Die Entwicklung der Zygoten von Spirogyra jugalis Ktzg.

Von **G. Karsten.**

(Mit Tafel I.)

Im Herbste des vergangenen Jahres hatte sich in Kulturbehältern, die während des Sommers mit frisch eingeholten Schlammproben von der Siegmündung angesetzt waren, eine schön grüne, großzellige Spirogyra eingestellt. Ihre im Wasser aufsteigenden Fadenbündel gingen bereits im Oktober in den unteren dem Boden aufliegenden Teilen in Zygotenbildung über. Die Art ist charakterisiert durch relativ große Zellen von ca. 80 μ Breite und der drei- bis vierfachen Länge. Ihre Querwände sind einfach. Vier Chlorophyllbinden umlaufen in größeren Zwischenräumen von einander die Zelle 1—$1^1/_2$ Mal. Die Zygoten sind von elliptischer Form und etwa doppelt so lang wie breit. So konnte die Alge eindeutig als Spirogyra jugalis Kg. bestimmt werden.

In den sich zur Kopulation anschickenden Fäden waren die Zellen durchschnittlich etwas kürzer als angegeben. Entweder fand die Kopulation Zelle für Zelle statt, so daß schließlich neben dem weiblichen Faden mit je einer Zygote in den Zellen, der völlig entleerte männliche Faden lag; die beiden Zellreihen sind dann aus Zellen annähernd gleicher Größe gebildet. Man findet aber auch häufig, daß bei der Kopulation im männlichen Faden Zellen übrig bleiben, während der weibliche Faden wiederum in all seinen Zellen Sporen besitzt; die männlichen Zellen sind also kürzer und daher ihre Zahl auf die gleiche Fadenlänge größer als im anderen Geschlecht. Der umgekehrte Fall, daß die weiblichen Zellen die kürzeren bleiben, ward nicht beobachtet; trotzdem gelangt aber nicht jede Zelle eines solchen in Kopulation eintretenden Fadens notwendiger Weise unter allen Umständen zur Zygotenbildung; es finden sich bei Durchsicht reichlichen Materials stets Fälle mit einer oder mehreren vegetativ bleibenden Zellen zwischen kopulierenden; möglich daß sie erst später sich zur Kopulation anschicken werden.

Die Farbe der Sporen ist vorerst eine rein grüne, die Membran sehr zart, häufig schon unter dem Druck des Deckgläschens aufplatzend. Der Inhalt zeigt die bekannte regellose Häufung von Stärkeherden, Öltropfen und Chlorophyllbinden. Nach etwa 8—20 Tagen jedoch ändert sich das Aussehen. Es ist eine dickere, bräunliche kutinisierte Membran gebildet, die Chlorophyllbinden lassen sich in normaler Anordnung und Form an der Oberfläche wiederum wahrnehmen und etwa in den beiden Brennpunkten der Ellipse — vielleicht ein wenig mehr gegen die Zell-

mitte hin verschoben — sind je ein gelblich- oder braunrötlicher Fleck zu erkennen, die sich später bis an die Zellenden hin erstrecken.

Das Material der sich weiter entwickelnden Kultur, aus der nur die Zygoten haltenden Fäden stets herausgesucht wurden, ward schließlich so reichlich, daß ich hoffen durfte, die lange unentschieden gebliebene Frage nach den Vorgängen innerhalb der reifen Sporen-Zellen zur völligen Lösung bringen zu können. In dieser Zeit gerade erschien die Arbeit von A. Tröndle[1]) „Über die Kopulation und Keimung von Spirogyra", und da seine negativen Befunde den einzigen bis dahin vorliegenden genaueren Angaben von Chmielewsky vollkommen widersprechen, war es im Interesse der Sache geboten, den ersten Teil der Arbeit möglichst bald zu veröffentlichen und ihren Abschluß alsdann erst folgen zu lassen.

Die mit zahlreichen Zygoten versehenen Spirogyrafäden wurden mit Flemmingscher Lösung, zum Teil auch mit vom Rath'schen Gemisch fixiert und zwar stets in der Nacht ca. 12 Uhr. Es kam natürlich darauf an, möglichst alle Altersstufen zu erhalten und so wurden die isolierten Einzelkulturen mit den frei herausgesuchten Zygotenfäden nach und nach getötet. Einen größeren Teil hatte ich reserviert, um nach langsamer Eintrocknung die Keimung zu beobachten. Da jedoch in den Monaten November und Dezember auffallend warme und helle Tage vorherrschend waren, gingen einige Zellen dieser Fäden vorzeitig in Keimung über. Infolgedessen opferte ich auch diese Kultur und fixierte sie in einigen aufeinander folgenden Nächten vollständig. Dieses Material war es, das allein Resultate ergab.

Es handelt sich bekanntlich darum, ob in den Zygoten von Spirogyra eine Reduktionsteilung stattfindet oder nicht. Chmielewsky[2]) hatte 1890 eine russische Arbeit veröffentlicht, deren Resultate ich nach dem Referate von Famintzin[3]) hier kurz zusammenstelle; sie sind gewonnen an Spirogyra crassa: „Die Kerne der mit Kopulationsfortsätzen versehenen Zellen unterscheiden sich gar nicht von den Kernen der vegetativen Zellen. In den Zellen mit zusammengezogenem und zur Bildung der Zygote bereitem Plasma dagegen wird die Membran des Kernes weniger bemerkbar. In jungen, eben erst gebildeten Zygoten nähern sich die

1) Botan. Ztg. 1907, Bd. LXV, I, pag. 187 ff.

2) W. Chmielewsky, Materialien zur Morphologie und Physiologie des Geschlechtsprozesses bei Thallophyten. Charkow 1890. (Titel nach dem Referate von Famintzin.

3) A. Famintzin, Übersicht der Leistungen auf dem Gebiete der Botanik in Rußland während des Jahres 1890 (aus dem Russischen übersetzt), pag. 16—20. Der Akademie in St. Petersburg am 29. Mai 1891 vorgelegt.

Kerne der männlichen und der weiblichen Zelle gegenseitig. Als wesentliches Merkmal der Kerne in diesem Entwicklungsstadium erscheint der Mangel der Kernmembran. Beide Kerne befinden sich in diesem Stadium in einem gemeinsamen, auf plasmatischen Fäden suspendierten Zentralplasma. In den braunen, schon mit allen Membranen versehenen Zygoten fließen die beiden Zellkerne zusammen, und der auf diese Weise entstandene neue Kern beginnt sich karyokinetisch zu teilen. Jeder der beiden durch Teilung entstandenen Kerne teilt sich seinerseits ebenfalls karyokinetisch in weitere zwei Kerne. Es erweisen sich somit in der Zygote vier Kerne. Zwei davon nähern sich bis zur Berührung. Diese sich gegeneinander nähernden Kerne werden von Chmielewsky als sekundäre bezeichnet, zum Unterschiede von den primären Kernen der jungen Zygoten, die ebenfalls in Berührung treten; die zwei übrigen Kerne beginnen sich durch Abschnürung zu teilen; die Nucleoli dieser letzteren Kerne vervielfältigen sich wahrscheinlich durch Freibildung. Schließlich verschwinden die sich fragmentierenden Kerne spurlos. Die sich gegeneinander nähernden sekundären Kerne sind leicht von den primären durch die an ihrer Oberfläche befindliche scharf markierte Membran zu unterscheiden. Völlig reife Zygoten sind mit je einem Kerne versehen; die aus den Zygoten hervorgehenden jungen Pflänzchen weisen dagegen beim Erreichen einer gewissen Größe schon je zwei Kerne auf.“ Zu beachten ist, daß zur Zeit der Publikation Chmielewsky's von dem Vorgange der Reduktionsteilung bei Pflanzen noch nichts bekannt war.

Die bereits genannte Arbeit von A. Tröndle[1]) beschäftigt sich mit Spirogyra neglecta Ktzg., Spirogyra Spréeiana Rabenhorst und besonders Spirogyra communis Ktzg. Seine Angaben über die Morphologie des Kopulationsprozesses und über das Reifen der Zygoten sind recht sorgfältig und bringen mancherlei neue Tatsachen. Das Verschwinden der männlichen Chromatophoren in der Zygote konnte Tröndle genau verfolgen und damit diese von Chmielewsky bereits in einer der vorher erwähnten Arbeit vorausgehenden Publikation[2]) angegebene Tatsache bestätigen. Die genaueren Beobachtungen Tröndle's darüber bieten wohl neue Einzelheiten; die Angaben Chmielewsky's über das Verhalten der Kerne in den Zygoten konnte er jedoch nicht bestätigen. Die ältere Literatur ist von Tröndle sehr sorgfältig zusammengestellt, so daß ich davon absehen darf, weiter darauf einzugehen.

1) A. Tröndle, lc. Bot. Ztg. 1907.

2) W. Chmielewsky, Eine Notiz über das Verhalten der Chlorophyllbänder in den Zygoten der Spirogyraarten. Bot. Ztg. 1890. Bd. XLVIII, pag. 773.

Meine Beobachtungen erstrecken sich zunächst auf jüngere Zygoten, die etwa 2—20 Tage nach ihrer Bildung fixiert waren. Sie enthielten stets zwei Kerne in größerer oder geringerer Entfernung von einander, jeder mit deutlichem Nucleolus versehen. Von einem Schwinden der Kernmembran, wie Chmielewsky es angibt, konnte ich mich zunächst nicht überzeugen. Das gleiche Verhalten, nur mit völliger Annäherung der beiden Kerne aneinander und gegenseitiger Abplattung an der Berührungsfläche, zeigte sich im gesamten weiteren Materiale. Stets waren die Membranen erhalten und die Nucleolen deutlich. Die Zellen wurden teils in Nelkenöl durchsichtig gemacht, teils geschnitten. Ältere Zygoten waren nach ihrer Härtung in Alkohol durch leichten Druck zum Platzen gebracht, um die Färbemittel (Hämatoxylin und Eosin) wie event. das Paraffin eindringen zu lassen. Tröndle hatte bereits dasselbe Verfahren angewandt. Das geschnittene Material ward dann zunächst wieder möglichst entfärbt und mit dem Dreifarbenverfahren nach Flemming behandelt.

Abweichende Resultate ergab, wie gesagt, nur diejenige Kultur, welche bereits vereinzelte Keimlinge hatte austreten lassen. Die Untersuchung wurde hier nur an Mikrotomschnitten ausgeführt. Die vorhergehende Färbung mit Hämatoxylin erleichterte zwar die Orientierung der Fäden im Paraffin außerordentlich, bereitete aber durch die Notwendigkeit der Entfernung des übermäßig eingedrungenen Farbstoffes mit Eisenalaun manche Schwierigkeiten.

Beginnen wir mit der genauen Betrachtung der im Begriffe der Vereinigung stehenden Kerne, Fig. 1—3 Taf. I, so ist es notwendig, über das Verhalten des Kernes und Nucleolus bei Spirogyra einiges vorauszuschicken, da hier von anderen Pflanzen abweichende Verhältnisse vorliegen. An der Hand der überaus sorgfältigen neuesten Arbeit auf diesem Gebiete von J. Berghs[1]) stellen wir folgendes fest:

Das Netzwerk des ruhenden Kernes von Spirogyra nitida, die von Berghs eingehend studiert ward, enthält nur sehr wenig Chromatin, welches sich an der Bildung der Chromosomen nicht beteiligt. Diese gehen vielmehr ausschließlich aus dem Nucleolus hervor, der während der ganzen Teilung erhalten bleibt. In der Prophase treten 12 Chromosomen auf, die sich durch dunklere Färbung von der übrigen Masse des Nucleolus unterscheiden und über seine membranlose Oberfläche oft weit hinausragen. Sie erleiden eine Längsteilung und ordnen sich zur

---

1) Jules Berghs, Le noyau et la Cinèse chez le Spirogyra. Institut Carnoy. Louvain, „La Cellule“, T. XXIII, 1. Fasc. 1906. pag. 53—86. 3 Taf.

Kernplatte an. Während der Anaphase teilt sich die Masse des Nucleolus in zwei nach den Spindelpolen hin auseinanderweichende Gruppen von längeren stabförmigen Gebilden, im ganzen sechs, die ihrer Länge nach doppelt sind. Die eigentlichen kurzstabartigen Chromosomen befinden sich paarweise an den äquatorialen Enden dieser Nucleolusstäbe. Die Tochterkerne gehen aus den beiden an den Polen sich abrundenden Nucleolusmassen in der Weise hervor, daß vom Kernrande her eine starke Vacuolenbildung die dichtere, ihre Chromosomen mit sich führende Plasmamasse in die Kernmitte zusammendrängt, und somit wieder ein inhaltsarmer oder fast inhaltsloser Kern mit sehr dichtem großem Nucleolus gebildet wird.

Dies ist der wesentliche Inhalt der Arbeit von Berghs, auf die noch häufiger zurückzukommen sein wird. Es wäre natürlich wünschenswert gewesen, sich vor Beginn der Untersuchung zu vergewissern, welches die Chromosomenzahl unserer Spirogyra jugalis ist, ob ebenfalls 12 oder eine andere. In ganz vereinzelten Fällen erlauben die Nucleolen auch in den noch unverschmolzenen Kernen der Zygoten bei sehr starker Entfärbung diese Körper sichtbar zu machen. So gelang es in einigen Fällen (Fig. 1*a*), die erst nach Feststellung der wichtigeren Resultate aufgefunden wurden, 14 winzig kleine stärker tingierte Gebilde nachzuweisen, die, wie sich nachher zeigen wird, den Chromosomen entsprechen dürften [1]).

Gehen wir jetzt zur Betrachtung der Figuren über: „Fig. 1 stellt aus einer älteren Zygote zwei nebeneinander liegende Kerne dar, die ihre aneinandergrenzenden Membranen bereits großenteils schwinden lassen und nur an der Oberfläche noch die frühere Grenzlinie markiert zeigen. In Fig. 2 ist die Vereinigung vollzogen; ein großer blasser Kern mit sehr wenig Inhalt umschließt zwei große tief dunkel tingierte Nucleolen, die alsbald (Fig. 3) ebenfalls in einen einzigen verschmelzen. Fig. 4 zeigt den Beginn einer Änderung im stark aufgeschwollenen Nucleolus des im übrigen unverändert blassen und inhaltsarmen Kernes. Der Nucleolus ist im Innern vacuolisiert und drängt eine dichtere Masse, die vorläufig nicht weiter in sich differenziert erscheint, an den Rand der sich damit von der minder dichten Innenmasse abhebt und sondert.

---

1) Über ähnliche Fälle der Feststellung der Chromosomenzahl im ruhenden Kern vergl.: O. Rosenberg, Über die Individualität der Chromosomen im Pflanzenreich. Flora 1904, pag. 251. Weitere Literatur bei: E. Strasburger, Ontogenie der Zelle. Progressus rei botanicae 1906, Bd. I, S. 131. Fr. Laibach, Zur Frage nach der Individualität der Chromosomen im Pflanzenreich. Diss. Bonn. Beih. bot. Zentralblatt, Bd. XXII, 1907.

In Fig. 5 hat sich die scharfe Grenze des Kernes gegen das umgebende Zellplasma — also die Kernmembran — aufgelöst, und man sieht gleichzeitig den Nucleolus auseinanderquellen und seine inhaltsreicheren, dunkel gefärbten Randmassen in Form eines längeren, hie und da an den Rändern eingeschnittenen Bandes ausgezogen, von minder dunkel gefärbten Plasmapartien umgeben. Es ist deutlich, daß diese den Beginn fädiger Struktur zeigen. Ein oder mehrere heller gefärbte Kugeln verschiedener Größe werden aus dem Nucleolus-Inneren in das umgebende Plasma verlagert, Fig. 5.

Dieser Zustand der Kern- und Nucleolusauflösung ist mir in sehr verschiedenen Formen entgegengetreten. Bald nehmen die Kernmassen dabei lang ausgezogene Form an, Fig. 6*a*, bald bleiben sie mehr rundlich. In jedem Falle aber tritt eine weitere tief eingreifende Umlagerung und Zerlegung der dunkler gefärbten Nucleolusmassen ein: Fig. 6*b*, 6*c*. Die Chromosomen werden mehr und mehr herausgebildet. So darf man diese Zustände dem bei der Sexualzellbildung der höheren Gewächse stets gefundenen Synapsisstadium vergleichen. Es mag darauf hingewiesen sein, daß Charles Allen[1]) bei der Untersuchung der Zygotenkeimung von Coleochaete eine Abbildung der Synapsis wiedergibt, die mutatis mutandis mit den hier vorliegenden große Ähnlichkeit besitzt; freilich handelt es sich dort um sehr lange Chromosomenfäden bei der ersten Bildung, während hier nur kurze Klümpchen in Erscheinung treten. Fig. 6*b*, 6*c*. Nach der großen Verschiedenartigkeit und Häufigkeit der Bilder scheint dieses Stadium ziemlich lange Zeit in Anspruch zu nehmen. Es ist das aber auch nicht verwunderlich, da hier die wichtigsten Veränderungen mit dem ganzen Kern resp. Nucleolus vor sich gehen.

Es sollen ja die aus den beiden im Zygotenkern vereinigten Chromosomen hier derartig verteilt und zusammengearbeitet werden, daß die Mischung der elterlichen Eigenschaften den weiteren Nachkommen unverkürzt übermittelt werden kann. Indem ich die zurzeit herrschende Auffassung über diese Vorgänge, bei den höheren Pflanzen wie sie letzthin von E. Strasburger[2]) zusammenfassend dargestellt worden sind, als bekannt voraussetze, schildere ich das in manchen Einzelheiten ein wenig abweichende Verhalten der Spirogyrakerne weiter.

---

1) Charles E. Allen, Die Keimung der Zygote bei Coleochaete. Berichte d. D. botan. Ges. 1905, Bd., XXIII, 285, Taf. XIII, Fig. 2.

2) E. Strasburger, Ontogenese der Zelle seit 1875. Progressus rei botanicae, Bd. I, pag. 63 ff. Jena 1906.

In der auf Fig. 6*c* folgenden Fig. 7 dürfte ein bereits erheblich weiter vorgeschrittener Zustand vorliegen. Da es mir aber trotz aller Bemühungen nicht gelang, ein Zwischenstadium zu Gesicht zu bekommen, so erscheint der Schluß gerechtfertigt, daß dieser Übergang relativ schnell verlaufen muß.

Man erkennt 14 Vierergruppen inmitten des feinkörnig dichten Nucleolus, der von leichteren Plasmawolken umgeben liegt, in denen man zwei oder mehr schwach gefärbte Chromatinkügelchen — den ausgestoßenen Nucleolen anderer Gewächse vergleichbar — entdeckt. Demnach sind 28 kurze dicke Chromosomen herausdifferenziert, sie haben sich paarweise zusammengelegt und eine weitere (Längs)-Spaltung erlitten. Abweichend von dem Verhalten der meisten höheren Gewächse tritt eine Verschmelzung der ein Paar bildenden beiden Chromosomen erst später ein (cf. Fig. 9), so daß auf dem Zustande der Fig. 7 und 8 die Vierergruppen in aller Deutlichkeit sichtbar sind. Da ihrer 14 vorliegen also 14 Doppelchromosomen in das Anfangsstadium der heterotypischen Teilung eintreten, ist die im Nucleolus der ruhenden Kerne vor ihrer Verschmelzung zum Zygotenkern gefundene Zahl von Chromosomen vollauf bestätigt. Die haploide Generation zählt 14, die diploide 28 Chromosomen.

Die Figuren 7 und 8 entsprechen demnach dem früher für die Sexualzellbildung der höheren Pflanzen angenommenen Stadium der „doppelten Längsspaltung“. Doch geht dieser Zustand, wie gesagt, alsbald noch wieder teilweise verloren. In Fig. 7 und mehr noch in Fig. 8 ist stellenweise der erste Beginn eines Wiederverschmelzens bereits angedeutet und in Fig. 9 ist diese Vereinigung vollkommen geworden und nur die Paare der Doppelchromosomen sind erhalten geblieben. Dieser Zustand entspricht einer typischen Diakinese.

Der Übergang zu der Kernplatte wird durch Anlage von mehrpoligen Spindelfiguren Fig. 9*a* eingeleitet, die aber früher oder später ihre Spindelfasern zur Parallele umlagern. In der alsdann zweipoligen Spindel ordnen sich nach und nach die Doppelchromosomen zu einer Kernplatte an, Fig. 10; eine Lage, die nach dem mehrfachen Auftreten in meinen Präparaten wiederum von längerer Dauer zu sein scheint. Die Spindelfasern nehmen unterdessen noch etwas an Länge zu. Fig. 11. Die ausgetretenen Chromatinkugeln sind häufig gerade an den beiden Polen wahrnehmbar. Daß diese Lage auch bei höheren Pflanzen von den austretenden Nucleolen oft eingenommen wird und seiner Zeit zu der irrtümlichen Annahme von Centrosomen mit Ver-

anlassung gegeben haben dürfte, habe ich [1]) unter zunächst allgemeinem Widerspruche zuerst nachgewiesen.

Das Auseinanderweichen der Doppelchromosomen scheint sich sehr langsam zu vollziehen und eine erhebliche Längsstreckung der Spindelfasern begleitet den Vorgang. Während die Synapsisstadien, die Diakinese und auch noch die Kernplatte stets an einer Seite der Zygote gefunden werden, durchquert die zur Reduktionsteilung führende Spindel schließlich den ganzen Zellraum von einer Längsseite zur anderen hinüber. Somit finden sich die Tochterkerne regelmäßig zunächst an den beiden Seiten einander gegenüber. Mit dem erst nach dem Zustande der Kernplatte einsetzenden Längerwerden der Spindel dürfte es zusammenhängen, daß die Doppelchromosomen stets in langem Zuge hintereinander dieser Spindel angereiht erscheinen (Fig. 12). Man zählt jetzt leicht 28 paarweise liegende Chromosomen und beobachtet ebenfalls deutlich, daß jene erste, inzwischen durch Wiederverschmelzung zurückgegangene Längsspaltung hier zuerst von neuem sichtbar wird, wie es ja dem Stadium der Metaphase [2]), in das der Kern eingetreten ist, entspricht. Von den vorhandenen 28 Chromosomen werden 14 jedem Tochterkerne zufallen müssen, und ihre Zusammenlegung zu Paaren sichert eine möglichst gleichmäßige Verteilung der von den beiden in der Zygote vereinten Eltern kommenden Teile. Es ergibt sich also, daß nur für dasjenige Entwicklungsstadium, welches zwischen der Kernvereinigung innerhalb der Zygote und dem Eintritt der ersten Teilung liegt, eine diploide Generation bei Spirogyra jugalis vorhanden ist, wie auch Allen bei Coleochaete die doppelte Chromosomenzahl auf die Zygote allein beschränkt fand.

Nur der Abschluß dieser Teilung des Mutterkernes konnte dann noch in meinen Präparaten aufgefunden werden (Fig. 13). Die Tochterkerne, jeder einer Längsseite anliegend, haben sich bereits wieder abgerundet, ohne jedoch durch eine Membran vorerst umschlossen zu werden. Auch die größeren und kleineren gleichmäßig hellen Chromatinmassen sind noch nicht in die Tochterkerne (Nucleoli) aufgenommen. Dagegen treten die einem jeden zugeteilten 14 Chromosomen als dunkler tingierte Gebilde hervor. Sie sind sehr stark zusammengeschrumpft, ein Zeichen, daß sie sich der in Fig. 12 zu ihrer Volumvergrößerung beitragenden anderen Nucleolusbestandteile [3]) wieder entledigt haben.

---

1) G. Karsten, Über Beziehungen der Nucleolen zu den Centrosomen bei Psilotum triquetrum. Ber. d. Deutsch. bot. Ges. 1893. 555.

2) E. Strasburger, Progressus lc., pag. 68.

3) Jules Berghs, lc. pag. 67. Taf. III, Fig. 26, 27 usw.

Einige von den Chromosomen, die entsprechend orientiert sind, lassen eine Längsspaltung deutlicher hervortreten. Die Reste der Spindelfasern sind ebenfalls noch in der früheren Richtung kenntlich erhalten.

Zugleich bemerkt man aber an dem linken Tochterkerne andere in Längsrichtung der Zygote verlaufende zarte Spindelfasern (Fig. 13). Man könnte daraus schließen, daß eine zweite Teilung gleich darauf folgen wird, die Zerlegung des Zygotenkernes durch die homöotypische Teilung zu vervollständigen. Das wird für viele, vielleicht die meisten Fälle auch gewiß zutreffen, doch belehrte mich eine andere mir zunächst rätselhaft bleibende Erscheinung, daß es nicht unbedingt so kommen muß. In der Fig. 14 liegen die beiden Tochterkerne einander genau so gegenüber wie in Fig. 13, aber ihre Struktur ist eine weit abweichende. An Stelle des aufgelockerten feinkörnigen Nucleolusplasmas, mit den darin verteilten Chromosomen finden sich zwei geschlossene, von deutlicher Membran umgebene Kerne. Der rechte ist in einer den früher geschilderten Synapsiszuständen (Fig. 5, 6a—6c) ähnlichen Verfassung, der andere links zeigt einen stark vacuolisierten Nucleolus, der einzelne Fäden gegen die Kernmembran hin ausgespannt hat. Die zwischen beiden noch vorhandene Plasmabrücke hat ihre kinoplasmatische Struktur verloren (Fig. 14). Eine Erklärung dafür gibt die bereits oft genannte Arbeit von Jules Berghs[1]). Auf seiner Tafel III zeigt er die Rückkehr der Tochterkerne nach der vegetativen Teilung in den Zustand der Ruhe und es wiederholen sich die in der Prophase der Kerne gezeigten Stadien in umgekehrter Reihenfolge. Gerade der linke Kern der Fig. 14 entspricht genau der Darstellung von Fig. 31—34 bei Berghs, welche die Wiederbildung des Nucleolus im inhaltsleeren Kerne schildern.

Es ist also kaum daran zu zweifeln, daß die Fig. 14 zwei in den Zustand der Ruhe zurückkehrende Tochterkerne darstellt. Da mir nur dieses eine Beispiel davon in die Hände kam, vermag ich nichts weiteres darüber zu sagen, ob diese Unterbrechung der Reduktion einem häufigen Vorkommen entspricht. Vorstellen läßt sich ja leicht, daß es für die Lebensweise von Spirogyra, die oft an winzige Wasserpfützen gebunden ist, welche bei Witterungsumschlag im Laufe eines klaren Sommertages austrocknen können, vorteilhaft sein mag vor Entwicklung des zarten Keimlings noch einmal in ein größere Widerstandsfähigkeit ermöglichendes Ruhestadium zurückkehren zu können. Ökologisch wäre also das

1) Berghs, lc. pag. 71. Taf. III, Fig. 30—40. „Par conséquent dans le Spirogyra, la télophase représente aussi, pour ainsi dire, une prophase renversée.“

Verhalten recht verständlich; ob und wie die beiden Kerne bei Wiedereintritt günstigerer Verhältnisse sich weiter verhalten würden, muß späterer Untersuchung vorbehalten bleiben.

Angenommen darf aber wohl werden, daß in der Regel diese Unterbrechung ausbleibt und dann auf die Fig. 13 alsbald die Fig. 15 folgt. Es ist in fast allen beobachteten Fällen dieses Zustandes die eine Tochterkernspindel gegen die andere um 90° gedreht, so daß die eine in Längsansicht, die andere im Querschnitt, unter günstigen Umständen mit Freilegung der Kernplatte, getroffen werden. Ebenso sind meist die Kerne bereits aus der Gegenüberstellung in andere Lagen übergegangen. Natürlich wäre es nur bei besonders glücklichem Zufall möglich beide Kernteilungsfiguren in einem Schnitte beisammen zu haben; so mußte auch diese Fig. 15 aus dem benachbarten Schnitte ergänzt werden. Im Querschnitte sind 14 einfache Chromosomen in der Kernplatte vereinigt, der Längsschnitt ließ nicht die volle Zahl zur Darstellung bringen, da sich vielfach gegenseitige Übereinanderdeckung ergeben hätte.

Die vier resultierenden Enkelkerne habe ich nur bereits fertig ausgebildet einige Male wahrnehmen können. Ihre Struktur erschien abweichend von den bisher beobachteten Kernen. Von einer zarten Membran umkleidet besaßen sie zahlreichere, kleine, stärker tingierbare Körnchen im ganzen Kerne verstreut und in zarteres Plasma eingebettet. Über ihr weiteres Schicksal konnte ich dem bisher vorliegenden Material nichts entnehmen und muß die Schilderung der Wiederherstellung des einkernigen Zustandes, der ja nach allen bisherigen Beobachtern kurz vor der Keimung noch herrschen soll, sowie die Darstellung dieses Vorganges selbst einer zweiten Mitteilung überlassen. Zahlreiche inzwischen in Entwicklung begriffene Zygosporen derselben Art lassen die Hoffnung gerechtfertigt erscheinen, daß es glücken wird, auch hier Klärung zu schaffen.

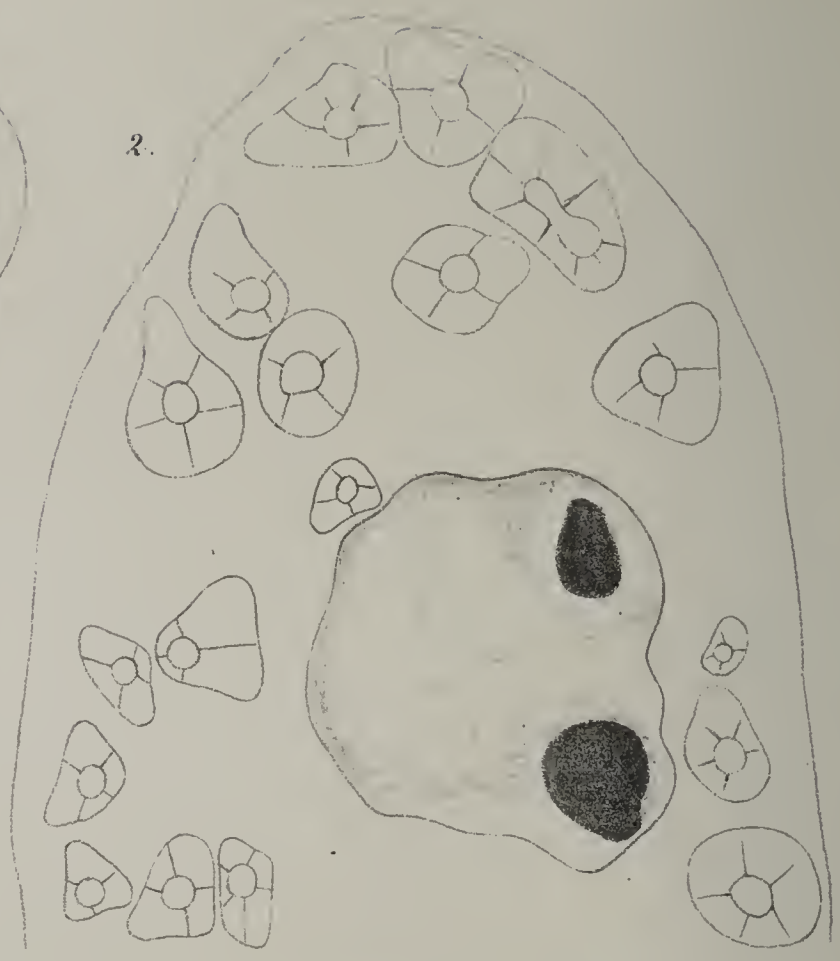
Jedenfalls kann man diesem ersten Abschnitte bereits entnehmen, daß die Angaben von Chmielewsky im wesentlichen völlig richtig waren, daß es freilich darauf ankommt, gerade den richtigen Zeitpunkt abzupassen. Hatte man doch auch die von früheren Beobachtern geschilderte Diatomeen-Kopulation schon fast ganz zum alten Eisen geworfen, nur weil es sonst anerkannt tüchtigen Arbeitern wie Pfitzer und Schmitz in zahlreichen Fällen nicht geglückt war, den richtigen Augenblick des Vorgangs zu erfassen.

Bonn, 30. Januar 1908.

1.



2.



15.



3.



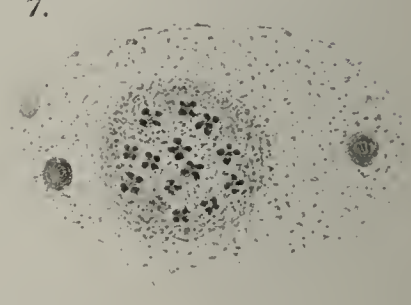
4.



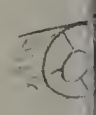
5.



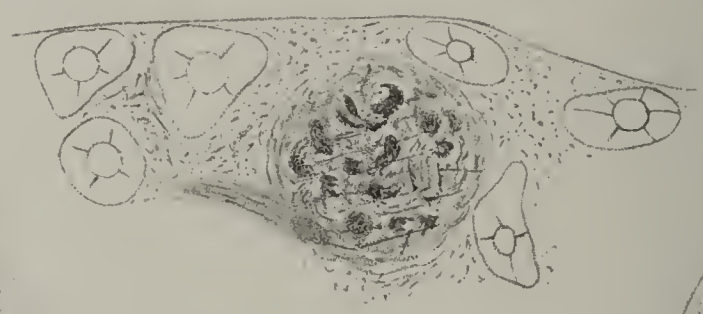
7.



8.



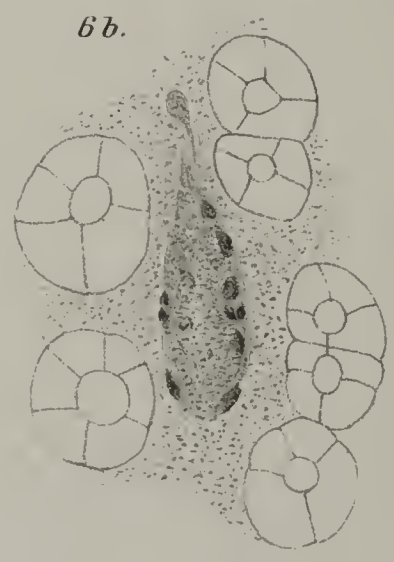
6c.



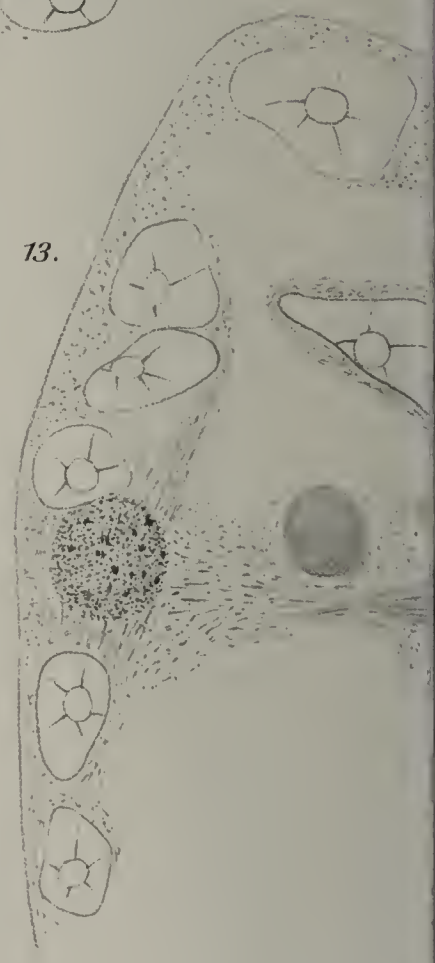
6a.



6b.

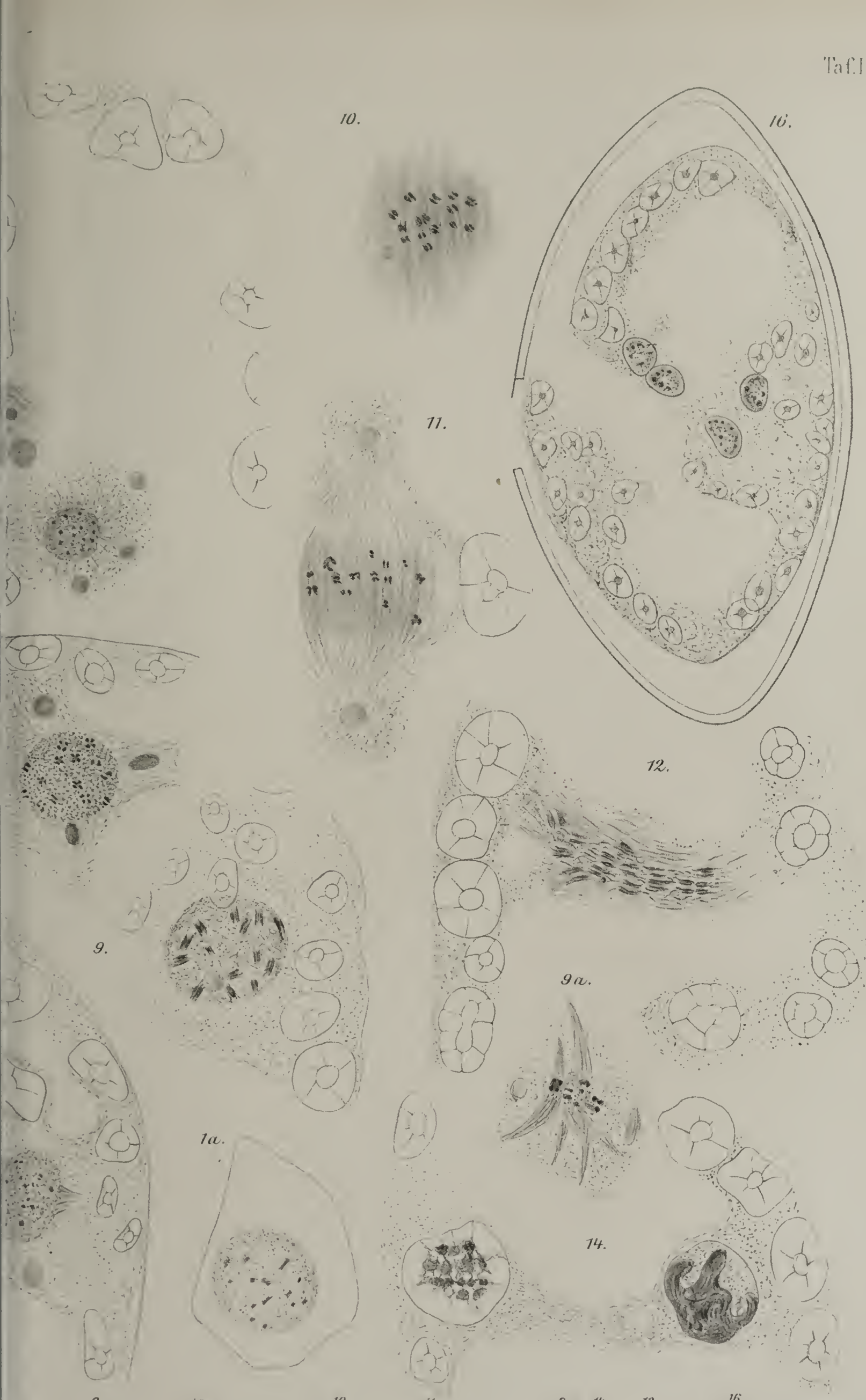


13.



1. 4.
3. 6a.
Gez. v. d. Kursten

2. 6c. 5. 6b. 7. 13. 15. 8.



E Laue Lith Inst Berlin

ischer a Jena

Figurenerklärung zu Tafel I.

Fig. 1. Die zwei Kerne der Zygote im Begriffe sich zu vereinigen. 1000/1.

„ 1a. Kern einer Zygote vor der Verschmelzung mit dem andern Kern; im Nucleolus 14 Chromosomen kenntlich. 1500/1.

„ 2. Kern nach der Vereinigung mit zwei Nucleolen. 1000/1.

„ 3. Die Nucleolen des primären Zygotenkernes verschmolzen. 1000/1.

„ 4. Vacuolisierung des Nucleolus, der stark aufgeschwollen ist. 1000/1.

„ 5. Einleitung des Synapsiszustandes; die Kernmembran ist aufgelöst. 1000/1.

„ 6a bis 6c. Weitere in dieser Reihenfolge sich entwickelnde Synapsiszustände. In b und c fangen die Chromosomen an sich deutlicher zu differenzieren. 1000/1.

„ 7 u. 8. Die Chromosomen sind differenziert und deutlich zweimal gespalten. In Fig. 8 beginnt die eine Spaltung wieder zu schwinden. 1000/1.

„ 9. Diakinese der Doppelchromosomen; die erste Längsspaltung ist völlig geschwunden. 1000/1.

„ 9a. Anlage einer mehrpoligen Spindel. 1000/1.

„ 10 u. 11. Vorbereitung zur Kernplatte und Kernplatte der Doppelchromosomen. 1000/1. 11: 1500/1.

„ 12. Langgezogene Spindel mit 28 Chromosomen, die erste bisher verdeckte Längsspaltung kommt wieder zum Vorschein. 1000/1. Chromosomen durch Nuclearmasse vergrößert.

„ 13. Tochterkerne kurz nach der fertigen Ausbildung. 1000/1.

„ 14. Rückkehr der Tochterkerne in zeitweiligen Ruhezustand. cf. Text pag. 9. 1000/1.

„ 15. Zygote mit den Spindeln der beiden Tochterkerne. 1000/1.

„ 16. Zygote mit den vier Enkelkernen. 500/1.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Flora oder Allgemeine Botanische Zeitung

Jahr/Year: 1909

Band/Volume: 99

Autor(en)/Author(s): Karsten George

Artikel/Article: Die Entwicklung der Zygoten von Spirogyra jugalis Ktzg. 1-11