teil zu Parenchym geworden war. Dies zeigt auch Fig. 8 bei a. Fig. 9 stellt eine Kristallzellreihe vor, die durch ganz regelmässige Teilung in acht Tochterzellen aufgeteilt ist. Besonders sei bemerkt, dass erst nach Ausbildung einer Wand Kristalle angelegt werden, und dass nach Beginn der Kristallbildung die betreffende Zelle ihre Teilungen einstellt. Es gehen auch mehrere über einander liegende Mutterzellen derartige Teilungen ein, sodass man im Radialschnitt einen grösseren Verband von hinter einander geordneten Kristallzellen erhält, ohne die einzelnen Grenzen der Mutterzellen erkennen zu können. Im Tangentialschnitt, wie Fig. 8 es veranschaulicht, treten die Mutterzellen, aus denen eine Reihe entstanden ist, deutlich zutage. Sie erscheinen hier mit zugespitzten Endzellen. Vergleicht man aber das sie begleitende Parenchym, so kann man ohne weiteres ersehen, dass sowohl die äussere Form als auch die Grösse der Parenchymzellreihe in keiner Weise von der der Kristallzellreihen abweicht. Es handelt

sich hier also nicht um faserartige Gebilde, die sowohl auf dem Tangential- als auch Radialschnitt zugespitzt erscheinen müssen, sondern um Zellformen, die der cambialen Ursprungszelle ähneln.

Weit geringer sind die Kristallzellreihen im Holzteil, die Einzelkristalle führen. Ihre Entstehung geht genau so vor sich wie in der Rinde. Im Mark findet man Einzelkristalle in Reihen, daneben kommen aber auch Drusen vor. Diese Zellreihen entstehen durch Einlagerung von Kristallen in die reihenweise gelagerten fast quadratischen, seltener etwas rechteckigen Markzellen, ohne dass diese besondere Teilungsverhältnisse aufweisen.

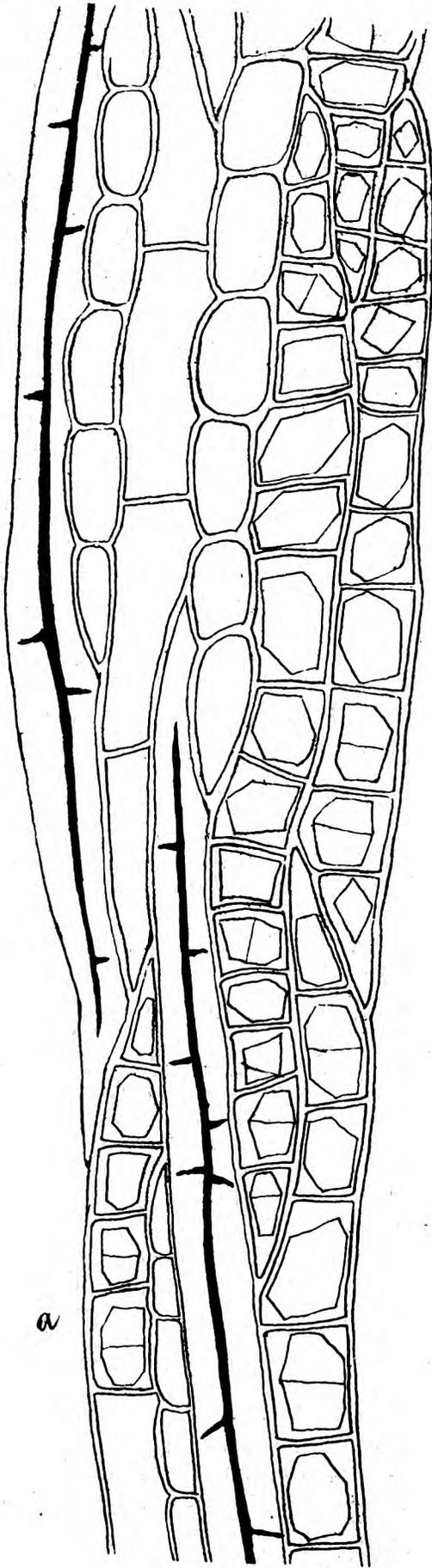


Fig. 8.

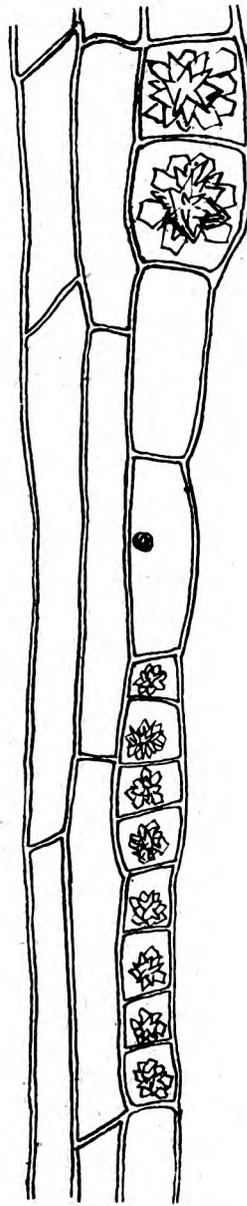


Fig. 9.

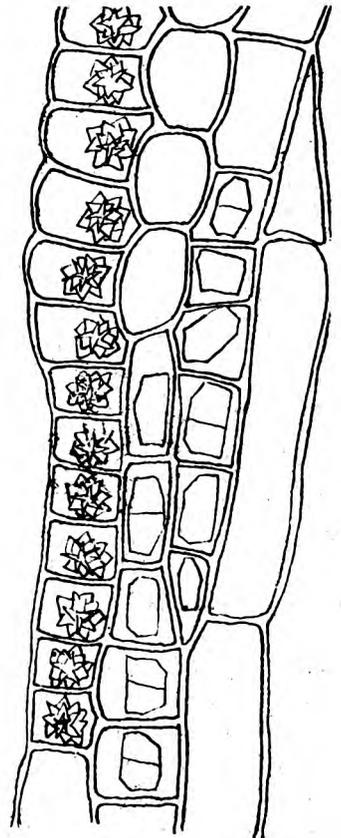


Fig. 10.

Rosa canina L.

Im Stengel von *Rosa canina L.* findet man in der primären und sekundären Rinde und im Mark Kristallzellreihen. In der primären Rinde und im Mark sind die Reihen nur sehr vereinzelt anzutreffen, meist liegen die Kristalldrüsen zerstreut im Gewebe.

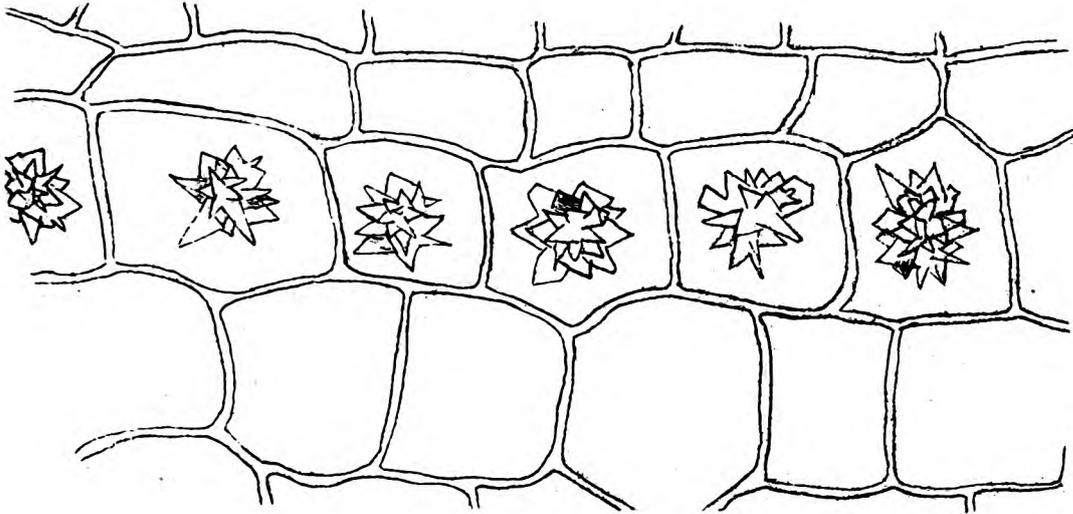


Fig. 11.

Sowohl die primäre Rinde als auch das Mark bestehen aus Zellreihen, die in der Richtung der Sprossaxe verlaufen. Die Kristallzellreihen bilden sich in diesen beiden Gewebearten dadurch, dass sich in den unter einander gereihten Zellen Kristalle ablagern.

Verfolgt man die Entstehungsweise der Kristalle, so kann man beobachten, dass diese nicht nach einem bestimmten Prinzip in die Zellen abgelagert werden. Die Entwicklung geschieht vielmehr unabhängig von einander.

Die Kristallreihen in der primären Rinde sind meistens nicht an den Bast gelagert (Fig. 11), nur vereinzelt fanden sie sich auf der äusseren Seite des Bastbündels. Die sekundäre Rinde zeigt eine tangential geschichtete Anordnung von gestreckten Zellen. Die vorkommenden Bastbündel werden von Kristallzellreihen begleitet, aber man findet letztere auch ohne Anlehnung an den Bast.

Die aufgestellten langgestreckten Mutterzellen mögen die Figuren 12 und 13 veranschaulichen. Die Anfangsstadien der Kristallreihen sind innerhalb der kambialen Zone zu beobachten. Vielfach teilen sich mehrere über einander geordnete Zellen fast zu gleicher Zeit, um dann ihre Kristalle anzulegen. Ich konnte auf Radialschnitten feststellen, dass derartige Reihen aus 32, ja selbst 36 Kristallzellen bestanden. Dagegen sind auch Kristallreihen von nur 4 Zellen nicht selten.

Nachdem sich die Mutterzelle in zwei Tochterzellen geteilt hat, gehen gewöhnlich die entstandenen kleineren Zellen weitere Teilungen ein. Es kommt auch vor, dass nur eine Tochterzelle nach weiterer Teilung Kristalle anlegt, wodurch die kurzen Reihen (Fig. 13) entstehen.

Es konnte ferner beobachtet werden, dass die aus den Tochterzellen nach nochmaliger Teilung hervorgegangenen Zellen sich nicht weiter teilten, sondern bald Kristalle anlegten. Noch an den fertigen Reihen fällt dann diese Zelle durch ihre besondere Grösse vor den andern Zellen auf, ein Beweis dafür, dass Zellen, die bereits Kristalle anlegten, ihre Teilungsfähigkeit verlieren.

Neben den einfachen rhomboedrischen Formen der Kristalle kommen auch zusam-

mengesetzte vor. Die beiden Teile der Zwillingskristalle können entweder seitlich oder aber mit ihren Enden schräg an einander gewachsen sein, sodass ein V-förmiges Gebilde zustande kommt (Fig. 14). Die Form einer Kristallzellreihe, die nur aus einer Mutterzelle hervorgegangen ist, entspricht, abgesehen von der Grösse und der Verschiebung, die infolge des Dickenwachstums vielfach eintritt, völlig der Form der Kambiumzelle. Die Kristallreihen weisen daher im Radialschnitt keine zugespitzten Enden auf, im Tangentialschnitt dagegen erscheinen sie mit mehr oder weniger zugespitzten oder konischen Endzellen.

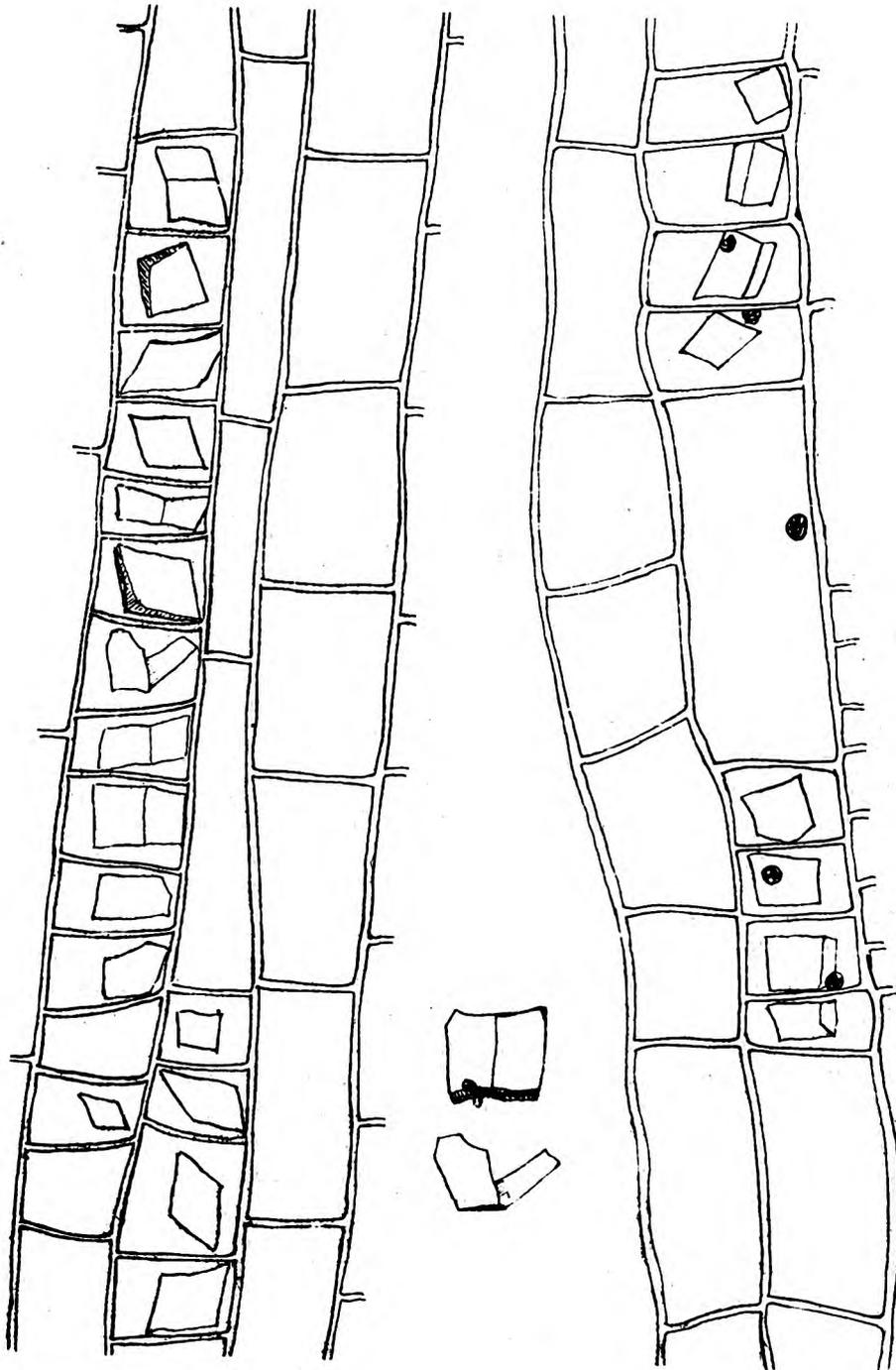


Fig. 12.

Fig. 14.

Fig. 13.

Tamarindus indica L.*(Tamarindus officinalis* Hook).

Betrachtet man die primäre Rinde in kurzer Entfernung hinter dem Vegetationspunkte, so sieht man sich stark teilendes Gewebe, das besonders in Anlehnung an den Bast in Reihen geordnet erscheint. Wenn man das Gewebe nach den älteren Spross- teilen hin beobachtet, erkennt man, wie sich stellenweise Kristalle in die Zellen ablagern (Fig. 15 und 16). Die Kristallzellreihenbildung geschieht hier also genau in derselben Weise, wie in den primären Rinden der vorher erwähnten Gewächse. Die Kristalle liegen in diesen Reihen lediglich auf der Aussenseite der Bastbündel.

In der sekundären Rinde, deren Zellen sich durch eine längliche gestreckte Form auszeichnen, und ebenso im Hadrom finden sich Kristallzellreihen mit Einzelkristallen derselben Kristallform. Auch hier fand ich die ersten Kristallanlagen in der kambialen Zone. Die Regelmässigkeit der Teilung war auch in diesem Falle deutlich erkennbar.

Fig. 17 zeigt im Radialschnitt, wie sich zwei übereinander liegende Mutterzellen zu gleicher Zeit in Kristallzellreihen umgewandelt haben. Die Mutterzelle hat sich zuerst bei a) in 2 fast gleich grosse Tochterzellen geteilt, die durch Anlegung der Wände b) 4 sich ähnelnde Tochterzellen bilden. In der oberen Kristallzellreihe ist die dritte Tochterzelle noch eine weitere Teilung eingegangen, sodass aus der Mutterzelle fünf Kristallzellen entstanden sind. Ich habe auch vielfach beobachtet, dass drei und mehr über einander liegende gestreckte Parenchymzellen zu Kristallzellreihen wurden, wodurch ein grösserer Verband von Kristallzellen entstand. Die Länge dieser Kristallreihe ist mithin nicht durch Spitzenwachstum der Mutterzelle in Richtung der Pflanzenaxe bedingt, sondern es haben sich hier mehrere Mutterzellen an der Bildung dieser langen Reihe beteiligt.

Sowohl in der primären als auch in der sekundären Reihe habe ich niemals mehr als einen Kristall in einer Zelle beobachten können, dagegen waren Zwillingsbildungen sehr häufig.

Die Zwillingskristalle hatten stäbchenähnliche Formen. In den ausgebildeten Kristallreihen war teilweise, selbst wenn der Kristall die Zelle völlig füllte, ein Kern zu beobachten. Fälle, dass Zellkerne nicht mehr sichtbar waren, waren nicht selten. Für die Regelmässigkeit der Teilung spricht auch hier wieder das Auftreten der Kristallzellen in einer geraden Zahl. Man sieht so vier, acht usw. (Fig. 18), aus einer Kambiumzelle entstanden, daneben sind allerdings auch Abweichungen und Ausnahmen nicht selten, wie das Fig. 17 zeigt. Fig. 18 veranschaulicht die aus zwei neben einander liegenden Mutterzellen gebildeten Kristallzellreihen.

Auch im Xylem finden sich, wenn auch nicht so oft wie in der Rinde, Kristallzellreihen, deren Entstehung in genau derselben Weise vor sich gegangen ist wie in der Rinde. Die Wände der Kristallzellen zeigen mitunter in den Wänden, die an die Holzparenchymzellen stossen, Tüpfel wie die Parenchymzellen selbst.

Erwähnen möchte ich hier besonders, dass nach Beginn der Kristallbildung keine Zellteilung der Kristall-führenden Zelle mehr stattfindet. Man kann ferner beobachten, dass eine Tochterzelle, die frühzeitig einen Kristall anlegt, während noch die übrigen Zellen in Teilung begriffen sind, einen doppelt so grossen Kristall führt, als die angrenzenden Zellen.

Ceratonia siliqua L.

Die in der primären Rinde vorkommenden Kristalle sind wie bei den vorher erwähnten Holzgewächsen längs der Bastfasern in Reihen angeordnet. Diese Reihen entstehen nicht etwa durch Teilung lang gestreckter Zellen, sondern gehen hervor durch Einlagerung von Kristallen in die teilweise reihenartig angelegten Zellen.

Vor der Kristallbildung kann man vielfach, namentlich bei den grösseren Zellen, Teilungen in kleinere Tochterzellen auffinden. Diese Teilung geschieht mitunter in Richtung der Pflanzenaxe, d.h. die Wandungen werden senkrecht zur Rich-

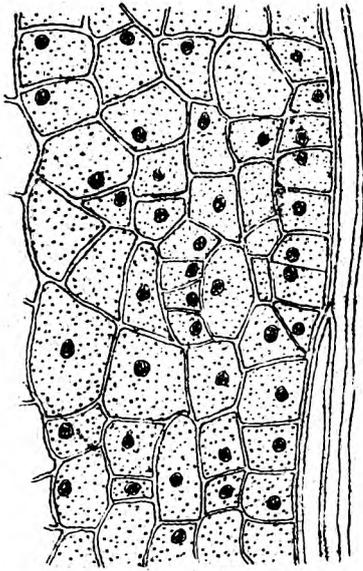


Fig. 15.

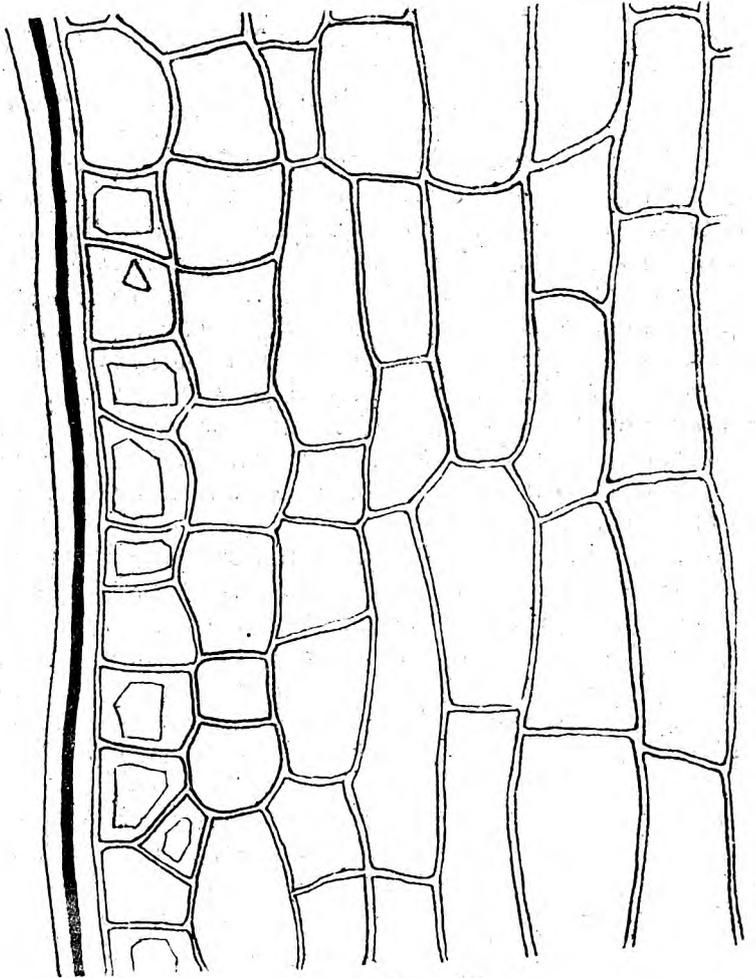


Fig. 16.

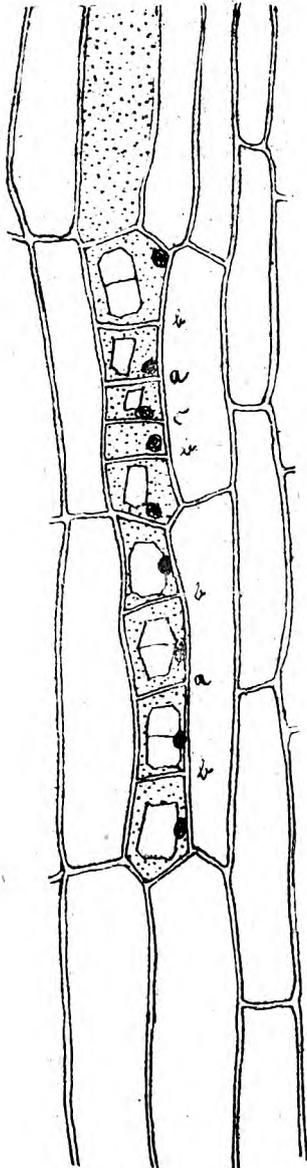


Fig. 17.

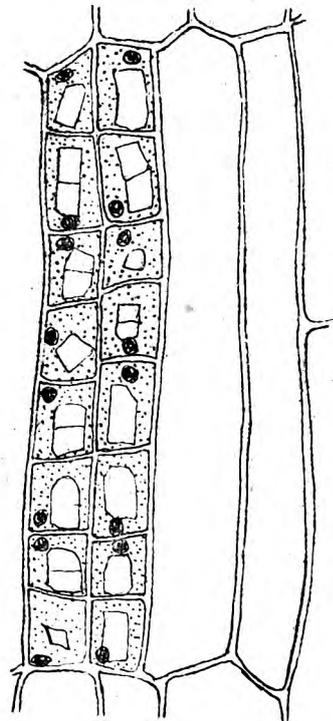


Fig. 18.

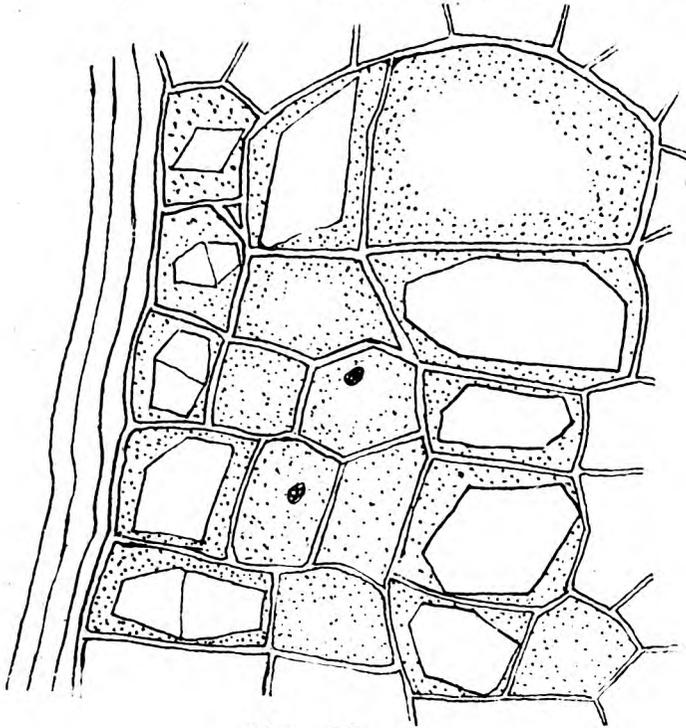


Fig. 19.

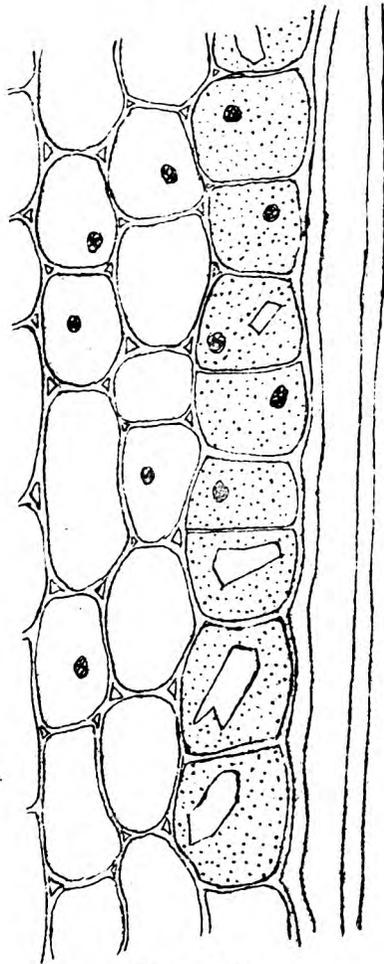


Fig. 20.

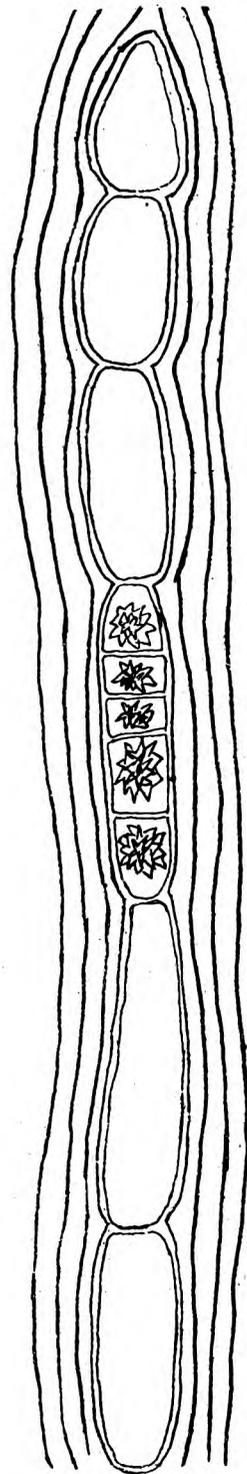


Fig. 21.

tung der Bastfaser angelegt, vielfach tritt jedoch die Teilung nach verschiedenen Richtungen ein, wie dies Fig. 19 deutlich veranschaulicht. Es entsteht so ein um den Bast herum laufendes Netz von Kristallzellen. Fig. 19 und auch Fig. 20, die einen Radialschnitt durch ein jüngeres Stengelstück darstellen, zeigen, dass der Kristallbildung nicht immer eine Teilung vorausgehen braucht, sondern auch grosse Kristalle angelegt werden können. Bei der Behandlung mit Phloroglucin-Salzsäure zeigten viele Wände dieser Kristallzellen eine rot-violette Färbung, besonders die Zellwände, die sich an die Bast-

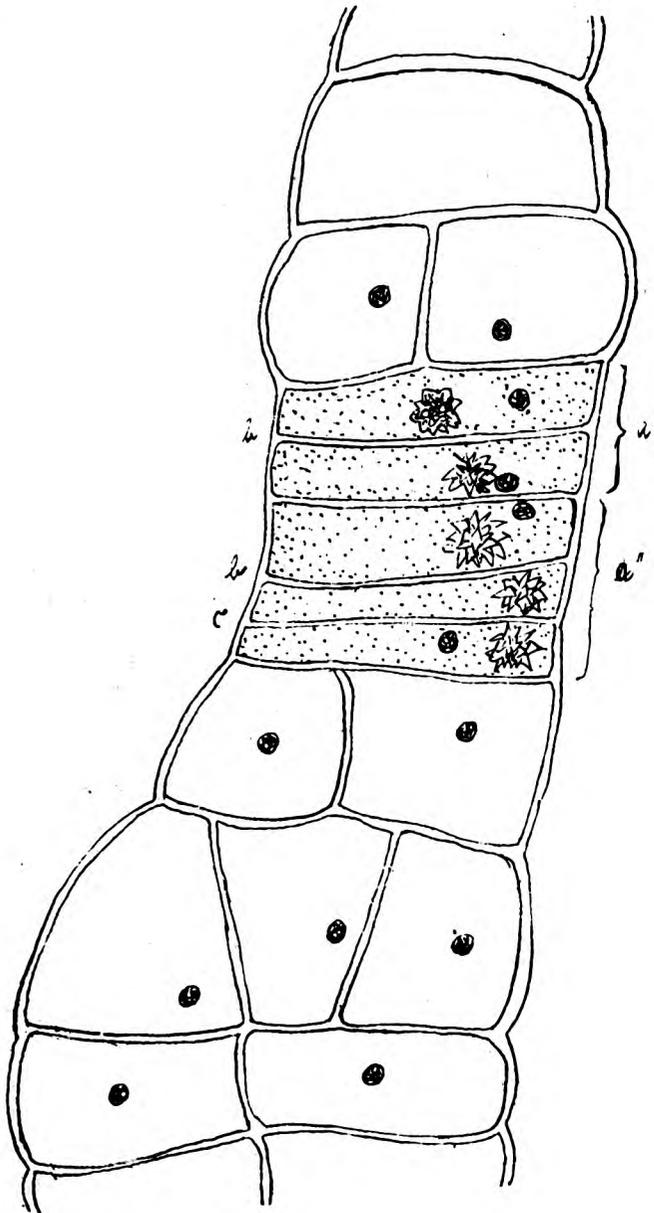


Fig. 22.

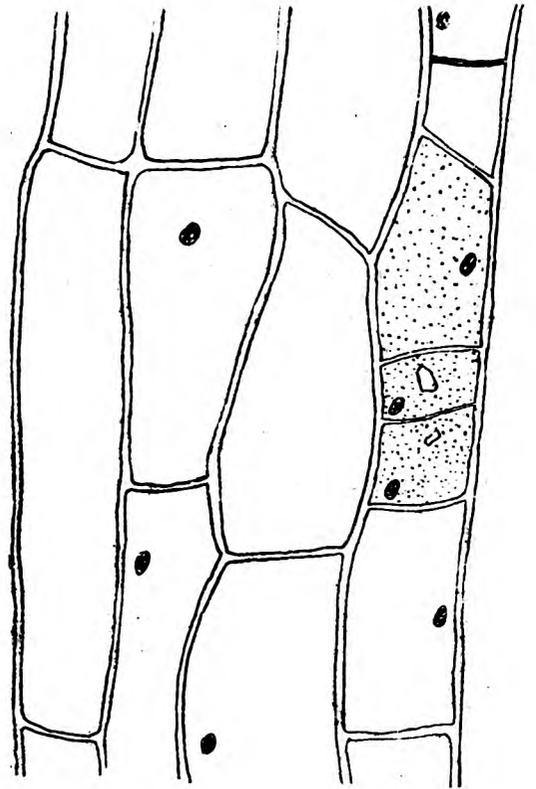


Fig. 23.

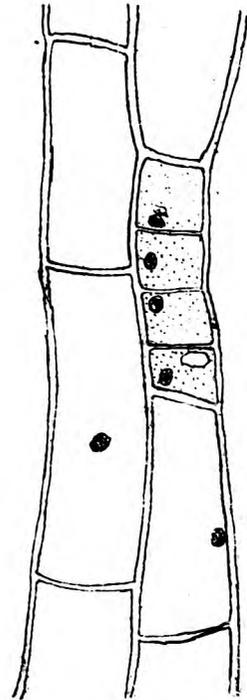


Fig. 24.

Fasern anlehnten. Vielfach gaben auch nur die den Bastfasern zugekehrten Wände die Holzreaktion, während die übrigen Wände diese nicht zeigten.

Die in der primären Rinde vorkommenden Kristalle sind Einzelkristalle; die Markstrahlzellen führen dagegen Drusen. Es kommt sehr häufig vor, dass nur einzelne Zellen eines Markstrahls zu Kristallzellreihen umgewandelt werden. Was hier besonders auffällig ist, ist die Tatsache, dass die grösseren Markstrahlzellen ähnliche Zellteilungen eingehen, wie man sie bei der Entstehung der Kristallreihen verschiedener sekundärer Rinden beobachten kann. Fig. 21 und Fig. 22 stellen derartige Teilungsverhältnisse dar. Die Mutterzelle teilt sich in die beiden Tochterzellen a' und a''. Von diesen beiden geht jede eine nochmalige Teilung (b) ein. Die unterste Tochterzelle hat sich bei c weiter geteilt, sodass aus der Mutterzelle 5 Zellen entstanden sind, in welchen nun Kristalle gebildet werden. Sehr häufig sind auch die geraden Teilungsverhältnisse anzutreffen; so habe ich vier Kristallzellen, aber auch sechs aus einer Markstrahlzelle entstanden zählen können. Auch in diesem Falle konnte festgestellt werden, dass die Wände sich immer vor der Ausbildung der Kristalle vorfanden, und dass nach Anlegung eines Kristalls in einer Zelle die Teilungsfähigkeit dieser unterbunden war.

Trigonella foenum graecum L.

Betrachtet man Fig. 23, so erkennt man auch hier, dass die Kristallzellen ihren Ursprung einer gestreckten Mutterzelle verdanken. Die Kristallzellreihen liegen bei *Trigonella* in der primären Rinde an die Aussenseite der Bastbündel angelehnt. Auch hier teilt sich eine gestreckte Zelle zunächst in zwei Tochterzellen (Fig. 23), von denen in diesem Falle die untere bereits eine weitere

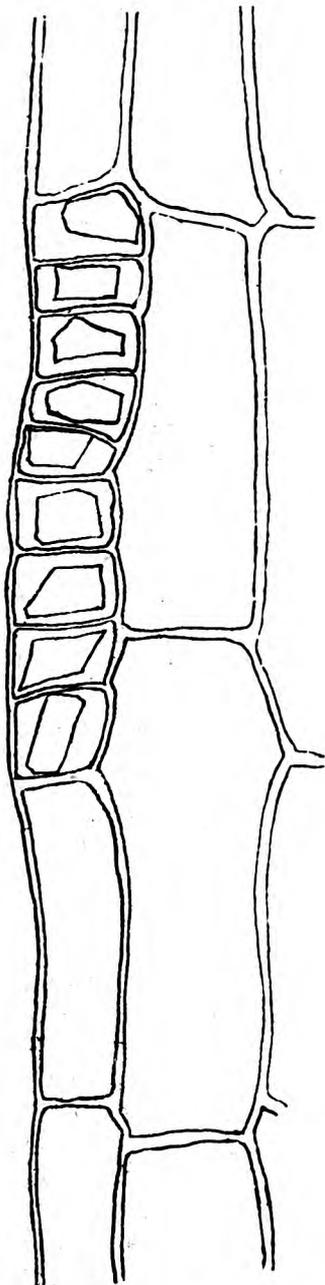


Fig. 25.

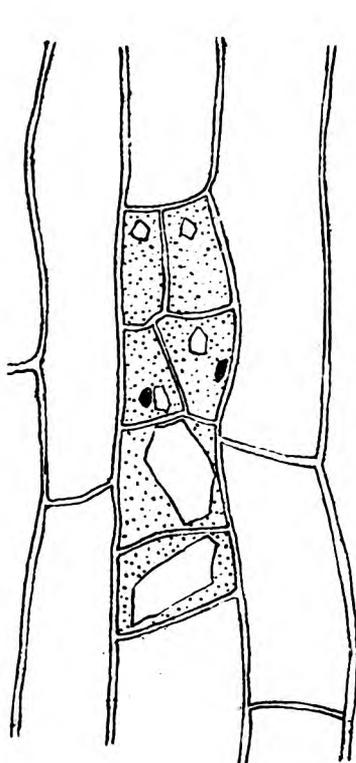


Fig. 26.

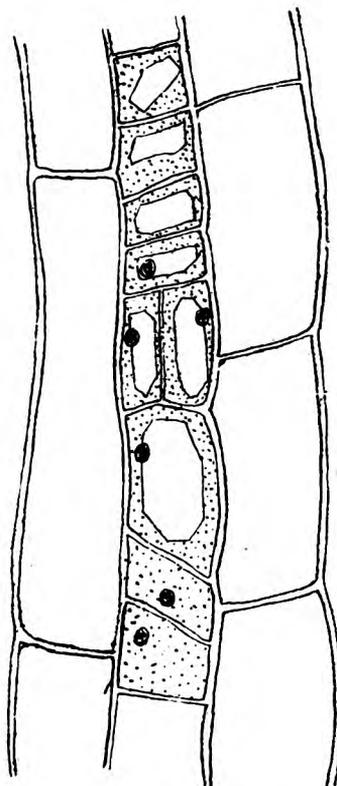


Fig. 27.

Teilung eingegangen ist. In Fig. 24 ist dann auch die obere Tochterzelle weiter eingeteilt. Während der Teilungsvorgänge der einen Tochterzelle können, wie dieses Fig. 23 zeigt, in den schon geteilten kleinen Zellen Kristalle angelegt werden. Auch hier konnte ich einwandfrei feststellen, dass immer zuerst die Wände vorhanden sind, ehe die eigentliche Bildung der Kristalle vor sich geht.

Fig. 25 veranschaulicht eine ausgebildete Kristallzellreihe. An der Zahl der vorhandenen Kristallzellen lässt sich ohne weiteres erkennen, dass die Aufteilung der gestreckten Mutterzelle durchaus schematisch verlaufen ist. Die Anlegung der Wände der Tochterzellen braucht innerhalb einer Kristallzellreihe nicht immer in der gleichen Weise zu geschehen. Dieses stellt sehr gut Fig. 26 dar. Während die beiden unteren Tochterzellen ohne weitere Teilung grosse Kristalle bildeten, haben die beiden oberen Zellen ihre neuen Querwände so angelegt, dass sie parallel zu den Längswänden verlaufen. An Fig. 27 sieht man, dass sich die Kristalle vielfach parallel der Richtung der Teilungswand orientieren.

Durch die verschiedenartige Aufteilung der Mutterzelle ist es erklärlich, dass innerhalb einer Kristallzellreihe grosse Kristalle mit kleinen abwechseln können. Die Querwände der Kristallzellen waren, was ja selbstverständlich ist, zuerst dünn, nahmen aber bei fortschreitendem Wachstum bald dieselbe Dicke an wie die seitlichen Mutterzellwände. Die Kristallbildung selbst geht, wie man es aus den Figuren 23, 24 und 26 deutlich ersieht, innerhalb einer Reihe nicht gleichzeitig vor sich. Auch beginnt sie nicht an einem Ende allmählig sich in der Reihe fortsetzend, sondern man findet in dieser oder jener Zelle einer Reihe Kristallbildungen, ohne dass man eine gesetzliche Bildungsfolge entdecken könnte. Verfolgt man bei *Trigonella* die reihenweise Anordnung der parenchymatischen Zellen, so findet man, dass sich zwischen zwei Kristallzellreihen oft mehrere Parenchymzellen von der Form und dem Aussehen einer Mutterzelle befinden, aus welcher sich eine Kristallzellreihe gebildet hat. Sehr oft kann man auch beobachten, dass mehrere gestreckte hinter einander liegende (2 bis 3) Zellen sich fast gleichzeitig oder auf einander folgend geteilt haben und so einen grösseren Verband von Kristallzellen bilden. Ein Streckenwachstum, wie es den Bastfasern eigen ist, konnte ich auch hier nicht feststellen. Die Kristallzellreihe, oder besser gesagt, die einzelnen Zellen einer solchen Reihe, vergrösserten sich nur so viel, dass ihre Gesamtgrösse der übrigen gestreckten Zellen nicht viel oder garnicht voraus war.

Was schon bei den vorhergehenden Untersuchungsobjekten festgestellt werden konnte, fand auch hier wieder seine Bestätigung: jede Zelle enthält nur einen Kristall. Nachdem in einer Zelle ein Kristall angelegt ist, verliert sie die Fähigkeit, sich weiter zu teilen. Die Kristallzellreihen bei *Trigonella* zeigen keine konischen Endzellen; sie führen Einzelkristalle. Vielfach sieht man, dass die Wandungen der Kristall-führenden Zellen in die benachbarten Zellen vorgewölbt sind, ganz besonders, wenn der Kristall die Zelle völlig ausfüllt.

Melilotus officinalis Lam.

Die Entwicklung der Kristallzellreihen konnte hier infolge der regelmässigen Anordnung der Zellen ganz besonders gut verfolgt werden. Wie bei den vorhergehenden Untersuchungen musste auch hier ein Unterschied zwischen den Kristallzellreihen der primären Rinde und der sekundären Rinde gemacht werden. Auch im Mark, wo längsgestreckte Zellen den Übergang zwischen Holzteil und Mark bilden, fanden sich zahlreiche Kristallzellreihen, deren Entstehung in nichts von der der sekundären Rinde abweicht, sodass man sie wohl nur örtlich zu unterscheiden hat. Auch im Holzteil konnten in der Nähe der Gefässbündel gleiche Bildungen beobachtet werden. In der primären Rinde liegen die Kristallzellen aussen an die Bastbündel angelehnt. Diese Kristallzellreihen sind entstanden durch Ablagerung von Calciumoxalat in die parenchymatischen Rindenzellen, die, wenn sie etwas länglicher sind, vor der Kristallbildung eine Teilung eingehen. In ihrem Habitus ähneln die Zellen den übrigen Rindenparenchymzellen. Bei den Zellen älterer Stengelstücke konnte

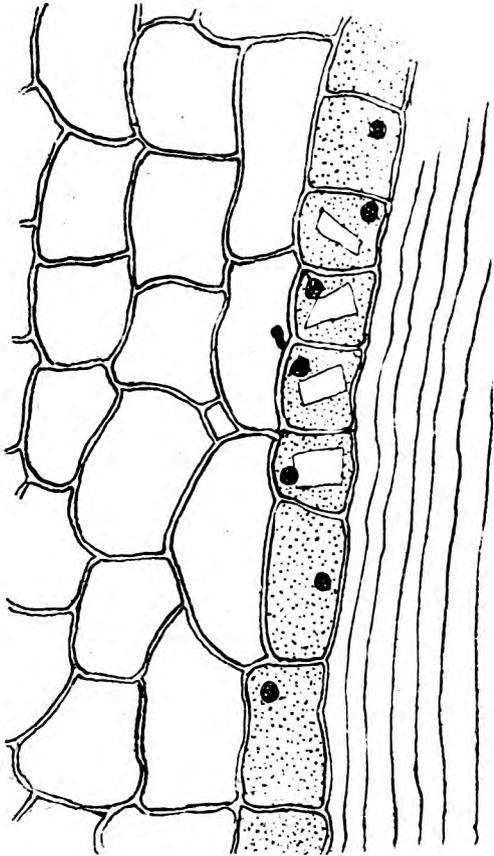


Fig. 28

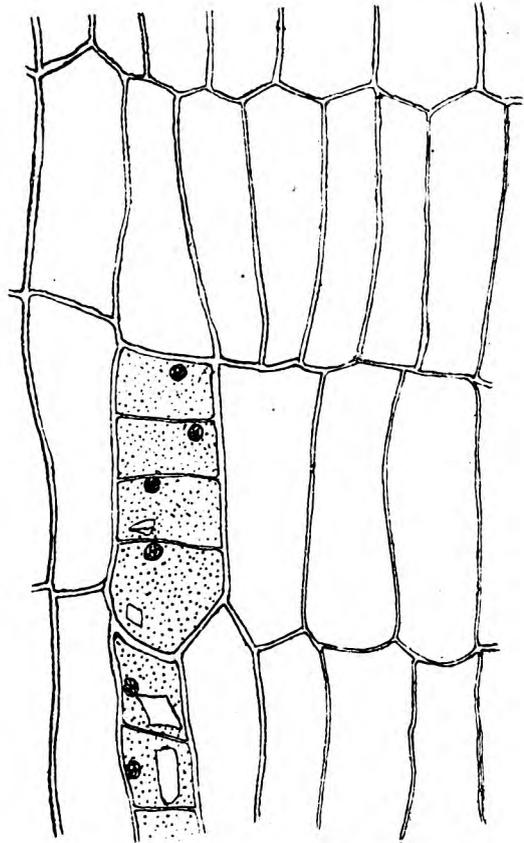


Fig. 29.

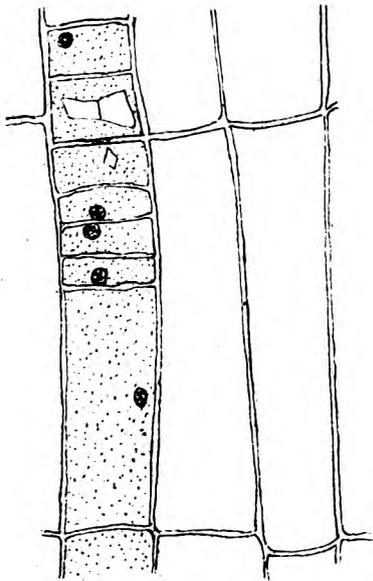


Fig. 30

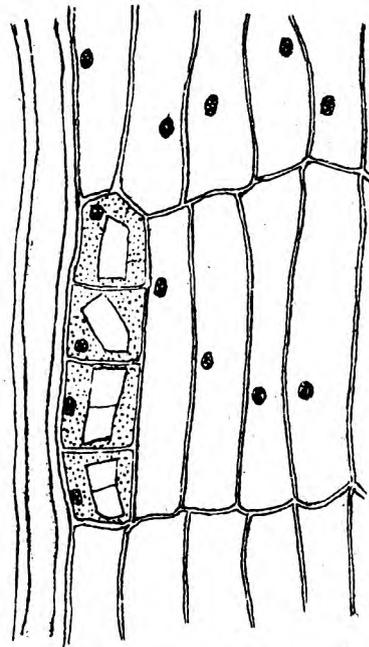


Fig. 31

mit Phloroglucin-Salzsäure eine Verholzung der Zellwände festgestellt werden, namentlich der Wände, die nach den Bastfasern zu liegen. Die Kristalle sind in eine Zellulosetasche eingelagert, die einen Teil der Zelle vollkommen ausfüllt. In der sekundären Rinde zeigen die kambialen Zellen eine ausserordentlich regelmässige Anordnung. Sie sind langgestreckt und fast regelmässig rechteckig. Fig. 28 bis 32 zeigen die Teilungsverhältnisse der Kristallzellreihen, teils angelehnt an den sich bildenden Bast, teils unabhängig von ihm. Die Mutterzelle teilt sich zunächst zur Hälfte (Fig. 30 und Fig. 33). Die entstandenen Tochterzellen setzen die Teilungen in ähnlichem Sinne fort. Die weiter vom Kambium entfernten Zellen, die auch noch zu Kristallzellen werden können, zeigen dieselben Teilungsregelmässigkeiten wie sie eben erwähnt wurden (Fig. 30 und 35). Die Teilung zu den Kristallzellreihen setzt innerhalb einer Reihe von Mutterzellen an verschiedenen Stellen zu gleicher Zeit ein (Abb. 36). Auch die zwischen den fertigen Zellreihen liegenden Zellen bilden sich dann später unter Teilung zu kristallführenden Zellen um, sodass dann lange aus mehreren Mutterzellen entstandene Kristallzellreihen anzutreffen sind (Fig. 37 und 38). Die Teilung zu den Kristallzellreihen setzt innerhalb einer Reihe von Mutterzellen an verschiedenen Stellen zu gleicher Zeit ein (Fig. 36). Für die Regelmässigkeit der Teilung spricht das Auftreten von Kristallzellen, meist nur in geraden Zahlen, vier, sechs, acht, zehn innerhalb einer einzigen Mutterzelle.

Wenn jedoch eine Mutterzelle Kristallzellen in der Ungeraden aufweist, dann zeichnet sich eine der vorhandenen Zellen durch eine besondere Grösse von den anderen aus. Sie ist also keine weitere Teilung vor der Anlage des Kri-

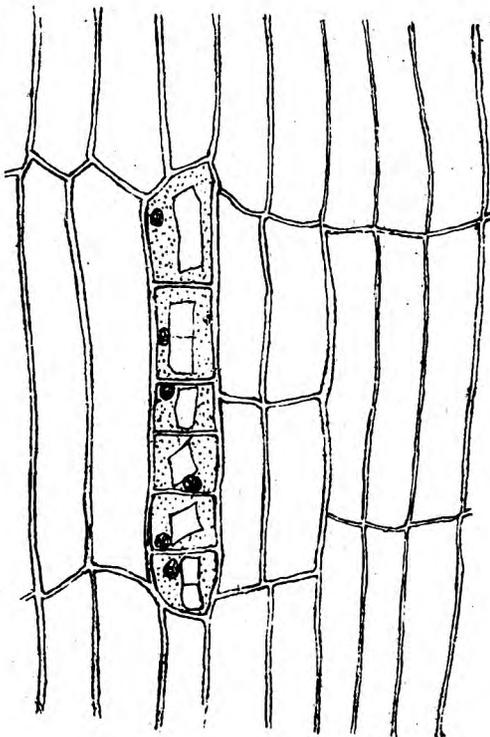


Fig. 32.

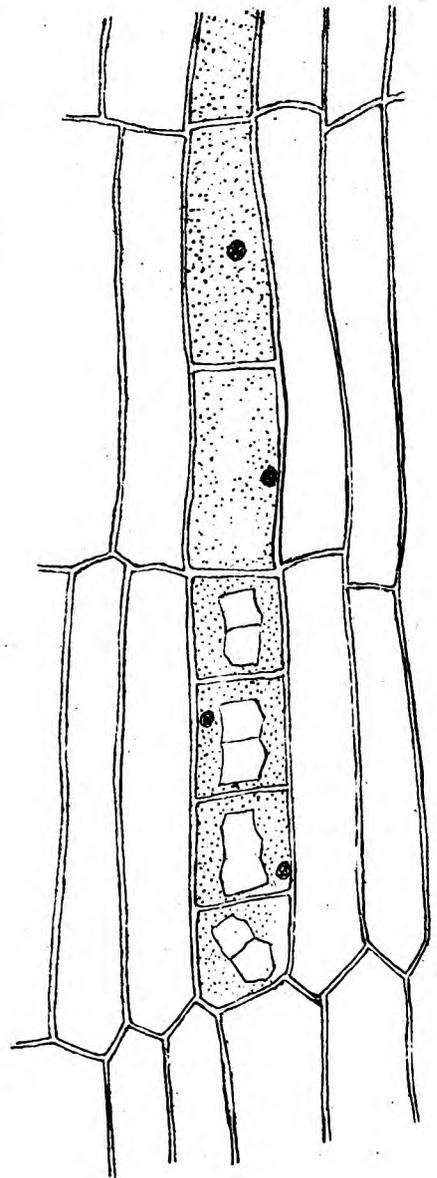


Fig. 33.

stalls eingegangen. Auch konnte beobachtet werden, dass einige durch bereits mehrfach vorhergegangene Teilung entstandene Tochterzellen sich nochmals teilten, während die übrigen Zellen bereits Kristalle anlegten. Derartige Vorgänge sind besonders bei den Zellen der Markteile (Fig. 39 und 40) zu beobachten. Die Bildung der Kristalle innerhalb einer Kristallzellreihe ist verschieden. Vielfach werden die Kristalle zu gleicher Zeit auf einmal angelegt, aber auch viele Bilder zeigen, dass in einer Zelle bereits ein grosser Kristall vorhanden ist, während die übrigen Zellen noch in Teilung begriffen sind (Fig. 41 und 42). Bei den Kristallzellreihen des Markes lagen die Kristalle der einzelnen Kammern immer den Teilungswänden parallel, bei einer quergeteilten Zelle horizontal, bei einer längsgeteilten vertikal. Vielfach wird sowohl in der sekundären Rinde als auch im Mark innerhalb einer Tochterzelle bei nochmaliger Teilung die neue Wand nicht senkrecht zur Längsrichtung der Mutterzelle angelegt, sondern die neue Wand verläuft in Richtung der Diagonale der quadratischen Zelle (Fig. 34) oder parallel zur Längsrichtung der Mutterzelle. Sobald sich innerhalb einer Zelle ein Kristall gebildet hat, teilt sich die betreffende Zelle nicht mehr weiter, sie verliert also ihre Teilungsfähigkeit.

Die Form der Kristallreihe, soweit sie aus einer Mutterzelle hervorgegangen ist, hat ganz die Form dieser Zelle, die auf Radialschnitten fast rechteckig, auf Tangential-schnitten oft mit konischen Enden erscheint. Die Reihe hat also nicht die Form einer Faser, bei der man sowohl auf Tangential- wie Radial-schnitten die zugespitzten Enden erkennt.

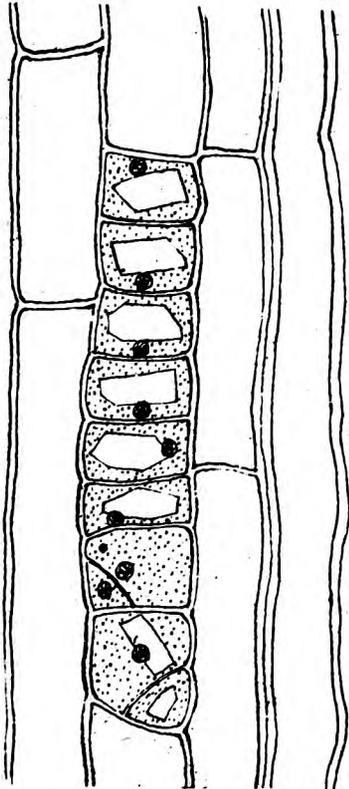


Fig. 34.

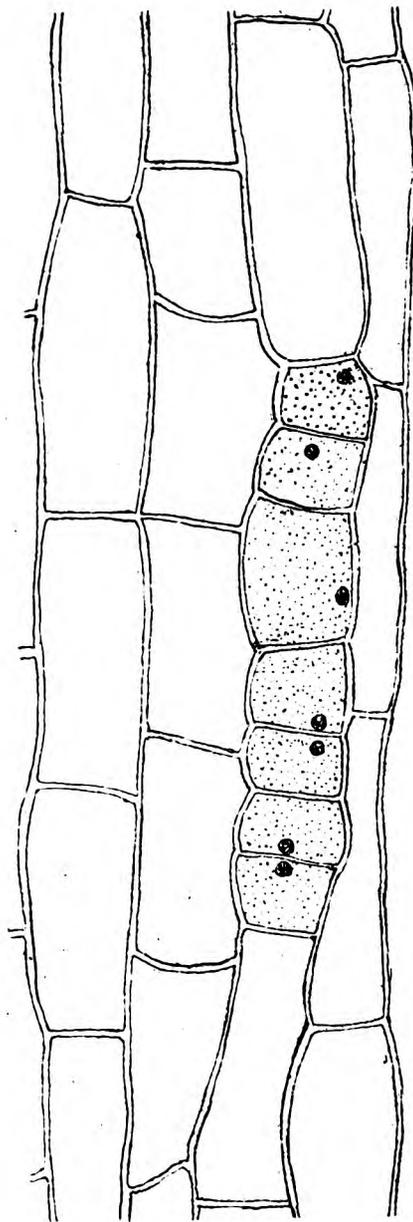


Fig. 35.

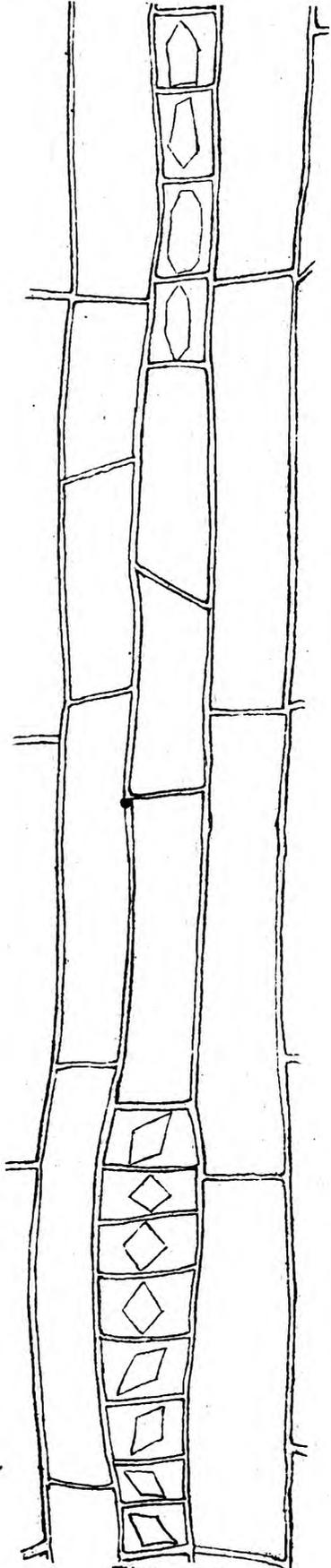


Fig. 36

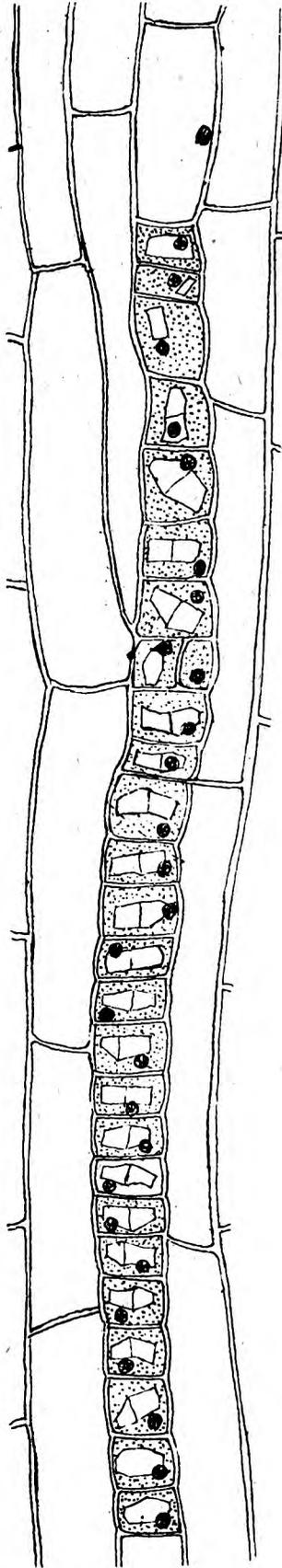


Fig. 37.

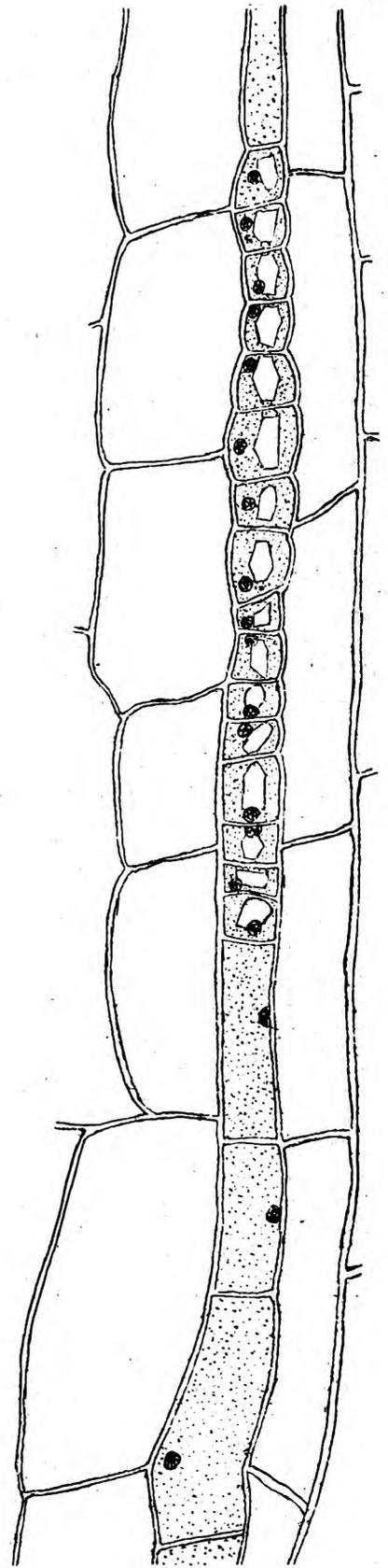


Fig. 38.

Glycyrrhiza echinata L. und *Gl. glabra* L.*(Liquiritia officinalis Pers.)*

Bei Radialschnitten durch Sprossstücke von *Gl. echinata* gewahrt man längs der Sklerenchymfasern in der primären Rinde, an diese angelehnt, vielfach quadratische bis rechteckige Zellen, die zu Reihen angeordnet, Kristalle führen. Die Kristallablagerung geschieht vielfach, ohne dass vorher eine Zellteilung vorangegangen wäre (Fig. 43 und 44), jedoch konnte ich auch Fälle beobachten, namentlich bei *Gl. glabra*, dass diese Zellen vor der Kristallbildung noch Teilungen eingingen. Fig. 45 zeigt Teilungsverhältnisse, bei denen die Bildung von neuen Wänden in den verschiedensten Richtungen stattgefunden hat. Immerhin darf nicht unerwähnt bleiben, dass die Kristallbelege in der primären Rinde mitunter unterbrochen und stellenweise Kristalle nicht anzutreffen sind. Fig. 43 zeigt primäres Rindenparenchym ohne Kristalle, Fig. 44 solches mit völlig ausgebildeten Kristallen. Die Kristallaxe ist hier vielfach in Richtung der Pflanzenaxe orientiert. In der sekundären Rinde sind die Verhältnisse anders. Innerhalb der kambialen Zone sieht man die gestreckten meristematischen Zellen, die hin und wieder, hauptsächlich auf Tangentialschnitten, eine stärkere Zuspitzung zeigen, sich meist zur Hälfte teilen, wie das Fig. 46 zeigt. Allerdings kann man auch hier bemerken, dass die Teilungsregelmässigkeit nicht überall strikt durchgeführt ist, dass vielmehr die primäre Teilungswand, die die Mutterzelle in zwei Tochterzellen teilt, nicht genau in der Mitte angelegt wird. Es entstehen somit zwei ungleich grosse

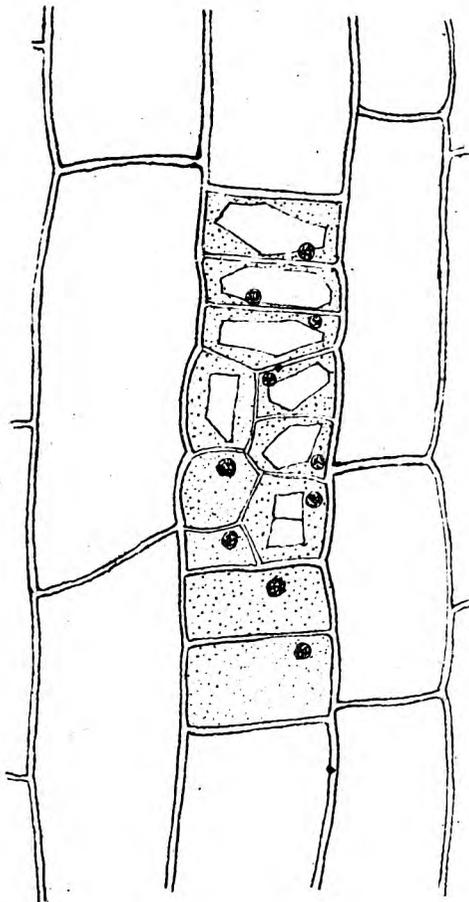


Fig. 39.

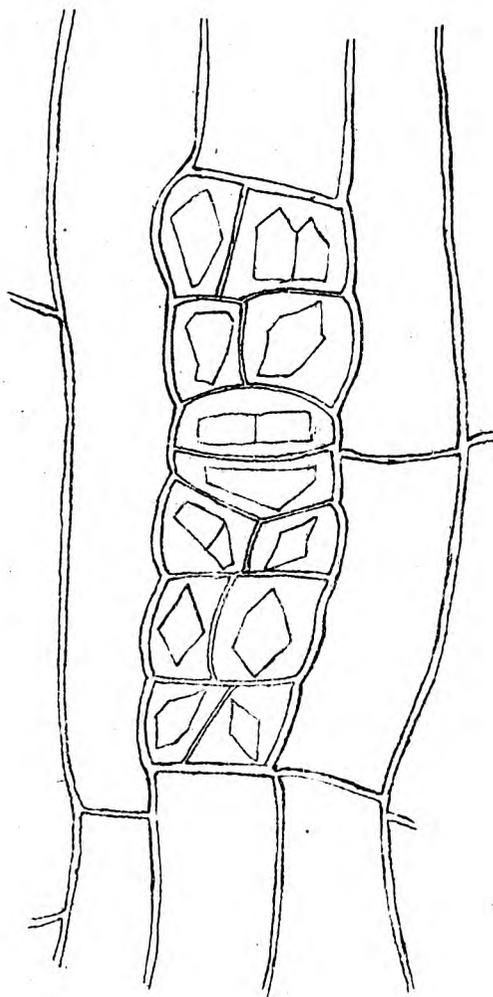


Fig. 40.

Tochterzellen, eine grössere und eine kleinere. Von diesen beiden Zellen erfährt die grössere dann noch eine weitere Teilung. Die drei entstandenen Zellen unterliegen bis zur endgültigen Kristallbildung noch weiteren Zellteilungen. Fig. 46 mag dies bei der mit a) bezeichneten Stelle veranschaulichen. Anders verhält es sich mit der darüber liegenden Zelle, in der die Teilung weit regelmässiger vor sich gegangen ist. Die Abbildungen zeigen bei Fig. 47 bis 49 diese Regelmässigkeit bei *Gl. glabra* sehr deutlich. Besonders Fig. 48 lässt die weitere Aufteilung der vier aus einer Mutterzelle hervorgegangenen Zellen sehr schön erkennen. Bei Fig. 49 haben sich alle bis auf eine der vier primären Tochterzellen weiter geteilt, um nun die Kristalle anlegen zu können. Ähnliche Teilungsverhältnisse beobachtet man nicht nur in der kambialen Zone, sondern auch in Teilen der sekundären Rinde, die weiter entfernt vom Kambium liegen. Sobald aber eine Zelle einen Kristall angelegt hat, teilt sie sich nicht mehr weiter.

Die Zellteilungen verlaufen nicht immer gleichmässig innerhalb ein und derselben Reihe, und sind auch die Wände der einzelnen Tochterzellen nicht immer senkrecht zur Längsrichtung der ehemaligen Mutterzelle angelegt. Dieses zeigt besonders Fig. 50 und 51. Die erhaltenen primären und auch sekundären Tochterzellen legen ihre Wände mitunter auch parallel der Richtung der Mutterzellwand an. Die Kristalle stellen sich dann mit ihrer Hauptaxe vielfach parallel zu ihrer neuen Wand (Fig. 51). Die Reihenbildung kann nun innerhalb einer aus den Mutterzellen gebildeten langen Zellreihen, die man auf Radialschnitten

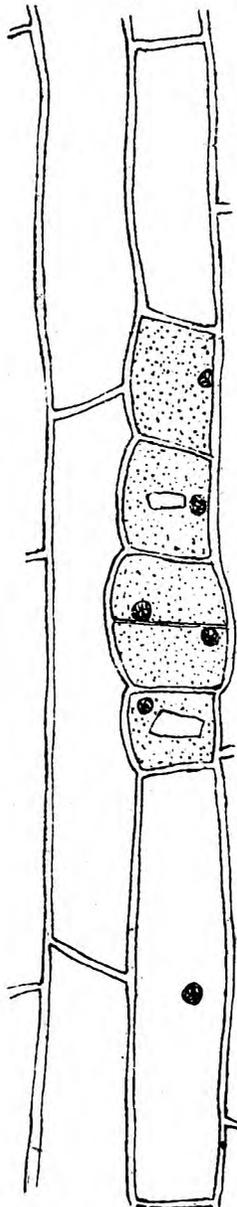


Fig. 41.

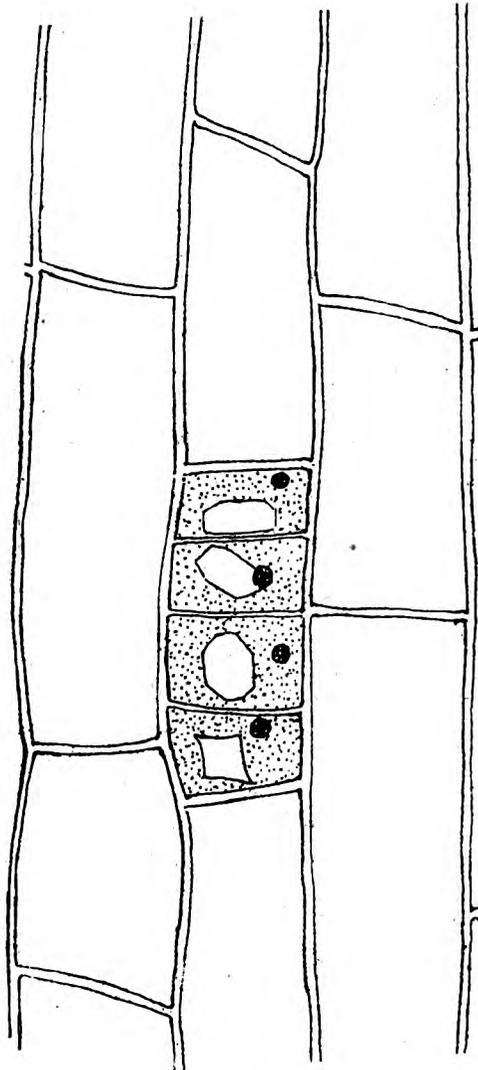


Fig. 42.

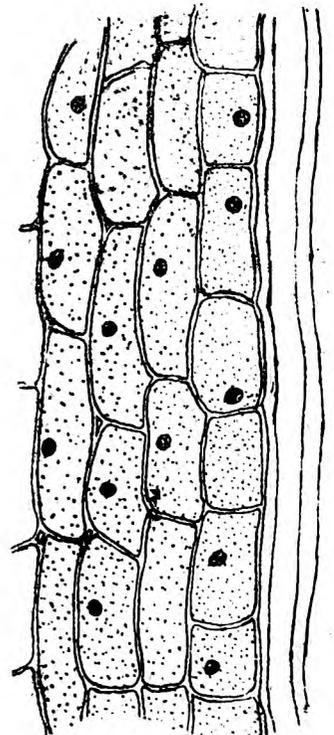


Fig. 43.

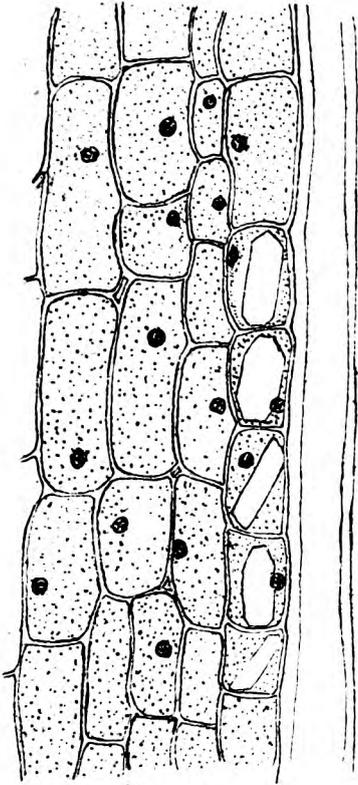


Fig. 44.

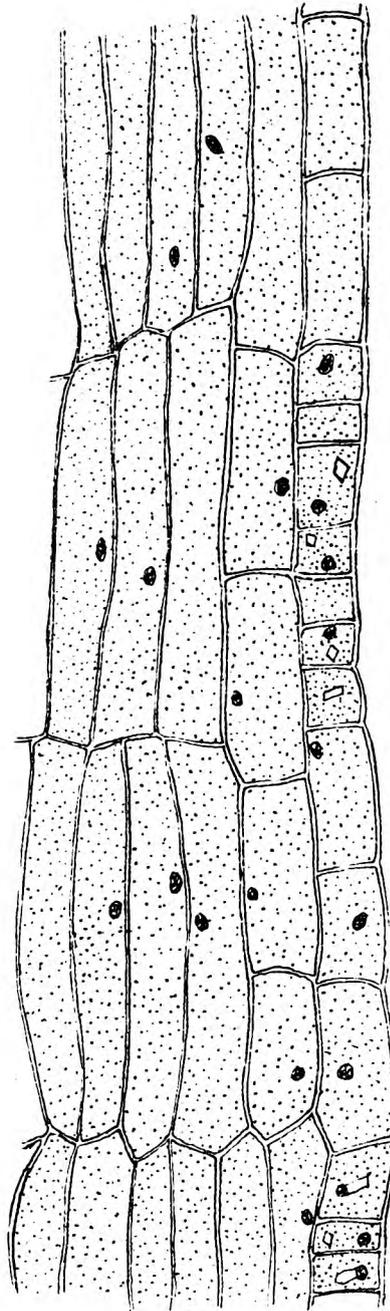


Fig. 46.

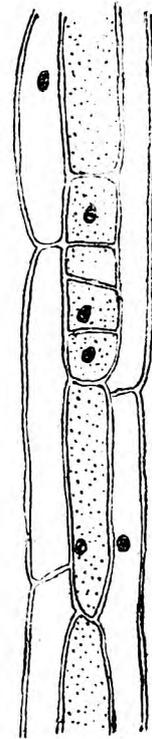


Fig. 47.

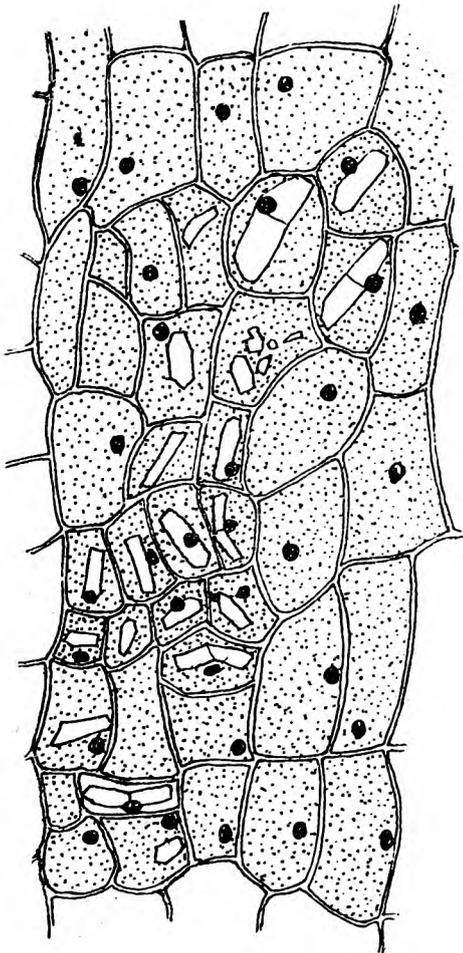


Fig. 45.

a

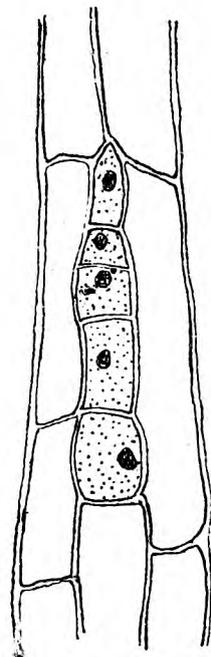


Fig. 48.

besonders gut erkennen kann, an verschiedenen Stellen einsetzen, und die dazwischen liegenden Zellen folgen dann erst später mit der Bildung der Kristallreihen. Aber auch viele über einander liegende Zellen gehen Teilungen ein und bilden so von vorneherein eine grössere Kristallzellreihe, die ihren Ursprung aber mehreren Mutterzellen oder auch Tochterzellen verdankt. Fig. 51 und besser Fig. 52 zeigen eine solche Entstehungsweise und bei Fig. 50 und 51 kann man gleichzeitig die ungleichmässige Bildung der Kristalle in den Zellen beobachten. Zusammengesetzte Kristalle von Stäbchen-ähnlicher Form sind nicht selten.

Citrus aurantium Risso (*C. sinensis* Pers.).

In der primären Rinde finden sich keine Kristallzellreihen, vielmehr sind hier die Kristalle vereinzelt und zerstreut im Gewebe verteilt. Die Kristallzellen zeichnen sich vor den anderen parenchymatischen Zellen durch ihre besondere Grösse aus. Die Kristalle sind Rhomboeder. In jüngeren Zweigstücken, die höchstens ein Jahr alt waren, wurden schon Kristallreihen in der sekundären Rinde beobachtet, jedoch waren sie sehr spärlich vorhanden.

Die Kristalle der Kristallzellreihen des Holzes sind vielfach grösser als die

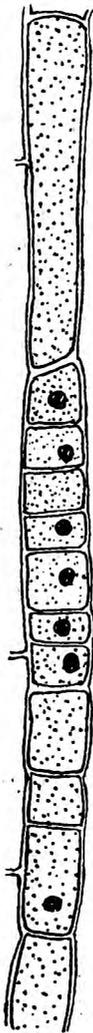


Fig. 49.

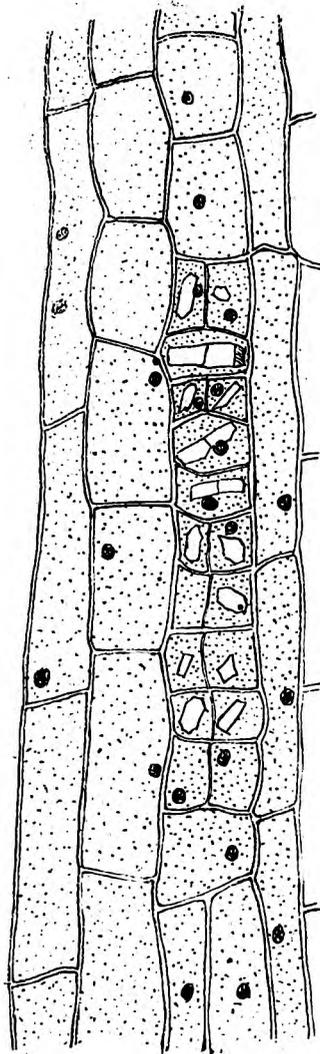


Fig. 50.

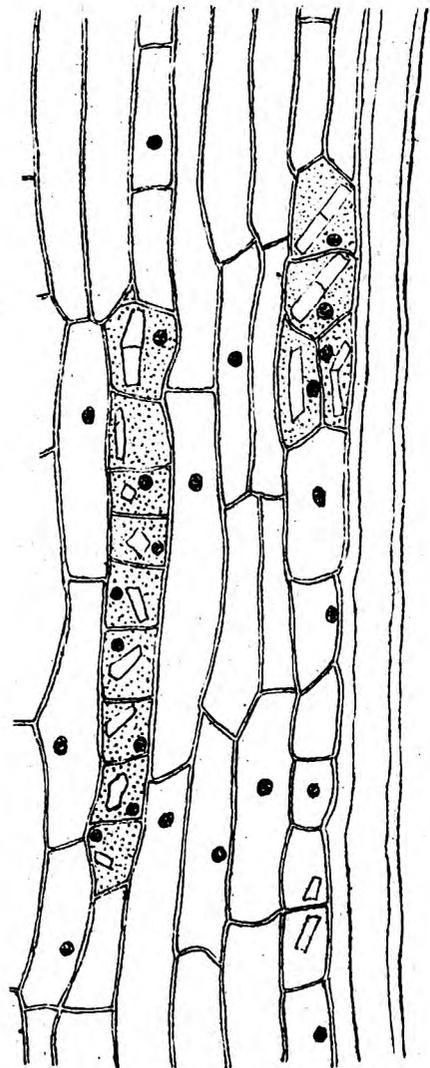


Fig. 51.

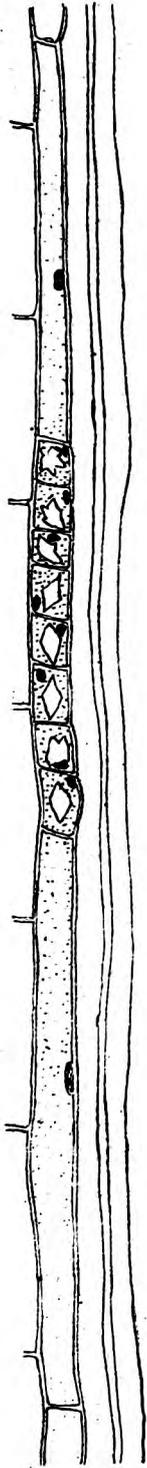


Fig. 55.

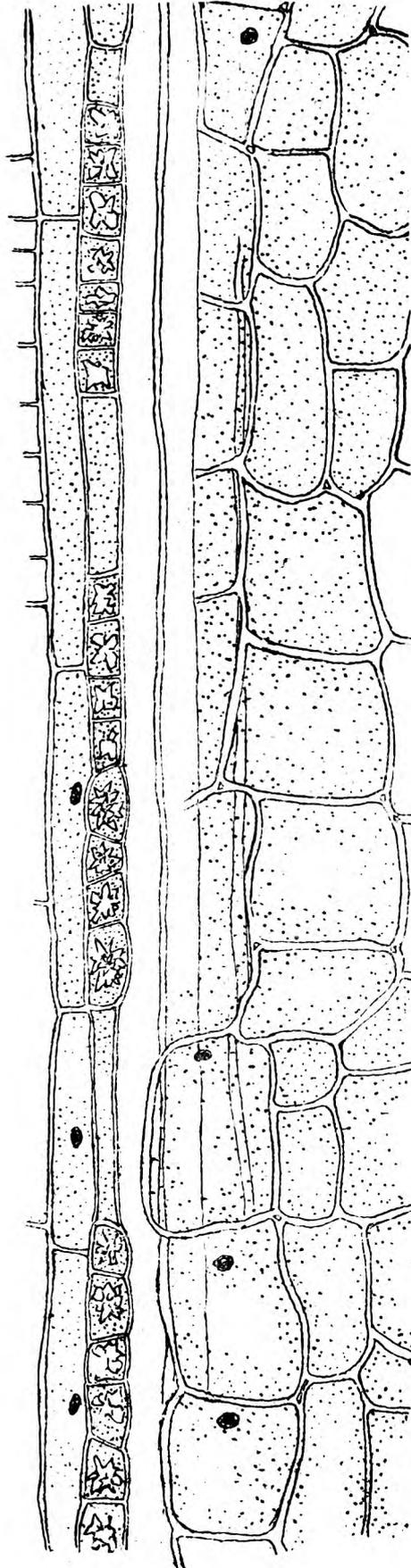


Fig. 56.

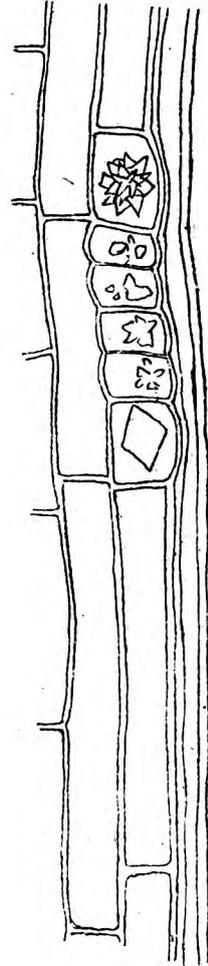


Fig. 57.

der Rinde, und zeichnen sich die Endzellen in ersterem Gewebe namentlich auf Tangentialschnitten durch eine starke Zuspitzung aus. Vielfach umgeben die Kristallzellen die Markstrahlen, mitunter führen auch die Markstrahlen selbst Kristalle.

Die Teilungsvorgänge und die Kristallbildung der Kristallzellreihen erfolgen, wie man es oft beobachten kann, innerhalb der kambialen Zone. Die Regelmäßigkeiten in der Teilung, wie ich sie an den vorhergegangenen

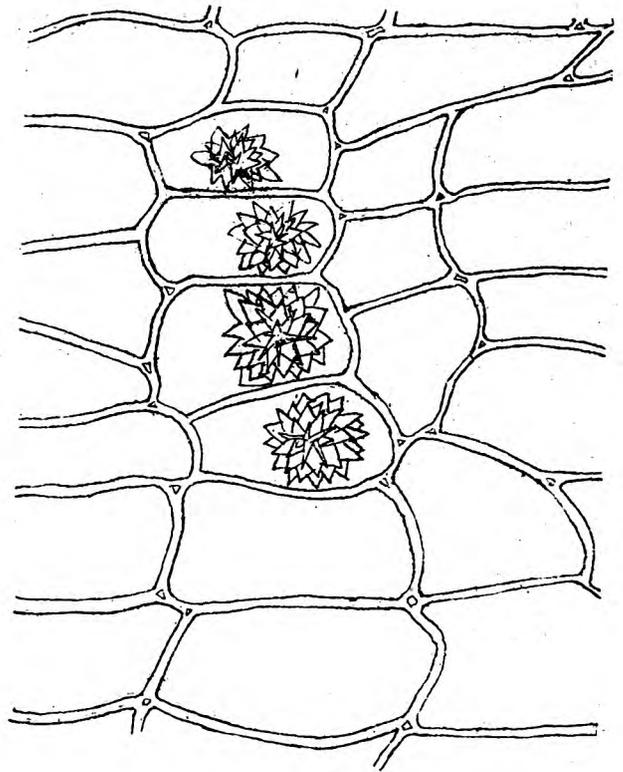


Fig. 53.

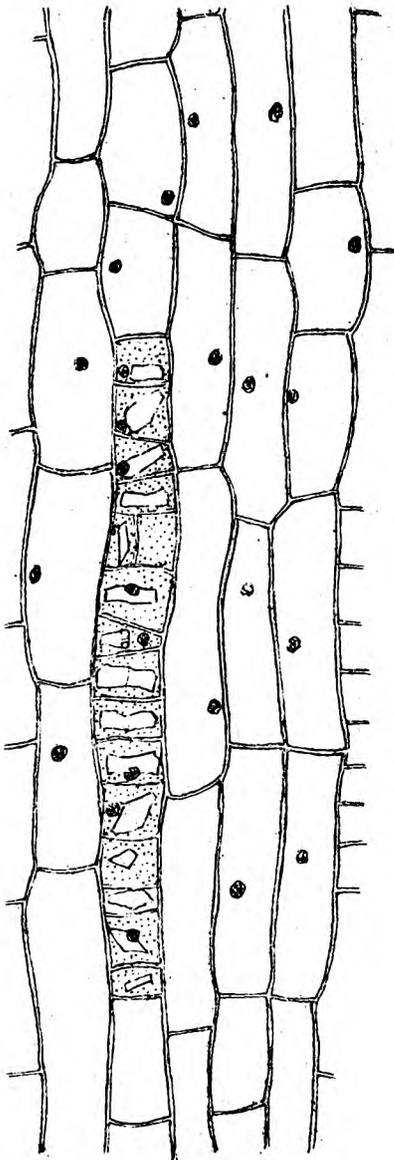


Fig. 52.

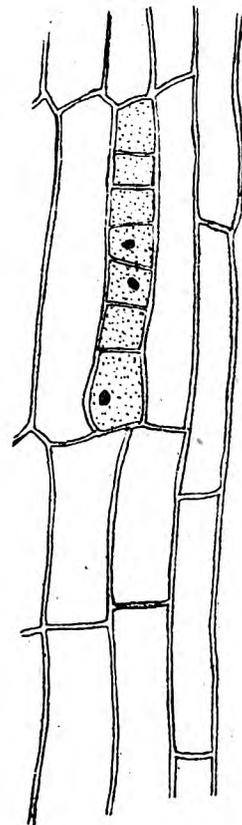


Fig. 54.

Objekten habe feststellen können, finden sich auch hier. Eine Zelle teilt sich zunächst in zwei fast gleich grosse Tochterzellen, die ihrerseits weitere Teilungen eingehen. Da manchmal die Mutterzelle die erste Teilungswand für die beiden Tochterzellen nicht genau in der Mitte anlegt, entstehen innerhalb einer Reihe verschieden grosse Kristallzellen. Man kann ferner beobachten, dass eine Tochterzelle nach einmaliger weiterer Teilung einen Kristall bildet, während die benachbarten Tochterzellen sich noch weiterteilen, um dann erst zur Ausbildung der Kristalle zu schreiten. Daher kann man mitunter zwischen kleinen Kristallzellen doppelt so grosse oder noch grössere Kristallzellen antreffen. Neben den horizontalen Wänden einer Kristallzellreihe ist es nichts seltenes, eine vertikal gestellte Zellwand zu finden, die eine Zelle in zwei schmale, in Richtung der Pflanzenaxe gestreckte Zellen teilt. In diesem Falle sind dann auch die Kristalle - es handelt sich hier um Einzelkristalle oder Zwillingsbildungen - parallel dieser neuen Wand orientiert. Auch hier habe ich nicht beobachten können, dass die Aufteilung einer gestreckten Zelle von einem Ende aus begann. Es wurden zuerst die Wandungen und danach die Kristalle gebildet. Sobald sich in einer Zelle ein Kristall findet, verliert diese ihre Teilungsfähigkeit. Auf Tangentialzellen erscheinen die Kristallzellreihen zugespitzt. Es sind aber keine "Fasern", wie man dem Äusseren nach geneigt wäre, anzunehmen, vielmehr erscheinen die Reihen in derselben Form, wie das sie begleitende Parenchym, während auf Radialschnitten Zuspitzungen nicht aufzufinden sind. Es handelt sich hier also nicht um spitz zulaufende Fasern, sondern um Kristallreihen, deren Äusseres noch an die Cambiumzellen erinnert.

Rhamnus purshiana D. C.

In der primären Rinde sind in grosser Anzahl Kristalle und zwar Drusen vorhanden, die sehr dicht bei einander und vielfach schichtartig um den Bast gelagert sind. Die Entstehung der Kristallreihen geht in der primären Rinde genau so vor sich, wie es schon in den vorher mitgeteilten Fällen erläutert ist. Das sich an die Bastbündel anlehrende Parenchym besteht aus teilweise fast rechteckigen, mehr oder weniger gestreckten Zellen, die, während die Bastfasern noch verhältnismässig dünne Wandungen haben, schon Kristalle bilden. Vielfach geht dieser Kristallbildung bei gestreckteren Zellen eine einfache Teilung in zwei kleinere voraus. Die Bildung der einzelnen Kristalle findet nicht zu gleicher Zeit statt, vielmehr sieht man mitunter schon grosse Drusen in den Zellen, während andere noch kleine Drusen bergen. Bei der Bildung der Kristalle fand ich vielfach die von BRUNZEMA (4) angeführte Entstehungsweise bestätigt. Im Mark finden sich ebenfalls kurze Kristallzellreihen (Fig. 53), die ihre Entstehung der regelmässigen Anordnung der Markzellen verdanken. Diese Kristallzellreihen liegen ebenfalls parallel zur Pflanzenaxe.

Die Bildungsweise der Kristallzellen in der sekundären Rinde und im Holzteil ist anders als in der primären. Die langgestreckten Zellen des Kambiums gehen in dem üblichen Sinne eine mehrfache Teilung ein. Die nach zweifacher Teilung entstandenen vier Tochterzellen erfahren bei Fig. 54 weitere Teilungen. Die unterste Tochterzelle jedoch ist noch ungeteilt. Bei Fig. 55 haben die aus einer gestreckten Mutterzelle entstandenen Tochterzellen bereits Kristalle gebildet. Nun können auch mehrere über einander liegende Mutterzellen, wie man sie im Radialschnitt sehr gut feststellen kann, nach vorhergegangener Teilung eine lange Reihe von Kristallzellen bilden, wie dies Fig. 56 zeigt. Zelle 2 und 3 dieser Figur lassen erkennen, dass nur die Hälften einer Mutterzelle zur Kristallzelle geworden sind. Auch sind die Kristalle bei 3 früher angelegt als bei 2, was die Form der Zellen deutlich erkennen lässt. Man kann hier sehen, dass mit dem Wachsen des Kristalles die Zellwandungen in die umliegenden Zellen ausgebuchtet werden. Sehr häufig konnte die Aufteilung einer Mutterzelle in acht Tochterzellen gefunden werden, was die symmetrische Aufteilung der Zellen noch mehr beweist. Ich habe niemals beobachten können, dass vor der Wandbildung die Kristalle gebildet

wurden. Dagegen konnte festgestellt werden, dass eine Zelle, sobald sie einen Kristall führte, ihre Teilungsfähigkeit verlor. Die Kristalle innerhalb einer Reihe waren nicht immer Drusen oder Einzelkristalle, vielmehr traten beide Kristallformen innerhalb einer Reihe auf, was Fig. 57 veranschaulicht. In der Markscheide (Fig. 58) und im Hadrom (Fig. 59) finden sich ebenfalls derartige Kristallzellreihen, deren Entstehung in derselben Form vor sich gegangen ist, wie in der Rinde. Löst man die Kristalle mit Salzsäure heraus, so bleiben die Zelluloseetaschen, in denen die Drusen ruhen, sichtbar (Fig. 60). Wenn im Tangentialschnitt die einzelne Kristallreihe der sekundären Rinde zugespitzte Endzellen aufweist, so handelt es sich auch in diesem Falle nicht um allseitig zugespitzte Fasern, sondern um Kristallreihen, deren äussere Form der kambialen Mutterzelle entspricht.

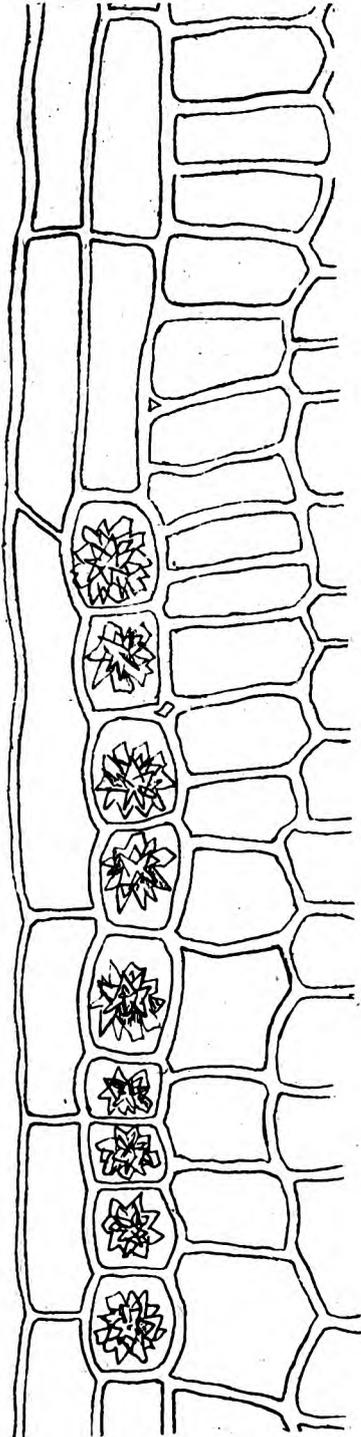


Fig. 58.

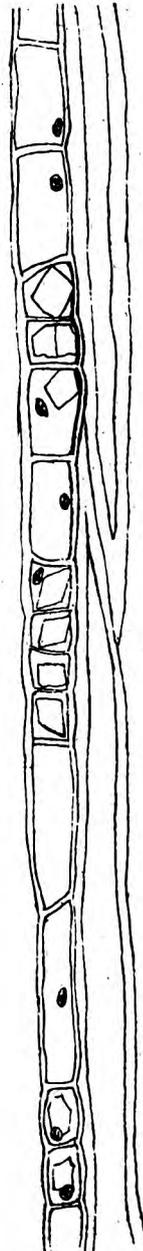


Fig. 59.

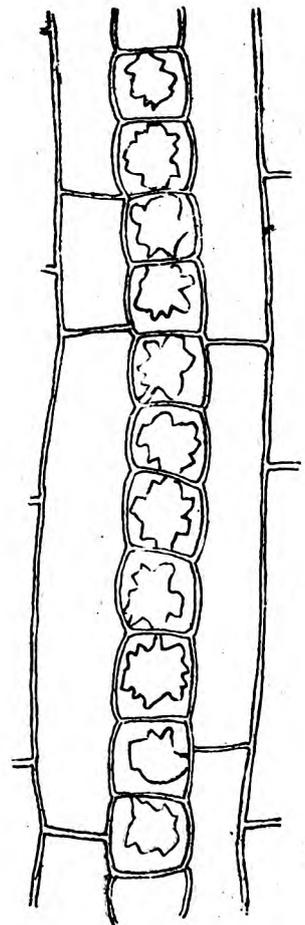


Fig. 60.

Punica granatum L.

Die in der sekundären Rinde vorkommenden Kristallzellreihen verdanken ihre Entstehung ebenfalls dem Kambium. Die Kambiumzellen, und zwar in diesem Falle eine ganze Reihe hinter einander liegender, gehen zu gleicher Zeit Teilungen ein, die von den bisher

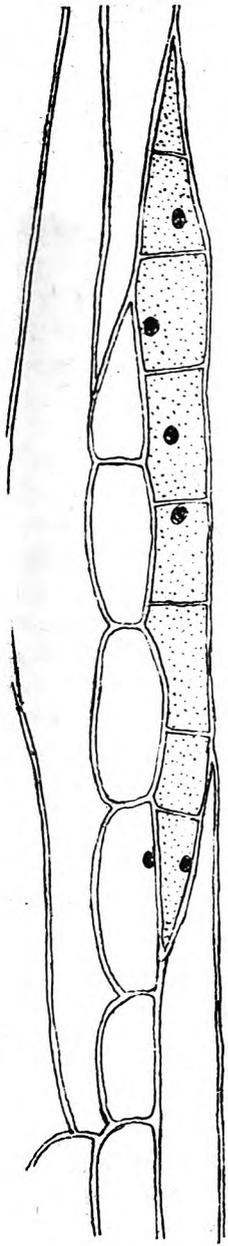


Fig. 61.

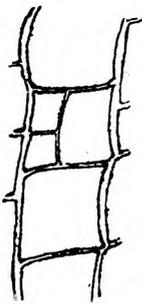


Fig. 65.

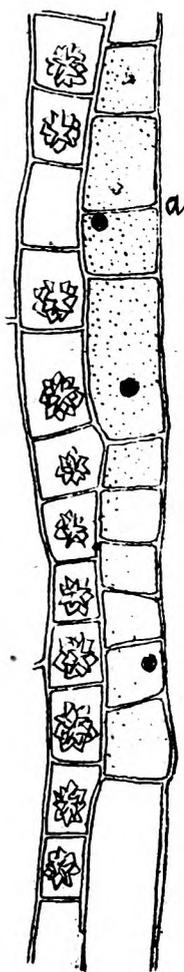


Fig. 62.

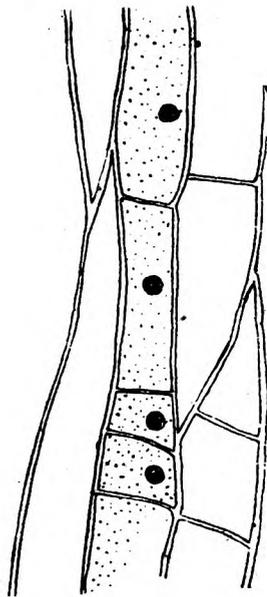


Fig. 66.

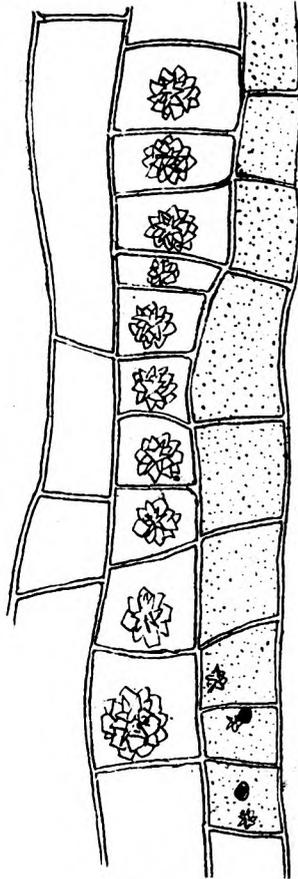


Fig. 63.

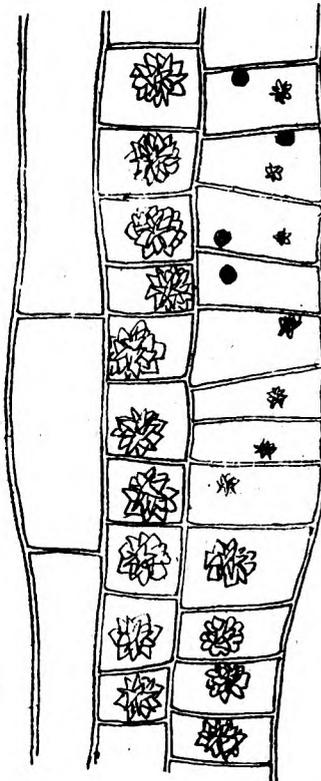


Fig. 67.



Fig. 64.

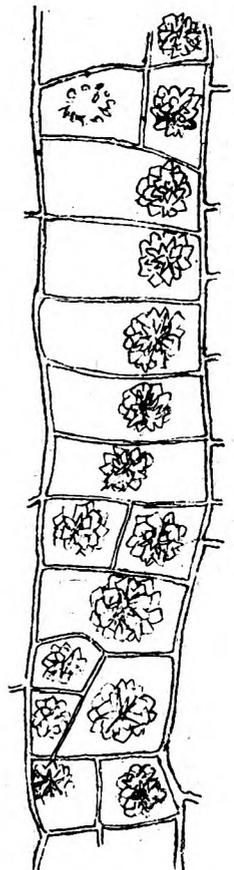


Fig. 68.

erwähnten in keiner Weise abweichen. In Fig. 62 bei a und 63 weicht man ebenfalls wieder, dass die aus einer Zelle entstandenen Teilzellen sich halbierend weiter teilen. Betrachtet man eine kambiale Zelle im Tangentialschnitt, so erscheint sie zugespitzt, während sie im Radialschnitt dagegen rechteckig gestreckt aussieht. Fig. 61 veranschaulicht eine solche aufgeteilte Zelle im Tangentialschnitt, Fig. 62 eine gleiche im Radialschnitt.

Dass die Wände nicht immer senkrecht zur Mutterzelllängswand angelegt zu werden brauchen, zeigen die Figuren 64, 65 und 66. Namentlich an Fig. 65 und 66 erkennt man, dass die Zellen, die durch parallele Stellung der neuen Teilungswand zur Mutterzelllängswand entstanden sind, noch weiter aufgeteilt werden können. Innerhalb einer Reihe können, was sehr oft zu beobachten ist, die entstandenen Tochterzellen bei weiterer Aufteilung alle ihre neuen Wände in Richtung der Pflanzenaxe stellen (Fig. 72). Fig. 67 und 68 stellt die Entwicklung der Drusen in den fertig gebildeten Zellen dar, die hier für die einzelne Reihe ziemlich gleichzeitig zu erfolgen scheint. Mit der Ausbildung des Kristalles verliert dann die Zelle ihre Teilungsfähigkeit. Die solcher Art entstandenen Kristallzellreihen wachsen nun mit dem übrigen Gewebe zu einer bestimmten Grösse heran. Dass hierbei ein besonderes Spitzenwachstum stattfindet, wie bei den Bast- und Libri

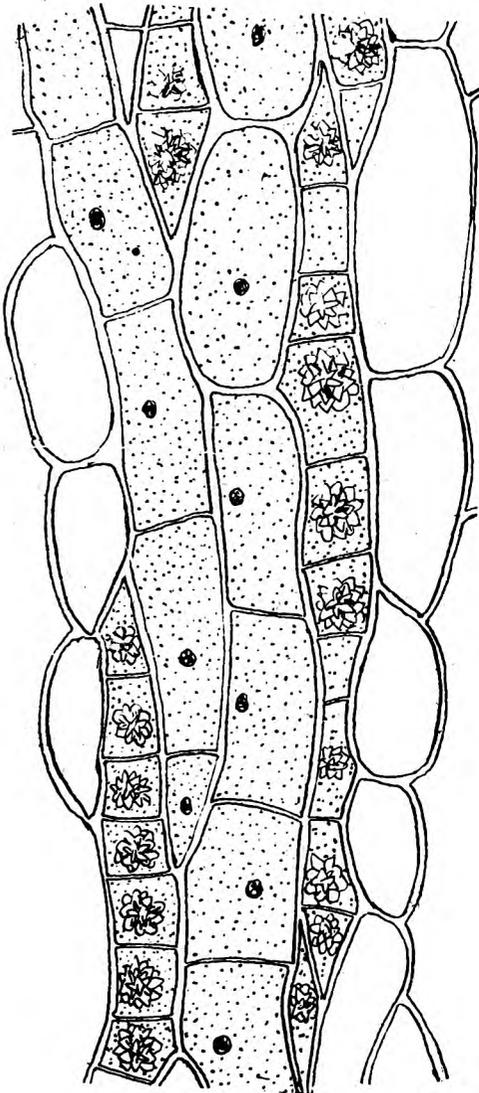


Fig. 69.

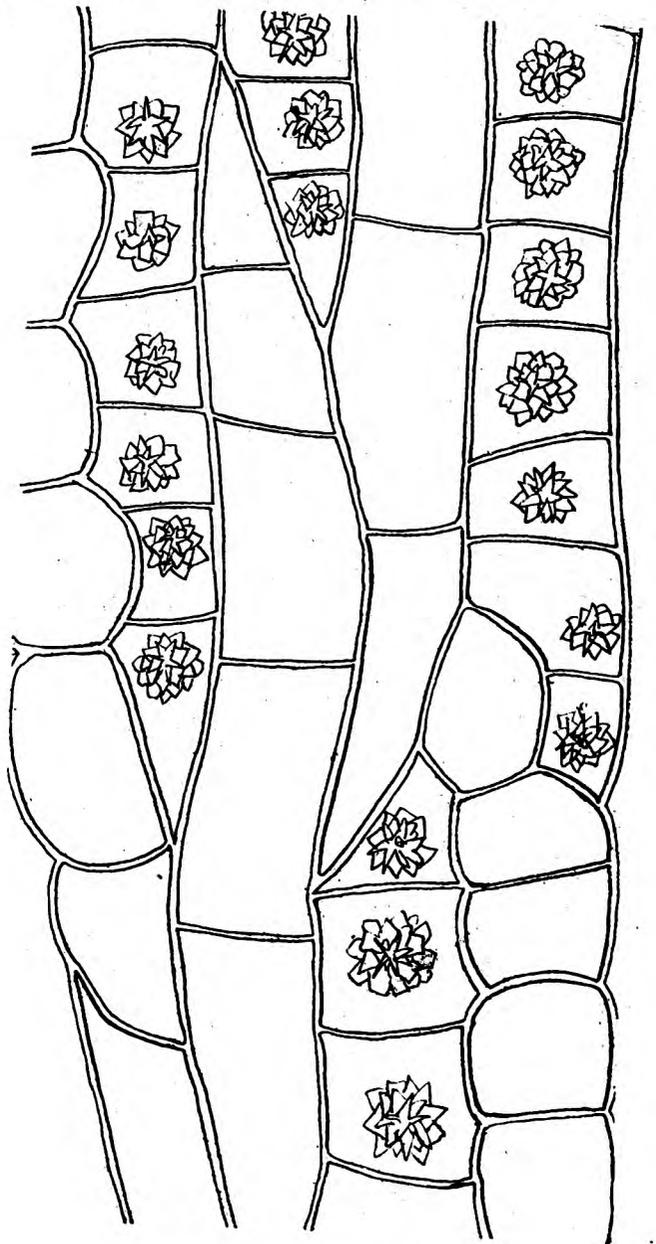


Fig. 70.

formfasern konnte nicht beobachtet werden. Wenn die Kristallzellreihen auf dem Tangentialschnitt, wie Fig. 69 und 70 sie zeigen, zugespitzt erscheinen, so seien ihnen die Parenchymzellverbände in denselben Figuren entgegengestellt. Fig. 69 ist ein Tangentialschnitt aus einem älteren Rindenstück eines Astes und Fig. 70 aus einer alten Stammrinde. Bei den Vergleichen der Parenchymzellreihen mit den Kristallzellreihen sieht man, dass die Kristallzellreihen sich in demselben Masse vergrössert haben wie die Parenchymzellverbände, die bei diesen beiden Figuren eine gleiche Zuspitzung der Endzellen aufweisen. Im Radialschnitt dagegen ist von einer solchen Zuspitzung, wie schon anfangs erwähnt, nichts zu finden. Dieses beweist also, dass beide Reihen, sowohl Kristallzellreihen, als auch Parenchymzellverband, im grossen und ganzen die polyedrische Form der Kambiumzellen, aus denen sie entstanden sind, beibehalten haben. Während man auf Tangentialschnitten oft mehrere Reihen von Kristallzellen neben einander liegen sieht, erkennt man auf Radialschnitten, dass Parenchymzellreihen mit Kristallzellreihen fast regelmässig abwechseln (Fig. 71). Fig. 72 stellt eine Kristallzellreihe dar, die halb tangential, halb radial getroffen ist und bei der die einzelnen Kristallzellreihen ihre Mutterzellen schwach erkennen lassen.

Es handelt sich auch in diesem Falle nicht um Fasern, sondern um parenchymatisches Gewebe, denn Fasern zeigen sowohl auf dem Radial- wie Tangentialschnitt zugespitzte Enden.

Schliesslich sei noch erwähnt, dass in den Reihen, wenn auch sehr selten, neben Drüsen ab und zu ein Einzelkristall zu verzeichnen ist.

Eucalyptus globulus Lab.

Auch hier hat man wieder bei der Entstehung der Kristallzellreihen zu unterscheiden zwischen den Reihen in der primären Rinde und denen der sekundären. In der primären Rinde kommen die Reihen dadurch zustande, dass in die vorhandenen kleineren Zellen Kristalle, und zwar Drüsen, abgelagert werden. Jedoch können auch diese kleineren Zellen, wie Fig 73 es zeigt, vorher noch eine Teilung eingehen, ehe der Kristall angelegt wird. Vielfach konnte jedoch beobachtet werden, dass die in den ersten Zellreihen der primären Rinde sich findenden gestreckteren Zellen, ehe sie zur Kri-

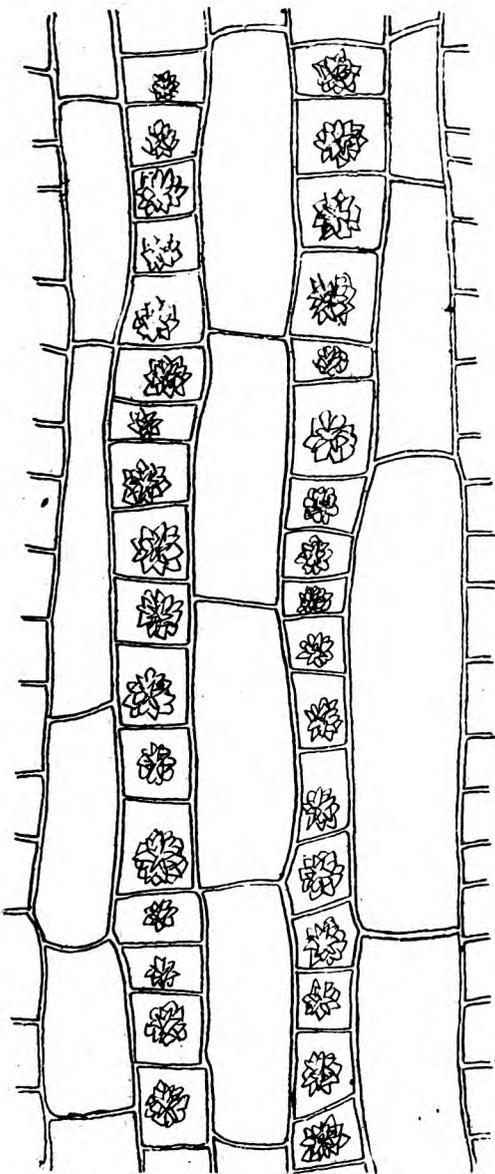


Fig. 71.

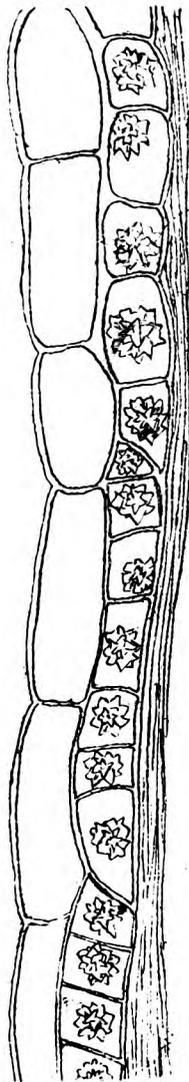


Fig. 72.

stallablagerung schreiten, Teilungen eingehen, und zwar, wie es durch Fig. 74 veranschaulicht wird, genau so regelmässig wie in den bisher beschriebenen Zellen der sekundären Rinde. Bei *Eucalyptus* konnte ich in der primären Rinde, in der hauptsächlich Drusen zu finden waren, in einer Reihe neben Drusen auch Einzelkristalle beobachten.

Die Teilungs- und Entstehungsvorgänge in der sekundären Rinde veranschaulichen die Fig. 75 und 76. Man kann erkennen, dass eine langgestreckte Zelle der kambialen Zone sich zur Hälfte teilt, dass dann die entstandenen Tochterzellen, eine weitere Teilung eingehend, je vier kleinere Zellen liefern, um darin die Kristalle ablagern zu können. Auch hier konnte die grosse Regelmässigkeit in der Teilung durch das vielfache Vorhandensein von Zellen in den geraden Zahlen festgestellt werden. Fig. 77 zeigt die sich entwickelnden Kristalle, die meist so angelegt werden, dass ihre Axe parallel der Wachstumsrichtung der Pflanze zu liegen kommt, jedoch konnte beobachtet werden, dass nicht alle Kristalle diese Lage einnehmen, vielmehr bei flachen Zellen, die sich also weiter geteilt hatten, die Kristalle in wagerechter Lage anzutreffen waren (Fig. 78). Auch in Zellschichten, die weiter vom Kambium entfernt waren, wurden Zellteilungsvorgänge beobachtet (Fig. 79 und 80). Es entstehen dadurch auch hier Kristallreihen. Man sieht jedoch

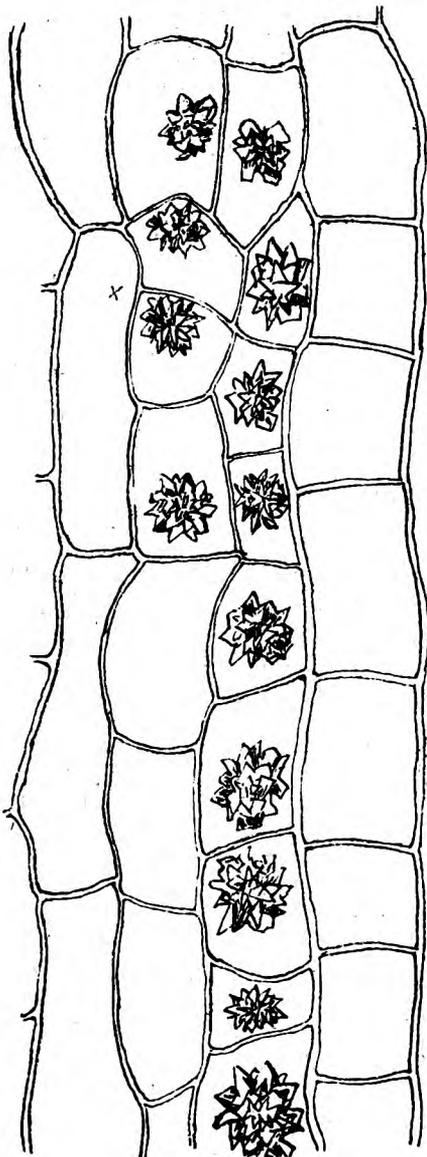


Fig. 73.

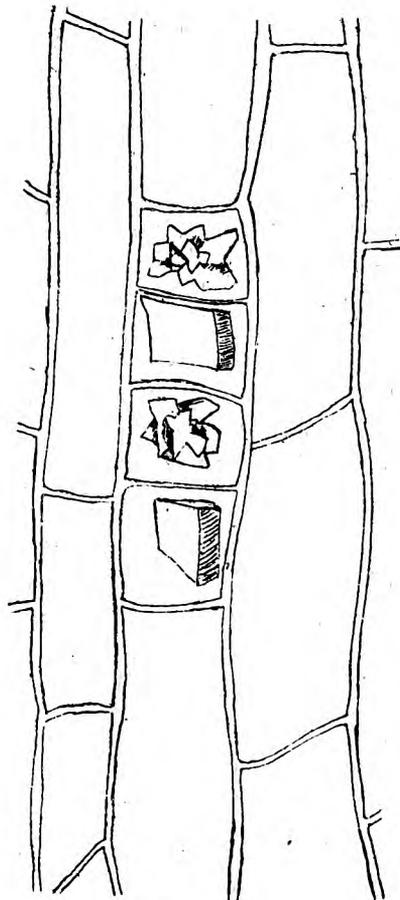


Fig. 74.

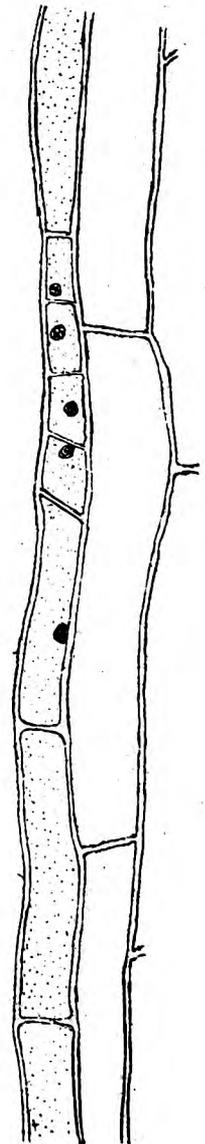


Fig. 75.

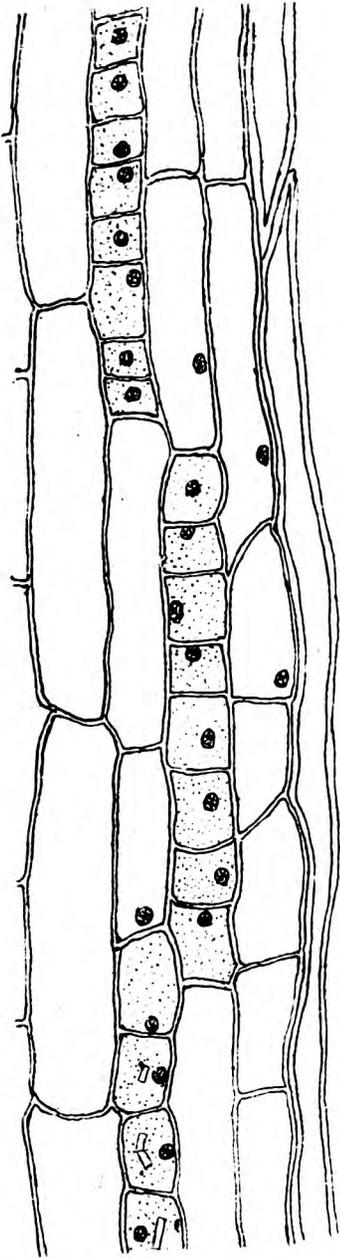


Fig. 76.

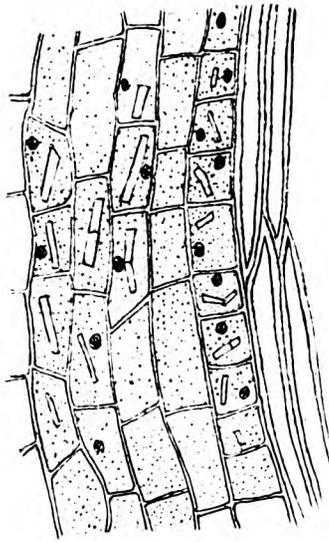


Fig. 77.

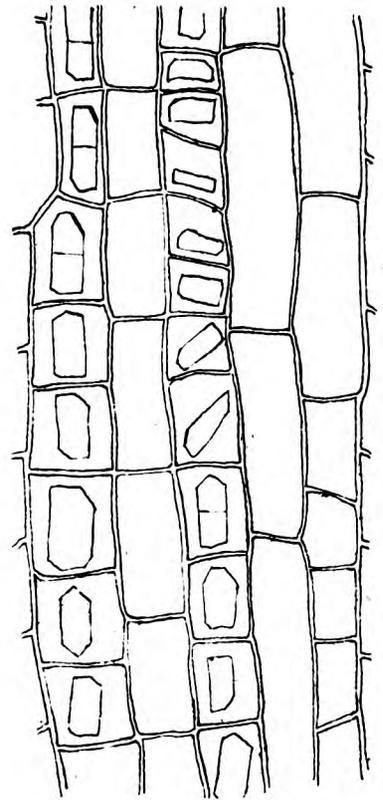


Fig. 78.

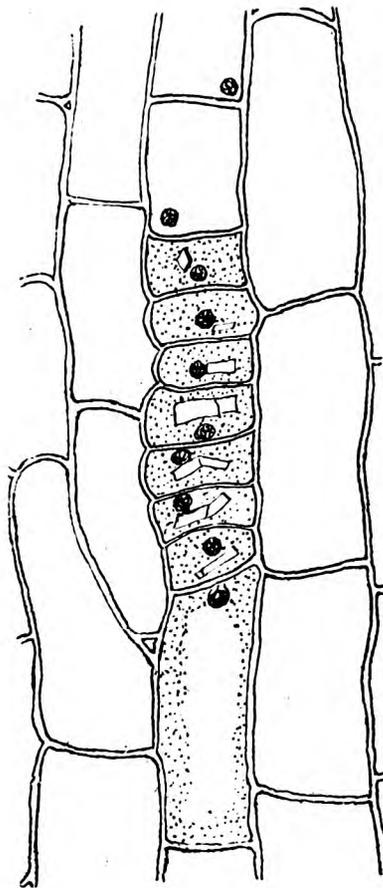


Fig. 79.

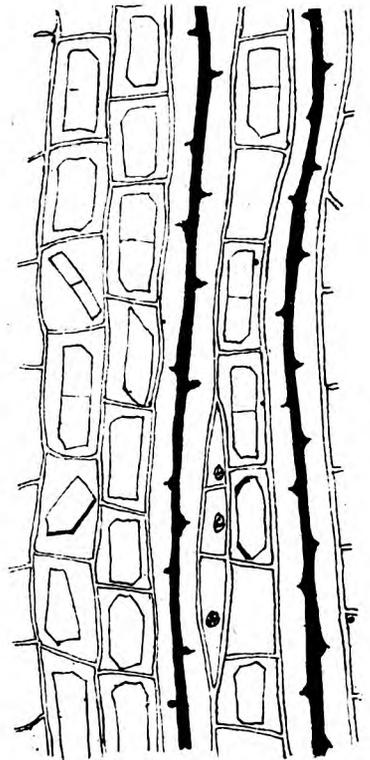


Fig. 80.

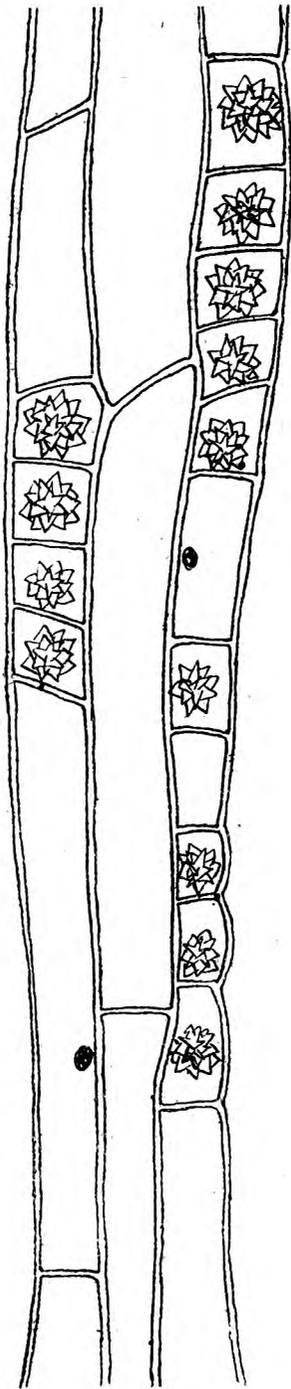


Fig. 81.

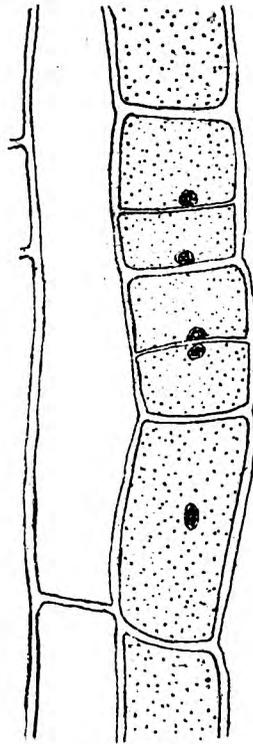


Fig. 82.

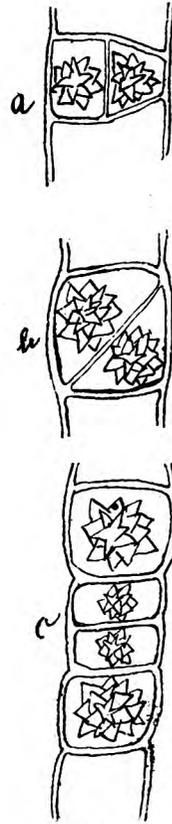


Fig. 84.

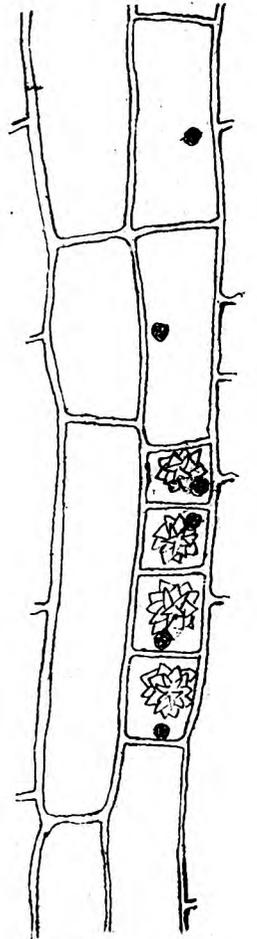


Fig. 86.

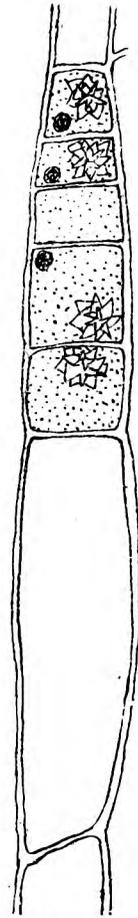


Fig. 85.

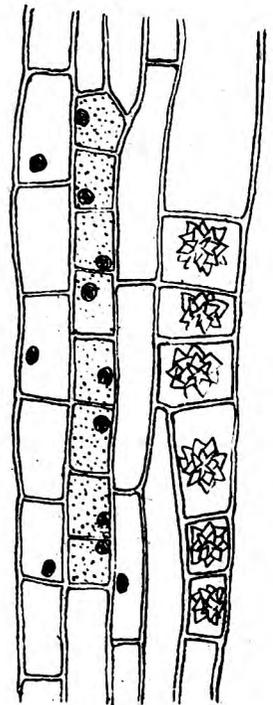


Fig. 83.

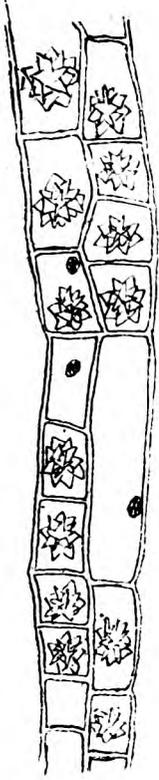


Fig. 88.



Fig. 89.

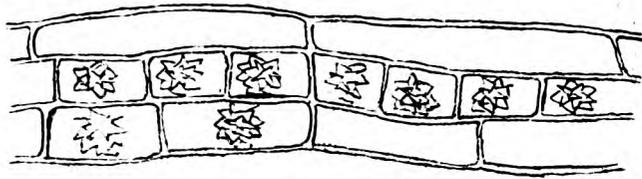


Fig. 87.

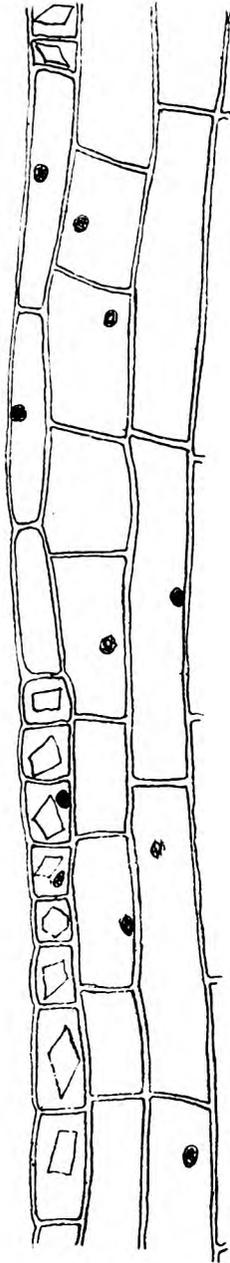


Fig.90.

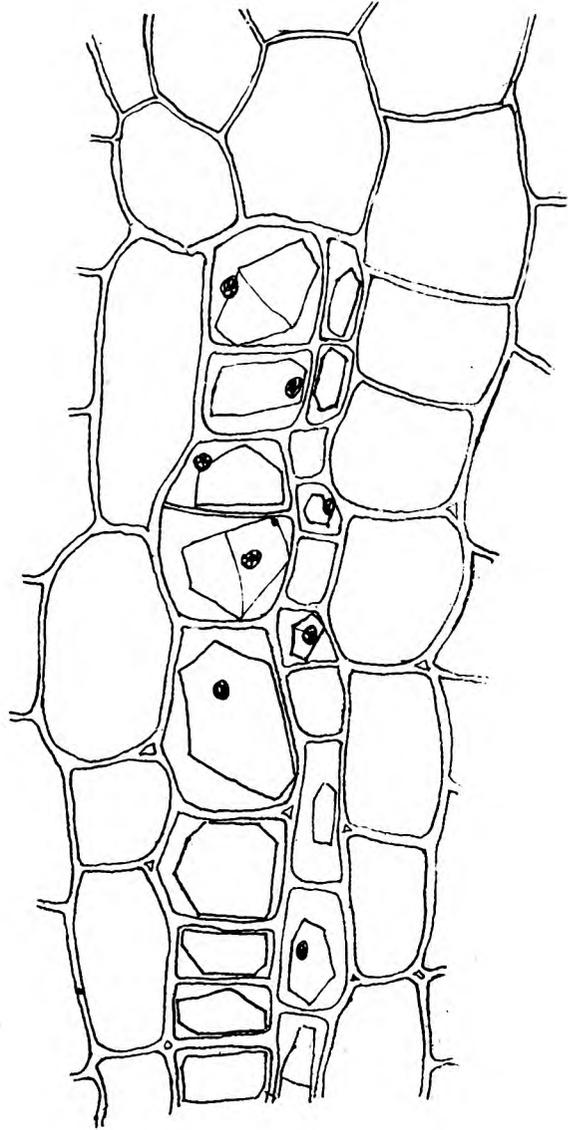


Fig. 91.

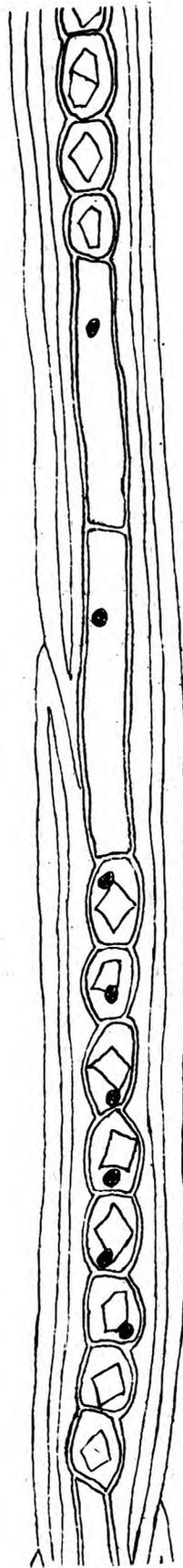


Fig. 92.

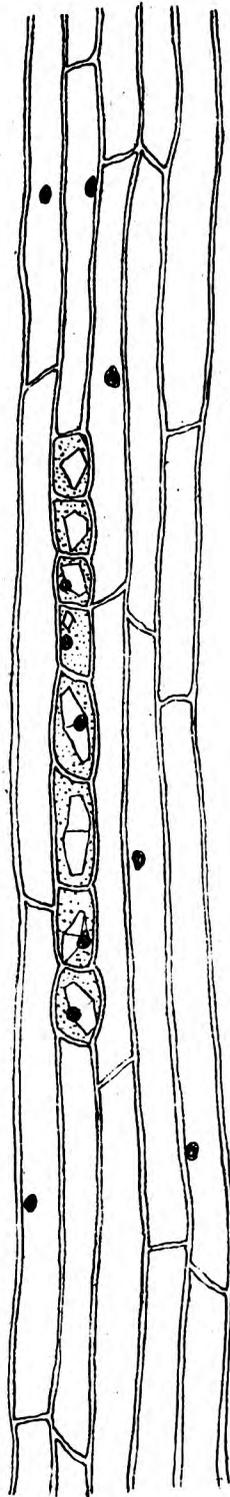


Fig. 94.

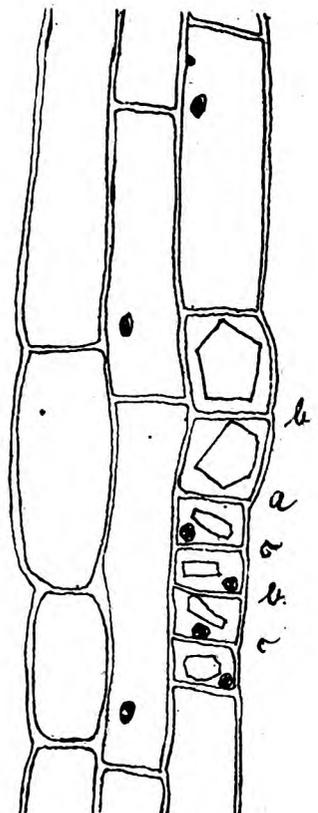


Fig. 93.

auch oft, dass auch Kristalle abgelagert werden können, ohne dass eine weitgehende Zellteilung vorangegangen wäre. In solchen Fällen findet man sehr grosse Kristalle in den betreffenden Zellen, ein Zeichen, dass nach Bildung eines Kristalles die Teilungsfähigkeit einer solchen Zelle aufgehoben wird. Was das Anlegen der Kristalle anbelangt, so konnte festgestellt werden, dass in Zellen, die eben erst eine Teilung erfahren hatten, Kristalle abgelagert wurden, während benachbarte Zellen einer Reihe noch in weiterer Teilung begriffen waren. Dadurch, dass mehrere Mutterzellen hinter einander zu Kristallzellreihen werden, entstehen lange, sich durch das Gewebe hinziehende Kristallreihen, die auf Radialschnitten deutlich zu erkennen sind. Auch hier erscheinen auf dem Radialschnitt die aus einer Mutterzelle entstandenen Kristallzellreihen

mehr rechteckig, während auf dem Tangentialschnitt die zugespitzte Form der Kambiumzelle deutlich zutage tritt.

BLÄTTER.

Juglans regia L.

Während sich im Blattparenchym die Drüsen in Zellen finden, die die umliegenden Parenchymzellen um ein Mehrfaches an Grösse übertreffen, sind die einzelnen Zellen der Kristallreihen kleiner als die Zellen des Blattnervegewebes. Die Zellen des Nervenstranges sind in Richtung des Gefässbündelverlaufs gestreckt und zwar herrscht hier nicht eine bestimmte Grösse von Zellen vor, wie man es in den jungen Zuwachsteilen der sekundären Rinde beobachten konnte, sondern die Grössen wechseln sehr. Neben

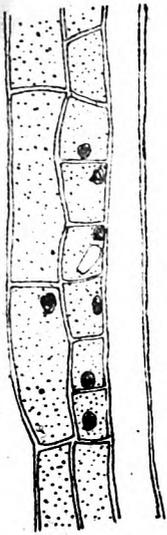


Fig. 96.

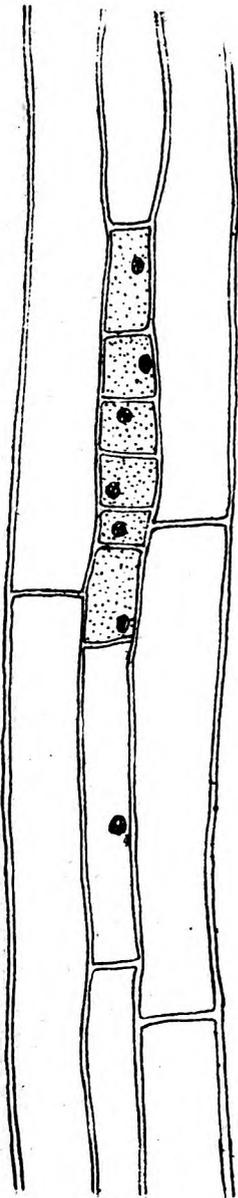


Fig. 95.

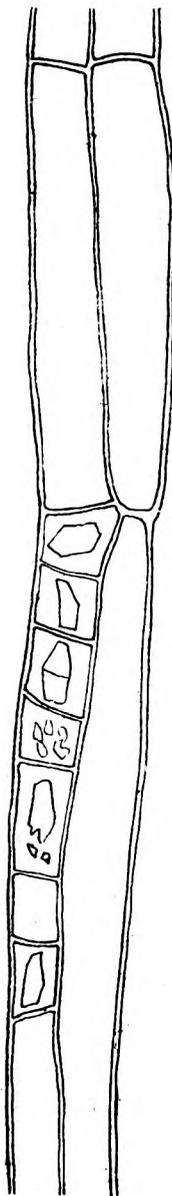


Fig. 97.

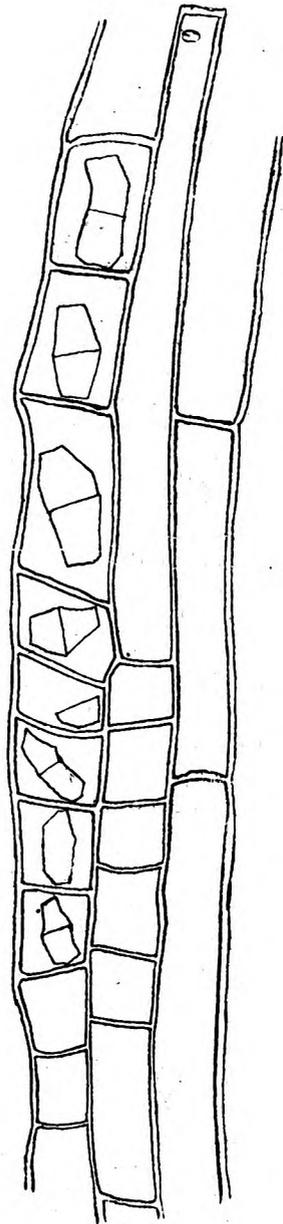


Fig. 98.

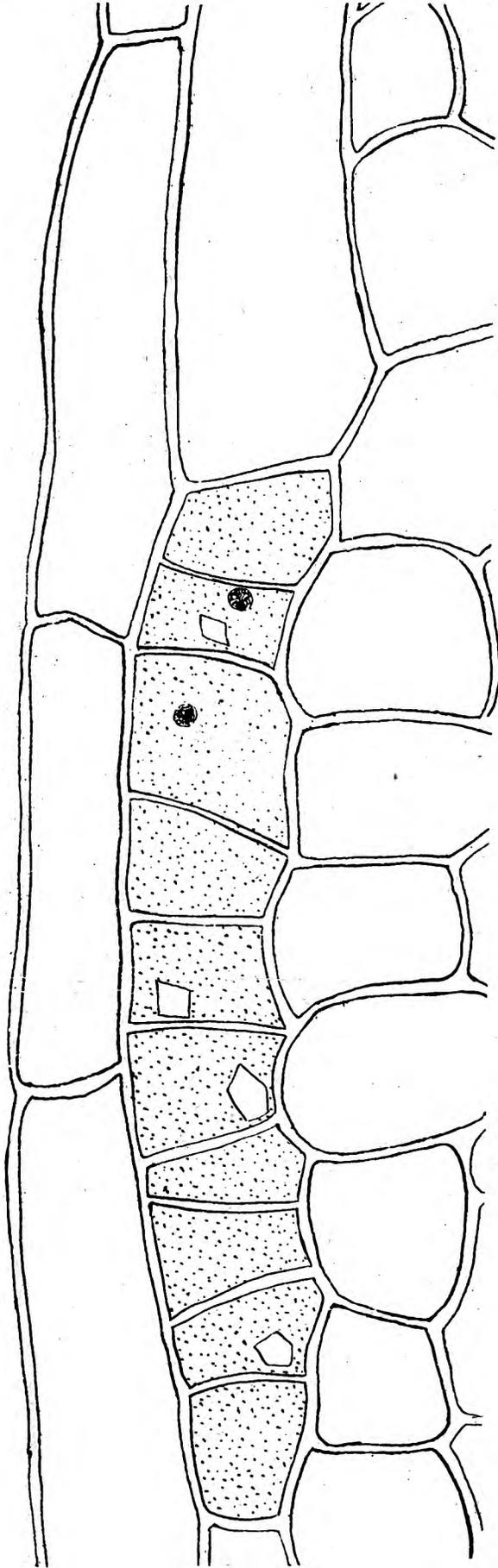


Fig. 99.

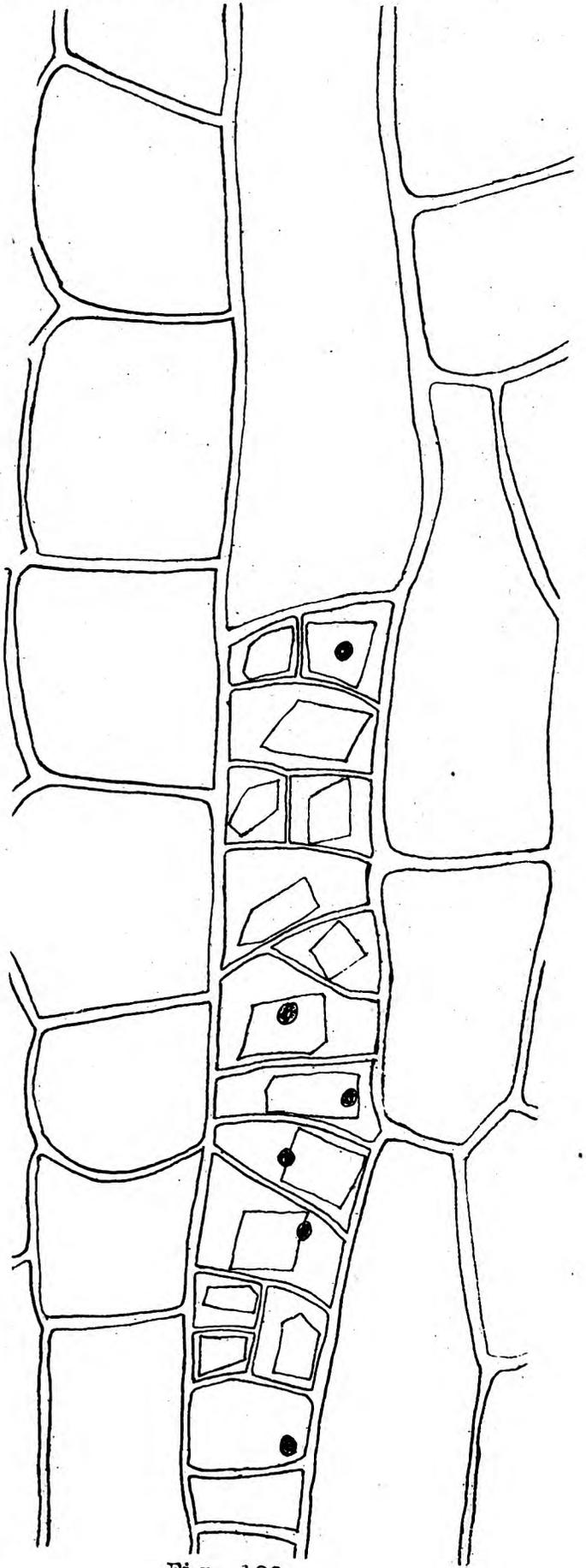


Fig. 100.

den langgestreckten Zellen, die aussen die Gefässbündel begleiten, kann man nach innen zu, mehr den Gefässbündeln genähert, halb so grosse Zellen beobachten, jedoch sind auch diese Zellen gestreckt.

Die Teilungsvorgänge zu den Kristallzellreihen sind denen der vorher beschriebenen in den sekundären Rinden ähnlich. Die langgestreckte Zelle geht zunächst eine Teilung in 2 halb so grosse Tochterzellen ein (Fig. 81). Es folgen nun weitere Teilungen der Tochterzellen in demselben Sinne, wie die Fig. 82 und 83 es darstellen. Die sich neu bildenden Teilungswände brauchen nicht immer parallel den schon vorhandenen Teilungsquerwänden angelegt zu werden. In Fig. 84 hat die Mutterzelle die neue Wand in Richtung der Längswand der Mutterzelle und bei Fig. 84 schräg in die Richtung der Diagonale gestellt. Während nach der ersten Teilung der Mutterzelle selbst oder der Tochterzellen einzelne Zellen zur Kristallbildung schreiten, gehen andere Zellen noch weitere Teilungen ein, sodass innerhalb einer Reihe verschieden grosse Zellen mit kleineren und grösseren Kristallen vorkommen (Fig. 84). Ebenso zeigt Fig. 85, dass in der zweitobersten Zelle die Teilung weiter gegangen ist, als in den anderen derselben Reihe. Die Fig. 81 und 86 lassen die symmetrische Regelmässigkeit der Teilung ohne weiteres erkennen. Die Fig. 83, 87 und 88 stammen aus den inneren Teilen des Blattnervenstranges. Die hier kleineren Mutterzellen teilen sich oft nur einmal und legen dann schon die Kristalle an oder gehen teilweise gar keine Teilung ein. Die Kristallzellreihen bilden in diesem Gewebe also aus vielen hinter einander liegenden Zellen, die sich entweder weitgehend geteilt haben oder weniger geteilt geblieben sind.

Die Kristallbildung findet erst statt, nachdem die Wandbildung für die neuen Zellen vor sich gegangen ist. Mehrere Kristalle in einer Zelle habe ich hier nicht beobachten können. Ferner war eine Teilung nach Vorhandensein eines Kristalles nicht mehr feststellbar. Es sind also wesentliche Unterschiede in der Entstehung der Kristallreihen der Rinde und der Blätter nicht vorhanden.

Cassia tomentosa.

Cassia tomentosa führt in den Kristallzellreihen der Blattnerven Einzelkristalle oder Drusen. Jedoch findet man innerhalb einer Reihe stets nur eine Kristallform. Die Entstehung der Kristallzellreihen weicht in keiner Weise von der des vorher beschriebenen Blattes ab. Die gestreckten Zellen teilen sich ganz regelmässig in zwei Tochterzellen, die jetzt schon Kristalle ablagern oder noch weitere Teilungen eingehen, um dann zur Kristallbildung zu schreiten. Findet bei mehreren hinter einander liegenden Zellen eine derartige Teilung statt, so können sehr lange Reihen von Kristallzellen entstehen, wie man sie vielfach beobachten kann. Daneben finden sich aber auch Kristallzellreihen, die mit einigen ungeteilten gestreckten Parenchymzellen abwechseln (Fig. 89). Auch Fig. 90 zeigt eine derartige Anordnung Rhomboeder führender Zellen. Die Kristallzellen, die sich an den Bast anlehnen, führen Einzelkristalle, wie dies schon bei den meisten Rinden der Fall war. Sie sind von einer Zellulosemembran umgeben. Abweichungen in der Lage der neu gebildeten Zellwände von der gewöhnlichen Anlage der Wände waren auch hier zu beobachten.

Citrus aurantium Risso.

Genau wie bei *Juglans* finden auch hier bei der Bildung der Kristallzellreihen Teilungen lang gestreckter Zellen statt. Während die Form und Grösse der Mutterzellen im Blattnervengewebe von *Juglans* vielfach variierte, sind hier die Zellen meist gestreckt rechteckig, mitunter etwas zugespitzt. Um die Gefässbündel des Blattstieles herum finden sich ebenfalls Kristalle; sie sind auch zu Reihen angeordnet, entstehen aber ähnlich denjenigen vieler primärer Rinden. Sie nehmen mitunter gestreckte Formen an, ohne dass dadurch eine wesentliche Abweichung von der polyedrischen Form der parenchymatischen Zellen zu bemerken ist. Fig. 91 zeigt derartige Zellen. Diese können, wie es auch aus derselben Figur

ersichtlich ist, ohne vorhergehende Teilung zur Kristallbildung schreiten, oder sie gehen einfache Teilungen ein, indem eine grössere Zelle in zwei Tochterzellen halbiert wird. Alsdann lagern sich die Kristalle ab. Man findet daher in dem Kristallparenchym des Blattstieles verschiedene Kristallgrössen. Die Unterschiede sind vielfach sehr erheblich. Die das Gefässbündel der Blattnerven begleitenden Zellen weisen lang gestreckte Formen auf und erfahren eine weitgehende Aufteilung, ehe die Kristallbildung von statten geht. Die Teilungsmodi sind denen der sekundären Rinden gleich und dieselben, wie bei den vorher beschriebenen Blättern. Die Mutterzelle teilt sich in entweder zwei gleich grosse oder seltener zwei verschiedene grosse Zellen. In letzterem Falle sind die Grössenunterschiede der Tochterzellen niemals derart, dass die eine Zelle ein Vielfaches oder ein Geringeres der anderen Tochterzelle ist. Fig. 92, 94, die einen zwischen Bastfasern liegenden Parenchymstreifen darstellt, zeigt zu oberst, wie sich die längliche Zelle bereits einmal geteilt hat. Bei weiteren Aufteilungen in gleichem Sinne entstehen dann weiter 4 Tochterzellen, Fälle, die auch vielfach zu beobachten waren. Und schliesslich bilden sich dann eventuell nach nochmaliger Zellteilung die Kristalle. Fig. 93. lässt bei a die erste Teilungswand erkennen; die entstandenen Tochterzellen bilden je zwei neue Zellen mit ihren Wänden b. Während nun in den beiden oberen Zellen eine weitere Teilung unterblieb und Kristalle angelegt wurden, konnten sich die beiden unteren Zellen nochmals teilen (c), sodass auch hier wieder eine Unregelmässigkeit in der Teilungsfolge zu verzeichnen ist. Man kann vielfach beobachten, dass die Kristallzellreihen, wie es Fig. 92 zeigt, mit Parenchymzellen ohne Kristalle abwechseln. Auch mehrere hinter einander liegende Parenchymzellen werden zu Kristallzellen aufgeteilt.

Eucalyptus globulus Lab.

Die Blätter von *Eucalyptus* weisen reichlich Kristalle auf. Während im Blattparenchym in grosser Zahl Kalciumoxalatdrusen verstreut im Gewebe anzutreffen sind, findet man die Gefässbündelstränge von zahlreichen Kristallreihen begleitet. Die Zellen dieser Reihen führen Einzelkristalle oder Zwillingkristalle.

Die Reihen kommen dadurch zustande, dass sich die die Gefässbündel umgebenden Zellen in eine mehr oder weniger grosse Zahl von Tochterzellen teilen, und zwar geht eine grössere Anzahl von hinter einander liegenden Zellen derartige Teilungen ein, sodass eine beträchtliche Menge von Kristallzellen zu einer Reihe vereinigt sind. Die Aufteilung in die einzelnen kristallführenden Zellen verläuft nicht immer so regelmässig, dass gleich grosse Kristallzellen innerhalb einer Reihe anzutreffen sind, zumal die gestreckten Mutterzellen auch in ihrer Grösse variieren. Daher findet man auch Kristallzellreihen, die aus Zellen von fast quadratischer Form bestehen, neben solchen von gestreckterem, rechteckigem Aussehen neben einander in einer Reihe. In der Teilung der Zellen sind Unterschiede mit den bisher untersuchten Blättern nicht festzustellen gewesen. Die gestreckte Zelle teilt sich zunächst in zwei Tochterzellen, die weitere Teilungen eingehen. Fig. 95 zeigt nun, dass die mittelsten beiden Tochterzellen sich weiter geteilt haben, während die oberste und unterste Zelle der Reihe noch ungeteilt ist. In Fig. 96 sieht man dann schon einen Kristall angelegt; die Zellreihe zeigt deutlich die weitere Aufteilung der Tochterzellen. Geschieht eine weitere Teilung nicht, was sehr häufig zu beobachten ist, namentlich, wenn ein Kristall angelegt ist, so werden natürlich nicht alle Kristallzellen von derselben Grösse sein; dasselbe trifft dann auch für die Kristalle zu (Fig. 97 und 98).

Die lang gestreckten Zellen, die etwas weiter vom Gefässbündel abliegen, gehen ähnliche Teilungen ein, führen aber Drusen. Bei der Bildung dieser Kristallzellen habe ich auch Wände beobachten können, die parallel zur Längswand der Mutterzelle gerichtet waren. Nachdem in beiden Fällen Kristalle angelegt waren, konnten weitere Aufteilungen der Kristallzelle nicht mehr festgestellt werden.

Arctostaphylos uva ursi. Sprengel.

Auch in den Blattnerven der *Folia uva ursi* finden sich reihenweis gelagerte Kristallzellen. Bei jungen Blättern sieht man, dass das Parenchym der Nerven, das die Gefässbündel umschliesst, gestreckt ist und in der Richtung des Gefässbündels verläuft. Die gestreckten Zellen gehen Teilungen ein, die in der Weise verlaufen, dass annähernd zwei gleich grosse Tochterzellen entstehen. Die erhaltenen Zellen vollführen in demselben Sinne weitere Teilungen. An Fig. 99 erkennt man noch die letzten Teilungen der auf diese Weise entstandenen Tochterzellen. Durch Fig. 100 wird man ebenfalls, wie es schon vielfach bei den vorher beschriebenen Blättern der Fall war, belehrt, dass die Teilungswände der Tochterzellen nicht immer so orientiert zu sein brauchen, dass sie senkrecht zur Längswand ihrer Mutterzelle stehen. Man sieht daher in vielen Fällen parallel zur Mutterzellwand angelegte Wände. Fig. 100 zeigt ferner, dass die auf diese Weise entstandenen gestreckten Zellformen noch weitgehendere Teilungen erfahren können. Auch schräg angelegte Wände, wodurch fast dreieckige Zellen entstehen, konnten beobachtet werden. Derartige Zellreihen können nun vereinzelt im Gewebe angetroffen werden. Meist sieht man jedoch mehrere hinter einander liegende Zellen, wodurch längere Reihen resultieren. Oft findet man auch, wie es bei *Melilotus* der Fall war, Kristallzellreihen mit gestreckten parenchymatischen Zellen abwechseln. Neben diesen Kristallzellreihen mit Einzelkristallen findet man auch, namentlich an der äusseren Peripherie des Nervenstranges Zellreihen mit Drusen. Diese Zellreihen sind weit kürzer, entstehen aber auch auf die eben beschriebene Weise aus gestreckten Zellen. Sind die Zellen von mehr quadratischer Form, so werden auch Kristalle ohne vorhergehende Teilung angelegt.

Innerhalb einer Reihe, die Einzelkristalle in ihren Zellen führt, habe ich hin und wieder an Stelle eines Kristalles eine Druse beobachten können und bei Reihen mit Drusenzellen fanden sich Zellen mit Einzelkristallen eingestreut.

c. Rhizome und Wurzeln.

Acorus calamus L.

TSCHIRSCH (50) sagt zur Anatomie des Rhizoms: "In den äussersten Teilen der Rinde finden sich Bastzellbündel, die nur wenige Gefässbündel-Elemente in ihrem Inneren führen, dagegen werden alle diese Bastzellbündel von Kristallkammernfasern begleitet." Es galt nun hier, festzustellen, ob diese Kristallzellreihen ihre Entstehung langen, gestreckten Zellen verdanken, oder ob es sich um Bildungen ähnlich denen verschiedener primärer Rinden handelte. Bei meinen Untersuchungen konnte ich feststellen, dass fast alle Gefässbündelstränge der Rinde von Bastzellen umgeben waren und dass als deren Begleiter Kristallreihen auftraten (Fig. 101). Ich fand in den jüngsten Rhizomstücken keine sehr lang gestreckte Zelle, die durch Fächerung in eine bestimmte Zahl von Kammern zur Kristallzellreihe wurde, sondern nur in Reihen geordnete, vielfach rechteckige, z.T. auch etwas gestrecktere Zellen, die den Bast umgaben. Fig. 102 zeigt derartige Zellen im Radialschnitt und Fig. 103 im Tangentialschnitt. Die mehr gestreckten Formen erfahren vor der Kristallbildung eine Teilung, wie sie Fig. 102 veranschaulicht. Während im Radialschnitt die Form der Kristallreihe einer Faser ähnlich ist, wird im Tangentialschnitt dieser Charakter völlig verwischt. Fig. 104 zeigt bereits die ersten Anlagen der Kristalle. Man sieht hier deutlich, dass die Kristallbildung nicht zu gleicher Zeit in allen Zellen stattfindet. Fig. 105, 106 und 107 stellen die ausgebildeten Kristallzellreihen im Radial- und Tangentialschnitt dar. Bei Fig. 105 erkennt man, dass die grösseren Zellen nicht immer vor dem Anlegen der Kristalle eine Teilung einzugehen brauchen, sondern auch einen grossen Kristall ausbilden können. Die Wände der Kristallzellen sind oft allseitig bis an den Kristall verdickt. Vielfach ist die Membran nach der Bastfaser zu stärker verdickt als nach der Aussenseite. Fig. 108 zeigt eine Kristallzelle nach dem Herauslösen

des Oxalats mit Salzsäure. Vergleicht man diese Entstehungsweise der Kristallzellreihen mit der der Dikotylen, so findet man eine gewisse Ähnlichkeit mit der in manchen primären Rinden. Auch die Festlegung der Einzelkristalle ist hier genau wie bei den Dikotylen. Grosse lang gestreckte Zellen, die sich in 10, 12 oder mehr Zellen vor der Kristallbildung teilen, kommen hier nicht vor. Die Reihenanzordnung wird hier durch die Anlehnung an das Gefässbündel begünstigt und ferner dadurch, dass die Zellreihen in Richtung des Gefässbündels verlaufen.

Glycyrrhiza echinata L.

Betrachtet man die kambiale Zone der Wurzeln, so erkennt man hier Teilungsverhältnisse, wie sie in der Rinde von *Glycyrrhiza* und den übrigen untersuchten Pflanzen beobachtet werden konnten. Fig. 109 zeigt ein derartiges Bild. Die Kambiumzelle, die sich einmal zur Hälfte geteilt hat, ist durch nochmalige Teilung zu vier Zellen geworden. Während die oberen Zellen noch ohne Kristalle sind, zeigen die beiden unteren schon je einen schön ausgebildeten Kristall. Man kann auch Fälle beobachten, dass alle vier Zellen gleich gross sind und Kristalle führen, die in Form und Grösse einander gleichen. Allzu oft jedoch findet man, dass in manchen Zellen die Teilungen der Tochterzellen weiter gehen, während die übrigen der Kristallzellreihe schon Kristalle ausgebildet haben. Fig. 110 veranschaulicht einen derartigen Fall. Durch solche Vorfälle entstehen Reihen mit ungleich grossen Zellen und Kristallen, und die Anzahl der Kristallzellen einer aus einer Mutterzelle entstandenen Reihe wird dadurch unregelmässig. Man kann also auch in diesem Falle keine bestimmte Zahl von Kristallzellen für eine aus einer Mutterzelle entstandene Kristallreihe feststellen. Neben der Bildung von horizontalen Wänden, d.h. Querwänden, die senkrecht zur Längswand der Mutterzelle verlaufen, waren auch schräg gestellte Wände und Wände zu beobachten, die parallel zur Längswand gerichtet waren. Erwähnen möchte ich noch, dass nach Beginn der Kristallbildung innerhalb einer Zelle diese sich nicht mehr weiter teilt.

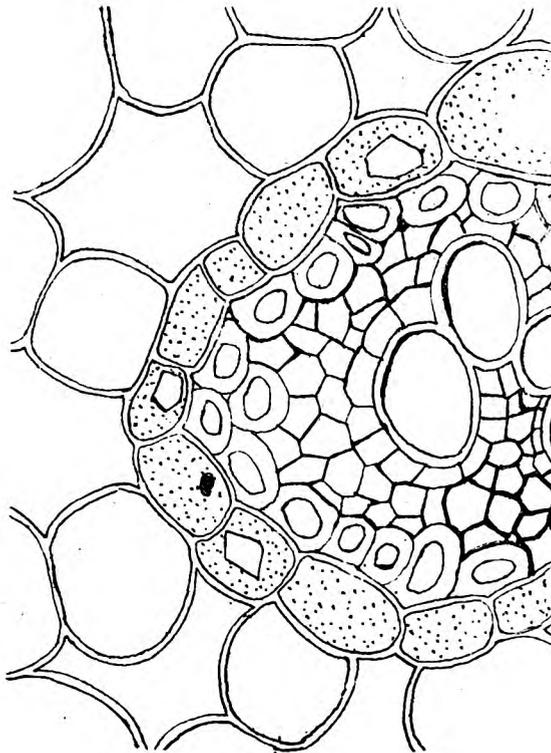


Fig. 101.

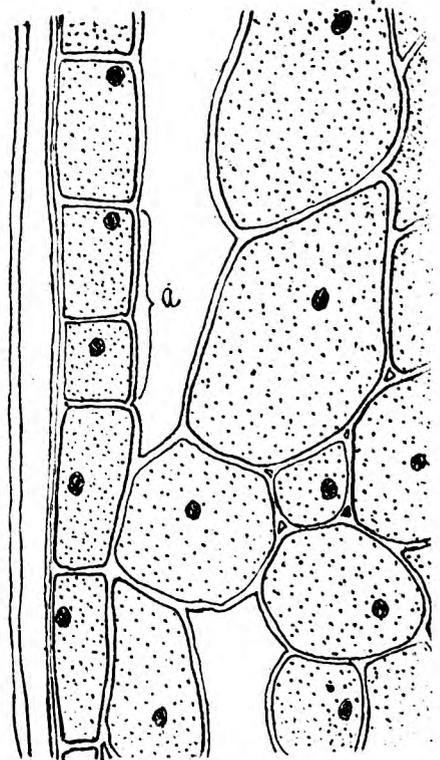


Fig. 102.

Vielfach gehen mehrere über einander liegende Mutterzellen derartige Teilungen ein, und es entstehen dann längere Kristallzellreihen. Letztere haben also nicht ihren Ursprung in einer Mutterzelle, die sich durch Spitzenwachstum erheblich vergrößerte, sondern es sind mehrere hinter einander liegende Mutterzellen daran beteiligt. Die Kristallzellreihen, soweit sie aus einer Mutterzelle hervorgegangen waren, zeigten hier keine wesentlich zugespitzten Enden; ihre Form entsprach völlig der der Kambiumzelle. Im Hadrom finden sich ebenfalls derartige Kristallzellreihen. Ihre Entstehung und Form weicht in keiner Weise von der der Rinde ab. Die Kristalle liegen in Taschen, die durch die Zellwandverdickungen, die bis an den Kristall heranreichen, gebildet werden. Die Wandverdickungen sind oft allseitig, oft findet man sie nur an den Wänden, die an die Sklerenchymfasern stoßen. Sie geben schwache Ligninreaktionen.

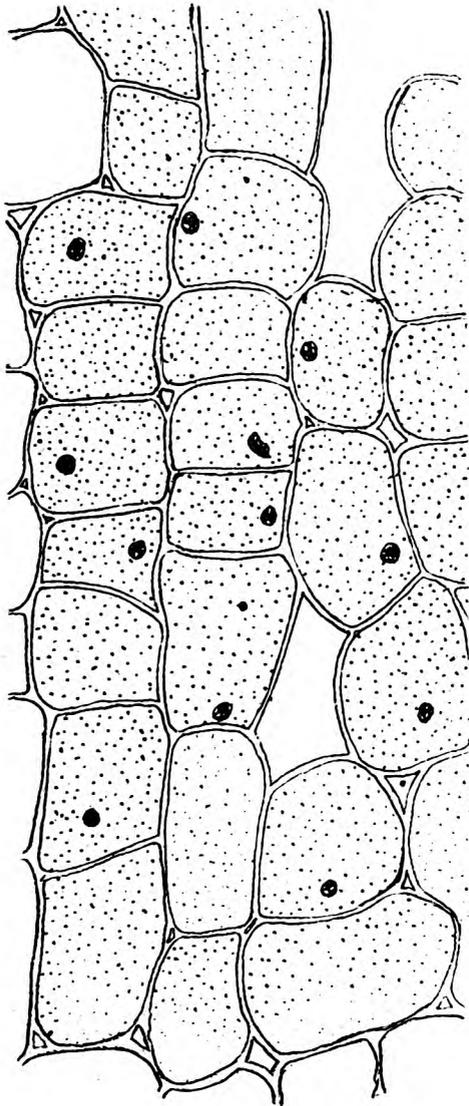


Fig. 103.

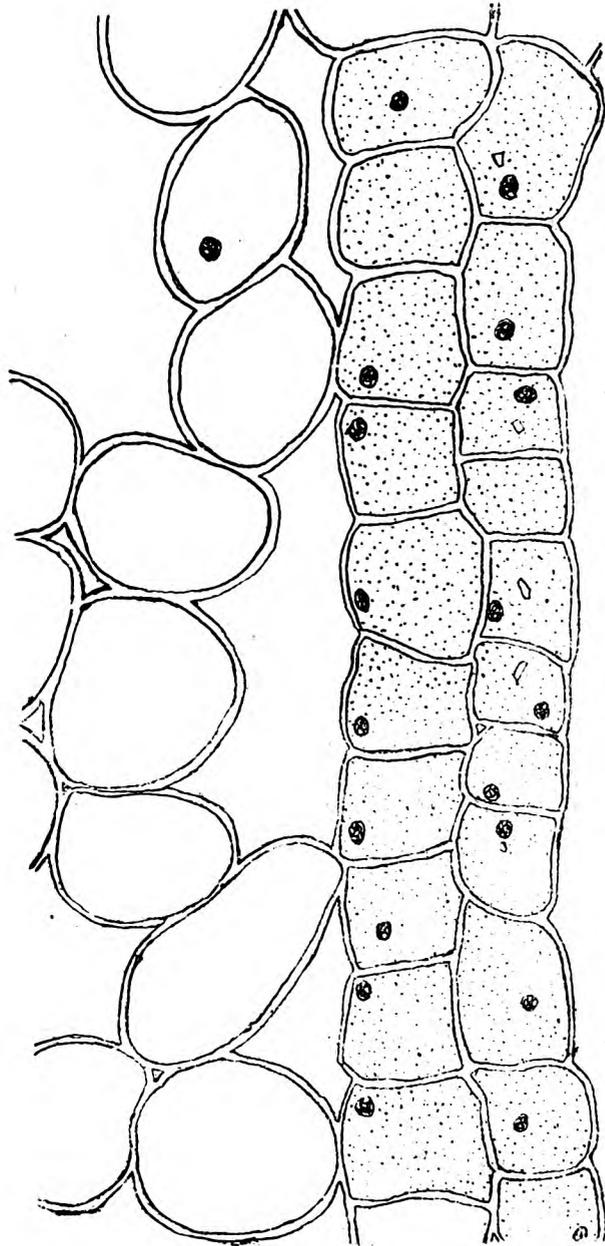


Fig. 104.

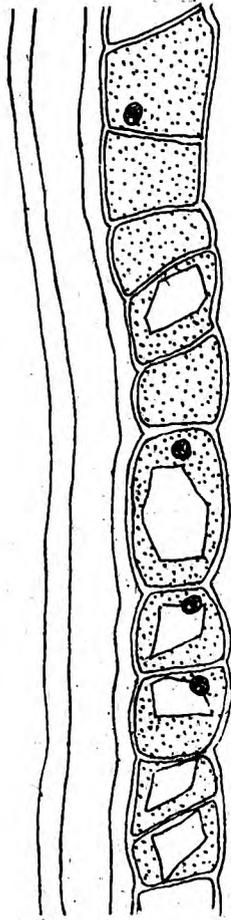


Fig. 105.

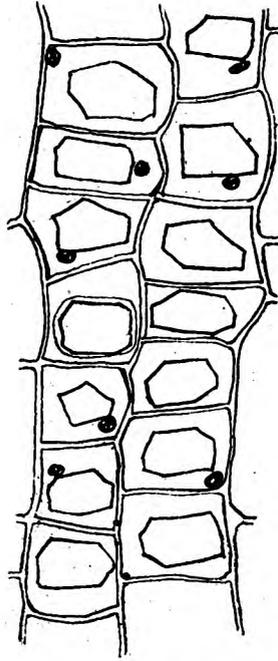


Fig. 106.

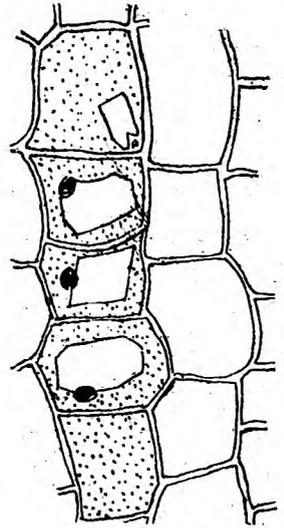


Fig. 107.

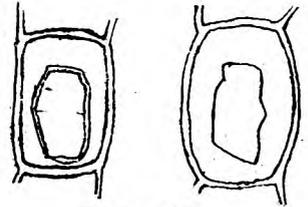


Fig. 108.

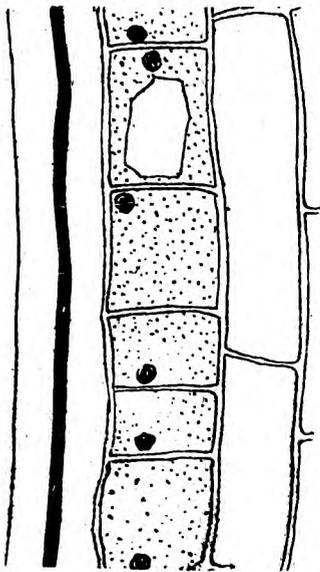


Fig. 110.

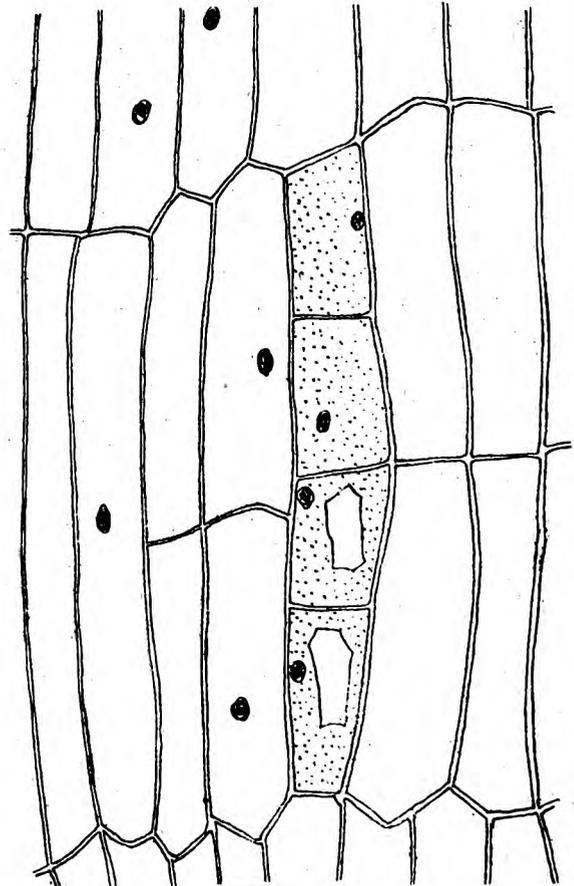


Fig. 109.

Ononis spinosa L.

In der Wurzel von *Ononis spinosa L.* finden sich Kristallzellreihen nur im Holzteil. Die Entstehung dieser Reihen weicht in keiner Weise von der der Kristallreihen von *Glycyrrhiza* ab. Die lang gestreckten Zellen gehen innerhalb der kambialen Zone rege Teilungen ein. Die Mutterzelle teilt sich zunächst in zwei Tochterzellen, diese wieder in je zwei weitere Tochterzellen und so fort. Es entstehen dann Reihen von Kristallzellen, die meist das Aussehen haben, wie sie Fig. 111 darstellt. Man sieht auch hier wieder, dass die Kristalle nicht zu gleicher Zeit angelegt werden, und dass immer erst die Aufteilung in kleine Zellen erfolgt, bevor die Kristallbildung stattfindet. Sobald ein Kristall im Werden ist, geht die Zelle keine weitere Teilung mehr ein. Es konnte ferner beobachtet werden, dass nicht immer die ganze Mutterzelle zur Kristallzellreihe wurde, sondern nur ein Teil derselben. Hatte sich die Mutterzelle in zwei Tochterzellen geteilt, so führte nur die obere oder untere Zelle ihre Teilungen fort, um dann Kristalle anzulegen, während die andere Zelle ein den Holzparenchymzellen ähnliches Aussehen annahm. Fig. 112 zeigt, dass nicht alle Zellen einer Reihe weit gehende Teilungen zu erfahren brauchen. Von den nach zweifacher Teilung entstandenen vier Tochterzellen haben die erste und dritte Zelle sich nochmals halbiert, um dann erst Kristalle bilden zu können. Die Querwände der Kristallzellen brauchen nicht immer parallel zu einander gestellt zu sein; mitunter sieht man auch, dass mehrere Tochterzellen bei weiterer Teilung die Wände so anlegen, dass sie parallel der Mutterzellwand verlaufen. Dieses kann oft in mehreren hinter einander liegenden Tochterzellen geschehen. Ferner findet man, dass zwei hinter einander liegende Mutterzellen Teilungen in dem gleichen Sinne eingehen, wodurch eine längere Reihe entsteht. Also auch hier wieder kein Spitzenwachstum einer Mutterzelle, sondern eine Vereinigung zweier Mutterzellen zu einer Kristallzellreihe. Einzelne Markstrahlen gehen ähnliche Teilungen ein, wie sie eben beschrieben wurden; man sieht an ihnen meist eine Aufteilung in vier Zellen, die je einen Einzelkristall führen (Fig. 113).

ÜBERSICHT ÜBER DIE RESULTATE UND
DISKUSSION DER ERGEBNISSE.

Bei der Entstehung der Kristallzellreihen hat man zu unterscheiden, ob die Kristalle in schon vorhandene Zellen eingelagert werden oder ob lange,

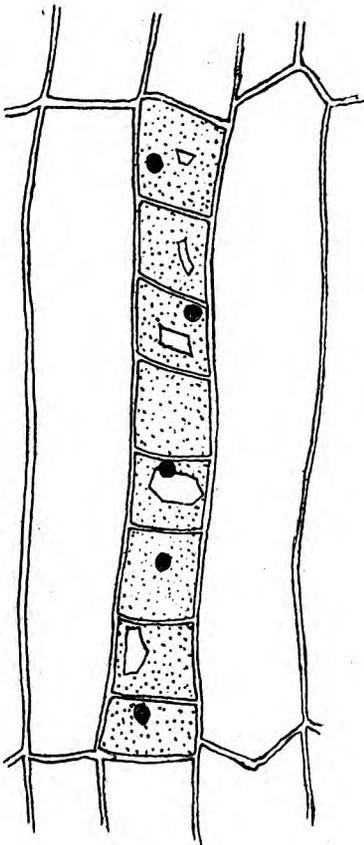


Fig. 111.

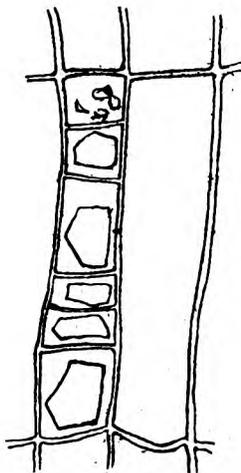


Fig. 112.

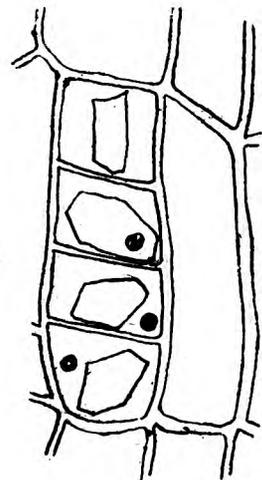


Fig. 113.

gestreckte Zellen eine weitgehende Teilung erfahren, bevor die eigentliche Kristallbildung beginnt.

Verfolgt man die Entstehungsweise der Zellen in der primären Rinde und im Mark vieler Pflanzen, so findet man, dass teilweise eine Reihenbildung bei den Teilungen in der Nähe des Cormus stattfindet. In der primären Rinde gehen nämlich die angelegten Zellen noch eine ganze Zeit hindurch Teilungen ein, ehe sie in Dauerewebe übergehen. Diese Vermehrung der Zellen in der primären Rinde geschieht nun so, dass die meristematischen fast quadratischen Zellen sich teilend Tochterzellen bilden, die weitere Teilungen eingehen. Nach noch weiteren Zellteilungen, namentlich wenn die Teilung in Richtung der Pflanzenaxe vor sich geht, entstehen meist kurze, reihenartig geordnete Zellverbände. Die einzelnen Zellen erreichen durch Flächenwachstum eine bestimmte Grösse. In sie werden dann an bestimmten Stellen Kristalle eingelagert (Fig. 15 und 16). Ich habe auch beobachten können, dass bei Gewächsen, deren primäre Rinde sich durch besonders langgestreckte Zellen auszeichnete, nun noch nachträglich Teilungen stattfanden und zwar so, dass die grosse Zelle in zwei kleinere oder auch eine grössere Zahl von Tochterzellen gekammert wurde. Die Anlage der Kristalle geschah dann auch in diesem Zellverbände nicht gleichzeitig, vielmehr wurde das Kalkoxalat wahllos in den Zellen abgelagert.

Im Mark liegen bei vielen Pflanzen ganz ähnliche Verhältnisse vor wie in der primären Rinde, nur wird hier der Reihencharakter der entstandenen Zellen meist weit mehr gewahrt als in der Rinde. Daher erscheinen in ausgewachsenem Zustande die Markzellen vielfach in longitudinalen Reihen angeordnet. Vielfach werden im Mark die Kristalle schon zu einer Zeit angelegt, wo die Teilung in die endgiltigen Markzellen noch nicht beendet ist, also während der eigentlichen Entwicklung des Markgewebes. Bei einigen untersuchten Pflanzen (z.B. *Melilotus*) zeichnete sich das Markgewebe durch gestreckte längliche Zellen aus. Während nun die Zellen, in denen später Kristalle abgelagert werden sollten, zahlreiche Teilungen in kleinere fast quadratische Tochterzellen eingingen, behielten die übrigen Markzellen ihre gestreckte Form bei, sodass die Kristallzellreihen sich mit ihren besonders gestalteten Zellen ohne weiteres von dem übrigen Gewebe abhoben und ihre Entstehung erkennen liessen. Im ersten oben erwähnten Fall unterscheiden sich die Kristallzellen in ihrer Form und Grösse im allgemeinen nicht von den Markzellen, es sei denn, dass die Kristalle schon sehr früh angelegt waren, während das umliegende Markgewebe noch in reger Teilung begriffen war. Die Kristallzellen übertreffen dann die übrigen Markzellen etwas an Grösse, was beweist, dass mit der Ausbildung des Kristalles die Teilungsfähigkeit einer Kristallzelle aufgehoben wird. Den Fall, dass sich lang gestreckte Zellen in eine grosse Anzahl von Tochterzellen teilen, wie es eben schon bei der Bildung der Kristallzellreihen im Mark geschildert worden ist, findet man nun sehr häufig in sekundären Rinden und im Holz, daneben aber auch ganz vereinzelt in primären Rinden, wie ich es schon vorher erwähnte. Betrachtet man die Zeichnungen (Fig. 23 bis 27), so sieht man, dass das Kambium nicht immer den Ausgangspunkt der Kristallzellreihen bildet. In primären Rinden, die sich durch grosse gestreckte Zellen auszeichneten und ebenso in den lang gestreckten Zellen, die die Gefässbündel der Blätter begleiteten, fand ich ganz ähnliche Teilungsverhältnisse wie in den sekundären Zuwachsteilen der Pflanze.

Wenn nun SANIO sagt, dass die Längsreihen im Kambium entstehen, so stimmt dieses mit meinen Beobachtungen, was die sekundäre Rinde und das Hadrom betrifft, überein. Ich muss jedoch hinzufügen, dass selbst im Gewebe, das weit vom Kambium entfernt war, Teilungsverhältnisse beobachtet werden konnten, dass also auch in der sekundären Rinde die Kristallzellreihen nicht direkt im Kambium gebildet werden. Auch ist die Auffassung, die von KARSTEN und OLTMANN(17) vertreten wird, dass nämlich die Kristallzellreihen durch Querteilung von Faserteilen entstehen, nicht ganz richtig, weil man an kambialen Zellen noch keine Differenzierung in bestimmte Gewebearten feststellen kann.

Die Teilung der eben besprochenen langgestreckten Zellen in die quadratischen Kristallzellen erfolgt ganz regelmässig. Die Mutterzelle teilt sich fast immer zur Hälfte, wobei bemerkt sei, dass bei dieser Teilung nicht immer die volle Symmetrie

gewahrt wird. Die Tochterzellen gehen nun noch weitere Teilungen ein und können dann zur Kristallbildung schreiten, oder aber die Teilungen werden noch weiter fortgesetzt und zwar so, dass jede einzelne Tochterzelle halbiert wird. So konnte ich beobachten, dass aus einer Mutterzelle 12, 16 und mehr Zellen entstanden waren. Es kommt auch vor, dass eine Tochterzelle früher ihren Kristall ausbildet, während die übrigen Geschwisterzellen noch im Teilungsstadium begriffen sind. Es entstehen dann Zellen verschiedener Grösse innerhalb derselben Reihe. Während bei regelmässiger Teilung die Tochterzellen stets in geraden Zahlen vorhanden sind, herrschen in letzterem Falle die ungeraden vor.

Mitunter wurde auch beobachtet, dass nicht die ganze Mutterzelle zu Kristallen aufgeteilt wurde, sondern nur ein Teil derselben. Hatte sich z.B. die Mutterzelle in zwei oder vier, und wenn die erste Teilungswand nicht genau in der Mitte der Mutterzelle angelegt war, die grössere der beiden Tochterzellen nochmals geteilt, sodass drei fast gleich grosse Zellen aus der Mutterzelle entstanden waren, so wurden entweder nur die oberen oder die unteren oder schliesslich eine der mittleren Zellen zu Kristallzellen weiter aufgeteilt.

Auch die Hälften zweier über einander liegender Mutterzellen können sich zu einer Reihe vereinigen, sodass wohl die Kristallreihe die Länge einer Zelle aus der kambialen Zone hat, aber ihre Entstehung 2 Mutterzellen verdankt (Fig. 56).

SANIO, DE BARY, TSCHIRCH und andere Forscher behaupten nun, dass diese "Kristallkammerfasern" aus wenigen, aber auch aus 20 bis 30 Kammern bestehen können. Auch ich habe in vielen Fällen Reihen von mehr als 30 Kristallzellen beobachten können, verfolgt man aber die Entstehung, so findet man, dass eine Zellreihe, die aus einer Mutterzelle hervorgegangen ist, nur in den seltensten Fällen bis 20 und über 20 Kristalle enthält. Wohl scheint dieses bei Radialschnitten und Schnitten der Fall zu sein, die auf der Grenze zwischen Radial- und Tangentialschnitt liegen. Die weit grösste Zahl der untersuchten Objekte wies nur eine weit geringere Zahl von Kristallzellen auf. Nur die Holzgewächse (*Quercus*, *Punica*) zeichneten sich durch grössere Kristallanhäufungen innerhalb einer Reihe aus. Vergleicht man in solchen Fällen die aus einer Mutterzelle hervorgegangene Kristallzellreihe mit dem umliegenden Parenchym, aus dessen Anordnung man sehr oft noch die Ursprungszelle erkennen kann, so ist ersichtlich, dass auch dieser Parenchymzellverband sich durch eine besondere Grösse auszeichnet und im wesentlichen in der Länge der Kristallzellreihe entspricht (Fig. 8). Es ist mithin vielfach die Zahl der aus einer Mutterzelle entstandenen Kristallzellen abhängig von der Grösse der Mutterzelle. Eine Konstanz in der Zahl der Tochterzellen innerhalb der Kristallzellreihen einer Pflanze konnte nicht festgestellt werden, vielmehr wechseln die Zahlen sehr häufig und nur in den seltensten Fällen (*Rhamnus purshiana*) war stellenweise eine Zahlenübereinstimmung bei den einzelnen Kristallzellreihen zu beobachten. Der Ansicht der vorher erwähnten Forscher, dass an der grossen Zahl von über 20 bis 30 Kristallzellen nur eine Mutterzelle als Ausgangspunkt anzusehen ist, kann ich nicht beipflichten. Ich habe feststellen können, dass sich in den meisten Fällen mehrere Mutterzellen an der Bildung dieser grossen langen Kristallzellreihen beteiligen, und dass hierbei nicht immer über einander liegende Zellen gleichzeitig zu den bewussten Kristallzellen wurden, sondern dass z.B. von drei über einander liegenden Mutterzellen die erste und die dritte weit früher Kristalle bildeten, die zweite dann erst später nachkam und so ein grosses Zusammenhängendes bildete. Immer jedoch fand ich bestätigt, dass bei Geweben mit besonders regelmässig geordneten Zellen, sodass also tangentielle Zellreihen vorhanden waren, die Kristallreihenbildung in einer bestimmten Gruppe hinter einander liegender Mutterzellen stattfindet. Man kann solche Zellzüge, die aus regelmässig hinter einander liegenden Mutterzellen bestehen, vielfach durch das ganze Gewebe einer Pflanze beobachten. Sehr schön waren derartige Fälle bei *Melilotus officinalis*, *Glycyrrhiza glabra* und *G. echinata* und auch teilweise bei *Rhamnus Purshiana* feststellbar (vergl. Fig. 28 bis 52). Ähnliche Verhältnisse findet man auch in den Wurzeln. Bei *Acorus calamus* fand ich im Rhizom eine Anlehnung an die Kristallreihenbildung vieler primärer Rinden. Bei den Blättern bildeten lang ge-

streckte Zellen den Ausgangspunkt der Kristallzellreihen. Die Teilungsverhältnisse und Teilungsmöglichkeiten sind aber, wo es sich um lang gestreckte Zellen handelt, in allen Geweben die gleichen.

Die Regelmässigkeit der Teilung ist nicht bei allen Zellen gut durchgebildet. Auch die Wandungen der Tochterzellen verlaufen nicht alle parallel zu einander. Vielmehr gibt es verschiedentlich Fälle, bei manchen Pflanzen sogar sehr häufig, dass die neuen Wandungen hauptsächlich bei den kleineren Tochterzellen, die eine noch weitere Teilung eingehen, diagonal zu den vorhandenen Wänden ihrer Mutterzelle angelegt werden. Vielfach sind auch Teilungen gefunden worden, bei denen sich die neue Wand der sich teilenden Tochterzelle parallel zur Wandung der Hauptmutterzelle stellte. Derartige Teilungen sind nicht selten und kommen innerhalb eines aus einer Hauptmutterzelle entstandenen Zellverbandes mitunter vereinzelt vor oder finden sich in allen unter einander liegenden Zellen dieses Verbandes, sodass zwei Kristallzellreihen neben einander zu liegen scheinen. In solchen Fällen verdanken also diese beiden Reihen ihren Ursprung einer Mutterzelle. Daneben habe ich auch beobachten können, dass zwei neben einander liegende kambiale Zellen zu Kristallzellreihen wurden.

Die Anlegung der Zellwand hängt nicht etwa damit zusammen, dass ein schon vorher ausgebildeter Kristall die horizontale Bildung der neuen Wand verhinderte, sondern die Schrägstellung der Zellwand ist abhängig von der Lage der Kernspindel der sich teilenden Zelle. - Ich möchte hier gleich erwähnen, dass Zellen, die bereits einen Kristall ausgebildet haben, keine weiteren Zellteilungen mehr eingehen. - Die sich neu bildende Wand liegt fast immer senkrecht zur Verbindungslinie der beiden Tochterkerne. GIESENHAGEN (13) äussert sich hierzu: "Die Richtung der Teilungswand, deren Auftreten die Zellteilung vollendet, ist bestimmt durch die Lage der Aequatorialebene der Kernfigur, wann diese Ebene einer relativen Gleichgewichtslage nach der PLATEAUSchen Regel entspricht. Nimmt die Aequatorial-Ebene keine solche Gleichgewichtslage an, so wird in der Regel vor der Vollendung der Teilungswand die der Aequatorialebene nächstliegende relative Gleichgewichtslage durch eine Verschiebung der Berührungsfläche der Tochterzellen eingenommen, welche sich als ein rein mechanischer Vorgang aus der Kohäsion der Zellinhaltskörper ursächlich erklären lässt."

Es fragt sich nun, weshalb die Kernspindel abweichend orientiert ist. GIESENHAGEN glaubt zwei Fälle annehmen zu können. Jeder Kern besitzt eine gewisse Polarität. Bleibt der Kern in seiner Lage, die er von der vorhergegangenen Teilung erhalten hat, so ist dies eine Gewähr für die Beibehaltung der Teilungsrichtung.

Nicht zu selten wird die Lage des Kernes aber infolge innerer Vorgänge im Plasma und durch Plasmabewegung verändert. Ausser den mechanischen Einwirkungen von Zug und Druck kommen schliesslich die beim Stoffwechsel stattfindenden chemischen Umsetzungen in Betracht. Die bei den Kristallzellreihen auftretenden Abweichungen in der Lage der Querwände sind hier mithin sehr leicht zu erklären. Die sich an den Stellen der Calciumoxalat-Ablagerung ansammelnde Oxalsäure oder die Anhäufung von Calciumoxalat-Molekülen können sehr leicht den Anlass zu einer abweichenden Lage der sich bildenden Wand geben. Andererseits liegt es im Interesse der Pflanze, wie wir später sehen werden, möglichst viele kleine Kristalle abzulagern. Wenn die neue Zellwand parallel der Richtung der Längswand der Mutterzelle angelegt wird, so können die beiden entstandenen gestreckten Zellen neue Teilungen eingehen, wodurch neue Ablagerungsstellen für das Kalkoxalat geschaffen werden. Diesen letzteren Fall konnte ich vielfach beobachten (Fig. 65 und 66) und gerade hauptsächlich bei den Kristallzellreihen, während ähnliche Teilungen im umliegenden parenchymatischen Gewebe garnicht auffindbar waren.

Die Kristallzellreihen verlaufen meist in der Richtung der Pflanzenaxe oder besser gesagt, parallel zur Richtung der Gefässbündel.

FLORESTA (8) fand nun aber im Stamm von *Xanthorrhoea* ebenfalls Reihen von kristallführenden Zellen, die in einem weitbogigen Spiralverlaufe an der Aussen- seite des Gefässbündelstranges herumliefen. Er glaubt dieses damit zu erklären, dass die anfangs in vertikaler Richtung angelegten Reihen durch Gewebeverschie-

bung seitlich orientiert werden. Wie sehr ich auch darauf achtete, konnte ich derartige spiralgig verlaufende Reihen bei den von mir untersuchten Arten nicht feststellen. Lagerveränderungen wurden dort überall beobachtet, wo auch Verschiebungen der einzelnen Zellen infolge des Dickenwachstums stattfanden, und hier besonders wieder bei den Holzgewächsen. Jedoch hielten sich diese Richtungsänderungen durchaus im Rahmen der üblichen Gewebeverschiebungen, die sich auch bei den umliegenden und benachbarten Zellen oder Zellverbänden fanden. Die Kristallzellreihen, hauptsächlich der sekundären Rinden und des Holzes, besitzen öfter zugespitzte oder konisch geformte Zellen. Die Form der Kristallreihe richtet sich, was ja ganz selbstverständlich ist, gewöhnlich nach den Zellen, aus denen sie entstanden sind. Die zugespitzte Form tritt besonders deutlich bei Tangentialschnitten zu Tage und ist den Holzgewächsen besonders eigen, während in krautartigen Pflanzenteilen und Blättern eine mehr rechteckige Form der Gesamtkristallzellreihe festgestellt werden konnte. Sind die Mutterzellen spindelförmig, so ist es selbstverständlich, dass auch die Kristallreihe mit gestreckt-spindelförmigen Zellen endet. Sind dagegen die Kambiumzellen mehr rechteckig oder besitzen sie nur konische Enden, so wird dementsprechend auch die Form dieser "Kristallkammerfasern" sein. Das Faserartige Äussere macht es leicht erklärlich, die Kristallzellreihen für Fasern anzusehen. Vergleicht man derartige "Fasern" bezüglich der Grösse mit den vorhandenen Parenchymzellen bzw. Parenchymzellverbänden, deren Äusseres noch die Mutterzelle, aus der das Parenchym entstanden ist, erkennen lässt, so findet man stets eine Übereinstimmung der Länge beider. Es hat also eine Grössenzunahme der sogenannten Kristallkammerfasern durch Spitzenwachstum nicht stattgefunden, sondern die Grössenzunahme ist in demselben Masse erfolgt wie bei den übrigen Zellen. Wenn KOCH (20), wie schon zu Beginn erwähnt wurde, die "Kristallkammerfasern" durch eine bedeutende Streckung in der Längsrichtung sich vergrössern sehen will, so ist dieses durch die Vergleiche mit den vorhandenen Parenchymzellen, besonders aber durch die Untersuchungen bei den weniger zugespitzten Formen (ich denke an *Glycyrrhiza* und *Melilotus*) widerlegt. Auch die Streckung der Mutterzelle bedingt nicht die grosse Zahl der Tochterzellen, sondern diese ist lediglich abhängig, wie ich es schon vorher erwähnt habe, von der Länge und von der Zahl der Teilungen. Wenn die "Kristallkammerfasern" im Verlauf der Entwicklung eine bedeutende Streckung erfahren hätten, so wäre die Bezeichnung Faser durchaus berechtigt, denn es bestünde in diesem Falle eine Ähnlichkeit mit dem Wachstum der Bastfasern, für die HABERLANDT (15) das Spitzenwachstum als Charakteristikum angibt.

Um zu zeigen, dass es sich bei den Kristallzellreihen um parenchymatisches Gewebe handelt, möchte ich hier einen Vergleich ziehen zwischen der Entwicklung des Rinden- bzw. Holzparenchyms und der der Kristallzellreihe. Betrachtet man das jugendliche Gewebe, das aus dem Kambium entstanden ist, so findet man stets gestreckte Zellen. Bei der Entwicklung der Parenchymzellen teilen sich diese gestreckten Zellen, ähnlich wie die Mutterzellen der Kristallreihen in eine bestimmte Anzahl von Tochterzellen. Während nun nach dieser ein- bis zweimaligen Teilung weitere Zellneubildungen nicht mehr stattfinden, geht die Teilung für die Kristallreihe noch weiter. Es tritt also in diesem Falle eine Spezialisierung ein, ohne dass dabei der parenchymatische Charakter geändert wird. Dies geht ganz besonders deutlich daraus hervor, dass die im Holzteil sich findenden Kristallreihen mitunter genau dieselben Tüpfel zeigen wie das sie umgebende Holzparenchym. Im Siebteil zeigen die Wände ebenfalls die gleiche Dicke wie die Zellen des umliegenden Parenchyms.

Die einzelnen Zellen einer Kristallzellreihe sind vielfach einander gleich gross. Es ist jedoch keine Seltenheit, dass innerhalb einer Reihe oft verschiedenen grosse Zellen zu beobachten sind. Die Gründe hierfür habe ich bereits bei den Teilungsvorgängen aus einander gesetzt. In der primären Rinde wechseln die Grössen der Kristallzellen sehr, wenn auch mitunter eine Annäherung an eine gewisse Norm ohne weiteres zu erkennen ist. In ein und derselben Pflanze herrscht nicht immer eine bestimmte Form von Kristallreihen vor, vielmehr sind alle Arten und Grössen vorhanden. SANIO (35) berichtet, dass die Kristalle, die in den einzelnen

Zellen der Kristallreihen auftreten, vielfach so gelagert sind, dass die Säulenkanten in der Richtung der Pflanzenaxe verlaufen. Wenn dies auch vielfach der Fall ist, so muss ich doch hinzufügen, dass die Längsaxen der Kristalle in vielen Fällen parallel zu den Teilungswänden liegen; bei einer quergeteilten Zelle, namentlich, wenn sie sehr flach ist, horizontal, bei einer längs geteilten vertikal (Vergl. Fig. 50, 51 und andere).

Es kommen auch in einer Pflanze, wie schon erwähnt ist, Drusen und Einzelkristalle vor, aber neben Reihen mit Einzelkristallen auch solche mit Drusen; ja, selbst innerhalb einer Reihe kann die Kristallform wechseln. So habe ich bei *Rhamnus purshiana* neben Drusen auch Einzelkristalle beobachten können, und bei *Punica granatum* fand ich innerhalb einer Reihe neben Drusen auch hin und wieder einen rhomboedrischen Einzelkristall.

Alle Kristalle sind von einer Zellulosemembran umgeben. Während nun bei den Einzelkristallen vielfach eine Verschmelzung dieser Zellulosemembran mit den sich stark verdickenden Zellwänden stattfand, konnten derartige Erscheinungen bei Drusen nicht beobachtet werden. In jeder Zelle findet sich nur ein Kristall, mehrere Kristalle neben einander, wie WILHELM (54) es in einer Abbildung zeigt, habe ich nicht beobachten können.

Auch SANIO (35) und viele andere Forscher stellten schon fest, dass in jeder Zelle nur ein Kristall vorhanden wäre. Allerdings war SANIOs Ansicht nicht ganz zweifelsfrei, denn er schreibt ausdrücklich hierzu: "Jede Zelle führt, wie es scheint, gewöhnlich einen Kristall."

Die Anfangsstadien der Kristalle liessen sich teilweise nur durch das Polarisationsmikroskop erkennen. Die Zellen, in denen die Anfänge zu beobachten waren, führten Protoplasma und zeigten deutlich einen Kern, der äusserlich von den Kernen der benachbarten Zellen nicht unterschieden werden konnte. Er stimmte vielmehr in Form und Grösse ebenfalls auch in der Aufnahmefähigkeit der Farbstoffe mit den Kernen benachbarter Zellen überein. Was auch schon BRUNZEMA (4) bei der Entstehung der Calciumoxalat-Zellen fand, dass nämlich der Kern im Alter eine mehr spindelförmige Gestalt annehme, muss ich hier bestätigen. Hinzufügen will ich jedoch, dass der Kern bei vielen Zellen fertig ausgebildeter Kristallreihen nicht mehr sichtbar war. Bei manchen Zellen, die Einzelkristalle führten, lag er dicht dem Kristall an und war von der Wandverdickung völlig eingeschlossen. Es handelt sich also bei den Zellen der Kristallreihen nicht um typische Sekretbehälter, denn in solchem Falle würden sich Veränderungen am Zellkern bemerkbar machen, wie sie BRUNZEMA bei der Bildung der Raphidenzellen beobachtete. Hier vergrösserte sich der Zellkern unter gleichzeitiger Auflockerung der Substanz. Die Farbstoffaufnahme wird dadurch nicht mehr so intensiv, und dadurch ist schon äusserlich die Veränderung der Kernsubstanz gekennzeichnet. Mit der Vergrösserung des Kernes geht auch die des Nucleolus Hand in Hand. Derartige Veränderungen waren bei den Zellen der Kristallzellreihen nicht festzustellen, und wies auch das Plasma keine Unterschiede im Tinktionsvermögen gegenüber den benachbarten Zellen auf. Die Zellen der Kristallreihen werden, sobald der Kristall fertig ausgebildet ist, wie auch schon SANIO (35) betonte, funktionslos. Sie sterben ab und meiner Ansicht nach kann das Calciumoxalat, namentlich wenn es in einer sehr dicken Zellulosemembran liegt, die mitunter auch verholzt, nicht mehr gelöst und in den Stoffwechsel mit hineingezogen werden, wie KRAUS (22) es behauptet. Schliesslich möchte ich noch auf eine Abbildung von WILHELM (54) in "Rohstoffe des Pflanzenreichs" eingehen. Nach dieser Zeichnung hat es den Anschein, als ob bei der Bildung der Kristallzellreihen aus der Mutterzelle zuerst die Kristalle gebildet und nachträglich zwischen diesen die Wände angelegt werden. Die Bildung der Kristalle scheint an einem Ende der Mutterzelle zu beginnen. Nach meinen Untersuchungen fand ich dies nirgends bestätigt. Immer konnte ich feststellen, dass erst die Wände vorhanden waren, und dann nachträglich Kristalle auftreten.

Fragt man sich nun, warum die Pflanzen die gestreckten grösseren Zellen vor der Kristallbildung in so weit gehendem Masse teilen, und warum gerade bei den meisten Pflanzen in der Nähe der Bastfasern oder an diese gelehnt die Kristall-

sellreihen aufzufinden sind, so können auf diese Frage mehrere Antworten gelten. Dass die Bastbündel vielfach von Kristallzellen völlig umschlossen werden, war schon älteren Forschern ein Grund, sich mit dem Zweck dieser Anordnung zu befassen. SCHACHT (39) sagt hierzu folgendes: "In der Regel erscheinen die Kristalle in bestimmten Zellreihen in den Zellen, welche die Bastbündel in der Rinde der Bäume umgeben." Die Bastzellen sollen die "unorganischen Salze", z.B. den schwefelsauren Kalk, von der Wurzel nach aufwärts führen und auf diesem Wege den Kalk an benachbarte Parenchymzellen abgeben, in welchen er als Calciumoxalat in Form von Kristallen abgeschieden, während die Schwefelsäure in den Stoffwechsel einbezogen wird. Ich halte es für ausgeschlossen, dass der schwefelsaure Kalk gerade in der Nähe der Bastfasern durch Oxalsäure zersetzt wird, um die Schwefelsäure für die Eiweissynthese frei zu machen. Dieser Ansicht hält auch schon KOHL (22) entgegen, dass in diesem Falle der Kristallreichtum sich mehr in der Nähe der Siebröhren finden müsste, wo doch der eigentliche Verbrauchsort der Schwefelsäure zu suchen sei. Wenn auch in der Nähe von Siebröhren und Gefässen ab und zu Kristalle anzutreffen sind, so stehen diese Kristallanhäufungen in gar keinem Verhältnis zu den in der Nähe des Festigungsgewebes (Steinzellen und Sklerenchymfasern). Während SCHACHT (39) das Calciumoxalat der Rinden als Abbauprodukt ansieht, behauptet GREGOR KRAUS (22), dass es sich beim Oxalat der Rinden um einen Reservestoff handelt. KRAUS gibt zwar zu, dass die Calciumoxalat-Zellen tot sind, dass also die Lösung des Oxalates nicht von den es beherbergenden Zellen ausgeht, aber der zu Beginn der Vegetationsperiode aufsteigende Wasserstrom übe eine lösende Wirkung aus. Eine andere Auffassung, wie sie vielfach vertreten wird, ist die, dass die Baustoffe zur Verdickung der Sklerenchymfaserwände und Steinzellwände - namentlich die Kohlehydrate - an Calcium gebunden zu den Verbrauchszellen geleitet werden. Während das Kohlehydrat zur Wandbildung verwendet wird, wird das Calcium überflüssig und als Calciumoxalat in die benachbarten Zellen abgeschieden. Gegen diese letztere Ansicht spricht sich auch DE VRIES (53) aus. Seine Meinung ist, dass der oxalsaure Kalk dem Stoffwechsel möglichst entzogen und vorzugsweise an solchen Stellen abgelagert wird, wo er den Säfteaustausch der übrigen Zellen am wenigsten beeinträchtigt. Er weist darauf hin, dass bei zahlreichen Pflanzen eine mehr oder weniger ausgesprochene Neigung beobachtet wird, die Kristallschlüchke nicht ohne jede Anordnung im Parenchym zerstreut auszubilden, sondern sie auf dem Längsschnitt in Reihen zu stellen. Hierdurch wird eine Beeinträchtigung des Säfteaustausches durch die Kristalle auf ein möglichst geringes Mass herabgedrückt. Die höchst entwickelte Form der Kristallablagerung ist nach DE VRIES die Absonderung in den Kristallscheiden der Bastbündel. Auch SCHIMPER (41), der speziell Blätter untersucht hat, nimmt an, dass das während der Assimilation gebildete Oxalat in die Kristallkammern der Nerven geleitet werde. Nach PERROT und GUE-RAD (28) scheint die Anhäufung der Kristalle in den Blattnerven mehr auf Zufälligkeit zu beruhen; sie sagen nämlich: "Die Calciumoxalate scheinen gegen das Nervengewebe vorzudringen, bis sie auf ein unüberwindbares Hindernis stossen, das hier durch das Fasergewebe gebildet wird; die entstandene Stockung begünstigt infolge Anhäufung von Calciumoxalat-Molekülen die Bildung der Kristalle." Eine Antwort auf die Frage, warum die Pflanze bestrebt ist, viel kleine Kristallzellen anzulegen, gibt MÖBIUS (24): Die Pflanzen nämlich wären darauf bedacht, Kristalle in kleinen Zellen abzulagern, um sie dadurch leichter festlegen zu können. Wären keine Kammern vorhanden, so würden sich die Kristalle auf dem Boden der langen Zelle ansammeln und dadurch eine Statolithenwirkung hervorrufen. SCHNEIDERT (42) nimmt an, dass die Kristallzellreihen neben der physiologischen auch eine mechanische Aufgabe haben, namentlich die Kristallzellen, welche die Bastfasern begleiten. Da die Bastzellen nicht elastisch sind, würden sie von den Kristallreihen eingeschlossen, um ihnen die Elastizität zu geben. Auch kämen derartige Kristallansammlungen als Ersatz für mechanische Gewebe vor.

Zu den verschiedenen Meinungen Stellung nehmend, möchte ich bemerken, dass die Kristallzellreihen, welche die Bastbündel umgeben, niemals als Reservestoffbehälter aufzufassen sind. Meine Untersuchungen haben auch gezeigt, dass diese Kri-

stalle, sowohl in im August gesammelten Rinden als auch in solchen, die Ende April untersucht wurden, aufzufinden waren. Der Ansicht, dass das Calcium als Calciumkohlehydrat-Verbindung zu den Verbrauchsstellen, namentlich zur Verdickung der Bastfaserwände gelangt, ist entgegen zu halten, dass schon Kristallablagerungen festzustellen sind, bevor noch die Fasern eine Verdickung erfahren haben. Zweitens spricht die Tatsache dagegen, dass auch, unabhängig von Sklerenchymfasern und Steinzellen Kristallanhäufungen in Geweben anzutreffen sind. Auch müsste man in der nächsten Umgebung von Zellen, die sehr dicke Wände aufweisen, ähnliche Kristallanhäufungen beobachten. Das Calciumoxalat wird nach DE VRIES, dessen Meinung ich mich anschliesse, lediglich deswegen in der Nähe des Sklerenchyms und der mechanischen Zellen abgelagert, weil die in der Leitung von Nährstoffen hinderlichen Oxalatzellen dort am wenigsten den Stoffverkehr stören können. Aus demselben Grunde ist auch die Pflanze bestrebt, die Kristalle möglichst nicht zerstreut im Gewebe anzulegen, sondern hauptsächlich in Längsreihen. Selbst dort, wo die Kristallreihenbildung durch gestreckte Zellen nicht begünstigt wird, findet man ebenfalls eine reihenweise Anordnung von Kristallen in die hinter einander gelagerten Zellen. Die Anhäufung der Kristalle in der Nähe der Bastbündel dient der Pflanze in allererster Linie dazu, sich des Exkretes zu entledigen. Die Funktion der Kalkoxalatreihen als Festigungsgewebe, wie es SCHNEIDERT annimmt, ist also eine sekundäre. Wenn die meisten Pflanzen die Wandungen der Kristallzellen so stark verdicken, dass das noch vorhandene Zellumen ganz ausgefüllt wird, so wird dadurch eine feste, widerstandsfähige Zellgruppe geschaffen, die ähnliche Funktionen übernehmen kann wie das Collenchym. Der Ansicht von MÖBIUS, dass die Pflanze bestrebt ist, durch kleine Zellen die Kristalle festzuliegen, möchte ich beistimmen. Hinzufügen möchte ich jedoch, dass zu grosse Kristalle und auch sehr viel Kristalle innerhalb einer grossen ungeteilten Zelle einen zu starken Druck auf die unteren Zellmembranen ausüben würden. Diesem wird nun dadurch vorgebeugt, dass die Kristallzellen möglichst klein angelegt werden. Man kann derartige Aufteilungen grosser Zellen zu Kristallzellen auch in anderen Geweben als gerade in sekundären Rippen beobachten. Die Teilungsvorgänge in Geweben, deren Zellen weniger gestreckte Formen haben, erstrecken sich nach den verschiedensten Richtungen, sodass man sehr oft Ansammlungen von Kristallzellen an einer Stelle vereinigt sieht. Es liegt also auch hier der Pflanze daran, nicht zu grosse Kristalle anzulegen und diese Kristalle besser festlegen zu können, um unnütze Schwerkraftreize zu vermeiden.

C. ZUSAMMENFASSUNG.

1). Die sogenannten "Kristallkammerfasern" sind rein parenchymatischen Ursprungs. In primären Rinden bilden sie sich durch Einlagerung von Kristallen in die kurzen Rindenzellen, die vor der eigentlichen Kristallbildung mitunter eine Teilung in kleinere Zellen eingehen. Sind die Zellen jedoch gestreckt, wie bei *Trigonella foenum graecum*, so liegen die Verhältnisse hier ähnlich wie in den sekundären Zuwachsteilen der Pflanzen, wo Aufteilungen der gestreckten Zellen in zahlreiche kleine, fast quadratische Tochterzellen stattfinden, die dann die Kristalle beherbergen. In den sekundären Rinden bildet das Cambium meist den Entstehungsort für die Kristallzellreihen und man kann innerhalb der kambialen Zone bereits die Anlage von Kristallen beobachten. Dagegen konnten aber auch noch ausserhalb der kambialen Zone im Rindengewebe Bildungen von Kristallzellreihen festgestellt werden. Im Markgewebe bilden sich die Kristallzellreihen entweder durch Einlagerung von Kristallen in hinter einander gereichte Markzellen oder es treten, sobald lang gestreckte Zellen das Markgewebe bilden, genau dieselben Teilungen auf wie in den sekundären Rinden.

In Blättern entstehen die Kristallzellreihen ebenfalls durch weit gehende Aufteilung lang gestreckter Zellen, und in Wurzeln findet man eine Übereinstimmung mit der Entwicklung in den Spross- und Stengelteilen.

2). Bei der Bildung der Kristallzellreihen aus gestreckten langen Zellen entstehen immer zuerst die Wände und nach vollkommener Aufteilung oder schon während

noch benachbarte Zellen sich weiter teilen, die Kristalle. Die Teilungsfähigkeit einer Zelle, die bereits einen Kristall führt oder ausbildet, wird in allen von mir beobachteten Fällen aufgehoben.

3). Die nach der Teilung entstandenen Kristallzellen einer Reihe wachsen zu einer für das Gewebe bestimmten Grösse heran. Die "Kristallkammerfaser" besitzt kein Spitzenwachstum, wie es den Bastfasern eigen ist; sie wächst vielmehr in demselben Verhältnis wie die übrigen benachbarten Parenchymzellen.

4). Die langen Kristallzellreihen, wie man sie namentlich auf Radialschnitten bei vielen Gewächsen, besonders aber bei solchen, deren Holz- und Rindenkörper infolge Horizontalschichtung und Radialanordnung vollkommen regelmässig erscheint, findet, entstehen meist nicht aus einer Mutterzelle, sondern gehen dadurch hervor, dass sich mehrere Mutterzellen, die über einander gereiht liegen, entweder zu gleicher Zeit oder hinter einander zu Kristallzellreihen umbilden.

Auch nur Teile einer Mutterzelle findet man zu Kristallzellen aufgeteilt, die andere Tochterzelle, oder wenn die Teilung schon weiter gegangen ist, die übrigen Tochterzellen, werden zu Leptom- bzw. Hadromparenchym.

5). Die Kerne der Kristallzellreihen sind nicht vergrössert und unterscheiden sich in nichts von den übrigen Zellkernen des sie umgebenden Gewebes. In vielen Kristallzellen konnte noch ein Kern beobachtet werden, auch wenn die Kristalle völlig ausgebildet waren.

6). Die Kristallzellreihen sind nicht immer an das Vorhandensein von Bastfasern gebunden, sie finden sich auch unabhängig von ihnen im Gewebe.

7). Die Kristallzellreihen der sekundären Rinde und des Holzkörpers wiesen auf Tangentialschnitten zugespitzte Enden oder konische Endzellen auf, während auf Radialschnitten derartige Zuspitzungen nicht feststellbar sind. Es hat hier also kein Spitzenwachstum, mithin auch kein gleitendes Wachstum, stattgefunden, wie es den Bastfasern eigen ist, sondern es ist im grossen und ganzen die Form der kambialen Ursprungszelle erhalten geblieben. Auch die Grössenverhältnisse mit den benachbarten Parenchymzellreihen zeigen, dass ein besonderes Grössenwachstum des Kristallzellverbandes nicht stattgefunden hat. Ferner besteht eine grosse Ähnlichkeit in der äusseren Form der Kristallzellreihe und des Parenchymzellverbandes, der aus einer Mutterzelle entstanden ist, in so fern, als die Parenchymzelle im Tangentialschnitt genau dieselbe Zuspitzung aufweist wie die Kristallzellreihe, während im Radialschnitt horizontale Querwände vorherrschen.

Die Untersuchungen haben ergeben, dass es sich bei den "Kristallkammerfasern" um parenchymatisches Gewebe handelt. Mithin scheint auch der Ausdruck "Kammerfaser" oder "Kristallkammerfaser" nicht angebracht, ganz besonders aber deshalb, weil man gewöhnlich unter Fasern, auch wenn sie gekammert sind, Zellgebilde versteht, die sich durch Spitzenwachstum auszeichnen. Dies ist aber bei den Kristallzellreihen nicht der Fall. Es erscheint daher vorteilhafter, die Bezeichnung "Kristallkammerfaser" durch "Kristallzellreihe" zu ersetzen.

Die vorstehenden Untersuchungen wurden unter der Leitung des Herrn Professor Dr. GILG angefertigt, der mir in liebenswürdigster Weise das reichhaltige Untersuchungsmaterial zur Verfügung stellte. Für seine freundliche Unterstützung und seine wertvollen Anregungen, die er bei der Ausführung der Untersuchungen gab, sei ihm an dieser Stelle herzlichster Dank gesagt. Auch Herrn Privatdozent Dr. SCHÜRHOFF bin ich für seine freundlichen Winke und liebenswürdige Unterstützung zu grossem Dank verpflichtet.

LITERATUR-Verzeichnis.

- (1) DE BARY, Vergleichende Anatomie der Vegetationsorgane der Phanerogamen und Farne. - (2) BERG, O., Pharmazeutische Botanik. - (2) BORODIN, Sur la réparation des cristaux d'oxalate de chaux dans les feuilles des Leguminosées et des Rosacées. Bull. du Congrès international de botanique et d'horticulture St. Petersburg 1884. - (4) BRUNZEMA, Die Entwicklung der Calciumoxalat-Zellen mit besonderer Berücksichtigung der officinellen Pflanzen. Diss. Berlin 1924. - (5) BUSCALIONI, Studi sui kristalli di ossalato di calcio, Malpighia IX, 1896, X, 1907. (6) DIPPEL, Das Mikroskop u. seine Anwend., Braunsch. 1896. - (7) ENGLER-PRANTL, Die natürl. Pflanzenfam., Leipz. 1894. - (8) LA FLORESTA, Le serie cristallifere perifasciali di Xanthorrhoea. Rendi conti Congress. botan. Palermo, Palermo 1903. (9) FLÜCKIGER, Pharmakognosie des Pflanzenr., 1891. - (10) FRANK, Lehrb. d. Botan., Leipz. 1893. - (11) FRANK, A.B., Ein Beitrag zur Kenntn. d. Gefässb., Bot. Zt. 1864. (12) GERTZ, Et fall af septering hos kristallforande brchysklerider, Bot. Notiser 1915. - (13) GIESENHAGEN, Zellteilung i. Pflanzenr., 1905. - (14) GILG, Grundzüge d. Bot. f. Pharmazeuten, Berl. 1923. - (15) HABERLANDT, Physiol. Pflanzenanatom., 1924. - (16) HARTIG, Beitr. z. vergl. Anatomie d. Holzpfl., Bot. Zt. 1859. - (17) KARSTEN-OLTMANN, Lehrb. d. Pharmakognosie, Jena 1909. - (18) KASSNER, Über d. Mark einig. Holzpfl., Basel 1884. - (19) KLEIMANN, Über Kern- u. Zellteilungen im Kamb., Mez, Archiv 1923, Bd. IV. - (20) KOCH, Die mikr. Analyse d. Drogenpulv., Lpz. 1901. (21) KOHL, Kalk u. Kieselsäure i. d. Pflanze, Marb. 1889. - (22) KRAUS, Über Kalkoxalat d. Baumrind., 1891. - (23) MOEBIUS, Über d. Festleg. d. Kalksalze u. Kieselkörper i. Pflanzenzell., Ber. d. D. Bot. Ges. 1908. - (24) MÜLLER, Anatomie d. Baumrinden, Berl. 1882. - (25) MÜLLER, N.J.C., Handb. d. all. Bot., 1880. - (26) MÜLLER, R., Die Rinde uns. Laubhölzer, Diss. Bresl. 1875. - (27) ONKEN, Über d. Bedeut. d. Calciums i. Leben d. Pflanze unter eingeh. Berücksicht. d. oxalsauren Kalkes, Prometheus XXVIII. - (28) PERROT et GERAD, Anatomie du tissu ligneux. Bull. de la Société botanique de France, Tome 53, Paris 1906. - (29) PTERSEN, Zur vergl. Anatomie l. Centralcykl. d. Papilionaceen-Keimwurzel, Beibl. z. Bot. Ztrbl. 24, 1909. - (30) PFITZER, Einlag. d. Kalkoxalatkrist. i. d. Pflanzenhaut, Flora 1872. - (31) PLANCHON, La Cascara sagrada, Bull. de Pharmacie de Sud-Est. 1896. - (32) PRANKERD, Stocytes of the wheat-haulm. The Bot. Gaz. Chicago 1920. - (33) ROTHERT, "Gewebe" im "Handwörterb. d. Naturw.", Bd. 4, 1913. - (34) SANIO, Über d. Vorkommen d. Kalkspates i. d. Rinde vieler holzart. Dikotylen. Monatsber. d. Preuss. Ak. d. Wiss., 1857. - (35) SANIO, Über die i. d. Rinde dikotyler Holzgew. vorkommenden kristallinischen Niederschl. u. deren anatom. Verbreit., Monatsber. d. Pr. Ak. d. Wiss. 1857. - (36) SAUPE, Der anat. Bau d. Holzes d. Leguminosen u. s. system. Wert, Flora 1887. - (37) SAYRE, Frangula and Cascara. The amer. Journal of Pharm., Vol. 69, 1897. - (38) SCHACHT, Der Baum, Studien über Bau u. Leben d. höh. Gewächse, Berl. 1860. - (39) SCHACHT, Anatomie u. Phys. d. Gewächse, Berl. 1856. - (40) SCHANZE, Zur Anatomie einjährig. Zweige v. Holzpfl., Diss. Göttingen 1913. - (41) SCHIMPER, Über Kalkoxalatbildung i. Laubblätt., Bot. Ztg. 1888. - (42) SCHNEIDERT, The probable function of Calcium oxalate crystals in plants. Bot. Gaz. Chicago 1901. - (43) SCHÜRHOFF, Ozellen u. Lichtkondensoren b. einig. Peperomien, Beih. z. Bot. Ztrbl. 1908. - (44) SOLEREDER, System. Anatomie d. Dikotyledonen, Stuttg. 1899. - (45) STRASBURGER-KOERNICKE, Gross. bot. Praktikum, Jena 1921. - (46) THUM, Über stozystenartige Ausbildung kristallführ. Zellen. Sitzber. d. Ak. d. Wiss., Math.-Naturw. Klasse, Wien 1904. - (47) TSCHIRCH, Pflanzenanatomie 1889. - (49) TSCHIRSCH und ÖSTERLE, Anat. Atlas d. Pharmakognosie u. Nahrungsmittelkunde 1900. - (50) VESQUE, Observations sur les cristaux d'oxalate de chaux dans les plants et sur leur reproduction artificielle, Ann. d. Sc. natur., Sér. 5, 1874. - (51) VESQUE, Memoire sur l'anatomie comparée de l'écorce. Ann. d. Sc. nat., Sér. 6, 1875. - (52) DE VRIES, Die Bedeut. d. Kalkablag. i. d. Pfl., Ldw. Jahrb. X, 1881. - (53) WIEGAND, Lehrb. d. Pharmakognosie 1874. - (54) WILHELM, "Hölzer" in Wiesner: Rohstoffe d. Pflanzenr., Bd. 3, Aufl. 1918. - (55) WITTLIN, Über die Bildung der Kalkoxalat-Taschen, Bot. Zentralblatt 1896.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Botanisches Archiv. Zeitschrift für die gesamte Botanik](#)

Jahr/Year: 1926

Band/Volume: [15](#)

Autor(en)/Author(s): Konstanty

Artikel/Article: [Ueber die Entstehung der Kristallzellreihen mit besonderer Berücksichtigung der Drogenpflanzen 131-186](#)