

**Untersuchungen ueber die Entwicklung
der Geschlechtsorgane und den Vorgang der
Befruchtung bei *Cycas revoluta*.**

Von

S. Ikeno.

Hierzu Tafel X—XVII.

Die Cycadeen wurden in systematischer Hinsicht von einer Anzahl von Botanikern untersucht, aber in Bezug sowohl auf die Entwicklung der Geschlechtsorgane als auch auf die Befruchtung wurden sie bisher so wenig studiert, dass unsere Kenntnisse darüber noch sehr lückenhaft sind. Durch die vorliegenden Untersuchungen, welche seit einigen Jahren im hiesigen Laboratorium ausgeführt sind, beabsichtige ich die hier vorhandene Lücke so gut wie möglich auszufüllen.

Meine Untersuchungen beschränken sich nur auf eine Species, *Cycas revoluta*. Dieselbe wird häufig in Tokio kultiviert, allein sie fruktifiziert hier niemals, sodass ich meine Untersuchungsobjekte auf weiten Exkursionen sammeln musste. Ich bin deshalb einigemal nach dem südlichen Teil von Japan gereist, wo sie reichlich fruktifiziert und wo ich die Samenanlagen ein- bis zweimal pro Tag gesammelt habe. Ausserdem haben die Herren T. Ito und D. Kumamoto die Güte gehabt, mir eine grosse Menge durch Reagentien fixierter Materialien zu senden und es ist daher meine angenehme Pflicht, meinen herzlichsten Dank denselben auszusprechen. Auch den folgenden Herren bin ich sehr zu Dank verpflichtet: dem Herrn S. Hirase, der gütigst

viele Figuren in meinen Tafeln gezeichnet hatte; und dem Herrn K. Ohasi für die photographische Aufnahme meiner Präparate.

UNTERSUCHUNGSMETHODEN.

Meine Beobachtungen wurden hauptsächlich an den fixierten Materialien gemacht. Zur Fixierung bediente ich mich Flemming's Chromosmiumessigsäure, Merkel's Platinchloridchromsäure, Keiser's Sublimat-Eisessig, und des absoluten Alkohols, von welchen die erste Reagenz die besten Resultate geliefert hat. Von jeder Samenanlage habe ich sowohl die Archegonien mit ein wenig des umgebenden Endospermgewebes als auch den die Pollenschläuche enthaltenden Nucellusteil herausgeschnitten und sofort fixiert. Die durch Flemming's Lösung behandelten und wenigstens einige Tage darin gelassenen Materialien wurden mit fließendem Wasser 2-3 Tage lang ausgewaschen, und nach je 24-stündigem Liegen in 10%, 30%, 50%, 70%, und 90% Alkohol in den absoluten gebracht. Dann wurden sie nach der bekannten Methode in Paraffin eingebettet und mittelst Mikrotom in 5-15 μ dicke Schnitte zerlegt. Die nach der sog. japanischen Methode auf den Objektträgern aufgeklebten Schnitte wurden mit Wasserstoffsuperoxyd behandelt, um die von der Osmiumsäure herstammende Schwärzung möglichst zu entfernen, dann mit Wasser gewaschen, und gefärbt. Bei der Färbung habe ich eine grosse Anzahl der von verschiedenen Histologen empfohlenen Tinktionsmethoden verglichen. Gewöhnlich wurde Rosen's Doppelfärbungsmethode mit Säurefuchsin und Methylblau¹⁾ in etwas modifizierter Weise adoptiert; auch die Färbung

1) Rosen, Beitr. z. Kenntn. d. Pflanzenzellen, I, pag. 452.

mit Delafield's Hämatoxylin, entweder einzeln benutzt oder mit der Nachfärbung durch Bismarckbraun kombiniert, gab mir ziemlich gute Resultate. Auch bediente ich mich sehr häufig der Heidenhain's Eisenammonhämatoxylinmethode. Die gefärbten Schnitte wurden mit Alkohol entwässert, dann mit Xylol aufgehellt, und schliesslich in Kanadabalsam eingeschlossen.



I. ENTWICKLUNG DER WEIBLICHEN ORGANE.

Die hauptsächlichsten früheren einschlägigen Untersuchungen sind die folgenden :

1877 publizierte Warming¹⁾ seine Untersuchungen über die Entwicklung des Embryosackes und das Wachstum der Archegonien bei einigen Cycadeen.

1879 machte er einige Nachträge zu der obigen Arbeit, betreffend das Ovulum und die Archegonien²⁾.

1882 schilderte Treub³⁾ die Entwicklung der Samenanlagen und des Embryosackes bei *Ceratozamia longifolia* sehr eingehend. Seine Untersuchungen schliessen mit der Fertigstellung des Embryosackes.

1884 veröffentlichte er eine zweite Mitteilung über die Cycadeen, welche hauptsächlich die Keimentwicklung von *Cycas circinalis* betrifft, und einige Andeutungen über das Wachstum der Archegonien giebt⁴⁾.

1885 bewies ich; im Gegensatz zur Ansicht Warming's und Treub's, das Vorkommen einer Kanalzelle bei *Cycas revoluta*⁵⁾.

Der jüngste Zustand der Endospermbildung, welchen ich beobachtete, ist derjenige, bei dem eine Anzahl der Zellkerne im Wandbeleg des Embryosackes zu einer einfachen Schicht angeordnet sind. Die Thatsache dass diese Zellkerne aus der Teilung eines primären Embryosackkernes successiv hervorgegangen seien, verlangt keinen besonderen Beweis. Auch dass

1) Warming, Recherches et remarques sur les Cycadées.

2) „ „, Contributions à l'histoire naturelle des Cycadées.

3) Treub, Recherches sur les Cycadées, 1, 2.

4) „ „, Ib., 3.

5) Ikeno, Vorläuf. Mitth. üb. die Canalzellbildung bei *Cycas revoluta*.

bei diesen successiven Teilungen alle freie Zellkerne des Embryosackes zur gleichen Zeit sich zu teilen beginnen und daher sämtliche Zellkerne in einem Embryosack zur gleichen Zeit immer das gleiche karyokinetische Bild zeigen werden, dürfte nach der Analogie mit Jaccard's Befunde über *Ephedra helvetica*¹⁾, kaum zu bezweifeln sein.

Alle folgenden Stadien der Endospermbildung bis zur Ausfüllung des Embryosackes stimmen im Ganzen mit dem, was Mlle. Sokolowa bei einigen Gymnospermen verfolgt hat, überein²⁾, sodass ich auf eine detaillirte Beschreibung meiner diesbezüglichen Resultate verzichten kann. In der That kann ich auch bei *Cycas revoluta* die von der Verfasserin entdeckte merkwürdige Thatsache bestätigen, dass die Endospermzellen, welche in die Höhlung des Embryosackes hineinwachsen, an ihrer Innenseite vollständig unbehütet sind. Desgleichen die Thatsache, dass der Kern, so lange die Zelle wächst, stets im nächster Nähe des der Mitte des Embryosackes zugekehrter Endes, also da, wo Zellwandbildung vor sich geht, sich befindet, was demnach Haberlandt's bekannte Ansicht über die Lage und Funktion des Zellkernes³⁾ bestätigt. Hinzuzufügen ist nur, dass bei der Endospermbildung von *Cycas revoluta*, die in das Innere des Embryosackes hineinwachsenden primären Endospermzellen schon bevor sie in der Mitte des Sackes zusammengetroffen sind, sich zu teilen beginnen und dass der Bildungsmodus daher dem von *Cephalotaxus Fortunei* ähnelt.

Bei der Entwicklung des Archegoniums, welche mit dessen Anlegung beginnt und mit dessen Vorbereitung zur Befruchtung

1) Jaccard, Recherches embryologiques sur l'*Ephedra helvetica*.

2) Sokolowa, Naissance de l'endosperme, etc.

3) Haberlandt, Funktion und Lage des Zellkernes.

schliesst, möchte ich, wie bei der des tierischen Eies¹⁾²⁾, drei Perioden unterscheiden, welche respektiv Keim-, Wachstums-, und Reifungsperiode genannt werden mögen. Diese drei Perioden lassen sich folgendermaassen charakterisieren:

Die erste oder Keimperiode umfasst denjenigen Zeitraum, während dessen einzelne unter den Zellen, welche anfänglich gar nicht voneinander unterscheidbar sind, sich zu den Archegoniumanlagen umbilden;

Die zweite oder Wachstumsperiode, denjenigen, während dessen die Archegonien allmählich an Grösse und Masse zunehmen; und

Die dritte oder Reifungsperiode, denjenigen, während dessen die Archegonien einem wichtigen Vorgang unterworfen werden, um dadurch sich zur Befruchtung vorzubereiten, nämlich der Kanalzellbildung.

Die erste und die dritte Periode dauern nur kurz, die letztere umfasst sogar einen Moment, während die zweite über drei Monate andauert.

Die Keimperiode tritt ein, wenn der Embryosack völlig mit dem Endosperm ausgefüllt wird. Dann beobachtet man, dass die Zellen, welche die äusserste Zellschicht des Endosperms zusammensetzen, sich von den übrigen sowohl durch ihre Gestalt und Grösse als auch durch ihren Inhalt und ihre Anordnungsweise unterscheiden (Fig. 1). Diese Zellen sind um das Mehrfache kleiner als die innere Zellen, sind von feinen netzförmig gespannten Cytoplasmafäden durchsetzt, und sind sehr regelmässig nebeneinander angeordnet; während die inneren

1) Hertwig, Ei- und Samenbildung bei Nematoden.

2) vom Rath, Spermatogenese von *Gryllotalpa vulgaris*.

Zellen nicht nur plasmaarm, sondern auch sehr unregelmässig angeordnet sind. Einige dieser Oberflächenzellen am Scheitel des Embryosackes wachsen nun in Länge und Breite und zeichnen sich von ihren Nachbarinnen dadurch aus (Fig. 1, *ara*). Sie stellen die Archegoniumanlagen dar, welche dann sich zu jungen Archegonien umbilden ganz in derselben Weise wie bei den Coniferen¹⁾, indem jede derselben durch eine perikline Wand in eine äussere kleinere und in eine innere grössere Zelle sich teilt (Fig. 2) und die äussere ferner durch eine antikline Wand in zwei nebeneinander liegende Halszellen zerfällt. Nach Warming's Untersuchungen über *Ceratozamia*²⁾, scheint es, dass der Zellkern, welcher sich zuerst an der Spitze der Centralzelle befindet, späterhin nach der Mitte derselben allmählich sich abwärts bewegt, während, nach Treub's Untersuchungen über *Cycas circinalis*³⁾, der Zellkern stets an der Spitze der Centralzelle verbleibt. Bezüglich *Cycas revoluta*, kann ich Treub's Beobachtung ganz bestätigen, insofern als ich den Zellkern der Centralzelle immer an ihrer Spitze bis zur Befruchtungszeit gefunden habe.

Die Zahl der Archegonien bei einer Samenanlage beträgt, nach Treub⁴⁾, bei *Cycas circinalis*, 3 bis 6, selten 8. Bei *Cycas revoluta*, ist diese Zahl kleiner, indem hier sie gewöhnlich zwischen 2 und 6 variiert und eine so grosse Zahl wie 8 nie gefunden wird. Von 936 Samenanlagen besitzen 438 drei Archegonien, 359 zwei, 123 vier, 8 ein, 1 fünf, 1 sechs, und 6 abnormalerweise kein.

-
- 1) Strasburger, Befruchtung der Coniferen.
 - 2) Warming, Recherches et remarques sur les Cycadées, pag. 3.
 - 3) Treub, Recherches sur les Cycadées, 3, pag. 3.
 - 4) Ib., pag. 2.

Die Keimperiode beginnt kurz nach der Bestäubung, welche Anfang Juli erfolgt und ist im Laufe einiger Tage abgeschlossen.

Die zweite oder Wachstumsperiode, die längste der drei Perioden, tritt nach der ersten sofort ein und setzt sich bis zur Zeit der Kanalzellbildung fort, welche Ende September stattfindet.

Der Wachstumsmodus des Archegoniums bei den Cycadeen wurde von Warming¹⁾ und Treub²⁾ im Allgemeinen verfolgt. Zunächst vergrößert das Archegonium allmählig sein Volumen bedeutend und da das Cytoplasma langsamer zunimmt, enthält das Archegonium einen dichten Wandbeleg, aber viele Vakuolen in der Mitte. Dann beginnt das Cytoplasma mehr und mehr zuzunehmen, sodass das am Anfang dieser Periode kleine mit schaumigem Cytoplasma versehene Archegonium (Fig. 3 *a*, *b*) am Ende derselben zu einem bedeutend grösseren, nicht selten 4 Mm. langen und 1 Mm. breiten, mit sehr dichtem Inhalt erfüllten auswächst.

Woher stammt das Material für das Wachstum der Centralzelle des Archegoniums? Dies ist eine Frage, welche von Warming und Treub nicht berücksichtigt wurde und welche ich im Folgenden gelöst zu haben glaube. Um diese Frage richtig beantworten zu können, müssen wir zunächst unsere Aufmerksamkeit den Veränderungen zuwenden, welche die Centralzell- resp. die Wandungszellkerne während der Wachstumsperiode erfahren. Die Wandungszellen eines Archegoniums, welche zu einer einfachen Schicht um die Centralzelle angeordnet und durch eine sehr dicke Cellulosemembran von der-

1) Warming, a. a. O.

2) Treub, a. a. O.

selben getrennt sind, zeichnen sich durch den Besitz eines dichten Cytoplasmas und eines grossen Zellkernes aus (Fig. 7 a). Ehe das Archegonium seine volle Entwicklung erreicht hat, besitzen diese Zellkerne feinfädiges Kerngerüst; allein nach einiger Zeit, wird der ganze Kern plötzlich in einen vollständig homogenen, sich stark und diffus färbenden Körper verwandelt, wobei keine Kernstruktur, den Nukleolus ausgenommen, mehr zu unterscheiden ist (Fig. 7 a, b). Es ist klar, dass zu dieser Zeit eine Menge halbflüssiger Stoffe in den Zellkernen entsteht, sie dicht erfüllt, und so zu ihrer Kondensierung führt. Auch findet dann wahrscheinlich ein Process der Auflösung der ursprünglich strukturierten Kernsubstanzen statt, sodass die Kernstruktur nicht mehr erkennbar ist¹⁾. Bei durch Flemming's Lösung fixierten und durch Säurefuchsin und Methyleneblau successiv behandelten Präparaten, färbt sich dieser kondensierte Zellkern rot, während der Nukleolus sich blau färbt. Diese bemerkenswerte Erscheinung beschränkt sich nicht nur auf die Wandungszellkerne, sondern erstreckt sie sich auch auf viele Endospermzellkerne. Es ist zu bemerken dass die kondensierte Kerne sich nur in denjenigen Wandungs- resp. Endospermzellen befinden, welche um den oberen kleinen Teil der Centralzelle angeordnet sind; die Ursache dafür soll weiter unten erörtert werden.

Dieser Stoff, wenigstens der in den Wandungszellkernen befindliche, bildet offenbar das Material für die allmähliche Erfüllung der Centralzelle mit Cytoplasma. Seit Goroschankin's Untersuchungen²⁾ ist es bekannt, dass bei den Cycadeen die Proto-

1) Die Lösung der Kernsubstanzen und das Entstehen der kondensierten Zellkerne finden ihres Analogon auch bei den tierischen Zellen. (Hermann, Z. Kenntn. d. Spermatogenese).

2) Goroschankin, Z. Kenntn. d. Corpuscula bei den Gymnospermen.

plasten der Centralzelle und der Wandungszellen durch feine Plasmafäden in offener Kommunikation stehen. Es ist leicht zu erkennen, dass der den Zellkernraum der Wandungszellen erfüllende Stoff, welcher im natürlichen Zustand wahrscheinlich ein halbflüssiger Körper ist, von dort ausfließt und nach der Centralzelle auf diesen intercellularen Brücken wandert. In der That konnte ich recht gut verschiedene Stadien des Transports dieses Stoffes (im fixierten Zustand als Granulationen erscheinend) nach der Centralzelle finden, indem diese Granulationen bald ausserhalb des Kernes (Fig. 5, obere Zelle), bald in den Plasmafäden selbst (Fig. 6), bald in der Centralzelle, gerade vor der Plasmabrücke (Fig. 7 *b*), liegen, u. s. w. Hinzuzufügen ist noch, dass man der Peripherie der Centralzelle stets eine massenhafte Ansammlung dieser Granulationen vorfindet, welche sich dort offenbar aus sämtlichen umgebenden Wandungszellen kommend, angesammelt haben (Fig. 7 *a*, *b*).

Bemerkenswert ist es ferner, dass der Zellkern der Wandungszelle häufig sich der Centralzelle nähert und dort einen nach dem nächsten Plasmafaden gerichteten kurzen Schnabel bildet (Fig. 6). In einem andern Fall beobachtete ich, dass der Zellkern der Wandungszelle sich bis an die Cellulosemembran biegt, welche an die Centralzelle angrenzt, und mit dem ganzen Körper an dieser sich anlegt (Fig. 7 *a*, *b*). Offenbar sollen alle diese Vorgänge den Uebergang der in diesen Zellkernen enthaltenen Stoffe nach der Centralzelle erleichtern.

Dieses Verhalten der Wandungszellen während des Wachstums der Centralzelle des Archegoniums ist umsomehr interessant, als dies mit dem der Follikelzellen beim Wachstum vieler tierischen Eier ganz übereinstimmt. Es wurde durch viele Zoologen festgestellt, dass das Nährmaterial aus den Follikelzellen

(den Wandungszellen) nach dem Ei im gelösten Zustand übergeht. Auch haben Retzius¹⁾ und Paladino²⁾ das Vorkommen von Intercellularbrücken zwischen den Follikelzellen und dem Ei sehr wahrscheinlich gemacht; der letztere Forscher ist sogar zu dem Schluss gekommen, dass die Intercellularbrücke, aller Wahrscheinlichkeit nach, dem Eie das Nährmaterial zuführt, welches in den Follikelzellen bereitet wird.

Der Zellkern der Centralzelle selbst, welcher während der ganzen Keimperiode sehr klein ist (Fig. 2), wächst allmählig während der zweiten Periode aus und erlangt eine relativ enorme Grösse, welche z. B. 75μ – 120μ im Durchmesser betragen kann. Im Anfang der Wachstumsperiode ist er elliptisch oder rundlich in Gestalt, besitzt sehr feinkörniges Kerngerüst, und wird von einer sehr deutlichen Kernmembran begrenzt (Fig. 3 b). Er enthält während der ganzen Periode ein, seltener zwei, sehr vakuolenreiche Nukleolen. Im Laufe der Periode beginnt er, ähnlich den oben erwähnten Wandungszellkernen, plötzlich sich zu kondensieren, was die ganze Kernstruktur bis auf den Nukleolus unsichtbar macht (Fig. 4). Der Zellkern wird sehr unregelmässig an Gestalt und die Kernmembran sehr undeutlich, sodass der Kern das Aussehen darbietet, als ob er ganz aus einem amorphen Stoff bestände; er bleibt in diesem Zustande bis zum Schluss der Wachstumsperiode. Es ist leicht zu erkennen, dass diese Substanz mit der in den Wandungszellkernen enthaltenen identisch ist. Schon bevor die Kernmembran undeutlich geworden ist, findet man in der Nähe des Zellkernes einige mehr oder weniger grosse unregelmässige Substanzklumpen (Fig. 3 b).

1) Retzius, Die Intercellularbrücken des Eierstockes und der Follikelzellen.

2) Paladino, I ponti intercellulari tra l'uovo ovarico et le cellule follicolari.

Im Anfang sind diese Klumpen nur in kleiner Menge vorhanden, allein allmählig nehmen sie an der Zahl zu, bis zum Schluss der Periode (Fig. 4). Die Reaktionen gegen verschiedene Farbstoffe, sowohl dieser Klumpen als auch jenes im Zellkerne ausgeschiedenen Stoffes, sind ganz die nämlichen wie bei den Wandungszellkernen. Im lebenden Zustand ist dieser Körper zweifelsohne halbflüssig; er fließt fortwährend aus dem Zellkerne nach dem Centralzellplasma und trägt mit den aus den Wandungszellkernen stammenden Stoffe zum allmählichen Wachstum der Centralzelle bei. Die oben erwähnten Substanzklumpen sind auch weiter nichts als diese halbflüssige Substanz im koagulierten Zustand.

Diese Nahrungstoffe, sowohl in den Wandungszellen als auch in der Centralzelle, sind ohne Zweifel als ein Eiweissstoff zu betrachten. Dafür spricht nicht nur seine Koagulierbarkeit durch Osmiumsäure oder Sublimat, sondern auch seine Uebereinstimmung mit den Proteinkrystalloiden bezüglich seiner erythrophilen Reaktion gegen verschiedene Farbstoffe. Ich arbeitete mit durch Sublimat-Eisessig, Merkel's Flüssigkeit, und Fleming's Lösung fixierten Materialien, bediente mich unter Anderem verschiedener von Zimmermann¹⁾ benutzten Tinktionsmethoden; ich überzeugte mich denn, dass der in Rede stehende Stoff, sowohl ausserhalb des Kernes oder innerhalb desselben, sich immer erythrophil verhält.

Warming²⁾ beobachtete bei der Centralzelle von *Ceratozamia longifolia* die Bildung vieler spindelförmigen Körper; sie haben, nach ihm, dieselbe chemische Zusammensetzung wie das

1) Zimmermann, Ueb. das tinctionelle Verhalten der Zellkernkrystalloide.

2) Warming, Recherches et remarques, etc., pag. 3.—Contributions, etc., pag. 11.

Cytoplasma, befinden sich besonders massenhaft in der Peripherie der Centralzelle, und sind als eine Art von Krystalloiden oder Aleuronkörnern zu betrachten. Obwohl er daraus keine physiologische Schlüsse zog, so erinnern diese Körperchen doch sehr an die Granulationen von *Cycas revoluta*.

Vor einigen Jahren, beobachtete Hirase¹⁾ ein ähnliches Verhalten bei den Archegonien von *Ginkgo biloba*. Nach seinen Untersuchungen färben sich die Granulationen mit verschiedenen Farbstoffen immer in derselben Weise wie die Nukleolen. "Ces grosses granulations se comportent à l'égard des divers réactifs colorants de la même façon que les nucléoles; par exemple, dans les préparations portées pendant à peu près une heure dans la solution aqueuse du vert de méthylène, lavées avec de l'alcool absolu; puis traitées avec de l'essence de girofle, et enfin montées au baume, on voit les granulations et les nucléoles se colorer en bleu.....En outre, on rencontrera dans les cellules formant la paroi de l'archégone mûre une ou rarement deux granulations situées en dehors de chaque noyau.....Traitées avec de la fuchsine acide à 0,2 p. 100, elles se colorent en rouge de même que les nucléoles." Bei *Cycas revoluta*, ist aber das Verhalten in dieser Hinsicht etwas verschieden. Wie oben erwähnt, sind hier diese Granulationen stets erythrophil und färben sie sich nicht blau durch Methylenblau, wie es bei *Ginkgo* der Fall ist. Freilich färben sich die Granulationen wie die Nukleolen häufig gleicherweise bei Behandlung mit manchen Farbstoffen, aber nicht immer. Die beste Unterscheidungsmethode besteht darin, dass man die aus mit Flemming's Lösung fixierten Materialien hergestellten Schnitte mit 0,2% Säurefuchsin

1) Hirase, Études sur la fécondation et l'embryogénie du *Ginkgo biloba*.

färbt (2 Stunden), mit Wasser auswäscht, dann mit 0,2% Methylblau färbt (wenigstens 1½ Stunde), mit Alkohol auswäscht, mit Nelkenöl behandelt (1 Stunde), mit Xylol aufhellt und in Kanadabalsam einschliesst, indem dann die Granulationen sich rot und die Nukleolen blau färben. Bei *Cycas* findet ausserdem die von Hirase beobachtete merkwürdige Thatsache nie statt, dass "les noyaux dans les cellules de la paroi de l'archégone sont pourvus chacun des deux nucléoles avant ce temps limité, mais après d'un seul"¹⁾. Hier ist demnach die Identität dieser beiden Gebilde, Granulationen und Nukleolen, nicht nachzuweisen.

Jaccard, in seinen Studien über *Ephedra helvetica*, sagt²⁾, "L'enveloppe corpusculaire (= Wandungszellen) joue certainement un rôle dans la nutrition et l'accroissement de l'archégone." Weiter³⁾, "En même temps l'enveloppe corpusculaire commence à se désorganiser et le protoplasma de ses cellules vient former au sommet de l'archégone une sorte de calotte.....À partir de ce stade, les archégonies se remplissent de protoplasma et de nombreux noyaux très colorables, ressemblant parfois si complètement aux noyaux sexuels qu'il devient impossible de les en distinguer.....C'est encore au contenu des cellules de l'enveloppe que j'attribue les condensations protoplasmiques globuleuses dans le genre de celle qui représente la figure 32, pl. VII....." Diese "condensations protoplasmiques" entsprechen offenbar unseren Granulationen bei der Centralzelle. Die Thatsache, dass der Inhalt der Wandungszellen das Material für die Ernährung der Centralzelle liefert, gilt somit auch bei *Cycas* wie bei *Ephedra*,

1) a. a. O., pag. 12.

2) Jaccard, a. a. O., pag. 12.

3) a. a. O., pag. 29.

selbst wenn der Ernährungsmodus bei diesen zwei Gattungen nicht ganz miteinander übereinstimmt.

Eine naheliegende Frage ist, "Warum befindet sich dieser Stoff innerhalb des Zellkernes?" Die beobachteten Thatsachen führen uns ungezwungen zu der Erkenntniss, dass der Zellkern das Vermögen besitzt, die von aussen her aufgenommenen Rohmaterialien zu der der Ernährung tauglichen Form zu verarbeiten, was auch schon von verschiedenen Forschern konstatiert worden ist¹⁾. Man darf hiernach wohl schliessen, dass der Zellkern ein Werkstatt der Nährstoffe für das Wachstum der Centralzelle ist, was eine Bestätigung der von Strasburger²⁾ und Schmitz³⁾ geäusserte Ansicht über die Beziehung des Zellkernes zur Bildung der Eiweissstoffe bildet.

Die schon oben angedeutete Thatsache, dass bei den Archeogonien die kondensierten Zellkerne nur bei dem oberen kleinen Teil der die Centralzelle umgebenden Wandungszellen gefunden werden, ist wahrscheinlich im folgenden Sinne aufzuklären. Der obere Teil der Centralzelle, welcher ein so wichtiges Organ wie der Zellkern enthält, hat natürlich ein grösseres Bedürfniss für Nährstoffe als die übrigen Teile. Dementsprechend muss der Verarbeitungsvorgang dieses Stoffes mehr lebhaft bei den oberen Wandungszellkernen wie bei den unteren statthaben, sodass trotz ihrer stetigen Zuführung nach der Centralzelle, die Zellkerne der oberen Zellen immer eine grosse Menge davon fertig enthalten. Man könnte vielleicht glauben, dass bei den unteren Wandungszellen, deren Zellkerne anscheinend von jenem Stoffe frei sind,

1) Vgl. z. B. Wilson, *The Cell*, pag. 247.

2) Strasburger, *Zellhäute*, pag. 247.—Kern- und Zelltheilung im Pflanzenreich, pag. 241.

3) Schmitz, *Structur des Protoplasmas*, etc.

jener Bildungsvorgang nicht stattfindet. Dass dieses aber keineswegs der Fall ist, ist leicht zu erkennen, denn der Uebergang der Granulationen durch die Intercellularbrücke ist auch bei den unteren wirklich zu beobachten (Fig. 5-6).

Die dritte oder Reifungsperiode beginnt Ende September und endet fast momentan. Während dieser Periode erfolgt die Kanalzellbildung, welche sowohl bei den Archegoniaten als bei den Ginkgoaceen¹⁾, Coniferen, und Gnetaceen stattfindet und welche an die Richtungskörperbildung der tierischen Eier erinnert. Durch diesen Process wird eine Centralzelle zu einer zur Befruchtung fertigen Eizelle.

Strasburger scheint zuerst eine Kanalzelle bei *Cycas sphaerica* beobachtet zu haben²⁾.

Warming³⁾ beschreibt eine Kanalzelle bei *Ceratozamia robusta*, allein späterhin stellt er selbst das Vorkommen in Abrede, insofern als seine erste Andeutung teilweise auf die Verwechslung mit dem Zellkerne der Centralzelle beruhen sollte.

Treub bestätigt Warming's Angabe, indem er über *Cycas circinalis* sagt⁴⁾: "Sur ce point (Abwesenheit der Kanalzelle), il ne me reste pas les moindres doutes pour ce qui concerne le *Cycas circinalis*, il n'y a jamais de cellule de canal."

Seit Warming's und Treub's Untersuchungen, wurde die Ansicht allgemein verbreitet, dass eine Kanalzelle bei den Archegonien sämtlicher Cycadeen fehle.

1) Hirase, a. a. O.

2) Strasburger, Zellb. u. Zellt. 1. Aufl., pag. 295.

3) Warming, a. a. O.

4) Treub, Recherches sur les Cycadées, 3.

In 1896 beobachtete ich die Bildung einer Kanalzelle bei *Cycas revoluta* und zog den allgemeinen Schluss¹⁾: "Die zur Zeit herrschende Ansicht, dass die Kanalzellbildung bei den Cycadeen im Allgemeinen fehle, ist nicht mehr haltbar und der Vorgang ist als eine allen Cycadeen gemeinsame Erscheinung zu betrachten"²⁾.

Die Kanalzellbildung erfolgt unmittelbar vor der Befruchtung. Zu dieser Zeit, nähert sich der Kern der Centralzelle den Halszellen, welche sich nun über das Endospermgewebe erheben, nimmt eine regelmässig rundliche Gestalt an, und weist eine deutliche Kernmembran auf. Zugleich wird in der homogenen Grundsubstanz des Kernes eine Anzahl der Chromosomen sichtbar, von denen jedes aus dem Körnchenaggregat besteht (Fig. 8). Einige Stadien der Karyokinese bei diesem Vorgang sind in den Figuren 8–10 dargestellt und wenn ich sie auch nicht ganz vollständig verfolgt habe, so macht jedoch das Studium dieser Stadien es sehr wahrscheinlich, dass diese Kernteilung zum heterotypischen Typus gehört und sich wesentlich ebenso wie bei der ersten Kernteilung der Pollenmutterzellen der Liliaceen verläuft³⁾ 4). Die Metakinese scheint das am längsten andauernde Stadium zu sein, indem die Kanalzellbildung zu meist in diesem Stadium angetroffen wurde. Die Chromosomen sind ziemlich fein; die Spindelfasern treffen nicht an zwei entgegengesetzten Punkten zusammen und die Centrosphären sind nicht sichtbar (Fig. 10). Bald nach der Kernteilung beginnt

1) Ikeno, a. a. O.

2) Neuerdings bestätigt Webber bei *Zamia integrifolia* meine Angabe über die Kanalzellbildung bei *Cycas revoluta*. (Webber, Notes on the Fecundation of *Zamia*, etc.)

3) Mottier, Beitr. z. Kenntn. d. Kernt. in den Pollenmutterzellen einig. Dikot. und Monok.

4) Sargant, Formation of Sexual Nuclei in *Lilium Martagon*, II. Spermatog.

der untere Zellkern (Fig. 11, *ek*) sich abwärts zu bewegen, während der obere (*ok*) in dem früheren Orte bleibt. Unterdessen sind mit dem oberen kleinen Teil der Centralzelle, welcher den letzteren Kern enthält, Veränderungen vor sich gegangen, insofern als das Cytoplasma und der Zellkern dieses Teiles aufgelockert werden und deutliche Zeichen der Desorganisation erkennen lassen (Fig. 12). Dieser Teil repräsentiert die Kanalzelle, welche bald sich vollständig von der Eizelle lostrennt und lange Zeit als eine Art Kappe unter den Halszellen erkennbar ist (Fig. 13).

Der von Warming in seiner Figur 19, Taf. II¹⁾ mit dem Buchstaben *k* angedeutete Körper, welchen er zuerst für eine Kanalzelle erklärte, aber später wieder in Abrede stellte, scheint mir, der Abbildung nach zu beurteilen, wirklich eine desorganisierte Kanalzelle zu sein.

1) Warming, Recherches et remarques, etc.



II. KEIMUNG DES POLLENS UND WACHSTUM DES POLLENSCHLAUCHES.

Die Entwicklung des Pollensackes wurde zuerst von Warming¹⁾, dann von Treub²⁾, und neuerdings von Lang³⁾ studiert. Die Bildung der Pollenkörner aus den Pollenmutterzellen wurde von Treub²⁾, Jurányi⁴⁾ und Guignard⁵⁾ erforscht, und zwar wurden die Kernteilungsvorgänge bei derselben sehr eingehend durch diese beiden letzteren Forscher beschrieben.

Bezüglich des Wachstums der Pollenschläuche der Cycadeen wissen wir so gut wie nichts. Die Keimung des Pollens wurde nur durch zwei Forscher studiert, nämlich Jurányi⁴⁾ und Strasburger⁶⁾. Sie verfolgten nicht das Verhalten der Pollenschläuche auf dem Nucellus, und es dienten ihnen als Beobachtungsobjekte nur Pollenschläuche einiger Cycadeen, welche durch künstliche Kultur in Zuckerwasser oder auf saftigen Birnenstückchen gebildet wurden. Es war ihnen daher unmöglich, das Verhalten der Pollenschläuche während der ganzen Zeit ihrer Existenz zu verfolgen; nur das Verhalten während einiger Tage nach der Keimung kam zur Beobachtung.

Neuerdings habe ich auch in einer kurzen Notiz das Verhalten des Pollenschlauches von *Cycas revoluta* erörtert⁷⁾. Gleich-

1) Warming, a. a. O.

2) Treub, a. a. O.

3) Lang, Development und Morph. of Cycadeen Sporangia.

4) Jurányi, Bau u. Entw. d. Pollens v. *Ceratozamia longifolia*.—Pollen der Gymnospermen.—Beobachtgn. üb. d. Kerntheilung.—Pollen-Entw. d. Cycadeen und Coniferen.

5) Guignard, Observ. s. le Pollen des Cycadées.

6) Strasburger, Befrucht. u. Zellth.—Ueb. d. Verhalt. d. Pollens u. d. Befr. Vorg. b. d. Gymnospermen.

7) Ikeno u. Hirase, Spermatozoids in Gymnosperms.

zeitig veröffentlichte Webber einige Mitteilungen über den ausgewachsenen Pollenschlauch¹⁾.

Eine gereifte Pollenzelle von *Cycas revoluta* (Fig. 14) besteht aus drei Zellen, nämlich einer grösseren, der Embryonalzelle (*ez*) und zwei kleineren, den sog. Prothalliumzellen (*p*₁, *p*₂). Eine kleine Partie der Exine, welche an die Embryonalzelle grenzt, ist erheblich weicher als anderwärts; zur Zeit der Keimung, zerbricht die Exine an dieser Stelle um dem wachsenden Schlauch Platz zu machen. Der Embryonalzellkern ist kugelig, besitzt lockeres Kerngerüst und ist mit Nukleolen versehen. Die zwei Prothalliumzellen sind flach, und dementsprechend sind ihre Zellkerne flach und länglich; sie sind ebenfalls mit lockerem Kerngerüst und Nukleolen versehen.

Um die Keimung und das weitere Wachstum der Pollenkörner zu untersuchen, wird die Methode der Kultur derselben auf fremdem Substrat wohl keine gute Resultate geben, indem nach Strasburger bei solchen Kulturen die Pollenschläuche nach kurzer Zeit stets zu leiden beginnen und sterben²⁾, während im natürlichen Zustand, auf dem Nucellus, eine ziemlich lange Zeit (über drei Monate!) zwischen der Keimung und der Befruchtung liegt. Daher verzichtete ich auf die Kultur der Pollenkörner und habe während der Monate Juli August September und Oktober eine Anzahl der die Pollenschläuche enthaltenden Nucellus täglich gesammelt und fixiert. Auf diesen Materialien beruhen alle meine unten beschriebenen Beobachtungen. Für die Untersuchung der Pollenschläuche wurden sie entweder aus dem Nucellus herauspräpariert, oder es wurde der

1) Webber, Peculiar Structures occur. in the Pollentube of *Zamia*.

2) Strasburger, a. a. O.

Nucellus mitsamt den Pollenschläuchen mittelst des Mikrotoms geschnitten.

Die Resultate meiner Beobachtungen stimmen im Grossen und Ganzen mit dem, was Hirase neuerdings über die Pollenschläuche von *Ginkgo biloba* mitgeteilt hat, überein¹⁾.

Die Bestäubung vollzieht sich Anfangs Juli. Als bald produziert das in der sog. Pollenkammer befindliche Pollenkorn einen Schlauch, welcher, wie oben erwähnt, durch den weicheren Teil der Exine hervorbricht. Der Embryonalzellkern geht nach dem wachsenden Ende desselben, während die zwei Prothalliumzellen im früheren Orte bleiben. Das wachsende Ende des Schlauches dringt in das Nucellargewebe hinein, verzweigt sich dann dort und befestigt darin den ganzen Körper des Schlauches. Dieser Zustand ist in Fig. 15 a zu sehen, welche ein Stadium am Ende Juli darstellt. Wie aus der Figur zu ersehen ist, kommt nur ein kleiner Teil eines Schlauches in der Höhle der Pollenkammer zum Vorschein, während der grösste Teil desselben in dem Nucellargewebe verborgen ist. Die Tatsache dass es das wachsende Ende ist, nicht aber das entgegengesetzte, welches einer Wurzel gleich funktioniert, ist leicht zu erkennen, weil das in der Pollenkammer befindliche Ende mit den Prothalliumzellen noch mit einem Exinestückchen (*sp*) versehen ist. Bald nach der Keimung vergrössern sich die beiden Prothalliumzellen, insbesondere die innere, welche kugelförmig wird und ziemlich locker strukturiertes, mit einem grossen runden Zellkern versehenes Cytoplasma aufweist (Fig. 15. b). Während die letztere Zelle etwas ausgewachsen ist und noch kugelig bleibt, teilt sich ihr Zellkern zu je zwei Tochterkerne

1) Hirase, Unters. üb. d. Verh. d. Pollens. von *Ginkgo biloba*.

von gleicher Grösse (Fig. 16), wobei die karyokinetische Spindel, wenn man die relative Lage der Tochterkerne in Betracht zieht, zu der Längsachse des Pollenschlauches senkrecht sein dürfte. Eine Scheidewand zwischen diesen Tochterkernen wird niemals gebildet. Einer von denselben wächst nur schnell aus und nimmt den grösseren Raumteil der Mutterzelle ein, sodass der andere (Fig. 17, *st*) alsbald im nackten Zustand aus ihr verdrängt wird. Bei den Coniferen¹⁾ teilt sich auch der Zellkern der generativen Zelle zu zwei Kernen, allein die Kernspindel steht bekanntlich parallel zu der Längsachse des Pollenschlauchs und stets wird eine Scheidewand zwischen je zwei Tochterkernen gebildet. Trotz diesen Unterschieden zwischen den Cycadeen und Coniferen verhält sich der Zellkern der generativen Zelle, wie man sieht, wesentlich gleichartig und deshalb ist es wohl kaum zweifelhaft, dass der schnell wachsende Kern dem Körperzellkerne bei den Coniferen, und der andere, welcher im nackten Zustande verdrängt wird, dem Stielzellkerne derselben entspricht, und dass daher die Mutterzelle, nach der Verdrängung eines Tochterkernes, als Körperzelle zu bezeichnen ist (Fig. 17, *kz*).

Bald nachher kommen, dicht neben dem Zellkerne, zwei kleine Körperchen in der Körperzelle zum Vorschein, welche als Centrosphären zu deuten sind²⁾. Jedes dieser Körperchen besteht aus einem Centrosom, dessen heller Hof nicht zu sehen

1) Im Sinne Engler's. (Nat. Pflanzenfam., Teil V).

2) Dass diese Körperchen die Centrosomen darstellen, habe ich schon an andern Orte ausführlich geschildert (Ikeno, Z. Kenntn. d. centrosomähn. Körpers im Pollenschlauch der Cycadeen), sodass ich hier auf die Wiederholung meiner diesbezüglichen Anschauungen verzichten kann. Die von Webber für denselben eingeführte Bezeichnung "Blepharoplast" (Notes on the Fecund. of *Zamia*) scheint mir unnötig zu sein. Auch neuerdings deutete Guignard diese Körperchen als Centrosomen (Les centrosomes chez les Végétaux).

ist; es ist cyanophil. Zuerst legen sich beide Centrosomen dicht an der äusseren Peripherie des Zellkernes (Fig. 18, *c*), aber bald rücken sie ein wenig von derselben zurück und dann befinden sie sich in der der Längsachse des Pollenschlauches senkrechten Richtung (Fig. 19, *c*). Die Strahlensonne ist noch nicht entwickelt. Mit dem weiteren Wachstum des Schlauches wächst dann sowohl die äussere Prothalliumzelle als auch die Körperzelle mehr und mehr aus. Dem Umriss nach, nehmen nun die Körperzelle und ihr Kern die Gestalt einer Ellipse an, von welcher die längere Achse mit der Längsachse des Schlauches zusammenfällt (Fig. 20 *a*). Der Stielzellkern, welcher vorher aus der Körperzelle verdrängt worden ist und nach der äusseren Prothalliumzelle zuwanderte (Fig. 17, 18, 19, *st*), befindet sich jetzt innerhalb derselben neben ihrem Zellkerne (Fig. 20 *a*, *st*).

Während dessen nehmen auch die beiden Centrosomen am Umfang zu, entfernen sich immer weiter vom Zellkerne und wenn die Körperzelle und ihr Kern einen elliptischen Umriss angenommen haben, finden wir diese Centrosomen in der Richtung des längeren Durchmesser der Ellipse, d. h. in der der Längsachse des Pollenschlauches parallelen Richtung (Fig. 20 *a*). Ob diese Lageveränderung der Centrosomen durch ihre eigene Bewegung um den Zellkern oder durch die Umdrehung der ganzen Körperzelle um 90° passiv hervorgebracht wird, mag noch dahingestellt bleiben. Unter schwacher Vergrösserung beobachten wir hierbei um jedes Centrosom eine dichte Ansammlung des Cytoplasmas von besonderer Beschaffenheit. Unter stärkerer Vergrösserung können wir beobachten, dass dieses Cytoplasma eine feine Netz- oder Wabenstruktur aufweist; ebenso können wir sehr deutlich die Bildung der radialen Strahlen aus dem Maschenwerke dieses netzartig gebauten Cytoplasmas verfolgen,

indem die cytoplasmatischen Waben sich so anordnen, dass ihre Wände strahlenförmig vom Centrosom auslaufen (Fig. 20 *b*).

In Bezug auf die schwerwiegende Frage nach der Herstammung der Centrosomen bin ich selbstredend nicht in die Lage etwas Entscheidendes auszusagen, allein nachfolgende Beobachtungen mögen hier Platz finden, da sie in der Frage manche Fingerzeige geben, die nicht ohne Wert sein dürften. Kurz vor dem Erscheinen der Centrosomen kommen viele kleine cyanophile Körnchen innerhalb des Zellkernes der Körperzelle zum Vorschein (Fig. 17, *ck*). Ein oder einige Nukleolen sind im Kerne vorhanden und sind erythrophil (*e*), während die Centrosomen cyanophil sind. Die neugebildeten Centrosomen sind im Kontakt mit der äusseren Peripherie des Kernes (Fig. 18), geradezu als ob sie aus dem Innern des Kernes hervorgegangen wären. Nach dem Erscheinen der Centrosomen, verschwinden stets die oben angedeuteten cyanophilen Körnchen gänzlich, ausgenommen eine Portion dieser Substanz, welche hiernach nur für sehr kurze Zeit an der inneren Peripherie des Zellkernes sich verbreitet (Fig. 17, *r*)¹). Natürlich wird diese Beobachtung allein die genetische Verwandtschaft dieser beiden Gebilde—Centrosomen und cyanophile Körnchen—noch nicht endgiltig entscheiden können, allein sie macht es wahrscheinlich dass diese Körnchen den Centrosomen als Bildungsmaterial dienen. Wir können uns hierüber die Vorstellung machen, dass die cyanophilen Körnchen des Zellkernes im gelösten Zustand durch die Kernwandung nach aussen geflossen sind und dann am Rande des Zellkernes die Centrosomen bilden. Bei diesem Vorgang mag

1) Das mit Flemming's Lösung fixierte und nach Heidenhain's Eisenhämatoxylinmethode gefärbte Material zeigt diese Farbenreaktionen.

eine kleine Portion der Substanz übrig bleiben und ist dann nach dem Erscheinen der Centrosomen noch für kurze Zeit innerhalb des Kernes wahrzunehmen (Fig. 18, *r*).

Nach dieser kleinen Abweichung vom ursprünglichen Thema, kehren wir nun wieder zu demselben zurück. Mitte August, findet eine zweite Lageänderung der Centrosomen statt, welche durch ihre Drehung in der einander entgegengesetzten Richtung hervorgebracht wird. Fig. 21 stellt diese beiden Centrosomen dar, welche schon fast halbweg gedreht haben. Durch diese Bewegung, gelangen beide Centrosomen wieder in eine zu der Längsachse des Schlauches senkrechten Richtung, worauf die Körperzelle und ihr Kern wieder kugelig werden. Die Strahlensonne ist dann schön entwickelt. (Fig. 22).

Von da an bis zum Ende September, d. h. während fast anderthalb Monate, finden keine Gestaltveränderungen verschiedener im Pollenschlauch enthaltenen Gebilde statt; nur nehmen sie während dieser Zeit allmählich an Grösse und Masse zu. In der That entspricht dieser Zeitraum der Wachstumsperiode bei der Entwicklung der weiblichen Organe, welche wir schon im I. Abschnitt ausführlich geschildert haben.

Gegen Ende dieser Periode, erreichen alle Gebilde nahezu ihre maximale Grösse (Fig. 23 *a*) (vgl. Fig. 22, welche unter gleicher Vergrößerung wie Fig. 23 *a* dargestellt ist). Die Körperzelle erlangt dann sehr dichtes Cytoplasma und beträgt c. 0,14 Mm. im Durchmesser, während der Zellkern eine in der That auffallende Grösse von 60 μ aufweist. Unterdessen sind auch die Centrosomen bedeutend gewachsen: sie betragen 10–15 μ im Durchmesser!¹⁾ Sie sind kugelig und cyanophil wie im

1) Vgl. Fig. 34 (Mikrophot.)

jungen Stadium. Abgesehen von dem Vorhandensein einiger Vakuolen, stellen sie nicht einen hohlen, sondern einen massiven Körper dar, wovon man sich leicht überzeugen kann, wenn man einen nicht zu dünnen Schnitt derselben durch leichten Druck auf das Deckglas zerquetscht. Der helle Hof ist in diesem Stadium wie im vorigen nicht sichtbar; die Strahlensonne ist stets sehr schön entwickelt und wir können dabei unter starker Vergrößerung beobachten, dass alle Strahlen schliesslich in das umgebende wabenförmig gebaute Cytoplasma eindringen, als ob ihre Ende in die Masse des letzteren aufgingen (Fig. 23 *b*).

Mitte September beginnt der Embryonalzellkern nach der Körperzelle sich hinzubewegen (Fig. 23 *a*) und Ende desselben Monats kommt er im Kontakt mit dem hinteren Ende derselben, sodass zu dieser Zeit sowohl die Körperzelle und die äussere Prothalliumzelle, als auch der Embryonalzell- und der Stielzellkern an dem mit der Exine abschliessenden Ende des Pollenschlauches zusammengeraten.

Nach den Untersuchungen von Belajeff¹⁾, Strasburger²⁾, Dixon³⁾, über viele Koniferen, ist es allgemein bekannt, dass zur Zeit der Befruchtung, alle diese Zellen und Kerne am wachsenden Ende des Pollenschlauches zusammenkommen. Hirase⁴⁾ hat jedoch festgestellt, dass bei *Ginkgo biloba* ein umgekehrter Prozess stattfindet, weil hier das wachsende Ende des Pollenschlauches in das Nucellargewebe eindringt und wie einer Wurzel

1) Belajeff, Z. Lehre v. d. Pollenschläuchen der Gymnospermen.—Ebenda. Zweite Mitteilung.

2) Strasburger, Ueb. d. Verhalten des Pollens, etc.

3) Dixon, Fertilisation of *Pinus sylvestris*.

4) Hirase, a. a. O.—Études sur la fécondation et l'embryogénie du *Ginkgo biloba* (Second mémoire).

funktioniert, während schliesslich alle diese Zellen und Kerne in dem entgegengesetzten Ende des Pollenschlauches sich befinden.

Das oben erwähnte Verhalten des Pollenschlauches bei *Cycas revoluta* stimmt daher völlig in dieser Beziehung mit dem bei *Ginkgo biloba* überein und ist von demjenigen bei den Koniferen diametral verschieden.



III. SPERMATOGENESE¹⁾.

Bald nach der Ansammlung aller Gebilde eines Pollenschlauches an einem Ende desselben, beginnen sie ihre organische Struktur einzubüßen, ausgenommen die Körperzelle, indem alle diese Gebilde stark anschwellen und mehr und mehr gelockert werden, um gänzlich zu verschwinden. Wohin diese desorganisierten Gebilde geraten ist eine offene Frage; allein, es scheint mir, als wenn sie der Körperzelle als Nahrungsmittel für ihre weiter unten zu beschreibenden Umwandlungen dienen. Eine Körperzelle verwandelt sich, in Folge dieser Process, in je zwei Spermatozoiden; ein Umstand, durch den wir uns berechtigt glauben, diese Zelle als eine spermatogene bezeichnen zu dürfen.

Um diese Zeit, wo die Gebilde zu verschwinden beginnen, fängt das Cytoplasma der spermatogenen Zelle an, grobnetzförmig zu werden, ehe die Kernteilung geschieht. Bei der Kernteilung wird eine Anzahl der Chromosomen in der homogenen Grundsubstanz des Zellkernes sichtbar, welche aus den Körnchenaggregaten bestehen und durch Heidenhain's Eisenhämatoxylin intensiv blau gefärbt werden (Fig. 24). Bald nimmt der rundliche Zellkern eine trapezoidische Gestalt an und die Chromosomen von gleicher Beschaffenheit wie beim vorigen Stadium bilden sich zu Stäbchen aus (Fig. 25). Bis dahin erkennen wir jedoch gar keine Veränderungen bei den Centrosomen.

Fig. 26 *a* stellt ein Stadium der Karyokinese dar, wobei alle Chromosomen schon sehr nahe an die beiden Polen der Spindel gelangt sind. Jedes derselben ist aus den in einer Reihe angeordneten Chromatinkörner zusammengesetzt; das Linin

1) Bezüglich der Spermatogenese der Cycadeen, besitzen wir, in der botanischen Litteratur, nur eine Mitteilung Webber's über *Zamia integrifolia* (Notes on the Fecund. of *Zamia*, etc.)

ist nicht deutlich wahrnehmbar. In diesem Stadium wandelt sich jedes Centrosom zu einer Gruppe von feinen Stäbchen um, um welche die Strahlensonne, wenn auch nicht so ausgeprägt wie bevor, noch vorhanden ist (Fig. 26 *b*)¹⁾.

Um die Zeit, wo alle Chromosomen schon an den beiden Polen gelangt und an der Bildung des Tochterkerne begriffen sind (Dyaster), wandelt sich jedes Centrosom zu einem Häufchen der Granula um, um welches das Vorhandensein der Strahlensonnen jedoch zweifelhaft ist.

Nach der Vollziehung der Kernteilung ist jeder Tochterkern rundlich, ganz homogen, und weist eine Anzahl von kleinen Nukleolen auf. Nach der Zellteilung trennen sich nicht zwei Tochterzellen unmittelbar aus einander, sondern ein Band von schwach färbbarem Cytoplasma, welches durch die Mittellinie der Mutterzelle hindurchgeht, markiert die Grenze von je zwei Tochterzellen, von welcher jede nun, nach der Terminologie der Zoologen, als eine Spermatide bezeichnet werden kann. Jedes Centrosom besteht dann, wie beim vorigen Stadium, aus einem Häufchen der Granula (Fig. 26 bis).

Das nächste Stadium ist durch das eigentümliche Verhalten dieses Granulähäufchens charakterisiert. Diese Granula ordnen sich, nämlich, neben dem Zellkerne zu einem mehr oder minder breiten kurzen Band aus, wobei die Zusammensetzung aus Granula am Anfang deutlich wahrnehmbar ist (Fig. 27 *a*). Fig. 27 *b* und *c* stellen dieses Band im Profil resp. Aufriss dar. Wenn man das Band im Profil unter starker Vergrößerung untersucht,

1) Wie aus dem rundlichen Centrosom eine solche Stäbchengruppe erzeugt wird, ist mir noch nicht klar. Ob der Process mit dem, was Webber bei *Zamia* beschrieben hat (Pecular Structures, etc.), übereinstimmt oder nicht, vermag ich auch nicht zu entscheiden.

so erkennt man, dass eine Anzahl von radialen Strahlen aus diesem Band nach der Peripherie der Spermatide gerichteten Seite hervorgesprossen sind (Fig. 26 *b*). Diese radialen Strahlen stellen die Cilienanlagen dar, da die Cilien, welche bald nachher bei jeder Spermatide deutlich erkennbar werden, offenbar nichts Anderes sind, als die Umwandlungsprodukte dieser Strahlen, wenn auch wie dieser Umwandlungsprocess geschieht noch nicht aufgeklärt ist. Ebensowenig ist es sicher zu bestimmen, ob diese radialen Strahlen von denselben herrühren, welche das noch nicht ausgedehnte Centrosom umgeben haben, oder ganz Neubildungen darstellen, jedoch das erstere scheint mir viel wahrscheinlicher zu sein.

Unterdessen erzeugt der Zellkern einen kurzen schnabelförmigen Fortsatz nach diesem Bande zu, mittelst dessen derselbe in innige Verbindung mit dem letzteren gelangt (Fig. 27 *a, b*). Die Erzeugung des Schnabelfortsatzes des Zellkernes und die bandförmige Anordnung des granulären Centrosoms finden anscheinend gleichzeitig statt und demgemäss ist es mir unmöglich zu bestimmen, ob der eine oder der andere dieser zwei Prozesse die primäre Erscheinung ist. Allein, wenn der erstere als primäre erkannt wird, so werden wir vielleicht berechtigt sein daraus zu folgern, dass die Mitwirkung des Zellkernes für die bandförmige Anordnung der Granula unentbehrlich ist.

Bald hiernach können wir die Zusammensetzung des Bandes aus Granula nicht mehr nachweisen, indem sie in einander verschmelzen, um einen dünnen Faden auszubilden (Fig. 28). Der letztere ist von diesem Zeitpunkte an durch sein eigentümliches und für die Spermatogenese höchwichtiges Verhalten charakterisiert. Er dehnt sich nämlich spiralig aus (Fig. 33) und windet sich unter die äussere Fläche jeder halbkugeligen Sper-

matide, immer nahe an derselben bleibend¹⁾); dabei steigt die Spirale in der der karyokinetischen Spindel bei der Bildung von zwei Spermatiden senkrechten Richtung auf (Fig. 28 und Folg.)

In der Fig. 28 *a*, welche einen der ebenen Fläche der halbkugeligen Spermatide parallel geführten Schnitt darstellt, findet man ein mehr oder minder ausgedehnten Centrosomband. Die Cilien, welche, wie oben schon erörtert, aus den radialen Strahlen des granulären Centrosombandes umgewandelt sind, sind an dem Band, welches ihnen als Befestigungsstelle dient, sehr deutlich wahrzunehmen (Fig. 28 *b*). Der Zellkern, welcher unterdessen im Wachstum begriffen ist, streckt sich aus, um eine birnförmige Gestalt anzunehmen. Sein Schnabelfortsatz verlängert sich auch zugleich und bewegt sich Hand in Hand mit der Ausdehnung nach der gleichen Richtung, bis der erstere nach einem bestimmten Punkt der lateralen Seite der Spermatide gerichtet ist, von welchem Punkte aus, die Spirale sich ausdehnt, ohne von dem Zellkerne begleitet zu werden (Fig. 28 *a*, *b*). Während dieser Bewegung stehen der Zellkernschnabel und das Centrosomband ohne Zweifel stets in inniger Verbindung und bleiben sie noch so, wo die Ruhe wieder eingetreten ist.

Fig. 29 *a* stellt einen der ebenen Fläche der halbkugeligen Spermatide senkrecht geführten medianen Schnitt dar. Dabei hat das Centrosomband unter der Oberfläche der Zelle schon eine Windung gemacht, sodass man an den beiden lateralen Seiten jeder Spermatide diesem Band je einmal im Durchschnitt begegnet (Fig. 29 *a*, *c*). Durch seinen Schnabel bleibt noch der Zellkern mit dem letzteren in Verbindung und offenbar in

1) Zu dieser Zeit trennen sich je zwei aus einer spermatogenen Zelle erzeugten Tochterzellen auseinander und bilden zwei halbkugelige Spermatiden.

inniger Konnex. Die Cilien, welche schon vorher dem Centrosombande entgesprossen sind, sind nun ausserhalb der Zelle, wenn auch nur kurze Strecke, herausgekommen (Fig. 29 *a, b*). Insofern als das Band in seiner spiraligen Ausdehnung stets unter der Oberfläche der Zelle läuft, so müssen die dem Bande inserierten Cilien durch eine mehr oder minder dicke Schicht Cytoplasmas hindurchgehen, um an die äussere Fläche der Zelle zu gelangen (Fig. 29). In Fig. 29 *a*, sind die Schnäbeln zweier Kerne nach der entgegengesetzten Seite gerichtet; dies ist indessen nicht die allgemeine Regel, da ihre Richtungen ebenso oft mit einander übereinstimmen können.

Das Centrosomband beschreibt um die halbkugelige Spermatide fast fünf Windungen, welche, von oben gesehen und von der Spitze ausgehend, von Rechts nach Links verlaufen, d. h. umgekehrt wie der Uhrzeiger. Fig. 31 zeigt den medianen Schnitt einer solchen Spermatide. Sie lehrt uns, dass die Verbindung zwischen dem Zellkerne und dem Centrosom, welche eine merkwürdige Erscheinung der vorigen Stadien bildet, nicht mehr besteht. Wann und wie diese Verbindung verloren geht, ist nicht genau bekannt, allein bei dem in Fig. 30 dargestellten Stadium, wobei das Centrosomband fast drei Windungen gemacht hat, vermissen wir schon diese Verbindung. Ausserdem bietet dabei das eine Ende des Zellkernes, welches seinem Schnabelteil entspricht, den Anblick einer Lostrennung vom Centrosombande, was darauf hindeutet, dass die Verbindung zwischen dem Zellkerne und dem Centrosom schon einige Zeit nach dem Anfang der spiraligen Windung des letzteren gänzlich verloren gegangen ist.¹⁾

1) Bei dem Sporenabgrenzungsvorgang der Ascomyceten, wobei auch die Verbindung des Zellkernschnabels mit dem Centrosom stattfindet, beobachtete Harper (Kernt. u. freie Zellt. im Ascus) dass, nach der Bildung der Grenzschicht um die Sporen, "der schnabelförmige

Wenn man aus einem fast vollständig gereiften Spermatozoid einen medianen Schnitt macht, so erkennt man dass es aus einem Zellkerne und einem ihn völlig umhüllenden Cytoplasmamantel besteht. Der erstere ist nun grösser und dichter als bei Fig. 31, während der letztere bedeutend dünner geworden ist (Fig. 32). Auch durch denselben Schnitt erkennen wir dass die äussere Kontur, sowohl des Zellkernes als auch des Cytoplasmamantels, welche der kugeligen Fläche der halbkugeligen Spermatozoid entspricht, statt kreisförmig zu sein, ziemlich tief gelappt ist. In der Einkerbung zwischen je zwei Lappen des Mantels, von welchen im Ganzen zehn vorhanden sind, liegt die Schnittfläche des Centrosombandes, sodass es den Anschein bietet, als ob die Cilien von diesen Einkerbungen aus hervorgesprossen wären. Die gelappte Kontur des Zellkernes und des Cytoplasmamantels rührt davon her, dass nach der spiraligen Ausdehnung des Centrosombandes unter der Oberfläche der Spermatozoid, sowohl im Cytoplasma als auch im Zellkerne, eine schraubenförmige Rinne sich längs dieser Spirale, und sehr nah daran bildet, und dass die oben erwähnte Einkerbung nichts Anderes ist, als diese Rinne im Durchschnitt. Die Thatsache, dass ein medianer Schnitt zehn Einkerbungen aufweist, ist leicht zu verstehen, weil man der spiraligen Rinne zweimal bei jeder Windung, und daher im Ganzen zehnmal begegnen muss. Die Bildung der Rinne im Zellkerne ist zweifellos auf sein ungleiches Wachstum zurückzuführen, wobei der rundliche Kern weniger

Fortsatz des Kerns immer schmaler und zu einem sich blau färbenden Faden reduziert wird, in welchem Chromatin und Wand nicht mehr zu unterscheiden sind." Einen solchen Vorgang konnte ich jedoch bei *Cycas* nicht beobachten und das sehr häufige Vorkommen eines wie bei Fig. 30 gestalteten Zellkernes führt uns eher zu der wahrscheinlichen Annahme, dass der Zellkernschnabel vom Centrosombande hier plötzlich losgerissen wird.

an den der Rinne entsprechenden Teilen als an den anderen auswächst. Das Dünnerwerden des Cytoplasmamantels ist wahrscheinlich hauptsächlich durch seinen Substanzverlust bewirkt, und die Ursache dieses Verlustes ist in diesem Zellkernwachstum zu suchen.

Fig. 36 *a*, *b* stellen ein fast gereiftes Spermatozoid im optischen Durchschnitte in zwei Ansichten dar. Wie bei dem wirklichen Schnitte, ist auch hier die Zusammensetzung aus dem Zellkerne und dem Cytoplasmamantel leicht zu erkennen¹⁾. Der letztere besteht aus fast vier spiraligen Windungen, welche voneinander durch die spiralige Rinne begrenzt sind und sich niemals auseinander trennen; wenn man von der Spitze ausgeht und von oben sieht, laufen die Windungen von Rechts nach Links, d. h. umgekehrt wie der Uhrzeiger. Dagegen beschreibt der Zellkern niemals die spiralige Windung, wie es bei den Kryptogamen der Fall ist.

Es ist mir noch nicht geglückt, die Spermatozoiden im lebenden Zustand zu beobachten, sodass ich die vollständig gereiften Spermatozoiden nur an den Schnitten untersuchen konnte. Soweit ich durch die Vergleichung dieser Schnitte mit denen in jüngeren Stadien studieren konnte, stimmt die Gestalt der reifen Spermatozoiden mit derselben der oben beschriebenen fast überein; nur sind die erstere schmaler und länger; auch ist ein

1) Bezüglich der Zusammensetzung der Spermatozoiden der Kryptogamen sind bekanntlich zwei entgegengesetzte Anschauungen vorhanden. Erst neuerdings brachten Belajeff's schöne Untersuchungen (Bau u. Entw. d. Spermatoz. d. Pflanzen.—Nebenkerne b. d. Spermatoz. Zellen u. Spermatoz. b. d. Farnkräutern.—Spermatoz. b. d. Schachtelhalmen.) Licht in diesem Thema, indem er durch höchst exakte, aber mühsame Methoden die Zusammensetzung des Spermatozoidenkörpers aus dem Zellkerne und dem Cytoplasma festgestellt hatte. Bei *Cycas*, ist die Zusammensetzung des Spermatozoidenkörpers aus diesen zwei Zellbestandteilen, wegen seiner ausserordentlichen Grösse, sehr leicht nachzuweisen, ja sogar ist es ohne grosse Mühe möglich, diese Zusammensetzung bei frischen Materialien zu erkennen.

Schwanz vorhanden, welcher weiter nichts ist als die Verlängerung des hinteren Endes des cytoplasmatischen Mantels (Fig. 39 bis, *sc*). Nach Hirase¹⁾, ist ein Schwanz bei den Spermatozoiden von *Ginkgo biloba* vorhanden; allein, nach Webber²⁾ ist ein solcher bei denen von *Zamia integrifolia* nicht gefunden. Der Schwanz ist dem Schwanzfaden der tierischen Spermatozoiden nicht homolog; er hat vielleicht kein morphologisch Entsprechendes im Reiche des Tierischen. Die Ciliën der pflanzlichen Spermatozoiden entsprechen, wie Belajeff mit Recht behauptet³⁾, dem Schwanzfaden der tierischen und daher fällt das Centrosomband der pflanzlichen Spermatozoiden mit dem Mittelstück der tierischen morphologisch zusammen.

Soweit ich an den Schnitten zu bestimmen vermochte, beträgt das reife Spermatozoid von *Cycas* 160 μ in der Länge und 70 μ in der Breite; der Schwanz ist 80 μ lang, sodass der Hauptkörper und der letztere gleich lang sind. Nach Webber⁴⁾, ist das Spermatozoid von *Zamia* 258–332 μ breit, sodass das Spermatozoid von *Cycas* bedeutend kleiner ist als das von *Zamia*.

Vergleicht man die oben durch mich beschriebene Entwicklungsgeschichte von *Cycas* mit der neuerdings von Belajeff

1) Nach Hirase (Fécond. et Embryog. du *Ginkgo biloba*, II), wird der Schwanz bei den Spermatozoiden von *Ginkgo* gerade im Augenblicke ihrer Hervorbrechung aus dem Pollenschlauch entwickelt. Ohne Zweifel geschieht es ebenso bei denen von *Cycas*, da ich niemals die mit einem Schwanz versehenen Spermatozoiden innerhalb des Pollenschlauches habe beobachten können.

2) Webber, Developmt. of Antheroz. of *Zamia*.

3) Belajeff, Ueb. d. Aehnlichk. einig. Erschein. in d. Spermatog. bei Thieren und Pflanzen.

4) Webber, a. a. O.

bei verschiedenen Pflanzengruppen — Characeen, Equisetaceen, Filicineen — festgestellt¹⁾, so ist eine nahe Uebereinstimmung unleugbar zu erkennen. Nach Hirase²⁾ stimmt auch die Spermatogenese von *Ginkgo biloba* mit derselben von *Cycas* wesentlich überein. Was neuerdings Webber bei *Zamia* beschrieben hat³⁾, weicht von dem, was ich oben erörtert habe, in einem wesentlichen Punkt ab. (Sehe weiter unten).

Die merkwürdigen Erscheinungen bei der Spermatogenese von *Cycas* sind: Verbindung des Zellkernes mit dem Centrosom, bandförmige Anordnung der Granula, Ausdehnung des Granulabandes, und Aussprossung der Cilien aus diesem enorm ausgedehnten Centrosom⁴⁾. Die Verbindung des Zellkernes mit dem Centrosomband ist aus den Figuren 30, 31, 32, leicht zu erkennen. Diese Verbindung scheint einen wichtigen Vorgang in der Spermatogenese auszumachen, weil, so lange als das Centrosom mit dem Zellkerne nicht in Communication kommt, weder die Ausdehnung des ersteren noch die Sprossung der Cilien beginnt. Indessen ist es nicht sicher zu bestimmen, ob dieser Communicationsprozess sich ausschliesslich an den einen oder den anderen der zwei Vorgänge oder gleichzeitig an die beiden gebunden ist. Klar ist es zwar, dass dieser Process sich auf die Aussprossung der Cilien bezieht, da wir schon in der botanischen Litteratur einige diesbezügliche Beispiele besitzen. Ob auch die Mitwirkung des Zellkernes für die Ausdehnung des Centrosoms unentbehrlich ist oder nicht, bleibt dagegen noch

1) Belajeff, a. a. O.

2) Hirase, a. a. O.

3) Webber, a. a. O.

4) Die Thatsache, dass auch bei den tierischen Spermatozoiden das Centrosom sich stark ausstreckt und die Cilien von demselben aussprossen, wurde neuerdings von Hermann festgestellt. (Beitr. z. Kenntn. d. Spermatog.)

eine offene Frage, wenn auch die erstere Annahme mir viel wahrscheinlicher zu sein scheint.

Die Beteiligung des Zellkernes an der Bildung der Cilien findet ein analoges Beispiel bei der Schwärmsporenbildung von *Oedogonium*. Strasburger spricht sich wie folgt aus¹⁾: “Die sich zur Schwärmsporenbildung anschickenden Zellen von *Oedogonium* füllen sich mit Inhalt ein. Ihr Saftraum schwindet, während ihr wandständiger Zellkern zugleich mittelständig wird. Hierauf verlässt der Zellkern diese centrale Lage und bewegt sich nach derjenigen Seite der Zelle hin, an welcher die Mundstelle der Schwärmspore gebildet werden soll. Er erreicht fast die Oberfläche des Zellkörpers, welche sich ihm ein wenig entgegengesetzt. Ich habe berechtigten Grund, jetzt anzunehmen, dass diese Einsenkung der Oberfläche nach der Centrosphäre gerichtet ist.....Unter demselben Einfluss der Centrosphären beginnt sich jetzt auch Kinoplasma an derselben anzusammeln. Diese Ansammlung fängt an der tiefsten Stelle der Einsenkung an und setzt sich an den Seiten derselben fort. Nachdem sie ein bestimmtes Maass erreicht hat, beginnt der Zellkern gegen das Innere der Zelle wieder zurückzuweichen. Die feinkörnige Substanz der Ansammlung wird von aussen nach innen homogener, und alsbald wachsen frei aus deren Rande zahlreiche feine Cilien hervor.....”

Die Communication des Zellkernes mit dem Centrosom findet auch bei einem andern Vorgang statt als die Spermatogenese. Als Beispiel dazu möchte ich hier Harper's Untersuchung über die Ascosporenbildung bei den Erysipheen und Pezizeen²⁾

1) Strasburger, Schwärmsporen etc., pag. 63.

2) Harper, a. a. O.

hervorheben. Bei diesem Process produziert der Zellkern der unreifen Spore zuerst einen Schnabel, welcher mit dem Centrosom in Verbindung kommt; die Radien, die sich in der Richtung des Schnabels fortsetzen, fangen an, von der Centrosphäre als Centrum nach dem Kern sich umzulegen; sie verschmelzen dann mit einander und bilden eine Grenzschicht um jede Spore. "Dass der Kern bei der Bildung der kinoplasmatischen Grenzschicht eine wichtige Rolle spielt, ist aus der eigenartigen Einrichtung des Schnabelfortsatzes zu schliessen, durch den der Kern und die Centrosphäre während des ganzen Processes mit einander innig verbunden bleiben. Nun durch die Annahme einer solchen beiderseitigen Beteiligung des Chromatins und des Centralkörperchens an der Strahlenbildung ist eine Erklärung dieser merkwürdigen Structur zu geben"¹⁾. Da die Grenzschicht, die Cilien, und die radialen Strahlen völlig in ihrer Natur übereinstimmen²⁾, so ist es kein Wunder, dass die Verbindung des Zellkernes mit dem Centrosom hier wie dort gleicherweise stattfindet.

In seiner Untersuchung über die Entwicklung der Spermatozoiden von *Zamia integrifolia* hat Webber solcher Verbindung zwischen dem Zellkerne und dem Centrosom (nach ihm sog. "Blepharoplast") gar nicht erwähnt³⁾. Fehlt denn eine solche Verbindung überhaupt bei *Zamia*? Ich war nicht im Stande, die Untersuchungsmaterialien von *Zamia* mir zu beschaffen, um Webber's Angaben nachzuprüfen und diese Frage zu entscheiden. Indessen ist es schon von vornherein höchst unwahrscheinlich, dass solch ein wichtiger Vorgang, welcher nicht nur

1) Harper, a. a. O., pag. 276.

2) Nach Strasburger sind alle diese Gebilde kinoplasmatisch.

3) Webber, a. a. O.

bei der Spermatogenese verschiedener weit entfernten Pflanzengruppen regelmässig wiederkehrt, sondern auch bei dem der Cilienbildung ähnlichen Vorgang der Sporenabgrenzung der Askomyceten stattfindet, bei der Spermatogenese der so nahe verwandten *Zamia* fehlen sollte und ich bin geneigt anzunehmen, dass Webber diese Verbindung bei *Zamia* wohl übersehen haben möchte. Die Fig. 1 in seiner zweiten Abhandlung stellt einen Querschnitt eines jungen Spermatozoids dar, wobei diese Verbindung auch bei *Cycas* nicht zu sehen ist. Wenn er einen Längsschnitt aus einem Spermatozoid in demselben Stadium gemacht haben würde, so wäre er sicher nicht fehl gegangen, sich vor der Existenz dieser Verbindung zu überzeugen.



IV. BEFRUCHTUNG¹⁾.

1896-97 publizierte ich eine vorläufige Mitteilung über die Spermatozoiden von *Cycas revoluta*²⁾.

1897 publizierte Webber zwei Mitteilungen, welche dem Verhalten der Spermatozoiden von *Zamia integrifolia* im lebenden Zustand und dem Befruchtungsvorgänge bei dieser Cycadee gewidmet ist³⁾.

Wir wenden zuerst unsere Aufmerksamkeit dem Eikerne zu. Bevor noch die Kanalzelle völlig zu Grunde geht, befindet sich der noch kleine Eikern am oberen Ende der Eizelle. Er zieht sich allmählich nach der Eimitte zurück; je mehr er sich derselben nähert, desto mehr nimmt er an Grösse zu, bis er im Centrum eine auffälliges Grösse erreicht. Er ist gewöhnlich vielmals länger als breit; nicht selten ist er sehr schmal, aber ausserordentlich lang (Fig. 42 a), sodass er sogar eine Länge von 370 μ erreichen kann! Die Veränderungen in der inneren Beschaffenheit des Eikernes geht Hand in Hand mit seiner Vergrösserung. Zunächst ist das Kerngerüst ganz homogen, dann wird mehr und mehr feinfädig und schliesslich grobperlschnurartig (vgl. z. B. Fig. 42 a).

Wie ich in meiner vorläufigen Mitteilung⁴⁾ schon konstatiert habe, finden wir stets zur Befruchtungszeit den zwischen dem Halsteil der Eizelle und dem zu einer papierdünnen Haut

1) Bei *Cycas*, ist es unmöglich, den Vorgang der Befruchtung im lebenden Stadium genau zu studieren. Die folgende Beschreibung ist auf eine Vergleichung der Präparate gegründet, welche aus den in verschiedenen Stadien der Befruchtung gesammelten Materialien hergestellt sind.

2) Ikeno, Vorläuf. Mit. über d. Spermatoz. v. *Cycas revoluta*.

3) Webber, a. a. O.

4) Ikeno, a. a. O.

gedehnten Nucellus, in der sog. "Endospermhöhle"¹⁾ aufgespeicherten Saft. Derselbe ist, wie dann schon erörtert, unentbehrlich für das Gelingen der Befruchtung, indem die aus dem Pollenschlauch hervorbrechenden Spermatozoiden, welche natürlich sich nur bei Anwesenheit von Wasser bewegen können, in diesem Saft mittelst Cilien schwimmen, um zur Eizelle zu gelangen. Neuerdings hat Webber die Vermutung ausgesprochen, dass bei *Zamia* dieser Saft aus dem Pollenschlauch herkommt²⁾, allein ich habe bei *Cycas* oft die Fälle angetroffen, in denen eine Menge Saft schon in der Endospermhöhle vorhanden ist, wenn auch alle Pollenschläuche noch ganz intakt sind, sodass wir zu der Annahme gezwungen werden, dass wenigstens ein Teil dieses Saftes—wahrscheinlich der grösste Teil—aus dem weiblichen Organe herkommt. Weiter ist es zweifellos aus Pfeffer's Untersuchungen³⁾, dass der analoge Saft bei Farnkräutern und Moosen etc. eine spezifische chemotaktische Substanz für die Spermatozoiden enthält, obwohl sie hier zu erkennen mir noch nicht gelungen ist.

Wenn die aus dem Pollenschlauch hervorbrechenden und rasch schwimmenden Spermatozoiden nach der Eizelle gelangen, stossen sie an dieselben anscheinend so heftig an, dass derjenige Teil der Eizelle, welcher von einem Spermatozoid getroffen wird, sich einsenkt, um ihm Platz zu machen (Fig. 39 *bis*, 40). Von dort an dringt nun das Spermatozoid in die Eizelle hinein; die Einsenkung wird aber vermöge der halbflüssigen Natur der Eizelle sofort mit dem Eindringen des Spermatozoids aufgehoben. Bei einer Eizelle scheint eine besonders bevorzugte Stelle für

1) Cavité endospermique (Warming, Recherches et remarques sur les Cycadées, pag. 3).

2) Webber, Develop. of Antheroz. of *Zamia*.

3) Pfeffer, Locomot. Richtungsbew. durch chem. Reize.

das Eindringen des Spermatozoids nicht zu bestehen: überall, wo es irgend an die Eizelle stösst, erfolgt sogleich sein Eindringen.

Wie oben erwähnt, besteht jedes Spermatozoid aus einem Zellkerne und einem ihn völlig umhüllenden Cytoplasmamantel. Das Spermatozoid dringt in die Eizelle als solches ein (vgl. Fig. 39 *bis*, welche ein gerade in die Eizelle eingedrungenes Spermatozoid darstellt); allein, sofort nach seinem Eindringen streift es sich von seinem Cytoplasmamantel ab (Fig. 35, 42 *a*), welcher sich schnell desorganisiert (vgl. Fig. 40, *cpm*), während gleichzeitig der Spermakern sich im nackten Zustand nach der Eizelle hinbewegt (Fig. 35, 36).

Es ist eine fast gewöhnliche Erscheinung, dass mehr als ein Spermatozoid zu einer Eizelle gelangen; von diesen Spermatozoiden, kann, in normalen Fällen, nur einer ins Eisinnere eindringen, und alle andere verbleiben an der Oberfläche des Eies, um dort allmählich zu zerfallen (Fig. 41, *spm'*). Ich habe jedoch einigemal beobachtet, dass auch zwei Spermatozoiden innerhalb des Eies gelangt sind. Ob beide Spermakerne mit einem Eikerne sich zugleich verbinden können, wie von Strasburger bei einigen Angiospermen beobachtet wurde¹⁾, oder nicht, bleibt noch festzustellen. Innerhalb der Eizelle von *Pinus sylvestris* beobachtete auch Dixon zwei Spermakerne, von welcher nach ihm, nur einer mit dem Eikerne kopulieren kann²⁾.

In der Eimitte sieht man den Eikern sich an seiner Spitze leicht einzubiegen, um dort eine kraterförmige Vertiefung auszubilden (Fig. 43 *a-b, h*). Zugleich beginnt sich die dichte

1) Strasburger, Befr. u. Zellt., Taf. IV, Fig. 130.—Neue Unters. ueb. d. Befr.—Vorg. b. d. Phanerog., pag. 64.

2) Dixon, a. a. O.

feinkörnige Substanz an demjenigen Teil des Kernes anzusammeln, welcher den Boden dieser Vertiefung überzieht, um dort eine dünne Schicht auszubilden¹⁾. Dieser eigentümliche Process findet gewöhnlich nach dem Eindringen der Spermatozoiden in die Eizelle statt, nicht selten aber auch, ehe sie an der Eizelle gelangt sind. Diese Vertiefung wird für die Aufnahme des eindringenden Spermakernes bestimmt und mag als die Empfängnisshöhle genannt werden.

Die Verschmelzung des Spermakernes mit dem Eikerne geschieht im Centrum der Eizelle gerade an der oben erwähnten Empfängnisshöhle des Kernes (Fig. 37, 43). Die relative Lage der beiden Kerne zur Zeit der Kopulation ist stets bestimmt, insofern als der Spermakern immer oberhalb des Eikernes liegt. Der Sperma- und Eikern sind leicht unterscheidbar, nicht nur wegen ihrer relativen Lage, sondern wegen des Unterschiedes in Grösse und Beschaffenheit. Der erstere ist weit kleiner als der letztere und ausserdem ist das Kerngerüst der ersteren dicht feinkörnig, während das der letzteren grobkörnig ist. Das weitere Verhalten des Spermakernes ist höchst eigentümlich. Zuerst wächst sein basaler, in der Empfängnisshöhle eingesenkter Teil zu einer wurzelartigen Verlängerung aus, welche sich bald in einige kurze Zweige spaltet (Fig. 38, 39, 44, 45); zugleich übt er anscheinend einen mehr oder minder grossen Druck auf den Eikern aus und strebt innerhalb des letzteren sich einzusenken. Die wurzelartige Verlängerung scheint dabei keine andere Bedeutung zu haben, als sich mit ihrer länglich-schmalen Gestalt in den Eikern einzubohren und damit diesen Einsen-

1) Welche Rolle diese Substanzschicht bei der Befruchtung zu spielen hat, ist noch nicht näher ermittelt worden.

kungsvorgang zu erleichtern. Nun dringt der Spermakern immer tiefer in den Eikern hinein (Fig. 45), bis schliesslich sein ganzer Körper innerhalb des letzteren hineindringt und von demselben völlig umhüllt wird; dann erst verliert der Spermakern seine Membran und wird dort allmählich aufgelöst (Fig. 46 *a, b*). Fig. 47 *a* und *b* stellen einen solchen Spermakern in zwei Vergrößerungen dar, welcher schon fast gänzlich aufgelöst worden ist (*n*). Die massenhafte Ansammlung stark färbender Substanzen (*ms*), welche man um diese Reste des aufgelösten Kernes beobachtet, ist die von letzterem ausgehenden männlichen Substanzen.

Innerhalb des Eikernes zerreisst der Spermakern gewöhnlich zu zwei oder mehreren Teilen, von denen jeder dort selbstständig von einander aufgelöst wird. Fig. 48 stellt zwei solche Teile dar, welche schon fast gänzlich aufgelöst sind (*x, z*). In Fig. 46 *b* sehen wir neben der Hauptmasse des Spermakernes, welcher schon membranlos geworden ist, zwei solche aus ihm gerissenen Teile; einer derselben (*n'*) weist noch eine anscheinend intakte Membran auf, während bei dem anderen (*n''*), sie schon an vielen Stellen unterbrochen ist. Fig. 49 stellt einen Spermakern dar, welcher in Begriff steht, durch Einschnürung in zwei Massen zu zerfallen.

Schliesslich wird ein Keimkern gebildet, welcher sich dem äusseren Aussehen nach keineswegs von dem noch nicht befruchteten Eikerne unterscheiden lässt.

Der oben beschriebene Kopulationsmodus weicht nicht unbedeutend von dem bisher sowohl bei den Phanerogamen, wie *Lilium*¹⁾, *Iris*²⁾ etc. und den Kryptogamen, wie *Vaucheria*³⁾

1) Guignard, Nouvelles études sur la Fécondation.

2) Dodel, Beitr. z. Kenntn. d. Befr.-Ers. b. *Iris sibirica*.

3) Oltmanns, Ueb. d. Entw. d. Sexualorg. b. *Vaucheria*.

etc. als auch bei den Tieren, wie *Ascaris*¹⁾, *Toxopneustes*²⁾ etc. bekannten ab. In der botanischen Litteratur finden wir, soweit ich weiss, kein einziges dazu analoges Beispiel; es mag noch erwähnt werden, dass diese Kopulation vielleicht einen besonderen, bisher unbekanntem Typus des pflanzlichen Befruchtungsmodus darstellt³⁾.

Ehe ich weiter gehe, möchte ich hier unsere Aufmerksamkeit einer sehr merkwürdigen Erscheinung bei dieser Kopulation zuwenden. Von dem Stadium an, welches in Fig. 38 oder 44 dargestellt ist, durch ziemlich lange Zeit nach dem Abschluss der Kopulation, beobachtet man stets neben dem Spermakerne eine mehr oder minder massenhafte Ansammlung der durch Tinktionsmitteln schmutzig und intensiv färbbaren Substanzmasse (*tr*). Es ist fast zweifellos, dass diese Masse durch den Spermakern ausgeschieden ist; sie geht wahrscheinlich im flüssigen Zustand durch die Kernmembran auf dem Wege der Filtration oder Diösmose, insofern ich in der Kernmembran selbst mit den besten mir zur Verfügung stehenden Systemen (Zeiss, Apochromat, 2 Millim., Ap. 1,30) keine offene Poren wahrzunehmen vermochte. Wenn man alle oben beschriebenen Stadien der Kopulation verfolgt, wird die allmähliche Abnahme der Grösse und Dichtigkeit des Spermakernes in die Augen fallen (Fig. 43, 44, 45). Nun ist diese Abnahme zweifellos auf den Substanzverlust zurückzuführen, welcher durch diese Ausscheidung

1) Boveri, Befr. u. Teil. d. Eies. v. *Ascaris megaloccephala*.

2) Wilson, Archoplasm, Centrosome, und Chromatin in the Sea-Urchin Egg.

3) Die Kopulation der Ei- und Spermakerne bei *Cycas* ist, wegen ihrer ausserordentlichen Grösse, besonders zu Demonstrationsobjekte bei Vorlesungen geeignet. Wenn man z. B. ein Dauerpräparat des in Fig. 37 dargestellten Stadiums bei durchfallendem Lichte beobachtet, so wird man diese Kopulation, wenn auch nicht ganz deutlich, mit unbewaffneten Augen wahrnehmen.

hervorgerufen worden ist, insofern bei in Fig. 44, 45 dargestellten Stadien die Kernmembran noch ganz intakt sind und daher keine männliche Substanz in den Eikern gelangt ist. Bei dem Spermakerne, welcher in Fig. 44 dargestellt ist, sieht man diese Ausscheidungsprodukte vielleicht gerade im Akte des Ausfliessens aus dem Kerne begriffen. Bezüglich dieser in Rede stehenden Substanzen, bin ich noch nicht im Stande, über ihre Natur etwas Sicheres auszusagen. Jedoch dürfte eine Hypothese über die Entstehung dieser Masse, zu welcher ich gelangt bin, nicht ganz wertlos sein. Diese vom Spermakerne ausgeschiedene Substanz stellt wahrscheinlich denjenigen Bestandteil des Kerninhalts dar, welcher an der Vererbung nicht direkt beteiligt ist und welcher z. B. etwas dem Trophoplasma oder Ernährungsplasma Nägeli's¹⁾ entsprechen mag. Es ist bekannt, dass nicht der ganze Körper eines Sexualkernes ausschliesslich aus dem Ueberträger der erblichen Eigenschaften, z. B. Nägeli's Idioplasma oder Weismann's Keimplasma²⁾ besteht, sondern ausser diesem eine Menge der an der Vererbung nicht teilnehmenden trophoplasmatischen Bestandteile enthält. Bei dem in Rede stehenden Vorgang werden wahrscheinlich die letztere—wenigstens ein Teil der in einem Spermakern enthaltenen—vom Spermakerne nach aussen ausgeworfen. Warum hier ein solcher Verwerfungsprocess stattfindet, mag der eigentümliche Kopulationsmodus zum gewissen Grade erklären. Bei der Befruchtung von *Lilium*³⁾ etc. kommen der Sperma- und Eikern mit einander in Berührung, dann verschwindet die Kernmembran an der Berührungsfläche, worauf die Kernhöhle der

1) Nägeli, Abstammungslehre.

2) Weismann, Das Keimplasma.

3) Guignard, a. a. O.

beiden Kerne mit einander kommunizieren; der gebildete Keimkern ist deshalb viel grösser als der ursprünglichen Ei- resp. Spermakern. Bei der Befruchtung von *Cycas* verhält es sich ganz anders: der Spermakern dringt völlig in den Eikern ein, sodass der letztere durch seine Kopulation mit dem Spermakern keinen nennenswerten Zuwachs seiner Grösse erfährt. Das Verbleiben des Eikernes in der ursprünglichen Grösse sogar nach der Verschmelzung mit dem Spermakern wird durch den Ausscheidungsprocess der trophoplasmatischen Stoffe und die fast alleinige Ueberführung der Erbmasse zum Eikerne ermöglicht.

Bei der Befruchtung der Tieren, wie *Toxopneustes*¹⁾ und andere, sind die Strahlensonnen zu gewisser Zeit um die beiden Kerne sehr deutlich wahrzunehmen. Bei *Cycas* können wir keine solche Sonnen beobachten, in Uebereinstimmung mit dem von Farmer und Williams²⁾ und Strasburger³⁾ untersuchten Befruchtungsvorgang von *Fucus*. Hinzuzufügen ist noch, dass ich bei der Befruchtung von *Cycas* nicht einmal das Vorhandensein der Centrosomen habe nachweisen können.

Dass die Entdeckung der Spermatozoiden bei den Phanerogamen eine bis jetzt zwischen denselben und den höheren Kryptogamen anscheinend bestandene scharfe Grenze niederwirft und konsequenterweise die Richtigkeit der seit Hofmeister's bahnbrechenden Untersuchungen⁴⁾ allgemein angenommene Lehre der nahen Verwandtschaft dieser zwei grossen Pflanzengruppen immer mehr hervortreten lässt, ist ohne Weiteres klar,

1) Wilson, a. a. O.

2) Farmer u. Williams, Fertilis. a. Segm. of the Spore in *Fucus*.

3) Strasburger, Kernt. u. Befr. b. *Fucus*.

4) Hofmeister, Vergl. Unters.

sodass wir es wohl nicht nötig haben, auf die Diskussion dieser Frage an diese Stelle näher einzugehen.

Schon vor vielen Decennien, haben ausgezeichnete Forscher, wie Hofmeister und Pringsheim, die Vermutung über das Vorkommen der Spermatozoiden bei den Phanerogamen ausgesprochen. Wir lesen in Hofmeister's Vergleichende Untersuchungen¹⁾, "bei den Coniferen durch einen Pollenschlauch (in dessen Innern vielleicht *Samenfäden* sich bilden)....." Pringsheim hatte ähnliche Meinung geäußert. Schon in 1855²⁾ sagte er, "Sollte die in den Embryosack eindringende Spitze des Pollenschlauches nicht die Spermatozoiden beherbergen, welche gemeinschaftlich mit dem Inhalte des Embryosackes zur ersten nach der Befruchtung sich bildenden Zelle des Embryo würden?" In 1882³⁾ sagte er, "In Verbindung mit allen schon berührten Analogon, welche die Saprolegnien darbieten und mit Hinweis auf meine Beobachtungen *Achlya*, erscheint es mir daher nahezu gewiss, dass auch hier bei dem Uebertritt des Protoplasma aus den Pollenschläuchen Spermamöben oder ähnliche Samenkörper, die sich wie Plasmodien verhalten, die active Rolle übernehmen." Durch die Entdeckung der Spermatozoiden bei *Ginkgo* und *Cycas* ist es, wie ich glaube, bewiesen worden, dass die von Hofmeister und Pringsheim ausgesprochene Vermutung, wenn auch nicht völlig, der Thatsächlichkeit entspricht.

1) a. a. O., pag. 140.

2) Pringsheim, Ueb. d. Befr. u. Keim. d. Algen. Gesam. Abh. I, pag. 17.

3) " , Neue Beob. üb. d. Befr.-Act d. Gatt. *Achlya* u. *Saprolegina*. Ebenda, II, pag. 201.

V. FOLGE DER BEFRUCHTUNG.

In 1884 wurde die Keimentwicklung von *Cycas circinalis* von Treub geschildert¹⁾. Durch die Untersuchungen über *Cycas revoluta* kann ich im Ganzen Treub's Arbeit bestätigen. Da sie jedoch noch einige Lücken zu bieten scheint, möge mir erlaubt sein, hier dieselbe durch meine Beobachtungen möglichst auszufüllen.

Die hauptsächlichsten Punkte seiner Untersuchungen mögen hier aus seiner Abhandlung kurz wiedergegeben werden²⁾: "Si l'on traite des œufs nouvellement fécondés par des matières colorantes, on réussit à en trouver dans le protoplasma desquels sont distribués une foule de petits noyaux.....D'après nos connaissances actuelles, on peut dire sans hésiter que tous ces noyaux tirent leur origine du noyau fécondé de l'oosphère..... Peu de temps après, tous ces noyaux vont se ranger contre la paroi, ils forment ensemble une couche dont les éléments sont séparés par des intervalles sensiblement égaux. En même temps, le protoplasma quitte le centre de l'oosphère où il se forme une grande lacune. Bientôt il se forme une différenciation en celles autour des noyaux, et le proembryon, car c'est ainsi qu'il faut nommer l'ensemble de ces cellules, affecte la forme d'un sac allongé.....La paroi de ce sac se compose d'une ou de deux rangées de cellules; seulement, dans le fond du sac les cellules sont plus nombreuses et forment un amas qui se distingue de bonne heure."

Wie in dem vorigen Abschnitt erwähnt, ist die erste Folge der Verschmelzung der zwei Sexualkerne die Bildung eines

1) Treub, Recherches sur les Cycadées, 3.

2) a. a. O., pag. 4.

Keimkerns. Er ist gewöhnlich kugelig; seine innere Beschaffenheit ist derjenigen des weiblichen Kernes kurz vor der Befruchtung ganz ähnlich, indem das Kerngerüst aus einer Anzahl grob-perlschnurartiger Fäden besteht.

Der Keimkern beginnt sich nun zu teilen. Im Centrum des Eies bildet er eine Kernspindel, von welcher die Längsachse zu derjenigen des Archegoniums nicht parallel läuft, sondern gegen dieselbe unter einem gewissen Winkel geneigt ist (Fig. 50). Diese letztere Thatsache scheint nicht bloss zufällig sein zu können, da nicht nur dies stets bei *Cycas* geschieht, sondern auch bei *Ginkgo* wiederkehrt¹⁾; warum ist noch ganz dunkel. Die von dem Kerne gebildete Spindel ist ziemlich breit und besteht aus einer grossen Anzahl von nicht zu zwei Polen konvergierenden Fasern. Die Chromosomen sind schwer zu zählen. Weder die Centrosomen noch die radialen Strahlen sind sichtbar. Um die Spindel ist eine Unzahl der mehr oder weniger grossen, gewöhnlich vakuoligen Granulationen zerstreut, welche durch Säurefuchsin rot gefärbt werden; wahrscheinlich stellen diese die von Reagentien koagulierten Nahrungstoffmasse dar.

Als bald folgt eine freie Vermehrung der Zellkerne durch wiederholte Zweiteilung, sodass eine grosse Anzahl freier Zellkerne im Eicytoplasma entsteht. Eine Kernspindel bei diesen Kernteilungen wird in Fig. 51 dargestellt. Wie man sieht, ist sie weit schmaler als die Keimkernspindel; die Fasern laufen nach zwei Polen, allein ohne dort sich zu vereinigen. Die Centrosomen sind ebensowenig sichtbar wie zuvor. Aus jedem Pol strahlen wenige Radien aus; dort erkennen wir eine Anzahl von winzig kleinen Körnchen, aber keine Körperchen, welche

1) Hirase, Fécond. et Embryog. du *Ginkgo biloba*.

als Centrosomen gedeutet werden könnten. Es ist noch hinzuzufügen, dass ich bei diesen Kernteilungen nur einmal die mehrpolige Kernspindel getroffen habe (Fig. 52); ob sie die Anlage der zweipoligen Spindel darstellt, wie es von Mottier¹⁾, Osterhout²⁾ etc. bei der Kernteilung der Sporenmutterzellen einiger Pflanzen beobachtet wurde oder nicht, bleibt noch näher zu untersuchen.

Nachdem eine hinreichende Anzahl freier Zellkerne im Ei gebildet ist, beginnt die Beschaffenheit des Cytoplasmas eine Veränderung zu erfahren. Eine Unzahl von Vakuolen tritt auf und es scheint, als ob das Cytoplasma aus ziemlich groben Maschenwerke bestände. Im Laufe der Entwicklung vergrössern sich diese Vakuolen oder sie verschmelzen sich zum Teil mit einander. Schliesslich desorganisiert sich fast der ganze centrale Teil des Cytoplasmas; bei diesem Vorgang scheinen die dort befindliche Zellkerne dasselbe Schicksal zu erfahren: sie zeigen eine abnormale Gestalt und nehmen bedeutend an ihren Färbungsvermögen ab oder sie werden bläschenförmig (Fig. 53). Nach der Desorganisation des centralen Teiles bildet das Cytoplasma einen dünnen Wandbeleg innerhalb des Archegoniums und ist in ziemlich grossen Massen nur im unteren Teil desselben angesammelt (Fig. 54). In diesem Wandbeleg ordnen sich die Zellkerne zu einer einfachen Schicht; sie sind, entsprechend der schmalen Gestalt des Wandbeleges, ebenfalls schmal und langgestreckt, und besitzen ein oder mehrere vakuoligen, relativ grossen Nukleolen. Auf dem Grunde des Archegoniums finden wir eine Anzahl von Zellkernen zerstreut, welche von verschie-

1) Mottier, a. a. O.

2) Osterhout, Die Entsteh. d. karyok. Spindel bei *Equisetum*.

dener Gestalt und in Beschaffenheit denen im Wandbelege sehr ähnlich sind.

Alsdann beginnen alle diese Zellkerne sich wieder karyokinetisch zu teilen (Fig. 55) und infolgedessen wird sowohl im Wandbelege als auch im Grund eine grosse Anzahl freier Zellkerne geschaffen. Nachdem eine hinreichende Anzahl davon gebildet ist, erfolgt die Membranbildung zwischen denselben. Dabei ist zu bemerken, dass sogar nachdem die Zellmembran gebildet werden, viele Zellkerne noch sich teilen (Fig. 61 a).

Um diese Zeit erscheint eine massenhafte Ansammlung von groben Körnchen in den Zellen, welche die Beobachtung derselben sehr erschwert (Fig. 61 b). Sie werden durch Fleming's Lösung stark geschwärzt und unlöslich gemacht, und durch nachherige successive Wirkung von H_2O_2 und Aether fast gänzlich aufgelöst. Vielleicht sind sie mit den Fettkörpern identisch, welche von Strasburger¹⁾ und Swingle²⁾ bei den Sphacelariaceen entdeckt worden und als Nahrungsmittel der Zellen betrachtet sind.

Nachdem der grösste Teil des Eicytoplasmas verbraucht worden ist, finden wir häufig kleine Cytoplasmaballen hie und da in der Höhle des Archegoniums zerstreut (Fig. 55). Es ist ohne Weiteres aus meinen Abbildungen klar, dass diese Ballen nichts anderes sind als die Reste des desorganisierten Cytoplasma, von welchen auch bald die Desorganisation zu erwarten ist. Auch finden wir in dem oberen Teil der Archegoniumhöhle rundliche Massen, welche sich durch Osmiumsäure schmutzig schwarz

1) Strasburger, Zellb. u. Zellt. 3. Auf., pag. 196.

2) Swingle, Z. Kenntn. d. Kern- u. Zellt. b. d. Sphacelariaceen.

färben (Fig. 56); sie stellen höchst wahrscheinlich Exkretionsprodukte dar, da sie stets unverändert bleiben, wo kein Wachstum mehr stattfindet. Treub beschreibt ein bis vier kugeligen Körper, sog. "boules", welche äusserlich den Zellkernen sehr ähnlich sind. "Je ne connais", sagt er, "ni la nature ni le rôle de ces boules....."). Seiner Abbildung nach sind diese "boules" im Eicytoplasma ganz eingebettet und sind daher möglicherweise von den oben erwähnten Massen verschieden. Im Ei habe ich öfters ebenfalls solche Ballen gefunden, welche Treub's "boules" zu entsprechen scheinen (Fig. 57); sie sind gewöhnlich vakuolig, färben sich rot mit Säurefuchsin und sind wahrscheinlich als die durch Reagentien koagulierte Nährstoffe zu betrachten; allein ich konnte sie nur vor der Befruchtung, nicht nach derselben, beobachten.

Bezüglich der weiteren Entwicklung der Archegonien kann ich nur Treub's Untersuchungen bestätigen und habe dazu nichts von Bedeutung hinzuzufügen.

Zur Zeit, wo eine Anzahl freier Zellkerne im Ei gebildet wird, beginnen einige derselben im oberen Teil des Archegoniums und nahe den Halszellen sich amitotisch zu teilen. Der Modus der Teilung ist höchst eigentümlich und die in diesem Process begriffenen Kerne zeigen in der That eine sehr merkwürdige Gestalt. Einige derselben sind in Fig. 58 und 59 dargestellt. Bei den in Fig. 58 *a* und *e* dargestellten Kernen produzieren sie zuerst eine schmale Verlängerung, welche dann sich von dem Mutterkerne trennt und ein selbstständiger Kern wird. In Fig. *d* verlängert sich der ganze Körper des Kernes, welche dann wahrscheinlich in zwei Teile zerfällt. Häufig

1) Treub, a. a. O., Pl. I, Fig. 9.

werden zugleich drei Kerne aus einem geschaffen. In Fig. 58 und 59 tritt der mit x bezeichnete Teil aus dem Mutterkerne heraus, wie bei der Sprossung der Hefe; der Teil x stellt wahrscheinlich den nun gerade von dem Mutterkerne getrennten Kern dar. In Fig. 59 sieht man um einen grossen Kern eine Anzahl von kleinen, welche aus dem grossen hervorgegangen sind, vielleicht durch Sprossung, wie bei der von Dixon¹⁾ beobachteten direkten Kernteilung in dem oberen Teil eines unbefruchteten Embryosäckes von *Lilium longiflorum*. Ich bin noch in Zweifel, ob die oben beschriebene Kernteilung als ein im Laufe der Entwicklung des Embryos normal vor sich gehender Vorgang oder ob sie als ein abnormaler gedeutet werden soll; allein sie kommen zu häufig, um als eine abnormale oder pathologische Erscheinung aufgefasst zu werden.

Sehr selten ist die amitotische Kernteilung im Archegonium nicht allein auf den oberen Teil desselben beschränkt; sie erstreckt sich auch auf die tiefer gelegenen Schichten. Dabei gehen ebenfalls zwei oder drei Kerne aus einem Mutterkerne hervor, allein die Teilungsmodi der Kerne sind von den oben beschriebenen etwas verschieden (Fig. 60). Dies ist höchst wahrscheinlich als ein abnormaler Vorgang zu deuten, wenn gleich ich auch das Schicksal dieser Kerne noch nicht festzustellen vermag.

1) Dixon, On the Chromosomes of *Lilium longiflorum*.

UEBERSICHT DER RESULTATE.

1. Alle Vorgänge der Endospermibildung bis zur Ausfüllung des Embryosackes stimmen im Ganzen mit den bei den anderen Gymnospermen beobachteten überein.

2. Bei der Entwicklung der Archegonien können wir drei Perioden unterscheiden:

a. Während der ersten oder Keimperiode kommen die Archegoniumanlagen zum Vorschein und aus denselben werden die Archegonien gebildet. Der Bildungsmodus stimmt im Ganzen mit dem bei den Coniferen überein;

b. Während der zweiten oder Wachstumsperiode nimmt das Archegonium allmählich an Grösse und Masse zu; das Material für das Wachstum wird von einem halbflüssigen Proteinstoff geliefert, welcher innerhalb des Zellkernes sowohl der Centralzelle als auch der Wandungszellen fortwährend gebildet wird. Der im Zellkerne der Wandungszellen gebildete Stoff wandert nach der Centralzelle auf den Plasmabrücken zwischen den beiden Gebilden;

c. Während der dritten oder Reifungsperiode wird die Centralzelle zur Befruchtung befähigt. Dies wird durch die Kanalzellbildung ermöglicht, welche ganz kurz vor der Befruchtung erfolgt und eine untere Eizelle und eine obere schliesslich desorganisierende Kanalzelle giebt.

3. Das Pollenkorn besteht aus zwei kleinen Prothalliumzellen und einer grossen Embryonalzelle.

4. Kurz nach der Bestäubung produziert der Pollen einen Schlauch; sein wachsendes Ende dringt in das Nucellargewebe ein und der Embryonalzellkern wandert nach diesem Ende aus, während die zwei Prothalliumzellen im früheren Orte bleiben.

5. Der Kern der inneren Prothalliumzelle zerfällt zu einem Körper- und einem Stielzellkern, worauf der letztere alsbald durch den stärker wachsenden Körperzellkern aus der Mutterzelle verdrängt wird.

6. Im nächsten Stadium erscheinen in der Körperzelle zwei Centrosomen, welche zuletzt sich um den Zellkern drehen und sich in eine zu der Längsachse des Schlauches senkrechten Richtung legen. Die Centrosomen, vom Moment ihres Erscheinens an, wachsen immer mehr aus, bis sie eine auffallende Grösse von 10–15 μ erlangen.

7. Der Embryonalzellkern bewegt sich allmählich nach der Körperzelle, sodass kurz vor der Spermatozoidenbildung sowohl die äussere Prothalliumzelle als auch die Körperzelle, ferner der Embryonalzellkern und der Stielzellkern an dem mit der Exine abschliessenden Ende des Pollenschlauches zusammenkommen.

8. Kurz vor der Befruchtung teilt sich der Kern der Körperzelle, welche nun als spermatogene Zelle zu bezeichnen ist, in zwei Tochterkerne. Ein schwach färbbarer Cytoplasmastreif markiert Anfangs die Grenze der zwei Tochterzellen oder Spermatiden, allein es bilden sich zuletzt daraus zwei halbkugelige selbstständige Spermatiden.

9. Das Centrosom wandelt sich zu einem Häufchen der Granula um, welche dann zu einem schmalen Bande anordnen.

10. Der Zellkern erzeugt einen schnabelförmigen Fortsatz, mittelst dessen er in innige Verbindung mit diesem Band kommt.

11. Das Band dehnt sich dann unter der Oberfläche der Spermatide und steigt fünfmal nach rechts spiralig gewunden auf.

12. Unter der Mitwirkung des Zellkernes sprossen die Cilien aus diesem Bande, welche anfänglich völlig im Cytoplasma liegen, aber alsbald durch dasselbe hindurchgeht, um nach der äusseren Fläche der Spermatide zu gelangen. Das Band dient als Befestigungsstelle der Cilien.

13. Nach einiger Zeit verschwindet die Verbindung zwischen dem Zellkerne und dem Centrosombande.

14. Das gereifte Spermatozoid besteht aus einem Zellkerne und einem ihn völlig umhüllenden Cytoplasmamantel. Der letztere besteht aus fast vier schneckenförmig-spiraligen Windungen, welche, von oben gesehen und von der Spitze ausgehend, von Rechts nach Links verlaufen. Diese Windungen trennen sich nie auseinander und jede wird durch eine spiralige Rinne begrenzt.

15. Bei einem Spermatozoid in gleicher Entwicklungsstufe zeigt sowohl der Zellkern als der Cytoplasmamantel eine ziemlich tiefe, dem Centrosomband parallel verlaufende und daher spiralige Rinne. Die gelappte Gestalt des Zellkernes und Mantels im Durchschnitt solcher Spermatozoiden ist auf diese Thatsache zurückzuführen.

16. Das vollständig gereifte Spermatozoid besitzt einen Schwanz, welcher aus Cytoplasma besteht.

17. Die Befruchtung geschieht durch das Eindringen eines Spermatozoids in eine Eizelle.

18. Kurz vor dem Eindringen der Spermatozoiden in die Eizelle, oder bald nachher, produziert der Eikern eine kraterförmige Vertiefung, Empfängnisshöhle, an seiner Spitze.

19. Sofort nach seinem Eindringen in die Eizelle entledigt sich das Spermatozoid seines Cytoplasmamantels, welcher sich bald innerhalb der Eizelle desorganisiert, während gleichzeitig der Spermakern nach dem Eikerne hinbewegt.

20. Der Spermakern vereinigt mit dem Eikerne an der Empfängnisshöhle und dringt in den Eikern immer tiefer hinein, um dort aufgelöst zu werden. Diese Kopulation stellt vielleicht einen besonderen, bisher unbekanntem Typus des pflanzlichen Befruchtungsmodus dar.

21. Der Keimkern entwickelt sich zu einer in Bezug auf die Archegoniumachse schief gestellten Kernspindel.

22. Dann folgt eine freie Vermehrung der Zellkerne durch wiederholte Zweiteilung und in dieser Weise entsteht eine Anzahl freier Zellkerne.

23. Eine Unzahl von Vakuolen kommt dann in der Eizelle zum Vorschein. Der ganze centrale Teil des Eicytoplasmas desorganisiert sich, sodass schliesslich das Cytoplasma nur bis zu einem dünnen Wandbeleg und zu einer mehr oder weniger grossen Masse im Grunde des Archegoniums reduziert wird.

24. Die Zellkerne im Wandbeleg und im Grunde des Archegoniums teilen sich wieder karyokinetisch. Nachdem eine hinreichende Anzahl freier Zellkerne gebildet ist, erfolgt die Zellmembranbildung zwischen denselben.

25. Die verschiedenen oben beschriebenen Vorgänge erfolgen in Japan annähernd in folgenden Jahreszeiten:

Juni—Juli. Die Bestäubung geht vor sich.

Juli. Der Pollen produziert einen Schlauch. Der letztere wächst aus und dringt in das Nucellargewebe hinein.—Die Archegoniamanlagen kommen zum Vorschein; die Archegonien werden gebildet und beginnen auszuwachsen.

August. Der Kern der inneren Prothalliumzelle zerfällt in einen Körper—und einen Stielzellkerne. Die Centrosomen erscheinen alsbald neben dem Körperzellkerne; dann verändern sie ihre Lage.—Das Archegonium setzt sein Wachstum fort.

September. Der Embryonalzellkern bewegt sich gegen die Körperzelle hin.—Die Archegonien wachsen immer mehr aus.

September-Oktober. Die Spermatozoiden werden im Pollenschlauch gebildet.—Die Kanalzellbildung findet statt. Die Befruchtung wird vollgezogen.

Oktober. Die partielle Desorganisation des Cytoplasmas in der Eizelle geht vor sich.

November. Der Embryo und der Embryoträger werden gebildet.

26. Bezüglich der Uebereinstimmung der Cycadeen mit *Ginkgo biloba* giebt Warming¹⁾ die folgenden Charaktere an:

- a. die Zahl der Halszellen (zwei);
- b. die Bildung einer Pollenkammer;
- c. die Aehnlichkeit des Samens mit einer Steinfrucht;
- d. die Embryobildung, welche nach der Trennung des Samens aus der Mutterpflanze erfolgt²⁾;
- e. die so häufige Vereinigung der Kotyledonen;
- f. die hypogaenen Kotyledonen;
- g. der Mangel eines Mittelnerven der Blätter;
- h. die dichotome Verzweigung der lateralen Nervatur ohne Anastomosen;
- i. die grosse Uebereinstimmung der Cycadeenfiedern mit den Blättern der fossilen Repräsentanten von *Ginkgo* (*Bariera*, *Czekenowskia* etc.)

1) Warming, Recherches et remarques etc., pag. 8.

2) Viele europäische Botaniker haben behauptet (z. B. Strasburger, Bot. Pract., 3. Aufl., pag. 524; Engler, Nat. Pflanzenfam., Teil V. pag. 20), dass bei *Ginkgo biloba* die Befruchtung erst erfolgt, wenn die Frucht vom Baume abgeworfen ist; allein Hirase hat vor einigen Jahren bewiesen, dass in Japan die Befruchtung stattfindet, wenn noch die Frucht am Baume sich befindet (Hirase, Befruchtungsperiode von *Ginkgo biloba*). Auch bei *Cycas* erfolgt wie bei *Ginkgo* die Befruchtung in der noch am Baume befindlichen Frucht.

Dazu kann ich jetzt die folgenden hinzufügen:

- k. das eigentümliche Verhalten des Pollenschlauches;
- l. die Bildung der Spermatozoiden im Pollenschlauch;
- m. die abnormale Bildung der Samenanlagen an den Blättern von *Ginkgo biloba*, welche an die Bildung derselben auf den Fruchtblättern von *Cycas* erinnert¹⁾.

1) Fujii, Different Views hit. propos. regard. the Morph. of Flow. of *Ginkgo biloba*.



LITTERATURVERZEICHNISS.

Belajeff, Wl.: Zur Lehre von dem Pollenschlauche der Gymnospermen. (Ber. d. Deuts. Bot. Ges., IX, 1891).

———: Ib. (Zweite Mitteilung) (Ebenda, IX, 1893).

———: Ueber Bau und Entwicklung der Spermatozoiden der Pflanzen. (Flora, LXXIX, 1894).

———: Ueber den Nebenkern bei den spermatogenen Zellen und die Spermatogenese bei den Farnkräutern. (Ber. d. Deuts. Bot. Ges., XV, 1897).

———: Ueber die Spermatogenese bei den Schachtelhalmen (Ebenda).

———: Ueber die Aehnlichkeit einiger Erscheinungen in der Spermatogenese bei Tieren und Pflanzen. (Ebenda).

Boveri, Th.: Die Befruchtung und Teilung des Eies von *Ascaris megaloccephala*. (Zellen-Studien, 2, 1888).

Dixon, H. H.: Fertilisation of *Pinus sylvestris* (Ann. of Bot. VIII, 1894).

———: On the Chromosomes of *Lilium longiflorum*. (Proc. R. Ir. Acad., III, 3, 1896).

Dodel, A.: Beiträge zur Kenntniss der Befruchtungs-Erscheinungen bei *Iris sibirica*. Zürich, 1891.

Engler, A.: Die natürlichen Pflanzenfamilien, Teil V (Nachträge etc.), 1897.

Farmer, J. B. u. Williams, J. L.: On the Fertilisation and the Segmentation of the Spore in *Fucus*. (Ann. of Bot., X, 1896).

Fujii, K.: On the Different Views hitherto proposed regarding the Morphology of the Flowers of *Ginkgo biloba* L. (The Bot. Magaz., Tokio, X, 1896).

Goroschankin, J.: Zur Kenntniss der Corpuscula bei den Gymnospermen. (Bot. Zeit., LXI, 1883).

Guignard, L.: Observations sur le Pollen des Cycadées. (Journ. de bot., 1889).

———: Nouvelles études sur la Fécondation. (Ann. Sc. nat. Bot., VII, 14).

———: Les centrosomes chez les Végétaux. (Compt.-rendus des séances de l'Acad. d. Sciences, CXXV, 1897).

Haberlandt, G.: Ueber die Beziehungen zwischen Funktion und Lage des Zellkernes bei den Pflanzen. Jena, 1887.

Harper, R. A.: Kernteilung und freie Zellteilung im Ascus. (Jahrb. f. wiss. Bot., XXX, 1897).

Hermann, F.: Beiträge zur Kenntniss der Spermatogenese. (Arch. f. mikros. Anat., L, 1897).

Hertwig, O.: Vergleich der Ei- und Samenbildung bei Nematoden. (Ebenda, XXXVI, 1890).

Hirase, S.: Befruchtungsperiode von *Ginkgo biloba*. (Bot. Magaz., Tokio, VIII, 1894). Japanisch.

———: Études sur la fécondation et l'embryogénie du *Ginkgo biloba*. (Journ. of the Coll. of Sc., Imp. Univ., Tokio, XIII, 1895).

———: Untersuchungen über das Verhalten des Pollens von *Ginkgo biloba*. (Bot. Centralb., LXIX, 1897).

———: Études sur la fécondation et l'embryogénie du *Ginkgo biloba*. (Second mémoire). (Manuskript).

Hofmeister, W.: Vergleichende Untersuchungen der Keimung, Entfaltung, und Fruchtbildung höherer Kryptogamen und der Samenbildung der Coniferen. Leipzig, 1851.

Jaccard, P.: Recherches embryologiques sur l'*Ephedra helvetica*. Lausanne, 1894.

Ikeno, S.: Vorläufige Mitteilung über die Canalzellbildung bei *Cycas revoluta*. (Bot. Centralb., LXVII, 1896).—Note préliminaire sur la formation de la cellule de canal chez le *Cycas revoluta*. (Bot. Magaz., Tokio, X, 1896).

———: Die Spermatozoiden von *Cycas revoluta*. (Bot. Magaz., Tokio, X, 1896). Japanisch.—Vorläufige Mitteilung über die Spermatozoiden bei *Cycas revoluta*. (Bot. Centralb., LXIX, 1897).

———: Zur Kenntniss des sog. "centrosomähnlichen Körpers" im Pollenschlauch der Cycadeen. (Flora, 85, 1898).

——— u. Hirase, S.: Spermatozoids in Gymnosperms. (Ann. of Bot., XLII, 1897).

Jurányi, L.: Ueber den Bau und die Entwicklung des Pollens bei *Ceratozamia longifolia*. (Jahrb. f. wiss. Bot., VIII, 1872).

———: Ueber den Pollen der Gymnospermen. 1882.

———: Beobachtungen über die Kernteilung. 1882.

———: Beiträge zur Kenntniss der Pollen-Entwicklung der Cycadeen und Coniferen. (Bot. Zeit., XL, 1882).

———: Sitzungsbericht d. königl. naturw. Ges. z. Budapest. Fach-Conferenz für Bot. am 8. Nov. 1893. (Bot. Centralb., LVII, 1894, pag. 232).

Lang, W. H.: Studies in the Development and Morphology of Cycadeen Sporangia: I. The Microsporangia of *Stangeria paradoxa*. (Ann. of Bot., XI, 1897).

Mottier, D. M.: Beiträge zur Kenntniss der Kernteilung in den Pollenmutterzellen einiger Dikotylen und Monokotylen. (Jahrb. f. wiss. Bot., XXX, 1897).

Nägeli, K. W.: Mechanisch-physiologische Theorie der Abstammungslehre. 1884.

Oltmanns, F.: Ueber die Entwicklung der Sexualorgane bei *Vaucheria*. (Flora, LXXX, 1895).

Osterhout, W. J. V.: Die Entstehung der karyokinetischen Spindel bei *Equisetum*. (Jahrb. f. wiss. Bot., XXX, 1897).

Paladino, G.: I ponti intercellulari tra l'uovo ovarico e le cellule follicolari etc. (Anat. Anz., 1890).

Pfeffer, W.: Locomotorische Richtungsbewegungen durch chemische Reize. (Unt. aus dem bot. Inst. zu Tübingen, 1884).

Pringsheim, N.: Ueber die Befruchtung und Keimung der Algen und das Wesen des Zeugungactes. Monatsber. d. königl. Akad. d. Wiss., 1885). Gesamm. Abhand. I, pag. 3 u. folg.

———: Neue Beobachtungen über den Befruchtungsact der Gattungen *Achlya* und *Saprolegnia*. (Sitzgsber. d. königl. Akad. d. Wiss. zu Berlin, 1882). Gesamm. Abhand. II, pag. 169 u. folg.

vom Rath, O.: Zur Kenntniss d. Spermatogenese von *Gryllotalpa vulgaris*. (Arch. f. mik. Anat., XI, 1892).

Retzius, G.: Die Intercellularbrücken des Eierstockes und der Follikelzellen. (Verhandlgn. d. Anat. Ges., 1889).

Rosen, F.: Beiträge zur Kenntniss der Pflanzenzellen, I. (Cohn's Beitr. z. Biol. d. Pflanz., V, 3, 1892).

Sargant, E.: The Formation of the Sexual Nuclei in *Lilium Martagon*: II. Spermatogenesis. (Ann. of Bot., XI, 1897).

Schmitz, Fr.: Untersuchungen über die Structur des Protoplasmas und der Zellkerne der Pflanzenzellen. (Sitzgsber. d. niederr. Ges. f. Natur- u. Heilkunde zu Bonn, 1880).

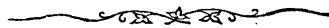
Sokolowa, Mlle. C.: Naissance de l'endosperme dans le sac embryonnaire de quelques Gymnospermes. Moscou, 1880.

Strasburger, E.: Ueber die Befruchtung der Coniferen. Jena, 1869.

———: Ueber Zellbildung und Zellteilung: I. Aufl. Jena, 1876. (Citirt nach Warming's Bidrag etc. pag. 82).

———: Ib., 3. Aufl. Jena, 1880.

- Strasburger, E.: Ueber Befruchtung und Zellteilung. Jena, 1878.
- : Ueber den Bau und das Wachstum der Zellhäute. Jena, 1882.
- : Neue Untersuchungen über den Befruchtungsvorgang bei den Phanerogamen. Jena, 1884.
- : Ueber Kern- und Zellteilung im Pflanzenreich (Histolog. Beitr., I. Jena, 1888).
- : Ueber das Verhalten des Pollens und die Befruchtungsvorgänge bei den Gymnospermen. (Ebenda, 4, 1892).
- : Schwärmosporen, Gameten, pflanzliche Spermatozoiden und das Wesen der Befruchtung. (Ebenda).
- : Kernteilung und Befruchtung bei *Fucus* (Jahr. f. wiss. Bot. XXX, 1897).
- : Das botanische Practicum. 3. Aufl. Jena, 1897.
- Swingle, W. T.: Zur Kenntniss der Kern- und Zellteilung bei den Sphacelariaceen. (Jahr. f. wiss. Bot., XXX, 1897).
- Treub, M.: Recherches sur les Cycadées, 1, 2. (Ann. du Jardin bot. de Buitenzorg, II, 1881).
- : ———, 3. (Ebenda, IV, 1884).
- Warming, E.: Recherches et remarques sur les Cycadées.—Under søgøelser og Betragtninger over Cycadeerne. (Oversigter over d. K. D. Vidensk. Selsk. Forh., 1877).
- : Contributions à l'histoire naturelle des Cycadées.—Bidrag til Cycadeernes Naturhistorie. (Ebenda, 1879).
- Webber, H. J.: Peculiar Structures occurring in the Pollen-tube of *Zamia*. (Bot. Gaz., XXIII, 1897).
- : The Development of the Antherozoids of *Zamia*. (Ebenda, XXIV, 1897).
- : Notes on the Fecundation of *Zamia* and the Pollen Tube Apparatus of *Ginkgo*. (Ebenda).
- Weismann, A.: Das Keimplasma. Eine Theorie der Vererbung. Jena, 1892.
- Wilson, E. B.: Archoplasm, Centrosome, and Chromatin in the Sea-Urchin Egg. (Journ. of Morph., XI, 2, 1895).
- : The Cell. New-York, 1896.
- Zimmermann, A.: Ueber das tinctionelle Verhalten der Zellkernkrystalloide. (Zeits. f. wiss. Mik., X, 1893).



TAFEL X.

Tafel X.

(Fig. 1-6).

Fig. 1. Ein Teil des jungen Endosperms. *ara*, Archegoniumanlage. $\frac{300}{1}$.

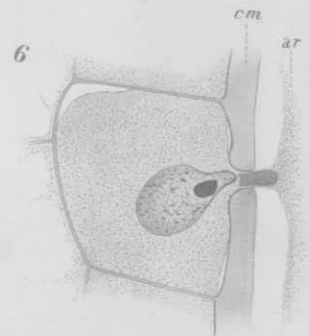
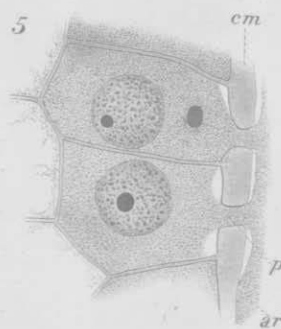
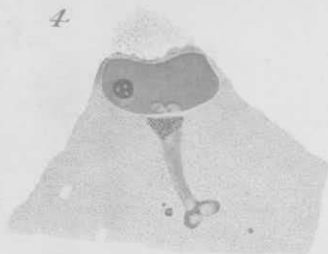
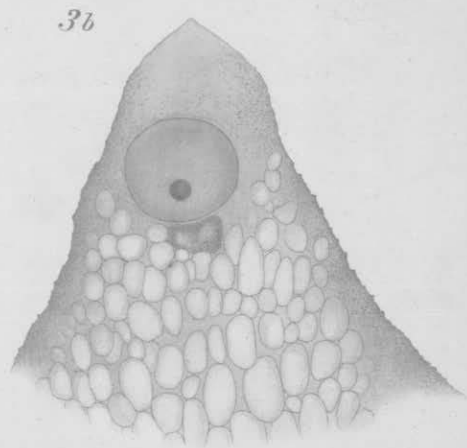
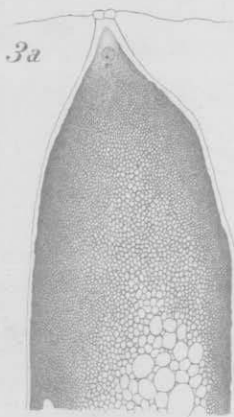
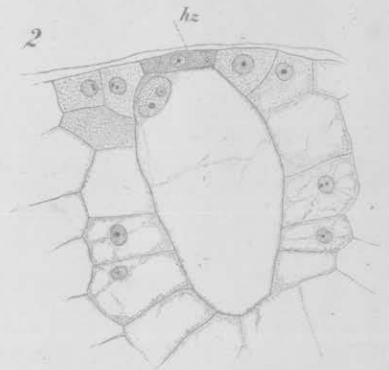
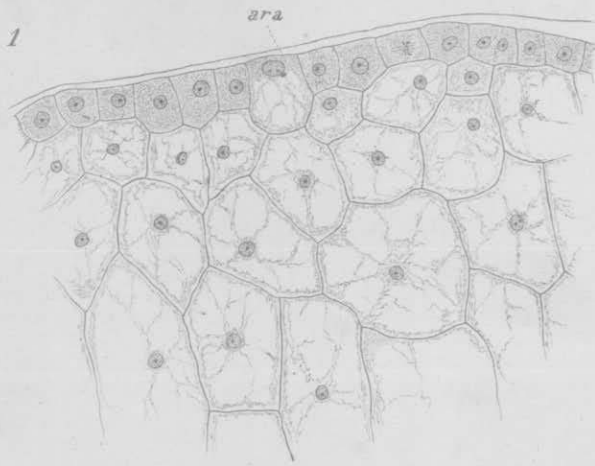
Fig. 2. Ein sehr junges Archegonium. *hz*, Halszellen. $\frac{300}{1}$.

Fig. 3. a. Ein viel älteres Archegonium (obere Hälfte); $\frac{80}{1}$. b. Ein Teil stärker vergr. $\frac{300}{1}$.

Fig. 4. Der obere Teil eines älteren Archegoniums. Zellkern kondensiert mit ausfliessenden Proteinstoff-Granulationen. $\frac{300}{1}$.

Fig. 5. Zwei Wandungszellen; bei der oberen, eine Granulation aussen dem Zellkerne. *cm*, Cellulosemembran; *p*, Plasma-
brücke; *ar*, Archegonium. Zeiss, Apochromat $\frac{2Mm.}{1,30}$ + Comp.-
Oc. 4.

Fig. 6. Eine Wandungszelle, wobei der Zellkern einen nach dem nächsten Plasmafaden gerichteten Schnabel gebildet hat. Eine Granulation in dem Plasmafaden. *cm*, Cellulosemembran; *ar*, Archegonium. Vergr. wie in Fig. 5.



TAFEL . XI.

Tafel XI.

(Fig. 7-13).

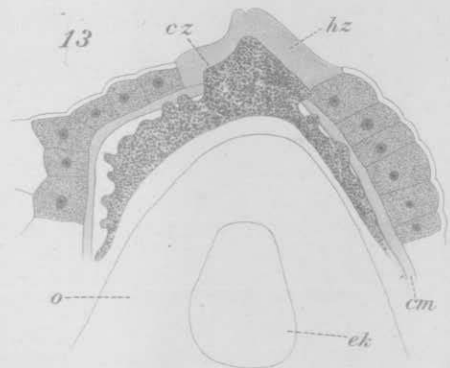
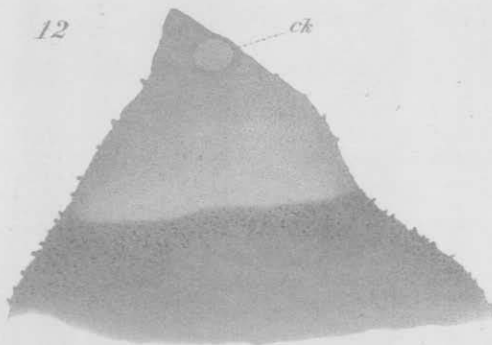
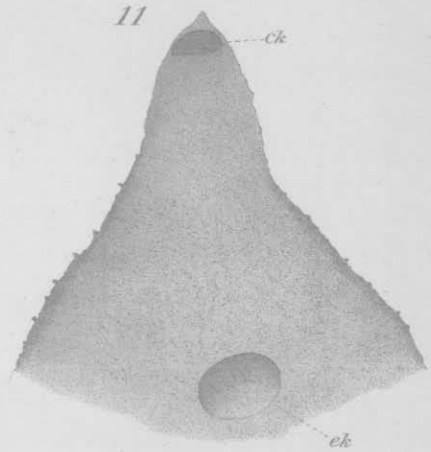
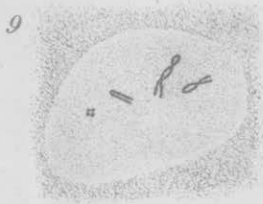
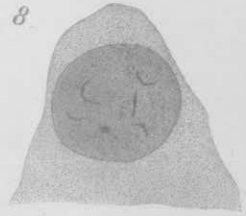
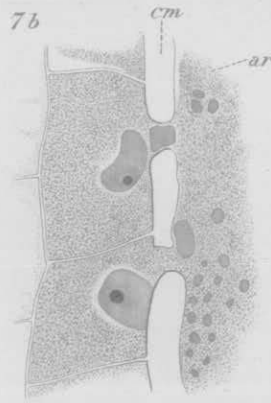
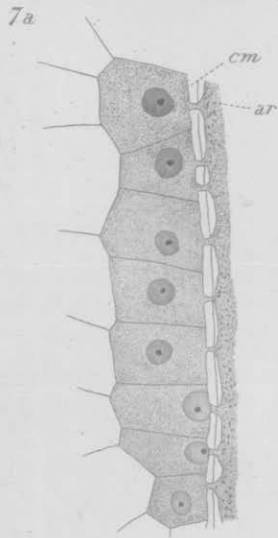
Fig. 7. Wandungszellen mit kondensierten Zellkernen. a, acht solche Zellen, $\frac{300}{1}$. b. zwei solche Zellen, vergr. wie in Fig. 5. *cm*, Cellulosemembran; *ar*, Archegonium.

Fig. 8-10. Karyokinese bei der Kanalzellbildung. In Fig. 8, Chromosomen sichtbar und Kernmembran noch vorhanden, $\frac{350}{1}$. In Fig. 9, Kernmembran schon verschwunden, aber der Umriss des Mutterkernes noch erkennbar; jedes Chromosom besteht wahrscheinlich aus den um sich umgebogenen und umeinander gedrehten Tochtersegmenten; bei einem sehen wir vier Enden solches Segmentpaares. In Fig. 10, Kernspindel. Fig. 9 und 10 vergr. wie in Fig. 5.

Fig. 11. Kernteilung vollgezogen und zwei Tochterkerne aus einander entfernt. *ck*, Kanalzellkern; *ek*, Eikern. $\frac{300}{1}$.

Fig. 12. Kanalzellkern (*ck*) in Desorganisation begriffen. Kanalzelle fast völlig vollendet. $\frac{300}{1}$.

Fig. 13. Kanalzelle (*cz*) desorganisiert; *hz*, desorg. Halszellen; *cm*, Cellulosemembran; *ek*, Eikern; *o*, Eizelle. $\frac{300}{1}$.



TAFEL XII.

Tafel XII.

(Fig. 14-22).

Fig. 14. Gereiftes Pollenkorn. p_1 , äussere, p_2 , innere Prothalliumzelle; ez , Embryonalzelle. Zeiss, Apochromat $\frac{2Mm.}{1,30} + Oc. 4$.

Fig. 15 a. Ein Pollenschlauch, grösstenteils im Nucellargewebe verborgen, $\frac{300}{1}$. b. Der ausserhalb des Nucellargewebes befindliche Teil eines Pollenschlauches in demselben Stadium stärker vergr.; vergr. wie in Fig. 14. sp , Exine; ezk , Embryonalzellkern; p_1, p_2 , wie in Fig. 14.

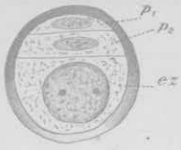
Fig. 16-18. Successive Stadien des Pollenschlauchwachstums. Vergr. wie in Fig. 14. p_1, p_2 wie oben; kz , Körperzelle; st , Stielzellkern; c , Centrosom; r , Reste der Bildungsmaterialien der Centrosomen; ck , cyanophile Körnchen; e , Nukleolus.

Fig. 19. a. Nächstes Stadium, $\frac{400}{1}$. b. Centrosom etc. stärker vergr.; Zeiss, Apochrom. $\frac{2Mm.}{1,30} + Oc. 8$. st, c, p , wie oben.

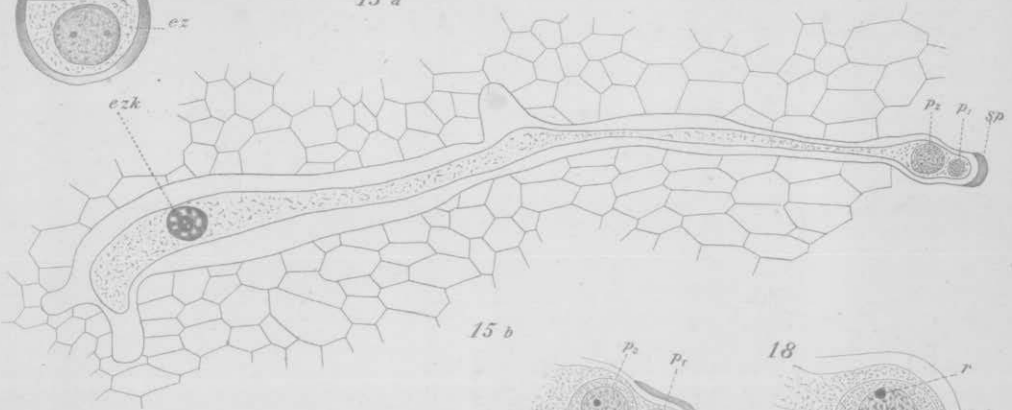
Fig. 20. Körperzelle im nächsten Stadium. Strahlensonne entwickelt. $\frac{400}{1}$.

Fig. 21-22. Zwei nächste Stadien. 21-22a, $\frac{300}{1}$. 22b, ein Teil der Körperzelle stärker vergr.; Zeiss, Apochrom. $\frac{2Mm.}{1,30} + Oc. 6$. p, st, kz wie oben; hs , Hautschicht; km , Kernmembran.

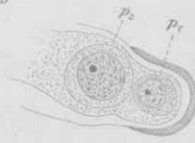
14



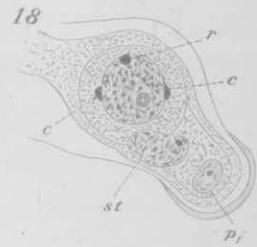
15 a



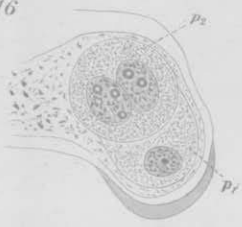
15 b



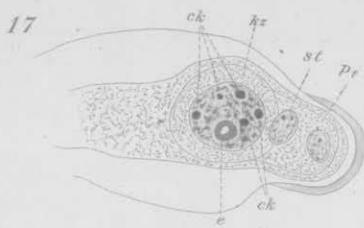
18



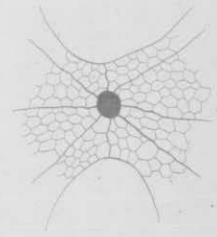
16



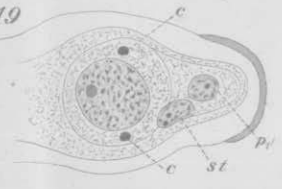
17



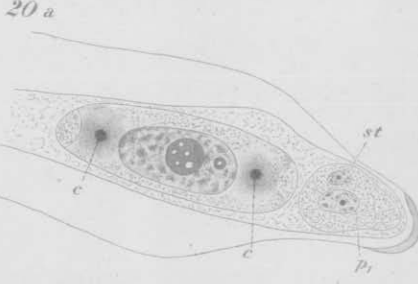
20 b



19



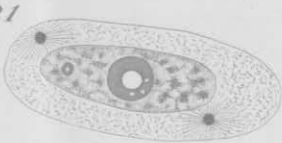
20 a



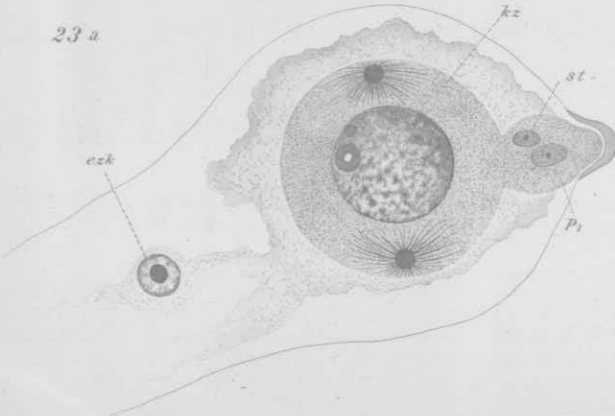
22



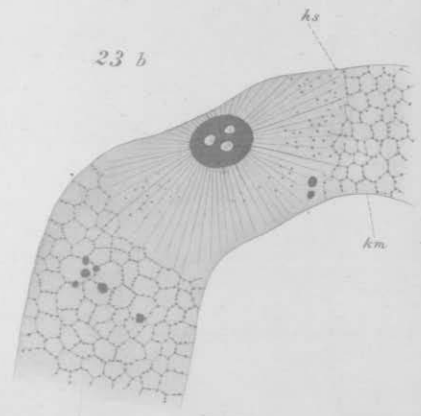
21



23 a



23 b



TAFEL XIII.

Tafel XIII.

(Fig. 23-33).

Fig. 23-25. Successive Stadien der Karyokinese bei der Bildung der zwei Spermatiden. 23-25a, $\frac{300}{1}$. 25b, Zeiss, Apochrom. $\frac{2Mm.}{1,30}$ + Oc. 6.

Fig. 26. Zwei Spermatiden, welche noch verbunden bleiben. Centrosom aus einem Granulähäufchen bestehend; $\frac{300}{1}$.

Fig. 27a. Der Schnabelfortsatz des Zellkernes einer Spermatide (links) in Verbindung mit dem granulären Centrosomband (im Profil), $\frac{300}{1}$. b, ein Teil stärker vergr.; Strahlen! c. Centrosomband im Aufriss. b. u. c, Zeiss, Apochrom. $\frac{2Mm.}{1,30}$ + Oc. 4.

Fig. 28a. Ein der ebenen Fläche einer Spermatide parallel geführter Schnitt. Centrosomband etwas ausgedehnt; $\frac{300}{1}$, b. Ein Teil stärker vergr.; Cilien schon aus dem Centrosomband entsprossen; vergr. wie in Fig. 27b.

Fig. 29a. Ein der ebenen Fläche einer Spermatide senkrecht geführter Schnitt; Centrosomband, welches schon eine Windung gemacht hat; c, Schnittfläche des Bandes; $\frac{300}{1}$. b. Ein Teil stärker vergr., vergr. wie in Fig. 28b. Cilien ausserhalb der Zelle hervortretend.

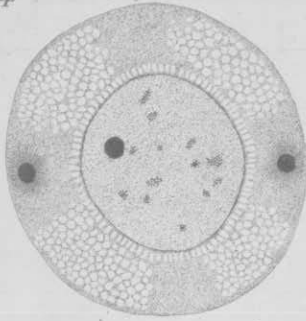
Fig. 30. Eine Spermatide, wobei das Centrosomband fast 3 Windungen gemacht hat. Zellkern wahrscheinlich gerade aus dem Bande losgetrennt. $\frac{300}{1}$.

Fig. 31. Eine Spermatide, wobei das Centrosomband 5 Windungen gemacht hat. Medianer Schnitt. $\frac{300}{1}$.

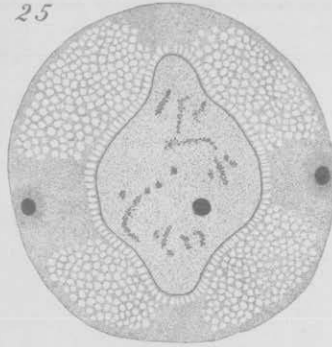
Fig. 32. Ein beinahe gereiftes Spermatozoid im medianen Schnitt. Zellkern und Cytoplasmamantel an einer Seite gelappt. $\frac{300}{1}$.

Fig. 33. Ebenda. Optischer Schnitt; $\frac{140}{1}$. a, von oben gesehen; b, etwas schräg gesehen. cb, Centrosomband; n, Zellkern. Cilien wegen der schwachen Vergrößerung unsichtbar.

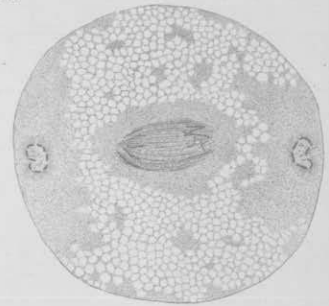
24



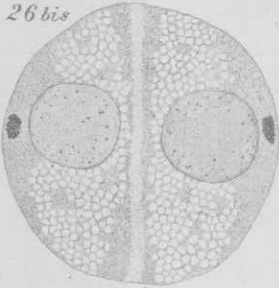
25



26a



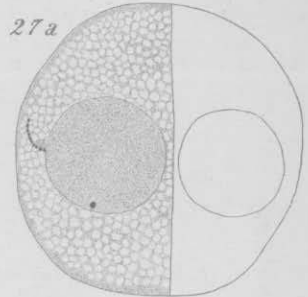
26 bis



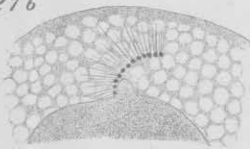
26b



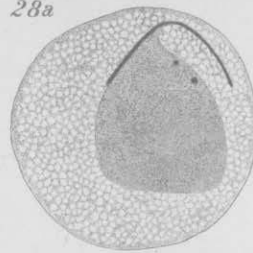
27a



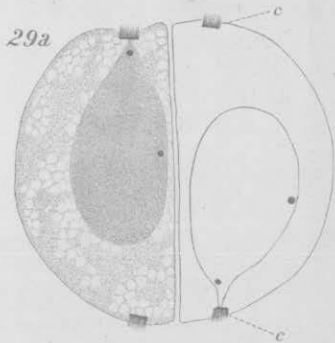
27b



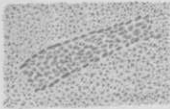
28a



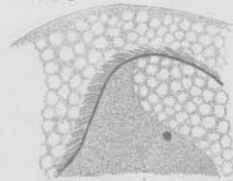
29a



27c



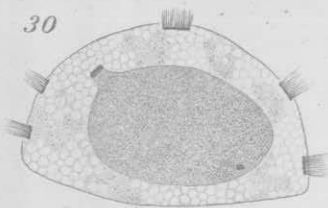
28b



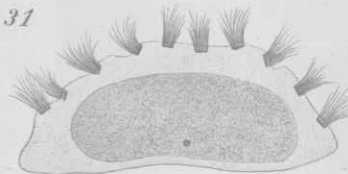
29b



30



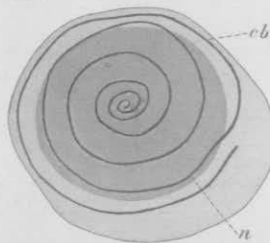
31



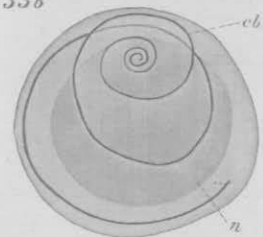
32



33a



33b



TAFEL XIV.

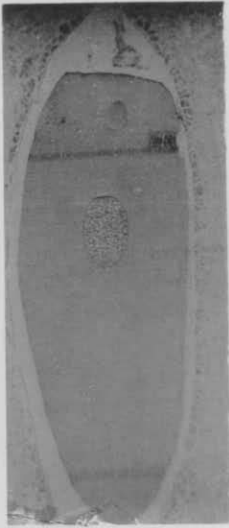
Tafel XIV.

(Fig. 34-39).

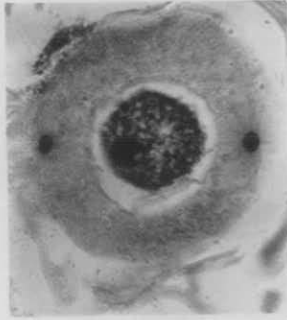
(Mikrophotographien im Lichtdrucke. Die schwarze und weisse Linien u. s. w. in den Figuren sind während des Schneidens durch das Mikrotommesser verursachte Artefakte).

Fig. 34. Eine Körperzelle des ausgewachsenen Pollenschlauches. Centrosomen! Zellkerninhalt durch Präparation stark geschrumpft und deshalb Kernmembran sehr deutlich geworden. Zeiss, Apochromat $\frac{2\text{Mm.}}{1,30}$ + Oc. 4; ca. $\frac{218}{1}$.

Fig. 35-39. Eizellen. Successive Stadien der Befruchtung; ca. $\frac{35}{1}$.



35



34



36



37



38



39

TAFEL XV.

Tafel XV.

(Fig. 39bis-49).

Fig. 39bis. Ein Spermatozoid, gerade in die Eizelle eingedrungen. *spn*, Spermakern; *sc*, Schwanz; *o*, Eizelle; $\frac{140}{1}$. Sein die spiraligen Windungen enthaltender Teil liegt an einem der folgenden Serienschnitten.

Fig. 40. Der obere Teil einer befruchteten Eizelle. *cpm*, Cytoplasmamantel in Desorg.; $\frac{80}{1}$.

Fig. 41. Eine Eizelle. Konjugation der zwei Sexualkerne. *spm'*, Spermatozoid in Desorg.; *tr*, trophoplasm. Substanz. $\frac{50}{1}$.

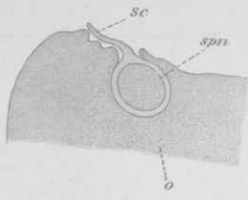
Fig. 42. a. Eine Eizelle, Spermakern, Empfängnisshöhle, $\frac{50}{1}$. b. Schema der vertikalen Durchschnittes einer Empfängnisshöhle; *h*, Höhle.

Fig. 43-47. Successive Stadien der Kernverschmelzung, 43-46a, 47a, $\frac{80}{1}$; *tr*, trophoplasin. Substanz; *ms*, männliche Substanz; *n*, im Auflösung begriffene Spermakern. 46b, ein Teil d. 47a stärk. vergr., $\frac{350}{1}$. *n'*, *n''*, aus dem Spermakern gerissene Kernstücke. 47b, ein Teil d. 48a stärk. vergr.; $\frac{400}{1}$. *ms*, *n*, wie oben.

Fig. 48. Zwei aus einem Spermakern herrührende Teile (*x*, *z*) fast gänzlich aufgelöst. $\frac{80}{1}$.

Fig. 49. Spermakern in Zerschnürung begriffen. $\frac{80}{1}$.

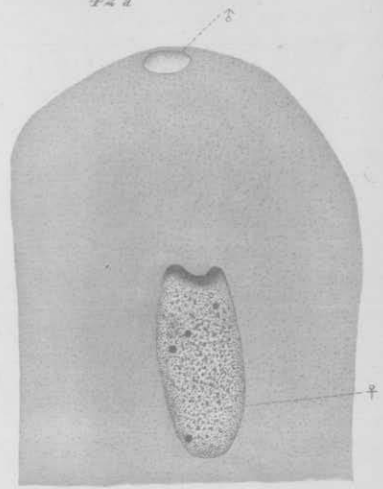
39 bis



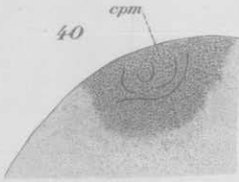
41



42 a



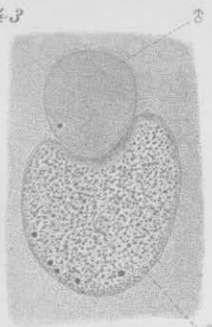
40



42 b



43



44



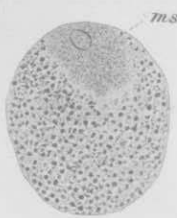
45



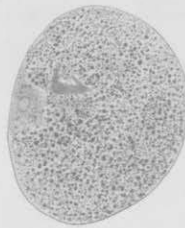
46 a



47 a



48



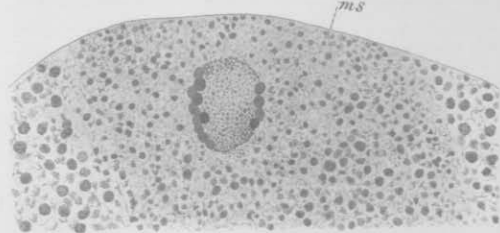
49



46 b



47 b



1888

1888

1888

1888

TAFEL XVI.

1888

Tafel XVI.

(Fig. 50-54).

Fig. 50. Karyokinetische Spindel des Keimkerns. Zeiss, Apochrom. $\frac{2\text{Mm.}}{1,30}$ + Oc. 4.

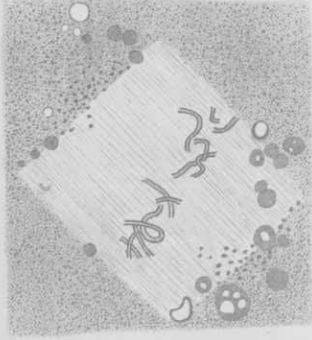
Fig. 51. Kernteilungsfigur bei einer der folgenden successiven Kernteilungen. Vergr. wie oben.

Fig. 52. Mehrpolige Kernspindel, vergr. wie oben.

Fig. 53. Cytoplasma und Zellkerne in Desorg. begriffen, $\frac{300}{1}$.

Fig. 54. Unterer Teil einer Eizelle, wobei das Protoplasma grösstenteils schon aufgelöst ist. Eine Anzahl von freien Zellkerne im Wandbeleg und im Grunde des Archegoniums vorhanden.

50



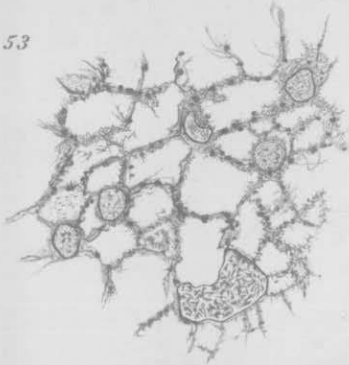
51



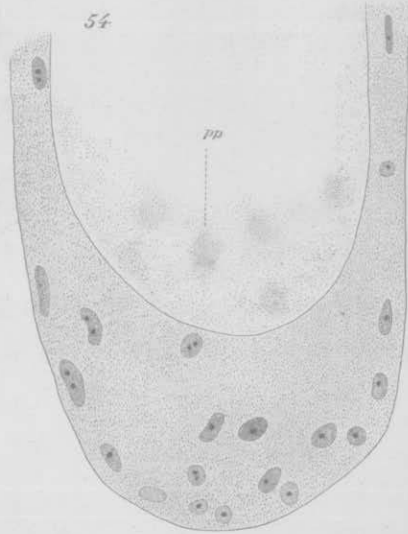
52



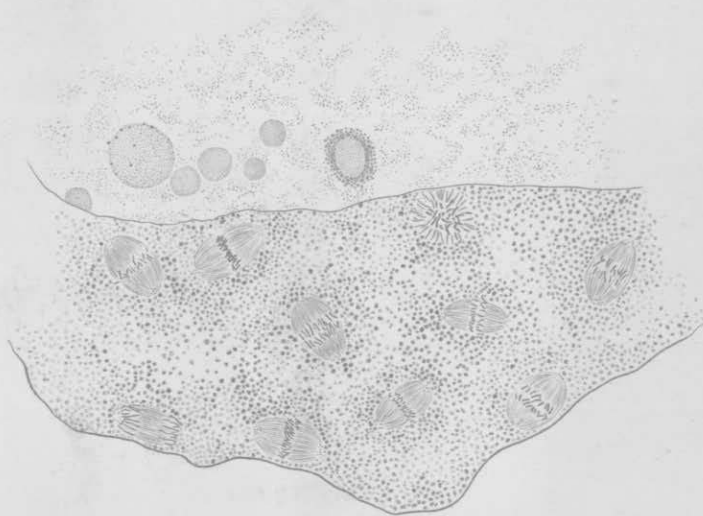
53



54



55



TAFEL XVII.

Tafel XVII.

(Fig. 55-61).

Fig. 55. Unterer Teil einer Eizelle, wobei das Protoplasma grösstenteils aufgelöst ist. Kernteilungen. Ballen des desorg. Protoplasmas zerstreut. $\frac{300}{1}$.

Fig. 56. Oberer Teil eines Archegoniums. Schmutzig färbare Substanzmasse. *h/s*, Desorg. Halszellen. $\frac{80}{1}$.

Fig. 57. Ballen im oberen Teil des Archegoniums. $\frac{300}{1}$.

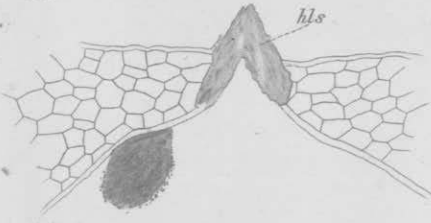
Fig. 58. Amitotische Kernteilungen im oberen Teil des Archegoniums. $\frac{500}{1}$.

Fig. 59. Ebenda. $\frac{400}{1}$.

Fig. 60. Amitotische Kernteilungen im ganzen Teil des Archegoniums. $\frac{300}{1}$.

Fig. 61 a. Embryonalanlage. *pp*, Desorg. Protoplasma, $\frac{300}{1}$.
b. Eine Zelle aus derselben mit den sog. Fettkörpern; Zeiss, Apochr. $\frac{2Mm.}{1,30}$ + Oc. 4.

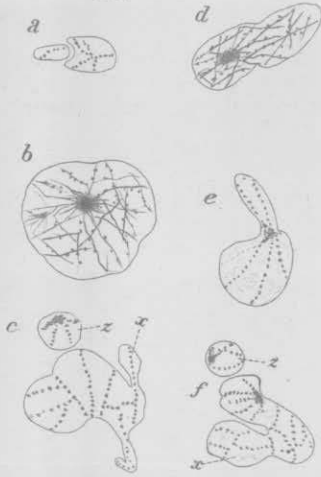
56



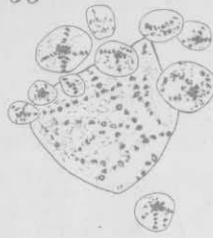
57



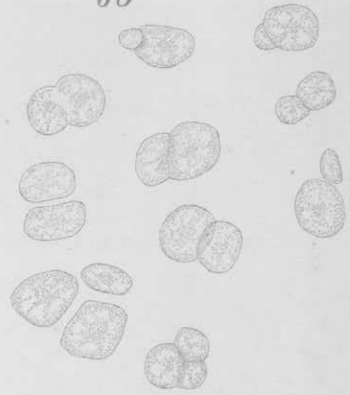
58



59



60



61a



61b

