

# Die Kraushaar - Alge, **Ulothrix zonata.**

**Ihre geschlechtliche und ungeschlechtliche Fortpflanzung.**

---

Eine entwicklungsgeschichtliche Studie

als Beitrag zur

**Kenntniss der untern Grenze**  
des pflanzlichen Sexuallebens

von

**DR. ARNOLD DODEL,**

Dozent der Botanik

am Eidgenössischen Polytechnicum und an der Universität Zürich

Mit acht colorirten Tafeln.

---

(Separat-Abdruck aus Pringsheim's Jahrbüchern für wissenschaftl. Botanik

X. Band.) 12.417-550, pl. 1-8, 1876

**W. G. FARLOW**

Wilhelm Engelmann.  
1876.

Dem ersten Entdecker  
des  
Copulations-Processes der Schwärmsporen

**HERRN PROF. DR. N. PRINGSHEIM**

hochachtungsvoll gewidmet

vom

**Verfasser.**



## Einleitung.

---

Die Pflanze, deren Entwicklungsgeschichte im Folgenden soweit besprochen werden soll, als es meine bisherigen Untersuchungen zulassen, ist eine Fadenalge, bestehend aus einfachen, niemals verzweigten Zellreihen, welche ich zum ersten Mal im März 1870 an den beiden oberen Becken des Springbrunnens vor dem Polytechnicum in Zürich beobachtete, wo sie — von dem Rand der fortwährend überfliessenden Becken abwärts hängend, dicke Fadenbüschel von lebhaft grüner Farbe bildete. Ich untersuchte sie damals während mehrerer Tage unter dem Mikroskop und fertigte zwei colorirte, mit Hülfe des Prismas skizzirte Tafeln an, von welchen ich die Originalzeichnungen zu Fig. 14, pag. 105 meiner „neuern Schöpfungsgeschichte“ (Leipzig, Brockhaus 1875) hernahm.

Damals (4—18. März 1870) gefroren die von den Springbrunnen-Becken herabhängenden Fadenbüschel viele Nächte hintereinander zu festen Zapfen zusammen, um jeweilen am Morgen wieder aufzuthauen, ohne dabei irgendwie Schaden zu nehmen, weder in vegetativer noch in reproduktiver Hinsicht. Schon damals habe ich die Copulation von Schwärmsporen, sowie die Bildung und das Ausschlüpfen der grössern und kleinern Zoosporen, ebenso die Keimung der nichtkopulirten Schwärmsporen beobachtet und in den bereits erwähnten zwei colorirten Tafeln dargestellt. Ich werde in der Folge mehrmals von diesen letztern zu reden haben, hier muss ich zum Vornherein bemerken, dass sämtliche Zeichnungen, welche dieser vorliegenden Abhandlung beigegeben sind, vom Früh-

jahr 1875 bis Frühjahr 1876 datiren und mit Hülfe eines Hartnack-schen Instrumentes, die Mehrzahl mit Hülfe des Immersions-Systems No. IX. und des Prisma's gezeichnet sind.

Nachdem im Januar 1875 gelegentlich in einer Kritik meines letzten Buches gesagt wurde, dass meine in der „neuern Schöpfungsgeschichte“ wiedergegebene „Darstellung des Vorganges bei Ulothrix entschieden unrichtig“ sei — nachdem ich wiederholt die von Cramer publicirte Arbeit „Ueber Entstehung und Paarung der Schwärmsporen von Ulothrix“ (Vierteljahrsschrift der naturf. Gesellsch. zu Zürich, Bd. XV. und Bot. Zeitung 1871, No. 5 u. 6) gelesen und mit meinen Notizen verglichen hatte, fand ich es zeitgemäss, die Untersuchung nochmals an Hand zu nehmen und die Arbeit Cramer's sowohl als auch meine 1870er Notizen einer genauen Kritik, resp. Verification zu unterwerfen.

Es erschien dies um so wünschenswerther, als bereits andere algologische Untersuchungen während der letzten Jahre seit Pringsheim's Arbeit „Ueber Paarung von Schwärmsporen, die morphologische Grundform der Zeugung im Pflanzenreiche (Monatsberichte der kgl. Acad. der Wissensch. zu Berlin, Oktbr. 1869) darauf hinwiesen, dass eine entwicklungsgeschichtliche Studie über die Ulothricheer zu interessanten neuen Resultaten führen müsse. Die Jahreszeit war diesem Vorhaben günstig, der Frühling mit Einschluss des Februars kalt und für die Beobachtung dieser Ulothrix-Art ganz dazu angethan, das wünschenswerthe Material stets in neuer Fülle zu bieten.

Die ersten von mir während des Frühjahrs 1875 beobachteten Ulothrixfaden kamen am 1. Februar während des mikroskopischen Curses an der Universität unter das Mikroskop. Diese Faden stammten aus einem von Quellwasser gespeisten Brunnenbett in der Nähe Zürichs und entliessen eine Unzahl kleiner Zoosporen, von denen — selbst bei schwacher (200-300facher) Vergrösserung — solche zu erkennen waren, die sich copulirten. Eine Vergleichung mit den später aufgefundenen an anderer Stelle vorkommenden Ulothrix-Faden ergab, dass jene ersteren zu *Ulothrix zonata* gehörten.

Erst anfangs März konnte ich die Untersuchung ernstlich an Hand nehmen. Das Material bot mir wieder — wie im Frühjahr 1870 — die Fadenalge an den Springbrunnenbecken des Polytechnicums. Von dort wurden zu wiederholten Malen grössere Quantitäten der lebhaft vegetirenden und Schwärmsporen bildenden

Alge weggenommen und theils zur sofortigen Untersuchung benutzt, theils zur Kultur in Teller gebracht. Diese Algenzucht war für die Untersuchung durchaus nothwendig, aber nur so lange ein Leichtes, als die Witterung eine frostig kühle blieb, so dass man die Züchtungs-Objekte während Tag und Nacht vor den Fenstern des südwestlich gelegenen Zimmers belassen konnte, während andere Teller mit derselben Algenspecies im Zimmer selbst unter dem Einfluss einer wenig schwankenden Temperatur sich normal entwickelten. Schwieriger wurde die Aufgabe sofort, als einmal die frostige März- und Aprilwitterung einer milderen Frühlingswärme und dem intensiveren, lang andauernden Sonnenschein Platz machte. Mit dem Eintritt dieser für alle Pflanzen so wichtigen Momente gingen alsbald die seit Wochen in Tellern gezüchteten Algenwatten zu Grunde, so dass es nur mit grosser Sorgfalt gelang, einige Colonieen, auf deren Entwicklungsgeschichte ich besonderes Gewicht zu legen hatte, von Anfang März an bis zum Abschluss der ersten Kapitel dieser Arbeit gesund und wohlbehalten davon zu bringen. Während dieser kritischen Zeit gingen auch die zahllosen Fadenbüschel an den Wasserbecken des Springbrunnens zu Grunde. Ein glücklicher Zufall spielte mir aber das an anderer Stelle besser vegetirende Untersuchungsmaterial derselben Ulothrix-Art in die Hände. Ich entdeckte dieselbe Species in dem Brunnenbett des von Quellwasser gespeisten im Hofe des Universitäts-Gebäudes stehenden Brunnens, wo Ulothrix zonata nebst einigen andern Fadenalgen ziemlich stark vertreten war und sich selbst noch üppiger entwickelte, als an dem von Flusswasser gespeisten Springbrunnen vor dem Polytechnicum.

Diesen günstigen Verhältnissen und dem während eines vollen Jahres mit grosser Mühe, aber glücklichem Erfolge durchgeführten Culturversuche habe ich es zu verdanken, dass mir jederzeit alles wünschbare Untersuchungsmaterial in nächster Nähe zur Disposition stand, so dass ich während des ganzen Jahres den Entwicklungsgang dieser Alge verfolgen konnte.

Ich habe noch zu bemerken, dass im Verlaufe der nachfolgenden Kapitel die einschlägige Literatur über die Behandlung verwandter Materien und Fragen an passender Stelle angegeben ist. Die Arbeit von E. Strasburger über Zellbildung und Zelltheilung, in welcher sich einige sehr interessante Beiträge zur Entwicklungsgeschichte von Ulothrix zonata vorfinden, kam erst zur Ausgabe, als das Manuscript der vorliegenden Untersuchung

mit Ausschluss des letzten Kapitels schon längst in den Händen des Herrn Herausgebers der Jahrbücher für wissenschaftliche Botanik lag. Es wurde mir indess ermöglicht, nachträglich noch einige auf Strasburger's Arbeit bezügliche Anmerkungen und Zusätze einzufügen, was für die Vollständigkeit der hier zur Sprache kommenden Literatur wünschenswerth erscheinen musste.

Die Hauptresultate des ersten Theiles dieser vorliegenden Arbeit theilte ich in der bot. Section der 48. Versammlung deutscher Naturforscher und Aerzte in Graz (18—25. Septbr. 1875) mit. Man vergleiche das Tagblatt dieser Versammlung pag. 99 und 100, ebenso Bot. Zeitung 1875, pag. 737—739.

## I. Das Aussehen der Faden von *Ulothrix zonata* im reproductiven und vegetativen Zustand.

Die fraglichen Algenfaden bilden entweder langgestreckte Büschel, an denen das Brunnenwasser herniederläuft, oder sie erscheinen als schwimmende Watten, die im Brunnenbett von jedem Windstoss hin und hergetrieben werden, oder endlich: sie bilden am steinernen Brunnenbett, unter dem Wasserspiegel kleine hellgrüne Rasen und zwar so, dass die einzelnen Faden entweder senkrecht von der vertikalen Steinwand abstehen oder mit ihrem obern Theil gegen den Wasserspiegel emporstreben.

Vom Monat Februar an bis April und Mai finden wir bei *Ulothrix zonata*, aus den angegebenen Fundorten entnommen, folgende Faden-Typen:

a. Faden von perlschnurartigem Aussehen (Taf. I. Fig. 1 b.), deren Zellen tonnenförmig oder kugelig aufgetrieben und mit kleinen Schwärmsporen erfüllt sind. Dieser Typus ist im Februar und anfangs März der vorwiegende und verdient deshalb besondere Aufmerksamkeit. In schwimmenden Watten erscheinen diese Faden kurz vor Entleerung der Schwärmsporen hellgrün bis olivengrün, unter dem Mikroskop erkennen wir sie als spiralig gekräuselte, wirt durch einander liegende Zellreihen, oft ganz ähnlich gewunden, wie die spiraligen Drathfedern einer Matratze. Untersucht man solche *Ulothrix*-Faden am Vormittag, so wird man in der Regel kurz nach Sonnenaufgang (im Februar und anfangs März von 8—10 Uhr an, Mitte März bis Ende April schon von 6 oder 7 Uhr

an) den Austritt von zahlreichen kleinen Schwärmsporen, 8—16—32 und mehr aus einer Zelle, beobachten können. (Der Austritt der Schwärmsporen wird in einem folgenden Abschnitt beschrieben.)

Nebst den noch nicht entleerten Faden von diesem Typus findet man begreiflicherweise auch solche, die bereits alle oder doch einen grossen Theil ihrer Mikrozoosporen entleert haben (Taf. V. Fig. 2 a, Taf. VI. Fig. 3 und 4).

b. Gegliederte Faden mit Mikrozoosporen, die noch nicht reif sind. Die Gliederung des Fadens ist der Art, dass je 4 bis 8 bis 16 Zellen augenscheinlich eine gemeinsame Mutterzellmembran erkennen lassen (Taf. I. Fig. 1 a, und Fig. 4). Diese 4- bis 8- bis 16 zelligen Glieder sind am Faden durch seichte Einschnürungen gegen einander abgegrenzt, eine Erscheinung, die oft noch am entleerten Faden zu erkennen ist. Die Querwände zwischen den einzelnen Zellen dieser Fadenglieder sind oft noch gar nicht, oft nur undeutlich, erst in einem weiter vorgeschrittenen Stadium deutlich zu erkennen (Taf. I. Fig. 4). Auch ist der Inhalt der einzelnen Zellen eines und desselben Gliedes nicht immer gleichartig differenzirt. Während in den einen Zellen eines Gliedes der grüne plasmatische Inhalt in 8 oder 16 Portionen getheilt erscheint, bildet er in einer benachbarten Zelle nur zwei oder 4 Portionen, deren gegenseitige Lage in den verschiedenen Zellen desselben Gliedes auch eine verschiedene sein kann (Taf. I. Fig. 4). Dieser Fadentypus findet sich fast ausschliesslich in jenen Ulothrix-Colonien, die bis tief in den Sommer an günstigen Standorten ausharren oder durch sorgfältige Cultur erhalten bleiben. In allen von mir beobachteten Ulothrix-Colonien fand ich von Mitte Mai an nur noch diesen Typus repräsentirt.

c. Ungegliederte Faden mit Makrozoosporen. Ihre Zellen sind meistens mehr oder weniger aufgetrieben und enthalten nur wenige, 1, 2 oder 4 grosse Schwärmsporen, Makrozoosporen (Taf. II. Fig. 1 c, Fig. 2, 3 a b c d). Solche Faden, die ausschliesslich Makrozoosporen bilden, sind im Frühjahr verhältnissmässig selten, während des Winters dagegen vorwiegend, um mit dem Beginn der wärmern Jahreszeit andern Generationen Platz zu machen. Häufiger dagegen ist im Frühjahr folgender Typus:

d. Faden mit beiderlei Schwärmsporen, Makro- und Mikrozoosporen. In den verschiedenen Zellen bilden sich: 1, 2, 4, 8, 16, 32 und mehr Zoosporen. Ein glänzendes Beispiel dieser Art liefert der in Taf. VI. Fig. 1 a bis g dargestellte

Faden, ebenso Fig. 2 derselben Tafel. In der Aufeinanderfolge der Zellen mit Makro- und Mikrozoosporen lässt sich an solchen Faden keine Gesetzmässigkeit erkennen. Während in einer Zelle sich 4 grosse Zoosporen bilden, kann in der einen der zwei benachbarten Zellen eine grosse Zahl, 32 und mehr Mikrozoosporen entstehen, während die andere Nachbarzelle bloss 8 oder 16 Zoosporen bildet. Die Zellen solcher Faden sind zur Zeit der Sporen-Entleerung in der Regel etwas tonnenförmig aufgetrieben, was jedoch keineswegs immer beobachtet wird.

e. Junge Faden in vegetativer Entwicklung von glattem cylindrischem Aussehen, aus gleichartigen Zellen bestehend. Der Durchmesser variirt ungemein, ebenso die Länge der Zellen sowohl absolut als relativ. Wenn die einzelnen Zellen kürzer oder nur so lang sind, als der Querdurchmesser beträgt (Taf. I, Fig. 5a und 6a, Taf. VI. Fig. 1g), so bildet der grüne plasmatische Theil des Zellinhaltes einen vollständigen Cylinder-mantel, welcher die ganze Länge der cylindrischen Zellmembran einnimmt, ohne sich jedoch auf die Querwand auszubreiten, was — vorgreifend bemerkt — erst dann stattfindet, wenn die Zoosporen-Bildung eingeleitet wird. Besteht aber der junge Faden aus cylindrischen Zellen, deren Länge den Durchmesser übertrifft, so nimmt der grüne Plasmagürtel bloss den mittlern Theil, eine Zone der cylindrischen Zellmembran ein (Taf. I. Fig. 5b und 5c), so dass in jeder Zelle über und unter dem grünen Plasmagürtel je noch ein schmalerer oder breiterer Gürtel farbloser Membran zu sehen ist. In jedem grünen Plasmagürtel können etliche grosse kugelige Chlorophyllbläschen und sehr häufig auch deutlich ein farbloser oder graulich durchschimmernder wandständiger Zellkern gesehen werden: Taf. I, Fig. 5a, z k (man vergleiche auch Strasburger, Zellbildung und Zelltheilung pag. 93 u. 94). Der übrige Zellinhalt — innerhalb des Plasmaschlauches und des Chlorophyllgürtels — besteht aus einer wasserhellen Flüssigkeit. Schon Nägeli hat in seinem Werk, die neuern Algensysteme (1847, pag. 137) darauf aufmerksam gemacht, dass „in seltenern Fällen das Chlorophyll auch bloss in so geringer Menge in den Zellen vorhanden ist, dass es nur einen kreisförmigen oder elliptischen Fleck an der Cylinderfläche bildet.“ Derselbe Autor bemerkt rücksichtlich der Körner ganz richtig: „Ihre Zahl steht in direktem Verhältniss zur Grösse der Chlorophyllschicht; ist diese bloss ein kleiner Fleck, so liegt gewöhnlich mitten in demselben ein einziges

Korn. In einem schmalen Chlorophyllbände befinden sich meist zwei, in einem breitem 3—6 Körner. Um die Körner herum ist die sonst ziemlich dünne Chlorophyllschicht verdickt.“ Ich füge hinzu, dass das Gleiche von dem wandständigen farblosen oder grauen Zellkern gilt, von dem aus eine grauliche Plasmamasse sich in den Chlorophyllgürtel abflacht.

Dieser Fadentypus e. ist durch Uebergänge mit Typus a, c und d. verbunden, ja an demselben Faden erkennt man nicht selten Fragmente, die zum Theil aus vegetativen, zum Theil aus sporenbildenden Zellen bestehen (Taf. I. Fig. 6 a, b, c, d, Taf. II. Fig. 1, Taf. IV. Fig. 19 und Taf. VI. Fig. 1).

f. Junge gegliederte Faden, deren mehr oder weniger tonnenförmig aufgetriebene Glieder bestehen können:

aus zwei Zellen, Taf. I. Fig. 3 a, Fig. 2y'.

„ drei „ Taf. I. Fig. 2y''.

„ vier „ Taf. I. Fig. 2z z und Fig. 3 b.

„ 5—8 „ Taf. I. Fig. 3 b.

Es leuchtet sofort ein, dass diese Gliederung eine Folge ungleichen Wachsthums der Querwände und der cylindrischen Membranen ist und auf der succedanen Zweitheilung der Zellen beruht. Von diesem Fadentypus führen Uebergänge (Taf. I. Fig. 4) hin zum Typus b., das heisst zu gegliederten Zellfaden, die Mikrozoosporen bilden. In der That gibt es auch Faden, wo alle unter f. und b. beschriebenen Verhältnisse zu gleicher Zeit, nur in verschiedenen Höhen, beobachtet werden können.

Noch ist zu bemerken, dass man nicht selten Faden von dem einen oder dem andern Typus antrifft, die eine von den übrigen Zellen abweichende Fusszelle besitzen (Taf. II. Fig. 1 a, Taf. III. Fig. 5, Taf. V. Fig. 7 und Taf. VI. Fig. 1 g). Diese ist in der Regel beträchtlich lang, oft viel Mal länger, als die darauf folgende vegetirende Zelle, auch immer nach unten verjüngt. Die Fusszelle enthält ursprünglich ebenfalls grünes Plasma, das sich aber während des Längenwachsthums der Zelle sehr oft nicht vermehrt, sondern früher oder später abstirbt, indem es sich entfärbt. Die Fusszelle, wenn eine solche vorhanden, ist die einzige Zelle eines Ulothrixfadens, welche sich vor den übrigen Zellen durch ein besonderes Verhalten auszeichnet. Sie bildet, so weit meine bisherigen Untersuchungen darüber einen Schluss zulassen, niemals, wie die andern Zellen, Zoosporen, sondern dient augenscheinlich dem Zweck, die Faden an eine

Unterlage zu befestigen. Ihr unterster Theil ist — wie wir später bei der Betrachtung des Keimprocesses sehen werden — ein haarförmiges Haftorgan, das — zwar selten — sogar verzweigt ist. Es gibt indess auch Ulothrix-Faden, welche der Fusszelle durchaus entbehren; es sind jene Individuen, die, in grösserer Zahl neben einander in einer Mutterzelle keimend, aus gefangen gebliebenen Zoosporen hervorgehen, wie wir in einem spätern Kapitel über die Keimung sehen werden. Nägeli gibt an (Neuere Algensysteme pag. 137), dass die Wurzel von *Ulothrix zonata* zuletzt aus „einigen“ schmalen und langgestreckten Zellen bestehe. Ich habe während meiner mehrmonatlichen Untersuchungen, da mir Hunderte von Individuen aus allen Entwicklungsstadien zu Gesicht kamen, nur äusserst selten, nur ausnahmsweise Ulothrixfaden angetroffen, deren Wurzelstück aus mehreren langgestreckten schmalen und farblosen Zellen bestand, und auch in diesen wenigen Fällen machte mir die Erscheinung den Eindruck, als seien die meisten, d. h. die auf die wirkliche Fusszelle folgenden höher liegenden Wurzelzellen sämmtlich nicht anderes als frühzeitig langgestreckte und nicht mehr in die Dicke wachsende chlorophyllarme vegetative Zellen, die bei eingetretener Plasma-Armuth sich nicht weiter zu theilen vermochten, indess die darauf folgenden Zellen des Fadens freudig weiter assimilirten, in die Länge und Dicke wuchsen und sich wiederholt weiter theilten. Ich constatire, dass diese Erscheinung sich mir als Ausnahmefall erwies. (Vergl. Nägeli, Neuere Algensysteme, Taf. I. Fig. 52.)

Schliesslich habe ich in diesem Abschnitt noch der Dimensionen der Zellen zu gedenken. Ein Blick auf die verschiedenen dieser Abhandlung beigegebenen Tafeln wird sofort klar machen, dass die Dimensionen der vegetativen Zellen sowohl, als auch diejenigen der reproductiven Zellen ungemein variiren. Mit Ausnahme von Taf. I, Fig. 1 sind alle bisher citirten Figuren zu den verschiedenen Fadentypen in einerlei Vergrösserung, 482:1, mit Hülfe des Hartnack'schen Immersions-Systems No. 9 gezeichnet. Wohl nirgends weniger als bei *Ulothrix zonata* bietet das in Linien oder Mikromillimetern angegebene Maass ein brauchbares Merkmal für die Charakteristik der Species. Die grosse Anzahl der in den Kryptogamenflore aufgezählten *Ulothrix*-Species war nur erhältlich, wenn man die Dimensionen der Zellen, die Verhältnisse zwischen Länge und Dicke derselben und die Anordnung des grünen Plasma's, Gegliedertsein und Ungegliedertsein und dergl. Merkmale mehr als

leitende Momente bei der Eintheilung in Species gelten liess. Allein ohne Zweifel sind manche der bisher unter verschiedenen Species aufgezählten Ulothrix-Formen nichts anderes, als verschiedene Entwicklungsstadien und nach Ursprung und Zeugung verschiedene Individuen derselben Ulothrix-Species, wie aus der Darstellung der Entwicklungsgeschichte unserer Ulothrix zonata mit Evidenz hervorgehen wird. Die Sichtung des diesbezüglichen Materiales muss einer spätern Arbeit zugetheilt werden. Wer die Entwicklungsgeschichte von Ulothrix zonata hinreichend kennt, muss Nägeli beistimmen, der schon im Jahr 1847 in seinen „Neuern Algensystemen“ pag. 137 (Anmerkung 4) erklärte: „Kützing hat in der Phycologia germanica (pag. 196) achtzehn Arten von Ulothrix unterschieden, welche vorzüglich durch die Dicke der Fäden und die Länge der Glieder sich auszeichnen. Ich könnte Kützing nicht beistimmen, dass diesen Formen ein spezifischer Werth beigemessen werden dürfe. In einem Rasen finde ich häufig mehrere der Kützing'schen Arten beisammen, aber zugleich mit allen möglichen Mittelstufen.“ Dieser Ausspruch Nägeli's dürfte noch schärfer zur Geltung kommen gegenüber den mehr als 40 Ulothrix-Arten, die Kützing in seinem „Species algarum“, Leipzig 1849, aufzählte. Auch Rabenhorst zählt in seiner Kryptogamen-Flora 16 Species von Ulothrix auf. Ich wage — gestützt auf meine eigenen Beobachtungen — die Vermuthung auszusprechen, dass sämtliche Ulothrix-Species von Kützing, Rabenhorst u. A. auf einige wenige Formen zurückzuführen sind und constatire, dass das absolute Längen- und Dickenverhältniss der Zellfäden ein sehr problematisches Criterium der Species abgibt.

Dessen ungeachtet lasse ich hier einige Angaben über die Dimensionen der Zellen nach meinen eigenen Messungen folgen.

Die kraus durch einander liegenden, spiralig aufgewundenen, perlschnurartigen Fäden mit Mikrozoosporen (Typus a., Taf. I, Fig. 1b) haben folgende Grössenverhältnisse:

Querdurchmesser 18-20 Mikromm.; Länge der Zellen 5-13 Mikromm.

Verhältniss zwischen Querdurchmesser und Länge = 1:0,3—1:0,6.

Die gegliederten Fäden mit noch nicht völlig reifen Mikrozoosporen (Typus b., Taf. I, Fig. 1a und Fig. 4) haben folgende Dimensionen:

Querdurchmesser 14,5—21,7 Mkm.; Länge der Zellen 5—11 Mkm.

Verhältniss zwischen Durchmesser und Länge = 1:0,3—1:0,7.

Die Fäden von Typus c., vorwiegend mit Makrozoosporen

(Taf. II. Fig. 1, 2, 3) bestehen aus Zellen, die folgende Dimensionen besitzen:

Querdurchmesser 12-14 Mikromm.; Länge der Zellen 8-14 Mikromm.

Verhältniss zwischen Durchmesser und Länge = 1:1—1:0,6.

Hier finden wir vorwiegend isodiametrische Zellen, bei denen in der Regel der Querdurchmesser der Länge gleichkommt. Durch Halbierung einer etwas längern Zelle wird schliesslich das Verhältniss = 1:0,5 bis 1:0,6 hergestellt.

Die verschiedensten Dimensionen bieten die Zellen von Faden des Typus d. mit beiderlei Zoosporen (Taf. VI. Fig. 1a—g und Fig. 2).

Jene Verhältnisse sind z. B. bei dem üppig entwickelten Faden in Taf. VI. folgende:

Querdurchmesser 30-35 Mikromm.; Länge der Zellen 6,22-19,7 Mikromm.

Verhältniss zwischen Durchm. u. Länge der Zellen = 1:0,5—1:0,66.

Dabei macht sich durchaus keine Beziehung zwischen der Länge der Zellen und dem Inhalt derselben (ob Makro- oder Mikrozoosporen) geltend, so dass es Zellen gibt, deren Länge bloss ein Fünftel, andere, deren Länge zwei Drittel des Querdurchmessers ausmacht, gleichviel ob sie bloss 2 oder 4, oder aber 8, 16, 32 oder noch mehr Zoosporen enthalten. Einzig der Umstand ist in die Augen springend, dass an diesem interessanten Faden (Taf. VI. Fig. 1a—g) alle Zellen bedeutend kürzer sind, als ihre Querdurchmesser.

Dies Verhältniss scheint die allgemein gültige Regel darzustellen, die sich dahin präzisieren lässt: Alle reproductiven Faden von *Ulothrix zonata* bestehen im Stadium der Zoosporenbildung, -seien diese Fortpflanzungszellen Makro- oder Mikrozoosporen, aus Zellen, deren Länge um ein Beträchtliches hinter dem Durchmesser zurückbleibt.

Immerhin gibt es, wenn auch selten, Ausnahmen von dieser Regel, wie Fig. 2c und d in Taf. VI. zeigt, wo einige reproductive Zellen vorhanden sind, deren Länge genau dem Querdurchmesser entspricht.

Auf der einen der zwei im Frühjahr 1870 gezeichneten Tafeln von *Ulothrix zonata* finde ich sogar einen Faden mit reifen Mikrozoosporen dargestellt, bei welchen zwei auf einander folgende Zellen eine Länge von je 33,18 Mikromm. besitzen, während der Querdurchmesser bloss 16,5 Mikromm. beträgt, so dass wir hier ausnahmsweise das umgekehrte Verhältniss vor uns haben, nämlich Zellen mit reifen Zoosporen, die doppelt so lang sind, als der Durchmesser.

Sehr verschieden sind weiterhin auch die Dimensionen der Zellen an den Faden von Typus e, das heisst junger vegetirender Faden von glattem cylindrischen Aussehen (Taf. I. Fig. 5 a b c).

	Querdm. zwischen	Länge der Zellen.	Durchm. u. Länge.
Faden 5a. = 16,6 Mkmm.		12,4—18,6 Mikromm.	1:0,75 bis 1:1,12
Faden 5b. = 16,6 „		18,6—24,9 „	1:1,12 bis 1:1,5
Faden 4c. = 16,6 „		26,9—41,5 „	1:1,62 bis 1:2,5.

Dies letztere Verhältniss, wobei die Zellen  $1\frac{1}{2}$  bis  $2\frac{1}{2}$  Mal so lang erscheinen, als der Durchmesser beträgt, ist das extremste an vegetativen Faden beobachtete. Dabei sind natürlich die ausserordentlich langgestreckten Fusszellen, die 10—20 Mal länger werden können, als der Querdurchmesser, nicht berücksichtigt. (Vergl. die Fusszelle bei g in Fig. 1, Taf. VI., ebenso die Fusszellen der Keimlinge in Taf. III. und V.)

Innerhalb der oben angeführten Verhältnisse bewegen sich auch die Dimensionen der Zellen von dem Faden-Typus f. (Taf. I. Fig. 3 a, b und Fig. 4.)

Es ist einzig noch zu bemerken, dass in gegliederten Faden, bei denen die Zerklüftung des Plasmas zum Zwecke der Schwärm-sporenbildung bereits begonnen hat, die Theilung der Gliederzellen so rasch erfolgt, dass die Zoosporen-Mutterzellen unmittelbar nach der Theilung sogar zwei bis drei Mal kürzer sind, als der Querdurchmesser (Taf. I. Fig. 4).

Viel geringer als alle die angeführten Dimensionen sind die Längenverhältnisse bei den Keimlingen, welche aus Mikrozoosporen hervorgingen und erst eine geringe Anzahl von Zellen gebildet haben (Taf. I.). Diese Keimlinge werden aber leicht als solche erkannt, so dass ich von der Angabe der Dimensionen abstrahire, um so mehr, als diese letzteren für die Ulothrix-Arten kaum als Charaktermerkmal benützt werden können.

Fassen wir die aus diesen Angaben zu ziehenden Argumente zusammen, so ergibt sich:

- 1) Ausgewachsene, Zoosporen bildende Faden von *Ulothrix zonata* besitzen einen Durchmesser von 12,5 Mikromm. (Taf. IV. Fig. 19) bis 35 Mikromm. (Taf. VI. Fig. 1 a—g.)
- 2) Die Zellen, welche Zoosporen bilden, sind zur Zeit ihrer Entleerung in der Regel kürzer, oft bloss halb so lang, manchmal bloss ein Drittel bis ein Fünftel so lang als dick.

Sehr selten sind Länge und Dicke einander gleich, in den seltensten Fällen übertrifft die Länge der Zoosporen-Mutterzellen den Durchmesser.

- 3) Das Längenverhältniss der Zellen variirt während der vegetativen Entwicklung derart, dass der Querdurchmesser der Zellen bald grösser ist, als die Länge, bald aber hinter der Länge bedeutend zurückbleibt. An Zellen bloss vegetirender Faden schwankt das Verhältniss zwischen Durchmesser und Länge von 1 : 0,25 bis 1 : 2,5.<sup>1)</sup>

Die Faden selbst, d. h. die ganzen Individuen — wenn wir nämlich nicht jede einzelne Zelle als Individuum auffassen — können mehrere Centimeter lang werden. Am Springbrunnen vor dem Polytechnicum in Zürich kann man im Februar und März 10 bis 20 Centimeter lange Fadenbündel von den Wasserbecken herniederhängen sehen. Am 27. März 1876 habe ich an genannter Stelle Ulothrix-Faden abgenommen, welche in Büscheln von 30—50 Ctm. Länge die üppigste Entwicklung zeigten, welche ich bis jetzt an dieser Alge wahrgenommen habe. Der in Fig. 1 a—g Taf. VI. dargestellte Faden misst ca. 2 Centimeter. Andere Zoosporen-bildende Faden wurden beobachtet, die nur einige Millimeter lang waren.

## II. Längen- und Dickenwachsthum der Zellreihen.

### a. Das Längenwachsthum

der Faden von *Ulothrix zonata* ist ein intercalares, d. h. allseitiges, jede Zelle des ganzen Fadens in Anspruch nehmendes. Alle Zellen, vom Scheitel bis zum Fuss des Fadens, verhalten sich gleich; sie strecken sich im vegetativen Zustand so lange, bis ihre Länge dem Querdurchmesser gleichkommt, oder diesen übertrifft. Dabei zieht sich der grüne Plasma-Gürtel von den beiden an die Querwände grenzenden Partien der cylindrischen Zellmembran auf eine Zone

1) Kützing hat in seiner *Phycologia generalis*, Taf. 80, (1843) verschiedene Entwicklungsstadien von *Ulothrix zonata* ganz musterhaft dargestellt. Die Verhältnisse zwischen Länge und Dicke der Fadenzellen bewegen sich aber dort nicht innerhalb der oben angeführten Extreme, so dass bei seiner Diagnose von *Ulothrix zonata* in der *Phycologia germanica* 1845 pag. 196 der Ausdruck: „Glieder so lang als der Durchmesser“ und in seinen *Species algarum* 1849 dieselbe Angabe („diam. ad  $\frac{1}{60}$ “; „articulis diametro aequalibus“) zum Theil erklärbar ist. Indessen enthält die genannte Tafel von Kützing auch ein Fadenfragment (Fig. 16), bei welchem der Durchmesser kaum mehr als die Hälfte der Zelllänge ausmacht. [Vergl. auch die Angaben von Nägeli (Neuere Algensysteme pag. 137) und Alex. Braun (Die Verjüngung, pag. 159) über die Zelldimensionen von *Ulothrix zonata*].

der letztern zurück und zwar so, dass der grüne Plasmagürtel die mittlere Partie der cylindrischen Wand occupirt, niemals über und unter der halben Zelllänge situirt ist, ausgenommen bei den langgestreckten Fusszellen kräftig vegetirender, erst aus einer geringen Zahl von Zellen bestehenden Keimpflanzen, wo der grüne Plasmagürtel, wenn er überhaupt noch vorhanden ist, oft im obern Theil der Fusszelle eine Querzone bildet (Taf. III. Fig. 2, 4, 5, Taf. V. Fig. 4). Sehr früh und ganz regelmässig macht sich diese gürtelförmige Anordnung des grünen Plasma's während des Längen-Wachsthums in den Zellen solcher Keimpflänzchen geltend, welche aus Makrozoosporen hervorgehen (Taf. III, Fig. 1, 2, 3, 4), während sie erst später bei jenen Keimlingen auftritt, welche aus Mikrozoosporen hervorgehen, die sich nicht copulirten, sondern sofort keimten, und zwar gilt dies sowohl von den in der Mutterzelle keimenden Mikrozoosporen-Abkömmlingen, als auch von jenen, die aus nicht copulirten wirklichen Schwärm-sporen entstehen. Bei jungen Zellfaden der letztern Kategorie nimmt der grüne Plasma-Gürtel die ganze Länge der cylindrischen Zellmembran ein, auch wenn die Länge der Zelle den Durchmesser überragt (Taf. I. Fig. 2). Es wurde dies namentlich an den gegliederten Faden beobachtet; allein auch bei diesen nimmt schliesslich, nachdem das Individuum eine beträchtliche Länge erreicht hat, der grüne Plasma-Gürtel nur noch einen Theil der cylindrischen Membran ein.

Hat die Zelle eine gewisse Länge erreicht, so wird sie durch eine Querwand in zwei gleich grosse Tochterzellen halbirt und zwar so, dass der grüne Plasma-Gürtel der Mutterzelle dabei in zwei ähnliche Portionen getheilt wird, von denen jede sich rasch auf die mittlere Partie der cylindrischen Längswand der Tochterzelle zurückzieht, es sei denn, dass der Plasmagürtel der Mutterzelle bei der Theilung die ganze Länge der Cylinderwand occupirt habe (Taf. I. Fig. 3a und 5a). Sehr gut gezeichnet und auch richtig gedeutet sind diese Zelltheilungsvorgänge und die damit verbundene Differenzirung des grünen Plasma's bei *Ulothrix zonata* in der „*Phycologia generalis*“ von Kützing (Taf. 80, Fig. 1, 2, 3 und 16), welche Darstellung mir erst geraume Zeit nach der Anfertigung meiner Tafeln zu Gesicht kam. Kützing's eben angeführte Figuren stimmen mit den entsprechenden Figuren meiner Tafeln so vollständig überein, dass sich beide Darstellungen gegenseitig ergänzen und verificiren. Dagegen muss ich schon an dieser

Stelle bemerken, dass andere Figuren der gleichen Kützing'schen Tafel meinen eigenen Beobachtungen nicht conform sind und auch manche Partien der Kützing'schen Darstellung im Text zu jener Tafel nach meiner Ansicht einer Correctur bedürfen, wie wir in der Folge sehen werden.

Ueber die Rolle, welche der wandständige, halbkugelige Zellkern bei der Theilung der vegetativen Mutterzellen spielt, hat Strasburger in seiner letzten Arbeit über „Zellbildung und Zelltheilung“ (pag. 93 und 94) ausführlich Bericht erstattet, so dass ich an dieser Stelle darauf verzichten kann, die Details des Theilungsprocesses zu recapituliren. Ich habe bloss die Bemerkung hinzuzufügen, dass man keineswegs in allen vegetativen Ulothrixzellen einen Zellkern findet, sondern dass dieser häufig fehlt. Ob ein solcher kurz vor oder während des Theilungsprocesses in allen vegetativen Zellen vorhanden ist, oder ob die Zelltheilung bei der einen oder andern Faden-Categorie ohne die Anwesenheit eines Zellkernes stattfinden kann, wage ich nicht zu entscheiden.

Die Tochterzellen entwickeln sich nach der Theilung so weit, bis sie die Organisationsstufe der Mutterzelle erreicht haben, um sich dann ebenfalls zu theilen.

Indem sich abwechselnd Zellstreckung und Bildung neuer Querwände folgen, wächst der Faden rasch in seiner ganzen Länge, indess die Fusszelle oft längere Zeit ungetheilt bleibt und in der Regel dann bloss an der Streckung participirt. Bei dieser Streckung der Fusszelle bleibt die Weiterbildung und Differenzirung des grünen Plasmas zurück, so dass letzteres nur einen kleinen Bruchtheil der Zellmembran bekleidet (Taf. VI. Fig. 1g) oder schliesslich ganz degenerirt und verschwindet (Taf. III. Fig. 4 und 5). Dieses frühe Zurücktreten der Fusszelle vom Zelltheilungsprocess des Fadens findet aber keineswegs immer statt. In sehr vielen Fällen theilt sich die Fusszelle wiederholt eben so lange, als jede andere Zelle desselben Fadens.

Meine Beobachtungen an *Ulothrix zonata* gestatten ebenfalls keiner andern Ansicht Raum, als dass die Zelltheilung meistens während der Nacht vor sich gehe. Jedoch kann ich nicht verhehlen, dass manche Thatsachen darauf hindeuten, dass die Bildung von neuen Querwänden auch am frühen Morgen unter der Einwirkung des Tageslichtes vor sich geht. Aehnliches hat Pringsheim und neuerdings auch Strasburger an *Spirogyra* beobachtet. Letzterer (Zellbildung und Zelltheilung, pag. 93 u. 94) beschreibt die Zell-

theilung bei Ulothrix, wie er sie in den Vormittagsstunden beobachtete.

An jungen lebhaft vegetirenden Faden folgen die Zelltheilungen und Streckungen so rasch auf einander, dass die Ausdehnung der Querwände ursprünglicher Mutterzellen mit dem Wachsthum der Cylinderwände der Tochterzellen nicht gleichen Schritt hält, wobei an den Faden jene Einschnürungen resultiren, die die ganze Zellreihe aus 2- bis 4- bis 8- oder mehrzelligen Gliedern zusammengesetzt erscheinen lassen (Taf. I. Fig. 2, 3, 4). Jedes dieser 2- und mehrzelligen Glieder entspricht einer ursprünglichen Mutterzelle, die durch succedane Zweitheilungen in einer grössern oder geringern Zahl von Gliederzellen aufging. Sind die Faden schon beträchtlich dick, so erscheint die Cylinderwand der ganzen Länge des Fadens nach scheinbar aus zwei Membranen bestehend (Taf. I. Fig. 3, 4; Taf. VI. Fig. 1a—g) was dort um so deutlicher hervortritt, wo die Glieder aus 4—8 Zellen bestehen und jede Tochterzelle das Bestreben kundgibt, sich so gut als möglich abzurunden. Ueber den Bau der aus drei Membranschichten bestehenden Zellwand von Ulothrix gibt Strasburger (l. c. pag. 65 bis 69) Aufschluss.

Alex. Braun hat in seiner „Verjüngung in der Natur“ pag. 158, 159 Ulothrix zonata als Beispiel einer Fadenalge mit „unzweifelhaft terminaler Fortbildung der Zellreihe (zellbildendes Spitzenwachsthum)“ angeführt. Meine Beobachtungen an derselben Alge widersprechen der Braun'schen Darstellung, nach welcher der junge Ulothrix-Faden lange Zeit bloss mit einer sich fortwährend streckenden und succedan theilenden Scheitelzelle in die Länge wachsen soll. Braun spricht der Wurzelzelle und den zunächst auf sie folgenden Gliederzellen das Vermögen ab, sich weiter zu theilen; auch sollen sie unfruchtbar sein (l. c. pag. 159); „die folgenden Gliederzellen dagegen theilen sich, nachdem sie ungefähr die doppelte Länge ihres Querdurchmessers erreicht haben, in zwei gleichwerthige Zellen, also in Zellen zweiter Ordnung zweiter Generation, wodurch, da keine weitere Längendehnung mehr eintritt, Zellen entstehen, welche ungefähr gleiche Länge und Breite haben. Noch weiter nach vorn, also im dickern Theil des Fadens, wiederholt sich diese Theilung noch ein bis zweimal, so dass Zellen zweiter Ordnung dritter oder vierter Generation entstehen, welche nur  $\frac{1}{2}$  bis  $\frac{1}{3}$  mal so lang als breit sind.“ Schon aus Kützing's Figuren (Taf. 80 der Phycol. gen.), noch viel deutlicher aber aus meinen dieser

Arbeit beigegebenen Tafeln geht hervor, dass das Längenwachsthum der Faden von *Ulothrix zonata* ein intercalares, allseitiges ist. (Vergl. unten das Kapitel über die Keimung.)

#### b. Das Dickenwachsthum

ist bei ältern Faden, die aus einer beträchtlichen Zahl von Zellen bestehen, im Ganzen und Grossen ebenfalls ein allseitiges, d. h., die meisten Faden von *Ulothrix zonata* wachsen der ganzen Länge nach gleichmässig in die Dicke; wiederum bleibt die langgestreckte Fusszelle ausgenommen, deren unterster hyaliner Theil eher einem Wurzelhaar als einer normal entwickelten Fadenzelle gleicht, während der obere Theil derselben Fusszelle ebenso lang in die Dicke wächst, als die zunächst darauf folgende vegetative und mit einem Plasmagürtel versehene Fadenzelle.

Auffallend gesetzmässig geht das allseitige Dickenwachsthum bei jenen *Ulothrix*-Faden vor sich, die aus Makrozoosporen hervorgehen (Taf. II. und III.). Die Faden sind fast der ganzen Länge nach gleich dick, nur gegen die Fusszelle hin — namentlich in jüngern Stadien — etwas verjüngt. Anders verhält es sich bei manchen Faden, die aus nicht copulirten Mikrozoosporen hervorgehen, nachdem diese geschwärmt haben und zu keimen vermögen. Dort finden wir jene gegliederten Individuen, die ich oben (Abschnitt I.) unter Fadentypus f. angeführt habe, bei denen nicht alle Stellen des Fadens von gleichem Durchmesser erscheinen, sondern regelmässig auf einander folgende oft in zwei Graden abgestufte Einschnürungen beobachtet werden (Taf. I. Fig. 2, 3, 4). Diese letzteren sind, wie schon bemerkt worden, die Folge eines langsameren Wachsthumprocesses der Querwände, wobei die rascher sich dehnenden cylindrischen Längswände an allen jenen Stellen in tangentialer Richtung gehemmt und daher zur Bildung gürtelförmiger Einschnürungen gezwungen werden. Diese Einschnürungen werden meist durch nachträgliches Wachsthum der betreffenden Querwände wieder verwischt, so dass sie zur Zeit der Sporen-Entleerung sehr oft nicht mehr beachtet werden.

Aus diesen Facta geht hervor, dass Alex. Braun ohne Zweifel nur ganz junge Individuen (Zellreihen) gesehen hatte, als er zu dem Schlusse kam: „Die einmal gebildeten Fäden von *Ulothrix zonata* wachsen nicht weiter in die Dicke, nehmen jedoch von der Basis nach der Spitze hin in der Art allmählig an Dicke zu, dass die vorderen Theile oft 3—4 Mal dicker erscheinen, als die hinteren,

der Wurzel näher liegenden.“ (Verjüngung, pag. 159.) Aus meiner Untersuchung resultirt, dass auch die der Fusszelle zunächst liegenden Fadenzellen nachträglich noch so stark in die Dicke wachsen, dass sie — die anfangs beträchtlich dünner waren, als die oberen scheidelsichtigen Fadenzellen — schliesslich denselben Querdurchmesser besitzen, wie alle übrigen Zellen desselben Fadens.

### III. Zoosporen-Bildung.

Nachdem ich alle möglichen Stadien der Entwicklung von Ulothrix-Faden untersucht und in zahlreichen, mit Hilfe des Prismas angefertigten Zeichnungen fixirt habe, bin ich im Falle, von der Zoosporen-Bildung folgende Darstellung, die in manchen Punkten von all den bisherigen Darstellungen über den gleichen Process bei Ulothrix wesentlich abweicht, zu geben.

Die Bildung der Zoosporen beginnt bei den genügend entwickelten Faden in der Regel am Scheitel und schreitet von da successive gegen das Basalstück, resp. gegen die Fusszelle vor, ohne diese selbst in Mitleidenschaft zu ziehen. Wohl habe ich in unmittelbar über dem Fuss liegenden Zellen Zoosporen entstehen und ausschlüpfen gesehen, niemals aber in der Fusszelle selbst Zoosporen beobachtet (Taf. I. Fig. 6 a, b. c. d.), Taf. II. Fig. 1 a. b. c. d und Taf. VI. Fig. 1 a—g). Mit diesem Zoosporen-Bildungsprocess, der also in basipetaler Richtung vorschreitet, wie dies an solchen Faden, die eine langgestreckte Fusszelle wirklich besitzen, beobachtet werden kann, geht parallel auch die successive Entleerung der einzelnen Zellen des Fadens, die aber keineswegs eine ausnahmslose gesetzliche Strenge beibehält. Allerdings lässt sich leicht constatiren, dass die Entleerung längerer auf einander folgender Fadenstücke im Grossen und Ganzen in basipetaler Folge vor sich geht, allein wir können doch nicht selten Faden finden, bei denen tiefer stehende Zellen sich früher entleeren, als höher stehende (Taf. II. Fig. 1 a. b. c. d.; Taf. IV. Fig. 19 a. b.; Taf. VI. Fig. 1 a—g).

Die Einleitung zur Zoosporenbildung gibt sich dadurch zu erkennen, dass der grüne Plasmagürtel der in lebhafter Theilung begriffenen vegetativen Zellen sich mehr und mehr verbreitert, bis er die ganze Länge der cylindrischen Zellwand einnimmt und

oben und unten auf die Querwände überbiegt, bis er schliesslich auch diese letzteren ganz bedeckt und somit aus einem gürtelförmigen Band zu einer vollständigen Auskleidung der ganzen Innenwand der Zelle geworden ist. (Vergl. auch Strasburger, l. c. pag. 154.) Es tritt dieser Process ganz besonders deutlich an Fig. 6 a und b in Taf. I., sodann an Fig. 1 a und b in Taf. II, wo zwei aufeinander folgende Stücke desselben Fadens gezeichnet sind, und endlich an Fig. 19 a in Taf. IV. hervor.

Von da an verhalten sich nun die Zellinhalte verschieden, je nachdem bloss 1 oder 2, 4, 8, 16, 32 und mehr Zoosporen entstehen sollen.

Im ersteren Falle, bei der

Bildung einer einzigen grossen Zoospore

sucht sich der Zellinhalt alsbald abzurunden, die einzelnen Zellen schwellen mehr oder weniger tonnenförmig an und verleihen dem Faden in höherem oder geringerem Grade das Aussehen einer Perlschnur (Taf. II. Fig. 1 c., Fig. 2 und Fig. 3 b.). Nachher sieht man die grünen Plasmamassen sich in dickeren Lagen auf einen Theil der Innenwand der Zelle concentriren, während an andern Stellen die in der Regel an dem cylindrischen Theil der Zellmembran, nicht aber an den Querwänden beobachtet werden, das grüne Plasma nach und nach zurücktritt und dort der abgerundete Zellinhalt farblos erscheint. Zuletzt beobachtet man an einer peripherischen Stelle des Zellinhaltes, meist an der Grenze der grünen Plasmapartie (Taf. II. Fig. 2.), also am Rande des hyalinen Feldes der Kugelfläche einen rothen langgestreckten Fleck, dessen Längsaxe, so viel ich bis jetzt beobachtet habe, meistens mit den Querwänden der Mutterzelle parallel verläuft. Es ist dies der „rothe Punkt“, „Augenpunkt“, der bei den meisten chlorophyllhaltigen Zoosporen beobachtet wurde. Ist dieser gebildet, so ist auch die Makrozoospore auf jenem Stadium angelangt, wo sie der Befreiung harret. Die letztere wird unten in einem besondern Abschnitt besprochen. Meines Wissens hat keiner der bisherigen Beobachter bei *Ulothrix zonata* die Bildung einer einzigen Zoospore bemerkt. Auch Strasburger (Zellbildung und Zelltheilung) spricht nicht hiervon, sondern behandelt bloss die Bildung von 2—8 Makrozoosporen, bemerkend, dass er bezüglich der Bildung der Mikrozoosporen auf die Arbeit Cramer's (Entstehung und Paarung der Schwärmsporen) verweisen müsse. Nachdem ich die

Wintergenerationen von *Ulothrix zonata* während allen Monaten vom November an bis zum März in fortwährend frisch gesammeltem Material (vom Springbrunnen) beobachtet habe, erübrigt mir, hier beizufügen, dass die Bildung einer einzigen Zoospore in einer Mutterzelle vorwiegend an solchen Faden beobachtet wird, die in der grossen Mehrzahl ihrer Zellen zwei Zoosporen erzeugen, während ich niemals einen Faden zu Gesicht bekam, der in seinen Zellen ausschliesslich bloss einzelne Zoosporen bildete. Die Bildung einer einzeln entstehenden Zoospore ist daher ein relativ seltener Fall, woraus sich erklärt, warum diese Erscheinung bis jetzt übersehen wurde. Sie unterbleibt an der von mir beobachteten *Ulothrix*-Form in der wärmeren Jahreszeit vollständig.

#### Bildung zweier (Makro-) Zoosporen.

Bei der Bildung zweier (Makro-) Zoosporen in einer und derselben Mutterzelle sehen wir die grünen Plasmapartien sich der Hauptmasse nach erst an die obere und untere Querwand zurückziehen, so dass diejenige Partie der cylindrischen Zellmembran, welche früher den grünen Plasmagürtel trug, nun am hellsten erscheint, während die obere und untere Hälfte der Zelle eine dichtere Masse kappenförmig angeordneten Plasmas besitzt, das im optischen Längsschnitt (in der medianen Längsansicht) als hufeisenförmiger Wulst von der Querwand aus gegen die Mittelzone der Cylinderwand sich öffnet (Taf. II. Fig. 1bb" und Taf. III. Fig. 4x). Bald darauf biegen die Schenkel der zwei gegen einander geöffneten Hufeisen auf den Aequator der Cylinderwand über und bilden dort entweder einen vollständigen oder nur fragmentarischen Gürtel lebhaft grünen Plasmas; oder aber: es ändern die zwei kappenförmig angeordneten grünen Plasmapartien ihre Lage der Art, dass sie zum grössten Theil sich auf der einen Hälfte der cylindrischen Zellmembran ausbreiten und von der Seite gesehen ihre Hufeisenschlenke einerseits an die obere und untere Querwand, anderseits mitten und quer über die cylindrische Membran vorschieben (Taf. I. Fig. 6 c. d.).

Hierauf folgt die Bildung eines vollständigen Diaphragmas mitten und quer durch die cylindrische Zelle, wodurch der ganze Zellinhalt in zwei geschlossene Massen, die scharf gegen einander abgegrenzt sind, getheilt wird, welche die beiden Makrozoosporen darstellen. Strasburger, l. c. pag. 154, nennt diese beiden Plasma-Massen kurzweg „Zellen“. Er sagt von der Bildung der-

selben: „Ueberzieht die Chlorophyllschicht nur als dicker Beleg die Wände, so schreitet die Anlage der Hautschicht zwischen den beiden werdenden Zellen, wie auch sonst (bei der Theilung der vegetativen Zellen) ringförmig beginnend, von der Peripherie nach innen fort, der Unterschied ist nur, dass keine Cellulose-Membran gleichzeitig ausgeschieden wird, oder doch wenigstens nicht zur Membran erhärtet. In den seltenern Fällen, wo die Chlorophyllplatte quer durch die Zelle in der Ebene der Theilung ausgespannt ist, kann die Bildung der Hautschicht in dieser simultan vor sich gehen.“

Strasburger sah auch wiederholt in den beiden durch Theilung gebildeten „Zellen“ Zellkerne, „zum Beweis, dass der Zellkern der Mutterzelle sich ebenfalls getheilt und seine beiden Hälften sich in gewohnter Weise differenzirt hatten.“ Er fügt indess hinzu, dass er freilich Zellkerne in den zwei fertigen Makrozoosporen einer Mutterzelle nicht erblicken konnte, was ich nach neuerdings angestellten Untersuchungen begrifflich finde, da bei den vielen hundert Makrozoosporen, die — je zu zwei in einer Mutterzelle entstanden — mir zu Gesicht kamen, bei ihrem Platzen kurz nach dem Austritt aus der Mutterzelle, nie ein Zellkern zu sehen war.

Jede Zoospore erhält im letzten Bildungsstadium noch den rothen Pigmentfleck („Augenpunkt“) der meistens an einer der Querwand der Mutterzelle zugekehrten Partie der Makrozoospore entsteht.

Strasburger (l. c. pag. 155) bemerkt übereinstimmend mit meinen Beobachtungen, das der „rothe Strich“ gewöhnlich an den beiden von einander abgekehrten Flächen der Schwesterschwärm-sporen sich zeige, viel seltener an der zugekehrten Fläche, „nie aber etwa in der einen Zelle (Makrozoospore) hier, in der andern dort.“

Unmittelbar vor dem Austritt der zwei Makrozoosporen erscheint die grösste Masse des grünen Plasma's auf der einen Seite der Cylinderwand der Mutterzelle, während die hellere hyaline Partie der Makrozoosporen der diametral gegenüberliegenden Portion der cylindrischen Wand zugekehrt erscheint (Taf. I. Fig. 6, Taf. II. Fig. 3 b. c. d.). Dabei muss auffallen, dass die Makrozoosporen, wenn sie in den Zellen eines Fadens zu zweien entstehen, keineswegs im gleichen Sinne angeordnet erscheinen. Wohl gilt dies von den zwei in einer und derselben Mutterzelle liegenden Makrozoosporen; beide sehen mit dem hyalinen Ende nach derselben

Seite. Aber die Makrozoosporen der auf einander folgenden Zellen desselben Fadens sind nach verschiedenen Richtungen des Horizontes geordnet. Denken wir uns den sporenbildenden Faden aufrecht vor uns stehend, so sind die Makrozoosporen-Axen (vom grünen hintern Pol durch das vordere hyaline Ende gehend) in den einen Zellen von Süd nach Nord, in den andern Zellen von Ost nach West gerichtet. Jedoch muss ich beifügen, dass mir ein gesetzmässiger Wechsel in dieser Anordnung nicht auffiel, wohl aber, dass der Anordnung der Makrozoosporen entsprechend auch die Entleerung derselben von der Fadenaxe aus nach verschiedenen Richtungen vor sich geht.

Es mag hier auch die passende Stelle sein, zu bemerken, dass es Ulothrixfaden gibt, die in ihren Zellen regelmässig nur zwei Makrozoosporen bilden, dass aber auch solche angetroffen werden, bei denen in den einen Zellen nur 1, in den andern Zellen zwei Makrozoosporen entstehen, dass aber auch im letztern Falle kein gesetzmässiger Wechsel zu beobachten ist. Meine Schülerin, Fräulein Carolina Port, stud. phil. traf bei der Untersuchung einer Draparnaldia zufällig einen Ulothrix-Faden, an dem auf einer Strecke successive auf einander folgten: erst eine Reihe von Zellen mit je 1 Makrozoospore, dann zwei Zellen mit je 2 Zoosporen, dann 4 Zellen mit je einer, hierauf vier Zellen mit je zwei Makrozoosporen, worauf entleerte Zellen folgten und hernach wieder Zellen mit bald 1, bald 2 Makrozoosporen. Die Bildung von zwei Makrozoosporen findet vorwiegend in der rauhen Jahreszeit statt, dagegen nicht im vorgerückteren Theil des Frühlings oder im Sommer. Massenhaft beobachtete ich sie in den Monaten November, December, Januar, Februar und Anfang März, da die Ulothrixbündel sehr häufig und oft sehr lange Zeit in starren Eiszapfen eingefroren waren.

#### Bildung von vier Makrozoosporen.

Die Bildung von vier Makrozoosporen ist eine weitergehende Zerklüftung des plasmatischen Inhaltes der Mutterzelle und kam bei der von mir untersuchten Ulothrix weniger häufig vor, als die Bildung zweier Makrozoosporen. Am häufigsten beobachtete ich sie ebenfalls während der Wintermonate, vom November bis März, namentlich gegen das Frühjahr hin, im Januar und Februar.

Vor allem aus ist zu bemerken, dass die Masse des grünen chlorophyllhaltigen Plasmas in solchen Zellen, welche mehrere

Zoosporen bilden, mehr vorwiegt, als in bloss vegetativen Zellen oder selbst in Mutterzellen von einer einzigen, oder bloss 2 Makrozoosporen. Sodann gilt auch hier dasselbe Gesetz, dass die grünen Plasmapartien des Zellinhaltes sich stets längs der Innenwand der Zelle anordnen, so dass die wässerigen Inhaltspartien das Centrum der Zelle einnehmen. Auch sprechen alle meine bisherigen Beobachtungen dafür, dass die ganze wandständige grüne Plasma-Masse der Mutterzelle sich zuerst in horizontaler, zur Längsaxe des Fadens senkrechter Richtung in zwei Parteien theilt, ganz so, als ob nur zwei Makrozoosporen entstehen sollten. Hierauf folgt eine nochmalige Zerklüftung des Plasmas in anderer Richtung, nämlich in der Richtung der Längsaxe des Fadens (vergl. Taf. VI. Fig. 2 a und bei Fig. 2 c die oberste Zelle, sowie mehrere Zellen in Fig. 1 f bei k, woselbst sich aber der Einfluss des Glycerins in der Verschiebung mancher Zoosporen bei der Contraction geltend machte). Hiermit stimmt die Angabe Strasburger's (l. c. pag. 155), dessen Arbeit längere Zeit nach Abfassung dieses Capitels erschien, überein, wenn er sagt: „Sollen mehr als zwei Schwärm-sporen sich bilden, so theilen sich die beiden Schwesterzellen (die Produkte der ersten Theilung des plasmatischen Inhaltes der Mutterzelle) vor der Bildung der rothen Striche noch einmal unter rechtem Winkel zu der ersten Theilung und zwar entweder beide in derselben Ebene oder, wie gewöhnlich, über's Kreuz. Die Theilung selbst kann von der Peripherie nach Innen vorschreiten, oder sie geschieht, wie gewöhnlich, simultan in einer zuvor gebildeten Protoplasmplatte. In diesen Platten kann man dann auch stets wieder die Trennung durch schwarze Punkte eingeleitet sehen.“ — Allerdings können die 4 Plasmaportionen bei dem Bestreben, sich abzurunden, auch in der lebenden Zelle schliesslich so verschoben erscheinen, dass sie leicht zu dem Schlusse Anlass geben, es sei die Zerklüftung des Plasmas in zufälliger Richtung, ja vielleicht von Anfang an nur in der Richtung der Längsaxe des Fadens (statt erst senkrecht zu dieser) erfolgt, so dass die 4 Zoosporen, statt in zwei Etagen über einander liegend, alle in einer Horizontal-Ebene angeordnet sind.

Nägeli (Die neuern Algensysteme 1847) gibt eine andere Darstellung der Theilungsvorgänge des Zellinhaltes. „Die Zellen theilen sich durch eine gewöhnlich senkrechte Wand in zwei Tochterzellen, von denen jede wieder, wie die Mutterzelle entweder ganz mit grünem Inhalt erfüllt, oder an der Wandung überzogen ist. Jede

der beiden Tochterzellen theilt sich wieder und zwar nun gewöhnlich durch eine horizontale Wand. Diese Theilung wiederholt sich 1, 2, 3, 4 Mal, so dass aus einer Gliederzelle bald bloss 4, bald bis auf 10 und 20 Zellen gebildet werden. Jede dieser Zellen ist eine Keimzelle.“ (l. c. pag. 138.)

Auch Alex. Braun gibt eine Darstellung des Zoosporenbildungsprocesses, die mit meinen Beobachtungen nicht übereinstimmt. Er sagt (Verjüngung in der Natur 1851, pag. 171): „Mit dem Eintritt der Fructification tritt ein neues Theilungsgesetz ein, nämlich eine successive Theilung des Zellinhaltes in den 3 Richtungen des Raumes, beginnend mit zwei rechtwinklig sich kreuzenden senkrechten Theilungen, welchen eine horizontale und wenn es dabei nicht bleibt, abermals eine senkrechte Theilung folgt. Diese Theilungen folgen so rasch auf einander, dass es nur selten gelingt, die ersten Theilungen ohne die letzten zu sehen.“

Meine diesbezüglichen Beobachtungen und Notizen (incl. Zeichnungen) bieten mir nicht das hinreichende Material, gegenüber den zwei angeführten Autoritäten die Frage der Plasmatheilung hier vollständig abzuthun. Ich glaube aber, dass — abweichend von der Nägeli-Braun'schen Ansicht — die erste Theilung eine horizontale, die zwei succedan darauf folgenden Theilungen dagegen senkrechte, in der Richtung der Fadenaxe verlaufende sind. Eine nachträgliche Untersuchung dieser Frage (sechs Monate nach Abfassung des vorliegenden Capitels) drängt mich zu der Ansicht, dass die von Nägeli und Braun dargestellte erste Zweitheilung durch eine senkrechte Längswand nur als Ausnahmefall zu betrachten ist. Ich beobachtete sie wirklich, aber höchst selten, bei einigen Zellen, die je zwei Makrozoosporen enthielten, welche nicht vertikal über, sondern — durch eine senkrechte Trennungsfläche geschieden — horizontal neben einander lagen, ebenso an wenigen Zellen, wo die 4 Makrozoosporen in derselben Horizontal-Ebene lagen. Aber in der Regel, in tausend Fällen auf einen Ausnahmefall, beginnt die Zerklüftung des Plasmas eben mit einem horizontalen Diaphragma. Wenn die folgende Theilung in den beiden vertikal über einander liegenden Plasmapartieen durch eine senkrechte Trennungsfläche erfolgt, welche in der einen Partie von Ost nach West, in der andern Partie von Süd nach Nord gerichtet ist, wie Strasburger mit dem Ausdruck „übers Kreuz“ wohl meint, so sind unter dem Mikroskop in einer Mutterzelle bloss drei statt vier Makrozoosporen auf einmal sichtbar und zwar in zwei Lagen

über einander, von denen die eine zwei, die andere bloss eine Makrozoospore zu enthalten scheint. Schwillt die Mutterzelle dann tonnenförmig an, so werden diese Sporen leicht verschoben, so dass aus dem nachherigen Aussehen der Mutterzelle und ihres Inhaltes leicht irrige Vorstellungen über die Entstehungsweise der vier Zoosporen resultiren können.

Von grosser Wichtigkeit ist der Umstand, dass in Zellen mit 4 Makrozoosporen bisweilen ein centrales farbloses, von klarer Zellflüssigkeit erfülltes Bläschen vorhanden ist, das beim Entleeren der Mutterzelle nebst der Umhüllungsblase der 4 Makrozoosporen vor der Oeffnung liegen bleibt, um kurz nach dem Davoneilen der Makrozoosporen zu zerfliessen (Taf. VI. Fig. 2 e). Es ist dies nichts anderes, als die schon von C. Cramer beobachtete centrale Blase, die sich aber nach Cramer nur in jenen Zellen bilden soll, die 16 und mehr Zoosporen das Dasein geben, während sie in Zellen, die bloss 2—8 Zoosporen bilden, fehle. Es ist also nicht richtig, wenn C. Cramer in seiner Arbeit „über Entstehung und Paarung der Schwärmsporen von *Ulothrix*“ (Vierteljahrsschrift der naturf. Gesellschaft zu Zürich, Bd. XV. Heft 2, 21. März 1870 und Bot. Zeitung 1871, Nr. 5 u. 6) behauptet, dass die bloss zu 2—8 angelegten Zoosporen die ganze Höhlung der Mutterzelle erfüllen und die centrale Blase bloss auf Mutterzellen mit Mikrozoosporen reduziert sei. Ebenso unrichtig — wenigstens zum Theil — ist die Cramer'sche Angabe, dass „die eben freigewordenen cellulose-membranlosen weichen Zoosporen ihrer Bildungsweise gemäss nicht kugelig, sondern mit unregelmässigen stumpfen Kanten versehen“ seien, und dass sie sich erst während des Schwärmens abrunden. Dies gilt allerdings für eine grosse Zahl von *Ulothrix*-Zoosporen, aber keineswegs für alle. Ich sah Makrozoosporen zu 1, 2 und 4 in einer Zelle entstehen und sich vor der Entleerung der Art abrunden, dass von „unregelmässigen Kanten“ durchaus keine Rede mehr sein konnte. Man vergleiche die möglichst genaue Darstellung der zweituntersten Zelle an Fig. 2 c, sodann die oberste Zelle in Fig. 2 b und endlich die eben austretenden Makrozoosporen in Fig. 2 d auf Taf. VI.

Was an der Cramer'schen Darstellung weiterhin zu corrigiren ist, das findet sich in der Behauptung: „Sie (die Zoosporen) haben constant bloss 2 Wimpern.“ Hätte Cramer das „constant“ weggelassen und statt des „Sie“ hingesetzt: „Die Mikrozoosporen“, so wäre seine Behauptung richtig. Allein er spricht von den

Zoosporen schlechtweg und kommt am Schluss seiner citirten Arbeit nochmals auf die Cilienfrage zurück, bemerkend, dass Alex. Braun den Zoosporen allgemein 4 statt 2 Cilien zuschreibe, was nach der Cramer'schen Auffassung durchaus unrichtig wäre. Die Cilienfrage hat Anlass zu dieser vorliegenden Arbeit gegeben, und darum bin ich zur Stunde im Falle, zu constatiren, dass bei *Ulothrix zonata* zweierlei Zoosporen gebildet werden: Makrozoosporen mit 4 Cilien und Mikrozoosporen mit bloss 2 Cilien.<sup>1)</sup>

Nachdem meine Untersuchung in dieser Richtung geschlossen war, nachdem ich wiederholt Makrozoosporen von *Ulothrix zonata* im Momente des Ausschlüpfens sowohl als auch während des Schwärmens mit Jodlösung überrascht und braun gefärbt hatte (Taf. VI. Fig. 2 f.), um die Zahl der Cilien ganz unzweifelhaft zu constatiren, nachdem sich ergeben, dass alle Makrozoosporen von *Ulothrix zonata*, die einzeln, oder zu 2, oder zu 4 in einer Zelle entstehen, 4 Cilien besitzen: nahm ich noch Einsicht von einer ältern Arbeit, die J. E. Areschoug in den *Nova Acta Regiae Societatis Scientiarum Upsaliensis*, Ser. III. Vol. VI. Upsal. 1866 publicirte. In seinen „*Observationes Phycologicae, particula prima de Confervaceis nonnullis*“ gibt Areschoug ebenfalls ganz richtig an, dass die Megazoosporen (Makrozoosporen) 4 Cilien, die Mikrozoosporen von *Hormiscia zonata* (syn. *Ulothrix zonata*) dagegen bloss 2 Cilien tragen. Tafel II. der Arbeit Areschoug's gibt auch ganz übereinstimmend mit meinen Zeichnungen die Darstellung der beiderlei Zoosporen mit ungleicher Cilienzahl. (Superior megazoosporae extremitatis vix, ut diximus, hyalina, quattuor portat cilia vibratoria cruciata).

1) Nachträglich kam mir noch eine Copie in die Hände, die von einer Tafel aus den Schriften der Berliner Academie, Jahrgang 1855 (?) abgenommen ist, woselbst A. Braun (?) das Ausschlüpfen der Mikrozoosporen von *Ulothrix* veranschaulicht und eine Darstellung von stark vergrösserten Zoosporen derselben Alge gibt, die 4 Cilien besitzen. Es sind dies ohne Zweifel Makrozoosporen. Leider fehlt zu dieser Copie jeder Text und jede Bezeichnung, indess ist das Vorhandensein einer solchen ältern Tafel über *Ulothrix* nicht ohne Werth, sobald es sich um die unerquickliche Cilienfrage handelt, die auf dem Punkte stand, eine heillose Confusion anzurichten. In der Arbeit Strasburger's (Zellbildung und Zelltheilung), die mir, wie ich schon bemerkt, lange nach Abfassung meines Manuskriptes für diese Arbeit zu Gesicht kam, finde ich meine Beobachtungen bestätigt. Auch Strasburger sah bei den Makrozoosporen 4 Cilien, weist aber dennoch auf Cramer und Thuret hin, von denen letzterer (*Ann. d. sc. nat. Bot.* 3. Ser. T. XIV. Pl. 18) gleichfalls vier Cilien sah. (Siehe Strasburger l. c. pag. 155.)

In der citirten Arbeit von J. E. Areschoug bringt dieser Autor allerdings (auf pag. 12) in der Charakteristik der Algen-gattung *Hormiscia* (*Ulothrix*) die Angabe, dass die Makrozoosporen — von ihm Megazoosporen genannt — 4 oder 2 Cilien besitzen: „megazoosporae sphaericae, ovoideae l. elongatae, in superiore extremitate 4 aut 2 ciliis vibratoriiis, in inferiore rotundatae aut acutae.“ Allein es erklärt sich diese Angabe aus dem Umstand, dass Areschoug (auf pag. 10 derselben Arbeit) erklärt, es entstehen die Megazoosporen zu 4, 8 und 16 in einer Zelle. („Megazoosporae. In cellulis diametro fili 2plo brevioribus l. idem subaequantibus, numero 4, 8, 16 evolvuntur.“)

Die Richtigkeit des „4 aut 2 ciliis“ wird davon abhängig sein, wie man die Begriffe für Makro- (oder Mega-) zoospore und Mikrozoospore festsetzt. Nach meiner Untersuchung an *Ulothrix zonata* können wir jene Zoosporen, die zu 16 in einer Mutterzelle entstehen, nicht mehr Mega- (oder Makro-) zoosporen nennen. Das scheint auch C. Cramer laut seiner Arbeit „über Entstehung und Paarung der Schwärmosporen bei *Ulothrix*“ erkannt zu haben, wenn er sagt: „wir haben zweierlei Zoosporen zu unterscheiden: grosse zu 2, 4 oder 8 entstehende, bei deren Bildung der gesammte Inhalt der Mutterzelle aufgebraucht wird und kleinere, bei denen ein Theil des Inhaltes der Mutterzelle zur Bildung einer meist kurz nach dem Austritt absterbenden grössern Blase verwendet wird.“ Das Cramer'sche Argument über die Bildung der Makrozoosporen, die aus dem ganzen Inhalt der Zelle zu 2, 4 oder 8 entstehen sollen, ist — wie oben bereits erwähnt — nicht stichhaltig. Ebenso wenig hat die Behauptung Recht, dass wir jene Zoosporen, die zu 8 in einer Zelle entstehen, in allen Fällen noch Makrozoosporen nennen dürfen. Allerdings können diese Sporen unter Umständen (nämlich wenn der Faden recht dick ist) beträchtlich gross erscheinen, aber in der Mehrzahl der Fälle, wo 8 Zoosporen aus einer Zelle schlüpfen, sind sie klein und besitzen auch bloss 2 Cilien, wie alle andern Mikrozoosporen<sup>1)</sup> (Taf. IV. Fig. 19). Auch habe ich beobachtet, dass solche zu 8 in einer Mutterzelle entstehende Zoosporen, wenn die Mutterzelle klein war, eine Copulation

---

1) Ob Strasburger (l. c.) bei den zu 8 in einer Zelle entstehenden Zoosporen auch 4 Cilien gesehen, wird nicht speciell angegeben, gehört aber nach dem oben Gesagten in's Bereich der Möglichkeit, obschon ich constatiren muss, dass bei dünnen Faden die zu 8 entstehenden Zoosporen bloss 2 Cilien besitzen.

eingehen können, während ich niemals gesehen habe, dass grosse, wirklich den Namen Makrozoosporen verdienende Schwärmzellen mit 4 Cilien eine Copulation eingingen. Ich schlage daher vor, für Ulothrix zonata den Begriff von „Makrozoospore“ dahin festzusetzen, dass sie grosse Schwärmzellen sind, mit 4 Cilien ausgestattet, zu 1, 2, 4 — vielleicht auch bei sehr dicken Fäden zu 8? — in einer Zelle entstehend und eine Copulation nicht eingehend. Damit ist keineswegs gesagt, dass alle Zoosporen, die zu 4, noch viel weniger alle, die zu 8 in einer Zelle entstehen, Makrozoosporen sind. Ich sah ganz dünne Ulothrixfäden, in deren Zellen nur 4 kleine Zoosporen entstanden, ohne dass ich constatiren konnte, ob sie 2 oder 4 Cilien besaßen und von denen ich eher das Erstere, als das Letztere vermuthete.

Die Entstehung von 8 Zoosporen in einer Mutterzelle.

Sie ist ein weiterer Schritt der Plasma-Zerklüftung und wohl am besten in Fig. 19 a und b, Taf. IV. charakterisirt. Erst theilt sich der grüne plasmatische Inhalt der Mutterzelle in zwei horizontal über einander liegende Portionen. Hierauf folgt eine Zerklüftung der letztern in der Richtung der Fadenaxe, wie bei der Bildung von 4 Makrozoosporen. Endlich folgt eine Theilung dieser 4 Portionen durch eine Ebene, welche senkrecht zur vorherigen Theilebene steht, aber ebenso wie diese in der Richtung der Fadenaxe liegt (Taf. IV. Fig. 19, Fadenstücke a' und b'). Die abweichenden Ansichten Nägeli's (Neuere Algensysteme, pag. 138) und Alex. Braun's (Verjüngung, pag. 171) habe ich schon oben (pag. 24. 25.) der meinigen gegenübergestellt. Weitere Untersuchungen über den Modus der Plasmatheilung zur Bildung von Schwärmzellen bei Ulothrix werden ohne Zweifel meine Ansicht bestätigen.

Während dieser Zoosporen-Bildung schwellen die Mutterzellen ebenfalls tonnenförmig an und suchen sich die Zoosporen abzurunden. Ob bei der Entstehung von 8 Zoosporen in allen Fällen eine „centrale Blase“ gebildet wird, lasse ich unentschieden. An dem in Fig. 19, Taf. IV. dargestellten Faden konnte ich keine solche erkennen, da in allen Fällen die ganze Zellansicht von 4 in's Kreuz gestellten Zoosporen erfüllt war. In Zellen von andern Ulothrix-Fäden mit 8 Zoosporen, wo die letztern nicht mehr diese regelmässige Anordnung zeigten, konnte ich dagegen die centrale Blase schon von aussen als hyalinen, scharf abgegrenzten kugeligen

Körper erkennen. Auch kann ich nicht angeben, welche Grösse die Mutterzelle der 8 Zoosporen, nach welcher sich auch die Grösse der letztern richtet, sein muss, um diesen 8 Zoosporen die Organisation der Makrozoosporen, respektive die Bildung von 4 Cilien zu ermöglichen. Wie aus Fig. 19, Taf. IV. hervorgeht, besitzen die 8 Zoosporen kleiner Mutterzellen nur 2 Cilien; sie sind also Mikrozoosporen.

Ein weiterer Schritt führt zur

### Bildung von 16, 32 und mehr Zoosporen.

Alle diesbezüglichen Beobachtungen führen mich zu dem Schluss, dass die ersten Theilungsprocesse des grünen Plasmas zur Bildung von 16 Zoosporen ganz dieselben sind, wie bei der Bildung von 4 und 8 Zoosporen. Ist dann das grüne Plasma durch jene drei succedanen Zerklüftungs-Ebenen in 8 Portionen getheilt, so zerfällt jede dieser letztern selbst wieder in 2 Theile und zwar in solchen Mutterzellen von sehr geringer Länge ohne Zweifel durch vertikale Theilungs-Ebenen, welche durch die Fadenaxe gehen und demnach radiale Längs-Ebenen genannt werden dürfen. Da das grüne chlorophyllhaltige Plasma der zoosporenbildenden Mutterzelle immer längs der Zellmembran situiert ist, und zwar während der succedanen Zerklüftungen vorwiegend längs der cylindrischen Zellwand, da ferner die Anordnung der eben fertig gebildeten 16 Zoosporen einer Zelle immer eine wandständige ist, so muss daraus geschlossen werden, dass die Zerklüftung des grünen Plasmas zur Bildung zahlreicher Zoosporen niemals durch tangential, sondern stets durch Theilwände erfolgt, die senkrecht auf die Mutterzellmembran aufgesetzt erscheinen (vergl. Taf. IV. Fig. 22 und 23 und Taf. VI. Fig. 1 d und e, Fig. 3). Dies gilt auch für die Bildung von mehr als 16, nämlich 32 und mehr Zoosporen, wie sie bei *Ulothrix zonata* sehr häufig vorkommt. Das Resultat all dieser Zerklüftungsprocesse des grünen Plasmas einer Mutterzelle ist stets dasselbe: eine grössere Zahl von kleinen, nur mit 2 Cilien ausgestatteten Zoosporen, welche die Fähigkeit haben, sich — während des Schwärmens — zu zweien (selten zu 3) zu copuliren. Wir nennen diese zu 16, 32 und mehr in einer Mutterzelle entstehenden Zoosporen Mikrozoosporen, im Gegensatz zu den grössern, mit 4 Cilien ausgestatteten, und bloss zu 1, 2, 4 — selten zu 8 — entstehenden Makrozoosporen, denen die Fähigkeit abgeht, sich zu copuliren.

In Zellen mit 32 oder mehr Mikrozoosporen — gewöhnlich besitzen jene auch eine grössere Länge, als die Zellen mit nur 16 Zoosporen — erfolgt die Zerklüftung des Plasmas ohne Zweifel nicht bloss Ein Mal in horizontaler Richtung, sondern so, dass die Mikrozoosporen schliesslich in 4 Etagen, oder — nach erfolgter Verschiebung — in unregelmässigen Reihen über einander liegen (Taf. VI. Fig. 1 c, d und e).

Strasburger (Zellbildung und Zelltheilung, pag. 155) glaubte bei manchen über die Zweitheilung hinausgehenden Vorgängen (Zoosporenbildung) sicher auch mehrere Theilungen simultan erfolgend beobachtet zu haben, — er fügt hinzu: „ja es ist mir nicht unwahrscheinlich, dass dieser Theilungsmodus in den Fällen der Bildung sehr vieler Schwärmosporen (also unserer Mikrozoosporen) zum vorherrschenden wird.“

Ich kann dieser Vermuthung nicht beistimmen, obschon ich die Möglichkeit simultaner Plasmatheilungen zur Bildung von Mikrozoosporen nicht bestreite, und das um so weniger thun möchte, als ich die Bildung von 5 und mehr Zoosporen im Innern der Zygospore von *Ulothrix zonata* ganz evident als simultan vor sich gehend erklären muss; wenn dieser Vorgang auch bei der Zoosporenbildung der geschlechtlichen Generation von *Ulothrix* stattfinden sollte, so müsste er mir doch als Ausnahmefall erscheinen. Gegen die Wahrscheinlichkeit des Vorwiegens simultaner Schwärmosporenbildung bei den Fadenzellen von *Ulothrix zonata* spricht nicht allein die Anordnung der eben entstandenen Zoosporen vor der Bildung des rothen Pigmentfleckes, sondern auch die Schritt für Schritt leicht zu verfolgende succedane Zerklüftung des Plasmas zur Bildung von 2, 4 und 8 Zoosporen und in letzter Instanz auch die Anzahl der in einer Mutterzelle entstehenden Mikrozoosporen, die sich regelmässig an Multipla von Zwei hält, was bei der simultanen Zoosporenbildung im Innern der reifen Zygosporen (siehe Capitel von der Entwicklung der Zygosporen nach der Ruheperiode) nicht der Fall ist.

Tritt wirklich simultane Zoosporenbildung in Fadenzellen von *Ulothrix* auf, so haben wir dieselbe als eine Zelltheilung aufzufassen, die nichts anderes als eine auf ein Zeitminimum zusammengedrückte wiederholte Zweitheilung darstellt.

Ihrer Entstehungsweise entsprechend sind die Mikrozoosporen anfangs polyedrisch, in allen Fällen sind sie wandständig und lassen — selbst im ausgebildeten Zustand in der Mutterzelle liegend —

einen grossen von klarer Flüssigkeit erfüllten Hohlraum übrig, der in der Regel das Centrum der Zelle, oft aber auch überdiess noch eine wandständige Partie des Zellraumes einnimmt (Taf. VI. Fig. 1 c). Runden sich nun die Mikrozoosporen schon in der Mutterzelle ab, so hält es schwer, diesen Hohlraum in der noch nicht entleerten Mutterzelle zu erkennen. Immerhin habe ich Ulothrix-Faden mit reifen Mikrozoosporen, 8, 16 und mehr in einer Zelle, beobachtet, bei denen nicht allein die Mikrozoosporen abgerundet waren, sondern wo der „centrale“ Hohlraum als nicht-centrale, sondern als excentrisch gelegene kugelige Blase sich gegen die wandständigen Zoosporen sowohl als auch gegen die cylindrische Mutterzellmembran abgrenzte. Ich werde später nochmals auf die „centrale Blase“ zurückkommen.

Schliesslich habe ich noch einer Erscheinung zu erwähnen, deren Deutung mir noch nicht klar ist. Es betrifft dies die Bildung von langgestreckten Zoosporen, welche den ganzen Durchmesser des Fadens in Beschlag nehmen (Taf. I. Fig. 4 und Taf. V. Fig. 5 e' e''). Diese horizontal, bald in 2, bald in 4 Schichten über einander liegenden Zoosporen sind, wie bemerkt, so lang oder beinahe so lang, als der Durchmesser der Mutterzelle. Ich kann mich nicht erinnern, solche Zoosporen ausschlüpfen gesehen zu haben, wohl aber sah ich — wenn auch selten — sehr langgestreckte Zoosporen dieser Art schwärmen und sogar eine Copulation eingehen; vergleiche Taf. IV. Fig. 20. Dass es wirklich Schwärm-sporen sind, muss ohnediess aus Fig. 5 e'' Taf. V. geschlossen werden, wo eine Zelle bloss noch 1, eine andere Zelle noch 2, eine dritte Zelle noch mindestens 4 (ob 8?) solcher langgestreckter Zoosporen enthält. Sie sind keulenförmig, am dickern Ende mit körnigem Plasma versehen, am dünnern — ohne Zweifel vordern — Ende hyalin. Mitten auf der halben Länge tragen sie einen langgestreckten rothen Fleck. Aus Fig. 4, Taf. I. könnte man schliessen, dass diese langgestreckten Zoosporen durch wiederholte horizontale Zerklüftung des Plasmas entstehen. Ich wage nicht, darüber eine definitive Ansicht auszusprechen, ebensowenig, als ich zur Stunde entscheiden könnte, ob solche langgestreckte Zoosporen ausschliesslich die Eigenschaften der Mikrozoosporen besitzen, oder ob sie auch als Makrozoosporen auftreten können.

Die Zoosporenbildung beginnt, wie ich am Anfang dieses Abschnittes bemerkte, in der Regel am obern Theile eines Fadens und schreitet von da in basipetaler Folge bis zur Fusszelle vor.

Ich sah Faden, die im obern Theil schon ganz entleert waren, in der Mitte mit Mikrozoosporen und Makrozoosporen erfüllt, unten gegen die Fusszelle hin aber noch in vegetativem Zustand (Taf. VI. Fig. 1 a—g). An andern Faden waren alle Zellen bis auf wenige in der Nähe der Fusszelle entleert; diese letzteren basiscopen Zellen enthielten aber reife Zoosporen; einzig in der Fusszelle unterblieb die Zoosporenbildung. Wenn Alex. Braun (Verjüngung in der Natur pag. 159) die Fusszelle als unfruchtbar bezeichnet, so ist dies nach meinen Beobachtungen ganz richtig; dagegen verstösst seine Behauptung, dass auch die auf die Wurzelzelle zunächst folgenden Zellen unverändert bleiben und unfruchtbar seien, gegen die Thatsache der Zoosporenbildung auch in diesen untern Zellen, wie ich sie wiederholt beobachtet habe.

#### IV. Form und Organisation der Makro- u. Mikrozoosporen, Entleerung derselben, Charakter der Schwärmbewegung, Grösse der beiderlei Zoosporen.

Ehe ich an die Beschreibung des Geburtsprocesses der Zoosporen herantrete, finde ich es angezeigt, erst die Form und Ausstattung der Makro- und Mikrozoosporen zu besprechen, da wir bei der Darstellung der Geburt oft an die Form und Organisation der Geburtsobjekte zu erinnern haben.

Die schwärmenden Makro- und Mikrozoosporen von *Ulothrix zonata* sind im abgerundeten Zustande, den sie oft schon im Innern der Mutterzelle, also vor der Geburt besitzen, eiförmige oder birnförmige, oft fast kugelige Körper mit zwei ganz verschiedenen Polen. Der eine Pol, während des Schwärmens nach vorn gerichtet, ist mehr oder weniger kegel- oder warzenförmig verjüngt, farblos, oft ganz wasserhell; er trägt die zwei oder vier Cilien, die selbstverständlich ebenfalls farblos sind und das Zwei- bis Mehrfache der Länge des Zoosporenkörpers besitzen. An grossen Makrozoosporen und bei starker Vergrösserung auch an den Mikrozoosporen beobachtet man in geringer Entfernung von der Insertionsstelle der Cilien im hyalinen Vordertheil der Zoospore etwas farbloses oder grauliches feinkörniges Plasma, welches oft bis an die Basis der Cilien verfolgt werden kann und für uns deshalb von grossem Interesse sein muss, weil es eine Vacuole umschliesst, die in rhythmischen Bewegungen sich regelmässig contrahirt, um — nachdem sie plötzlich verschwunden zu sein scheint — langsam

wieder aufzutauchen, zu wachsen und abermals wieder zusammenzusinken. Das Verdienst, diese contractile Vacuole entdeckt zu haben, gehört Strasburger, welcher in seiner mehrerwähnten Arbeit über Zellbildung und Zelltheilung pag. 157 zuerst darauf aufmerksam machte. Er hat dieselbe längere Zeit, während des Ausschwärmens der Sporen und auch während ihres Zur-Ruhekommens, in Thätigkeit beobachtet. Seine Angabe über die Zeitintervalle zwischen zwei Pulsationen, die sich auf 12—15 Sekunden belaufen, kann ich bestätigen. Ergänzend und vervollständigend — ohne meine Untersuchung in dieser Richtung als für abgeschlossen zu erklären — füge ich die Resultate meiner weiteren Beobachtungen bei: Man sieht in regelmässigen Zwischenräumen von 12 bis 15 Sekunden eine Vacuole von kreisrundem Umriss langsam wachsen und mit der 12., 13., 14. oder 15. Sekunde (ich beobachtete an Makrozoosporen meist ein Intervall von 15 Sekunden) plötzlich zusammensinken, um gleich darauf langsam wieder zu erscheinen. Der farblose oder graukörnige, plasmatische Wandbeleg öffnet sich dort zu einem stetig wachsenden Kreis, um nach gesetzmässig abgelaufener Sekundenzahl sich rasch zu schliessen und zwar unter ganz ähnlichen Erscheinungen, wie wenn eine dünne Schicht von halbflüssigem Mörtel, in dessen Mitte eine kreisrunde trockene Stelle liegt, von allen Seiten auf diese letztere eindringt und schliesslich den trockenen Kreis vollständig überfluthet (Taf. II. Fig. 8 p. V.). Ich füge hinzu, dass ich diese pulsirende Vacuole nicht allein an Makro- sondern auch an Mikrozoosporen von Ulothrix gesehen habe und zwar sowohl kurze Zeit vor der Entleerung der Zoosporen, als auch während des Schwärmens und während des allmäligen Zuruhekommens. Von grosser Wichtigkeit scheint mir die Thatsache zu sein, dass die letzten zuckenden Bewegungen der Cilien einer zur Ruhe kommenden Zoospore immer zusammenfallen mit den je nach 12—15 Sekunden eintretenden plötzlichen Contractionen der Vacuole. Das Gleiche scheint mit den ersten ruckförmigen Bewegungen der Cilien beim Anfang des Schwärmens der Fall zu sein.

Dieser letztere Umstand, die augenscheinliche Correlation zwischen den plötzlichen Contractionen der pulsirenden Vacuole einerseits und den (ersten und) letzten zuckenden Bewegungen der Cilien andererseits, dürfte geeignet sein, als Wegleiter für neue Untersuchungen über das noch unklare Wesen der Cilien-Bewegung überhaupt zu dienen, worauf ich desshalb ganz besonders aufmerksam

make, weil die contractile Vacuole nicht allein an den Primordialzellen von Gloeocystis, Tetraspora, Hydrurus etc., sondern neulich auch von Cienkowski<sup>1)</sup> an den Makrozoosporen von Stigeoclonium (mit 2 contractilen Vacuolen) und bei Chätophora beobachtet wurde.<sup>2)</sup> Es dürfte keine undankbare Aufgabe sein, bei diesen genannten Algen zu ermitteln, ob die von mir für Ulothrix signalisirte scheinbare Wechselbeziehung zwischen Cilienbewegung und Pulsation der contractilen Vacuole dort ebenfalls sich geltend macht.

Weiterhin ist zu bemerken, dass im vordern farblosen Theil der Zoospore nebst dem contractionsfähigen Plasma rings um die pulsirende Vacuole in verschiedenen Abständen von dieser letztern noch eine grössere oder geringere Zahl von farblosen, oft stark lichtbrechenden kugeligen Körnchen verschiedener Grösse liegen. Diese können aber auch völlig fehlen. Der hintere Theil der Zoospore ist kugelig abgerundet und enthält, der farblosen protoplasmatischen Hautschicht anliegend, die Chlorophyllplatte, welche — bald von sehr geringer, bald von grösserer Mächtigkeit — den kugeligen Hinterkörper der Zoospore entweder ganz oder nur theilweise auskleidet. Die Chlorophyllplatte enthält entweder eine grössere Menge kleiner, oder aber nur wenige grosse Chlorophyllkörner (vergl. Taf. II. Fig. 3 a, 4, 8; Taf. III. Fig. 1 a; Taf. IV. Fig. 19—24 und Taf. VI. Fig. 2, 3 und 4). Strasburger bemerkt ganz richtig (l. c. pag. 156), dass die Chlorophyllplatte verschieden stark sein könne; „durchschnittlich erreicht sie im Querdurchmesser kaum einen Drittel des Durchmessers der ganzen Schwärmospore; nur ansahnungsweise füllt sie fast den ganzen Innenraum der Schwärmospore aus.“ Die Abgrenzung der Chlorophyllplatte gegen den übrigen farblosen Umfang der Zoospore ist bald eine scharfe, fast wulstig aussehende, bald eine undeutliche, so dass es oft schwer hält, die Grenze der grünen Plasmapartie in Zeichnungen richtig anzugeben. Auch variirt die Flächenausdehnung des Chlorophyllbeleges ungemein und zwar nicht allein bei Makro- sondern auch bei Mikrozoosporen. Im umgekehrten Verhältniss dazu steht die Ausdehnung der farblosen Parteien der Zoospore. Diese erscheint daher bald chlorophyll-

1) Vergl. Bot. Zeitg. 1876. No. 2 und 5.

2) An den Schwärmosporen von Draparnaldia beobachtete ich am 1. April 1876 zwei pulsirende Vacuolen, deren jede 28 bis 30 Sekunden Zeit zwischen zwei Contraktionen in Anspruch nimmt. Die Pulsationen der beiden benachbarten Vacuolen wechseln aber regelmässig unter einander ab, so dass alle 14 oder 15 Sekunden eine Contraction beobachtet wird.

reich, bald sehr arm an Chlorophyllpflaster. Innerhalb der grünen Plasmaplatte findet sich bei den meisten Zoosporen eine mit wässriger Flüssigkeit erfüllte Blase, welche nicht selten einige grosse, stark lichtbrechende farblose Körper enthält. Wahrscheinlich gehören die oben erwähnten kugeligen Körnchen in der Nähe der pulsirenden Vacuole ebenfalls zum Inhalt dieser farblosen Blase. Letztere ist beim raschen Zerfliessen der Zoosporen, welche bei ungewohnten Temperaturschwankungen kurz nach dem Schwärmen degeneriren, oft lange noch zu erkennen, nachdem die Chlorophyllschicht auf dem Objektträger zerflossen ist. Dann sieht man neben dem zerfliessenden grünlichen Plasma ein glashelles Bläschen, das eine grössere oder geringere Anzahl jener stark lichtbrechenden Kügelchen enthält, die schon an der lebenden und schwärmenden Zoospore zum Theil durch die Chlorophyllplatte, zum Theil am vordern hyalinen Schwärmosporenkörper durchschimmern. Auffallend verhält sich diese Wasserblase der Schwärmospore dann, wenn die Zoosporen unter enormer Wasseraufnahme binnen wenigen Minuten degeneriren, wie man dies beobachten kann, wenn in Eis eingefrorene Ulothrixfäden in einem warmen Zimmer aufthauen und dann plötzlich ihre reifen und frühreifen Zoosporen entlassen. Dabei tritt die Wasserblase am hintern, kugelig abgerundeten Theil der Schwärmospore zwischen der auseinander weichenden Chlorophyllmasse heraus und zwar unter Aufnahme einer verhältnissmässig colossalen Wassermenge, so dass der Durchmesser der Blase den ursprünglichen Durchmesser der Zoospore um das 2—3- oder Mehrfache übertrifft.

Die ganze Schwärmospore wird von einer äusserst dünnen, farblosen Hautschicht nach aussen abgegrenzt. Ungefähr in der halben Länge des massiven Zoosporenkörpers, an der Grenze der grünen Plasmaplatte oder doch in nächster Nähe findet sich an der farblosen Hautschicht der rothe Pigmentfleck, „Augenpunkt“, welcher oft als wallartige, nicht selten ziemlich stark vorspringende strichartige Erhöhung die eine Seite des Schwärmosporenkörpers dekorirt. Strasburger hat beobachtet, dass diese rothgefärbte stäbchenförmige Verdickung hin und wieder in ihrem Verlaufe unterbrochen sein kann (l. c. pag. 156). Genaue Zeichnungen über die rasch auf einander folgenden Stadien des Zerfliessens schnell degenerirender Zoosporen constatiren, dass beim Zerfliessen nicht allein alle übrigen Theile, sondern auch die rothen Pigmentflecke sehr viel Wasser aufzunehmen vermögen. Dabei erblassen sie ebenso rasch, als sie an frühreifen Zoosporen sich zu bilden vermögen.

Alle meine zahlreichen Beobachtungen über den Geburtsvorgang und die ersten Bewegungen der Zoosporen von *Ulothrix zonata* führen mich zu dem Schluss, dass die Cilien ihrer Entstehung nach zur farblosen Hautschicht der Schwärmspore gehören. Sie sind an der reifen noch nicht geborenen Zoospore ganz evident der Oberfläche des birn- oder eiförmigen Schwärmsporenkörpers angelagert. Ob sie den letzteren in Spirallinien umwickeln, oder ob sie vom vordern Pol ausgehend sich über die Oberfläche bis zum hintern Pol und wieder zurück hinziehen, konnte ich bis jetzt noch nicht ermitteln; doch scheint mir der erstere Fall der wahrscheinlichere zu sein.

An den in Folge rascher Temperatur-Erhöhung frühreif geborenen und sehr rasch degenerirenden Makrozoosporen beobachtete ich wiederholt, dass die Cilien sich schon kurz nach der Geburt bischofsstabähnlich krümmen, an ihrer Spitze beginnend, sich einwickeln und dabei auf die Insertionsstelle zurückrollen. Sobald diese Einwickelung ihren Anfang genommen hat, ist die Bewegung eine sehr gehemmte und rasch geht sie ihrem Ende entgegen.

Uebereinstimmend mit Strasburger sind meine Beobachtungen über das Vorhandensein oder Nichtvorhandensein eines Zellkernes in den Zoosporen. Bei keiner der vielen Tausende von Makro- und Mikrozoosporen, die ich in allen Lebens- und Degenerations-Stadien beobachtete, fand ich jemals einen Zellkern. Strasburger vermuthet in jenem farblosen Plasma, das die pulsirende Vacuole der Schwärmspore umgibt, das Theilungsprodukt des Zellkernes der schwärmsporenbildenden Mutterzelle (l. c. pag. 157).

Aus dem Mitgetheilten erhellt wohl zur Genüge, dass die Schwärmspore von *Ulothrix* eine ziemlich complicirt gebaute Primordialzelle darstellt. Ich verhehle an dieser Stelle auch nicht, dass in der vorstehenden Beschreibung wohl noch Manches fehlt, das wissenswerth erscheinen möchte. Wenn unsere Instrumente dereinst noch ein Mehreres leisten, als bisher, so wird auch die Kenntniss dieser kleinen Fortpflanzungszellen noch um ein Beträchtliches erweitert werden.

Noch habe ich schliesslich zu bemerken, dass die Mikrozoosporen von *Ulothrix zonata* im Wesentlichen ganz denselben Bau besitzen, wie die Makrozoosporen, einzig mit dem Unterschied, dass sie — wie schon oben bemerkt, statt 4 bloss 2 Cilien tragen.

Die Entleerung der Makro- und Mikrozoosporen von *Ulothrix zonata* geschieht auf folgende Weise: An irgend einer Stelle der

cylindrischen Zellmembran der tonnenförmig oder kugelig aufgetriebenen Mutterzelle entsteht durch Verschleimung der Cellulose eine seitliche Oeffnung, die in der Regel die Mitte der Zelllänge einnimmt. Nicht selten verschleimt die äussere Membranschicht der cylindrischen Wand ziemlich lange vor der aufquellenden, später ebenfalls verschleimenden innern Schicht und zwar nicht bloss an einer kleinen, rundlichen Stelle, sondern in einem grössern Umkreis, so dass die Verschleimung dieser äussern Schicht oft von der obern Querwand bis zur untern reicht. [In A. S. Oersted's System der Pilze, Lichenen und Algen, deutsch von A. Grisebach und Reinke, Leipzig 1873 findet sich die unrichtige Angabe (pag. 159), dass bei *Ulothrix* (Syn. *Hormiscia*) die Zoosporen dadurch frei werden, dass die Zellen (des Fadens) sich von einander trennen.]

Dann dringt ein Theil des energisch Wasser aufnehmenden Zellinhaltes durch die in Folge des von innen wirkenden hydrostatischen Druckes nach aussen gedrängte trichterförmig verjüngte Geburtsstelle der Mutterzellmembran hindurch, wobei die Ränder der Geburtsöffnung nach aussen um- und rückwärts gestülpt werden. Der zunächst austretende Theil des Zellinhaltes — gleichviel ob dieser aus einer einzigen, oder aus 2, 4 oder 8 Makro- oder aber aus 8, 16, 32 und mehr Mikrozoosporen bestehe — war in allen von mir beobachteten Fällen niemals die sogenannte centrale Blase, sondern immer ein Zoosporentheil oder eine Zoospore oder eine Gruppe von Schwärmsporen.

Bei der Geburt einer einzeln entstandenen Makrozoospore scheint in der Regel der vordere hyaline, cilientragende Pol zuerst die Geburtsöffnung zu passiren. Letztere ist oft so eng, dass die Spore während ihres Austrittes nacheinander alle möglichen Formveränderungen durchmachen muss, bis die letzte Partie durch das enge Ostiolum hindurchgewandert ist, um sich mit dem draussen allmählig kugelige Gestalt annehmenden frei gewordenen Theil zu vereinigen (vergl. Taf. II. Fig. 3a).

Bei Frühgeburten, die in Folge rascher Temperatur-Erhöhung eingeleitet werden und oft sehr langsam vor sich gehen, kann man vor dem Austritt der Makrozoosporen nach beendigter Verschleimung der äussern Membranschicht der Mutterzelle die an dieser Stelle blossgelegte mittlere Membranschicht Schritt für Schritt aufquellen und als gallertige wasserhelle Papille nach Aussen vorspringen sehen. Dann drängt sich der eigentliche Zellinhalt,

umhüllt von der innersten, sehr viel Wasser aufnehmenden, ebenfalls langsam verschleimenden Membranschicht in scharfer Abgrenzung gegen diese hyaline Papille vor und drängt diese mehr und mehr nach Aussen, bis sie sich — am Scheitel zerfliessend — öffnet und dem Zellinhalt in oben beschriebener Weise Durchgang gestattet.

Sind zwei Makrozoosporen in einer Mutterzelle, so tritt zuerst die eine aus und zwar in der Regel erst mit dem vordern hyalinen Pol, während der hintere grüne Theil des während der Geburt die verschiedensten Formen annehmenden Zoosporenkörpers von der nachrückenden zweiten Zoospore erst gegen die nächste Ecke der Mutterzelle gedrängt wird. Bei langsamer Geburt sieht man in diesem Stadium die zuerst austretende Zoospore quersackartig gestaltet und an der Geburtsöffnung gebogen (Taf. II. Fig. 3d). Der zuerst austretende Theil zieht die noch in der Mutterzelle liegende Partie der Schwärmspore nach; diese schlüpft wie ein zäher Teigklumpen, auch gedrängt von der zweiten Zoospore, durch das mehr oder weniger enge Ostiolum nach aussen, worauf die erstgeborene Zoospore, energisch Wasser aufnehmend, sich vorläufig abrundet, immer noch umhüllt von der wasserhellen, langsam verschleimenden innersten Membranschicht der Mutterzelle. Diese Umhüllungsblase erscheint in diesem Geburtsstadium in zwei Partieen getheilt, die quersackähnlich durch eine in der Geburtsöffnung liegende Einschnürung mit einander in Verbindung stehen; der eine Theil des Quersackes enthält die eine, bereits vor der Geburtsöffnung liegende Zoospore, während der andere Theil, noch in der Mutterzelle liegend, die noch nicht geborene zweite Zoospore einschliesst. Während des Austrittes der ersten Makrozoospore wird die zweite Schwärmspore vorübergehend erst in den hintern Theil der Mutterzelle gedrängt, wobei der hyaline Pol mit den 4 Cilien der Geburtsöffnung abgekehrt erscheint. Sobald aber der Hintertheil der zuerst austretenden Makrozoospore die Geburtsöffnung passirt hat, rückt die zweite Zoospore nach, wobei nicht übersehen werden kann, dass die sich abrundende bereits geborene Zoospore mit sammt der aufquellenden Umhüllungsblase von aussen her auf die noch nicht geborene Partie des Zellinhaltes einen Zug ausübt. Dieser Theil folgt also rasch nach, die zweite Zoospore legt sich dicht an den Körper der ersten an, beide platten sich an den Berührungsflächen ab, indess das ganze Geburtsobjekt sich zu einem kugeligen Ballen abrundet, wobei also die beiden Zoosporen

für wenige Augenblicke halbkugelige Gestalt annehmen (Taf. II. Fig. 3 d). Aus der Art dieses Geburtsvorganges ist sofort ersichtlich, dass die vor der Geburtsöffnung liegenden Zoosporen ihre cilientragenden hyalinen Pole einander abkehren. Die Umhüllungsblase, welche die zwei Zoosporen einschliesst, zerfliesst nun, bald langsam, bald rasch, vollständig im Wasser. Auch die beiden Makrozoosporen nehmen viel Wasser auf und bekunden dabei eine energische Tendenz, sich abzurunden. Während des Zerfliessens der wasserhellen, oft kaum sichtbaren, oft gar nicht direkt wahrnehmbaren Umhüllungsblase werden die abgeplatteten Berührungsfächen der zwei halbkugeligen Zoosporen zusehends convex, wobei letztere selbstverständlich mehr und mehr auseinander rücken und hiebei ohne Zweifel auf das Zerfliessen der verschleimenden Umhüllungsblase fördernd einwirken. Dann sieht man auch die Cilien der einen und der andern Zoospore sich in der verschleimenden Masse der Umhüllungsblase ruckweise bewegen.

Die pulsirende Vacuole am hyalinen Pol jeder Makrozoospore ist schon einige Zeit in Thätigkeit und scheint, wie ich schon oben bemerkte, auf die Bewegung der Cilien direkt einzuwirken; denn mit jeder Contraction der Vacuole finden neue ruckförmige Bewegungen der Cilien statt. Sobald von der verschleimenden Masse der Umhüllungsblase nichts mehr direkt beobachtet werden kann, dagegen die Bewegungen der Cilien eine immer lebhaftere wird, so erfolgt plötzlich das Abgleiten der einen Makrozoospore von der andern; meist eilt die eine zuerst von dannen, während die andere noch einige ruckweise Bewegungen ausführt und erst nach ein paar Sekunden die Geburtsstätte verlässt. Oft aber verlassen auch beide Zoosporen die Stelle gleichzeitig.

Ich constatire, dass also auch bei der Geburt von zwei Makrozoosporen eine hyaline Umhüllungsblase gesehen werden kann, wiederholend, dass dies namentlich bei Frühgeburten der Fall ist, die in der Regel dann eintreten, wenn grüne Ulothrixfaden aus dem eisig kalten Wasser des Brunnens oder gar aus aufthauenden Eiszapfen in's warme Zimmer gebracht werden. Dabei kann man leicht auf Faden stossen, die ihre Makrozoosporen ungemein langsam entleeren, was für die Beobachtung der einzelnen auf einanderfolgenden Geburtserscheinungen sehr günstig erscheinen muss. Dann trifft man nicht selten auf Makrozoosporen, deren Geburt in den verschiedensten Stadien sistirt wurde. Dabei muss bemerkt werden, dass überall da, wo zwei Makrozoosporen gleichzeitig die

Geburtsöffnung passiren wollen, eine Entleerung der Mutterzelle nicht eintritt, sondern die Geburt unterbleibt. Ich habe mehrmals beobachtet, wie die beiden neben einander liegenden Makrozoosporen gleichzeitig mit ihrem hyalinen Vorderende gegen die Geburtsöffnung drängten und oft auch gleichzeitig mit ihrem Vordertheil sich in das Ostiolum einkelten; dann aber gewann die eine Zoospore den Vorsprung; sie drängte die andern zurück und passirte allein die seitliche Oeffnung der Mutterzelle, während die andere Zoospore wieder vollständig in die Mutterzelle zurückglitt und abwarten musste, bis durch den vollständigen Austritt der Erstgeborenen auch für sie die Sekunde der Freiheit geschlagen hatte. Bei halsstarrigem Verweilen beider neben einander liegenden in die Geburtsöffnung eingekeilten Makrozoosporen bleiben beide vollständig stecken, wie ich dies wiederholt beobachtet und in Zeichnungen fixirt habe.

Es muss auch gesagt werden, dass man bei der langsamen Geburt zweier Makrozoosporen nicht allein schon vor dem beginnenden Austritt derselben die pulsirende Vacuole der noch in der Mutterzelle liegenden Zoosporen in Thätigkeit sehen kann, sondern dass selbst die Cilien oft schon ruckweise Bewegungen ausführen, ehe die Zoosporen aus der Mutterzelle ausgetreten sind. Es kann dies ganz deutlich dann beobachtet werden, wenn nach vollendeter Verschleimung der äussern und der mittlern Membranschicht an der Stelle der Geburtsöffnung in der cylindrischen Mutterzellmembran die innerste Membranschicht — stark aufquellend — als wasserhelle Papille durch die Geburtsöffnung vorragt und dicht hinter der Papille der hyaline Vordertheil der nächsten Makrozoospore liegt. Ich habe zu wiederholten Malen gesehen, wie in der stark vorgequollenen Papille die verschlungenen und stark gekrümmten Cilien der nächstliegenden Zoospore einige ruckweise Bewegungen ausführten, letztere correspondirend mit den Pulsationen der contractilen Vacuole am vordern Pol der betreffenden Makrozoospore. Wir müssen also annehmen, dass die Papille selbst entweder aus äusserst dünnem Schleim der zerfliessenden innern Mutterzell-Membranschicht besteht, welche die Ruckbewegungen der Cilien ermöglicht, oder aber, dass jene Papille einen Hohlraum enthält, in welchem der genannte Vorgang stattfinden kann. Ich halte die erstere Annahme für die wahrscheinlichere, um so mehr, als die innerste Membranschicht der Mutterzelle bei langsamer Geburt der Zoosporen auf der dem Ostiolum abgekehrten Seite

oft so stark verschleimt, dass auch die Cilien der zweiten, zuletzt austretenden Zoospore schon frei und sichtbar werden, ehe die Zoospore geboren ist. Wiederholt habe ich gesehen, dass die zweite Makrozoospore unmittelbar vor ihrem Austritt deutlich die vier Cilien — der Geburtsöffnung abgekehrt — erkennen liess und beim Passiren des Ostiolums nachziehen musste, ohne dass dabei die Umhüllungsblase durchaus und vollständig verschleimt war. Letztere kann allerdings (namentlich bei rascher Geburt) schon während des Austrittes so verschleimt erscheinen, dass ihr Vorhandensein nur noch indirekt erkenntlich ist oder der Beobachtung völlig entgeht.

Weder Cramer noch Strasburger haben bei ihren Untersuchungen das Vorhandensein einer Umhüllungsblase dort erkannt, wo bloss wenige Zoosporen aus einer Mutterzelle entleert werden. Es ist dies sehr leicht begreiflich; denn bei normal entwickelten, ausgereiften und unter den gewöhnlichen Verhältnissen geborenen Zoosporen folgen sich die oben geschilderten Phasen des Geburtsprocesses der Makrozoosporen und die gleichzeitige Verschleimung der Umhüllungsblase so rasch aufeinander, dass sich die ganze Kette der Erscheinungen oft auf wenige Sekunden zusammendrängt, so dass es dann geradezu unmöglich ist, sich von den rasch auf einander folgenden oder gar gleichzeitig stattfindenden Processen genügend Rechenschaft zu geben. Namentlich ist es die Verschleimung der Umhüllungsblase, welche in der Regel unter normalen Verhältnissen so unbemerkt sich abwickeln kann, dass man deren Existenz bezweifeln dürfte, wenn nicht die leichter controlirbaren Prozesse vor der Geburtsöffnung an den in's Schwärmen übergehenden Zoosporen auf die Anwesenheit einer verschleimenden Substanz hindeuteten.

Wenn 4 Makrozoosporen aus der geöffneten Mutterzelle sich in Freiheit setzen, so beobachtet man in günstigen Fällen die farblose Umhüllungsblase (Taf. VI. Fig. 2 d. e), in welcher die vier Zoosporen während ihrer Geburt eingeschlossen sind, viel leichter, als dies bei bloss zwei Makrozoosporen der Fall ist. Dass es auch hier die innerste Membranschicht der Mutterzelle ist, welche — von der mittleren Membranschicht sich ablösend, die Zoosporen als Umhüllungsblase einschliesst, braucht kaum besonders hervorgehoben zu werden. Bekanntlich war es Alexander Braun, welcher zuerst den Ursprung der Umhüllungsblase richtig deutete, auch die ersten Geburtsstadien der zu mehreren entstehenden

Zoosporen ganz zutreffend schilderte: „Die Mutterzelle öffnet sich seitlich durch Zerreißen der Zellhaut; an dieser Zerreißung nimmt jedoch die innerste zarte Lamelle der Mutterzelle keinen Antheil, sondern dringt, durch Wassereinsaugung anschwellend und ausgedehnt, und durch diese Ausdehnung von den äussern Schichten der Mutterzelle abgelöst, in Form eines Sackes hervor.“ (Verjüngung in der Natur pag. 172.)

Erfolgt bei der Anwesenheit von 4 Makrozoosporen in einer Mutterzelle die Entleerung sehr langsam, so kann auch hier dem Beobachter die Anwesenheit einer Umhüllungsblase leicht entgehen. Dasselbe ist auch dann der Fall, wenn die Entleerung und die gleichzeitig stattfindende Verschleimung der Umhüllungsblase sehr rasch erfolgt.

Kann während des Entleerens der Mutterzelle eine Umhüllungsblase gesehen werden, so ist leicht zu beobachten, wie die erstentleerten kaum vor der Geburtsöffnung angekommenen Zoosporen sich innerhalb der Umhüllungsblase abrunden, dabei Wasser aufnehmen, ihr Volumen vergrößern und hiebei mit Hülfe der durch die Geburtsöffnung gespannten Umhüllungsblase ziehend auf die noch in der Mutterzelle liegenden Zoosporen einwirken, wobei — wie in Fig. 2 d Taf. VI. dargestellt ist — ein Moment eintritt, der die Umhüllungsblase als einen Quersack erscheinen lässt, dessen eine Hälfte mit zwei Makrozoosporen vor der Geburtsöffnung, die andere Hälfte mit ebenso viel Zoosporen noch in der Mutterzelle liegt.

Auf diesem Stadium angelangt, kann die Mutterzelle selbst für das weitere Gelingen des Entleerens absolut Nichts mehr beitragen. In der That sehen wir auch nicht selten — und das geschieht in allen den Fällen, wo die Umhüllungsblase während der Zoosporen-Entleerung zerreißt — dass noch eine grössere oder geringere Zahl von Zoosporen in der Mutterzelle zurückbleibt und hernach entweder gar nicht mehr, oder nur mit grosser Mühe und zwar nur durch die eigene Thätigkeit der Zoosporen mit Hülfe der Cilien, in Freiheit gelangt (Taf. VI. Fig. 1 a bis d und Fig. 2 b). Solche nicht frei gewordene Makrozoosporen vermögen — obschon sie in Wirklichkeit gar nicht oder doch nur innerhalb der Mutterzelle geschwärmt haben, — in der letzteren selbst zu keimen (Fig. 1 a und b, Taf. VI), wobei wir häufig beobachten, dass das hyaline Fussende des Keimlings der Geburtsöffnung der Mutterzelle abgekehrt ist, was darauf hindeutet, dass die zurückgebliebene

Zoospore im Innern der Mutterzelle nicht geschwärmt, sondern jene Lage beibehalten hat, die sie bei der Geburt der Schwester-Zoosporen erhielt.

Ist die noch unversehrte Umhüllungsblase mit sammt den 4 von ihr eingeschlossenen Makrozoosporen glücklich vor der Oeffnung der Mutterzelle angekommen, so rundet sie sich sofort ab, während sie selbst, sowie die Makrozoosporen lebhaft Wasser aufnimmt, wobei erstere zusehends an Schärfe der Contour einbüsst und schliesslich durch Verschleimung völlig verschwindet, indess die Makrozoosporen sich vergrössern, abrunden, einige ruckweise Bewegungen ausführen, und ihre 4 Cilien in freie Bewegung setzen. Durch die allmähig sich steigernde Thätigkeit der Cilien folgen die ruckweisen Bewegungen immer schneller auf einander. Ist von der Umhüllungsblase gar nichts mehr zu sehen, so scheint deren aufgequollene schleimige oder gallertige Substanz doch noch einige Zeit an gleicher Stelle, freilich auf einen grössern Raum verbreitet, vorhanden zu sein; denn die 4 Makrozoosporen haben augenscheinlich mit einem ihrer freien Bewegung hinderlichen Medium zu kämpfen, das in nichts Anderem bestehen kann, als in der verschleimten Substanz der Umhüllungsblase. Erst wenn diese letztere durch das aufgenommene Wasser hinlänglich verdünnt ist, erfolgt das vollständige Freiwerden der Makrozoosporen. Oft sieht man plötzlich alle 4 Zoosporen auf einmal aus einander eilen, oft aber macht sich eine nach der andern los. Nicht selten sieht man die letzten zwei, oder auch bloss eine letzte Makrozoospore sich noch längere Zeit an der Stelle der ursprünglich vorhandenen Umhüllungsblase mit Mühe intermittirende Bewegungen ausführen, die um so rascher auf einander folgen, je mehr durch die Schwingungen der Cilien und die ruckweisen Ortsveränderungen des Zoosporenkörpers die unsichtbar gewordene Masse der Umhüllungsblase im Wasser verbreitet und verdünnt wird, bis schliesslich auch diese letzten Zoosporen davon eilen.

In seltenern Fällen kann beobachtet werden, dass zuerst eine der 4 in der noch sichtbaren Umhüllungsblase liegenden Makrozoosporen diese letztere durchbricht und entweder sofort davon eilt, oder aber mit dem Zoosporenkörper noch einige Zeit an der Aussen-Fläche der verschleimenden Umhüllungsblase dahingleitet, während die frei beweglichen Cilien lebhaft arbeiten, bis schliesslich eine Trennung des Zoosporenkörpers und der Umhüllungsblase erfolgt, womit das vollständige Freiwerden der Makrozoospore

erreicht ist. Während dieses Processes vollziehen auch die drei noch in der Umhüllungsblase liegenden Makrozoosporen einige ruckweise Bewegungen. Sie lösen sich von einander los und gleiten längs der Innenseite ihrer Gefängniswand dahin, bis die eine und die andere jene Austrittsstelle der ersten Makrozoospore erreicht hat oder auch an anderer Stelle die Umhüllungsblase durchbricht, um die gleichen Befreiungsprocesse zu wiederholen, wie jene. In Taf. VI, Fig. 2 d und e ist dieser letztere Fall dargestellt. Bei d sehen wir den Austritt der 4 in der Umhüllungsblase liegenden Makrozoosporen, in e die letzten 2 Zoosporen, wie sie an der äussern Oberfläche der Umhüllungsblase — mit dieser gleichsam verklebt — dahingleiten, während die 4 Cilien jeder Zoospore lebhaft arbeiten. Dort sehen wir auch, dass die Längsaxe der Makrozoosporen zur Umhüllungsblase tangential situirt ist; dabei sind die 4 am hyalinen Vorderende jeder Zoospore vorhandenen Cilien noch insofern in ihrer vollen Thätigkeit gestört, als sie bei ihren lebhaften Schwingungen öfters mit der Umhüllungsblase in Berührung gelangen und nicht selten auf kurze Momente mit dieser verklebt werden. Sobald es der Makrozoospore gelungen ist, ihre Axe in radiale Richtung zur Umhüllungsblase zu bringen, sobald die Cilien als Locomotionsorgane durch nichts mehr gehemmt werden, ist ihre Schwingung eine so lebhafte, dass jene selbst nicht mehr beobachtet werden können. Dann folgt auch gleich darauf die Ablösung des Zoosporenkörpers von der Umhüllungsblase.

Die gleiche Figur (2e, Taf. VI.) zeigt uns die „centrale Blase“ c. B, die — abweichend von der Cramer'schen Ansicht — hier entschieden um ein Bedeutendes kleiner (statt grösser) ist, als die Makrozoosporen. Wer die Entleerung und das Freiwerden dieser Makrozoosporen nicht selbst mit angesehen hat, möchte versucht sein, die hier gezeichnete „centrale Blase“ als etwas ganz Anderes anzusehen, nämlich als die Contur der Oeffnung in der Umhüllungsblase, aus welcher die Zoosporen in Freiheit traten. Allein diese Ansicht ist durchaus unzulässig; denn die Makrozoosporen waren schon beim Austritt aus der Mutterzelle fast endgültig abgerundet und behielten ihre kugelige Gestalt auch beim Austritt aus der Umhüllungsblase bei, so dass an ein Durchschlüpfen der Makrozoosporen durch ein kleineres Loch in der Umhüllungsblase nicht zu denken ist.

Dass bei der Bildung von 4 Makrozoosporen in einer Mutterzelle ganz evident eine bald grössere, bald kleinere centrale Blase

gebildet werden kann, was Cramer in seiner Arbeit über die Entstehung und Paarung der Schwärmsporen von *Ulothrix* in Abrede stellt, ist oft schon an der noch nicht entleerten Zoosporen-Mutterzelle unzweideutig zu erkennen. Wiederholt habe ich schon im Frühjahr 1875 beobachtet, was ich erst am 7. Januar 1876 in einer besondern Zeichnung so genau als möglich darzustellen versuchte. Da sehe ich in einer Makrozoosporen-Mutterzelle zwischen zwei entleerten Zellen eines frischen *Ulothrix*fadens den ganzen Inhalt stark turgesciren, so dass diese nicht entleerte Zelle vollständig Kugelgestalt besitzt. Der Inhalt zeigt ganz deutlich 4 grosse, abgerundete grüne Makrozoosporen und eine kleinere, wasserhelle, scharf contourirte Blase von kugeligter Gestalt mit etlichen stark lichtbrechenden farblosen Körnchen. Diese Blase mit ihrem durchaus farblosen Inhalt besitzt eine etwas geringere Grösse, als die an sie angrenzenden Makrozoosporen. Sie ist ganz evident die von Cramer für die Makrozoosporen bildenden Mutterzellen verneinte „centrale Blase“, die allerdings in vielen Fällen nicht so direkt beobachtet werden kann, wie hier. Ihre Grösse variirt auch ziemlich stark, so dass ihre Dimensionen oft ein ungewöhnliches Minimum erreichen.

Aus weitem Beobachtungen in dieser Richtung, die ich während des Winters 1875/76 anstellte, muss ich entnehmen, dass ein Analogon für die „centrale Blase“ sogar in solchen Mutterzellen vorhanden ist, die bloss 2 Makrozoosporen bilden. Dort ist diese „centrale Blase“ allerdings noch viel kleiner, als in allen übrigen Fällen, ein Bläschen, dessen Durchmesser mehrfach hinter dem Durchmesser einer Makrozoospore zurücksteht. In den meisten Fällen zerfliesst dieses Bläschen allerdings schon während der Geburt, in seltenen Fällen kann es während der Sporentleerung noch beobachtet werden. Häufig enthält es, wie die centrale Blase von Mutterzellen mit mehreren Zoosporen auch einige stark lichtbrechende farblose Körnchen, die während oder nach der Geburt rasch zerfliessen oder nach der Verschleimung der centralen Blase von der einen oder der andern davon eilenden Makrozoospore noch ein Stück Weges mitgeschleppt werden.

Auch in den seltenern Fällen, wo die Umhüllungsblase und die „centrale Blase“ im Moment des Davoneilens der letzten Makrozoospore noch sichtbar sind, nehmen jene beiden Blasen sehr rasch an scharfer Zeichnung ab; nach wenigen Sekunden, nach  $\frac{1}{4}$  oder  $\frac{1}{2}$  Minute ist weder die eine noch die andere Blase mehr sichtbar.

Grosse Aehnlichkeit mit der Entleerung von 4 Makrozoosporen besitzt derselbe Vorgang bei 8 Zoosporen (Taf. IV. Fig. 19b. c.) und die Entleerung von 16, 32 und mehr Mikrozoosporen (Taf. IV. Fig. 22, 23 und Taf. VI. Fig. 3). Der stark turgescirende Inhalt der abgerundeten Zoosporen-Mutterzelle drückt so auf die Membran, bis an einer Stelle der Cylinderwand, wahrscheinlich unter gleichzeitiger Verschleimung eines ganzen Membranstückes, eine Oeffnung entsteht, durch welche die in der Umhüllungsblase (aufquellende innerste Membranschicht der Mutterzelle) eingeschlossenen, lebhaft Wasser aufnehmenden Zoosporen langsam herausgleiten. Auch hier kann man leicht beobachten, wie die einmal herausgetretene Partie des Geburtsobjectes auf die noch in der Mutterzelle liegende Partie der mit Zoosporen erfüllten Umhüllungsblase ziehend einwirkt (Taf. IV. Fig. 23). Ebenso tritt auch hier häufig der Fall ein, dass die Umhüllungsblase beim Geburtsakt in Folge des starken Zuges zerreisst, so dass dann eine Anzahl von Zoosporen, in der Regel 4, sammt dem zurückgebliebenen Theil der Umhüllungsblase in der Mutterzelle liegen bleibt (Taf. IV. Fig. 22 z, Fig. 23 c u. d). Dabei muss dem Beobachter auffallen, dass während des Zerreisens der Umhüllungsblase die Cilien der in der Mutterzelle zurückbleibenden Zoosporen durch die Geburtsöffnung herausgezogen werden (Taf. IV. Fig. 22 b z und Fig. 23 d), woraus wohl zu schliessen ist, dass die Cilien der Zoosporen in der Umhüllungsblase peripherisch situirt sind. Während in diesen Fällen vor der Oeffnung der Mutterzelle die Zoosporen sich nach und nach aus dem betreffenden Theil der Umhüllungsblase frei machen und der letztere alsbald verschwindet, gelingt es der einen und der andern in der Mutterzelle zurückgebliebenen Zoospore, sich ebenfalls in Freiheit zu setzen, das heisst, mit Hülfe der freibeweglichen Cilien den Ausweg durch die Geburtsöffnung zu finden, während dies oft bei 1 oder 2 Zoosporen nicht gelingt, wobei oft beobachtet werden kann, dass diese endgültig gefangen bleibenden Zoosporen in der Mutterzelle selbst Bewegungen ausführen, ihre Lage und den Ort wechseln, so dass sie schliesslich ihre Cilien oft von der Geburtsöffnung abkehren.

Wie bei der Geburt und der vollständigen Befreiung der Makrozoosporen kann man auch bei der Geburt der Mikrozoosporen Schritt für Schritt den Verschleimungsprocess der Umhüllungsblase verfolgen. Die Erscheinungen des Abgleitens von der noch nicht aufgelösten Umhüllungsblase sind ganz dieselben, wie bei den

Makrozoosporen in Fig. 2 e Taf. VI. Bei der Entleerung von 16, 32 und mehr Zoosporen tritt aber die „centrale Blase“ stärker in den Vordergrund, als in den übrigen Fällen. Dort ist diese letztere bedeutend grösser, als eine Zoospore, ja in manchen Fällen nimmt sie sogar den grössten Theil des Zellinhaltes ein, so dass die zahlreichen Mikrozoosporen bloss eine dünne Schicht zwischen der Umhüllungs- und der centralen Blase bilden. Dann sehen wir nicht selten, dass die vor der Geburtsöffnung angelangte abgerundete Masse eine Hohlkugel darstellt, gebildet von den zahlreichen Mikrozoosporen, welche von der verschleimenden Umhüllungsblase umgeben sind (Taf. VI. Fig. 3; vergl. auch Fig. 1 c und d der gleichen Tafel).

Nach wenigen Sekunden zerfliesst aber gewöhnlich die Umhüllungsblase und dann sehen wir, wie die einzelnen noch mit der schleimigen Masse der letzteren kämpfenden Zoosporen sich successive von der centralen Blase ablösen und rasch davoneilen. Es kann auch der Fall eintreten, dass die noch nicht losgemachten Mikrozoosporen durch die lebhaft Schwingung der Cilien vereint eine langsame Rotation der noch nicht aufgelösten centralen Blase zu Stand bringen, wie ich dies schon im Frühjahr 1870 beobachtet und auf einer Tafel dargestellt habe.

Weniger häufig ist der Fall, wo die lebhaft Wasser aufnehmenden, mehr und mehr sich vollständig abrundenden Mikrozoosporen die sie einschliessende Umhüllungsblase an irgend einer Stelle sprengen, ehe sie genügend verschleimt ist, um an der ganzen Peripherie ein Entweichen der Mikrozoosporen zu gestatten. Dann stürzen die meisten Zoosporen mit grosser Hast durch diese einzige Oeffnung in der farblosen Umhüllungsblase, um sofort den tollen Tanz des Schwärmens zu beginnen, während die wenigen zurückgebliebenen Mikrozoosporen im Innern der Umhüllungsblase selbst so lange herumschwärmen, bis sie die Oeffnung ebenfalls gefunden haben, oder bis die ganze Masse der Umhüllungsblase selbst zerflossen ist. Dass bei dieser plötzlichen Entleerung der Umhüllungsblase in ihrem Innern ein ziemlich starker hydrostatischer Druck sich geltend macht, sieht man sofort aus der Energie des Entleerungsvorganges, wobei die ersten Mikrozoosporen augenscheinlich mit Gewalt aus der Oeffnung der geborstenen Hüllblase herausgeworfen werden. Ohne Zweifel ist es zum Theil die Masse der verschleimenden centralen Blase, zum Theil auch mitwirkend eine zwischen den einzelnen Zoosporen vorhandene, stark quellungs-

fähige Grenzsubstanz, welche vereint mit den lebhaft Wasser aufnehmenden Zoosporen den starken Turgor des ganzen Geburtsballens verursachen.

Es ist nicht zu übersehen, dass die Verschleimung und das damit Hand in Hand gehende Unsichtbarwerden der Umhüllungsblase schon während des Geburtsaktes der Mikrozoosporen so weit vorgeschritten ist, dass man oft von der Umhüllungsblase selbst und gewöhnlich auch von der centralen Blase — namentlich bei langsamer Geburt — direkt Nichts mehr sehen kann. Dagegen beobachtet man dann, dass die sich vollständig abrundenden Zoosporen mit den erst langsam und intermittirend sich bewegenden Cilien in einem ihre Bewegung hemmenden unsichtbaren Medium liegen, dass ohne Zweifel nichts Anderes ist, als die im klaren Wasser zerfliessende Masse der Umhüllungs- und vielleicht auch der centralen Blase. Auffallend ist weiterhin der Umstand, dass in solchen Fällen sehr häufig die Mikrozoosporen einer und derselben Mutterzelle vor der Geburtsöffnung der letztern sich gruppenweise auflösen und zwar so, dass je 4 Zoosporen zusammen längere Zeit, nachdem sie sich von den übrigen Gruppen getrennt haben, gemeinsam tummelnde Bewegungen ausführen, oft sich weit von der Geburtsstätte entfernend, ehe die Einzel-Individuen dieser 4-sporigen Gruppen aus einander treten und das selbständige Schwärmen beginnen. Ich sah diesen Vorgang am 7. Mai 1875 zu wiederholten Malen bei Zellen, die 16 Mikrozoosporen entleerten, wobei die ganze Sporen-Colonie erst in 4 viersporige Gruppen zerfiel, wovon die letzte Gruppe längere Zeit vor der Geburtsöffnung liegen blieb, nachdem die andern drei Gruppen bereits das Weite gesucht und sich aufgelöst hatten. Hiebei dürfen wir uns auch daran erinnern, dass beim Zerreißen der Umhüllungsblase während der Geburt in der Regel ebenfalls 4 Mikrozoosporen in der Mutterzelle zurückbleiben. Diese Erscheinung deutet wohl auf die Entstehungsweise der Mikrozoosporen hin, die durch succedane Zweitheilungen des plasmatischen Zellinhaltes entstehen, so dass während des Bildungsprocesses der Zellinhalt nach einander 2, dann 4, dann 8, dann 16, erst später 32 etc. Partien darstellt. Es ist zu vermuthen, dass je 4 zusammen eine tummelnde Gruppe bildende Zoosporen die letzten Theilungsprodukte einer Mutterportion des ursprünglichen Zellinhaltes darstellen. Ich halte es auch für mehr als wahrscheinlich, dass diese letzten Theilungsprodukte noch durch eine gemeinsame Hüllsubstanz verbunden

sind, die sich erst während oder kurz nach der Geburt im Wasser auflöst. Würde sich dann der Auflösungsprocess der Hüllsubstanz mehr verzögern, als das Zerfliessen der ganzen Umhüllungsblase, so wäre leicht verständlich, wie jene 4-sporigen Gruppen entstehen und sich länger vereinigt erhalten könnten, als in dem Falle, wo die Hüllsubstanz der letzten Theilungsprodukte des mütterlichen Zellinhaltes schon frühzeitig, vor oder während der Geburt verflüssigte. Ich wage nicht, die Anwesenheit einer solchen Hüllsubstanz, die man passend auch Demarkations-Substanz der Sporengruppen nennen könnte, für alle Fälle zu behaupten. Allein einige Erscheinungen dürften auf ihre Anwesenheit schliessen lassen. Es ist überhaupt noch fraglich, ob nicht zwischen allen Zoosporen von *Ulothrix zonata* in der Mutterzelle eine Demarkationssubstanz vorhanden ist, welche — ähnlich wie die innerste Membranschicht der Mutterzelle — die Fähigkeit besitzt, zur Zeit der Sporenreife beträchtlich viel Wasser aufzunehmen. Dann würde sich auch erklären, warum die Zoosporen so oft schon in der Mutterzelle abgerundet erscheinen und in den Fällen, wo dies nicht der Fall, die einzelnen polyedrischen Mikrozoosporen scharf von einander abgegrenzt und durch eine dünne wasserhelle Schicht von einander getrennt sind (vergl. Taf. VI. Fig. 1 c, d, e). Weitere Untersuchungen müssen hierüber noch entscheidendere Momente bieten, ehe ich diese Frage als gelöst betrachte.

Doch will ich nicht unterlassen, den vorstehenden im Sommer 1875 niedergeschriebenen Argumenten noch die Aufzeichnungen über eine weitere diesbezügliche Beobachtung vom 26. Novbr. gleichen Jahres anzureihen, da dieselben sehr geeignet sind, die oben berührte Frage über die Anwesenheit einer schwellbaren, quellungsfähigen Demarkations-Substanz zwischen den reifen Zoosporen einer nahen Lösung entgegenzuführen.

Am 26. Novbr. holte ich von dem Springbrunnen vor dem Polytechnicum frisches Untersuchungsmaterial, nämlich grüne Fadenbündel von *Ulothrix*, die in Eiszapfen eingefroren in's angenehm temperirte Laboratorium gebracht und dort — in frischem Wasser liegend — zum Aufthauen veranlasst wurden. Aus diesen aufgethauten Massen entleerten sich unzählige Makrozoosporen, meist zu zwei, aber auch zu 4 oder einzeln in einer Mutterzelle entstehend; seltener entdeckte ich einen Faden, der Mikrozoosporen enthielt und solche entleerte. Um so überraschender waren die Erscheinungen des Entleerungsprocesses dieser letztern. An einem

Faden sah ich Mikrozoosporen aus zwei benachbarten Zellen zugleich austreten; jede Zelle enthielt deren 16 (Taf. III. Fig. 6aa). Ohne Zweifel erfolgte die Geburt zu frühe unter dem Einfluss des raschen Aufthauens und der beträchtlich höhern Zimmerwärme des Laboratoriums. Die rothen Pigmentflecke („Augenpunkte“) waren kaum erkennbar. Die Geburt ging sehr langsam vor sich. Aussen angekommen verschleimte die Umhüllungsblase der 16 Zoosporen ganz langsam. Letztere bewegten sich kaum, nahmen aber lebhaft Wasser auf. Nun trat ein Stadium ein, wobei je 4 Mikrozoosporen zusammen in einer wasserhellen, nur mit wenigen farblosen Körnchen ausgestatteten kleinen Blase liegend, zu sehen waren (Taf. III. Fig. 6). Die sämtlichen 32 Mikrozoosporen der zwei entleerten Zellen a a lagen in 8 solchen deutlich erkennbaren kleinern Blasen, die mehr und mehr anschwellen, bis sie zerflossen. Hierbei vergrösserten sich auch die unreifen Mikrozoosporen, ohne jedoch zu schwärmen. Sie degenerirten alsbald; an einigen waren immerhin deutlich die zwei freigewordenen Cilien zu sehen, die sich augenscheinlich nur versuchsweise bewegten, aber nichts auszurichten vermochten.

In einer andern Zelle b desselben Fadens blieben 4 Mikrozoosporen in einer kleinen Blase eingeschlossen zurück, während  $3 \times 4$  Mikrozoosporen mit sammt den drei sie umschliessenden Blasen geboren wurden, aber ebenfalls nicht zu schwärmen vermochten.

Unter demselben Deckglas sah man da und dort degenerirende, stark aufquellende Mikrozoosporen zu je 4 in der Specialumhüllungsblase — wie ich diese kleinern Blasen nennen will — liegen. Ja, an einigen Stellen konnte man den Zerfall eines Geburtsballens successive so weit verfolgen, dass schliesslich nur noch je zwei Mikrozoosporen in einer sie einhüllenden kleinen Blase zu sehen waren.

Könnten wir die in Vorstehendem angeführten Thatsachen nicht auch als den Ausdruck krankhafter Erscheinungen betrachten (woran uns übrigens der oben citirte Vorgang vom 7. Mai 1875 hindern dürfte), sondern als allgemein herrschende, nur wegen zu rascher Abwicklung der Einzel-Vorgänge in der Regel nicht controlirbare Erscheinungsreihe, so müssten uns diese Thatsachen, die ich auch in Zeichnungen fixirt habe, zu folgender Deutung veranlassen:

Jede Zoospore von *Ulothrix zonata* ist umgeben von einer äusserst dünnen farblosen, quellbaren Hüllschicht, die bei der Geburt rechtzeitig zerfliesst, sofern die Zoospore schwärmen soll.

Wo zwei Zoosporen in einer Zelle entstehen, sind dieselben nicht allein von der quellbaren peripherischen Schicht des ganzen plasmatischen Inhaltes (abgesehen von der Umhüllungsblase, welche die innerste Membranschicht der Mutterzelle darstellt) umgeben, sondern jede Makrozoospore für sich noch von einer besondern Hüllschicht begrenzt. Letztere ist das Produkt der peripherischen Ausscheidung von quellbarer Substanz jeder einzelnen Tochterzelle. Erfolgt nochmalige Theilung zur Bildung von 4 Zoosporen, so entstehen succedan in einander geschachtelte Hüllschichten; die äusserste umgibt als Produkt des ursprünglich ungetheilten plasmatischen Inhaltes der Mutterzelle alle 4 Zoosporen; sie umschliesst aber zwei kleinere Hüllblasen mit je zwei Zoosporen, während letztere selbstverständlich an ihrer ganzen Oberfläche ihre besondere Hüllschicht ausscheiden. Sind 8 Zoosporen vorhanden, so haben wir uns die quellbare Masse als dreifach in einander geschachtelte Blasen zu denken. Sind 16 Zoosporen in einer Mutterzelle, so ist die Einschachtelung eine vierfache u. s. f.

Diese quellbare Hüllsubstanz von 1, 2, 4, 8, 16 etc. Zoosporen ist ein Produkt des sich succedan theilenden plasmatischen Zellinhaltes; wir können sie als Analogon für die in einander geschachtelten Gallerthüllen der aus einer Mutterzelle hervorgehenden Colonieen mancher Palmellaceen betrachten. In Anbetracht ihrer kaum zu unterschätzenden physiologischen Bedeutung für die Geburt der Zoosporen von *Ulothrix* möchte ich sie quellbare Demarkationssubstanz nennen.

Unter gewöhnlichen Verhältnissen wird sie nicht direkt beobachtet, was aber nach meinem Dafürhalten kein Grund sein sollte, ihre Anwesenheit auch dort, wo sie eben nicht mehr der Beobachtung zugänglich ist, zu leugnen.

Nicht minder schwierig ist die Frage der centralen Blase zu lösen. Ich habe schon oben bemerkt, dass ich diese letztere auch bei der Entleerung von 4 und sogar bei 2 Makrozoosporen beobachtet und von geringerem Durchmesser gefunden habe, als eine Makrozoospore (Vergl. Taf. VI. Fig. 2 e), dass sie dagegen in Zellen mit 8—16—32 und mehr Mikrozoosporen sehr gross ist und schon in der Mutterzelle liegend, frühzeitig als scharf conturirte, glashelle Kugel bald den centralen Hohlraum der Zelle einnimmt, bald aber auch excentrisch der cylindrischen oder auch einer Querwand anliegt. Cramer, der die Anwesenheit der centralen Blase bei Zellen mit bloss 2, oder 4 oder 8 Sporen verneint, ist

der Ansicht, dass die centrale Blase, die nach ihm nicht selten selber etwas wandständigen grünen Inhalt, bisweilen sogar 2 Cilien und einen rothen Fleck besitze, ja sogar wenn auch selten zu schwärmen vermöge, „als eine Zoospore zu deuten sei, die vermuthlich in Folge Unterbleibens der Theilung einer Uebergangszelle grösser als die übrigen Zoosporen“ wäre. Dagegen scheinen nach meinen oben mitgetheilten Beobachtungen mehrere Momente zu sprechen, von denen das gewichtigste wohl die Anwesenheit einer centralen Blase bei Zellen mit bloss 4 Makrozoosporen ist. Hier kann sie doch unmöglich als ein den Zoosporen homologes Gebilde betrachtet werden. Die Zahl 4 repräsentirt das Resultat der zwei stattgehabten Zweitheilungen des grünen plasmatischen Inhaltes der Mutterzelle. Die centrale Blase muss also in diesem Falle als besonderes Gebilde des farblosen Inhaltes angesehen werden. Allerdings verhehle ich nicht, dass die Cramer'sche Deutung die einfachste Erklärung wäre; sie kann aber in den Fällen, wo entweder 4 oder genau 8, oder genau 16, oder genau 32 Zoosporen die Zelle verlassen, nicht acceptirt werden. Auch ist mir sehr wahrscheinlich, dass die Cramer'sche Angabe, es könne die centrale Blase sogar chlorophyllhaltiges Plasma und zwei Cilien besitzen, auf einer Täuschung beruht. Ich habe unter Hunderten von lebhaft schwärmenden und sich copulirenden Mikrozoosporen, die ich mit einer Pipette aus einer grünen Wolke von Zoosporenhaltiger Flüssigkeit auf den Objektträger gebracht, mehrere glashelle Blasen beobachtet, die scheinbar mit Cilien behaftet, nur am hintern Ende zwei kleine Partien grünen Plasma's enthielten (Taf. IV. Fig. 15, 16, 17), im übrigen Theil der wasserhellen Kugel aber nur wenige farblose tanzende Körnchen zeigten. Diese „schwärmenden“ Blasen besaßen aber zwei rothe Punkte und bewegten sich sehr träge, zeigten auch mehr als 2 Cilien (Taf. IV. Fig. 15, 16, 17 a) und liessen die zwei grünen Plasmaportionen sammt den rothen Flecken sich ablösen, während die hyaline Blase mit ihren tanzenden Körnchen sehr schnell degenerirend sich auflöste (Taf. IV. Fig. 15 b, c., Fig. 16 b). Die Blase 17 a degenerirte sammt den beiden grünen Plasmapartien, ohne dass diese letzteren vorher sich loslösten. Nach all den verschiedenen Beobachtungen, die ich über die Entleerung, über das Schwärmen und die Copulation der Mikrozoosporen gemacht habe, geht meine Ansicht dahin, dass die in Fig. 15, 16, 17 Taf. IV. dargestellten schwärmenden Kugeln wohl nichts Anderes sind, als frei

gewordene „centrale Blasen“ von Mutterzellen mit Mikrozoosporen. Die zwei kleinen Parteen grünen Plasmas am Hinterende der träge in-Bewegung gesetzten Kugel sind wohl nichts Anderes, als 2 an der centralen Blase hängen gebliebene Mikrozoosporen, die Cilien, welche die Blase zu bewegen vermochten, sind nichts Anderes als die Cilien dieser 2 Zoosporen, welche letztere, als sie schliesslich zur Ruhe gelangten, sich in den beiden Fällen (Taf. IV. Fig. 15 und 16) schliesslich doch noch von der centralen Blase ablösten, wenigstens mit dem grünen chlorophyllhaltigen Theile.

Eine eben so nahe liegende Deutung geht dahin, dass die eben angeführten Erscheinungen sich auch auf die früher erwähnten Specialumhüllungsblasen zurückführen lassen. Ich habe gezeigt, dass bei der Geburt von Mikrozoosporen nicht selten der ganze Geburtsballen nach der Verschleimung der Umhüllungsblase in Gruppen von Mikrozoosporen zerfällt; dass jede dieser Gruppen bis zum Sichtbarwerden von noch kleinern Blasen mit je zwei Mikrozoosporen vorschreitet und dass solche Special-Umhüllungsblasen nicht selten von den davoneilenden Zoosporen noch eine Strecke Weges mitgeschleppt werden, ehe sie zerfliessen. Das sind Erscheinungen, die auf ganz natürliche Weise die in Fig. 15, 16 und 17 Taf. IV. dargestellten Prozesse befriedigend erklären, selbst ohne die Annahme, dass wir es dort mit einer centralen Blase, sondern vielmehr mit zerfliessenden Special-Umhüllungsblasen zu thun haben.

Etwas Aehnliches kann Cramer veranlasst haben, die centrale Blase selbst als mit Cilien behaftet aufzufassen. In keinem Falle kann ich mich aber zu der Annahme verleiten lassen, als sei die centrale Blase ein den Zoosporen homologes Gebilde, das selbst mit Cilien ausgestattet sein könne, oder gar grünes Plasma enthält. Meine zahlreichen Beobachtungen leiten mich vielmehr zu folgender Deutung:

Die centrale Blase ist ursprünglich die mit klarer Zellflüssigkeit erfüllte wasserhelle Vacuole, welche in der Zoosporen-Mutterzelle vor der vollendeten Zoosporenbildung in grösserem oder geringerem Umfang das Centrum der Zelle einnimmt. Um diese centrale Vacuole gruppirt sich das grüne, chlorophyllhaltige Plasma, welches in der vegetativen Zelle als der bekannte grüne Gürtel an der cylindrischen Zellwand erscheint, das aber beim Beginn der Zoosporen-Bildung sich über die ganze Innenfläche der Mutterzellmembran ausbreitet und die Vacuole vollständig

umgibt. Je nach der relativen Menge des grünen plasmatischen Inhaltes der Mutterzelle ist diese centrale Vacuole entweder gross oder klein. Bei der Bildung einer einzigen Makrozoospore wird diese centrale Vacuole zum Aufbau des Zoosporen-Körpers mit verwendet und individualisirt sich also nicht. Vor oder während der Theilung des Zellinhaltes zur Bildung zweier Makrozoosporen dagegen wird die centrale Vacuole der Mutterzelle von einem farblosen (Protoplasma?-) Häutchen umgeben, indess das rings herum gelagerte grüne Plasma durch die bekannte horizontale erste Theilungsfläche in zwei Portionen zerfällt und zu den zwei Makrozoosporen sich umbildet.

Bei der Bildung von 4, 8, 16, 32 und mehr Zoosporen wird immer nur das um die centrale Vacuole situirte Plasma getheilt und zwar, wie ich schon in einem frühern Kapitel gezoigt, durch Theilungsflächen, die senkrecht auf den Wänden der Mutterzelle und folgerichtig auch senkrecht auf der Peripherie der centralen Vacuole („centralen Blase“) stehen. Selbstverständlich entstehen hiebei in dem ausschliesslichen Bildungsmaterial der Zoosporen, sobald diese zu 2, 4, 8, 16 etc. gebildet werden, neue Vacuolen, die zu jenen Blasen umgewandelt werden, welche den Innenraum der Zoosporen erfüllen (man vergl. oben das Kapitel über die Form und Organisation der Zoosporen). Nun wird auch verständlich, warum die centrale Blase oder diese centrale Vacuole der Mutterzelle um so grösser ist, je grösser die Anzahl der um sie gelagerten Zoosporen, dass sie dort sogar den grössten Theil des Zellumens erfüllt, wo in einer relativ chlorophyllarmen Zoosporen-Mutterzelle sehr viele Mikrozoosporen in's Dasein treten, dass sie da am kleinsten ist, wo die chlorophyllreiche Fadenzelle bloss zwei grosse Makrozoosporen bildet; dass sie ferner sogar vollständig der Beobachtung entgeht, wo ihre Dimensionen auf ein Minimum beschränkt sind, während die Grösse der Zoosporen das Maximum erreicht.

Meine Ansicht geht endlich dahin, dass die centrale Vacuole („centrale Blase“) für den Geburtsmechanismus, wie ich schon oben bemerkte, von hoher Bedeutung ist. Sie hat die Fähigkeit, während oder nach der Geburt vollständig zu verschleimen und hiebei durch Wasseraufnahme den Turgor des ganzen Geburtsballens erhöhen zu helfen. Ob ihr wasserheller Inhalt eine beträchtliche Menge organischer Substanzen gelöst enthält, wird schwer zu ermitteln sein, ist aber wohl zu vermuthen. Dass sie sogar schon vor der

Geburt der Zoosporen zerfliessen kann, glaube ich schon oben gesagt zu haben.

Ob man endlich in der centralen Vacuole, wie ich die „centrale Blase“ von nun an nennen möchte, ein Analogon für die bei höhern Kryptogamen (Equiseten, Rhizocarpeen, Selaginellen, Isoëten etc.) vorhandene Blase in den Spermatozoiden-Mutterzellen vor sich habe, lasse ich unentschieden, um so mehr, als die von mir oben signalisirten Specialumhüllungsblasen der Mikrozoosporen noch weit mehr Vergleichungspunkte bieten, um als Analogon für das jenen Spermatozoiden anhängende behäutete Bläschen aufgefasst zu werden. Eines aber scheint mir ausser Frage zu sein, dass die „centrale Blase“ (centrale Vacuole) in der Zoosporen-mutterzelle der Ulothrixfaden ihr Analogon besitzt in jener centralen Vacuole, welche sich bei der Bildung von Zoosporen im Innern der reifen Zygospore von Ulothrix zeigt. (Man vergl. unten das Kapitel über die Entwicklung der Zygospore nach der Ruhezeit.)

Im Folgenden stimme ich der Cramer'schen Deutung des Geburtsmechanismus der Zoosporen von Ulothrix zonata in den Hauptpunkten bei und beschränke mich darauf, gleichsam resümierend hier die betreffende Stelle aus Cramer's Darstellung mit etlichen erweiternden und corrigirenden Bemerkungen wiederzugeben.

„Kurz vor dem Entleeren der Zoosporen sind die Ulothrixfäden rosenkranzförmig (nicht immer! Taf. I. Fig. 1 b; Taf. II., Taf. IV. Fig. 19 und Taf. VI. Fig. 2 und 3). Sobald eine Mutterzelle geplatzt ist, sinkt sie zusammen und es wölben sich die noch nicht entleerten Nachbarzellen gegen dieselbe convex vor; nicht entleerte, zu beiden Seiten von entleerten Zellen begrenzte Mutterzellen sind allseitig convex, gleichviel ob sie wenige oder viele Zoosporen enthalten. (Vergl. Taf. II. Fig. 1 c, 2 u. 3, Taf. IV. Fig. 19, 22, 23 und Taf. VI. Fig. 2 und 3.) Bei Entleerung der Zoosporen sinken auch diese vereinzelt Mutterzellen zusammen. Es ist nach alledem zweifellos, dass in nicht entleerten Mutterzellen ein bedeutender hydrostatischer Druck besteht. Dass dieser Druck eine Folge der Wasseraufnahme der Zoosporen ist, wird dadurch wahrscheinlich, dass die Zoosporen während des Schwärmens unter Wasseraufnahme sich vergrössern, eine andere Ursache aber nicht zu erkennen ist.“

Hier habe ich dem Cramer'schen Argument ein Weiteres beizufügen. In allen lebenden Zellen von Ulothrix — gleichviel ob sie in vegetativem Zustand oder im Stadium der Reproduktion

sich befinden — herrscht ein beträchtlicher hydrostatischer Druck, ähnlich wie in den lebhaft assimilirenden Fadenzellen von Spirogyra und andern Zygnemaceen. Wird ein solcher assimilirender Faden beim Präpariren zerrissen, so stülpt sich die Querwand der nächstliegenden unverletzten Fadenzelle eines jeden Fragmentes convex nach Aussen gegen die zerrissene Zelle vor. Schon Nägeli hat vor Jahren darauf aufmerksam gemacht, dass man oft eine prächtige Abstufung in der Convexität der Querwände bei abgerissenen Zellreihen an Wasseralgeln beobachten kann und zwar der Art, dass in Folge Zerreißens eines Algenfadens die Querwände der unverletzten Zellen auf grössere Distanzen gegen die zerrissene Zelle hin sich convex vorwölben. Die der Rissstelle zunächst gelegene Querwand ist am meisten gewölbt, weniger als diese ist die zweite Zellwand, weniger als die zweite ist die dritte u. s. w. Querwand vorgewölbt, bis schliesslich bei der 5. bis 10. Zelle die Convexität gleich Null wird.

Wenn also schon in rein vegetativen Zellen von Ulothrix, Spirogyra, Zygnema etc. sich der hydrostatische Druck des Zellinhaltes durch das Convexwerden der Querwände gegen verletzte Zellen hin bemerkbar macht, so ist dieser hydrostatische Druck bei sporenerfüllten Zellen von Ulothrixfaden kein charakteristisches Moment; wohl aber wird derselbe in Zellen mit Zoosporen grösser sein, als in bloss vegetirenden Zellen, weil, wie ich in einem vorhergehenden Kapitel gezeigt habe, bei den zoosporenbildenden Zellen das grüne assimilirende Plasma in grösserer Menge vorhanden ist, als in bloss vegetirenden Zellen. Das chlorophyllhaltige Plasma aber ist es, welches bekanntlich unter dem Einfluss des Sonnenlichtes lebhaft assimilirt und daher die Concentration der Zellflüssigkeit mit ihren gelösten organischen Substanzen erhöht. Der assimilirenden Thätigkeit des reichlich vorhandenen grünen Plasmas ist also ohne Zweifel zum grossen Theil der stärkere hydrostatische Druck in den sporenhaltigen Mutterzellen zuzuschreiben. Jener Thätigkeit verdanken wir wohl auch die Erscheinung, dass die Entleerung der reifen Zoosporen unter normalen Verhältnissen gewöhnlich am Anfang des Tages, bei oder kurz nach dem Beginn der Einwirkung des Sonnenlichtes vor sich geht, nachdem sich während der letzten 24 Stunden das grüne Plasma der Mutterzelle in Zoosporen umgebildet hat. Dabei bleibt nicht ausgeschlossen, dass die lebhaftere Assimilation unter dem Einfluss des Tageslichtes auch eine Reihe anderer chemischer Vorgänge in

der Zelle nach sich zieht, die wir unter dem Ausdruck Stoffmetamorphosen zusammenfassen und als secundäre Ursache für die grösseren Druckverhältnisse in der Sporenmutterzelle betrachten können. Jeder Process hat bekanntlich seine günstigsten Temperaturgrade; bringen wir daher Algenfaden mit fast fertig gebildeten Zoosporen aus dem bisherigen normal temperirten Medium, z. B. aus kaltem Brunnenwasser in solches von höherem Temperaturgrad, beispielsweise zum Zwecke der mikroskopischen Untersuchung in ein geheiztes Zimmer, so sehen wir sehr häufig, dass die Entleerung der Zoosporen, welche in kaltem Wasser erst am folgenden Morgen stattfinden würde, unter gewöhnlicher Zimmertemperatur schon am Nachmittag vorher vor sich geht. Dabei wirkt ohne Zweifel noch ein anderes Moment in hohem Grade mit: Bei der mikroskopischen Untersuchung wird concentrirteres und von allen Seiten einwirkendes Tageslicht angewandt. Der Mikroskopiker kann bei der Untersuchung von *Ulothrix zonata* hundert Mal erfahren, dass während der Untersuchung unter dem Deckgläschen lebhaftere Assimilation stattfindet, indem sich stets zahlreiche Sauerstoffbläschen in der stark beleuchteten Flüssigkeit absondern. Der höhere Temperaturgrad und das concentrirtere Tageslicht beschleunigen den Assimilations-Process in den sporenführenden Zellen und verursachen eine rasche Steigerung des hydrostatischen Druckes des Zellinhaltes auf die Membran der Mutterzelle in Folge energischer Wasseraufnahme. Kommt nun noch hinzu, dass bei der Anwesenheit einer centralen Blase und der von mir wiederholt berührten Demarkationssubstanz zwischen den reifen Zoosporen, wie sie nicht selten in Form von in einander geschachtelten Special-Umhüllungsblasen zur Erscheinung kommt, sowie bei dem nie fehlenden Aufquellen der innersten Membranschicht der Mutterzelle eine Summe von quellungsfähigen, rasch Wasser aufnehmenden Substanzen gleichzeitig als turgor-erhöhende Momente nebst den assimilirenden Zoosporen nach Volumvermehrung strebt, so leuchtet sofort ein, dass der hydrostatische Druck in einer mit reifen Zoosporen erfüllten Mutterzelle allerdings ein bedeutend grösserer sein wird, als in einer gewöhnlichen, vegetativen Fadenzelle.

Cramer führt weiter aus:

„Ohne Zweifel spielt nun aber dieser Druck sowohl beim Oeffnen der Mutterzellen als beim Austritt der Zoosporen eine wichtige Rolle. Es lässt sich denken, dass derselbe in der noch geschlossenen Mutterzelle allmählig so zunimmt, dass ein Zerreißen

der Membran der Mutterzelle zuletzt unvermeidlich wird. Das Zerreißen muss an der jeweiligen schwächsten Stelle der vielleicht schon vor dem Platzen sich überall, jedoch nicht gleichmässig lockernden Membran der Mutterzelle eintreten. Vor dem Platzen hielten sich die Elasticität der Mutterzellmembran und das Ausdehnungsbestreben der Zoosporen das Gleichgewicht. Die Membran der Mutterzelle war natürlich stärker gedehnt, als es die in ihr wirksamen Molekularkräfte für sich allein zugelassen hätten; es waren aber auch die Zoosporen gehemmt, den ihrem Dehnungsbestreben vollkommen entsprechenden Raum einzunehmen. Mit dem Platzen der äussern Membranschicht der Mutterzelle hört nun der Widerstand, den die Elasticität der Wand der Ausdehnung der Zoosporen entgegenstellte, auf, und indem diese ihrer momentanen Spannung entsprechend sich ausdehnen, müssen sie aus dem Riss hervortreten. Damit nimmt dann aber der hydrostatische Druck im Innern der Zelle ab; es wird sich in Folge dessen die geplatze Membran, entsprechend den in ihr wirksamen Molekularkräften, contrahiren und diese Contraction zur zweiten, nie fehlenden Ursache des Austrittes der Zoosporen. Wo aber die geplatze Zelle an noch nicht entleerte Zellen grenzt, da wird endlich der hydrostatische Druck im Innern der Nachbarzellen, der sich in dem Convexwerden ihrer Wände gegen die geplatze Zelle hin äussert, zur dritten Kraftquelle, welche die Ausstossung der Zoosporen einleitet.“

Diese Argumentation hat alle von mir beobachteten Erscheinungen für sich. Ich habe ergänzend hinzuzufügen, dass der Process der Entleerung der Zoosporen dort am schnellsten vor sich geht, wo die benachbarten Zellen noch vermöge ihres Turgors auf die sich entleerende Zoosporenmutterzelle einwirken, wo also diese „dritte Kraftquelle“ wirklich vorhanden ist. Anders verhält es sich mit der Entleerung von Zoosporen-Mutterzellen, welche an schon entleerte Nachbarzellen grenzen. Hier ist der Entleerungsprocess ein langsamerer, da die „dritte Kraftquelle“ fehlt. Darum trifft man nicht selten auf entleerte Fäden, bei denen da und dort eine isolirte Zelle mit reifen Zoosporen sich gar nicht mehr zu entleeren vermochte, obschon diese letztern normal entwickelt waren, da sie in der Mutterzelle zu keimen beginnen (vergl. Taf. V. Fig. 2 und 3).

Dagegen bin ich nicht im Falle, die auf obige Stelle folgende Annahme Cramer's als plausibel zu erklären. Sie lautet: „Die

direkten Beobachtungen gestatten aber die Annahme, dass auch die Umhüllungsblase der Zoosporen bis auf einen gewissen Grad passiv gedehnt sei. Ohne Zweifel nimmt die passive Dehnung unmittelbar nach dem Platzen der äussern Membranschicht der Mutterzelle und beim Beginn des Ausschlüpfens der Zoosporen, besonders im freigewordenen Theil der Umhüllungsblase erheblich zu, theils weil in diesem Zeitpunkt der centripetale Gegendruck der äussern Membranschicht der Mutterzelle aufhört, ein allgemeiner zu sein und die Wasseraufnahme der Zoosporen sich also steigern kann, theils weil die unregelmässig geformten Zoosporen beim Austreten mit Rücksicht auf Raum-Ersparniss kaum immer in die vortheilhafteste Lage kommen werden. Der unbegrenzten passiven Dehnung wirkt aber die Elasticität der Umhüllungsblase entgegen und es scheint mir mehr als annehmbar, dass der Widerstreit der Dehnung einerseits und der Elasticität andererseits im herausgetretenen Theil der Umhüllungsblase einen Zug auf den noch in der Mutterzelle befindlichen Theil in der Richtung des Austrittes ausüben werde, welchem dieser Theil um so eher folgen wird, wenn die Scheidewände noch nicht geöffneter Nachbarzellen sich gegen die geplatzte convex wölben, also einen gegen den Riss der gebärenden Zelle sich erweiternden trichterförmigen Raum umgrenzen, von dessen Wänden die Umhüllungsblase leicht abgleiten kann.“

Gegen die Annahme einer bei der Entleerung der Zoosporen mitwirkenden Elasticität der Umhüllungsblase sprechen mehr Gründe, als für die entgegengesetzte Annahme, dass die Umhüllungsblase schon vor und während der Geburt so viel Wasser aufnimmt, dass sie unendlich viel weniger durch ihre Elasticität, als vielmehr durch ihre eigene Volumzunahme die Geburt befördert. Ich habe oben darauf hingewiesen, dass sehr oft von der Umhüllungsblase während und nach der Geburt nichts mehr zu sehen ist, obschon sie nach den Geburtserscheinungen zu schliessen, doch noch vorhanden ist. Meine Beobachtungen drängen mir entgegen der Cramer'schen Annahme den Schluss auf, dass die Umhüllungsblase sowohl, als auch die „centrale Blase“ und die Demarkationssubstanz vor und während der Geburt ebenso wie die Zoosporen viel Wasser aufnehmen und bei diesem Quellungsprocess die letzten Funktionen des Gebärapparates übernehmen, um gleich darauf zu zerfliessen. (Man vergleiche auch: Dr. Jacob Walz, Ueber die Entleerung der Zoosporangien“ in der Bot. Zeitung 1870. No. 43 und 44.)

Dass die Wasseraufnahme der Geburtsobjekte während der Entleerung eine ganz beträchtliche ist, ergibt sich aus der Vergleichung der Dimensionen des Zellinhaltes kurz vor und unmittelbar nach der Geburt (Taf. IV. Fig. 23 a, b, c, d; Taf. VI. Fig. 2 u. 3). Ganz besonders springt dies aus Fig. 3 in Taf. VI. in die Augen, wo die entleerte Mutterzelle x kaum die Hälfte des Kubikinhaltes besessen haben mag, als der vor der Geburtsöffnung liegende, durch die Umhüllungsblase abgegrenzte Geburtsballen.

Wie bereits früher bemerkt, treten die meisten Zoosporen in der Morgenfrühe aus; bei hellem Wetter früher, als bei dunkelm Himmel. Ohne Zweifel hängt der Entleerungsprocess mit der durch das chlorophyllhaltige Plasma sich vollziehenden Assimilation zusammen. Wird letztere durch Temperaturerhöhung des Wassers beschleunigt, so kann natürlich auch die Zoosporen-Entleerung früher als unter gewöhnlichen Verhältnissen erfolgen. Darauf beruht die Erscheinung, dass Ulothrix-Fäden, die ihre Zoosporen während des Aufenthaltes in einem kühleren Medium bildeten, sobald sie in ein wärmeres Lokal versetzt werden, zu allen Tageszeiten ihre Zoosporen entleeren (vergl. das nächst folgende Kapitel V. über die Frühgeburten). Ich beobachtete die Entleerung von Makro- und Mikrozoosporen während des Frühjahrs vom Februar an bis in den Mai und constatire, dass dieselbe in meinem Arbeitszimmer auf der Universität Zürich (westlich gelegen, mit Nachmittagssonne) sowohl am Vormittag von 6—12 Uhr, als Nachmittags von 1—6 Uhr stattfand. (Von 12—1 Uhr machte ich im Beobachten Pause; es ist aber aus der Anwesenheit von schwärmenden Zoosporen in all den genannten Stunden zu schliessen, dass die Entleerung von 12—1 Uhr ebenso gut stattfindet, als vor und nach dieser Stunde.) Bei tiefstehender Sonne werden die Entleerungsprocesse in der Regel suspendirt. Nach Sonnen-Untergang sah ich — mit einer noch zu besprechenden Ausnahme — niemals Mutterzellen sich öffnen, auch gelangten die kurz vorher entleerten Zoosporen alsbald zur Ruhe. Auch Alex. Braun theilt ähnliche Beobachtungen über die Schwärmsporen von *Ulothrix zonata* mit (Verjüngung in der Natur, pag. 239): „Geburt und Schwärmen der Gonidien kann man den ganzen Vormittag beobachten, bis zum Nachmittag sind gewöhnlich alle reifen Zellen entleert. Einmal sah ich jedoch auch noch des Abends zwischen 6 und 7 Uhr die Geburt beweglicher Gonidien eintreten: es war an einem sehr trüben und regnerischen

Julitage, an welchem sich das Wetter zwischen 5 und 6 Uhr plötzlich aufgehellt hatte.“

Sobald die Zoosporen aus dem wasserhellen Schleim der zerfliessenden Umhüllungsblase, oder wenn diese länger persistirt, von letzterer ableitend in Freiheit gelangt sind, beginnen sie in raschem Lauf die charakteristische Schwärbewegung, nämlich unter fortwährender Drehung um ihre Axe eine stetige Ortsbewegung in dem Sinne, dass das hyaline, cilientragende Ende nach vorn, der chlorophyllhaltige Theil nach hinten gekehrt ist. Die Drehung geschieht vorwiegend linksläufig (im botanischen — nicht im mechanischen Sinne). Diese Bewegungsart ist aber keine gesetzmässige. Ich sah Schwärmsporen von *Ulothrix*, die sich abwechselnd — je nach eintretenden Hindernissen — bald nach rechts, bald nach links um ihre Axe drehten.

Dabei ist die Bewegung der Cilien eine gesetzmässige, die Mantelfläche eines Kegels beschreibende, dessen Spitze mit der Insertionsstelle der Cilien oder, was dasselbe, mit dem vordersten Punkt des hyalinen Poles der Zoospore zusammenfällt. Ich habe wiederholt — wenn auch höchst selten — die günstige Gelegenheit gehabt, die Bewegungsart der Cilien ganz ungestört zu beobachten. Die Zoospore muss äusserst günstig liegen und darf sich nicht allzu lebhaft bewegen, wenn man den Charakter der Cilienbewegung ablauschen will. Bei der gewöhnlichen Beobachtung der unter dem Deckgläschen in der Flüssigkeit schwärmenden Zoosporen sind es fast immer unzählige störende Momente, welche es verhindern, dass die charakteristische Schwingung der Cilien sich längere Zeit ungestört vollzieht, oder wenn dieses letztere auch geschieht, der Beobachtung zugänglich erscheint. Um so frappanter berührt uns die einmal erlauschte günstige Gelegenheit, wo wir z. B. bei einer allmählig zur Ruhe kommenden Makrozoospore die 4 langen Cilien sich scheinbar wie die Speichen eines rotirenden Wagen-Rades auf einander folgen sehen. Der erste Eindruck dieser Erscheinung erinnert unwillkürlich an die Bewegung der Wimpern bei den Rädertierchen oder bei den Vorticellen. Dass die Cilienbewegung sich als die eben beschriebene herausstellen werde, liess sich wohl voraussehen; ich gestehe indessen, dass ich hieran nicht dachte, ehe ich die Erscheinung in überzeugendster Weise gelegentlich beobachtete. Es steht also ganz ausser Frage, dass die Rotationsbewegung der Zoospore von den Cilien bestimmt wird. Folgen sich die letzteren auf der Mantelfläche des spitzen Kegels, dessen

Basis der Zoospore abgekehrt ist, in dem Sinne, dass jede einzelne Cilie während der Bewegung ihre linke Seite der Axe des Kegels zu-, die rechte Seite dagegen der Kegelaxe abkehrt, so wird die Rotation der ganzen Zoospore eine linksläufige, im entgegengesetzten Sinne aber eine rechtsläufige sein. In der That geschieht die Drehung des Zoosporenkörpers um seine Axe, die mit der Bewegungsaxe der Cilien zusammenfällt, vorwiegend linksläufig (im botanischen — nicht im mechanischen Sinne).

Die Makrozoosporen bewegen sich bedeutend langsamer, als die viel kleinern Mikrozoosporen, auch viel weniger unstät und schwankend als diese. Wenn die Mikrozoosporen beim Freiwerden noch kantig sind, so ist ihre Bewegung aus leicht erklärbaren Gründen im Anfang eine unsichere, öfter die Richtung wechselnde, ich möchte sagen purzelnde, zickzackförmige, bis sich der Schwärmsporenkörper allmähig abgerundet hat, wobei die Bewegung eine regelmässigeren, in grosskurvigen Schlangenlinien vor sich gehende wird.

Ueber die Dauer der Schwärmbewegung habe ich nur wenige direkte Beobachtungen gemacht, da mancherlei störende Momente eine diesbezügliche Untersuchung erschweren. Sobald nämlich der Entleerungsprocess der Sporenmutterzellen an einem Faden einmal begonnen hat, so setzt er sich stundenlang fort und ist man nur selten im Stande, eine Zoospore vom Austritt an bis zur Zeit, da sie zur Ruhe gelangt, zu verfolgen, da meist neue Schwärmsporen in's Gesichtsfeld rücken und ebenso schnell wieder verschwinden, als sie gekommen sind. Es verhalten sich auch nicht alle Zoosporen gleich; selbst unter den Mikrozoosporen gleicher Grösse macht sich bezüglich der Lebhaftigkeit und der Länge des Schwärmens eine grosse Mannigfaltigkeit geltend. Die in Folge beschleunigender Momente frühzeitig entleerten Mikrozoosporen sowohl als jene, welche in Folge ungünstiger Nachbarschaft kaum die Freiheit zu erreichen vermögen und also sehr spät entleert werden, sind in ihren Bewegungen langsamer, als die unter günstigeren Verhältnissen geborenen Schwärmsporen. In der Regel gilt: Je langsamer die Schwärmbewegung einer Zoospore nach vollendeter Geburt, desto rascher gelangt diese zur Ruhe, je lebhafter die Bewegung, desto länger die Zeit des Schwärmens.

Meine Schülerin, Carolina Port, damit beauftragt, die Dauer des Schwärmens bei Zoosporen von *Ulothrix* zu ermitteln, beobachtete

zu wiederholten Malen, dass vom Momente des Freiwerdens bis zur Zeit, da sich eine nicht copulirte Zoospore vollständig zur Ruhe begab, 20 Minuten verstreichen. Diese Zeit scheint mit meinen Beobachtungen übereinzustimmen und für normal entwickelte und unter günstigen Verhältnissen schwärmende Zoosporen das arithmetische Mittel der Schwärmdauer darzustellen. Gleichwohl muss ich bemerken, dass ich Schwärmsporen sah, die kaum einige Minuten schwärmten und zwar gilt dies sowohl von Makro- als von Mikrozoosporen, während andererseits die Zeit der Schwärmbewegung bei den drei sich copulirenden Mikrozoosporen in Fig. 1 bis 14 Taf. IV. eine volle Stunde umfasste. Alexander Braun bemerkt hingegen (Verjüngung in der Natur, pag. 239), dass das Schwärmen der Zoosporen von *Ulothrix zonata* „meist über eine Stunde lang andauert.“ Ich bemerke hier — etwas vorgehend — dass der Copulationsprocess der Mikrozoosporen in der Regel jedenfalls innerhalb 20 Minuten vollendet ist, wobei das Copulationsprodukt selbstverständlich auch keiner längeren Schwärmzeit sich erfreut. (Vergl. auch das nachfolgende Kapitel V. über die Frühgeburten.)

Der Uebergang vom Schwärmen in vollständige Ruhe erfolgt bei den sich nicht copulirenden Zoosporen allmähig. Die Rotationen um die Sporenanne und Hand in Hand damit auch die Ortsbewegungen werden langsamer, bis die Schwärmsporen irgendwo anstossen, um — entweder vorübergehend oder bleibend — festzusitzen. Endgültig geschieht dies erst dann, wenn der vordere hyaline Pol der kugelig oder eiförmig abgerundeten Zoospore gegen die Unterlage gekehrt ist. Dann rotirt die Zoospore langsamer um ihre Axe, deren vorderes Ende auf der Unterlage angeklebt erscheint. Nach und nach folgen Momente der Ruhe, so dass man die Cilien sehen kann, worauf abermalige Rotationen folgen, abwechselnd mit Ruhepausen, bis diese — länger und länger werdend — nur noch durch einige ruckweise Bewegungen unterbrochen erscheinen. Ich habe bereits an anderer Stelle (pag. 34) in diesem Kapitel hervorgehoben, dass die letzten zuckenden Bewegungen einer Zoospore mit den plötzlichen Contraktionen der pulsirenden Vacuole zusammenfallen, dass demnach eine Correlation zu bestehen scheint zwischen den Bewegungen der Cilien einer- und den Pulsationen der contractilen Vacuole andererseits. Schliesslich werden die Cilien starr und verschwinden nach wenigen Minuten ganz. Strasburger (Zellbildung und Zelltheilung pag. 157) bemerkt,

dass die Cilien, soviel er sehen konnte, nicht eingezogen, vielmehr abgeworfen werden. Damit ist die Schwärmbewegung vollends beendet; die Zoospore ist zum ruhenden Keimling geworden.

Das specifische Gewicht der Mikrozoosporen, gleichviel ob sie sich copuliren oder nicht, ist anfangs ungefähr dasselbe, wie dasjenige des Mediums, in dem sie sich bewegen. Allmählig nimmt es zu; die zur Ruhe gelangenden Mikrozoosporen sinken in tiefere Regionen des Wassers, bis sie schliesslich — im Teller oder Glas gezüchtet — sich auf dem Boden niederlassen. Schwimmende Watten entlassen oft ganze Wolken grüner Mikrozoosporen, die sich als intensiv gefärbte Flecken auf dem Grund des Tellers niederschlagen. Anders die Makrozoosporen. Diese sind und bleiben von geringerem specifischem Gewicht, so dass sie sich im Niveau des Wasserspiegels oder nur wenig unterhalb des letztern am Rand des Tellers niederlassen, wo sie, zur Ruhe gelangt, sofort keimen. Während der ganzen Bewegung der Makrozoosporen macht sich ein empfindlicher Heliotropismus geltend, worüber ich im nächsten Kapitel (V. Frühgeburten etc.) reden werde.

Ehe ich an die Darstellung einiger höchst frappanter Erscheinungen bei Frühgeburten der Zoosporen gehe, habe ich noch einige Bemerkungen über die Grösse der beiderlei Zoosporen zu machen. Areschoug gibt für die von ihm beobachteten Makrozoosporen von *Conferva zonata* (*Ulothrix* oder *Hormiscia zonata*) folgende Dimensionen: Länge  $13\frac{1}{2}$  bis  $16\frac{1}{2}$  Mikromm., Breite  $11\frac{1}{2}$  bis  $13\frac{1}{2}$  Mikromm. (*Observationes Phycologicae. De Confervaceis nonnullis. Particula prima p. 11, Upsaliae, 1866.*) Für die Mikrozoosporen derselben Alge (ohne Zweifel identisch mit der unserigen) gibt der gleiche Autor folgende Grössen an: Länge  $6\frac{1}{2}$ — $10$  Mikromm., Breite  $6\frac{1}{2}$  Mikromm.

Die von mir vorgenommenen Messungen der in Taf. II. und Taf. VI. dargestellten Makrozoosporen ergaben folgende Resultate:

Obere Spore in Fig. 3 a Taf. II., einzeln in einer Mutterzelle entstehend, im Momente des Freiwerdens:

Länge 14,5229 Mikromm.	} Verhältn. von Länge u. Dicke = 7 : 5.
Dicke 10,3735 „	

Untere Spore derselben Figur: Dicke 12,4482 Mikromm.

Eben zur Ruhe gekommene Makrozoospore in Fig. 4 Taf. II.:

Länge 15,5602 Mikromm.	} Verhältniss = $7\frac{1}{2}$ : 6.
Dicke 12,4482 „	

Die zu vier in einer Mutterzelle entstandenen Makrozoosporen in Fig. 2 d Taf. VI. besaßen im Momente des Abgleitens von der Umhüllungsblase folgende Dimensionen:

Länge 14,5229 Mikromm. }  
 Dicke 10,3735 „ } Verhältn. von Länge zu Dicke = 7 : 5.

Die Makrozoospore y in Fig. 2 b Taf. VI. in Freiheit:

Länge 12,4482 Mikromm. }  
 Dicke 10,3735 „ } Verhältn. zw. Länge u. Dicke = 6 : 5.

Die Makrozoosporen in Fig. 2 c, Taf. VI., etliche Minuten nach der Auflösung der Umhüllungsblase gemessen:

Länge 15,5602 Mikromillimeter. }  
 Dicke 10,3735 bis 12,4482 „ „ } Verhältniss =  $7\frac{1}{2}$  : 5 bis 6.

Die in der Mutterzelle gefangene Makrozoospore x in Fig. 2 b, Taf. VI. besitzt folgende Dimensionen:

Länge 18,6723 Mikromm. }  
 Dicke 10,3755 „ } Verhältniss = 9 : 5.

Die Variation in den Dimensionen der von mir gemessenen Makrozoosporen bewegt sich also zwischen 12,4482 und 18,6723 Mikromillimeter Länge und zwischen 10,3735 und 12,4482 Mikromillimeter Dicke. Das Verhältniss zwischen Länge und Dicke der Makrozoosporen variirt von 7 : 6 bis 9 : 5.

Noch beträchtlich grösser gestalten sich die Differenzen in den Dimensionen der Mikrozoosporen. Es wurde bereits schon oben bemerkt, dass die sämtlichen Zoosporen während der Geburt sowohl, als auch während des Schwärmens beträchtlich viel Wasser aufnehmen und dabei also fortwährend ihr Volumen vergrössern. Die Zoosporen sind daher unmittelbar nach der Geburt am kleinsten, zur Ruhe gekommen (wobei hier von der Copulation abgesehen wird) am grössten. Allein abgesehen von diesen Veränderungen des Volumens während des Schwärmens finden wir bei den Mikrozoosporen eine beträchtliche Variation in den Grössenverhältnissen, die nur auf die Entstehung und Ausbildung der Zoosporen, auf die Grösse und die Theilungsvorgänge in der Mutterzelle zurückzuführen ist. Das glänzendste Demonstrations-Objekt ist der auf Taf. VI. Fig. 1 a—g dargestellte Faden, in dessen Zellen, an verschiedenen Stellen des Fadens 2, 4, 8, 16, 32 und mehr Zoosporen gebildet wurden, während alle Mutterzellen so ziemlich den gleichen Querdurchmesser, wenn auch verschiedene Länge besaßen. Aehnlich verhält es sich mit dem in Fig. 2 a, b, c, d Taf. VI. dargestellten Faden. Es leuchtet ein, dass da, wo in einer Mutter-

zelle 16 Mikrozoosporen gebildet wurden, diese letzteren beträchtlich grösser sein werden, als dort, wo 32 oder gar noch mehr Zoosporen in einer gleich grossen oder nur wenig grössern oder gar in einer kleinern Mutterzelle entstanden. Ganz zu denselben Resultaten gelangen wir, wenn wir die Mikrozoosporen zweier ungleich dicken Faden mit einander vergleichen z. B. die fraglichen Objekte in Taf. IV. und Taf. VI. Wenn in dem sehr dünnen Ulothrixfaden Figur 19 a und b (Taf. IV.) jede Zelle bloss 8 Zoosporen bildet, so werden dieselben kleiner sein, als die 8 Zoosporen, welche in einer Zelle des drei Mal dickern Fadens a—g Fig. 1 Taf. VI. gebildet wurden. Ja, es ist gedenkbar, dass die zu 4 oder 8 in einem dünnern Faden entstandenen Zoosporen kleiner sind, als die zu 16 oder 32 in den Zellen eines viel dickern Fadens gebildeten Zoosporen. Aus diesen Gründen wird es schwer halten, die Begriffe Makro- und Mikrozoosporen bloss auf Grund der Grössenverhältnisse scharf aus einander zu halten. Nach meiner Ansicht gilt — wie bereits früher bemerkt — wohl als das durchschlagendste Merkmal für den Charakter der Makrozoosporen die Anwesenheit von 4 Cilien, für die Mikrozoosporen die Cilienzahl 2.

Nach diesen vorläufigen Bemerkungen lasse ich einige Messungsergebnisse von Mikrozoosporen folgen:

Die kleinsten Mikrozoosporen (Taf. IV. Fig. 19, 22, 23) besitzen im Momente des Freiwerdens oder in den ersten Schwärmstadien eine Länge von 5,1867—6,2241 Mikromm.,

bei einer Dicke „ 4,1494—5,1867 „

Grössere Mikrozoosporen sind dagegen:

7,2614—8,2988 Mikromm. lang

und 6,2241—7,2614 „ dick.

Die grössten, eine Copulation anstrebende Mikrozoosporen (Taf. IV. Fig. 24) messen 10,3735 Mikromm. Länge, bei einer Dicke von 8,2988 Mikromm.

Die langgestreckte (mit 2 Cilien ausgestattete) Mikrozoospore in Fig. 3 z, Taf. VI. misst 12,4482 Mikromm. Länge u. 6,2241 Dicke.

Aus diesen Angaben ergibt sich in den Dimensionen der Mikrozoosporen von *Ulothrix zonata* eine Variation, die

sich für die Länge zwischen 5,1867 und 12,4482 Mikromm.

und „ „ Dicke „ 4,1494 „ 7,2614 „ bewegt.

Daraus ist ersichtlich, dass die Länge der mit zwei Cilien ausgestatteten Mikrozoosporen sogar die Länge der Makrozoosporen

erreichen kann, während allerdings die Dicke, wenn auch ebenfalls stark variirend, ziemlich hinter derjenigen der Makrozoosporen zurückbleibt.

Areschoug gibt (l. c.), wie ich oben schon angeführt habe, für die Mikrozoosporen geringere Dimensionen an, als ich sie bei meinen Messungen gefunden. Dies liegt wohl in dem Umstand, dass er den Begriff „Mikrozoosporen“ enger fasste, indem nach ihm die Makrozoosporen zu 4, 8 und 16 in einer Zelle entstehen sollen. Ich habe gezeigt, dass umgekehrt der Begriff „Makrozoospore“ enger, der Begriff „Mikrozoospore“ dagegen weiter zu fassen ist, als es von Areschoug geschah. Wir werden in den folgenden Abschnitten sehen, dass ausser der Cilienzahl kein charakteristisches Merkmal die Makrozoospore von der Mikrozoospore trennt, sondern dass beide Kategorieen von Schwärmzellen — wenn wir von der Zahl der Cilien absehen — durch die feinsten Uebergänge mit einander verbunden sind.

---

#### **V. Das Verhalten der Zoosporen bei Frühgeburten; Vegetations- und Reproductionsprocësse bei sehr niedriger Temperatur, Entleerung von Makro- und Mikrozoosporen während jeder Stunde des Tages und der Nacht; Heliotropismus bei Lampenlicht.**

In diesem Kapitel bespreche ich einige Beobachtungs-Resultate allerneuesten Datums, die ich im Wesentlichen auch der Bot. Zeitung mittheilte, um sie dort einer möglichst schnellen Publikation zu unterbreiten und zwar einzig zu dem Zweck, durch die Mittheilung der sehr frappanten Thatsachen andere Forscher auf ähnliche Beobachtungen hinzuweisen in einer Zeit, da es nicht unmöglich ist, ähnliches Untersuchungsmaterial unter ähnlichen Temperaturverhältnissen zu gewinnen. Wie aus Nachstehendem zu ersehen ist, können derlei Untersuchungen nämlich nicht zu allen Jahreszeiten, sondern vorwiegend im Winter und Frühjahr vorgenommen werden. Es liegt mir aber sehr viel daran, dass auch andere Biologen sich mit den hier berührten Erscheinungen beschäftigen, um nicht allein meine Resultate zu verificiren, sondern neue Gesichtspunkte zu gewinnen.

Ich habe im vorhergehenden Kapitel darauf hingewiesen, dass die Entleerung der Zoosporen von *Ulothrix zonata* unter normalen

Temperatur- und Beleuchtungsverhältnissen in der Regel am Morgen oder doch vor Mittag stattfindet. Doch wurde gesagt, dass unter Umständen die Entleerung auch in den Nachmittagsstunden, vor Sonnenuntergang, stattfinden könne, eine Erscheinung, die man als Ausnahmefall betrachten dürfte. Solche Ausnahmen werden unter anomalen Verhältnissen quasi zur Regel, wenn nämlich die mit Zoosporen erfüllten Ulothrixfaden einer plötzlichen Temperaturerhöhung ausgesetzt werden. Meine diesbezüglichen zahlreichen Beobachtungen führen mich zu dem Schluss: Je grösser die Temperaturschwankungen, desto überraschender die Abweichungen von der normalen Geburtszeit der Zoosporen.

Ich habe diesen Winter und zwar im November und Dezember 1875, sowie im Januar und Februar 1876 wiederholt Fadenbüschel von Ulothrix zonata, in Eiszapfen eingefroren, vom Springbrunnen beim Polytechnicum in Zürich abgenommen und im warmen Zimmer — auf einem weissen Porcellanteller — aufthauen lassen. Dabei stellte sich heraus, dass in Folge dieses raschen Temperaturwechsels (kurz nach dem Aufthauen) die freigewordenen grünen Faden eine Unzahl von Zoosporen entliessen, gleichviel zu welcher Tageszeit untersucht wurde. Ohne Zweifel findet dabei nicht bloss die Entleerung wirklich reifer Zoosporen statt, die tage- oder wochenlang mit sammt ihren Mutterzellen in starrem Eis gefangen blieben, sondern es erfolgt auch die Entleerung von unreifen Schwärmsporen, die unter normalen Verhältnissen, d. h. in aufgethauem, kaltem Brunnenwasser erst am folgenden Tag von Statten ginge. Darum können wir hier von Frühgeburten reden, bei denen eine ganze Menge sonderbarer Erscheinungen zu Tage treten, die ich aber an dieser Stelle übergehe.

Auffallend ist bei Ulothrix auch unter normalen Verhältnissen die Zoosporenbildung, das Schwärmen und Keimen der Makrozoosporen, das Wachsen, Assimiliren und Zelltheilen bei sehr niedriger Temperatur. An dem mehrerwähnten Springbrunnen, von welchem ich meine Untersuchungsobjekte abnahm, waren im letzten Winter 1875/76 die Ulothrix-Fadenbüschel oft wochenlang in denselben Eiszapfen eingeschlossen; fortwährend bildeten sich an jenen Stellen der Wasserbecken, die ohne Unterbruch von frischem Brunnenwasser gespült wurden, neue Ulothrixrasen, die nicht selten regelmässig während der Nacht von Eiskrusten bedeckt wurden, um am Morgen wieder ganz oder

theilweise aufzuthauen. Wochenlang war die Lufttemperatur etliche Grade unter dem Eispunkt und das Wasser, welches an den Ulothrix-Büscheln herunterrieselte, konnte kaum einige Grade über dem Gefrierpunkt temperirt sein. Hier fanden die Vermehrungs-, Keimungs- und Wachsthumprocesse in den Ulothrixfaden während vieler Wochen bei einer Temperatur statt, die nur wenig um den Gefrierpunkt schwankte. In Eis eingeschlossene Faden-Colonien von Ulothrix zonata zeigen jederzeit alle Entwicklungs- und Reproductionsstadien ungeschlechtlicher, Makrozoosporen bildender Generationen. Diese, jeden Winter leicht zu constatirende Thatsache in der Entwicklungsgeschichte von Ulothrix zonata steht übrigens keineswegs vereinzelt da. Fr. Kjellmann hat in seiner Arbeit über „die winterliche Algen-Vegetation der Mösselbay (Spitzbergen, 79° 53' nördl. Breite) nach den Beobachtungen der schwedischen Polar-Expedition im Jahre 1872—73“ (Compt. rend. T. LXXX. 1875. No. 8. S. 474—476 — und Bot. Zeitung 1875. pag. 771—773) nachgewiesen, dass unter den 27 von ihm aufgezählten Algenspecies aus den Familien der Chlorozoosporaceen, Phaeozoosporaceen, Fucaceen, Florideen und Corallinaceen, die als die gemeinsten unter den höhern Algen in der Mosselbay aufgefunden wurden, nicht weniger als 22 vorhanden waren, die im Winter bei einer Meerwassertemperatur von  $-0,5$  bis  $-1,8^{\circ}$  C., welche vom Ende September bis Mitte April nur diesen geringen Schwankungen unterlag, die verschiedensten Reproductionsorgane bildeten und die mannigfaltigsten Keimstadien zeigten. Ebenso hat Rostafinski bei sehr niedern Temperaturen (wenigstens nahe dem Gefrierpunkt) Zoosporenbildung beobachtet (Mém. d. l. Soc. nat. d. Scienc. nat. de Cherbourg 1875 p. 138). G. Kraus theilt in der Bot. Zeitung 1875, pag. 774 ebenfalls mit, dass er an Ulothrix tenuis Aehnliches beobachtete. Da wir es hier wahrscheinlich mit einer Ulothrix-Art zu thun haben, welche von unserer Ulothrix zonata nicht verschieden ist, so lasse ich hier die Angaben von G. Kraus (l. c.) wörtlich folgen: „Im Frühling dieses Jahres (Ende März 1875) beobachtete ich Ulothrix tenuis Ktzg. (Rab. Flor. eur. Alg. III. 366), die in fließendem Wasser, dessen Temperatur am Beobachtungstage  $+2,5^{\circ}$  C. zeigte und an dessen Rändern schon wochenlang Eiskrusten waren, reife und lebhaft ausschwärmende Microgonidien hatte. Ein Versuch im Freien (Lufttemperatur  $-1^{\circ}$  C.), wo ich die Algen in (durch Schnee) auf  $+1-2^{\circ}$  C. abgekühltem Wasser hielt, zeigte, dass sowohl in diesem

Wasser lebhaftes Ausschwärmen der Microgonidien geschah, als auch auf dem Objektträger unter dem (im Freien stehenden) Mikroskop, während die Objektflüssigkeit vom Rande her zu Eis erstarrte. Ich beobachtete Schwärmsporen über  $\frac{1}{4}$  Stunde, die zwischen den kleinen Eisschollen sich mit scheinbar ungeminderter Schnelligkeit hin und her bewegten.“

Von grosser Wichtigkeit erscheint mir nun aber der Umstand, dass die Entleerung von Zoosporen bei *Ulothrix zonata* nicht allein während des ganzen Nachmittags, sondern auch zu allen Stunden der folgenden Nacht stattfindet, sobald man die grünen Faden aus dem eisigkalten Wasser in die angenehme Zimmertemperatur versetzt. Ich habe am 6. Februar 1876, bei empfindlicher Kälte (mehrere Grade unter Null) in Eiszapfen eingefrorene *Ulothrix*büschel vom mehrerwähnten Springbrunnenbassin gesammelt und in grosser Masse langsam aufthauen lassen. Die hiezu benutzten Porcellangefässe blieben im kühlen Vorzimmer (Temperatur ca. 5—6° Réaumur) stehen, während kleinere Portionen in mein gut geheiztes Studirzimmer versetzt und der mikroskopischen Untersuchung unterworfen wurden. Ich constatirte von Vormittags 11 Uhr bis zur hereinbrechenden Nacht — um 5 Uhr — fortwährendes Entleeren von Makrozoosporen, die einzeln oder zu 2 oder auch zu 4 in einer Mutterzelle entstanden. Da die meisten Faden, vielleicht 99%, nur Makrozoosporen enthielten, so waren die meisten beobachteten Zoosporen gross, mit 4 Cilien ausgestattet und nicht copulationsfähig. Höchst selten konnte man eine kleine Schwärmspore, eine Mikrozoospore (mit bloss 2 Cilien) sich unter das Gewimmel der Makrozoosporen begeben sehen.

Während die normal entwickelten und unter natürlichen Verhältnissen entleerten Makrozoosporen von *Ulothrix* meist nur 20—30 Minuten, selten eine ganze Stunde lang schwärmen, bewegen sich die frühgeborenen Makrozoosporen nicht selten über zwei Stunden lang, setzen sich dann fest und keimen sogleich, oder aber — sie degeneriren unmittelbar nach dem Zuruhekommen. In letzterem Falle nehmen sie während und kurz nach der Geburt enorm viel Wasser auf, runden sich zu einer geometrisch genauen Kugel ab, gelangen sehr bald zur Ruhe und platzen unter ganz eigenthümlichen Erscheinungen.

Das Schwärmen der Zoosporen dauerte am 6. Februar bei den im warmen Zimmer gehaltenen *Ulothrix*faden auch während der ganzen Dämmerungszeit bis in die dunkle Nacht

hinein. Um 6 Uhr (Abends) wurde eine grosse Petroleumlampe gebracht und neuerdings, also bei künstlichem Licht, — nicht allein das Schwärmen, sondern auch das Entleeren frischer Zoosporen beobachtet. Der Entleerungs- und Schwärmungsprocess dauerte bei den um 11 Uhr Vormittag in's Studirzimmer gebrachten Ulothrixsporen ohne Unterbruch bis zum folgenden Morgen um 8 Uhr (also volle 21 Stunden) an; es wurden zu jeder Stunde der Nacht Tausende von wimmelnden Zoosporen beobachtet; um halb 11 Uhr Nachts fertigte ich die letzte Zeichnung über den Geburtsakt mehrerer damals ausschöpfender Zoosporen an. Schon um 9 Uhr Abends wurden sehr schöne, keulenförmige Keimpflänzchen beobachtet, die aus kurz vorher zur Ruhe gelangten Makrozoosporen hervorgingen.

Schon diese Thatsachen allein hätten genügen dürfen, um als Beweis dafür zu dienen, dass die grünen Schwärmersporen von Ulothrix nach raschem Temperaturwechsel, bei erhöhtem Wärme grad auch zu jeder Stunde der Nacht ausschöpfen und schwärmen können; das nachfolgende Experiment stellt diese Thatsache ausser allen Zweifel:

Nachts  $\frac{1}{4}$  vor 11 Uhr brachte ich aus dem kühlen und dunkel gehaltenen Vorzimmer zwei ganz gleiche Partien grüner Ulothrixfaden, die ebenfalls am Vormittag vorher noch in Eis eingeschlossen waren, in zwei gesonderten weissen Porcellan-Tellern mit reinem, kaltem Brunnenwasser in's warme Studirzimmer. Die Fadenbüschel in beiden Tellern wurden vorher in klarem Wasser ausgewaschen, so dass die meisten allfällig vorhanden gewesenen Zoosporen entfernt waren. Der eine Teller, den ich mit A bezeichne, ward unbedeckt in die Nähe der grossen, hellen Petroleumflamme gebracht, indess der andere Teller B mit einem Blechdeckel verhüllt auf einen benachbarten Tisch gestellt wurde. In Folge der Temperaturerhöhung ihres Mediums entliessen viele Faden eine Menge von Zoosporen und zwar steigerte sich die Zahl der letztern zusehends von 11 Uhr Vormittnacht an gegen den Morgen hin immer mehr. Im offenen Teller A sammelten sich die frisch entleerten Zoosporen auf der einen Seite des Tellerrandes, im dunkel gehaltenen Teller B dagegen blieben die Schwärmersporen in der Nähe ihrer Geburtsstätte, d. h. so ziemlich in der Mitte des Tellers, wo die Fadenknäuel lagen, während rings herum bis zum Tellerrand das Wasser von Algenfaden frei blieb. Dies führt uns auf eine zweite frappante Thatsache, nämlich den Heliotropismus der Schwärmersporen bei Lampenlicht.

Es ist eine längst bekannte Thatsache, dass die grünen Zoosporen verschiedener Algen bei ihrer Bewegung eine gewisse Abhängigkeit von der Richtung des einfallenden Lichtstrahles kundgeben. Sie bewegen sich entweder dem einfallenden Licht entgegen oder wenden sich von ihm ab, unter gleichzeitiger Rotation um die Axe ihres positiv oder negativ heliotropischen Körpers.

Bei *Ulothrix zonata* muss der positive Heliotropismus der schwärmenden Makrozoosporen selbst jedem Laien sogleich auffallen. Bringen wir im Winter oder im Anfang des Frühjahrs ein grünes Fadenbüschel von *Ulothrix zonata* in einem weissen Porcellanteller mit klarem Wasser an irgend eine Stelle des mässig temperirten Zimmers, so wird man alsbald erkennen, dass alle Makrozoosporen bei ihrem Schwärmen sich gegen die stärkste Lichtquelle, gegen das zunächst stehende helle Fenster wenden und in Form einer grünen Wolke sich auf der Fensterseite des Porcellantellers ansammeln, schliesslich dort am Tellerrand zur Ruhe und nachheriger Keimung gelangend. Das Experiment ist sehr einfach, schlagend und zugleich überzeugend.

Nun habe ich am Abend des 6. und in der Nacht vom 6. auf den 7. Februar d. J. die Beobachtung gemacht, dass die schwärmenden Makrozoosporen von *Ulothrix zonata*, die in Folge rascher Temperatur-Erhöhung während der Nacht aus den Mutterzellen entleert werden, gegen das Lampenlicht nicht minder empfindlich sind, als die bei Tag schwärmenden Zoosporen gegen das einfallende Tageslicht.

Hiefür gebe ich Belege in der Mittheilung folgender Thatsachen:

1) Die während des Nachmittags bis zur beginnenden Dämmerung entleerten Schwärmersporen jener *Ulothrix*-Faden, welche um 10 Uhr Vormittags noch in Eiszapfen eingeschlossen waren, bildeten eine lebhaft grüne Wolke in der unmittelbaren Nähe des Tellerrandes gegen das einfallende Tageslicht. Bei beginnender Dämmerung zeigte ein Tropfen Wasser aus der Mitte dieser grünen Wolke unter dem Mikroskop Tausende von lebhaft wimmelnden Makrozoosporen. Als um 6 Uhr die grosse Petroleumlampe angezündet und auf der der grünen Zoosporenwolke entgegengesetzten Seite des Tellers auf den Tisch gestellt wurde, begann die lebende grüne Wolke ihre Wanderung quer über den ganzen Teller, gegen das einfallende Lampenlicht hin. Nach  $1\frac{3}{4}$  Stunden war der ganze Weg

zurückgelegt; da, wo um 6 Uhr noch die grüne Wolke sofort auf fallen musste, war jetzt das Wasser klar, hell, farblos, indess der Wasserspiegel in der Nähe der Lampe nun ganz dieselbe Erscheinung zeigte, wie während des Tages die Fensterseite des Tellerinhaltes. Die meisten dieser Zoosporen haben somit über zwei Stunden geschwärmt, da sie bei Tag- und Dämmerlicht erst gegen das Fenster und hernach von 6 Uhr an bis 7 Uhr 45 Minuten rückwärts gegen das Lampenlicht hinwanderten.

2) Um 7¼ Uhr wurde der gleiche Teller sammt Inhalt langsam gedreht und zwar so, dass die grüne Zoosporenwolke nun wieder der Lampe ab- und dem dunkeln Fenster zugekehrt war. „Nach wenigen Minuten — ich gebe hier die Notizen aus meinem Tagebuch — gewahrte man, dass die dichtgrüne Wolke abermals den Rückzug von der dunklern Fensterseite gegen die grosse Petroleumflamme antrat. Es war dies also die dritte Wanderung derselben Zoosporenwolke gegen das einfallende Licht hin. Bis 8 Uhr 35 Minuten war ungefähr der erste Drittel des Tellerdurchmessers durchlaufen.“ Von da an unterblieb jedoch eine neue Wolkenbildung an der dem Lampenlicht zugekehrten Seite, wahrscheinlich, weil die meisten Zoosporen jener intensiven Wolke endlich — nach 2- und 3-stündigem Schwärmen — zur Ruhe gelangten und die Anzahl der neu aus den Faden entleerten Makrozoosporen nicht mehr so gross war, wie während der Zeit vom Vormittag bis Abends 6 oder 7 Uhr, so dass sich eine mit unbewaffnetem Auge sichtbare Wolke nicht mehr bilden konnte. Indess bringe ich doch in Erinnerung, dass trotzdem während der ganzen Nacht neue Entleerungen von Zoosporen stattfanden. Es war dies jener Teller, in welchem ich den Austritt von Zoosporen während 21 auf einander folgender Stunden beobachtete.

3) Um halb 7 Uhr Abends nahm ich aus dem dunkeln und kühlen Vorzimmer einige Fadenbüschel von Ulothrix gleichen Ursprungs, wie die vorigen. Da sie am Vormittag vorher nur langsam aufthauten und im Vorzimmer auch während des ganzen Tages nicht höher als bis 6° R. temperirt wurden, so entliessen sie bei Tag nur wenige Zoosporen. Mit frischem kaltem Brunnenwasser in's warme Zimmer gebracht, schwärmten alsbald unzählige Makrozoosporen aus und dem nahen Licht entgegen. Die Petroleumflamme brannte sehr hell und mochte dem Porcellanteller eine Lichtfläche von ca. 10—11 □ Centimeter zukehren (Breite der Flamme 3½ Ctm., Höhe 3 Ctm.). Die Flamme stand senkrecht

30 Centimeter über der Tischplatte; der Abstand des Tellers (mit den Algenfaden) vom Lampenfuss betrug 40 Centimeter (diese Distanz wurde vom Mittelpunkt des Lampenfusses bis zum Mittelpunkt des Tellers gemessen). Der Durchmesser des kreisrunden Wasserspiegels mit den schwärmenden Zoosporen mass 15 Centimeter.

„Schon um halb 8 Uhr, also eine Stunde nach Einwirkung der Zimmerwärme und des Lampenlichtes, war am weissen Tellerrand auf der dem Licht zugekehrten Seite ein grüner Streifen mit zahllosen Zoosporen sichtbar, der bis 8 Uhr 45 Minuten rasch an Ausdehnung und Intensität zunahm. Um 9 Uhr 40 Minuten, also ungefähr 3 Stunden nach beginnender Einwirkung von Licht und Wärme, ward ein Tropfen aus der grünen Wolke am Tellerrand herausgehoben und unter dem Mikroskop eine Unzahl von wimmelnden Zoosporen beobachtet. An den dem Lampenlicht abgekehrten Partien des Tellerrandes waren keine Schwärmersporen zu bemerken.“ (Wörtlicher Auszug aus dem Tagebuch.)

4) Von den frisch gewaschenen, aus dem kalten Vorzimmer erst um 11 Uhr Nachts in's warme Studirzimmer gebrachten Ulothrixfaden des Tellers A, der offen beim Lampenlicht stand, entliessen, wie bereits im ersten Abschnitt oben bemerkt, viele ebenfalls Makrozoosporen, die alle auch dem einfallenden Lampenlicht entgegenschwärmten und am Tellerrand dieser Seite einen grünen Anflug bildeten.

5) Während die Schwärmersporen des unter 4) angeführten Tellers A nach der Geburt sofort an den der Lampe zugekehrten Tellerrand wanderten, zeigten die in Teller B gleichzeitig in's warme Zimmer gebrachten, aber dunkel gehaltenen Zoosporen in ihrer Bewegung keine bestimmte Richtung, wie sich voraussehen liess. Die mikroskopische Untersuchung zeigte nach einigen Stunden wohl eine Menge von Zoosporen, die aber fast ausnahmslos in der Nähe der schwimmenden grünen Fadenbündel verweilten, während der Tellerrand ringsum fast frei blieb oder nach allen Richtungen des Horizontes dieselbe Vertheilung der Zoosporen zeigte.

Ich glaube, durch gewissenhafte Angabe dieser 5 Beobachtungen eine genügende Menge von Thatsachen constatirt zu haben, welche unbedingt zu dem Schlusse führen:

Die Makrozoosporen von *Ulothrix zonata* zeigen bei beschleunigter, durch plötzliche Temperaturerhöhung provocirter Entleerung nicht allein gegen das Sonnen-

licht, sondern auch gegen künstliche Lichtquellen (Lampenlicht) einen sehr empfindlichen Heliotropismus.

Man könnte allerdings einwenden, dass es ebenso gut, als das künstliche Lampenlicht, die Wärmestrahlen, welche in beträchtlicher Intensität von einer grossen Petroleumflamme ausgehen, sein könnten, welche auf die Bewegungsrichtung der bei Nacht schwärmenden Zoosporen einwirken; allein ich glaube, dieser Einwand muss zum Vornhinein als nicht stichhaltig zurückgewiesen werden, da dieselben Zoosporen, welche beim Anfang der Nacht gegen die licht- und wärmestrahrende Lampe eilten, in den späten Nachmittagsstunden dem Fenster zuströmten, obschon von dort her viel weniger Wärmestrahlen — (diffuses Tageslicht) auf den Teller einwirkte, als von der Richtung des im Zimmer stehenden Ofens her. Die Vor-Fenster waren gefroren und die Fensterseite des Tellers entschieden beträchtlich kälter, als die entgegengesetzte Seite. Wenn nun dennoch das helle Tageslicht auf die Zoosporen eine anziehende Wirkung ausübte, obschon die Wärmestrahlung gerade in entgegengesetzter Richtung stattfand, so ist nicht einzusehen, warum sich das Verhältniss bei Nacht umkehren und den Heliotropismus in Frage stellen sollte. Ueberdies sind es noch manche andere Momente, welche den oben angeführten Einwand vollständig entkräftigen. Ohnedies dürfte es ein Leichtes sein, durch ein einfaches Experiment sich die vollendetste Sicherheit zu verschaffen.

Leider bin ich nicht im Fall, über das Verhalten der Mikrozoosporen rücksichtlich des Heliotropismus ebenso bestimmte Aufschlüsse zu geben, wie über die Makrozoosporen. Während des Winters begegnet man sehr wenigen Mikrozoosporen von *Ulothrix zonata*. Im Frühjahr dagegen findet meistens Copulation statt, wobei die Mikrozoosporen, wie ich aus mancherlei Thatsachen schliesse, eher negativ-heliotropische, als positive Tendenzen zeigen. Etwas Aehnliches constatirten Rostafinski und Janczewski bei *Ulva enteromorpha*, wo die Makrozoosporen entschieden positiv-, die Mikrozoosporen entschieden negativ-heliotropisch sind. (Vergl.: *Observat. sur quelq. Algues possédant des zoospores dimorphes*, par E. Janczewski et J. Rostafinski, in *Mém. d. l. Soc. nation. d. Scienc. nat. de Cherbourg*. T. XVIII. 1874.)

Die während der Correctur des vorliegenden Bogens mir zugekommene letzte Nummer (21.) der Bot. Zeitung vom 26. Mai 1876

enthält einen kleinen Aufsatz „über Emulsionsfiguren und Gruppierung der Schwärmsporen in Wasser, von Dr. J. Sachs,“ worin die Bewegung der im Zimmer austretenden Zoosporen gegen den fenstersichtigen Tellerrand nicht wie bisher, der Einwirkung des Lichtes, sondern kleinen Temperatur-Differenzen der entgegengesetzten Ränder des Gefässes zugeschrieben wird. Die kleinen Temperaturdifferenzen „rufen Wasserströmungen hervor, welche die Zoosporen mit sich fortführen; am wärmern Rande (meist dem Zimmer zugekehrt) steigt das Wasser empor, fliesst an der Oberfläche zum kältern (meist dem Fenster zugekehrten) Rande, sinkt hier hinab, um am Grunde wieder zum wärmern Rande zurückzuziessen. Die Rotation des Wassers dauert so lange, als die sie bedingende Temperaturdifferenz besteht. Sind nun die Zoosporen ein wenig leichter als das Wasser, so müssen sie sich zuletzt sämmtlich am kältern Rande und zwar oberflächlich ansammeln; ist dagegen ihr specif. Gewicht ein wenig grösser als das des Wassers, so sammeln sie sich endlich am Grunde des Wassers am wärmern Rande.“

Damit erscheint die Existenz eines positiven, selbstverständlich auch eines negativen Heliotropismus in Frage gestellt. So wahrscheinlich die oben angeführte Theorie von Sachs erscheinen muss, so wenig kann ich sie mit den von mir bei Tag und Nacht an Ulothrix-Makrozoosporen beobachteten Erscheinungen in Einklang bringen. Thatsache ist, dass die Makrozoosporen von Ulothrix, wie ich schon im Vorhergehenden mittheilte, ein geringeres spec. Gewicht besitzen, als das Wasser; sie sammeln sich daher in der Regel am Rande des Wasserspiegels. Nun ist aber nicht einzusehen, wie die am kältern Tellerrand bei Tage dem Fensterlicht zugekehrten Makrozoosporen nach eingetretener Dunkelheit plötzlich dem intensiven Lampenlicht zueilen sollen, während die Richtung der in Folge der Temperaturdifferenzen zwischen kalter Fenster- und wärmerer Zimmerseite bewirkten Wasserströmungen ganz dieselbe bleibt, gleichviel ob von aussen diffuses Tageslicht oder von innen her intensives Lampenlicht einwirkt. Während meiner Beobachtungen und Experimente vom 6. Februar blieb der fenstersichtige Theil des Tellers sowohl bei Tag als auch bei Nacht kälter, als der dem Zimmer zugekehrte Theil. Ich wiederhole, dass am Beobachtungstage und in der darauf folgenden Nacht die äussere Fenster meines Zimmers fest gefroren und mit Eisblumen dicht besetzt waren, während im Zimmer eine Temperatur von

ca. 15° R. unterhalten wurde. Der Arbeitstisch und die auf demselben stehenden Teller und Instrumente blieben während der Nacht an der gleichen Stelle, wie am Tage. Die für die Beobachtungen während der Nacht benützte grosse Petroleumlampe wurde rechts gestellt, während das kalte Fenster zur Linken blieb.

Die Wasserströmungen waren also offenbar bei Tag und Nacht dieselben, bei Nacht in Folge der Wärmestrahlung der Lampe vielleicht noch etwas rascher, als bei Tag, und dennoch erfolgte die Wanderung der Zoosporen immer in der Richtung gegen den einfallenden Lichtstrahl.

Hier konnten unmöglich die sich gleich bleibenden Wasserströmungen im Teller die Ursache ganz entgegengesetzter Bewegungsrichtungen der augenscheinlich heliotropischen Makrozoosporen sein.

Sodann sind die Bewegungen der Makrozoosporen von *Ulothrix zonata* so rasch, dass sie jedenfalls die Schnelligkeit der Wasserströmungen, welche in Folge von Temperaturdifferenzen sich im Teller geltend machen, bei Weitem übertreffen. Ich kann daher der Vermuthung nicht Raum geben, als seien es blos Wasserströmungen, welche bei den Schwärmsporen von *Ulothrix zonata* die oben besprochenen Effekte erzielen.

Selbstverständlich halte ich die Frage über den Heliotropismus der Makrozoosporen von *Ulothrix* am allerwenigsten jetzt schon für beantwortet. Weitere Untersuchungen werden anzustellen und zahlreichere Experimente mehr Licht über das Wesen dieser Bewegungserscheinungen zu bringen im Stande sein.

Ausführlichere Mittheilungen verspricht Sachs übrigens (laut der Bot. Zeitung l. c.) in der „Flora“ zu geben.

---

## VI. Die Copulation der Mikrozoosporen.

Das Verdienst, die Copulation von Schwärmsporen bei den niedern Kryptogamen, die sich nach der allgemein geltenden Ansicht nur ungeschlechtlich fortpflanzen sollten, zuerst erkannt, richtig gedeutet und gut dargestellt zu haben, gehört dem berühmten Algologen Pringsheim, der mit seiner bahnbrechenden Arbeit „Ueber Paarung von Schwärmsporen, die morphologische Grundform der Zeugung im Pflanzenreiche“ im Oktober 1869 vor der k. Academie der Wissenschaften zu Berlin

erschien und dort durch Bild und Wort den neuen Ausgangspunkt beleuchtete, der für die Aufsuchung des Sexual-Actes bei den nur mit Schwärmsporen versehenen Zoosporen dargeboten wurde. Pringsheim machte gleich eingangs seiner Arbeit die Bemerkung, dass diese Form des Sexual-Processes (Copulation der Schwärmsporen) „nicht nur als eine neue Modification des Befruchtungsaktes von Interesse ist, sondern noch vielmehr desshalb, weil sie eine Zwischenstufe zwischen den bekannten Formen der Zeugungsvorgänge darstellt und die verschiedenen Geschlechtsprodukte als eine Reihe in einander übergehender Abweichungen derselben Form erscheinen lässt.“

„Diese besondere Modification der Zeugung der Zoosporen ist ein Vorgang, den ich (Pringsheim l. c.) als Paarung von Schwärmsporen bezeichne und dessen wesentliche Differenz von andern Zeugungsvorgängen in dem Auftreten schwärmender Oosporen oder vielmehr beweglicher Befruchtungskugeln liegt, die in ihrer äussern Gestalt mit Schwärmsporen völlig übereinstimmen.“

Die genannte epochemachende Arbeit Pringsheim's bezieht sich auf die Schwärmsporen-Paarung von *Pandorina Morum*, einer Volvocine, deren Einzelzellen typisch zu 16 in einem eiförmigen Cönobium beisammen liegen. Diese Pflanze erreicht während ihres Entwicklungs-Cyclus niemals jene hohe Stufe der Organisation und die Mannigfaltigkeit der morphologischen Differenzirung, wie sie unserer *Ulothrix zonata* zukommt. Sie nimmt mit Recht im natürlichen System eine tiefere Stufe ein, als die *Ulothricheen*; um so mehr muss es auffallen, dass — wie Pringsheim's Untersuchung heraus gestellt hat — jene Volvocine in der geschlechtlichen Differenzirung weiter vorgeschritten ist, als *Ulothrix zonata*. Es wird dies aus meiner Untersuchung hinreichend bewiesen werden.

Ein halbes Jahr nach dem Erscheinen der Pringsheim'schen Arbeit über die Paarung der Schwärmsporen beobachteten Cramer und zu gleicher Zeit auch ich hier in Zürich die Copulation von Schwärmsporen bei *Ulothrix zonata*. Cramer las seinen diesbezüglichen schon mehrfach erwähnten Aufsatz „Ueber Entstehung und Paarung der Schwärmsporen von *Ulothrix*“ am 21. März 1870 in der naturforschenden Gesellschaft zu Zürich (Vierteljahrsschrift Bd. XV. Heft 2). Seine Arbeit umfasst 9 Oktavseiten und kann also, wie leicht einzusehen, kaum den Anforderungen genügen, die

man an eine erschöpfende Darstellung ähnlicher Vorgänge stellen muss. Er gibt auch keine erläuternden Abbildungen, so dass schon deshalb eine neue Bearbeitung dieser Materie als unbedingt notwendig erscheinen musste. Ich fertigte — wie schon eingangs bemerkt — im März 1870 zwei Tafeln von mikroskopischen Zeichnungen an, ohne damals die Absicht zu hegen, mich selbst auf die weiteren Untersuchungen einzulassen, da ich wie billig als Privatdocent es für angezeigt erachtete, dem Herrn Professor Cramer in dieser Angelegenheit den Vortritt zu belassen. Man wartete indess vergeblich auf eine erschöpfendere und wohl auch richtigere Darstellung, so dass ich bei der Bearbeitung meiner „Neuern Schöpfungsgeschichte“ (Leipzig 1875) darauf angewiesen war, statt der erwarteten Cramer'schen Abbildungen meine eigenen Tafeln von 1870 zu benützen. Figur 14 auf Seite 105 meines genannten Buches enthält somit nebst Anderem die erste bildliche Darstellung des Copulationsaktes der Schwärmosporen von *Ulothrix zonata*, freilich keineswegs in erschöpfender Weise, sondern mehr als gelegentliche Beigabe, was ich auch für den Zweck meiner dortigen Demonstration als genügend erachtete. Zwar hat schon im Jahr 1866 der schwedische Botaniker Areschoug auf Taf. I. zu seinem Aufsatz: „Observationes Phycologicae, Particula prima de Confervaceis nonnullis“ in Figur 5 c. c. eines der ersten Stadien der Copulation von Schwärmosporen bei *Hormiscia penicilliformis* (Areschoug) bildlich dargestellt, aber unrichtig gedeutet, wie aus folgendem Passus der genannten Areschoug'schen Arbeit (pag. 9) zu ersehen ist:

„Mega- et microzoosporarum fila cum saepissime intorta sint, utrasque quoque Zoosporas commixtas et sub microscopio natantes videre licet, tum non raro accidere solet, ut sua extremitate superiore microzoospora infigatur globuli instar extremitati superiore macrozoosporae (tab I f. 5 c. c.). Quo facto microzoospora tranquilla videtur; megazoospora autem, parasita illa turbata huc et illuc oblique et irregulariter currit, aut subsistit, extremitatem suam superiorem in circulo quatiens, ut hoc motu microzoosporam abjiciat. Frustra, tuta enim infixata sedet microzoospora et incolumis, usque in mortem portatricis. Saepe vidimus magnam megazoosporam, tali modo microzoosporas portantium, cohortem, interdum plane nullas.“

Ganz vorzüglich ist dagegen von demselben Algologen in einer

zweiten Arbeit die Copulation der Zoosporen von *Urospora mirabilis* Aeresch. (Syn. *Hormiscia penicilliformis* Aeresch.), von *Cladophora sericea* Huds., von *Enteromorpha compressa* L. und von *Cladophora arcta* Dillw. bildlich dargestellt und kurz beschrieben. Diese Arbeit: „Observationes Phycologicae. Particula secunda de *Urospora mirabili* Aeresch. et de chlorozoosporarum copulatione, Upsaliae 1874“ kam, von Herrn Prof. Areschoug in verdankenswerther Weise mir zugesandt — erst in meine Hände, als meine Untersuchung über die Copulationsvorgänge bei *Ulothrix zonata* schon beendet und die vorliegende Tafel IV. dieser Abhandlung schon längst vollendet war. Ich freue mich, hier bemerken zu können, dass die Areschoug'sche Darstellung des Copulationsprocesses der Schwärmosporen von *Urospora* und *Cladophora*, sowie von *Enteromorpha*, wie sie in Fig. 1—5 der Areschoug'schen Tafel I. und in Fig. 12 und 17 Taf. II. der citirten Arbeit gegeben ist, im Wesentlichen mit meiner Darstellung des gleichen Vorganges bei *Ulothrix zonata* auf meiner vorliegenden Tafel IV. übereinstimmt.

Janczewski und Rostafinski bezweifeln zwar die Copulation der Mikrozoosporen bei der von Areschoug beobachteten *Ulvacee*, da diese beiden Autoren umsonst nach einem gelungenen Copulations-Akt der Mikrozoosporen bei *Ulva enteromorpha* spähten. Nachdem ich beide Abhandlungen, die oben citirte von Areschoug und diejenige von Janczewski und Rostafinski (Observations sur quelques algues possédant des zoospores dimorphes — Mémoir. d. l. Soc. nat. d. Scienc. nat. de Cherbourg, tome XVIII. 1874) vor mir sehe, komme ich doch zu dem Schluss, dass Areschoug bei *Enteromorpha compressa* richtig eine Copulation beobachtete und dass auch bei der von Janczewski und Rostafinski untersuchten *Ulva enteromorpha* ein ähnlicher Vorgang stattfinden muss, um so mehr, als diese beiden Forscher, wie mir scheint ganz evident die Einleitung zur Copulation der beobachteten Mikrozoosporen gesehen haben. Wenn auch dieser beobachtete Versuch einer Copulation nicht zu Ende durchgeführt und mit der Bildung von Zygosporen glücklich abgeschlossen wurde, so lässt sich daraus noch keineswegs schliessen, dass die scheinbar copulirten Mikrozoosporen-Paare „monströse Bildungen“ darstellen (il était évident que ces corpuscules doubles ne représentaient que des microzoospores monstrueuses. Il nous semble que ce sont celles-ci que M. Areschoug a prises pour des zoospores en voie de copulation. pag. 4 l. c.).

Auch bei *Ulothrix* findet die Copulation oft nicht so leicht statt, wie es der Beobachter wünschen möchte.

Von andern Arbeiten über verwandte Reproductions-Processe sind weiterhin noch zu nennen:

Dr. W. Velten, „Beobachtungen über Paarung von Schwärmsporen.“ *Bot. Zeitg.* 1871, No. 23.

J. F. Rostafinski, „Beobachtungen über Paarung von Schwärmsporen.“ *Bot. Zeitg.* 1871, No. 46. (Vergl. auch Sachs, *Lehrb. der Botanik* IV. Aufl. 1874. pag. 258.)

Rostafinski hat an genanntem Ort nachgewiesen, dass die Beobachtungen über Paarung von Schwärmsporen, wie sie Velten beschrieb, unrichtig gedeutet wurden und die beschriebenen und durch Zeichnungen erläuterten Vorgänge der Velten'schen Beobachtungen nicht nur keine Copulation bedeuten, sondern die Absorption einer Makrozoospore von *Chlamydococcus* durch eine hungrige Monade veranschaulichen. Dagegen hat Rostafinski in der letztgenannten Arbeit den Copulationsvorgang von Zoosporen bei *Chlamydomonas* zur Evidenz bewiesen.

Prof. Jacob Walz hat laut dem „*Bot. Jahresbericht 1874*“ in den Sitzgsber. der Neuruss. Gesellschaft der Naturforscher Odessa 1874, Seite 11—12 einige weitere Mittheilungen über die von Areschoug untersuchte *Urospora mirabilis* gemacht, aus denen ich — durch das Referat im *Bot. Jahresbericht* — entnehme, dass Walz nicht allein eine zweite Art von Mikrozoosporen entdeckte, welche sich mit der ersten Art, der von Areschoug beschriebenen, copuliren und ruhende Zygosporen bilden, sondern dass bei *Urospora mirabilis* sogar die Makrozoosporen eine Copulation eingehen können und dann gleich nach der Copulation zu keimen vermögen, wie die nicht copulirten Makrozoosporen. Leider liegt mir diese Arbeit von Walz nicht vor; indessen unterdrücke ich denn doch meine wohlbegründeten Zweifel nicht, dass die mitgetheilten Beobachtungen richtig gedeutet worden seien, sondern glaube, dass sie sich wohl anders werden erklären lassen, als es von Walz geschehen.

Weiter sind zu nennen:

Cornu, „*De la fécondation chez les algues et en particulier chez l'Ulothrix seriata.*“ (*Bullet. de la soc. bot.* 1874, pag. 72.)

Cornu hat keine Copulation von Schwärmsporen bei seiner *Ulothrix*form gesehen, dagegen glaubt er die Bildung von Chronosporen (Ruhesporen) bei *U. seriata* auf einen Copulationsakt zurück-

führen zu können. Die Confusion mit den Ulothrix-Arten und der Kenntniss ihrer Entwicklungsgeschichte scheint immer bedenklicher werden zu wollen. Es ist hohe Zeit, dass man sich ernstlich mit dieser Gruppe der Chlorozoosporeen beschäftigt, ansonst wird die Purification des immer gefährlicher anschwellenden Materiales schliesslich beinahe zur Unmöglichkeit.

Areschoug: „De germinatione phaeozoosporarum Dictyosiphonis hippuroidis observationes. Ups. 19. Decbr. 1874.“ Vergl. Bot. Zeitg. 1875, pag. 212—214, die Mittheilungen von Magnus in der Gesellschaft naturforschender Freunde zu Berlin, Sitzg. vom 19. Januar 1875.

Areschoug: „Observationes Phycologicae. Partic. tertia de Algis nonnullis scandinavicis et de conjunctione phaeozoosporarum Dictyosiphonis hippuroidis.“ Ex. Act. Reg. Soc. Scient. Ups. Ser. III. Vol. X. Upsaliae 1875.

Rostafinski: „Quelques mots sur l'Haematococcus lacustris et sur les bases d'une classification naturelles des algues chlorosporées.“ Mèm. de la soc. nat. des sciences natur. de Cherbourg 1875. Tome XIX. Enthält einige Notizen über die Copulation von Schwärmosporen bei *Gonium*, *Chlamydomonas multifilis* et *Chl. pulvisculus* auf pag. 146, sodann über Copulation von Mikrozoosporen bei *Hydrodictyon* und *Botrydium* auf pag. 152.

Andere Arbeiten über die Copulation von Schwärmosporen oder nahe verwandte Vorgänge bei Algen sind mir bis zur Stunde nicht bekannt geworden. Die oben angeführten mögen Zeugnis ablegen von der Wichtigkeit dieser durch Pringsheim entdeckten Fortpflanzungsart, deren Kenntniss für die Untersuchungen der Chlorosporeen zum neuen Ausgangspunkt geworden ist.

Cramer widmet dem Copulationsakt von *Ulothrix zonata* nur wenige Zeilen. Er gesteht zu, dass es ihm unmöglich war, „ein Paar copulirter Zoosporen vom ersten bis zum letzten Stadium der Paarung zu verfolgen, ebensowenig kann er nähere Angaben über das Verhalten der gepaarten Schwärmer machen.“ Cramer spricht sodann die Vermuthung aus, „dass die Zoosporen erst nach vorausgegangener Ruhe sich weiter entwickeln.“ Diese Vermuthung erweist sich nach meinen sorgfältigen Untersuchungen als unrichtig, wie wir in einem folgenden Abschnitt sehen werden.

Nach diesen geschichtlichen Bemerkungen gehe ich an die Darstellung des Copulationsprocesses der Zoosporen von *Ulothrix zonata*

und constatire an der Hand der möglichst genauen Zeichnungen in Taf. IV. und VI. Folgendes:

Sobald die aus der Mutterzelle ausgetretenen Mikrozoosporen nach der Durchbrechung oder der vollständigen Auflösung der Umhüllungsblase frei geworden sind, beginnen sie den fröhlichen Akt des freien Herumschwärmens. Sie entfernen sich rasch und lebhaft — unter schleuniger Rotation um ihre Längsaxe — von der Geburtsstelle weg, um in taumelnder Bewegung ihr Glück zu versuchen. Auf dieser Reise treffen sie zufällig auf eine andere Gruppe eben in Freiheit gelangender Mikrozoosporen und sobald dies geschehen ist, beginnt die Einleitung zur Copulation. Wir sehen alsbald zwei entweder gleich grosse oder nur wenig verschiedene Mikrozoosporen anscheinend sich erst nur mit den Cilien verwickeln (Tafel IV. Figur 21 a, b und a' b'), wobei letztere gleichsam mit einander verkleben, indess die beiden Zoosporenkörper mit den einander zugekehrten hyalinen Vorderenden noch ziemlich weit von einander abstehen, aber dessenungeachtet um ihre gemeinsame Axe rotiren. Diese Rotationen werden im Augenblick der Cilienverwicklung langsamer, unregelmässig, intermittirend, so dass man auf kurze Momente die Cilien der beiden Zoosporen sehen kann. Die gemeinsamen Rotationen der in Fig. 21 Taf. IV. abgebildeten Zoosporen (Freihandzeichnung) dauerten kaum eine halbe Minute. Dann folgte plötzlich eine Schwenkung der einen Zoospore (a') in der Richtung des Pfeiles gegen die andere Zoospore (b'), um sich mit dieser zu vereinigen. Hierbei legte sich die etwas längliche, vorn und hinten verjüngte Zoospore a' an den mehr abgerundeten Zoosporenkörper b' und zwar der Art, dass die beiden hyalinen, cilientragenden Vorderenden der zwei Paarungsobjekte sich seitlich berührten, indess am hintern Theil des copulirten Körpers eine Einkerbung (Fig. 21 c Taf. IV.) die beiden frisch vereinigten Zoosporen noch deutlich unterscheiden liess. Hierauf folgen gemeinsam ausgeführte Rotationen, die weniger schnell und weniger regelmässig vollzogen werden, als von den einzelnen noch nicht copulirten Zoosporen; immerhin sind jene im Anfang des Vereinigungsprocesses noch zu schnell, um die Cilien erkennen zu lassen. Unter taumelnden und unregelmässigen Bewegungen vollzieht sich die Verschmelzung der beiden seitlich zusammengefügtten Zoosporen successive der Art, dass die Einkerbung am hintern chlorophyllhaltigen Ende immer undeutlicher wird (Taf. VI. Fig. 4 Stadium 1. 2. 3. 4. 5. 6. 7). Dabei nehmen

die Copulationsobjekte Wasser auf und runden sich unter fort-dauernder Vergrösserung allmählig so ab, dass sie schliesslich einen spitzeiförmigen Körper darstellen, dessen vorderes hyalines und spitzeres Ende die 4 Cilien trägt, während der hintere abgerundete kugelige Theil die zwei grünen Plasmaparticeen enthält, welche ursprünglich den beiden früher getrennten Mikrozoosporen angehörten. An der Grenze zwischen jeder grünen Plasmapartice und dem hyalinen vordern Theil der Zygospore oder auch am grünen Theil der letztern selbst finden wir die beiden rothen Pigmentflecke der zwei vereinigten Mikrozoosporen. Allmählig werden die Rotationen langsamer, die Cilien stellen nach und nach ihre schwingenden Bewegungen ein, um sie nach immer länger werdenden Pausen wieder aufzunehmen, bis sie schliesslich erstarren und vollständige Ruhe eintritt. Dann verschwinden nach wenigen — 2 bis 5 — Minuten die Cilien vollständig und die Zygospore, das Produkt der geschlechtlichen Vereinigung ist fertig. Was hierbei ganz besonders auffällt, ist der Umstand, dass das hyaline Vorderende der Zygospore sich gegen die Unterlage wendet, indess der hintere, chlorophyllhaltige Theil der Unterlage abgekehrt, dem Lichte zugewendet ist (Taf. VI. Fig. 5.)

Welche Vorgänge am vorderen, cilientragenden Pol der zwei sich copulirenden Mikrozoosporen nach eingetretener Berührung erfolgen, wie sich z. B. beim Verschmelzungsprocess der beiden Körper die pulsirende Vacuole der einen und der andern Mikrozoospore verhält, konnte ich bisher aus leicht begreiflichen Gründen nicht ermitteln. Die Copulationsobjekte sind so klein und so lebhaft in ihren Bewegungen, dass es nur höchst selten gelingt, eine einzelne, lebendige Mikrozoospore auf die pulsirende Vacuole und die Cilienbewegung zu untersuchen. Unendlich schwieriger ist die allerdings höchst interessante Aufgabe, das Verhalten der contractilen Vacuole, die ich entschieden bei mehreren isolirten Mikrozoosporen beobachten konnte, während der unter den tollsten Bewegungen stattfindenden Copulation zu controliren. Diese Aufgabe gehört ohne Zweifel mit zu den interessantesten über die Befruchtungsvorgänge, wie ich aus den neulich von Strasburger (an der 48. Versammlung deutscher Naturforscher und Aerzte in Graz) mitgetheilten Erscheinungen bei befruchteten Pflanzen- und Thier-Eiern schliessen muss. Ihre Lösung muss ich auf weitere Untersuchungen versparen.

Nicht immer gelingt es dem Beobachter, alle die oben beschriebenen auf einander folgenden Stadien der Copulation zu verfolgen. Sehr oft, ja sogar in den meisten Fällen erfolgt die Vereinigung der lebhaft schwärmenden Mikrozoosporen so rasch, dass wir sie erst dann erkennen, wenn sich die Zoosporenkörper bereits an einander gelegt haben. Immer aber scheint dieser Vereinigung eine ich möchte sagen tändelnde Bewegung der beiden Mikrozoosporen voraus zu gehen. Meist sieht man die zwei Zoosporen sich erst einige Zeit umkreisen, wobei sich die Cilien augenscheinlich mehr und mehr verwickeln, indess die eiförmigen Zoosporenkörper, deren Axen entweder parallel verlaufen, oder in der Richtung nach vorn convergiren, sich um eine zwischen ihnen liegende Axe drehen, bis sie sich seitlich an einander legen und dann in oben beschriebener Weise vereinigen.

Sehr häufig sehen wir zwei bereits mit den Cilien verwickelte Mikrozoosporen, die sich gleichsam zankend herumreissen, wieder von einander losmachen, ehe sie sich mit dem Körper berührt haben. Ja man findet sogar Mikrozoosporen, von denen die eine bereits am Körper der andern heruntastet und bald nach vorn, bald wieder rückwärts gleitet, ohne die passende farblose Copulationsstelle der andern zu finden, unverrichteter Sache, nach verfehltem Copulationsversuch aus einander treten. Es ist dies namentlich bei jenen Mikrozoosporen der Fall, die entweder schon abgerundet aus der Umhüllungsblase treten, oder aber schon längere Zeit geschwärmt und dabei sich in einem hohen Grade abgerundet haben, ohne einen Copulations-Genossen zu finden.

Am leichtesten vollzieht sich die Copulation dann, wenn die Mikrozoosporen eben ausschwärmen und noch eine unregelmässige kantige Gestalt besitzen. Dann sieht man nicht selten im gleichen Gesichtsfeld sechs bis zehn Paare Mikrozoosporen zugleich die Copulation vollziehen. Es finden dabei die kantigen und von mehr oder weniger ebenen Flächen begrenzten Sporenkörper viel leichter die auf einander passenden Copulationsstellen. Diese letztern sind, soviel ich an den verschiedenen Zoosporen beobachtete, farblos und liegen am vordern Theil der nackten Plasma-Masse. Die Vereinigung geschieht in allen Fällen zuerst am vordern, cilientragenden Pol und schreitet von da an rückwärts gegen die hintern grünen abgerundeten Theile der Copulations-Objekte. Die hiebei auf einander folgenden Verschmelzungsstadien habe ich in Taf. IV. Fig. 20 a. b. c. d. e, Fig. 23 e e e, sowie in Taf. VI. Fig. 4 dar-

gestellt (mit Hülfe des Prismas gezeichnet), nachdem ich diese Prozesse unzählige Mal verfolgt und wiederholt durch plötzlichen Zusatz von Jodlösung zum Zwecke ruhiger Beobachtung sistirt habe.

Noch habe ich zu erwähnen, dass zwei Mikrozoosporen, die im Begriff stehen, sich zu copuliren, auch zufällig mit den zwei hyalinen vordern Spitzen — einander direkt gegenübergestellt — sich berühren können (Fig. 23 e und 24, Taf. IV.), ganz ähnlich, wie es Pringsheim für *Pandorina Morum* in Fig. 3 und 5 zu seiner genannten Arbeit dargestellt hat. Allein niemals sah ich eine Verschmelzung der beiden sich entgegengestellten hyalinen Vorderenden in jener Weise vor sich gehen, wie es bei *Pandorina* stattfindet, wobei also während der allmäligen Copulation die chlorophyllhaltigen Theile der zwei Copulations-Objecte einander abgekehrt wären, sondern in allen Fällen erfolgt erst ein Umkippen und seitliches Aneinanderlegen der sich berührenden Zoosporenkörper, ehe die weitere Verschmelzung stattfinden kann. Wenn Cramer Zwischenstadien zwischen den Pringsheim'schen Figuren a, b und e gesehen haben will, so erscheint mir dies räthselhaft. Cramer konnte höchstens in Copulation begriffene Zoosporen, die seitlich an einander lagen und seitlich die Verschmelzung eingingen, von hinten gesehen und so den Eindruck empfangen haben, als vollzöge sich die Verschmelzung ähnlich, wie nach Pringsheim bei *Pandorina Morum*; aber in Wirklichkeit findet man bei *Ulothrix zonata* niemals jene Zwischenstadien zwischen den Copulationsobjecten a, b und e der Fig. 5 in Pringsheim's Tafel. Die seitliche Verschmelzung der Zoosporen von *Ulothrix zonata* schliesst das biscuitförmige Uebergangsstadium aus.

Die beiden sich copulirenden Schwärmosporen von *Ulothrix zonata* sind meistens von gleicher Grösse, und verhalten sich vor und während des Copulationsprocesses durchaus gleich, so dass wir nicht im Stande sind, aus der Grösse und dem Verhalten während des Sexualaktes auf den Werth der einen oder der andern sich copulirenden Zelle einen Schluss zu ziehen. (Man vergleiche hiegegen: Areschoug, *Observationes Phycologicae. Part. secunda de Urospora mirabili et de chlorozoosporarum copulatione. Ups. 1874.*) Wir können weder in den Entstehungs- und Entwicklungsvorgängen, noch in der Gestalt und dem physiologischen Verhalten Momente finden, um zu bestimmen, welche der beiden die Copulation eingehenden Zellen die männliche und welche die weibliche zu nennen ist. Allerdings sieht man — aber verhältniss-

mässig sehr selten — auch grössere und kleinere Mikrozoosporen zusammentreten (Figur 23 e u. 24, Tafel IV.) und eine Copulation vollziehen, allein das sind Ausnahmen. Auch kann es vorkommen, dass eine noch langgestreckte kantige Mikrozoospore sich mit einer andern schon abgerundeten copulirt, aber in der grossen Mehrzahl der Fälle findet die Copulation zwischen gleichgeformten und gleichgrossen Schwärmsporen statt.

Ebenso ist wohl zu beachten, dass sich Mikrozoosporen eines und desselben Fadens (nicht aber aus einer und derselben Mutterzelle) paaren können. Ja es copuliren sich sogar Mikrozoosporen, die in gleicher Anzahl in gleichwerthigen Zellen desselben Fadens gebildet wurden, so dass von einer nur einigermaßen bemerkbaren Geschlechts-Differenz der Copulations-Objekte von *Ulothrix zonata* schlechterdings nicht die Rede sein kann. Wir haben es hier jedenfalls mit der aller-einfachsten, der primitivsten Form geschlechtlicher Vorgänge zu thun. Das erhellt — wie ich später zeigen werde — auch aus dem weiteren Verhalten der nicht copulirten Mikrozoosporen.

Noch habe ich einer sonderbaren Erscheinung zu erwähnen, die ich mehr wegen ihrer Seltsamkeit und Abnormität, als wegen einer ihr allfällig zukommenden Bedeutung für die Kenntniss der Sexualprocesse niederer Gewächse hier mittheile. Es ist die von mir nur Ein Mal von Anfang bis zu Ende beobachtete Copulation dreier Mikrozoosporen (Tafel IV. Figur 1-14). Ich bemerke, dass die betreffenden Zeichnungen mit freier Hand angefertigt sind, aber möglichst genau den während einer vollen Stunde langsam auf einander folgenden Stadien entsprechen. Erst glaubte ich mich zu täuschen, als ich plötzlich zwei langgestreckte kleinere Mikrozoosporen sich an die beiden Längsseiten einer grössern Zoospore anlegen sah, indess alle 3 Körper lebhaft ihre Cilien schlangen und lustig rotirten. Die Stelle, wo ich diese interessante Erscheinung im Gesichtsfeld beobachtete, war für die weitere Verfolgung des Processes äusserst günstig: es war wenig Raum für die Ortsbewegung der drei copulirenden Zoosporen vorhanden, während diese zwischen Faden gefangen doch hinreichend Platz fanden, um die Rotationen um die gemeinsame Axe und einige beschränkte Ortsbewegungen auszuführen. Der ganze Process vollzog sich von 10 $\frac{1}{4}$  bis 11 $\frac{1}{4}$  Uhr Vormittags, am 17. März 1875. Ich fand bei eintretenden Pausen in Folge von hemmenden Einflüssen auf

die Bewegung hinreichend Zeit, diese 14 Figuren aufzunehmen. Ich lasse hier die damals niedergeschriebenen Notizen über diesen sonderbaren Vorgang folgen: In den Stadien von Figur 1. 2 und 3 bewegte sich die dreieimige Zygospore so lebhaft, dass ich am Hinterkörper nur die zwei Einschnitte zwischen der mittleren und den beiden seitlichen Zoosporen und gegen den vorderen Theil die 3 rothen Pigmentflecke, nicht aber die Cilien selbst sehen konnte. Letztere wurden erst nach und nach, auch nur zum Theil sichtbar. Alle Zeichnungen, mit Ausnahme von Fig. 4, sind von Ansichten genommen, bei denen alle 3 rothen Flecke sichtbar waren. Figur 7, 10 und 13 zeigen das Copulationsprodukt von hinten gesehen. Wie aus Figur 1, 2, 3, 5, 6, 10 und 11 ersichtlich ist, konnten die drei ursprünglich isolirten Zoosporen angehörenden grünen Plamaportionen oft noch deutlich unterschieden werden. Im Stadium von Figur 13 sah ich deutlich 5 Cilien, in Figur 14 — bei ein tretender Ruhe — zählte ich dagegen 6 Cilien, von denen etliche während des Erstarrens am Deckgläschen anstiessen. Nachher verlor ich leider die Zygospore vollständig aus dem Gesichtsfeld, da mittlerweile die Flüssigkeit in Folge Verdunstens das Objekt so sehr an den Rand des Deckgläschens hinzog, dass schliesslich die beiden Flüssigkeiten auf und unter dem Deckgläschen (Hartnack's Immersionssystem No. IX) zusammenflossen und eine weitere Verfolgung des Copulationsproduktes unmöglich wurde. Ich kann also bloss die Thatsache der Copulation dreier Zoosporen zur Bildung einer einzigen Zygospore constatiren, ohne im Stande zu sein, über das Schicksal der letztern Weiteres mitzutheilen. Das Produkt dieser Vereinigung dreier Mikrozoosporen war eine über das gewöhnliche Mass hinausgehende Zygospore. Hier haben wir einen ähnlichen Process, wie ihn Areschoug bei der Copulation der zur Ruhe gelangten Schwärmosporen von *Dictyosiphon hippuroides* mehrmals beobachtet hat. Dort war allerdings das Resultat ein etwas anderes: Die eine der drei sich copulirenden Sporen gab ihren Inhalt zum Theil an die zweite, zum Theil an die dritte Spore ab, so dass in Folge dieses Vorganges dort zwei geschlechtlich erzeugte Individuen resultirten, während bei der Copulation von 3 Mikrozoosporen bei *Ulothrix zonata* nur Eine Zygospore entsteht. (Nachträglich lese ich in dem Aufsatz von Rostafinski [Mém. d. l. Soc. nat. des Scienc. nat. de Cherbourg T. XIX. p. 152], dass Suppanetz in dem Laboratorium von De Bary die Copulation von Mikrozoosporen bei *Hydrodictyon* beobachtet hat und zwar

nicht allein die Copulation von zwei, sondern von 3, 4, ja bis 6 Mikrozoosporen.)

Noch viel zutreffender ist der Vergleich der Copulation dreier Zoosporen zu einer einzigen Zygospore mit dem Process der geschlechtlichen Befruchtung bei jenen Oosporeen, deren Spermatozoiden sehr klein sind und in grosser Zahl mit der unbefruchteten Oosphäre in Berührung kommen, wobei mehrere Spermatozoiden zu gleicher Zeit mit der Plasmamasse der Eizelle verschmelzen, wie dies bei den Fucaceen der Fall zu sein scheint. In dem von mir beobachteten, oben beschriebenen Fall der Copulation dreier Zoosporen bei *Ulothrix zonata* war die eine Mikrozoospore beträchtlich grösser als die beiden andern, die sich quasi als befruchtende Samenkörper an sie anklammerten. Wir können jene grössere Zoospore als die weibliche, die beiden andern, kleinern Mikrozoosporen als männliche bezeichnen. Dieser Fall (sowie die als Ausnahmen angeführten Fälle von Copulationen einer grössern mit einer kleinern Mikrozoospore), lässt uns an dieser Ulothrichee bereits den ersten Anfang zu einer weiter gehenden geschlechtlichen Differenzirung erkennen. Wir haben hier gleichsam die ersten Versuche zu einer typisch-sexuellen Befruchtungs- und Fortpflanzungsweise. Wenn wir uns nun noch daran erinnern, dass die Bewegungen der grössern Zoosporen bei *Ulothrix* langsamere und schwerfälligere sind, als diejenigen der kleinern Mikrozoosporen, so haben wir in der Copulation einer grössern mit einer oder mit 2 kleinern Zoosporen, wie sie bei *Ulothrix* ausnahmsweise dann und wann beobachtet wird, ein neues Moment für die Pringsheim'sche Theorie, derzufolge die „Paarung von Schwärmsporen als morphologische Grundform der Zeugung im Pflanzenreich“ betrachtet werden muss. Denken wir uns den Fall, dass bei *Ulothrix* jene grössern Mikrozoosporen, die noch eine Copulation eingehen können, bloss aus der Mutterzelle entleert würden, ohne nachher zu schwärmen, aber von den kleinern Mikrozoosporen aufgesucht und in einen Copulationsakt hineingezogen würden, so möchten wir nicht zögern, die Ulothricheen zu den Oosporeen (mit sexueller Befruchtung der Eizellen) zu rechnen. Ein Analogon bietet uns die Gattung *Fucus*. Blieben die grösseren noch copulationsfähigen Zoosporen bei *Ulothrix* vollends in der Mutterzelle liegen und warteten sie dort die schwärmenden und sich mit ihnen copulirenden kleinern Mikrozoosporen ab, so hätten wir denselben Vorgang der sexuellen Fortpflanzung wie bei *Sphaeroplea annulina*. (Cohn,

Ann. des scienc. nat. 4<sup>me</sup> série. T. 1856. pag. 187 und Sachs, Lehrb. der Botanik. IV. Aufl. 1874. pag. 272—273) oder wie bei *Volvox Globator*, deren Entwicklungsgeschichte wir neulich durch Cohn (Beiträge zur Biologie der Pflanzen III. Heft. 1875) kennen lernten. Da nun aber die Copulation verschieden grosser Schwärmsporen bei *Ulothrix* nur als Ausnahmefall erscheint, da ferner, wie ich im folgenden Abschnitt nachweisen werde, die copulationsfähigen Mikrozoosporen, sobald sie am Schwärmen oder an der Copulation verhindert werden, auch ohne vollzogene geschlechtliche Vereinigung zu keimen und neuen Individuen das Dasein zu geben vermögen, so haben wir für rückwärts Anhaltspunkte dafür, dass die ungeschlechtliche Fortpflanzung durch Zoosporenbildung der Ausgangs-Modus für die niedrigste Form geschlechtlicher Fortpflanzung gewesen ist. Die Copulation der Schwärmsporen steht hiernach in der Mitte zwischen ungeschlechtlicher Fortpflanzung durch bloss schwärmende und nachher sofort keimende Zoosporen einerseits und der typischen geschlechtlichen Fortpflanzung bei den Oosporeen andererseits. Beide Gegensätze sind in den Fortpflanzungserscheinungen von *Ulothrix zonata* bereits deutlich vorgezeigt und durch die feinsten Abstufungen in der Entwicklungsgeschichte und Morphologie der Zoosporen (Makro- und Mikrozoosporen) und den Copulationsvorgängen, sowie im Verhalten der nicht copulirenden Zoosporen und demjenigen der Zygozsporen verbunden.

Ich habe an dieser Stelle noch zu bemerken, dass ich bei der Untersuchung der Hunderte von Zygozsporen, bei denen ich auf die Zahl der Cilien achtete, ausser dem oben beschriebenen Fall der Copulation dreier Mikrozoosporen am 15. März auf eine Zygozspore stiess, bei welcher ich ebenfalls mehr als 4 Cilien und zwar ganz deutlich 6 Schwingfäden bemerkte.

Diese zwei Beobachtungen lassen die auf Grund der Cramer-schen Arbeit gerügte Darstellung des Copulationsvorganges bei *Ulothrix*, wie sie in meiner „Neuern Schöpfungsgeschichte“ pag. 105 als Fig. 14 erscheint, doch als „richtig“ erkennen; denn was falsch sein sollte — die Anzahl von mehr als 4 Cilien bei den copulirten Sporen — ist, wie aus Obigem hervorgeht, kein Fehler, sondern nur ein in Wirklichkeit hie und da statthabender Ausnahmefall. Jener incriminirte Holzschnitt bedarf demnach keiner Correctur, sondern nur einer Ergänzung in dem Sinne, dass man noch etliche Zygozsporen mit bloss 4 Cilien einschleibt.

Dass das specifische Gewicht der Mikrozoosporen, gleichviel ob sie sich copuliren oder nicht, schliesslich grösser ist als 1, wurde bereits im vorhergehenden Kapitel auseinandergesetzt. Die Zygosporien lassen sich also auf dem Grund oder der zunächst unter ihnen befindlichen Unterlage nieder, dort dicht neben einander liegend Colonieen bildend, deren Einzelindividuen alle in gleichem Sinne situirt sind, d. h. mit dem hyalinen Vordertheil der Zygosporie abwärts schauen, während der Hintertheil mit seinen zwei grünen Plasmaparticen und den 2 meist opponirten, seitlich gelegenen rothen Punkten nach oben gerichtet ist. Die Zygosporien setzen sich also in gleicher Weise fest, wie die nicht copulirten Mikro- und Makrozoosporen. Wir werden das weitere Verhalten der ersteren verfolgen, wenn wir über das Schicksal der letzteren unterrichtet sind-

## VII. Das Verhalten der zur Ruhe gelangten Makrozoosporen und der nicht copulirten Mikrozoosporen.

Wir haben schon in einem vorhergehenden Abschnitt bemerkt, dass die schwärmenden Makrozoosporen ein specifisches Gewicht besitzen, das demjenigen des Wassers ungefähr gleichkommt, dass sie sich daher nach vollendetem Schwärmstadium entweder an den Rand des Wasserbehälters, in der Nähe des Wasserspiegels oder an schwimmende Faden, vorzugsweise aber an Kalkkryställchen ansetzen, während sich die Mikrozoosporen, gleichviel ob sie sich copuliren oder nicht, in tiefern Regionen zur Ruhe begeben. Dieser Umstand — nebst andern Momenten — ermöglichte es, die Keimlinge aus beiderlei Zoosporen bei der Züchtung im Zimmer jederzeit zur Untersuchung bereit zu haben und ihr Verhalten von Anfang an bis zur vollen Entwicklung mit grosser Sicherheit zu verfolgen. Ich bin daher im Falle, aus meinen diesbezüglichen Beobachtungen über die Keimung von Makro- und Mikrozoosporen Folgendes mittheilen zu können.

Die Makrozoosporen setzen sich — zur Ruhe kommend — mit dem vordern hyalinen Ende fest, verlieren ihre Cilien und beginnen sofort zu keimen (Tafel II. Figur 4, 5, 6, 7. — Tafel III. Figur 1 a. b. c. d. e). Die kugelig-eiförmige Zelle erhält eine Cellulose-Membran und streckt sich nach 2 Richtungen der Art, dass der vordere hyaline festsitzende Theil der Makrozoospore

alsbald ein wurzelartiges farbloses Haftorgan darstellt, während der hintere chlorophyllhaltige Theil der Zoospore allseitig in die Dicke und Länge wächst und den vegetativen assimilirenden obern Theil des jungen Pflänzchens darstellt (Taf. II. Fig. 5. Taf. III. Fig. 1 b. c u. Fig. 2). Schon nach 24 Stunden hat das Keimpflänzchen eine Länge erreicht, die das Zwei- bis Dreifache des Querdurchmessers der ursprünglichen Makrozoospore ausmacht. Dabei sehen wir, dass das grüne, chlorophyllhaltige Plasma als wandständige Schicht den ganzen obern Theil des noch einzelligen Keimpflänzchens auskleidet. Der rothe Fleck der ursprünglichen Makrozoospore findet sich auch nach 24 Stunden noch vor und liegt seitlich auf der halben Länge oder an der Grenze zwischen dem erst- und zweitobersten Drittel der Zelllänge. Er ist langgestreckt und steht zur Längsaxe der gestreckten Zelle entweder quer oder schief, seltener parallel. Dass dieser rothe Fleck unmittelbar unter der Cellulose-Membran liegt, muss daraus geschlossen werden, dass seine Farbe nie durch eine zwischen ihm und dem Objektiv liegende grüne Plasmaschicht getrübt oder verdeckt wird. Das grüne Plasma selbst ist im Anfang des Keimstadiums entweder feinkörnig oder in eine homogene wandständige Platte mit eingestreuten grossen Chlorophyllbläschen differenzirt, je nach der Beschaffenheit der Makrozoospore, aus welcher der Keimling hervorging. Im erstern Falle aber treten grössere Chlorophyllbläschen auf, in deren Nähe die grüne Plasma-Schicht, welche die Innenseite der Zellmembran auskleidet, etwas dicker ist, als an andern Stellen. Dann bildet sich eine Querwand, welche das Keimpflänzchen in eine obere dickere und eine untere dünnere, langgestreckte Zelle theilt (Tafel II. Figur 6, Tafel III. Figur 1 c und 2). In der obern dickern Zelle ist der rothe wandständige Pigmentfleck immer noch sichtbar. (Kützing stellt in Taf. 80 seiner *Phycologia generalis* auch Keimpflänzchen aus Makrozoosporen von *Ulothrix zonata* dar. Bei 5 Exemplaren zweizelliger Keimpflänzchen finden wir nach Kützing den rothen Pigmentfleck in der untern, d. h. der spätern Fusszelle. Meine eigenen Beobachtungen stehen mit dieser Kützing'schen Darstellung einigermaßen im Conflikt, da ich in der Regel, doch mit Ausnahmen, den rothen Fleck bei 2zelligen Keimlingen eben nicht in der untern, sondern in der obern Zelle sah.) Beide Zellen strecken sich nun weiter; der grüne plasmatische Wandbeleg differenzirt sich in grössere Chlorophyllbläschen, dickere wandständige Plasmaklumpen und einen feinhäutigen Cylindermantel,

welcher in Form eines Gürtels sich allmählig auf die mittlere Querzone der beiden Zellen zurückzieht, so dass sowohl am Scheitel, als an der Fussstelle des Keimpflänzchens, wie in der Nähe der Querwand der grüne Wandbeleg fehlt und dort der Zellinhalt wasserhell erscheint. Oft sehen wir auch in der obern oder gar in beiden Zellen nebst den grünen Chlorophyllbläschen auch einen farblosen, wandständigen Zellkern. Hat das 2zellige Keimpflänzchen eine beträchtliche Länge erreicht, so theilen sich in der Regel zu gleicher Zeit beide Zellen ebenfalls durch Querwände, so dass dann mit Einem Mal das Pflänzchen aus 4 Zellen zusammengesetzt erscheint (Tafel II. Figur 7 und Tafel III. Figur 1 d e u. Figur 2). Der rothe Pigmentfleck findet sich — wenn er überhaupt noch sichtbar ist, was sehr oft der Fall — meistens in der zweitobersten Zelle und zwar mitten im wandständigen grünen Plasmagürtel. Er ist indessen im Erbleichen begriffen und wird nur noch unmittelbar nach der Bildung der letzten Querwände (circa 48 Stunden nach dem Beginn der Keimung) deutlich erkannt, während er an ältern, langgestreckten 4-zelligen Keimlingen nicht mehr zu sehen ist (Vergl. Tafel II. Figur 7 und Tafel III. Figur 1 d, 1 e u. Figur 2 c). Von da an folgen sich die Wachstums- und Zelltheilungsprocesse unter normalen Verhältnissen in raschem Wechsel auf einander und zwar unter jenen Erscheinungen, die ich schon oben im ersten Abschnitt (über das Aussehen der Zellfäden) bereits beschrieben habe. Aus dem 4-zelligen Keimpflänzchen wird zunächst ein 8-zelliger, dann ein 16-zelliger Faden (Tafel III. Figur 2 d), dessen Einzelzellen jene charakteristische Anordnung und Differenzirung des Plasma's besitzen, wie wir oben im ersten Abschnitt, pag. 8, bei Besprechung des Fadentypus e gesehen haben.

Nicht selten streckt sich die unterste oder die sogenannte Fusszelle des Keimpflänzchens der Art, dass sie auf die grösste Länge ihres haarartigen Schlauches des grünen Plasma's entbehrt. Letzteres stirbt auch nicht selten frühzeitig ab, so dass dann die Fusszelle sich in der Folge nicht mehr weiter theilt. Seltener theilt sich bei wenigzelligen Keimpflänzchen die eine und die andere Zelle, z. B. die Fusszelle auch nicht gleichzeitig mit den über ihr stehenden obern Zellen, so dass man dann 3-zellige, 5—7- 9—15-zellige junge Ulothrix-Individuen antrifft, anstatt wie sonst regelmässig nur 2-, 4-, 8- oder 16-zellige Keimpflanzen. Ein Zeugnis dieser Unregelmässigkeiten, die nach unsern Beobachtungen fast als Ausnahmefälle zu betrachten sind, findet sich in der Kützing-

schen Tafel 80 (*Phycologia generalis*), wo wir nebst 2- 4- und 8-zelligen Keimlingen auch solche antreffen, die aus 3, 5, 6, 7 und mehr als 8 Zellen bestehen.

Sehr oft zieht sich in der langgestreckten Fusszelle der grüne Plasmabeleg in den obern Theil zurück, woselbst dann der Theilungsprocess weiter fortgesetzt wird, wie in andern Theilen des Fadens. Das Resultat dieses Vorganges ist schliesslich ein langgestrecktes, mehrzelliges, dünnes Fadenstück, das ausnahmsweise früher abstirbt, als der übrige Theil des Fadens und dann weiter am Vegetations- und Reproduktionsgeschäft keinen Antheil nimmt. (Vergl. Nägeli. Die neuern Algensysteme. Taf. I. Fig. 52). Inwiefern die Braunsche Charakteristik der Fusszelle von *Ulothrix zonata* (Verjüngung pag. 159) zu corrigiren ist, habe ich bereits an anderer Stelle oben, pag. 17—19, angedeutet.

Ich habe bereits in einem früheren Abschnitt mitgetheilt, dass die Makrozoosporen auch in der Mutterzelle zu keimen vermögen (Taf. VI. Fig. 1 a und b). Es geschieht dies in der Regel dann, wenn bei der Entleerung eines Makrozoosporenbehälters eine oder zwei Sporen gefangen bleiben (Tafel VI. Figur 1 d). Dabei beobachten wir an einzelnen Keimpflänzchen ganz dieselben Erscheinungen, wie wenn die Keimung ausserhalb der Mutterzelle stattfindet. Es bildet sich in der Regel auch eine langgestreckte Fusszelle, die gewöhnlich auf einer Stelle der Innenseite der cylindrischen Mutterzellmembran aufsitzt, während der Keimling, in die Länge wachsend, quer durch die Mutterzelle gerichtet ist und mit seinem obern Theil durch die Geburtsöffnung der nur zum Theil entleerten Mutterzelle nach Aussen dringt. Hie und da trifft man aber auch einen Makrozoosporenkeimling, der mit seinem Fussstheil durch die Geburtsöffnung tritt, indess der Scheiteltheil in der Mutterzelle eingeschlossen bleibt; solche Fehlgeburten sind indess selten und als Ausnahmefall zu betrachten. Der geschilderte Keimprocess der Makrozoosporen in der Mutterzelle muss nun als selbstverständlich erscheinen lassen, dass die Längsaxe des Keimlings senkrecht auf der Längsaxe des mütterlichen Fadens steht. Es ist zu vermuthen, dass es weiteren Beobachtungen gelingen wird, durch die Art und Weise des Theilungsprocesses bei der Bildung der Zoosporen, sowie durch die Beantwortung der Frage, wie der farblose Keimfleck an der frischentstandenen Zoospore zur Axe des mütterlichen Fadens gestellt erscheint, zu constatiren, dass die Theilungsprocesse beim Keimen der Zoosporen in allen

Fällen in senkrechter Richtung zu den Theilungsprocessen des mütterlichen Plasmas vor sich gehen. Da die Zygosporien ebenfalls mit dem vordern hyalinen Ende festsetzen, um — wie ich im folgenden Abschnitt zeigen werde — ebenfalls in ein wurzeltragendes Pflänzchen auszuwachsen, das sich beim Keimen ganz ähnlich verhält wie ein 1-zelliges Keimpflänzchen aus einer Zoospore, so eröffnet sich uns hier die Perspective zur Beantwortung jener Frage: Ist die geschlechtliche Fortpflanzung schliesslich nicht gar auf eine Richtungsänderung im Theilprocess der mütterlichen (resp. auch der väterlichen) Zellen zurückzuführen?

Das Charakteristische der aus den Makrozoosporien hervorgehenden Keimpflanzen von *Ulothrix zonata* ist das ungemein rasche Längenwachsthum. Die Zellen eines solchen jungen Fadens sind langgestreckt und überragen in der Länge den Querdurchmesser um ein Beträchtliches. Niemals sind diese Fäden im vegetativen Zustand gegliedert, wie dies beim Fadentypus f und b — oben im ersten Abschnitt — stattfindet. (Man vergl. Tafel I. Fig. 5 a b c mit Fig. 3 und 4). Bei diesem raschen Wachsthum ist es möglich, dass der aus einer Makrozoospore hervorgehende Faden nach 4 Tagen schon aus 16, nach 8 Tagen aus 256, nach 10 Tagen schon aus 1024 Zellen besteht und um diese Zeit oder schon früher bereits Zoosporien zu bilden vermag. Nach und nach wird jedoch das Längenwachsthum ein langsames, indess die Zellen fortfahren, sich zu theilen. Diese letztern werden also immer kürzer, je älter der Faden, bis sie schliesslich eine beträchtlich geringere Länge besitzen, als der Querdurchmesser, so dass dann der Plasmagürtel die ganze Cylinderwand auskleidet. Damit tritt ein Stadium ein, wo letzterer auf die Querwände ausbiegt und sich der Zellinhalt zur Zoosporienbildung ansammelt. [Vergl. Braun, Verjüngung, pag. 159, dessen diesbezüglichen Passus ich oben (pag. 17. Abschnitt über Längen- und Dickenwachsthum) schon citirt und besprochen habe.]

Ich habe in Figur 3, 4 und 5, Tafel III. im Zimmer gezüchtete Keimpflanzen dargestellt, die 8 Tage (Fig. 3 und 4) und 14 Tage (Fig. 5) alt waren und bereits — unter relativ ungünstigen Verhältnissen — Zoosporien zu bilden begannen. Diese Keimpflanzen aus Makrozoosporien vegetirten am Rande eines kleinen Porcellantellers, in welchem anfangs während weniger Nachmittagsstunden zahlreiche Makrozoosporien aus schwimmenden *Ulothrix*-

faden schwärmten. Letztere wurden gleich, nachdem jene zur Ruhe gekommen waren, entfernt, um die Keimpflänzchen ungestört verfolgen zu können. Die Züchtung dieser letztern fand — wie bemerkt — im Zimmer statt, wobei ein Tropfapparat benützt wurde, um den jungen Pflänzchen stets frisches Wasser zuzuführen. Bei der Bewegung des Wassers wurden natürlich die an Kalkkryställchen des Tellers haftenden Faden fortwährend beunruhiget, und diesem Umstand, wie auch den nicht ganz günstigen Temperatur-Verhältnissen ist es wohl zuzuschreiben, dass diese gezüchteten Ulothrixfaden nicht länger wurden, sondern im Wachsthum der Art zurückblieben, dass sie nach 8—14 Tagen nicht mehr als je 4 bis 16 Zellen zählten. Nichts destoweniger begannen einige Faden schon am 8ten Tage mit der für die Zoosporenbildung so charakteristischen Zerklüftung des grünen Plasmas (Taf. III. Fig. 4 x). In Figur 5 haben wir zwei 14-tägige Ulothrixfaden, die bereits Makrozoosporen und Mikrozoosporen in reifem Zustand erkennen lassen. Diese beiden Objekte, sowie andere ähnliche Beobachtungen an Keimpflanzen aus Makrozoosporen, die sich unter natürlichen Umständen entwickeln, constatiren, dass die aus den Makrozoosporen von *Ulothrix zonata* hervorgehenden Faden beiderlei — Makrozoosporen und Mikrozoosporen — zu bilden vermögen. Sie sind die Produkte ungeschlechtlicher Fortpflanzungszellen; sie vermögen sowohl geschlechtliche, als auch ungeschlechtliche Fortpflanzungszellen zu erzeugen. Allerdings gibt es Ulothrixfaden, welche aus Makrozoosporen hervorgehen und schliesslich bloss wieder Makrozoosporen bilden, also ungeschlechtlich erzeugt, selbst wieder ungeschlechtlich sind. Ein Beispiel hievon ist der in Taf. II. Fig. 1 a b c d dargestellte Faden. Allein ebenso gewiss gibt es Ulothrixfaden aus Makrozoosporen, die — wie jene gezüchteten Keimlinge — beiderlei Zoosporen bilden (Tafel VI. Figur 1 a—g). Auch sprechen mancherlei Erscheinungen dafür, dass es Abkömmlinge von Makrozoosporen gibt, die bloss Mikrozoosporen bilden. Da aber letztere nicht immer zu copuliren brauchen, um einer neuen Generation das Dasein zu geben, sondern auch ohne geschlechtliche Vereinigung zu keimen vermögen (wie wir unten sehen werden), so scheint es fast ein Wagniss zu sein, die Behauptung aufzustellen, dass die einen Ulothrixfaden geschlechtlos, die andern dagegen ganz evident geschlechtlich seien und eine dritte Kategorie aus beiderlei Fragmenten, aus geschlechtslosen und ungeschlechtlichen, bestehe.

Die ganze Untersuchung dieser Frage führt mich zu dem Schluss, dass die Bildung von Makro- und Mikrozoosporen nicht zumeist von der Natur des Fadens, nicht von der Art der Zeugung dieses oder jenes zoosporenbildenden Individuums, sondern zum grössten Theil von äussern Umständen, die auf das einmal vorhandene Individuum einwirken, abhängt. Damit ist keineswegs gesagt, dass sich nicht von Zeit zu Zeit in der Generationsfolge selbst eine durch Vererbung und Anpassung in die Species gelegte und in ihr befestigte Disposition zur Bildung von Mikrozoosporen (geschlechtl. Zellen) geltend mache. (Vergl. übrigens das Schlusskapitel, das nach 8-monatlichen weitem Untersuchungen diese Frage eingehender behandelt.)

Die besten Argumente für die problematische Ausprägung geschlechtlicher Gegensätze in den Mikrozoosporen geben diejenigen kleinen Schwärmosporen, die eine Copulation nicht eingehen und dennoch zu keimen vermögen.

Schon lange ist die Thatsache bekannt, dass bei *Ulothrix zonata* Sporen beobachtet werden, die innerhalb der Mutterzelle keimen und erst keimend — als 2- und mehrzellige Pflänzchen geboren werden. (Kützing. *Phycologia generalis*. 1843. pag. 252 und Taf. 80. Fig. 17 und 18). Der berühmte Algologe Kützing bemerkt über dergleichen lebendig-gebärende Fäden kurz Folgendes: „an andern (Fäden) beobachtete ich jedoch, dass hier die durch Theilung der Amylidzellen entstandenen Körperchen noch innerhalb ihrer Zellen, ohne vorher Bewegung zu zeigen und ohne einen rothen Augenpunkt erkennen zu lassen, sich zu jungen Individuen entwickelten. Manche Fäden starteten ganz von diesen Auswüchsen und boten ein eigenthümliches Schauspiel dar, denn aus jeder Zelle sprosst mehrere junge Individuen hervor (l. c. p. 252).

Auch Rabenhorst hat in seiner „Kryptogamen-Flora von Sachsen, Thüringen etc. I. Abtheilg. 1863“ dieses Vorganges erwähnt und denselben sogar in einem Holzschnitt (auf pag. 235) dargestellt. Von den *Ulothricheae* sagt dieser Autor: „Fortpflanzung durch Sporen und Schwärmosporen. Erstere keimen meist schon in der Mutterzelle und brechen keimend hervor.“

Ich habe schon in den vorhergehenden Abschnitten darauf aufmerksam gemacht, dass Zoosporen, welche bei der Geburt des zu entleerenden Inhaltes in Folge des Zerreissens der Umhüllungsblase im Innern der Mutterzelle zurückbleiben, nachträglich entweder — was jedoch selten geschieht — noch in Freiheit gelangen,

oder aber — was sehr häufig stattfindet — in den Mutterzellen zu keimen anfangen, ohne vorher geschwärmt, oder höchstens nur innerhalb der Mutterzelle einige ruckweise Bewegungen ausgeführt zu haben (Taf. V. Fig. 2. 3. 6 und Taf. VI. Fig. 1 a—g). Es gilt dies sowohl von Makro- als von Mikrozoosporen. Dass die Makrozoosporen zu keimen vermögen, ohne die geöffnete Mutterzelle zu verlassen, hat nichts Befremdendes; sind sie doch ungeschlechtliche Fortpflanzungszellen, bei denen es gleichgültig sein kann, ob sie ein grösseres oder kleineres Stück der sie umgebenden Welt beim Schwärmen gesehen haben oder nicht. Sie bedürfen zur weitem Entwicklung keiner Einwirkung anderer Schwärmzellen, sondern tragen in sich selbst, sobald sie zur Reife gelangt sind, die Keimfähigkeit, die bei unterdrücktem Schwärmen nicht verloren geht. Ganz anders verhält es sich aber mit den Mikrozoosporen; denn diese werden doch wohl — weil copulationsfähig — als Geschlechtszellen angesehen werden. Die Frage über das Schicksal der nicht-copulirten Mikrozoosporen, jener Sexualzellen, die sich sonst in der Regel zur Erzeugung eines neuen Individuums zusammenpaaren, ist daher wohl der interessanteste Punkt der ganzen Untersuchung.

Ich betone, dass die Lösung der Fragen: was wird aus den Zygosporen und was geschieht nach nicht erreichter Copulation aus den Mikrozoosporen? mein ganzes Augenmerk auf sich gezogen hat. Ich glaube an der Hand meiner mehrmonatlichen Untersuchungen zur definitiven Beantwortung gekommen zu sein und bemerke hier zum Vornherein, dass die zahlreichen mikroskopischen Zeichnungen über diese Fragen es fast allein ermöglichten, zu einem befriedigenden Resultat zu gelangen. Die wichtigsten hierauf bezüglichen Figuren sind in Taf. V., VI. und VII. zusammengestellt. [Areschoug (Observationes Phycologicae II. 1874) war nicht im Falle, bei den von ihm untersuchten, mit copulationsfähigen Mikrozoosporen ausgestatteten Chlorosporéen, Urospora mirabilis, Cladophora sericea und Cl. arcta und Enteromorpha compressa ermitteln zu können, welches Schicksal die nichtcopulirten Mikrozoosporen trifft.]

Wir haben oben (Abschnitt über die Entleerung der Zoosporen) gesehen, dass während der Geburt der Mikrozoosporen beim Zerreißen der Umhüllungsblase oft 4 Mikrozoosporen in der Mutterzelle zurückbleiben, von denen in den einen Fällen die eine und die andere nachträglich durch ihre eigene Anstrengung doch noch

in Freiheit gelangt, während in andern Fällen alle Zurückgebliebenen endgültige Gefangene sind (Taf. IV. Fig. 22 und 23). Ich habe in Fig. 6 Taf. V. einen Faden dargestellt, bei dem eine grosse Zahl von Mutterzellen mehrzellige Keimlinge enthält, welche aus der Mutterzelle — meist zu 4 — hervorbrechen und ohne Zweifel aus gefangen gebliebenen Mikrozoosporen hervorgingen. Benachbarte Zellen sind entleert, während diese lebendig-gebärenden, Keimlinge enthaltenden Mutterzellen nur einen Theil ihrer Mikrozoosporen entliessen, ähnlich wie die auf Taf. IV. dargestellten Fadenfragmente in Fig. 22 und 23. Der Einwurf, dass diese in den Mutterzellen fussenden Keimlinge doch ebenso gut aus Makrozoosporen — also aus ungeschlechtlichen Fortpflanzungszellen hervorgegangen gedacht werden können, wie als aus Makrozoosporen, wird einerseits durch die sehr kleinen fusslosen Keimlinge selbst, andererseits aber durch die auf Taf. V. Fig. 2 und 3 dargestellte Erscheinung widerlegt. Wäre es mir nicht gelungen, zur ganz festen Ueberzeugung zu kommen, dass nicht bloss 8, sondern evident mehr als 12, also wohl 16 Mikrozoosporen in einer und derselben Mutterzelle zu keimen vermöchten, so hätte ich einigermaßen noch zweifelnd vor Fig. 6 Taf. V. stehen und an die Eventualität denken müssen, dass die Sporen, aus welchen jene Keimlinge hervorgingen, am Ende auch bloss zu 4 oder 8, und dann mit der fraglichen Cilienzahl 4 ausgestattet, entstanden sein könnten. Allein ich stiess bei meinen diesbezüglichen Beobachtungen mehrmals auf Ulothrixfaden, bei denen nebst zahlreichen entleerten Zellen auch mit Keimlingen erfüllte Mutterzellen vorhanden waren, in denen ganz evident mehr als 8 Sporen, also Mikrozoosporen in's Stadium des Koimens traten. So finden wir in Fig. 2 Taf. V. ein Fadenfragment, in welchem bei z eine Mutterzelle von Keimlingen aus Mikrozoosporen strotzt. Ich habe dieses Fadenfragment unter dem Mikroskop so lange gedrückt, bis die Mutterzelle platzte, um die Anzahl der in ihr vorhandenen Keimlinge zu ermitteln. Bei verschiedenen Einstellungen (Fig. 3) konnten ganz leicht 10 Keimlinge fast vollständig, von 2—3 anderen noch kleinere Theile gesehen werden. Die Sporen, welche diesen Keimlingen das Dasein gaben, waren also wie die in den Zellen x x Fig. 2 degenerirten Zoosporen ganz evident Mikrozoosporen, also Geschlechtszellen, die aus Mangel an Freiheit sich nicht copulirten, aber trotzdem zu keimen vermochten. Vergleichen wir die auf Taf. IV. Fig. 22 und 23 dargestellten Erscheinungen mit diesem Fadenfragment in Fig. 2

Taf. V., so drängt sich unwillkürlich die Ueberzeugung auf, dass dieses Fragment zum grössten Theil — wenn nicht gar ausschliesslich Mikrozoosporen bildete, die aus den meisten Zellen entleert wurden und wohl in der grössten Mehrzahl eine Copulation eingingen, indess dieselben Gebilde in den Zellen x x und z gefangen blieben und ohne Weiteres zum Keimen genöthigt wurden oder absterben mussten (bei x x). Bei z' finden sich in einer Mutterzelle noch zwei einzellige Keimlinge, die bereits ein langes hyalines Fussstück gebildet haben und — wie der Augenschein lehrt — ohne Zweifel aus zurückgebliebenen Mikrozoosporen hervorgehen. Also auch hier dieselben Erscheinungen: Ausschwärmen einer grössern Zahl von Mikrozoosporen zum Zwecke der Copulation und Zurückbleiben einiger weniger Mikrozoosporen in der Mutterzelle, also unterdrücktes und gehemmt Schwärmen in der letzteren und daherige Keimung ohne Sexualakt.

Hier liegt die Vermuthung nahe, es könnten in der Mutterzelle die zurückgebliebenen Mikrozoosporen eine Copulation vollziehen und erst in Folge der geschlechtlichen Vereinigung jenen in der Mutterzelle vegetirenden Keimlingen das Dasein geben. Hiegegen sprechen folgende Momente:

- 1) Niemals, so oft ich die Geburt und die Copulation der Mikrozoosporen beobachtete, habe ich welche gesehen, die sich mit andern derselben Mutterzelle copulirt hätten. Immer macht sich in dieser Richtung bei *Ulothrix zonata* das „Gesetz der vermiedenen Selbstbefruchtung“ geltend.
- 2) Noch viel weniger habe ich an zurückgebliebenen Mikrozoosporen in der Mutterzelle selbst irgend welche Erscheinungen beobachtet, die eine Copulation angedeutet hätten. Zur geschlechtlichen Vereinigung zweier Mikrozoosporen bedarf es bei *Ulothrix* eines grössern freien Raumes zur ungehemmten Bewegung der Cilien, wie der Sporenkörper selbst. Der Raum einer nur theilweise entleerten Mutterzelle ist viel zu klein, als dass die zur Copulation nothwendigen Bewegungen der zurückgebliebenen Zoosporen ausgeführt werden könnten.
- 3) Das Schicksal der unter normalen Erscheinungen gebildeten Zygosporen, die niemals sich gleich unmittelbar nach der Copulation zu einem rasch heranwachsenden mehrzelligen Pflänzchen entwickeln, gestattet die Annahme nicht, dass in der Mutterzelle selbst eingeschlossene Zygosporen sich

anders verhalten sollten, als die normal gebildeten Produkte der Copulation. (Vergleiche den folgenden Abschnitt.)

- 4) Wenn eine Copulation zwischen Mikrozoosporen derselben Mutterzelle — und zwar innerhalb der letztern selbst — stattfände, so liesse sich gar nicht absehen, welchen Nutzen dieser Process für die Species haben sollte. Dagegen spricht alles bis jetzt über die Sexualität bekannt Gewordene.

Nach dem eben Mitgetheilten ergibt sich somit zur Evidenz: In der Mutterzelle zurückgebliebene, durch irgend welchen Umstand an der Entleerung und nachherigen Copulation verhinderte Mikrozoosporen vermögen zu keimen, ohne einen Sexualakt vollzogen zu haben.

Aehnlich verhält es sich mit solchen Mikrozoosporen, die normal geboren wurden und in normaler Weise schwärmten, aber aus irgend einem Grunde, meist wegen Abwesenheit anderer copulationsfähiger Mikrozoosporen eine Copulation nicht eingingen. Solche Mikrozoosporen runden sich während des Schwärmens — wenn es nicht schon vorher geschehen ist — ab, gelangen ganz ähnlich zur Ruhe, wie die glücklicheren Schwesterzellen, die mit einer andern Mikrozoospore eine Copulation vollzogen und setzen sich wie die Zygosporen am Grund des Wassers fest, so dass man oft mitten unter zahlreichen Zygosporen, die, zur Ruhe gelangt, eine Colonie bilden, auch eine grössere oder geringere Zahl von nichtcopulirten Mikrozoosporen finden kann, die nur Einen rothen Punkt besitzen und alsbald zu keimen beginnen (Taf. VI. Fig. 5, Taf. VII. Fig. 4). Dieser Keimungsprozess der Mikrozoosporen ist im Wesentlichen derselbe, wie bei den Makrozoosporen. Die nicht copulirte Mikrozoospore setzt sich mit dem hyalinen Vorderende, dem sogenannten Keimfleck, auf der Unterlage fest, worauf sie ihre zwei Cilien verliert und alsbald sich zu strecken beginnt. Das hyaline spitzere Vorderende der Mikrozoospore, der sogenannte Keimfleck, wächst gewöhnlich zu einem längeren oder kürzeren wurzelartigen Haftorgan aus, indess das Hinterende mit dem grünen wandständigen Plasma zum Scheitel des Keimlings wird und als solcher gestreckte Keulenform annimmt. Das Wurzelstück des Keimlings entbehrt des grünen Plasma's, vermag sich aber nicht selten zu verzweigen, so dass ein junger Faden, der aus einer Mikrozoospore hervorging, gar oft nicht bloss 1, sondern 2 wurzelartige Haftorgane besitzt (Taf. V.

Fig. 7). Die Anordnung und Differenzirung des grünen wandständigen Plasmas des einzelligen Mikrozoosporen-Keimlings ist im Ganzen genommen dieselbe, wie bei den einzelligen Keimlingen der Makrozoosporen. Erst findet sich die Hauptmasse derselben am Scheitel des einzelligen Pflänzchens, wo auch leicht ein grösseres kugeliges Chlorophyllbläschen erkannt wird, das sich aus der umgebenden Plasma-Schicht abhebt. Hat der Keimling eine gewisse Länge erreicht, so zieht sich die Hauptmasse des chlorophyllhaltigen Plasmas als wandständiger Gürtel auf die Mitte der Zelllänge zurück und es tritt ein zweites Chlorophyllbläschen auf (Fig. 2 a und z, Taf. V.). Dann bildet sich eine Querwand, welche den Keimling in zwei Zellen theilt, von denen jede einen wandständigen grünen Plasmagürtel besitzt, in welchem das kugelige Chlorophyllbläschen, umgeben von einer dickern Schicht dunkelgrünen Plasmas zu erkennen ist (Taf. V. Fig. 1 a a).

Es ist ganz besonders hervorzuheben, dass die 2- und mehrzelligen Keimlinge aus Mikrozoosporen von bedeutend geringeren Dimensionen sind, als die Keimlinge aus Makrozoosporen. Auch sind die Zellen jener ersteren nicht bloss von geringerem Durchmesser, sondern auch von bedeutend geringerer relativer Länge. Sodann occupirt der grüne wandständige Plasmagürtel bei den Mikrozoosporen-Keimlingen relativ sehr lange Zeit die ganze Länge der cylindrischen Zellmembran (Fig. 1, Taf. V.), so dass erst dann, wenn der Keimling bereits aus vielen Zellen zusammengesetzt erscheint, an den Querwänden farblose Zellpartieen auftreten, die nicht selten den Eindruck einer von wasserheller Flüssigkeit erfüllter Vacuole machen, welche durch die Querwand in zwei Partieen getheilt erscheint (Taf. V. Fig. 4 a a, b, Fig. 7).

In der Folge theilt sich jede Zelle eines zweizelligen Keimlings durch eine Querwand; es entsteht ein 4-zelliges Pflänzchen, dessen Zellen sich dehnen und ebenfalls theilen, so dass die Mikrozoosporen-Keimlinge nach einander aus 1, 2, 4, 8, 16 und mehr Zellen zusammengesetzt erscheinen. Alle Zellen, in der Regel auch mit Einschluss der Fusszelle, verhalten sich bei diesem Theilungsprocess gleich und macht sich nur selten insofern ein Unterschied geltend, als die Fusszelle, wenn sie sich ganz besonders stark verlängert, und zwar bis auf das 10- und 20-fache des Durchmessers, dann aufhört, sich weiter zu theilen, ganz ähnlich, wie wir das auch bei den Keimpflanzen aus Makrozoosporen gesehen haben.

Erst wenn der Mikrozoosporen-Keimling eine beträchtliche

Länge erreicht hat, treten in den Zellen zwei und mehr Chlorophyllbläschen auf. Auch kann dann leicht ein farbloser oder grauer wandständiger Zellkern gesehen werden. In allen Fällen, wo ich mir über die untersuchten Faden Gewissheit verschaffen konnte, dass sie aus Mikrozoosporen hervorgingen, fand ich die Länge der vegetativen Zellen in der Regel um ein Beträchtliches kürzer, als den Durchmesser. Niemals fand ich junge Ulothrixfaden, die aus Mikrozoosporen hervorgingen und zugleich jene bedeutende Zelllänge erreicht hätten, wie die Abkömmlinge der Makrozoosporen, wo die vegetativen Zellen oft die mehrfache Länge des Querdurchmessers erreichen.

Wir gelangen also zu dem Schlussergebniss:

Die vegetative Entwicklung der Mikrozoosporen-Keimlinge ist eine langsamere, das Längen- und Dickenwachsthum der Zellen solcher Faden ein weniger rasches, als bei den Makrozoosporen-Keimlingen.

Der umsichtige Mikroskopiker wird demnach bald im Stande sein, an der Hand vergleichender Beobachtungen von einer Gruppe junger Ulothrixfaden zu entscheiden, ob sie von Makro- oder von Mikrozoosporen abstammen. Dies gilt z. B. von jener in Fig. 4 d d, Taf. VII. dargestellten Colonie von Mikrozoosporen-Keimlingen, die untermengt mit Zygosporien-Keimlingen (letztere sind einzellig, vergleiche folgenden Abschnitt) sich am Grund eines Tellers festgesetzt hatten und innerhalb 14 Tagen sich erst zu 4- 8- und mehrzelligen Faden entwickelten. Dort sehen wir, dass der grüne Plasmagürtel fast die ganze Cylinderwand bekleidet.

Die weitere Entwicklung der Keimpflanzen aus den Mikrozoosporen gestaltet sich nun meistens folgendermassen: Bis der Faden eine beträchtliche Länge erreicht hat, erscheint er seiner ganzen Länge nach gleich dick, dann aber beginnt ein rascheres Dickenwachsthum der Art, dass die Produkte einer vegetativen Mutterzelle tonnenförmig anschwellen, indess sich neue Querwände bilden, während die ältern Querwände in ihrer Ausdehnung mit dem Dickenwachsthum des Fadens nicht gleichen Schritt halten, sondern zurückbleiben; dadurch wird der Faden gegliedert. Je nachdem sich nun die Zelltheilungen rascher oder langsamer folgen, erscheint jedes Glied entweder aus zwei, drei, vier, 6, 7, 8 bis 16 Zellen zusammengesetzt. Ich habe diese Stadien der Entwicklung unter dem Fadentypus f. im ersten Abschnitt oben be-

schrieben und dort auf die betreffenden Figuren (Taf. I.) aufmerksam gemacht. Auf diesem Punkte angelangt, kann die Zoosporenbildung in den genannten Abkömmlingen von Mikro-Zoosporen eingeleitet werden; dann resultiren jene unter Typus b beschriebenen Ulothrixfaden, welche vorwiegend (ob ausschliesslich? wage ich nicht zu entscheiden) wieder Mikrozoosporen bilden. Es ist nicht zu verhehlen, dass es auch Ulothrixfaden gibt, welche sehr wahrscheinlich aus Mikrozoosporen hervorgingen und selbst wieder Zoosporen bilden können, ohne vorher das Stadium des Gegliedertseins durchzumachen. Ein solcher Faden ist in Fig. 19a und b Taf. IV dargestellt. Dieses schwächliche Individuum besitzt einen sehr geringen Durchmesser und entlässt bereits reife Mikrozoosporen, ohne die geringste Andeutung einer Gliederung erkennen zu lassen. Es bleibt deshalb die Frage noch offen, ob Abkömmlinge nicht-copulirter Mikrozoosporen bloss wieder Mikrozoosporen, oder aber auch Makrozoosporen, also beiderlei Zoosporen zugleich bilden können, wie ich das bei Abkömmlingen von Makrozoosporen constatirt habe. Eines scheint mir ganz gewiss zu sein, dass Faden, die aus Mikrozoosporen hervorgingen, nicht ausschliesslich Makrozoosporen bilden können. Dagegen sprechen alle Erscheinungen des Generationswechsels, von welchem in einen folgenden Kapitel die Rede sein wird.

Die Keimlinge aus Mikrozoosporen besitzen in allen den Fällen, wo die Zoospore vor der Keimung schwärmte, einen hyalinen längern oder kürzern Fuss, während jene, die aus gefangenen gebliebenen Mikrozoosporen hervorgehen, also in der Mutterzelle keimen und lebendig geboren werden, sehr oft des Fusses entbehren, so dass dann ein Gegensatz zwischen Basis und Scheitel am Faden nicht zu erkennen ist (Taf. V. Fig. 2, 3, 4 und 6). In letzterem Falle heften sich die Keimlinge auch nicht an eine Unterlage, sondern bleiben so lange in den Mutterzellen stehen, bis diese nach erfolgtem Platzen unter dem weitem Wachsthum der lebendig gebornen Nachkommenschaft schliesslich zu Grunde gehen, wobei die fusslosen Keimlinge entweder vom fliessenden Wasser weiter geführt oder in schwimmende Watten anderer Algen verstrickt werden, in welchem letzterem Falle ihre Weiterentwicklung und Vermehrung gesichert ist, indess im erstern Falle der Zufall bei der Reise ähnlich wie beim Schicksal der fortgeschwemmten Zoosporen den Ausschlag giebt.

Ich habe schliesslich noch zu constatiren, dass man bei der

Untersuchung von *Ulothrix zonata* nicht selten auf Mikrozoosporen stösst, die nach längerem oder kürzerem Schwärmen zur Ruhe gelangend, nicht keimen, sondern alsbald zu Grunde gehen. Ebenso trifft man häufig verkümmerte Keimlinge aus Mikrozoosporen (Fig. 1bbb. Taf. V.), die nicht einmal zur Bildung einer Querwand gelangen, sondern nach erfolgter Streckung der Zelle degeneriren. Es tritt dies am häufigsten bei der Untersuchung von im Zimmer gezüchteten Algen ein, wo gar oft die Mikrozoosporen unter anormalen Verhältnissen zur Entwicklung und Entleerung gelangen; denn hier ist die Möglichkeit sehr nahe gelegt, dass sogar unreife oder den Keim des Todes in sich tragende Zoosporen durch äussere Agentien zur Entleerung und zum nachherigen Schwärmen forcirt werden. Ich habe oft Zoosporen auftreten und schwärmen sehen, die so schwächlich entwickelt waren, dass ihre Bewegungen von Anfang an einen krankhaften Zustand erkennen liessen. In vielen Fällen sieht man solche Zoosporen nur nachlässige Versuche zur Copulation anstellen, so dass wir nicht überrascht sein werden, wenn wir da und dort nichtcopulirte Mikrozoosporen antreffen, die der Verwesung anheimfallen.

Damit soll nicht gesagt sein, dass es nicht normal entwickelte Mikrozoosporen geben kann, die nach regelrechtem Schwärmen zur Ruhe kommen, ohne zur Keimung zu schreiten. Es ist ganz leicht der Fall gedenkbar, dass 32 und mehr Mikrozoosporen in einer dicken Fadenzelle entstehen, die nach erfolgter Geburt zum grössten Theil sich copuliren, während eine geringe Anzahl derselben den Copulationsakt verfehlte, zur Ruhe gelangt und wegen der geringen Grösse nicht keimt, oder nach einem Keimungsversuch verkümmert, indess die glücklicheren, obschon nicht besser ausgestatteten von den 31 oder mehr Geschwistern in Folge eingegangener Copulation zur Fortpflanzung gelangen. Uns genügt die Gewissheit, dass copulationsfähige Mikrozoosporen im Stande sind, auch ohne Copulation neuen Individuen das Dasein zu geben.

Je nach der Grösse und dem relativen Gehalt an chlorophyllhaltigem Plasma der Mikrozoosporen ist die Entwicklung der aus ihnen hervorgehenden Keimpflänzchen eine langsamere oder schnellere, eine schwächliche oder kräftige. Vergleichen wir die Entwicklungsfähigkeit und Lebenskräftigkeit der aus den vielerlei Mikrozoosporen hervorgehenden Keimpflänzchen, so werden wir an der untern Grenze, bei sehr kleinen Mikrozoosporen, bloss

einem Keimungsversuch begegnen, der es nicht einmal bis zur Bildung einer Querwand (einmalige Zelltheilung) in der langgestreckten Keimzelle zu bringen vermag, während wir an der obern Grenze, bei relativ grossen, chlorophyllreichen Mikrozoosporen nach verfehlter Copulation eine Entwicklungs- und Lebenskräftigkeit wahrnehmen, die derjenigen beinahe oder ganz gleich kommt, die wir in der Regel nur an Makrozoosporen und deren Keimlingen wahrnehmen. Die Abstufungen zwischen diesen beiden Extremen einerseits und zwischen der Entwicklungsfähigkeit der Mikro- und Makrozoosporen andererseits sind so unmerklich, dass eine scharfe Grenze zwischen beiderlei Keimlingen, aus Makro- und Mikrozoosporen, aus geschlechtlichen und ungeschlechtlichen Zellen, kaum zu erkennen sein wird.

### VIII. Schicksal der Zygosporen bis zur Ruheperiode.

(Untersuchungsergebnisse vom Frühjahr und Sommer 1875.)

Die älteste mir zu Gesicht gekommene bildliche Darstellung von Zygosporen unserer *Ulothrix zonata* findet sich in Kützing's *Phycologia generalis* 1843 auf Taf. 9 Fig. 1, wo der verdiente Algologe eine Gruppe von jungen Ulothrixfäden darstellt, die er als besondere Species, *Ulothrix tenerrima*, auffasst. Nach meiner Ansicht — und hierfür sprechen nicht bloss die Zeichnungen, sondern auch die zugehörigen Stellen des Textes von Kützing — hat jener Autor nichts Anderes, als eine Colonie von Keimpflanzen dargestellt, die aus nicht copulirten Mikrozoosporen von *Ulothrix zonata* hervorgingen; am Grunde dieser jungen Ulothrixfäden finden sich nun aber auch kugelige, festsitzende Gebilde, die sich uns als Zygosporen von *Ulothrix zonata* repräsentiren. Freilich deutet Kützing diese „protococcusartigen Kügelchen“ anders, nämlich als Vorstufen oder Anfangsstadien von *Stigeoclonium* stellare, welche Kügelchen nach Kützing öfters auch in Gesellschaft von *Ulothrix tenerrima* vorkommen sollen. Diese „protococcusartigen Kügelchen“ gehören weder einer besonderen *Ulothrix*, noch einer *Stigeoclonium*-Species an. Auch scheint mir Figur 4 der Kützing'schen Tafel 9 nichts Anderes zu sein, als eine Colonie mit einander verklebter, dicht neben einander liegender Zygosporen von *Ulothrix zonata*, keineswegs aber Anfänge zu *Stigeoclonium*

stellare. Man vergleiche nur einmal diese Figur 4 der genannten Kützing'schen Tafel mit meiner Tafel VII. und man wird finden, dass die ausgesprochene Vermuthung nahe liegt. Dagegen fehlt der Kützing'schen Tafel 80, welche ganz ausschliesslich unserer *Ulothrix zonata* gewidmet ist, jede Andeutung von Zygosporen.

Nägeli hat in seinen „Neuern Algensystemen“ 1847, Taf. I. Fig. 47 und 48 Zoosporen von *Ulothrix zonata* dargestellt, die schon einige Zeit frei im Wasser gelegen haben. Seine Fig. 47 stellt wahrscheinlich zur Ruhe gelangte Zoosporen dar, während Fig. 48 ebenso wahrscheinlich eine Zygospore darstellt, da sie „zwei dicht neben einander liegende rothe Punkte“ besitzt. Allerdings ist die gegenseitige Stellung dieser rothen Punkte eine uns ganz abnorm erscheinende.

Ganz evident finden wir aber in der Arbeit Areschoug's: *Observationes Phycologicae, Part. prima de Confervaceis nonnullis\** (Upsaliae 1866) auf Taf. I. Fig. 9 schon ziemlich stark entwickelte Zygosporen einer *Ulothrichee* (*Hormiscia penicilliformis*) bildlich dargestellt, allerdings, wie leicht begreiflich, wiederum nicht als Zygospore, sondern als zur Ruhe gelangte Mikrozoosporen gedeutet („Mikrozoosporae membrana cellulari vestitae filoque plantae adnexae aut liberae“).

Richtig gedeutet und als Zygosporen mit zwei rothen Pigmentflecken finden wir dieselben Objecte in der zweiten Arbeit Areschoug's: „*Observ. Phycol. Part. secunda, Upsaliae 1874*“ Tab. I Fig. 6 dargestellt. In Fig. 6a gibt dieser Autor die von oben betrachteten eben zur Ruhe gelangten Zygosporen, in Fig. 6b dagegen degenerirende Zygosporen, deren Inhalt contrahirt, die Membran dagegen aufgequollen erscheint.

Weder Cramer (Entstehung und Paarung der Schwärmosporen von *Ulothrix* — Vierteljahrsschr. der naturf. Gesellsch. zu Zürich, Bd. XV. und bot. Zeitung 1871, No. 5 und 6) noch Areschoug waren im Falle, über das Schicksal der Zygosporen von *Ulothricheen* weitere Mittheilungen zu machen, als dass sie — zur Ruhe gelangt — zwei rothe Punkte erkennen lassen. Aus Areschoug's Mittheilungen (l. c.) geht indess auch hervor, dass die Zygosporen seiner *Hormiscia penicilliformis* nach einigen Tagen sich mit einer Membran bekleiden. Auf Taf. II. in seinen *Observationes Phycologicae Part. sec.* gibt Areschoug in Fig. 14 die Darstellung einiger Keimlinge von *Cladophora sericea*, bei welcher er die Copulation der Mikrozoosporen beobachtet hat. Seine Angabe, es

seien diese Keimlinge Zygosporen, gibt er selbst mit grosser Reserve; bei der Erklärung der Tafeln setzt er hinter das „Zygozosporeae“ ein (?). Da ich die betreffende Alge bis jetzt nicht untersucht habe, folglich über das Aussehen der ungeschlechtlich erzeugten Zoosporen-Keimlinge und der Zygosporen aus eigener Anschauung keine Vorstellung habe, so wage ich auch nicht zu entscheiden, ob diese Objekte der Areschoug'schen Fig. 14 Taf. II wirkliche Zygosporen gewesen sind. Aus der Vergleichung derselben mit den entsprechenden Gebilden von *Ulothrix zonata* bin ich geneigt, den Schluss zu ziehen, dass Areschoug dort in der That Zygosporen und nicht Zoosporen-Keimlinge vor sich gehabt hat.

Auffallend und nach meiner Ansicht für die natürliche Stellung von *Ulothrix* und anderen Chlorozoosporen von grosser Bedeutung ist der Umstand, dass aus Areschoug's Darstellung von keimenden Zygosporen der *Enteromorpha compressa* in Fig. 18 der gleichen Tafel hervorgeht, dass die Zygosporen dieser Alge beim Keimen ganz ähnliche Erscheinungen bieten, wie die von mir zuerst untersuchten Zygosporen von *Ulothrix zonata*. Es ist sehr zu bedauern, dass der treffliche schwedische Algologe es unterlassen hat, die Zygosporen jener Algen, bei denen er die Copulation entdeckt und beschrieben, weiter zu verfolgen und ihre fernere Entwicklung abzuwarten.

Es schien deshalb bei meiner Untersuchung dringend geboten, dieser Frage ganz besondere Aufmerksamkeit zu widmen. In der That haben denn auch die Zygosporen und ihr Verhalten während 12½ auf einander folgenden Monaten den grössten Theil meiner freien Zeit in Anspruch genommen. Ich habe im Frühjahr und Sommer 1875 in vier verschiedenen Tellern Zygosporen verschiedenen Datums während 100 bis 140 Tagen sorgfältiger Behandlung in ihrer Weiterentwicklung verfolgt und nebenbei auch von geeigneten Fundorten die analogen Objekte auf ihr Verhalten in freier Natur, in Brunnen- und Flusswasser untersucht und bin nun im Falle, darüber Folgendes mittheilen zu können, was sich mit wenigen Ausnahmen (Fig. 25. Taf. IV, Fig. 5. Taf. VI, Fig. 16. Taf. VII) auf die Figuren in meiner Tafel VII und VIII bezieht.

Wie in einem vorhergehenden Abschnitt bereits hervorgehoben wurde, setzen sich die Zygosporen mit dem hyalinen Ende ihres birnförmigen Körpers fest. Jener hyaline Pol entspricht den

homologen Gebilden der einzelnen Zoosporen, es ist der sogen. Keimfleck, an welchem die Copulation, das heisst die geschlechtliche Verschmelzung der zwei gleichartigen Mikrozoosporen, ihren Anfang nimmt. Der hyaline Keimfleck der zur Ruhe gelangten Zygospore repräsentirt die vereinigten Keimflecke der zwei copulirten Mikrozoosporen und er verhält sich in der Folge auch analog dem Keimfleck aller Zygosporen, das heisst er wird zum Basalpunkt des neu erzeugten Individuums, indess der gegenüber liegende Pol, welcher die vereinigten Chlorophyllmassen der hintern Parteen der ursprünglichen Mikrozoosporen enthält, zum Scheitelpunkt des vegetativen, assimilirenden Körpers wird, und nach oben strebt.

Da sich die aus den Mutterzellen entleerten Mikrozoosporen unmittelbar nach dem Beginn des Schwärmens copuliren, da ferner mit dem Beginn der Copulation die Ortsbewegung eine langsamere wird, um alsbald in's Stocken zu gerathen, da ferner die Zygosporen specifisch schwerer sind als das Medium, in dem sie sich bewegen, so erklärt sich leicht, warum die zur Ruhe gelangten Zygosporen in stillliegendem Wasser stets am Grunde sich ansammeln und dort ganze Haufen, dichte Colonieen bilden, die mit unbewaffnetem Auge betrachtet sich als lebhaft grüne Flecken von kreisrundem Umriss repräsentiren. Mit der Präparirnadel lassen sich leicht ganze Colonieen vom Porcellanteller abheben und in unversehrtem Zustande unter dem Mikroskop betrachten. Sehr bald wird man zur Ueberzeugung kommen, dass alle Zygosporen mit ihrem Keimfleck abwärts, gegen den Grund des Tellers, mit dem abgerundeten grünen Pol dagegen aufwärts gekehrt sind. Von oben betrachtet erscheint daher eine solche Zygosporen-Colonie immer als aus kugeligen Zellen zusammengesetzt, die 1—2 Tage nach der Copulation seitlich zwei rothe Flecke und häufig auch die zwei grünen Plasmaportionen erkennen lassen, welche den ursprünglich getrennten Mikrozoosporen entsprechen. Nur da, wo die Zygosporen beim Uebertragen auf den Objektträger aus ihrer natürlichen Lage gebracht werden, sind sie — von der Seite betrachtet — als von eiförmiger oder birnförmiger Gestalt zu erkennen (Fig. 5. Taf. VI und Fig. 1. Taf. VII). Ich habe nicht selten Zygosporen-Colonieen gesehen, bei denen die einen und andern Zygosporen noch etliche zuckende Bewegungen ausführten. Immer fand ich, dass die einzelnen Individuen sich stets gesetzmässig so an die schon festgesetzten anlehnen, dass sie mit dem Keimfleck

nach unten gerichtet sind, mit den Seiten dagegen andere benachbarte Zygosporien berührten. Selbst isolirte Zygosporien, die ursprünglich auf dem Objekträger in horizontale Richtung umgelegt waren, richten sich — sofern sie hiezu Raum genug finden — auf, dass das hyaline Ende (der Keimfleck) dem Objekträger zugekehrt ist, während der grüne, kugelig abgerundete Hintertheil der Zygosporie gegen das Deckgläschen anstrebt, eine Erscheinung, wie sie auch die keimenden Makrozoosporien und die nicht copulirten Mikrozoosporien zeigen. Dabei bekommt der Beobachter unwillkürlich den Eindruck, als sei die den Keimfleck tragende Partie aller Zoo- und Zygosporien specifisch schwerer, als der chlorophyllhaltige Hintertheil des zur Ruhe gelangten Objectes.

Die Zygosporien beginnen, sobald sie sich festgesetzt haben, zu wachsen. Schon in den ersten 24 Stunden verlängert sich der hyaline Keimfleck der Art, dass er ein kurzes, kegelförmiges Haftorgan bildet, indess der grüne Hintertheil der Zygosporie sich vollends kugelig abgerundet und anschwillt (Taf. VI Fig. 5). Die beiden rothen Pigmentflecke sind nach 24 Stunden noch leicht erkennbar, ebenso die zwei seitlich gelegenen grünen Plasmapartien der ursprünglichen zwei Mikrozoosporien (Taf. VII Fig. 1).

Zwei Tage nach der Copulation sind dagegen die rothen Pigmentflecke erblasst; auch verwischen sich die scharfen Grenzen der zwei chlorophyllhaltigen Plasmapartien der Art, dass nach 68stündiger Ruhe die Zygosporien nur noch in seltenen Fällen die Plasmaportionen der ursprünglichen Mikrozoosporien erkennen lassen (Taf. VII Fig. 2). Dabei wird der plasmatische grüne Inhalt feinkörnig und vertheilt sich derselbe durch den ganzen kugelförmigen Obertheil der Zygosporie gleichmässig. Man kann auch nicht selten in der einen und der andern Zygosporie ein oder zwei grössere Chlorophyllbläschen erkennen, die von dichtern grünen Plasmamassen umgeben sind. Die letzte Andeutung einer ursprünglichen Trennung der zwei grünen Plasmaportionen gibt sich nach 68stündiger Ruhe an einzelnen Zygosporien noch durch eine helle Linie zu erkennen, die vom Scheitel der kugeligen Partie gegen den Keimfleck verläuft, rechts und links von dieser Linie liegen die wandständigen dichtern Plasmamassen, die sich am Scheitel der Zygosporie, d. h. am früheren Hinterende, vereinigen (Taf. VII Fig. 2bb) und in ihrem Gesamtumriss eine Hufeisenform repräsentiren. Auf diesem Entwicklungsstadium angelangt, ist an der Zygosporie nicht allein eine beträchtliche Grössenzunahme zu constatiren, sondern auch eine

deutliche Cellulose-Membran sichtbar (Taf. VII Fig. 2). Da die Zygosporen von Anfang an in der Colonie dicht neben einander liegen, so werden sie bei ihrer Grössenzunahme oft gegenseitig abgeplattet (Taf. VII Fig 4b und Fig. 5, 8, 13), so dass sie in manchen Fällen ein parenchymatisches Scheingewebe oder eine dichtgeschlossene Zellfläche darstellen. Meistens aber, und das ist immer der Fall, wenn sie sogar haufenweise oder in Schichten über einander liegen — bildet die eine und die andere Zygospore ein langes wurzelartiges dünnes Haftorgan, welches zwischen den benachbarten grünen Zygosporen fortwachsend den kugeli- gen Theil mit dem chlorophyllhaltigen Plasma über das Niveau der Umgebung heraushebt, so dass die ursprünglich in einer Ebene liegenden grünen Zygosporenkörper derselben Colonie nach und nach in einen halbkugeligen Raum zu stehen kommen. (Taf. VII Fig. 4).

Je gedrängter und enger der Raum, desto stärker entwickelt sich das wurzelartige Haftorgan der Zygospore (Vergl. Taf. VII Fig. 4, 5, 7, 8, 9, 11, 12 und 15). Eine Vergleichung der auf Tafel VII dargestellten Figuren wird sofort zu dem Schluss führen, dass diese wurzelartigen Haftorgane auch die Fähigkeit haben, sich der Umgebung und der Unterlage anzupassen. Wir finden dort nicht allein alle mögliche Verschrenkungen, Biegungen, Anschwellungen, Verjüngungen, sondern auch alle möglichen Längen des Rhizoids. Am auffallendsten erscheint die Länge des Wurzeltheiles der Zygosporen dann, wenn letztere zwischen Keimlingen aus Makro- und Mikrozoosporen ihr erstes Dasein fristen müssen, daher genöthigt werden, aus der drängenden Umgebung sich heraus zu arbeiten, wenn sie Raum und Licht zur weiteren Entwicklung erhalten sollen (Vergl. Fig. 4). Am schwächsten ist dagegen das Rhizoid der Zygosporen dann entwickelt, wenn diese letzteren isolirt oder am Rande der Colonie stehen, wie das bei den meisten in Taf. VII dargestellten der Fall war. Da treffen wir dann nicht selten Zygosporen, die durchaus eine birnförmige Gestalt besitzen, deren verjüngte Partie nur eine hyaline Warze anstatt eines entwickelten Rhizoides trägt, während in den anderen Fällen das wurzelartige Haftorgan ein haarähnliches Gebilde darstellt, dessen Länge das 2-, 3- bis 10fache des Querdurchmessers der grünen Zygospore ausmacht. (Man vergleiche namentlich Fig. 11, 13 und 15 in Taf. VII).

Zehn bis zwölf Tage nach der Copulation haben die Zygosporen ihre Dimensionen beinahe verdoppelt, der grüne Inhalt ist fein-

körnig und lässt in jeder Zygospore zwei, seltener auch 3 grosse Chlorophyllbläschen deutlich hervortreten (Taf. VII Fig. 3). Von da an verändert sich der Inhalt in den nächsten paar Monaten nicht wesentlich, ausgenommen, dass schon 17 Tage nach der Copulation keine Chlorophyllbläschen mehr zu erkennen sind. Unter stetigem langsamen Wachsen erreicht die Zygospore in den ersten 7—10 Wochen eine Grösse, welche die ursprünglichen Dimensionen um das 4—6fache übertrifft. Der plasmatische Inhalt bleibt lebhaft grün; er ist feinkörnig die Körnehen werden aber nach und nach grösser, während die Cellulose-Membran allmählig sich in verschiedene Schichten differencirt und zwar unter fortwährender Dickenzunahme (Fig. 9—15 Taf. VII). Die Schichtung der Membran wurde von mir zum ersten Male an 48 Tage alten Zygosporen beobachtet. Die äusserste Membranschicht der Zygospore erschien mir bei guter Beleuchtung immer röthlich, während die innere Schichte bläulich schimmerte. Auffallend ist der Umstand, dass sich keine dieser Membranschichten in das hyaline Wurzelstück hinein verfolgen lässt. Die Schichtung kann nur an jenen Membranthteilen der Zygospore beobachtet werden, welche mit dem chlorophyllhaltigen Plasma in direkter Berührung stehen. Das Rhizoid der Zygospore erscheint als solider homogener Körper.

An den in vier verschiedenen Tellern gezüchteten Zygosporen, die von der 3. u. 4. Woche des Monats März datirten und die ich während des ganzen Frühjahrs bis in den heissen Sommer täglich mit frischem Wasser speiste, um im Verlauf von 20 Wochen ca. 40 Tafeln über die verschiedenen Entwicklungsstadien aufzunehmen, konnte ich nur während der ersten 8—10 Wochen ein allmähliges stetes Wachsthum constatiren. Von da an unterblieb eine merkliche Grössenzunahme. Mit dem Eintritt der langen und heissen Sommertage sistirten die Zygosporen ihr Wachsthum vollends, blieben aber lebhaft grün und augenscheinlich sehr wohl. Ich habe in Fig. 14 am 6. August Zygosporen gezeichnet, die 142 Tage alt waren und noch kein Merkmal von Degeneration oder anderweitigen Veränderungen erkennen liessen. Die weitere Verfolgung dieser oder anderer Zygosporen von *Ulothrix zonata* musste ich damals wegen 2½ monatlicher Abwesenheit der ferneren Zukunft vorbehalten. Es war indess voraus zu sehen, dass eine Veränderung erst mit dem Saison-Wechsel bei eintretendem Winter oder möglicherweise auch erst gegen das Frühjahr zu beobachten sein werde. Ich bemerke noch, dass die hier gegebene Darstellung der ersten

Entwicklung der gezüchteten Zygosporen den normal in der freien Natur stattfindenden Veränderungen entspricht; das erhellt auch aus den Untersuchungen, die Fräulein Carolina Port an Zygosporen von *Ulothrix* unternahm, welche von Fundstellen herrührten, wo im Frühjahr vorher viele *Ulothrix*fäden anzutreffen waren. In Fig. 15 Taf. VII finden sich drei von dieser meiner Schülerin gezeichnete Zygosporen aus dem Brunnenbett des Universitätshofes dargestellt. Diese Zeichnung datirt von Mitte Juni und stellt ausser Zweifel, dass die Zygosporen von *Ulothrix zonata* nicht bloß bei Zimmer-Cultur, sondern auch im kalten Brunnenwasser unter den manigfaltigsten äussern Einflüssen der freien Natur die oben geschilderten Entwicklungsphasen durchmachen. Ich constatire also:

Die Zygosporen von *Ulothrix zonata* sitzen wie andere zur Ruhe gelangende Zoosporen mit dem hyalinen Keimfleck fest; sie wachsen sofort nach ihrer Entstehung zu einem mit längerem oder kürzerem wurzelartigem Haftorgan (Rhizoid) versehenen einzelligen Pflänzchen aus, an dem wir nicht allein eine Differenzierung in zwei wesentlich verschiedene Organe, sondern auch einen Gegensatz von Oben und Unten, Basis und Scheitel, eine Beziehung der Wachstumsrichtung zur Schwerkraft und zum Licht erkennen können.

Es lässt sich voraussehen — ich lasse hier wörtlich folgen, was ich vor meiner Abreise und vor der Abgabe des Manuscriptes im Sommer 1875 in diesem Aufsatz niedergeschrieben — dass die Zygosporen von *Ulothrix zonata*, die wir ohne Zweifel als eine geschlechtlich erzeugte Generation einzelliger Pflänzchen aufzufassen haben, sich in der Folge als geschlechtslose (vermuthlich als Schwärmsporen bildende) Individuen erweisen werden. Ich hoffe, dass es mir in nicht allzuferner Zeit gelingen wird, auch diesen letzten Punkt aufzuhellen, wobei ich allerdings nicht verhehle, dass dazu nicht minder als wie zur Abklärung der bereits behandelten Fragen der glückliche Zufall mitwirken muss. In allen Fällen erachte ich es als sehr opportun, die bereits gewonnenen Resultate den Biologen vorzulegen, um durch dieselben die Lösung anderer verwandter Fragen theils anzuregen, theils ermöglichen zu helfen. Sollte es mir nicht gelingen, das letzte Verhalten der Zygosporen endgültig zu erforschen, so wird doch durch die bereits gewonnenen Resultate, welche die Hauptumrisse der Entwicklungsge-

schichte von *Ulothrix zonata* darstellen, dieser oder jener Mikroskopiker — sofern sich ihm das erwünschte Material darbietet — dazu animirt werden, die kleine Lücke durch anderweitige Forschungen für diese oder jene *Ulothrix*form auszufüllen.

Schliesslich habe ich noch ein Wort über die von Pringsheim beobachteten „Ruhesporen“ hinzuzufügen. In seiner Arbeit „über die Dauerschwärmer des Wassernetzes (Monatsber. d. k. preuss. Acad. d. Wiss. zu Berlin 1860) berichtet Pringsheim: „In der Gattung *Ulothrix* sind es fast alle Zellen der Pflanze, welche Ruhesporen bilden. In jeder Zelle entsteht eine einzige grosse Ruhespore, welche die Zelle ganz erfüllt und durch ihr fortschreitendes Wachstum ausdehnt. Gleichzeitig treten in dem Inhalte und an den Membranen der Zellen jene Veränderungen auf, welche eine bevorstehende Pause in der Entwicklung derselben andeuten. Hiermit ist häufig die Abscheidung eines Sekretes, welches sich auf der äussern Fläche des Fadens ablagert und den Scheidewänden anklebt, verbunden. In Folge dieser Vorgänge erhält der *Ulothrix*faden ein ganz fremdartiges Ansehen; seine Glieder gewinnen bedeutend an Umfang, hierdurch tritt seine Gliederung meist stärker hervor; endlich zerfällt der Faden nach und nach in die einzelnen Sporen, welche noch immer von der eng anliegenden Membran ihrer Mutterzelle umhüllt sind.“ —

Während meiner Untersuchungen über die Entwicklungsgeschichte von *Ulothrix zonata* traf ich auf keinerlei Faden, die mich vermuthen liessen, dass ich es mit den oben von Pringsheim beschriebenen Ruhesporen enthaltenden Faden zu thun habe. Ich bekenne daher, dass mir diese Ruhesporen-Bildung nach Pringsheim'scher Darstellung völlig fremd erscheint. Ich kenne keine andern *Ulothrix*faden als solche, welche entweder 1, oder 2 oder 4 Makrozoosporen, oder aber 8, 16, 32 oder mehr Mikrozoosporen in jeder Mutterzelle bilden. In allen diesen Fällen sind diese Zoosporen ursprünglich zum Schwärmen bestimmt. Nur zufällige Hindernisse können das Schwärmen unterdrücken und dann gehen diese geschlechtlichen oder ungeschlechtlichen Fortpflanzungszellen — in der Mutterzelle eingeschlossen — entweder nach kurzer Zeit zu Grunde, oder sie keimen und sprengen als junge *Ulothrix*faden die Mutterzellmembran kurz nach den ersten Zelltheilungen der keimenden Zoospore. Es sind mir keinerlei andere Fortpflanzungszellen als Makro- und Mikrozoosporen zu Gesicht gekommen. In den durch Copulation entstehenden Zygosporien haben wir nicht

mehr Fortpflanzungszellen im engern Sinne des Wortes vor uns, sondern die Produkte eines geschlechtlichen Processes aus den copulirten Mikrozoosporen, eine sofort keimende neue Generation, die im vegetativen Zustand aus 1zelligem Pflänzchen besteht. Diese Zygosporen-Generation ist unverkennbar das Analogon für die „Dauerschwärmer des Wassernetzes“ (Pringsheim), nicht minder als das homologe Gebilde aus der Copulation von *Pandorina Morum* (Pringsheim) oder von *Chlamydomonas* (Rostafinsky, bot. Zeitung 1871. pag. 787) oder als die Zygosporen von den bekannten Conjugaten und den sogenannten Zygomyceten. Das, was Pringsheim vor Jahren („Ueber die Dauerschwärmer des Wassernetzes“) hinter seinen Ruhesporen von *Ulothrix* vermuthete, ist, wie ich glaube, in den oben beschriebenen wachsenden Zygosporen, die mit Wurzel und assimilirenden Vegetationskörper ausgestattet sind, gefunden. Wohl dachte ich daran, dass der in Fig. 16, Taf. VII. dargestellte, ganz abnorm entwickelte Faden von *Ulothrix zonata*, den ich durch eine 100-tägige Zucht in einem Teller erhalten hatte, vielleicht das Analogon für die von Pringsheim geschilderten Faden mit Ruhesporen sein könnte, allein ich constatire, dass dieser Faden durchaus keine Sporen in seinen Zellen enthält, wohl aber lebendiges, lebhaft grünes Plasma in unregelmässigen Klumpen, Plasma, das ohne Zweifel assimilirt und den einzelnen Zellen ermöglicht, solch monströse Gestalten anzunehmen, wie sie in Fig. 16 zur Darstellung kamen. Ich kann nicht glauben, dass Faden solchen Charakters, wie sie den Sommer über da und dort angetroffen werden, Ruhesporen bilden. Indess will ich weiteren Untersuchungen über diesen Punkt nicht vorgreifen, sondern die Frage noch offen lassen, was mir um so eher angezeigt erscheint, da Ciencowski in der Bot. Zeitung 1876 No. 2 und No. 6 einen „Palmellen-Zustand bei *Stigeoclonium*“ beschreibt, welcher die Vermuthung nahe legt, dass auch bei *Ulothrix* ähnliche Erscheinungen stattfinden könnten. Wenn dies der Fall wäre, was neue Untersuchungen zu ermitteln haben, so geschieht dies jedenfalls nur ausnahmsweise, ich möchte sagen, als Abnormität, was ich heute, nachdem mir der ganze Entwicklungs-Cyclus von *Ulothrix zonata* klar vor Augen liegt, (siehe nächstfolgendes und Schlusskapitel) zuversichtlich schliessen darf.

Es mag schliesslich, bezugnehmend auf die letztberührte Frage, am Platz sein, auch die Arbeit von Cornu, *De la fécondation chez les algues et en particulier chez l'Ulothrix seriata* (Bull.

de la soc. bot. 1874 pag. 72), wo von einer sonderbaren Chronosporen-(Dauersporen)-Bildung die Rede ist, in Erinnerung zu bringen. Dabei wird sich wohl auch herausstellen, wie es bei dieser Chronosporenbildung, die Cornu als Copulationsakt auffasst, in Wirklichkeit zugeht.

## IX. Die Entwicklung der Zygosporen nach der Ruheperiode.

(Untersuchungs-Resultate vom Spätjahr 1875 und Anfang 1876).

Noch vor der Publication der vorliegenden Arbeit ist es mir ermöglicht worden, die Resultate meiner weiteren Untersuchungen über die Zygosporen von *Ulothrix zonata* im Nachfolgenden als besondern Abschnitt und mit Hinzufügung einer achten Tafel (VIII.) der schon im Sommer 1875 abgefassten Abhandlung beizugeben. Ich verdanke an dieser Stelle das mir hiebei gewordene freundliche Entgegenkommen von Seite des Herausgebers der Jahrbücher für wissenschaftliche Botanik, Herrn Prof. Dr. N. Pringsheim, der sich um die Publikation meiner Arbeit ganz besonders verdient gemacht, nicht minder die anerkannterthe Bereitwilligkeit des Herrn Verlegers, Herrn Wilhelm Engelmann, welcher die künstlerische Ausstattung der Tafeln und die Drucklegung meiner nachträglichen Zusätze so freundlich besorgen liess. Auch verdient Herr C. Laue, Lithograph in Berlin, für die ausgezeichnete Behandlung der colorirten Tafeln, von denen mir zur Stunde, da ich dieses schreibe, bereits die ersten 7 vollendet vorliegen, meine volle Anerkennung.

Als ich im August 1875 für etliche Monate von meinen Untersuchungsobjekten, den gezüchteten Zygosporen, deren letztes Stadium damaliger Entwicklung in Fig. 14. Taf. VII. dargestellt ist, Abschied nehmen musste, übergab ich die gesunden, lebenskräftigen Zygosporen, datirend vom 18. März 1875, einem meiner früheren Schüler, der sie in einem kleinen Fläschchen Wasser mit sich nach Hause nahm und während der langen Herbstferien (August bis October) in verdankenswerther Weise sorgfältig überwachte und pflegte, nach meiner Rückkehr sie in gesundem Zustande mir auch wieder einhändigte-

Ich brachte die köstlichen Untersuchungsobjekte, deren Züchtung über den sehr heissen Sommer viel Mühe verursachte, wieder

unter den eigens hiefür eingerichteten Tropfapparat in meinem Laboratorium (Universitätsgebäude Zürich), von wo ich sie dann und wann wegnahm, um sie der mikroskopischen Untersuchung zu unterwerfen. Es muss bemerkt werden, dass diese glücklich durch den Sommer durchgebrachten Zygosporen-Colonieen nur einige winzige, kaum etliche Quadratmillimeter ausgedehnte Blättchen bildeten, in welchen die Hauptmasse aus Tetraspora-Colonieen bestand, während vielleicht 200—300 gesunde Zygosporen sammt den vom Frühjahr datirenden Kalkkryställchen darin eingestreut lagen. Die Untersuchung wurde namentlich durch die üppig vegetirenden und rasch sich vermehrenden Tetrasporazellen erschwert. Gegen Neujahr stellten sich auch sehr zudringliche Bakterien-Ketten und Faden von parasitischer Natur ein, welche meine Pfleglinge in ernsteter Weise bedrohten. Ich suchte dieser leidigen Parasiten dadurch los zu werden, dass ich meine Zygosporen-Colonieen in einen grössern Glaskolben brachte, den ich tagelang fast fortwährend mit einem lebhaften Strom frischen Brunnenwassers speisen liess. Die Bakterien und andere bedrohliche Elemente wurden dadurch in den Hintergrund gedrängt. Die Zygosporen entwickelten sich ungehindert weiter, wurden aber durch die seit Neujahr 1876 neuerdings überhand nehmenden Tetraspora so sehr bedrängt, dass die Untersuchung mit sehr grossen Schwierigkeiten verbunden war, um so mehr, da ich mich nicht entschliessen durfte, die Zygosporen künstlich zu isoliren und den Verhältnissen zu entziehen, die so viel wie möglich den natürlichen Verhältnissen entsprachen, unter denen sich Ulothrix-Zygosporen in der freien Natur entwickeln. So gelang es mir, dieselben Zygosporen-Colonieen während eines ganzen Jahres und noch länger zu beobachten. Eine hübsche Anzahl sehr schön entwickelter Zygosporen stehen mir jetzt noch (54 Wochen nach der Copulation) zur Verfügung; ich betrachte sie als sogenannte Spätlinge; alle meine bisherigen Beobachtungen führen mich nämlich zu dem Schluss, dass die vollständige Entwicklung der Zygosporen, von der Copulation an bis zum Abschluss eigener Zoosporenbildung, nicht ein volles Jahr in Anspruch nimmt.

Nach diesen orientirenden Bemerkungen theile ich die Resultate meiner letzten Untersuchungen mit.

Die Untersuchung der mit Tetrasporen vermischten Zygosporen ergab am 26. Oktober, also zwei Monate und 20 Tage nach der Untersuchung am 6. August (Fig. 14. Taf. VII.), dass die

Zygosporen auch während meiner Abwesenheit gar nicht oder nur sehr wenig gewachsen sind. Es unterliegt also keinem Zweifel, dass die Zygosporen von *Ulothrix zonata* während eines grössern Theils des Sommers nicht oder nur sehr wenig wachsen, dass sie also eine Ruheperiode von etlichen Monaten durchmachen. Mit Oktober trat kühles, regnerisches Herbstwetter ein und damit begann auch gleich die weitere Entwicklung meiner Untersuchungs-Objekte.

Zunächst machte sich eine allmälige Volumzunahme geltend; es trat ein rasches Wachstum ein, wobei nicht allein die Masse des grobkörnigen chlorophyllhaltigen Plasmas vermehrt wurde, sondern auch die Membran an Mächtigkeit zunahm. Die äusserste dünne Membranschicht blieb gegen die innere mächtigere Schicht stets scharf abgegrenzt, röthlich schimmernd bis an die Basis der wurzelartigen Haftorgane deutlich erkennbar, während die letzteren selbst sich als solide Papillen oder haarförmige Fortsätze ohne weitere Differenzirung präsentirten (Fig. 1 u. 2. Taf. VIII.). Die Chlorophyllkörner sämtlicher gesund vegetirender Zygosporen erfüllten den ganzen kugeligen oder eiförmigen Hohlraum des Vegetationskörpers. Hat dieser jedoch eine gewisse Grösse erreicht, so tritt im Centrum oder in unmittelbarer Nähe eine helle Vacuole auf (V. V. in Fig. 2 u. 3. Taf. VIII.). Dann beginnt die Anordnung der Chlorophyllkörner sich derart zu differenziren, dass im grünen Innern der Zygospore netzartige Zeichnungen durch dicht an einander liegende Chlorophyllkörner gebildet werden (Fig. 4 u. 5. Taf. VIII.). Derartige Stadien wurden von mir schon im Oktober beobachtet, jedoch noch nicht so häufig, wie im November und December 1875 und im Januar 1876.

Endlich entdeckte ich am 19. Januar die erste Zygospore mit deutlich differenzirten Zoosporen in ihrem Innern. Ich habe in Fig. 6. Taf. VIII eine andere Zygospore dargestellt, die ich am 21. Januar, also zehn Monate und drei Tage nach der Entstehung der Zygospore, beobachtete. In den zwei verschiedenen Einstellungen a) und b) wurden deutlich 8 grüne Zoosporen sichtbar, die, in eine Kugelfläche angeordnet, die centrale Vacuole umgaben. Eine neunte Zoospore blieb dem Beobachter durch die übrigen verdeckt.

In Figur 7. Taf. VIII ist eine Zygospore mit 4 grossen Zoosporen im Innern, ebenfalls in zwei verschiedenen Einstellungen zur Anschauung gebracht. Die Zygospore in Fig. 8 a. und b.

enthielt dagegen 5 Zoosporen, während wir in Fig. 9 drei Zygo-sporen vor uns haben, deren Inhalt sich in 4, 5 und in 7 oder 8 Zoosporen differenzirte. Dort sehen wir auch deutlich den rothen Pigmentfleck, den sogenannten Augenpunkt jeder einzelnen Zoospore. Alle Figuren von Fig. 6 an bis Fig. 8 wurden in den Wochen vom 21. Januar bis zum 18. Februar 1876 aufgenommen. In Fig. 10 sind zwei Zygo-sporen dargestellt, die 7—10 Zoosporen enthalten. Auffallend ist der Umstand, dass die innere mächtige Membranschicht der Zygo-spore während der letzten Differenzirung des Inhaltes so anquillt, dass sie den ganzen grossen Raum zwischen der scharf conturirten äussern, röthlich schimmernden Membranschicht und den eben entstandenen Zoosporen einnimmt. In Fig. 7 u. 8 sah man sogar diese innere Membran sich in mehrere Schichten differenziren.

Wie aus den vorliegenden Figuren der Taf. VIII hervorgeht, können in der Zygo-spore nur wenige oder aber mehrere Zoosporen entstehen. Ich habe deren zu zwei (Fig. 18c), zu 3, 4, 5, 6, 7, 8 bis 10, ja sogar zu 14 in einer Zygo-spore entstehen sehen. Im Anfang sind sie, der simultanen Theilung des Zygo-sporen-Inhaltes entsprechend, noch polyedrisch und wie oben bemerkt, in einer einzigen Schicht um die centrale Vacuole angeordnet, was namentlich in Fig. 13 besonders stark hervortritt.

Die rothen Flecken der Zoosporen sind meist der Peripherie des ganzen Zygo-sporen-Lumens zugekehrt. Häufig sieht man dort zwischen den einzelnen Zoosporen farblose, stark lichtbrechende Kügelchen liegen (l. l. in Fig. 12. 13 u. 14), die sich sogar schon vor der Ausbildung der Zoosporen einstellen können (Fig. 12). In der Folge runden sich die Zoosporen ab, treten aber dabei aus ihrer ursprünglichen Anordnung — und harren der Befreiung. Leider gelang es mir nicht, den Austritt dieser reifen Zoosporen zur Evidenz zu constatiren, obschon mir mehrmals leere Zygo-sporen (Fig. 14 x) zu Gesicht kamen, die aber ebenso gut auf künstliche Weise oder durch einen forcirenden Zufall entleert worden sein konnten, als sie sich auf natürliche Weise ihres Inhaltes entledigten.

Obschon ich für meine Zygo-sporen-Zucht die sorgfältigsten Vorrichtungen traf, welche es mir ermöglichten, die mit Mühe gepflegten und durch 10, ja sogar 11, 12 und 12½ Monate gesund durchgebrachten Cultur-Objekte vor schädlichen Einflüssen zu bewahren, so gelang es mir doch nicht, auch nur eine einzige Zygo-

spore ihre reifen Zoosporen entleeren zu sehen. Und doch haben wir es hier ganz evident mit Gebilden zu thun, die in normalen Verhältnissen ausschwärmen, wohl unter ähnlichen Erscheinungen, wie die Zoosporen, die aus Ulothrix-Fadenzellen entschlüpfen.

Ich habe dagegen eine grössere Anzahl von Zygosporen beobachtet, in denen die Zoosporen degenerirten (Fig. 14 a), wobei sich fast immer herausstellte, dass die röthlich schimmernde äussere Membranschicht der Zygospore am wenigsten verändert, die innere dicke Membran dagegen in eine farb- und strukturlose Masse aufgequollen war,

In einigen Zygosporen konnte ich bei den gefangen bleibenden Zoosporen unverkennbar die ersten Keimstadien beobachten. Dabei verlängern sich die mit rothem Pigmentfleck ausgestatteten Zoosporen beträchtlich (Fig. 16 u. 18). In günstigeren Fällen konnte ich sogar das hyaline Fussende der gefangenen Keimlinge deutlich erkennen (Fig. 16 d und Fig. 18 b und d). Ja in einem Falle sah ich in jeder keimenden langgestreckten Zoosporenzelle eine oder zwei Vacuolen (V in Fig. 16 e), ganz ähnlich, wie bei den in einer Fadenzelle eingeschlossenen Keimlingen aus Mikrozoosporen (vergl. Fig. 3 in Taf. V). Der rothe Pigmentfleck erblasst allmählig (Fig. 18 b u. d) und alsbald beginnt der ganze Inhalt der Zygospore oder wenigstens ein Theil derselben zu degeneriren (Fig. 17 bb u. 18 c).

Immerhin habe ich bei einigen Zygosporen beobachtet, dass die eine oder die andere der eingeschlossenen Zoosporen vor dem Absterben noch deutlich eine Membran erkennen liess (Fig. 17 a. a und Fig. 18 c. m). Weiter vorgeschrittene Keimstadien konnte ich an den eingeschlossenen Zoosporen nicht beobachten. Doch genügen die angeführten Thatsachen, um die Vermuthung zu begründen:

1. Dass die in den Zygosporen zu 2, 3, 4 bis 12, 14 (oder mehr?) entstehenden Zoosporen zu ihrer normalen Entwicklung der Freiheit bedürfen, dass es also wahre Schwärmsporen sind.
2. Dass sie aber auch bei unterdrückter Geburt in der Zygospore eingeschlossen, ganz ähnliche erste Keimstadien zeigen, wie die in den Fadenzellen von Ulothrix entstehenden Makro- und Mikrozoosporen.
3. Dass die aus solchen Zygosporen hervorgehenden Zoosporen ohne Zweifel einer ungeschlechtlich erzeugten Ge-

neration entsprechen, welche in Form von Zellreihen die erste Generation der Ulothrixfaden darstellt.

Noch habe ich zu erwähnen, dass die Zoosporen-Bildung in den Zygosporien, die ich an den gezüchteten Objekten im 11ten Monat nach der Copulation, nämlich Ende Januar und im Februar beobachtete, auch schon früher eintreten kann. Es ist ganz besonders hervorzuheben, dass ich Zygosporien mit Merkmalen zur Einleitung von Zoosporenbildung schon im October und im November, also im Alter von 7—8 Monaten beobachtete, ja, dass ich sogar eine abgestorbene Zygosporie sah (Fig. 1 a. Taf. VIII), die schon im November ganz evident 8 Zoosporen bildete, welche letztere aber alsbald zu Grunde gingen, während andererseits auch zu bemerken ist, dass ich Zygosporien bis zum Alter von 12¼ Monaten ganz gesund entwickeln sah.

Meine sämtlichen Beobachtungen über die Entwicklung der Zygosporien und die Erscheinungen an den vegetativen und reproductiven Fäden von *Ulothrix zonata* drängen mich zu der Ueberzeugung, dass die im Frühjahr gebildeten Zygosporien sich erst bis zu einer gewissen Höhe entwickeln, dann den heißen Sommer hindurch ihr Wachsthum sistieren, bei eintretender kühler Herbstwitterung aber wieder weiter wachsen und dann sofort oder doch wenigstens im Anfang des Winters zur Zoosporen-Bildung schreiten, um dadurch auf ungeschlechtlichem Wege der ersten jener mehreren auf einander folgenden Wintergenerationen das Dasein zu geben, die nur Makrozoosporen bilden.

Dafür spricht ganz besonders auch der Umstand, dass man an Fundstellen, wo *Ulothrix* das ganze Jahr hindurch, bald in dieser, bald in jener Generationsform angetroffen werden kann, im Winter fast durchwegs nur Fäden mit Makrozoosporen, höchst selten Mikrozoosporen findet, dass letztere dagegen erst an Frühjahr-Generationen recht zur Geltung gelangen, während die Makrozoosporen-Bildung in demselben Masse zurücktritt, in welchem die Mikrozoosporenbildung um sich greift.

---

## X. Zusammenfassung und Schlussbemerkungen.

Aus den vorstehenden neun Kapiteln, welche nach meinem Dafürhalten im Wesentlichen die ganze Entwicklungsgeschichte

der beschriebenen *Ulothrix zonata* enthalten — sie umfassen die Resultate einer während 14 auf einander folgenden Monaten durchgeführten Untersuchung — geht mit Evidenz hervor, dass wir bei dieser Alge einem jener vielgliedrigen Generationswechsel gegenüberstehen, wie er nur bei verhältnissmässig wenigen Kryptogamen bis heute constatirt wurde. Wir haben bei *Ulothrix zonata* nach meiner Auffassung drei wesentlich verschiedene Generationsformen zu unterscheiden, von denen zwei als Fadengenerationen, die dritte als Zygosporengeneration aufzufassen sind.

Die Fadengenerationen sind ohne Ausnahme ungeschlechtlich erzeugte, sich mehrfach wiederholende Glieder in der mannigfaltigen Generationsreihe des ganzen Entwicklungs-Cyclus. Sie stellen insgesamt dasjenige dar, was bis heute allein in Lehrbüchern und Floren unter dem Namen *Ulothrix zonata* aufgezählt und beschrieben wurde, während die dritte, oder die sogenannte Zygosporengeneration bis heute unbekannt blieb.

In der langen Reihe der Fadengenerationen haben wir zwei wesentlich verschiedene Formen zu unterscheiden:

- a. die geschlechtslos erzeugten zugleich ungeschlechtlichen, Makrozoosporen bildenden Spätjahr- und Winter-Generationen, die sich in rascher Folge wiederholen und mit Hülfe der ungeschlechtlichen Makrozoosporen hauptsächlich die lokale Verbreitung der Species während der rauhen Jahreszeit besorgen.
- b. die an die vorhergehende Generationsreihe sich anschliessende geschlechtliche, Mikrozoosporen bildende Generationsform, die aus ungeschlechtlichen Makrozoosporen hervorging und sich nur dann wiederholen kann, wenn die von ihr erzeugten Geschlechtszellen (Mikrozoosporen) den Sexualakt verfehlen. Ihre physiologische Bedeutung liegt in der Erzeugung der Copulations-Objekte, durch deren Zusammentreten die dritte Generation, Zygospore, hervorgeht.

Die geschlechtliche, Mikrozoosporen bildende Generation bildet den Abschluss der vielen auf einander folgenden Fadengenerationen; sie ist das Produkt des Frühjahrs oder Sommers (je nach den localen Verhältnissen, unter welchen die Species sich repräsentirt) und sichert in der Zygosporenbildung die Fortpflanzung der Species, nicht in örtlicher, sondern in zeitlicher Beziehung.

Die Zygosporen-Generation mit ihrer mehrmonatlichen Ruheperiode, während welcher die Fadengenerationen — bald früher, bald später — gewöhnlich vollständig verschwinden und nur ausnahmsweise unter ganz glücklichen Verhältnissen sich kümmerlich zu erhalten vermögen, vermittelt die Erhaltung der Art von einer günstigen Vegetationsperiode hindurch durch die ungünstige (heisse Sommerzeit) bis zur folgenden Vegetationsperiode. Sie ist das Produkt eines Sexualaktes, selbst aber geschlechtslos.

Im Weiteren lassen sich die wichtigsten Momente aus der Entwicklungsgeschichte von *Ulothrix zonata* folgendermassen zusammenfassen:

1. Es existirt bei *Ulothrix zonata* ein Polymorphismus der Zellreihen (Algenfaden), wie er wohl kaum bei einer andern Ulothrixee anzutreffen ist (vergl. Taf. I und VI), ein Polymorphismus, der sich nur aus der Entstehungs- und Entwicklungsgeschichte verschiedener Fortpflanzungszellen und deren Verhalten beim Keimen (ungeschlechtliche Fortpflanzung durch nicht copulirende Makro- und Mikrozoosporen) sowie bei der geschlechtlichen Propagation (Copulation der Mikrozoosporen) erklären lässt. Dieser Polymorphismus erklärt die bis heute bestehende unhaltbare Specification der unter vielen verschiedenen Artnamen aufgezählten *Ulothrix*-formen. Aus der vorliegenden Darstellung der Entwicklungs-Geschichte von *Ulothrix zonata* geht mit Evidenz hervor, dass eine ganze Reihe bisher als besondere Species aufgeführter Formen in eine und dieselbe Species, als verschiedene Entwicklungsstadien und Generationsformen einer und derselben Art zusammengefasst werden muss. Die endgültige Sichtung dieser alten *Ulothrix*-Species muss einer weitem Arbeit vorbehalten werden.
2. Es existirt zwischen den verschiedenen Zoosporen, die bei *Ulothrix zonata* zu 1, 2, 4, 8, 16 und 32 oder noch mehr in einer Mutterzelle entstehen, nirgends ein scharf ausgesprochener Unterschied zwischen geschlechtlichen und ungeschlechtlichen Zellen. Von den mit 4 Cilien ausgestatteten grösseren Makrozoosporen, die entschieden ungeschlechtlich sind, führt eine feine, unmerkliche Abstufung hinüber zu den mit 2 Cilien

ausgestatteten Mikrozoosporen, welche entschieden einen geschlechtlichen Akt (eine Copulation) eingehen können. Diese Abstufung von ausgesprochener Geschlechtslosigkeit zur unleugbaren Sexualität der Zoosporen bekundet sich sowohl in den Schwankungen der Grösse und der Anzahl der in einer Mutterzelle entstehenden Zoosporen, als auch im Verhalten derselben zum Geschlechtsakt, zur Copulation und im ferneren Verhalten der nicht copulirten Zellen während der Keimung. Das einzige Criterium zwischen Makro- und Mikrozoosporen, zwischen geschlechtslosen und geschlechtlichen Schwärmsporen dürfte die verschiedene Cilienzahl abgeben.

3. Es wird durch die Keim- und Entwicklungs-Fähigkeit der nicht copulirten Mikrozoosporen von *Ulothrix zonata* zur Evidenz erwiesen, dass an der untern Grenze des pflanzlichen Geschlechtlebens die beiderlei Sexualzellen, die in den obern Regionen der Kryptogamenwelt in ihrer Grösse und in ihrem Verhalten so unendlich verschieden sind, unter sich selbst sowohl als auch mit ungeschlechtlichen Zoosporen durchaus übereinstimmen und zwar in Form und Grösse, sowie im Verhalten nach verfehlter oder unterdrückter Copulation; mit andern Worten, dass an der untern Grenze des Sexuallebens die Geschlechtszellen identisch sind mit ungeschlechtlichen Fortpflanzungszellen und dass das Gelingen des Sexualaktes — der in den untern Regionen, wie aus anderweitigen Untersuchungen schon längst hervorging, in einer Copulation besteht — ebenso zufällig ist, als das Verfehlen desselben, und dass die Fortpflanzungszelle in beiden Fällen ihre Mission erfüllt, im einen Falle vereint mit einer anderen, im andern Falle jede für sich einzeln einem neuen Individuum das Dasein gebend.
4. Da bei *Ulothrix zonata* die copulirenden Zellen sich in der Regel morphologisch und physiologisch ganz gleich verhalten, einerseits aber auch grössere und langsamere Schwärmsporen eine Copulation mit kleineren, lebhafteren Mikrozoosporen eingehen, also eine Geschlechtsdifferenz in diesem Falle schon äusserlich angedeutet ist, andererseits aber die nicht copulirten Mikrozoosporen zu keimen

vermögen und fortpflanzungsfähigen Individuen das Dasein geben, so finden wir hierin einen neuen Beweis für die Pringsheim'sche Theorie, dass die Paarung von Schwärmosporen die morphologische Grundform der Zeugung im Pflanzenreiche darstellt, weiterhin aber auch, dass die Parthenognesis in letzter Instanz auf einen neben der Copulation parallel laufenden ungeschlechtlichen Fortpflanzungsprocess zurückzuführen ist.

5. Durch die Entstehungs- und Entwicklungsgeschichte der Zygospore von *Ulothrix zonata* findet sich auch jene Theorie bestätigt, der zufolge das Produkt der Copulation als geschlechtlich erzeugte neue Generation zu betrachten ist. (Vergl. Sachs. Lehrbuch der Botanik IV. Aufl. 1874. Kapitel der Kryptogamen.) Die Zygospore von *Ulothrix zonata* ist ein einzelliges Pflänzchen mit Wurzeltheil und assimilirendem, langsam wachsendem Vegetationskörper. Sie entspricht dem Embryo und der aus demselben hervorgehenden ungeschlechtlichen Generation der Gefässkryptogamen. Das Wurzel-Ende dieses einzelligen Pflänzchens ist nichts Anderes als die Vereinigung der beiden Keimflecke der copulirten Mikrozoosporen; der assimilirende vegetative Körper der Zygospore (d. h. der obere Theil) entspricht den zwei vereinigten chlorophyllhaltigen Hinterpartieen der copulirenden Schwärmosporen. Vergleichen wir daher die Entstehung und Entwicklung der Zygospore mit der Bewegungsrichtung der sie erzeugenden Zellen, so finden wir, dass die geschlechtlich erzeugte, durch Copulation von Schwärmosporen entstehende Generation der Ulothricheen auf dem Kopf steht.

Ueber die Stellung von *Ulothrix zonata* und ihrer Verwandten im natürlichen System kann man verschiedener Ansicht sein. Immerhin glaube ich, dass die Ulothricheen am passendsten in die Nähe der Volvocineen und Hydrodictyeen eingereiht werden. Ich habe an passender Stelle in vorliegender Arbeit darauf aufmerksam gemacht, dass die Sexualprocesse bei *Ulothrix zonata* auch verwandschaftliche Beziehungen zu den niedrigsten Oosporeen, z. B. zu *Sphaeroplea annulina* erkennen lassen. In der That scheint die Sachs'sche Ansicht, derzufolge die Ulothrixarten an letztere Stelle versetzt werden dürften, nicht unberechtigt zu sein.

Allein eine Vergleichung von *Ulothrix zonata* mit jenen Zygosporéen, die von Pringsheim und Andern so bahnbrechend durchforscht wurden, zwingt zur Einreihung der Ulothricheen in die Classe der Zygosporéen, wenn man überhaupt die Zygosporéen als besondere Classe auffassen und nicht mit den Oosporéen in eine und dieselbe Classe, die der Gamosporeen zusammenfassen will, wie Cohn in seiner „Entwicklungsgeschichte der Gattung *Volvox*“ (Beiträge zur Biologie der Pflanzen III. Heft. 1875) vorschlägt.

Die Frage der endgültigen Einreihung der Ulothricheen in's natürliche System darf aber einstweilen noch der Zukunft zur Beantwortung überlassen werden. Wir haben erst die wichtigsten Formen aus dieser Algengruppe auf ihre Entwicklungsgeschichte zu prüfen; erst wenn wir diese Arbeit einigermaßen bewältigt haben werden, mag es am Platz sein, die Familien und Classen gegen einander abzugrenzen, respective durch die vorhandenen Uebergangsformen zu verbinden. In richtigem Gefühle der Inoportunität hat auch Rostafinski in seinem Aufsatz: „*Quelques mots sur l'Haematococcus lacustris et sur les bases d'une classification naturelle des algues chlorosporees*“ (Mém. de la soc. des Sciences naturelles de Cherbourg 1875. Tome XIX) unterlassen, die Ulothricheen in's System einzureihen.

Die besprochene *Ulothrix zonata* ist ohne Zweifel eine der interessantesten Uebergangsformen zwischen jenen Kryptogamen, die sich typisch nur auf ungeschlechtlichem Wege und jenen, die sich vorwiegend auf ausgesprochen geschlechtlichem Wege fortpflanzen. Sie ist eines der beredtesten Beispiele für die Theorie der Abstammung; an der untern Grenze des pflanzlichen Geschlechtslebens lehrt sie uns, wie die geschlechtliche Differenzirung aus der ungeschlechtlichen Propagation den Anfang genommen hat.

Zürich, 30. März 1876.

## Erklärung der Tafeln.

### Tafel I. Verschiedene Fadentypen von *Ulothrix zonata*.

Fig. 1. a. b. Gekrümmte, kraus zusammengezogene Faden, Mikrozoosporen enthaltend.

- a. Ein gegliederter Faden, dessen Zoosporen noch nicht völlig reif sind und dessen Zellen daher noch nicht tonnenförmig aufgetrieben erscheinen.
- b. Fragment eines spiralig gekrümmten Fadens mit reifen Mikrozoosporen. Die Zellen sind tonnenförmig aufgetrieben, der Faden hat ein paternosterförmiges Aussehen. (Diese Faden wurden lebend am 15. März 1875 beobachtet, dann hermetisch abgeschlossen und am 15. April von Fr. Carolina Port, stud. phil., mit Hilfe des Prismas gezeichnet. Vergrößerung  $\frac{276}{1}$ )

Fig. 2. Gegliederter Faden. Bei y besteht das Glied nur aus einer einzigen Zelle; bei y' zählt jedes Glied zwei Zellen; bei y'' ist durch Theilung der einen Tochterzelle das Glied 3zellig geworden. zzz durch Theilung bei der Tochterzellen ist jedes Glied 4zellig geworden.

Fig. 3. a. b. Fragmente eines und desselben gegliederten Fadens in verschiedener Höhe.

- a. unten; die Glieder sind 2-, 3- und 4zellig;
- b. oberes Stück des Fadens. Die Glieder sind 4-, 5- und 8zellig. Der Faden ist dort am dicksten.

Fig. 4. Fragment eines gegliederten Fadens, dessen Glieder 7- u. 8zellig sind. In den meisten Zellen hat die Zoosporen-Bildung begonnen.

Fig. 5. a. b. c. Junge ungegliederte Faden; bei 5 a sind die Zellen kurz; der Cylindermantel des chlorophyllhaltigen Plasma's ist glatt; es fehlen die kleinen Körner. In jeder Zelle finden sich dagegen etliche kugelige Chlorophyllbläschen und ein graulicher Zellkern (zk). Bei 5 b sind die Zellen länger, der Cylindermantel des chlorophyllhaltigen Plasma's erscheint als Gürtel, dessen Breite ungefähr die halbe Länge der Zelle ausmacht; er ist feinkörnig und enthält ebenfalls grosse Chlorophyllbläschen; bei 5 c sind die Zellen sehr lang. Der grüne körnige Plasmagürtel nimmt nur ein Drittel der Zelllänge ein.

Fig. 6. a. b. c. d. Fragmente desselben Fadens in verschiedener Höhe. Bei 6 a (unterer Theil des Fadens) noch glatt, die Zellen lebhaft assimilierend und daher reich an grünem Plasma. (Vergl. Fig. 5 a.) Bei 6 b sind die Zellen schon etwas tonnenförmig aufgetrieben. Das grüne Plasma zieht sich auch über die Querwände (Einleitung zur Zoosporenbildung). Bei 6 c u. d Theilung des Zellinhaltes zur Bildung von zwei Makrozoosporen; bei r nur Eine Makrozoospore mit rothem Pigmentfleck. (Fig. 2. 3. 4, 5 u. 6 sind 482 Mal vergrössert.)

**Taf. II. Bildung, Entleerung und Keimung der Makrozoosporen.**

Fig. 1. a. b. c. d. Junger Faden, hervorgegangen aus einer Makrozoospore. 1 a Fussstück mit sehr langer Fusszelle, die bei x eingestülpt ist. Der grüne Plasmagürtel nimmt den grössten Theil der Zelllänge ein. 1 b etwas entfernteres Fragment des mittleren Fadenstückes. Von b' bis b'' alle Stadien der Zelltheilung bis zur Bildung der Makrozoosporen; bei r r fertige Makrozoosporen mit rothem Fleck. 1 c unmittelbar auf vorhergehendes Fragment folgendes Stück mit Makrozoosporen, die zu 1 oder 2 in einer Zelle entstehen. Einige Zellen sind schon entleert. d etwas entfernteres oberes Stück desselben Fadens. Die Zoosporen sind noch nicht fertig gebildet.

Fig. 2. Fragment eines Fadens mit je 1 Makrozoospore in jeder Zelle. r, r rother Fleck der Zoospore.

Fig. 3. a. b. c. d. Fragment eines und desselben Fadens mit Makrozoosporen, letztere einzeln oder zu je 2 in einer Zelle entstehend. 3 a Ausschlüpfen der einzeln in einer Zelle entstehenden Makrozoosporen. 3 b und 3 c, c, c auf einander folgende Stücke desselben Fadens, wobei in den einen Zellen je nur 1, in den andern Zellen je 2 Makrozoosporen entstanden. 3 d zwei Zellen eines entleerten Fadenstückes mit je 2 Makrozoosporen in jeder Zelle. Man erkennt leicht die rothen Flecke, welche den Querwänden des Fadens zugekehrt sind. Bei y y' y'' ausschließende Makrozoosporen.

Fig. 4. Zur Ruhe gekommene Makrozoosporen.

Fig. 5. Einzelliger Keimling aus einer Makrozoospore. r rother Fleck.

Fig. 6. Zweizellige Keimlinge aus Makrozoosporen. F = Fuss.

Fig. 7. Vierzelliger Keimling aus einer Makrozoospore. r rother Fleck. z k Zellkern.

Fig. 8. Eine Makrozoospore, stärker vergrössert, mit der pulsirenden Vacuole p. V. und dem rothen Fleck r.

**Taf. III. Entwicklung der Keimlinge aus Makrozoosporen.**

Fig. 1. a. b. c. d. e. Die Makrozoospore und ihr Keimling bis zum 4-zelligen Pflänzchen. 1 a eben zur Ruhe gekommene Makrozoospore. 1 b erstes Keimstadium. 1 c zweizelliger Keimling. 1 d und 1 e zwei vierzellige Keimlinge. rr rothe Flecke. zk Zellkern.

Fig. 2. Ein- zwei- und mehrzellige Keimlinge aus Makrozoosporen, auf Kalkkrystallen fussend, lebhaft vegetirend, in schwimmenden Watten verschiedener Algen des von Quellwasser gespeisten Universitätsbrunnens; r r rothe Flecke.

Fig. 3. Acht tägige Keimlinge aus Makrozoosporen im Zimmer gezüchtet.

Fig. 4. Ebenso. Bei x hat sich das grüne Plasma zur Bildung von Zoosporen bereits auf die horizontalen Querwände verbreitet.

Fig. 5. Zwei 14-tägige Keimlinge aus Makrozoosporen, die im Zimmer gezüchtet wurden und bereits selber wieder Zoosporen bilden. 5 y Zellinhalt sich theilend zur Bildung von Mikrozoosporen. 5 y' Zellinhalt sich theilend zur Bildung von Makrozoosporen. oo zwei fertig gebildete mit rothen Punkten versehene Makrozoosporen in der obersten Zelle. mm Zellen mit je 8 fertig gebildeten Mikrozoosporen. nn Zellen mit je 16 fertig gebildeten Mikrozoosporen.

Fig. 6. Ein Fadenstück mit entleerten Mikrozoosporen, die zu 4 in den Special-Umhüllungsblasen liegen. Bei b eine solche in der Mutterzelle zurückgeblieben.

#### Taf. IV. Bildung, Entleerung und Copulation der Mikrozoosporen.

Fig. 1—14. Die verschiedenen auf einander folgenden Stadien des Copulationsprocesses dreier Zoosporen. Alle Zeichnungen sind von Ansichten genommen, bei denen alle drei rothen Flecke rr sichtbar waren (Freihandzeichnungen).

Fig. 15. Degenerationsprocess zweier vereint schwärmenden Zoosporen. 15 a hyaline Blase, entweder eine „centrale Blase“, oder was wahrscheinlicher eine Special-Umhüllungsblase, deren vorderer Pol scheinbar 4 Cilien trägt, während der hintere Pol mit den zwei grünen Plasmamassen der zwei Zoosporen versehen ist. Im hyalinen Theil der Blase finden sich während und nach dem Schwärmen zahlreiche in tanzender Bewegung begriffene farblose Körnchen. M. 15 b und 15 c-Dieselbe Blase ohne Cilien mit den sich loslösenden grünen Zoosporen, die gleich darauf nebst der hyalinen Blase in Schleim zerfiessen, M Körnchen mit Mocularbewegung.

Fig. 16. a. u. b. Eine andere Blase mit zwei Zoosporen, dieselben Erscheinungen darbietend, wie in Fig. 15.

Fig. 17. Eine dritte Blase, die — zur Ruhe gekommen — degenerirt, ohne dass sich die zwei grünen Plasmamassen der Zoosporen ablösen (17 b).

Fig. 15, 16 und 17 sind mit dem Prisma gezeichnet. Vergrößerung  $\frac{482}{1}$

Fig. 18. Zur Ruhe gelangte Zygozsporen, hervorgegangen aus der Copulation zweier Zoosporen. rr rothe Flecke. (Freihandzeichnung. Vergrößerung ca.  $\frac{700}{1}$ )

Fig. 19. a u. b. Unmittelbar auf einander folgende Fragmente eines Fadens, Zoosporen-Bildung. a' und b' die auf einander folgenden Stücke, deren Zellen zum grössten Theil entleert sind. c soeben entleerte Zoosporen, 8 an der Zahl, noch von der Umhüllungsblase umgeben. Beim Freiwerden derselben wurden alle 8 einzeln gesehen, während in der Umhüllungsblase auf einmal blos 4 sichtbar sind. d d Zellen mit je 8 Zoosporen; letztere besitzen, wie aus der Darstellung der frei gewordenen Exemplare ersichtlich ist, nur zwei Cilien. Vergrößerung  $\frac{482}{1}$

Fig. 20. a. b. c. d. e. Auf einander folgende Stadien der Copulation zweier im Momente des Freiwerdens noch nicht abgerundeter Zoosporen. Die Ab- rundung vollzieht sich mit zunehmender Verschmelzung. 20 I, II, III, IV u. V Copulation zweier ursprünglich langgestreckter Zoosporen (Fig. 20. Freihand- zeichnung).

Fig. 21. Erste Stadien der Copulation zweier Zoosporen, die sich erst einige Momente mit dem vordern Theil der Cilien berührten, und gemeinsam rotirten, bis die eine Zoospore a plötzlich Wendung machte, um mit Ein'em Ruck (a') auf den Körper der Zoospore b (in b') zu stürzen. (Freihandzeichnung.)

Fig. 22. a. Ein mit reifen Mikrozoosporen erfülltes Fadenfragment. a' a' entleerte Zellen mit 1 und 2 zurückgebliebenen Mikrozoosporen. 22b Faden- fragment mit einer soeben entleerten Mutterzelle, die 16 Mikrozoosporen ent- hielt, von denen 4 in der Zelle zurückblieben. Beim Entleerungsakt sind die Cilien dieser letztern gegen und durch die Oeffnung der Mutterzelle hinausge- zogen worden.

Fig. 23. a. b. c. d. Die vier auf einander folgenden Stadien des Frei- werdens der 16 in einer Mutterzelle entstandenen Mikrozoosporen. Bei c ist die Umhüllungsblase noch deutlich zu sehen, während sie bei d nicht mehr sichtbar ist. Bei d sind die Cilien der 4 zurückgebliebenen Sporen gegen und

durch die Oeffnung der Mutterzelle nach Aussen gerichtet. e e e' e' Mikrozoosporen isolirt und in Copulation begriffen. Bei e' unterscheiden sich die beiden copulirenden Sporen beträchtlich durch ihre Grösse.

Fig. 24. Eine beträchtlich grosse Zoospore mit einer sehr kleinen Mikrozoospore, den Versuch einer Copulation machend, in verschiedenen Stellungen nach dem Prisma gezeichnet. (Die vollständige Copulation konnte nicht beobachtet werden, weil die Objekte plötzlich aus dem Gesichtsfelde verschwanden.)

Fig. 25. Zur Ruhe gekommene Zygosporen von verschiedener Grösse, in verschiedenen Stellungen gezeichnet.

### Taf. V. Keimung der Mikrozoosporen.

Fig. 1. a. a. Ein- bis 4 zellige Keimlinge aus Mikrozoosporen, 2 bis 4 Tage alt. b b schwächliche, ohne Zweifel zu Grund gehende Keimlinge aus Mikrozoosporen. c Zygosporen mit Haftorgan (Wurzel).

Fig. 2. a Fadenfragment mit zum Theil entleerten Zellen. Bei x x degenerirte Mikrozoosporen. Bei z eine geschlossene Mutterzelle mit Keimlingen aus Mikrozoosporen. (Vergl. z in Fig. 3.) Bei z' noch 2 in der Mutterzelle liegende Keimlinge aus Mikrozoosporen. Da die Mutterzelle geöffnet ist, so bilden diese Keimlinge einen hyalinen Fuss, während dieser bei den zu 16 in einer geschlossenen Mutterzelle liegenden Keimlingen bei z fehlt. c c c Zygosporen, ca. 10 Tage nach der Copulation. a a ein- bis 3-zellige Keimlinge aus Mikrozoosporen.

Fig. 3. Die in Fig. 2 z dargestellte Zelle mit den Keimlingen durch Quetschen gesprengt. Bei verschiedener Einstellung konnten deutlich 10 Keimlinge ganz, und 3 oder 4 noch zum Theil deutlich gesehen werden.

Fig. 4. a. a. Zwei mehrzellige Keimlinge mit verlängerter Fusszelle. b ein 23-zelliger Keimling ohne hyaline Fusszelle. zk = Zellkern. c c c Zygospore ca. 10 Tage nach der Copulation.

Fig. 5. Ein zum Theil entleertes Fadenstück. e' eine Zelle mit langgestreckten Mikrozoosporen (vergl. Fig. 4. Taf. I und Taf. IV. Fig. 20). e'' e'' In der Mutterzelle zurückgebliebene langgestreckte Zoosporen. a eine abgerundete Mikrozoospore.

Fig. 6. Fadenfragment mit aus den Mutterzellen hervorsprossenden Keimlingen aus Mikrozoosporen. Diese Keimlinge sind 2- bis 5-zellig und brechen aus jeder Sporenmutterzelle in der Regel zu je 4 hervor. Der hyaline Fuss fehlt; nebstdem finden sich ganz entleerte Zellen an demselben Fadenstück. Bei deg. zurückgebliebene degenerirende Mikrozoosporen.

Fig. 7. Ein ca. 20 Tage alter Ulothrix-Keimling aus einer Mikrozoospore mit verzweigter Fusszelle.

### Taf. VI. Die Prozesse der geschlechtlichen und ungeschlechtlichen Zeugung bei *Ulothrix zonata*. (Vergrößerung $\frac{482}{1}$ )

Fig. 1. a—g. Fragmente eines und desselben Fadens, bestehend aus 1000—1200 Zellen, die am obern Theil des Fadens zum grössten Theil entleert sind, während sie im Mittelstück fertige Makro- und Mikrozoosporen enthalten, im untern Fadenheil aber nur den breiten vegetirenden Plasmagürtel erkennen lassen. Die Fragmente dieses Fadens folgen von der Spitze an gegen den Fuss hin in derselben Reihenfolge, wie die Buchstaben a—g. (Die Zeichnungen wurden während der allmähig sich stärker geltend machenden Einwirkung des zugesetzten Glycerins angefertigt.)

- a. Oberstes Fadenstück, aus entleerten Zellen bestehend. Die Entleerung der Zoosporen erfolgte ohne Zweifel schon vor mehreren Tagen, da in zwei Zellen aus je einer zurückgebliebenen Zoospore seit der Entleerung der Schwesterzellen ein vierzelliger Keimling herangewachsen ist. (a. a.)
- b. Fragment eines darauf folgenden tiefern Fadentheiles, dessen Zellen sich einen Tag später als bei a entleerten, da die aus zurückgebliebenen Zoosporen hervorgegangenen Keimlinge b b erst zweizellig sind. deg. degenerirende Zoosporen.
- c. Ein tiefer stehendes Fragment, dessen Zellen sich — freilich erst zum Theil — soeben entleert haben. Bei d eine zurückgeblieben Makrozoospore mit dem rothen Fleck r, ohne Zweifel eine Wiederholung des bei a, b und c vor 1—3 Tagen vor sich gegangenen Processes. Bei I I vier noch nicht entleerte Zellen, erfüllt von mehr als 32 Mikrozoosporen, die in eine Hohlkugel angeordnet sind, wie bei I a, I a, wo dieselben Zellen bei anderer Einstellung gezeichnet wurden, ersichtlich ist.
- d. Ein folgendes Fragment, dessen Zellen zum grössten Theil entleert sind. e eine noch nicht entleerte Zelle mit Mikrozoosporen, die in eine Hohlkugel angeordnet sind. e' e' vier nicht entleerte Zellen, deren Mikrozoosporen scheinbar in zwei horizontale Reihen, in Wirklichkeit aber in einen sehr kurzen Hohlcyylinder angeordnet sind. Bei e'' eine zurückgebliebene Makrozoospore in der entleerten Mutterzelle.
- e. Ein tieferes Fragment mit reifen Makro- und Mikrozoosporen. In der Mehrzahl der Zellen finden sich 4 Makrozoosporen, bei h h dagegen je 16 Mikrozoosporen, bei h'' 32. An den Makrozoosporen sind die rothen Flecke auffallend bemerkbar.
- f. Unterster Theil eines längeren Fadenstückes mit vorwiegenden Makrozoosporen. (An diesem Fadenstück hat sich die contrahirende Einwirkung des Glycerins auf das Plasma am meisten geltend gemacht.) k k Theilung des Plasmas zur Bildung von Makrozoosporen; die übrigen Zellen enthalten letztere schon in fertigem Zustande, 2 oder 4 in jeder Zelle.
- g. Die vier untersten Zellen dieses Fadens. In der sehr langen Fusszelle findet sich nur wenig grünes Plasma. (Alle Zeichnungen dieses Fadens sind mit Hilfe des Hartnack'schen Imm. Syst. No. 9 nach dem Prisma gezeichnet.)

Fig. 2. a. b. c. d. Ein anderer Faden mit Makro- und Mikrozoosporen, während der Entleerung der Makrozoosporen gezeichnet. a Fragment mit je 4 und 8 Zoosporen in jeder Zelle. b drei auf einander folgende Zellen desselben Fadens, von denen die eine Zelle eine grosse Zahl von Mikrozoosporen enthält, während die benachbarte Zelle nur noch 1 Makrozoospore x einschliesst. y eine freigewordene Makrozoospore. c Fragment mit zwei entleerten und 4 noch mit Makro- und Mikrozoosporen erfüllten Zellen. x' eine eben freigewordene Makrozoospore von hinten gesehen. Die übrigen 4 Makrozoosporen in den verschiedenen Stellungen während des Schwärmens, unmittelbar nach dem Freiwerden, gezeichnet. d. Entleerung der 4 Makrozoosporen einer Mutterzelle. u Umhüllungsblase. e Abgleiten und Freiwerden der 4 Makrozoosporen. c B centrale Blase. f eine durch Jod gebäunte Makrozoospore, etwas contrahirt, Cilien sowohl als Körper gebräunt.

Fig. 3. Ein Fadenfragment mit Mikrozoosporen (durch Jod getödtet). x

eine eben entleerte Zelle.  $y'$  und  $y''$  die noch in der Umhüllungsblase eingeschlossenen Zoosporen in zwei verschiedenen Einstellungen nach dem Im. System 9 Hartnack gezeichnet. In diesem Falle sind wohl 16 Mikrozoosporen in der Umhüllungsblase, da bei einer Einstellung ganz sicher deren 10 gezählt werden konnten. z eine durch Jod getödtete Zoospore desselben Fadens mit 2 Cilien.

Fig. 4. Ein zum grössten Theil entleertes Fadenfragment mit Mikrozoosporen und die zwischen letzteren vor sich gehende Copulation. a isolirte Mikrozoospore. b zwei solche Mikrozoosporen in Copulation begriffen. 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 die auf einander folgenden Stadien im Copulationsprocess, im Verlauf einer Viertelstunde beobachtet. Beim Freiwerden aus der Umhüllungsblase wurden je 16 einzelne Zoosporen gezählt.

Fig. 5. Zur Ruhe gekommene Zoosporen, 18—24 Stunden nach der Copulation; die zwei rothen Punkte sind noch deutlich erkennbar.

### Taf. VII. Keimung und Entwicklung der Zygosporen und der nicht copulirten Zoosporen.

Fig. 1. Vier isolirt liegende Zygosporen, 24 Stunden nach der Copulation. Die beiden rothen Pigmentflecke und die den ursprünglichen Mikrozoosporen entsprechenden grünen Plasmapartien sind noch deutlich erkennbar. a a a die Zygosporen von oben gesehen, der sogen. Keimfleck (hyaliner Pol) ist abwärts gekehrt, nicht sichtbar. b eine seitlich liegende Zygospore, links der hyaline Keimfleck (später als wurzelartiges Haftorgan dienend).

Fig. 2. Aus einer Zygosporen-Colonie am Grunde eines Tellers, 68 Stunden nach der Copulation. a a abgestorbene, gebleichte Zygosporen. b b lebende Zygosporen, meist von oben gesehen, mit deutlicher Cellulose-Membran; bei einigen ist der grüne plasmatische Inhalt hufeisenförmig angeordnet. Der Inhalt ist feingekörnt. Die Zygosporen sind seit ihrer Entstehung entschieden gewachsen.

Fig. 3. Aus einer Colonie von Zygosporen, 11 Tage nach der Geburt. a a Zygosporen von oben gesehen, eiförmig oder kugelig erscheinend; b b Zygosporen von der Seite gesehen, mit einem hyalinen Rhizoid. In jeder der auf den  $1\frac{1}{2}$ - bis zweifachen Durchmesser des ursprünglichen Copulationsproduktes herangewachsenen Zoosporen ist der grüne Inhalt feinkörnig und enthält derselbe zwei, selten mehr grosse Chlorophyllbläschen.

Fig. 4. Eine Colonie von 14—16 Tage alten Zygosporen, die dicht beisammen liegend gleichsam einen Rasen bilden. a a stark verlängerte Zygosporen, die sich über das Niveau der umgebenden Zygosporen b b erheben und ein längeres Fussstück besitzen. c c kräftig vegetirende mehrzellige Keimpfänzchen aus nicht copulirten Zoosporen. d d weniger weit entwickelte Keimpfänzchen aus nicht copulirten Mikrozoosporen. Alle Zygosporen dieser Colonie zeigen gegenüber Fig. 2 ein beträchtliches Wachstum.

Fig. 5. Eine Gruppe zum Theil isolirter Zygosporen von demselben Alter, wie in Fig. 4, von denen die einen von oben, die andern von der Seite gesehen zur Darstellung gelangten.

Fig. 6. Zwei isolirte Zygosporen, 17—19 Tage alt. Der lebhaft grüne Inhalt ist feinkörnig, beide Sporen sind beträchtlich gross.

Fig. 7. Eine Gruppe isolirter Zygosporen, 40 Tage alt. Einige derselben besitzen ein langes wurzelartiges Haftorgan (Rhizoid), das dem ursprünglichen Keimfleck entspricht. x eine durch den Druck der Umgebung unregelmässig gewordene Zygospore. Die Membran sämtlicher Zygosporen ist beträchtlich dicker geworden.

Fig. 8. Einige Zygosporen 58 Tage nach der Copulation. Durch gegenseitigen Druck sind die Berührungsfächen der bedeutend grösser gewordenen Sporenkörper abgeplattet worden. Die Membran erscheint zweischichtig; die äussere Schichte schimmert bei intensivem Licht röthlich.

Fig. 9. Zygosporen, 62 Tage alt, zum Theil von der Seite, zum Theil von oben gesehen.

Fig. 10. Zygosporen, 70 Tage alt, die Membran wird immer dicker.

Fig. 11. Zygosporen, 72 Tage alt. ff lange Füssstücke (Rhizoide).

Fig. 12. Zygosporen, 90 Tage alt. f langes Rhizoid einer birnförmigen Spore. a — eine absterbende Zygospore, deren Inhalt sich contrahirt, während die Membran verschleimt.

Fig. 13. Zygosporen, 98 Tage alt. a eine isolirte, sehr grosse birnförmige Spore. b einige zusammengewachsene gegenseitig abgeplattete Zygosporen. Bei allen erscheint der Inhalt lebhaft grün, aus kugeligen Körnchen von gleicher Grösse bestehend. Die Membran nimmt an Mächtigkeit zu.

Fig. 14. Zygosporen, 140 Tage alt, gezeichnet am 6. August 1875. Die kugeligen Chlorophyllkörner sind bedeutend grösser, als auf den früheren Stadien; ebenso ist die Membran beträchtlich dicker.

Fig. 15. Zygosporen von *Ulothrix zonata*, aus dem Universitätsbrunnen, mindestens 2 Monate alt, gezeichnet (nach dem Prisma) von Carolina Port Mitte Juni 1875. Diese Zygosporen constatiren den normalen Verlauf der Entwicklung von im Zimmer gezüchteten Zygosporen, wie sie in den vorhergehenden Figuren dargestellt ist.

Fig. 16. Ein Fadenfragment von *Ulothrix zonata*, im Zimmer gezüchtet, 100 Tage alt, mit lebenden Plasmapartieen und monströs aufgetriebenen Zellen.

### Taf. VIII. Entwicklungsgeschichte der Zygosporen nach der Ruheperiode.

(Alle Figuren dieser Tafel sind wie diejenigen von Taf. VII 482 Mal vergrössert.)

Sämmtliche hier dargestellte Zygosporen datiren vom 18. März 1875; die der Erklärung beigegebenen Daten geben den Tag an, da sie mit Hilfe des Prisma's gezeichnet wurden, woraus sich leicht das Alter der Objekte berechnen lässt.

Fig. 1. Drei gesunde Zygosporen, 8 Monate und 19 Tage alt. Gez. 6. Decbr. 1875. 1 a eine Zygospore, deren Inhalt sich in mehrere Zoosporen differenzirte, welche jedoch degenerirten. Beobachtet 6. Decbr. 1875.

Fig. 2. Fünf Zygosporen, von denen 4 mit längerem Fuss versehen sind. Bei etlichen sieht man in der Nähe des Centrums eine helle Vacuole V. Gez. 31. Decbr. 1875.

Fig. 3. Drei Zygosporen, bei denen die Vacuole noch deutlicher hervortritt, als bei den in Fig. 2 dargestellten. Gez. 24. Decbr. 1875.

Fig. 4. Vier Zygosporen, von denen drei eine netzartige Anordnung in der Vertheilung der Chlorophyllkörner zeigen. (Einleitung zur Zoosporenbildung.) 10 Monate alt. Gez. 19. Januar 1876. (Am gleichen Tage entdeckte ich die ersten grünen Zoosporen im Innern einer Zygospore.)

Fig. 5. Fünf Zygosporen. Bei mehreren gruppiren sich die Chlorophyllkörner in eine grössere oder geringere Anzahl von eckigen Feldern. Gez. 31. Decbr. 1875.

Fig. 6. Eine Zygospore, in zwei verschiedenen Einstellungen a und b gezeichnet. Bei jeder Einstellung sind 8 Zoosporen sichtbar, die concentrisch um eine centrale Vacuole angelagert sind. Gez. 21. Januar 1876.

Fig. 7. Eine andere Zygospore in zwei verschiedenen Einstellungen a und b. Sie enthält 4 grosse Zoosporen. Die Membran der Zygospore ist in mehrere Schichten differenzirt. Gez. 24. Januar 1876.

Fig. 8. Eine Zygospore in zwei verschiedenen Einstellungen a und b. Bei jeder Einstellung sind 5 Zoosporen sichtbar; die Zygospore enthält deren aber 6. Gez. 24. Januar 1876.

Fig. 9. Drei Zygosporen mit einer verschiedenen Anzahl von Zoosporen im Innern und zwar rechts 4, in der Mitte 5 oder 6, links 7. Die äusserste röthliche Membranschicht ist gegen die dickere innere bläulich schimmernde scharf abgegrenzt. Bei der mittlern und bei allen in den vorhergehenden Figuren dargestellten Zygosporen reicht die äussere röthliche Membranschicht nur bis an die Basis der papillenförmigen oder wurzelartigen Auswüchse der bläulichen inneren Membranschicht. Gez. 25. Januar 1876.

Fig. 10. Zwei Zygosporen, mit 7–10 Zoosporen im Innern. Bei b b ist deutlich der vordere hyaline Pol der Zoosporen mit etlichen farblosen Körnchen sichtbar. Die innere dicke Membranschicht ist gegen den übrigen Inhalt der Zygospore nicht oder nur wenig deutlich abgegrenzt. Gez. 26. Januar 1876.

Fig. 11. Sechs Zygosporen, 10 Monate und 9 Tage alt. a eine langgestreckte Zygospore, deren innere Membranschicht den ganzen Raum zwischen der Peripherie und dem eiförmigen grünkörnigen Inhalt einnimmt. b eine kugelige Zygospore mit noch unverändertem Inhalt. c eine Zygospore mit 4 reifen Zoosporen. d eine Zygospore mit 5 oder 6 Zoosporen. e eine Zygospore mit 8 sichtbaren Zoosporen. f eine andere Zygospore ebenso. Gez. 27. Januar 1876.

Fig. 12. Die in Fig. 11 a dargestellte Zygospore, 7 Tage später. Der grüne Inhalt zeigt bereits die Einleitung zur Zoosporenbildung. l l stark lichtbrechende, farblose Körperchen. Gez. 3. Febr. 1876.

Fig. 13. Eine sehr grosse Zygospore in zwei verschiedenen Einstellungen, bei denen zusammen 10 Zoosporen erkennbar sind. Wahrscheinlich enthielt dieselbe jedoch 12 oder 13 Zoosporen. l l l stark lichtbrechende Körperchen an der Peripherie der in eine Kugelfläche angeordneten Zoosporen. V centrale Vacuole, um welche die reifen Zoosporen angelagert sind. Gez. 11. Febr. 1876.

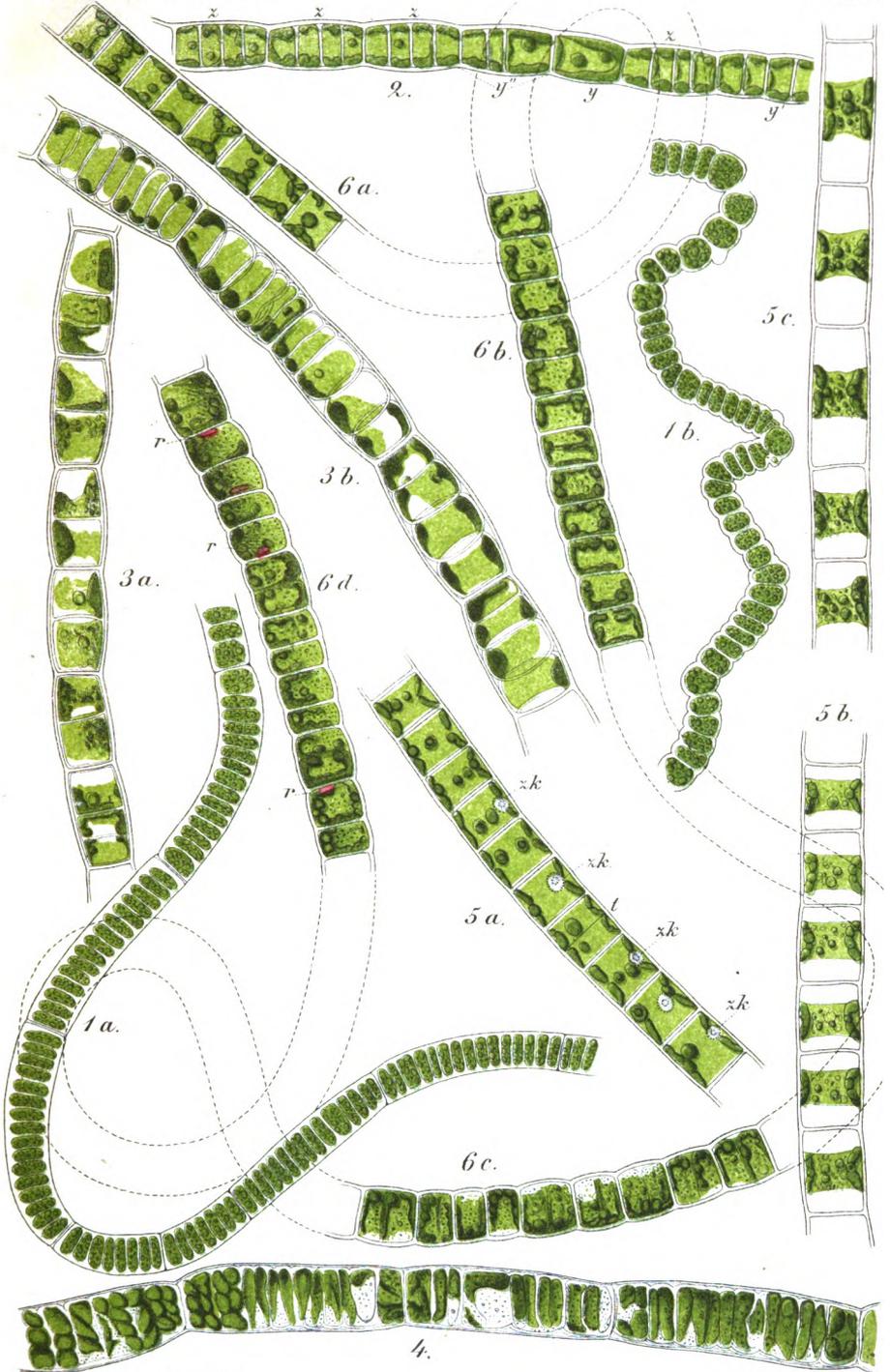
Fig. 14. Vier Zygosporen, 11 Monate und 7 Tage alt. Gez. 25. Febr. 1876. a absterbende Zygospore mit contrahirtem Plasma und successive nach Innen aufquellender Membran. x eine entleerte Zygospore. Die äussere röthliche Membranschicht ist nicht mehr deutlich gegen die innere abgegrenzt. d eine sehr grosse Zygospore, die bei dieser Einstellung deutlich 10 Zoosporen erkennen lässt. Es sind deren aber mindestens 12–14 vorhanden.

Fig. 15. Zwei sehr grosse Zygosporen, deren Inhalt noch keine Veränderung zeigt. 11 Monate und 7 Tage alt. Gez. 25. Febr. 1876.

Fig. 16. a. a. b. c. d. e. Sechs in der Colonie unmittelbar neben einander liegende Zygosporen. 11 Monate (weniger 3 Tage) alt. Gez. 15. Febr. 1876. Bei a a sind die Zoosporen noch regelmässig angeordnet, von eiförmiger Gestalt. Bei b und c haben sich die Zoosporen verlängert und ihre ursprüngliche Lage verschoben. Bei d und e erste Keimstadien der Zoosporen in der Mutterzelle. Bei e sind in den langgestreckten Keimzellen bereits etliche Vacuolen sichtbar, ähnlich wie beim Keimen der Mikrozoosporen im Innern einer Ulothrix-Fadzelle. (Vergl. Fig. 3 in Taf. V.)

Fig. 17. Eine Zygospore, welche ihre Zoosporen gefangen hielt; letztere sind zum Theil schon degenerirt (b b), zum Theil noch nicht völlig abgestorben (a a), sondern mit einer deutlichen Membran bekleidet. Gez. 3. Febr. 1876.

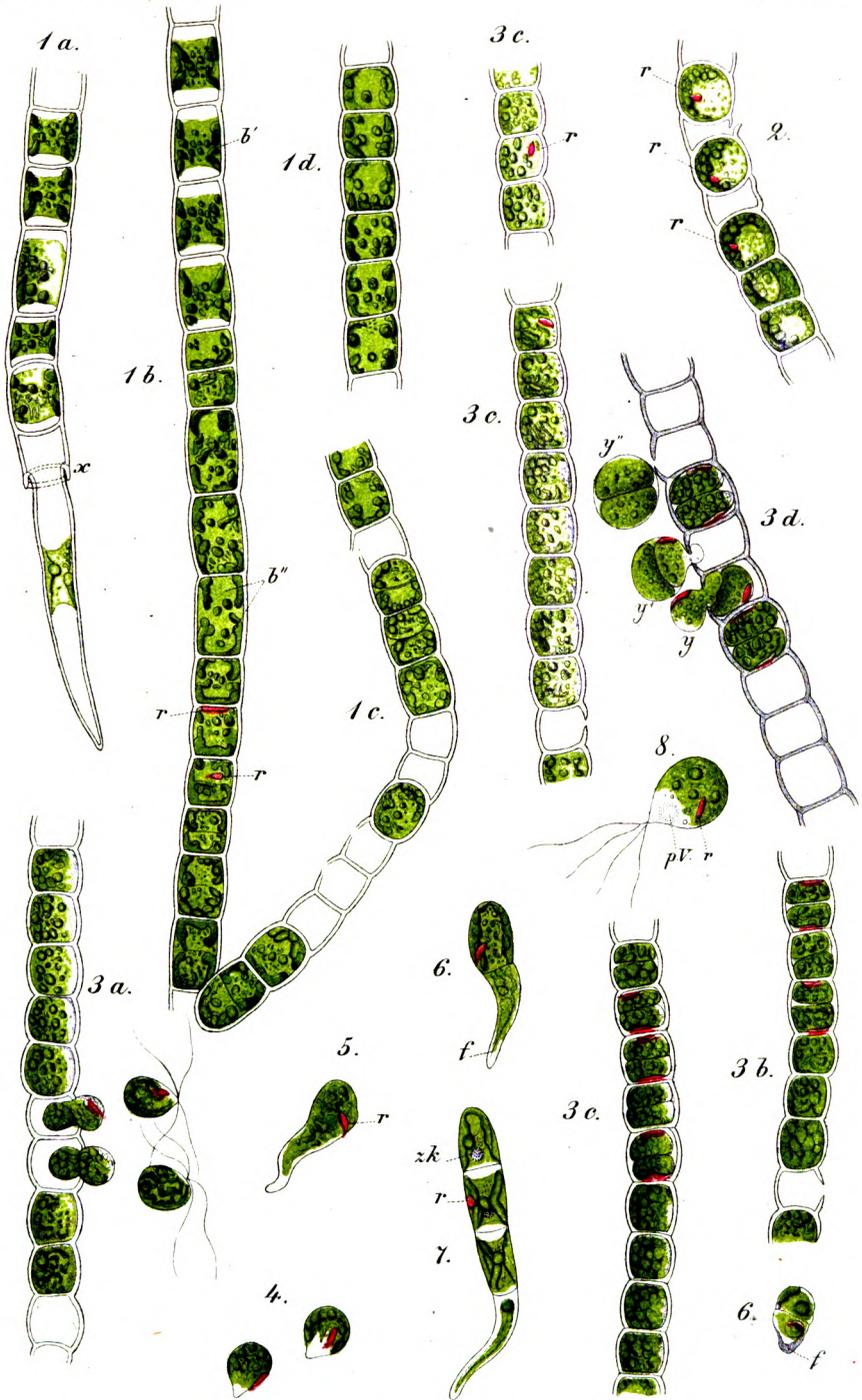
Fig. 18. a. b. c u. d. Keimstadien der Zoosporen im Innern verschiedener Zygosporen. a und c Zygosporen genau 11 Monate nach der Copulation der sie erzeugenden Mikrozoosporen. Gez. 18. Febr. 1876. c eine Zygospore mit zwei grossen Zoosporen, von denen die eine bereits degenerirt, die andere aber mit einer deutlichen Membran ausgestattet ist (m). Gez. 15. Febr. 1876. d eine Zygospore mit mehreren keimenden Zoosporen. Gez. 11. Febr. 1876.



A. Dodel et C. Port. ad nat. del.

Lith. von Laue.





*A. Dodel ad nat. del.*

*Lith. von Laue.*



*Ulothrix zonata*.

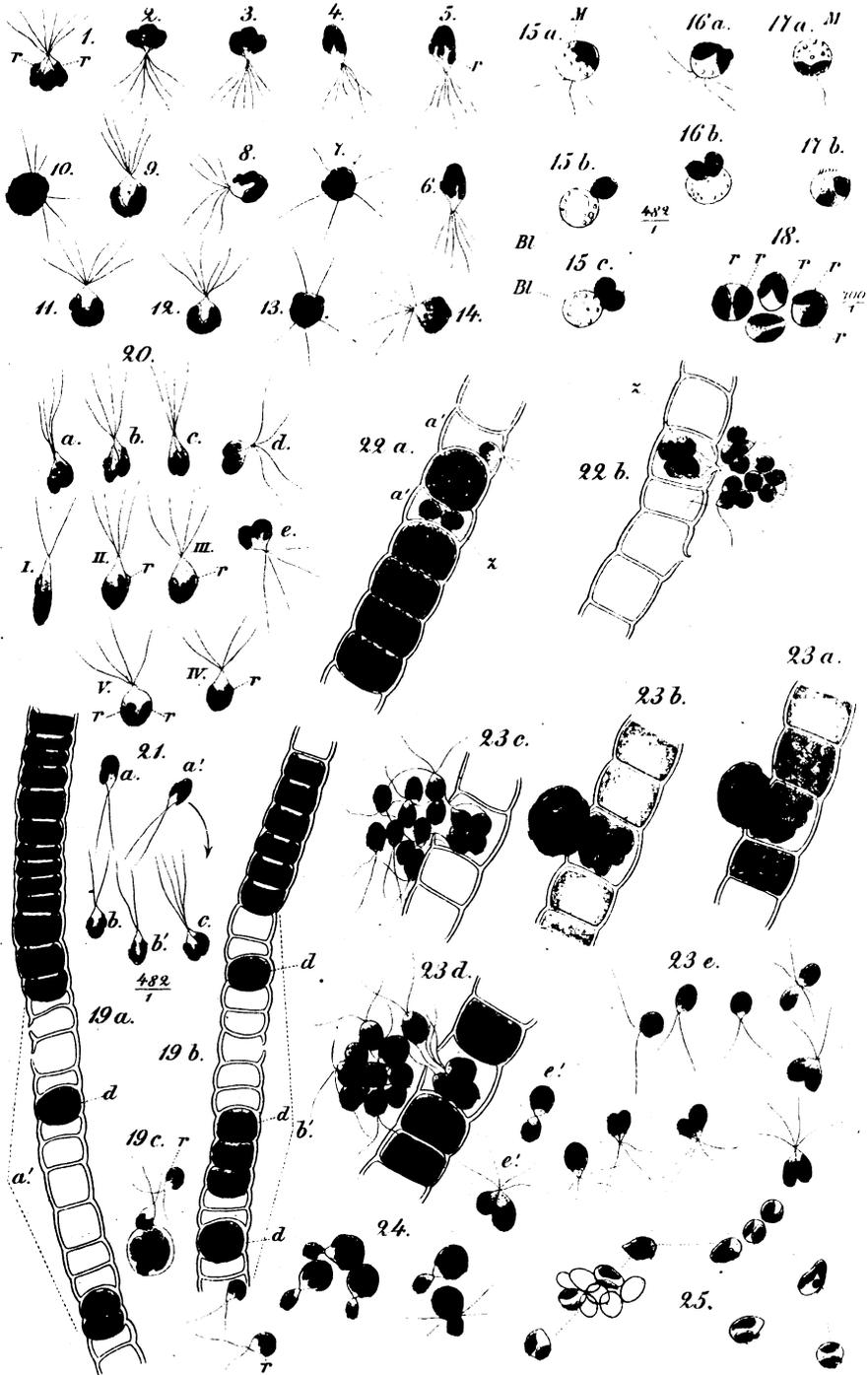


*A. Dodel ad nat. del.*

*Lith. von Laue.*

*Ulothrix zonata.*

Taf. IV.



A. Dodel cul nat. del.

Lith. von Lane.

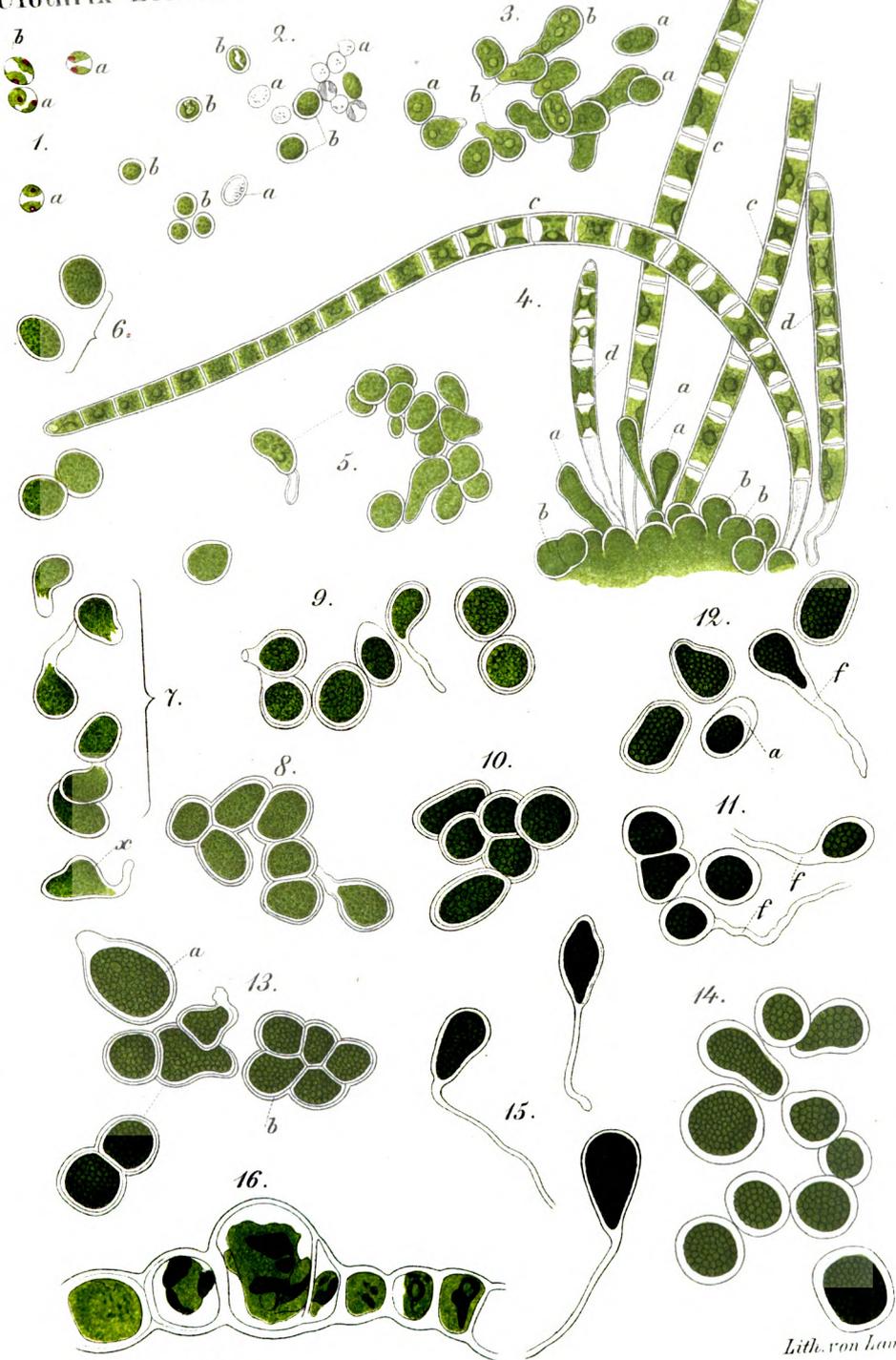


A. Dodel ad nat. del.

Lith. von Laue sc.

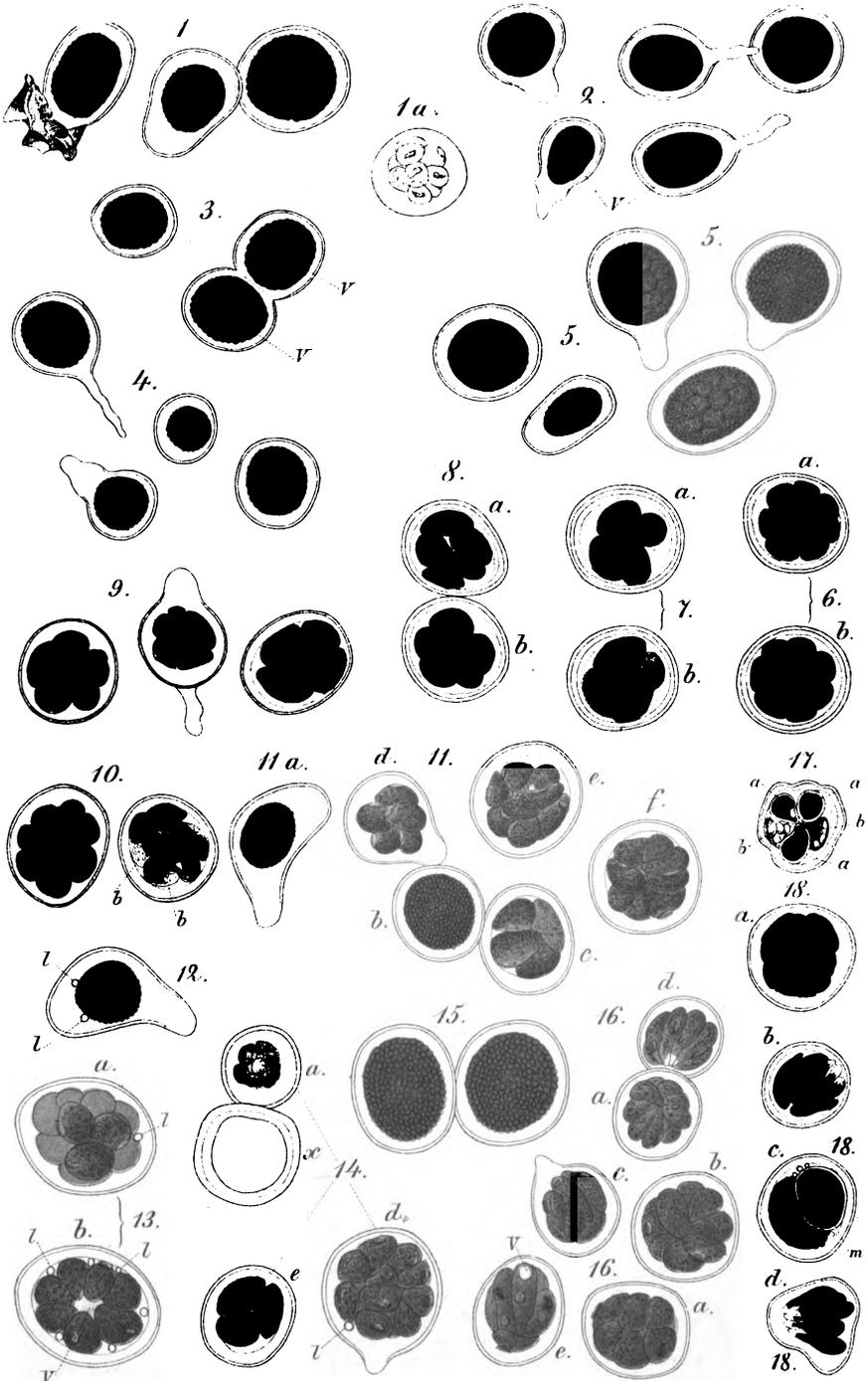


*Ulothrix zonata*.



A. Dodel ad nat. del.

Lith. von Lan



A. Dodel-Port ad.nat. del

Lith.von Laur.