

Die Befruchtung und Entwicklung der Gattung Marsilia.

Von

Johannes Hanstein.

Die Kenntniss von der Zeugung und Entwicklung der Gefässkryptogamen hat sich in neuerer Zeit über die Mehrzahl ihrer Formen ausgedehnt. Unter den noch rückständigen war die Gattung Marsilia, die, schwer zugänglich, sich der Beobachtung in diesen Vorgängen bisher entzogen hatte. Endlich boten ein Paar neuholländische Arten derselben die gewünschte Gelegenheit, diese Lücke im Wesentlichen auszufüllen.

Gegen Ende des Jahres 1861 waren durch Herrn Alex. Rose aus Melbourne 6 Früchte einer der Marsilia-Arten eingesandt, die von den Eingebornen Neuhollands unter dem Namen „Nardoo“ gegessen werden ¹⁾. Ein Paar derselben, zu Keimungsversuchen benutzt,

1) Vergl. Monatsberichte der Berliner Akademie d. Wiss. 1862, S. 103. Diese 6 Früchte hatte Herr Alex. Rose, der sich damals in Melbourne aufhielt, Ende 1861 aus den Resten der Nahrungsvorräthe erhalten, mit denen bei dem unglücklichen Ausgang der Burke'schen Expedition im Inneren Neuhollands einige Mitglieder derselben ihr Leben Monate lang gefristet, und durch die Burke und Wills das ihrige vergeblich zu erhalten versucht hatten. Sie erwiesen sich als einer noch nicht bekannten Art (*M. salvatrix*) angehörig, die den Schilderungen der Reisenden nach in der Gegend von Coopers Creek besonders verbreitet sein muss. Aus derselben Gegend stammen die von Herrn Osborne an Herrn Professor Braun mitgetheilten Früchte dieser selben Art, während derselbe zugleich die einer anderen Art, *M. Drummondii* A. Br., aus der Gegend zwischen dem Darlings River und dem Coopers Creek überbrachte. Wieder von einer anderen Oertlichkeit sandte der Director des botanischen Gartens zu Melbourne, Dr. Ferdinand Müller, Früchte, die einer anderen neuen Art, *M. elata* A. Br., angehören und von Mac Kinlay und seinen Gefährten gesammelt sind. Aus den nun genauer bekannt gewordenen verschiedenen Reiseberichten geht hervor, dass wohl sehr mannigfache Marsilien-Arten auf den sumpfigen Landstrichen des inneren Neuhollands und

boten in Bezug auf die erste Entfaltung und Entwicklung manche neue Erscheinung dar, gelangten indessen nicht weiter, als zu einer steril bleibenden Wucherung des Vorkeims. Durch die Herren Osborne und Ferd. Müller gingen jedoch neue Mittheilungen von Früchten derselben und verwandter Arten von Marsilien ein und wiederholt damit angestellte Keimungsversuche haben mir ausreichende Gelegenheit verschafft, die Befruchtung und Entwicklung der Gattung bis zur vollständigen Ausbildung der jungen Pflänzchen zu beobachten.

Es sei gestattet, den Bericht hierüber durch kurze Anführung der Ergebnisse jener ersten unvollständig gebliebenen Beobachtungen, obschon dieselben anderen Orts ausführlicher mitgetheilt sind, zu vervollständigen, und zwar um so mehr, als sie durch die wiederholten neueren Versuche bestätigt sind.

Die Fruchthälter der Marsilien öffnen sich sehr schwer und zumal die von *M. salvatrix* haben sich bisher selbst nach wochenlangem Liegen in Wasser niemals von selber aufgethan; vielmehr hat es dazu stets einer Nachhülfe bedurft, um das Eindringen des Wassers durch die stark verholzte und ausnehmend harte Schale zu vermitteln. Macht man zu dem Zweck an der Bauchkante der Fruchthälter einen kleinen Ausschnitt, nicht tiefer als eben durch die hol-

zwar in sehr grosser Menge, oft ganze Flächen dicht überziehend vorkommen, wo sie vermuthlich zur Zeit der Befruchtung unter Wasser, während der Fruchtbildung dagegen trocken und zugänglich stehen. Der reiche Gehalt an Stärke, Schleim, Protein und Oel macht die Nahrhaftigkeit der Früchte erklärlich. Einige derselben sind von Al. Braun schon im vorigen Jahre (vgl. Monatsberichte der Berliner Akademie 1863, S. 413) beschrieben und neuerdings (vgl. a. a. O. 1864 Sitzung v. 3. November) nach erneuten Culturversuchen und Zusendungen getrockneten Materials revidirt, und durch noch andere abweichende vermehrt worden. Eine durch ausnehmend lange Fruchtsiele ausgezeichnete Art (*M. elata*) ist aus einer in diesem Frühjahr im hiesigen Universitätsgarten ausgeführten Aussaat in grosser Menge erwachsen. Acht Aussaaten, die ich vom Juli 1863 bis März 1864 in meinem Zimmer gemacht habe, lieferten das Material zu den vorliegenden Beobachtungen, und bestanden mit Ausnahme der letzten, die vermuthlich auch *M. elata* war, vorzugsweise in Früchten von *M. salvatrix* und einigen von *M. Drummondii*. Diese sowohl wie andere vom Herrn Prof. A. Braun gemachte Aussaaten lieferten die jetzt in unseren botanischen Gärten hier reichlich fructificirenden Exemplare dieser Arten. Sogar in meinem Zimmer haben sich Pflanzen von *M. Drummondii*, im vorigen Sommer erzogen, in diesem Jahre dicht mit Früchten bedeckt. Es bleibt übrigens noch zweifelhaft, ob die uns zugegangenen Früchte nicht noch andere Arten bergen, was erst durch fernere Culturen festgestellt werden wird. Für die Beobachtung der Entwicklungsgeschichte ist es jedoch unerheblich, ob etwa unter den genannten Arten sich auch Keime noch anderer befänden, da die Entwicklung so übereinstimmend erscheint, dass die Keime bisher nicht immer genügend erkannt und sicher benannt werden konnten.

zige Schale hindurch, so dass der hellgelbe Inhalt an einer Stelle sichthar wird, so dringt das Wasser ein und bewirkt das Oeffnen des Fruchthalters in einer Viertel- bis halben Stunde, im günstigen Fall schon in einigen Minuten. Schon in den Jahren 1834 u. 35 hatte A. Braun¹⁾ beobachtet, dass beim Oeffnen der Klappen der Früchte von *M. pubescens* (welche er schon damals als Theil des Blattes erkannte) die Sporenschläuche oder Sori mittelst eines gallertartigen wurmförmigen Körpers hervorgestreckt werden. Esprit Fabre²⁾ hatte unabhängig davon zu gleicher Zeit ausführliche Beobachtungen über die Keimung derselben Pflanze gemacht, und den eigenthümlichen Sorenträger in Ringgestalt hervorquellen und sich dann auseinanderthun sehen und schildert den ganzen Apparat, so weit die Loupe reichte, möglichst genau.

Es liegt nämlich im Inneren der Fruchtschale rings um den Umfang³⁾ derselben ein knorpeliges Zellgewebe, welches einen geschlossenen Ring bildet, dessen Zellen im Ruhezustand der Frucht mit vielfach gefalteten Wänden eine eng zusammengepresste Masse darstellen und einen farblosen Stoff der Cellulose-Gruppe enthalten, der durch Wasser zu einem klaren structurlosen Schleim aufquillt, welcher die Zellen, in denen er liegt, aufbläht und das ganze Gewebe zur Entfaltung bringt. (Siehe a. a. O. Fig. 23—25.)

Legt man mithin eine in erwähnter Weise gekerbte Frucht in Wasser, so bringt dies zunächst durch Aufquellen des vorderen Halbringes dieses Gewebes die Fruchtklappen zum Klaffen (Fig. 4), gelangt so zum hinteren Halbring, der an sich massiger, viel stärker aufschwillt, sich herausstreckt (Fig. 5, 6) und die Sori, die ursprünglich zwischen beiden Halbringen ausgespannt sind, schliesslich vom vorderen abreisst und dadurch zugleich öffnet (a. a. O. Fig. 7). Bei völliger Ruhe des Vorganges tritt stets der vollständige Ring in die Erscheinung (Fig. 7) und bleibt oft Tage lang unverletzt, so dass dieser die normale Gestaltung des gallertartigen Sorenträgers ist.

1) A. Braun, Flora 1839, p. 298. Abgebildet in der Exploration scientifique d'Algérie, Bot. pl. 38 f. 21—32.

2) Esprit Fabre, Sur la structure etc. de *Marsilia*, mitgetheilt von F. Dunal, Annales d. sc. nat. 1837. S. II T. VII p. 221—232, pl. 12, 13.

3) Ich verweise hier auf die oben erwähnte ausführliche Darstellung dieser Structurverhältnisse (Monatsberichte u. s. w.) und auf die dort gegebenen Abbildungen, als Vervollständigung zu den hier gegebenen, da eine Wiederholung des Wichtigen davon hier nicht statthaft war, weil schon auf dem verwendbaren Raum von der zur Veranschaulichung wohl erforderlichen grösseren Zahl von Abbildungen nur die nothwendigste Auswahl mitgetheilt werden konnte.

Durch zu gewaltsames Sprengen der Fruchtklappen jedoch zerreißt er leicht an der schwächeren Vorderseite und bildet dann die häufiger beobachtete Wurmgestalt (Fig. 2). Zuerst wächst der Gallertring schnell, aber noch stundenlang fährt er später langsam sich zu dehnen fort, und erreichte in den von mir beobachteten Fällen zuletzt, etwa in höchstens einem halben Tage, einen Umfang von 80—120^{mm}, so dass er sein ursprüngliches Volumen um mehrere Hundert Mal übertrifft. Im warmen Wasser geschieht das Quellen und Öffnen der Früchte etwas schneller und der Ring scheint etwas grösser zu werden ¹⁾ (a. a. O. Fig. 2, 7).

Während das Wasser Zutritt in das Innere der Soren ²⁾ gewinnt, quellen die Schleimhüllen der beiderlei Sporen und drängen dieselben aus der beim Abreissen vorn entstandenen Mündung der Fruchtschläuche hervor, die Reste der Sporangien selbst meist im Inneren zurücklassend. Einzelne Sporen kommen zuweilen schon zeitig hervor; in einem Fall sah ich die ersten schon etwa 6 Stunden nach der Aussaat des Fruchtbehälters (d. h. nach dessen Kerben und Einlegen in Wasser) erscheinen. Durchschnittlich fand das Austreten der Mehrzahl etwa 12—18 Stunden nach der Aussaat statt. Die letzten Sporen, besonders männliche, bleiben oft ganz und gar in den Sorenhüllen (Indusien) eingeschlossen. Gelangen die Mikrosporen schnell genug heraus, und lässt man das Gefäss, in dem der Gallertring sich ausgebreitet hat, unbewegt stehen, so sieht man dieselben sich gruppenweis an der Oberfläche des Wassers oberhalb der Sorenmündungen sammeln, wo sie so lange schwimmend verharren, als ihre Gallertsphäre noch nicht aufgelöst ist. Dann sinken sie zu Boden, auf dem auch die Mehrzahl der Makrosporen sich lagert, und der stellenweis von beiden dicht bedeckt erscheint.

Die Entwicklung im Inneren der Sporen ³⁾ beginnt wenige Stunden nach der Aussaat. In der fünften Stunde fand ich sie schon in

1) Jene erste von mir untersuchte Frucht entfaltete ihren Inhalt und entwickelte Vorkerne, obwohl sie $\frac{1}{4}$ Stunde lang gekocht war. Siehe a. a. O.

2) Das jetzt fischrogenartige Aussehen der Soren veranlasst Dunal bei Besprechung der Beobachtungen von E. Fabre auf die zugleich stattfindende Aehnlichkeit der freien Sporenbefruchtung dieser Wasserpflanzen mit der Befruchtung des Fisch- und Froschleichts hinzuweisen. (Ann. sc. nat 1837, 230.)

3) Das Folgende ist im Auszug mitgetheilt in den Monatsberichten der Berliner Akademie 1864. S. 576 (Aug. 6.). Die Entwicklung und Bildung der Spermatozoiden, sowie die allgemeinen Erscheinungen der Keimung ist in der 38. Naturforscherversammlung zu Stettin, Bot. Sect., Sept. 22. 1864 mitgetheilt; vgl. „Amtlicher Bericht“ etc. S. 125.

den Mikrosporen in vollem Gange, und 14—18 Stunden genügten durchschnittlich zur vollständigen Ausbildung der Spermatozoiden. Die Makrosporen werden etwas später thätig.

1. Bildung der Spermatozoiden.

Die Entwicklung der beiderlei Sporangien und Sporen bis zu ihrer Reife sowie die Structur derselben sind schon länger bekannt¹⁾; nicht so die Erzeugung der befruchtenden Samenfäden aus denselben. Die Schwierigkeit, sich keimfähige Sporen der Marsiliaceen zu verschaffen, hat den Wunsch Nägeli's, des Entdeckers der Farren-Spermatozoiden überhaupt, für diese Familie selbst in fast 20 Jahren nicht in Erfüllung gehen lassen.

Die Mikrospore der Marsiliaceen wird ohne weitere Zwischenbildung selbst zum Antheridium. Schon C. Müller Hal.²⁾ hatte die Mikrosporen von *Pilularia* sich öffnen sehen und glaubt, dass sie befruchtenden Stoff durch die Schleinhülle der Makrosporen senden.

Nägeli³⁾ beobachtete das Aufbrechen der Mikrosporen oder Pollenkörner von *Pilularia* genauer. Das herausquellende Endosporium spricht er nach Schleiden'scher Anschauung zunächst für einen Pollenschlauch an, sieht jedoch die Zellen und Stärkekörner darin. Er sah dann die Mutterzellen der Samenfäden, diese selbst mit ihrem Zellanhang und den kleinen Stärkekörnchen in diesem. Er sah sie sich bewegen und frei werden, doch ertappte er sie nicht beim Ausbrechen aus den Mikrosporen noch beim Eindringen in das Archegonium, obwohl er jenes vermuthete und ihre befruchtende Function als wahrscheinlich nachwies.

Hofmeister⁴⁾ beobachtete, bei derselben Pflanze, wie die Mutterzellen der Samenfäden aus der Mikrospore austreten und erblickte

1) Vgl. Bischoff, Die cryptog. Gewächse p. 63 etc., Rhizocarpeen. — Mettenius, Beiträge zur Kenntniss der Rhizocarpeen, Frankf. 1846; Beiträge zur Botanik 1850. — Hofmeister, Vgl. Untersuchungen über Keimung der höheren Cryptogamen etc. Leipzig 1851, p. 107 etc. T. 22 f. 22—31. — Nägeli, Fortpflanzung der Rhizocarpeen in Schleiden u. Nägeli's Zeitschr. f. wiss. Bot., Hft. 3 u. 4 p. 293 und a. a. O. — Vgl. auch Hanstein, Monatsber. d. Berl. Akad. 1862, p. 103 u. s. w., Fig. 8. 9. 13. 15.

2) C. Müller (Hal.), Flora 1840, II. S. 35 Tf. 1. — Botanische Zeitung 1847, S. 774 etc.

3) Nägeli a. a. O. S. 199 etc.

4) Hofmeister, Vergl. Untersuchungen S. 105 Tf. 21 F. 7; Beiträge zur Kenntniss d. Gefäss-Kryptogamen II. S. 680 Tf. 13 F. 33—38

einen im Archegoniumhalse steckend. Von den männlichen Sporen von *Marsilia* war bisher noch nichts Aehnliches bekannt. Die Entwicklung der Befruchtungsorgane dieser Gattung geschieht allerdings auch mit solcher Schnelligkeit, dass bei einmaligem Versuch einem leicht die wichtigsten Vorgänge entgehen können. Bei wiederholter Beobachtung gewinnt man jedoch leicht ein vollständiges Bild davon.

In allen farnenartigen Pflanzen bietet die Ermittlung der Entstehung der Spermatozoiden und ihrer Zellen wegen der oft geringen Durchsichtigkeit ihrer Behältnisse Schwierigkeiten. Auch bei *Marsilia* verhindert das dicke Exosporium der Mikrosporen eine directe Beobachtung.

Der Inhalt der reifen Mikrosporen besteht aus Stärkekörnern, die von schleimig körniger Proteinsubstanz, mit Oeltröpfchen vermischt, umgeben sind. Um die Stärkekörner erkennen zu lassen werden sie bisweilen schon in Glycerin, hin und wieder sogar schon in Wasser durchsichtig genug, und beim Zerdrücken tritt der gesammte Inhalt hervor (a. ob. a. O. Fig. 13 a). Auch nimmt man später schon auf diese Weise wahr, dass allmählich an die Stelle der Stärkekörner eine Ausfüllung mit rundlichen Zellen tritt. Um aber das Zustandekommen von diesen zu erkennen, ist eine grössere Durchsichtigkeit erforderlich, welche man jedoch durch Behandeln der Mikrosporen mit Kalilösung bewirken kann.

Schon etwa vier Stunden nach der Aussaat findet man den ganzen inneren Raum der kleinen Sporen von einem gleichmässigen Plasma erfüllt, während sich nur in einer nahe der Sporenhaut gelegenen Sphäre einzelne Stärkekörner unversehrt erhalten. Giebt man einen Tropfen Kalilösung von gewöhnlicher Concentration auf die Sporen, und lässt ihn eine Zeitlang einwirken, so findet man von jetzt ab, dass von vielen derselben die Exosporien plötzlich bersten, und die Endosporien unverletzt mit ihrem Inhalt austreten lassen. Ausserhalb runden sich dieselben schnell wieder ab, und schwimmen nun als durchsichtige rundliche Körper in der Flüssigkeit. Ersetzt man das Kali allmählich durch reines Wasser und dies durch Glycerin, so kann man die so gewonnenen Präparate aufbewahren. Das Plasma ist nun durch die Einwirkung des Kalis zu einer völlig klaren stark lichtbrechenden Gallerte aufgelöst, während rings um dieselbe die noch erhaltene frühere Inhaltsmasse eine wolkige Schicht bildet.

Nach $4\frac{1}{2}$ Stunden sah ich die Plasmamasse in 2 Halbkugeln getheilt, die durch eine scharfe aber durchaus einfache Begrenzungslinie von einander und von der umgebenden Inhaltsmasse geschie-

den waren. Die Umfangslinie ist nicht völlig glatt und regelmässig, offenbar durch den exosmotischen Einfluss des Kalis beeinträchtigt. (Taf. X Fig. 3.) Man kann sich deutlich überzeugen, dass keine Bildung zweier fertiger Zellen, sondern nur eine Theilung des Plasmas in zwei hemisphärische Hälften stattgefunden hat.

Diese Theilung wiederholt sich so schnell, dass ich um dieselbe angegebene Zeit mit den zweigetheilten auch schon viertheilige Plasmamassen (Fig. 4) austreten sah, bei denen eine zweite Theilungsebene senkrecht durch die erste entstanden war. In diesen Fällen ist dann die frühere Trennungsebene jetzt bisweilen zu einer breiteren Furche erweitert.

Etwa zwei Stunden später hatte eine dritte Theilung abermals senkrecht auf die beiden früheren stattgehabt und die Plasmamasse war in regelmässig gelagerte Kugel-Achtel zerlegt, wie sie Fig. 5 noch innerhalb eines durchsichtig gewordenen Exosporiums in unveränderter Lage zeigt. Noch immer ist von Entwicklung einer Zellwand nichts wahrzunehmen.

Jetzt setzt sich die fernere Theilung in den einzelnen Achteln derart fort, dass jeder sich durch geneigte Trennungsflächen in vier Plasmaportionen zerlegt, die in tetraëdrischer Anordnung zu einander gelagert sind. Schon 10 bis 11 Stunden nach der Aussaat fand ich nicht allein diesen Process gänzlich vollendet, sondern es zeigten sich auch nun die entstandenen 32 Plasmaportionen von deutlichen Zellhäuten, durch doppelte Conture alsbald kenntlich, umgeben.

Um diese Zeit, nahe vor der völligen Vollendung der Spermatozoiden, gelingt das Austreiben der Endosporien aus ihren Sporen vorzüglich gut, und die im Wasser schwimmenden glashellen Kugeln, die in ihrem Inneren 32 kleine kugelähnliche ebenfalls völlig durchsichtige Zellehen in ganz regelmässiger Anordnung zeigen, gewähren einen überraschend zierlichen Anblick. Das Kali löst freilich den gesammten Plasmahalt der Zellen zu klarer Flüssigkeit auf, so dass man über dessen Natur auf diese Art nichts erfährt; um so deutlicher jedoch wird das Gesetz der Theilung und Anordnung.

Fig. 7 (Taf. X) zeigt ein solches Endosporium, von seinem Exosporium zum kleinen Theil noch bedeckt und zwar *a* in oberer, *b* in tieferer Einstellung des Mikroskopes abgebildet, so dass man dort die obere Halbkugel, hier die untere zu Gesicht bekommt, deren jede 4 regelmässig wie die Kugeloctanten gelagerte Zellgruppen von je vier tetraëdrisch geordneten Zellen enthält. Fig. 8 zeigt ein an-

deres Endosporium mit so viel seiner Inhaltscellen, als man bei Beschauung von oben und nur unbedeutender Accommodation des Mikroskops, ziemlich auf einmal, überblicken kann; es sind deren 24. In Fig. 9 sind einige Vierlingsgruppen isolirt dargestellt. Diese 32 Zellen sind die Mutterzellen der Spermatozoiden.

Wir haben hier mithin das Beispiel einer Plasmatheilung von seltener Regelmässigkeit, welcher die Gattung *Marsilia* in interessanter Weise unter den näheren und fernerer Verwandten auszeichnet. Es ist keine wiederholte Theilung succedan auftretender vollendeter Zellgenerationen, sondern eine Zerlegung des gesammten Plasmas in gleichwerthige Theile, die dann alle zugleich zur ersten fertigen Generation werden.

Pringsheim sah den Inhalt jeder Antheridienzelle von *Salvinia natans* sich in 4 Portionen theilen¹⁾, deren jede sich beim Austreten des Ganzen in ein Spermatozoid umwandelte. Hofmeister sah die kleinen Sporen von *Isoëtes* in sich durch Theilung des „Primordialschlauches“ je 2 bis 4 Tochterzellen — die Spiralfaden-Mutterzellen — bilden²⁾. Schacht³⁾ „glaubt beobachtet zu haben“, dass diese Zellen bei den Polypodiaceen zu je viere in einer Mutterzelle im Inneren des Antheridiums entstehen, das im Ganzen eine unbestimmte Zahl derselben entlässt. Auch in seiner neuesten Schrift hierüber⁴⁾ giebt er eine nähere Entstehungsweise nicht an, und sonst wird von allen übrigen Beobachtern nur berichtet, dass sich die Spermatozoid-Mutterzellen in unbestimmter Zahl in den Antheridien der Farne (im weitesten Sinne des Namens) entwickeln. Im Gebiet des Fortpflanzungsprocesses der Algen kommen jedoch mehr oder weniger ähnliche Theilungen des plastischen Inhalts von Mutterzellen zu zahlreichen regelmässig angeordneten Zellkörpern vor, die dann alle zugleich zu Zellen werden.

Ueber die Entstehung des Spermatozoids selbst in seiner Mutterzelle geben nun allein die wenigen Fälle einigen Aufschluss, in denen Glycerin oder Wasser das Exosporium genügend durchsichtig machen. Man erblickt dann (X, 6) die Mutterzellen klar und durchsichtig innerhalb einer peripherischen Schicht, in der einzelne Stärkekörner liegen (X, 6, 11, am). In jeder Mutterzelle ist

1) Pringsheim, Zur Morphologie der *Salvinia natans*, Jahrb. f. wiss. Bot. III S. 511.

2) Hofmeister, Beiträge zur Kenntniss der Gefäss-Kryptogamen I, S. 129.

3) Schacht, Anatomie und Physiologie II, S. 261.

4) Schacht, die Spermatozoiden im Pflanzenreiche. Braunschw 1864.

ein rundlicher körnig-massiger Körper so gelagert, dass die vier Körper von je vier tetraëdrisch vereinten Zellen gegen einander gekehrt sind, wie dies der abgebildete Fall von den 16 oberen Zellen einer Mikrospore, deren Inhalt fast reif ist, sichtbar macht. Der Vergleich mit den ganz reifen Spermatozoid-Zellen, wie sie austreten, lehrt, dass diese kugeligen Körper die entstehenden Spermatozoiden selbst sind, die, da sonst ein dichter Körper in den Zellen nicht wahrnehmbar ist, die Zellkerne in sich bergen mögen. (Freilich bleibt dann die Bedeutung der kernähnlichen Körperchen in den mit Kali behandelten Zellen (Fig. 9) zweifelhaft.) Ein Spermatozoid noch in seiner Mutterzelle eingeschlossen mit Jod getödtet ist Fig. 18 abgebildet.

Im günstigen Fall kann man sehen, dass ausser den 32 Zellen, ringsum in der Umgebung derselben, noch andere verschieden grosse und verschieden gestaltete Zellen zur Entwicklung gelangt sind, die mehr oder weniger von den übrig gelassenen Stärkekörnern einschliessen; vermuthlich Bildungen aus dem Ueberschuss des Plasmas ohne ersichtlichen Zweck. Beim Zerdrücken fast reifer oder dem freiwilligen Oeffnen reifer Mikrosporen erblickt man sie oft in grösserer Zahl, und nach dem Ausschwärmen finden sie sich in dem Endosporium zurückgelassen (I, 10, 12 anz.).

2. Das Ausschwärmen.

In einem Fall sah ich das Aufbrechen der Mikrosporen schon in der 17. Stunde beginnen (Fig. 11). Sonst trat es im Mittel 18—20 Stunden nach der Aussaat ein, d. h. einige Zeit vor der vollendeten Empfängnissreife der Vorkeime. Man sieht nun das Exosporium in seinen natürlichen Kanten klappig aufspringen und die Innenhaut hervorquellen oder ganz heraustreten und sich wieder zur Kugel abrunden¹⁾ (I, 10, 11). Schon wirbeln darin die Schraubenfäden lebhaft umher, theils noch eingeschlossen, theils aus den Mutterzellen schon ausgeschlüpft, nachdem diese aus ihrer Ordnung gebracht sind. Sehr häufig durchbrechen sie das Endosporium, bevor es ganz herausgetreten ist, was dann oft überhaupt nicht mehr geschieht. Dabei werden häufig leere und noch vollè Mutterzellen zugleich mit freien Schwärmern entleert. Zuweilen sieht man auch die gesammten 32 Zellen noch in ungestörter regelmässiger Anordnung aus der Sporen-

1) Als „wasserhelle Bläschen“ von *Pilularia* schon von Mettenius bemerkt, *Rhizocarpeen* S. 36, ohne dass sie sich entleert hätten.

haut treten, und dann wohl erst in zwei Halbgruppen zu 16 zerfallen, bevor nun ein rapides Ausschwärmen beginnt. Bald befreien sich alle Spermatozoiden schnell nach einander, so dass binnen wenigen Sekunden sämtliche Mutterzellen entleert und in Ruhe sind, bald ringen einzelne lange nach ihrer Befreiung, und setzen dabei die benachbarten Zellen noch mit in Bewegung. Wie sie die Zellwand ihrer Mutterzelle durchbrechen, ist bei der Schnelligkeit der ganzen Action nicht deutlich zu sehen: jetzt schwingt der Schraubenfaden noch im Inneren und jetzt ist er draussen und schiesst pfeilgeschwind aus dem Gesichtsfeld, die leere und sich alsbald, oft ohne sichtbaren Riss wieder abrundende Mutterzelle (Fig. 13) zurücklassend. Auch an den Endosporien ist oft die Oeffnung, aus der das Austreten stattgefunden, kaum mehr aufzufinden. Sie bleiben endlich, noch einen Rest unverbrauchter Stärkekörner und anderer Inhaltsstoffe, auch wohl noch einzelne nicht zur Freiheit gelangte und noch matt wirbelnde oder zur Ruhe gekommene Spermatozoiden enthaltend, mehr oder weniger zusammengefallen zurück (I. 12).

So lange die Spermatozoiden noch in ihren Mutterzellen eingeschlossen sind, erkennt man von ihrer Bildung nichts weiter, als einen eng gewundenen Schraubenfaden und ein Häufchen rundlicher Körner dahinter, welche mit jenem in immer lebhaftere Drehung gerathen. Ins Freie gelangt zeigen diese Körper nun eine sehr eigenartige Bildung (Fig. 14). Der feine fadenartige Theil derselben hat 12—13 Windungen, deren vordere völlig die Gestalt eines Korkziehers besitzen und in eine sehr feine Spitze auslaufen, deren mittlere und hintere mit sehr langen zahlreichen Wimpern besetzt sind, und deren letzte Windungen sich plötzlich erweitern, etwas verdicken und so in eine verhältnissmässig grosse kugelförmige Zelle übergehen, die in klarer Flüssigkeit eine grosse Zahl kleiner rundlicher Stärkekörnchen enthält. Die Windungen sind nicht immer gleich gedreht, der Mehrzahl nach scheinen sie jedoch rechtsdrehend zu sein¹⁾.

In Rücksicht auf die Bedeutung dieser Zelle ist der hier so klar und übersichtlich verlaufende Vorgang des Ausschwärmens besonders instructiv. Bekanntlich sind bisher die verschieden gestalteten Anhänge der Spermatozoiden bei den farnenartigen Gewächsen meist als Reste ihrer Mutterzellen oder als diese selbst angesprochen, ob-

1) Bei der Zeichnung mittelst des Prismas erhält man Spiegelbilder, also Rechts- und Linksdrehung vertauscht.

wohl schon Thuret¹⁾ dieselben bei den Polypodiaceen und Equisetaceen als Theil des Schwärmfadens selbst auffasst. Bei *Marsilia* sieht man deutlich aus der frei im Wasser liegenden Mutterzelle sich den Schraubenfaden, eine besondere Zelle nachschleppend, herausarbeiten. Jene bleibt ihres ganzen Inhalts beraubt leer zurück (I, 11, 13), diese aber, den Mutterzelleninhalt mit fortführend, ist ein integrierender Theil des Spermatozoids selbst, eine selbständige Tochterzellenbildung. Das Verhältniss beider Gebilde ist hier so durchsichtig, dass man nicht allein keinen Augenblick über seine Deutung für den vorliegenden Fall in Zweifel bleiben kann, sondern von ihm aus die Erscheinungen in den verwandten Familien analog erklären muss. Und so war es mir sehr erfreulich, die hier gewonnene, von der sonst geltenden abweichende Anschauung durch die neuerdings veröffentlichten vortrefflichen Beobachtungen Schacht's, — die leider zu seinen letzten gehören. — auf's Allgemeinste bestätigt zu sehen, indem er auch an den von der gewöhnlichen Zellform viel mehr abweichenden Spermatozoiden die Zellnatur erkennt und deutlich nachweist. Die Marsiliaceen gerade waren ihm nicht zugänglich gewesen.

Die Elasticität der Umrisse, und die damit zusammenhängende Wandelbarkeit der Gestalt, die Schacht zumal an den Samenfäden von *Equisetum* beobachtet hat, ist in gleichem Maasse denen von *Marsilia* nicht eigen. Nicht allein ihr Schraubenfaden bewahrt seine Gestalt, bis zuletzt, wo er sie dann in den letzten heftigen Schwingungen oft vielfach verändert, sondern auch die kugelige Zelle verharret in dieser Form.

Wie die letzte Windung der Schraube in die Zelle selbst übergeht, war mir bei der ausnehmenden Feinheit des Gegenstandes klar zu sehen nicht möglich geworden. Es schien oft, als legte sie sich ins Innere derselben hinein. Jetzt halte ich jedoch mit Schacht dafür, dass sich hier wie bei den anderen Verwandten der Faden unmittelbar zu dem grösseren Zellraum erweitert, und mithin die Höhlung des letzten in den fadenförmigen Theil, so fein dieser auch sei, fortsetzt, zumal da sonst an einem einfachen und soliden Fadenkörper schon die starke und selbständige Vitalität, die derselbe hier beweist, dem Verständniss schwer fallen muss.

Eine Zellhaut aus Zellstoff lässt sich freilich hier so wenig wie in den von Schacht untersuchten Fällen nachweisen. Der

1) Thuret, Recherches sur les anthéridies des Cryptogames, Ann. d. sc. nat. S. III T. 16 p. 22 u. 30.

Schraubenfaden wird durch Jod¹⁾ nebst seinen Wimpern gelbbraun gefärbt und die Zellkugel zeigt bei ihrer grossen Feinheit um so weniger eine recht deutliche Färbung, als die Stärkekörnchen bald stark gebläut erscheinen, und also benachbarte schwächere Färbungen für die Wahrnehmbarkeit unterdrücken. Aber dennoch ist die zarte Wand der Schwärmzelle so scharf gezeichnet und so widerstandsfähig, dass sie als wirklich feste von dem dünnflüssigen Saft im Inneren geschiedene Membran leicht zu erkennen ist. Ich kann sie daher nicht mit Schacht eine Plasma-Hülle nennen. Denn „Plasma“ bedeutet einen formbaren, nicht festen Stoff, der noch in verschiedene Gestalt gebracht werden kann, und erst zur Bildung von wirklich gestalteten Dingen bestimmt ist. Man darf unter dieser Benennung, die man jetzt mehrfach in zu ausgedehnter Weise gebraucht, nur die schleimig-körnigen im Ganzen noch formlosen Inhaltsmassen der Zellen und Zellgewebe verstehen, die zum Verbrauch für die Neubildungen vorbereitet sind, gleichviel, ob sie nur aus Proteinsubstanz bestehen, oder auch Amyloidstoffe einschliessen. Aber schon gestaltete Membranen sind kein Plasma mehr und die — vielleicht doch nur scheinbare — Zellstofflosigkeit derselben ist kein Grund dafür, sie so zu nennen. Die Spermatozoiden der Marsilia besitzen unzweifelhaft, und sicher eben so alle anderen, eine, wenn auch noch so elastische, so doch gestaltete und von dem Inhalt differente Membran, — mag man diese nun als Primordialschlauch ansprechen wollen, oder sie vielleicht besser, da sie ja für diese Organe sowohl die letzte als erste Haut ist, einfach „Proteinhaut“ nennen, — und sind eben auch nur desshalb fertige und genügend individualisirte Zellen¹⁾. Wirkliche nackte Plasmaklumpchen aber sind nur Zellanfänge.

Die Spermatozoiden der Marsilien sind, wie gesagt, nicht alle nach derselben Seite gewunden. Die Drehung scheint der Windung homodrom zu sein, obgleich dies bei der grossen Feinheit der Körper und Schnelligkeit ihrer Bewegung schwer genau zu erkennen ist. Nach der Befreiung aus ihren Mutterzellen schwimmen sie normal mit der Spitze voran. Die Wimpern sind dabei in einer zierlichen Curve nach oben gekrümmt, überragen zum Theil die Spitze, und wirbeln in dieser Richtung auf das schnellste. So sehen die Schwärmer fast spinnenähnlich aus. Fig. 14a (X) ist während der Bewegung gezeichnet, 14b — e mit Hülfe des Prismas nachdem sie zur Ruhe

1) Ich erinnere an Pringsheims Beobachtungen an den Algen-Schwärmsporen, und seine Ansicht über ihre Membranbildung in seinen „Untersuchungen über Bau und Bildung der Pflanzenzelle“ S. 68 u. s. w.

gekommen. Ein Zusatz von Glycerin zum Wasser lässt ihre Bewegung aufhören, und zwar, wenn er nur schwach ist, nicht plötzlich. Sie halten sich darin sehr gut in unveränderter Stellung. Durch Jod getödtet spreizen sie ihre Wimpern nach allen Seiten lang von sich und verharren so (X, 16, b, e). Während des Schwimmens sind die Stärkekörnchen natürlich mit der Zelle in schneller Rotation begriffen, wobei sie sich bald mehr im Grunde, bald mehr in der Nähe der Schraube, bald gleichmässig durch den Zellraum vertheilt halten (14, a, b, d, e).

Die zahlreichen Windungen der Schraube, die entsprechend vielen langen Wimpern, das grosse kugelige mit reichlichem Stärkevorrath ausgestattete Hintertheil unterscheiden diese Spermatozoiden sehr auffallend von denen der Polypodiaceen, Equiseten, Lycopodiaceen und Isoëteen und auch noch erheblich von den nächstverwandten der Gattung *Pilularia*.

Ihr seltsamster Theil ist eben dies Stärkesäckchen an ihrem Ende, und es ist schwer, sich seine Bedeutung zu denken. Dient der Amylum-Vorrath, um einen vielleicht zur Bewegung erforderlichen materiellen Aufwand zu decken, und dieselbe somit im Gange zu halten? Und warum kann derselbe dann gerade vor der Hauptaction abgethan und bei dieser entbehrt werden? Denn bei dem Archegonium erscheint das Spermatozoid meist ohne seinen Stärkeanhang.

Die schnell dahineilenden Körperchen suchen ihren Weg meist geradlinig fortzusetzen. Von allen Seiten werden die Makrosporen von den Schwärmern angelaufen. Die meisten treffen nicht auf den trichterförmigen Eingang in die Schleinhülle der Makrospore, sondern auf die Oberfläche dieser selbst. Der Schleim ist jedoch um die Zeit im Wasser schon so weit erweicht und aufgequollen, dass er ihren Lauf wohl verzögert, aber nicht unterbricht. Mit dem Stärkesack jedoch kommt das Spermatozoid nicht mehr recht vorwärts. Das Wirbeln scheint sich zu beschleunigen, und mit ausserordentlicher Schnelligkeit rotirt es um seine Axe, um desselben los zu werden. Endlich gelingt es, einige lebhaftere Schwingungen lösen den Schraubenfaden, und schneller eilt er wieder vorwärts; der Verlust des Anhangs mindert seine Thätigkeit in keiner Weise. Dieser selbst aber fällt mit seinem Inhalt bald mehr oder weniger zu einem unregelmässigen Klümpchen zusammen, das sich noch viele Tage lang im Schleim unverändert erhält (X, 19).

Nur wenige nehmen auf bequemerem Weg die Endzelle bis zur

Empfängnißöffnung mit. wie ich deren zur Ruhe gekommen dort gefunden habe.

Dass sich der Inhalt während der Wanderung des Spermatozoids verändert oder vermindert hätte, ist mir nicht ersichtlich geworden, obwohl dies schwer zu entscheiden bleibt, da es ja nicht leicht gelingt, ein und dasselbe auf seiner ganzen langen Reise ununterbrochen zu verfolgen.

Den befreiten Schraubenfaden sieht man nun in verschiedener Weise sich weiter bewegen, bald normal mit der Spitze voran, und dann sehr schnell, bald umgekehrt mit den letzten breiten Windungen voran, und dann zwar eben so schnell rotirend, aber nur sehr langsam aus der Stelle kommend (X, 15, a, b). In jenem Fall bleiben die Wimpern über der Spitze einander zugeneigt, im letzten rudern sie oft mehr gespreizt. So durchdringen sie nach und nach die Schleinhülle und gelangen in den Trichter, um sich ihrem Ziele zu nähern.

Nicht allen jedoch gelingt es, von ihrem Anhang los zu kommen, oder, wenn auch dies noch geschehen, sich durch den Schleim zu arbeiten. Viele sieht man schliesslich darin in wunderlich auseinander-gereckter und mannigfach verrenkter Gestalt zur Ruhe gekommen liegen (X, 17, a—c).

In Bezug auf das Verhalten der Spermatozoiden finden zwischen den verschiedenen Keimungsversuchen gewisse allgemeinere Unterschiede statt. Nicht allein, dass schon beim Ausschwärmen, bald mehr die ganzen Mutterzellen entlassen wurden, bald sich die Schwärmer schon während des Austritts des Endosporiums befreiten, so liessen sie auch bisweilen ihre Stärkesäcke in grösserer Zahl schon zeitig fahren, noch ehe sie in den Schleim kamen; auch herrschte zuletzt bald mehr das Schwärmen mit der Spitze voran, bald das umgekehrte vor. Es mag dies mit der verschiedenen Kräftigkeit der ganzen Generation zusammenhängen, wie sich ja auch zuweilen ein grosser Theil der Sporen eines oder des anderen Geschlechts ganz und gar unreif und nicht entwicklungsfähig zeigte.

Das Schwärmen dauert stundenlang; noch 6 Stunden nach Beginn des Ausschwärmens habe ich sie öfter in Bewegung gesehen. Wie lange aber das einzelne schwärmt, habe ich nicht ermitteln können, da die Mikrosporen nur nach und nach zur Entwicklung kommen. In einem Falle sah ich sogar ein Spermatozoid noch drei volle Tage nach dem Aufbrechen der ersten Mikrosporen in Bewegung. Es scheint dies besonders vorzukommen, wenn viel nicht oder man-

gelhaft ausgebildete Mikrosporen dabei sind, deren manche erst allmählich noch nachreifen.

Nach und nach sammeln sich sehr bedeutende Mengen von Schwärmen in den Schleimbülsen und Trichtern der Makrosporen. Sowohl die zurückgelassenen Stärkesäckchen als die zur Ruhe gekommenen Schraubenfäden sieht man oft zu vielen Hunderten an der Oberfläche und im Schleim einer und derselben Makrospore haften¹⁾, so dass sie bei schwächerer Vergrösserung denselben fast undurchsichtig machen.

Nicht selten sieht man unter den schwärmenden Spermatozoiden Missgeburten, die irgendwie in ihrer Bildung abweichen. Z. B. sah ich einigemal solche, deren Sack doppelt so gross war, als gewöhnlich. Es scheint, dass diese aus einer Mutterzelle entstanden sind, die sich aus einer $\frac{1}{16}$ -Plasmaportion erzeugt hat, welche nicht zur letzten Theilung gelangt ist. Diese schwimmen meist nur träge, und scheinen es nicht weit mit ihrer Last zu bringen. Solche nicht normale Mutterzellen scheinen, auch in anderen Fällen, ganz unfruchtbar zu bleiben.

Was die hier so ausnehmend schnelle Bewegung betrifft, so ist über ihren Grund bei der grossen Kleinheit der sich bewegenden Körper schwer etwas mehr zu sagen, als dass die schlagenden Wimpern die Schraube und mittelst dieser die Anhangszelle in Rotation setzen, welche, der Vorwärtsrichtung der Schraube folgend, ein Hineinschrauben ins Wasser, d. h. Vorwärtsschwimmen bewirken muss. Dass aber dies Vorwärtsgen, und zumal das Schlagen der Wimpern, durch die bei ihrer Basis im Inneren der Schraube vorbeiziehenden Plasmaströme bewirkt werde²⁾, ist, angesichts der bedeutenden Energie dieser Erscheinung und der Feinheit des Schraubenfadens, hier gewiss nicht annehmbar, will man nicht bloss ein Räthsel mit einem anderen vertauschen. Wir kennen die innere Bewegungsursache noch nicht.

1) Ich bedaure, dass es der Raum nicht gestattet hat, von der unglaublichen Menge der Spermatozoiden, die in vielen Fällen bei einer einzelnen Makrospore sich versammeln, durch Abbildung eine Anschauung zu geben. doch bewahre ich wohlerhaltene Präparate davon. Rechnet man auf eine Frucht nur 15 Sori (es pflegten zwischen 15 u. 20 zu sein), auf den Sorus 50 Mikrosporangien und auf ein solches nur 50 Sporen zu je 32 Spermatozoiden, so giebt dies schon weit über eine Million von diesen, d. h. bei c. 100 Makrosporen (80—150) in der Frucht für jede derselben über 10,000 von jenen, woraus die Möglichkeit von Obigem erhellt, wenn auch viele verkümmern und zahllose sich verlaufen.

2) Vgl. Schacht a. a. O. S. 12.

Die Grösse der Spermatozoiden war in den verschiedenen Fällen nicht ganz übereinstimmend, etwa zwischen 0,015 und 0,030^{mm} schwankend. Ob hierin zugleich Artunterschiede liegen, wird sich erst später ermitteln lassen.

3. Entwicklung des Vorkeims.

Die weisse eiförmige Makrospore zeigt von ihrer Reife an auf dem Scheitel ein rundliches Wärzchen von gelblichröthlicher Farbe, aus dem, wie bekannt, der Vorkeim sich entwickelt. Derselbe ist im ausgebildeten Zustande ein fast kugeliger zelliger Körper, dessen Inneres von einer verhältnissmässig grossen Centralzelle eingenommen wird.

Mettenius¹⁾ schildert die Entstehung desselben bei *Pilularia*, und giebt im Allgemeinen nur an, dass bei der Gattung *Marsilia* dieselbe ebenso sei.

Vor ihm wird von Bischoff²⁾ und C. Müller³⁾ Keim und „Keimwulst“ (Vorkeim) noch nicht unterschieden, während Schleiden den ersten im letzten nach seiner Theorie entstehen sieht.

Mettenius nimmt an, dass das Endosporium (der „Embryosack“) sich zu einer hervorragenden Spitze ausdehne, auf welcher sich eine Zellschicht, der Keimwulst, entwickle, deren älteste Zellen die obersten sind, welche sich bei *Pilularia* durch ihre hervorragende Grösse und Gestalt von den folgenden unterscheiden, die sich abwärts bis zu der Stelle anreihen, wo die Auftreibung des Endosporiums beginnt und der dickere Theil des Exosporiums aufhört. Jene obersten Zellen, vier an der Zahl, scheinen ihn bloss bei *Pilularia* vorhanden. Der hervortretende Keimwulst lässt bei *Marsilia* das dicke Exosporium unregelmässig aufreissen. Bei dieser hat Mettenius auch den Plasmakörper im Sporenscheitel gesehen, der der Bildung des Vorkeims vorangeht.

Auch Nägeli⁴⁾ glaubte annehmen zu müssen, dass bei *Pilularia* der Keimwulst sich auf einer „Ausstülpung“ des „Embryosacks“ entwickle, und zwar aus einem oberen Kreis von 4 Zellen, die sich noch in je 2 theilen, und einer Mehrzahl unterer, die einen

1) Mettenius, Beiträge zur Kenntniss der Rhizocarpeen (1846) S. 33, 34. — Beiträge zur Botanik (1850) S. 5 etc. Tf. III F. 27 — 34.

2) Bischoff, Rhizocarpeen S. 78 etc.

3) C. Müller, Flora 1840, II, S. 35 Tf. 1. — Bot. Zeit. 1847, S. 774 etc.

4) Nägeli, Zeitschr. f. wiss. Bot. III, IV S. 192 u. s. w. Tf. IV.

starken Ring bilden, und zum Theil vom Exosporium bedeckt bleiben. Er glaubte ferner ebenfalls, dass der Keim selbst sich in der Spitze der Ausstülpung des Keimsacks, und zwar in der Höhlung des Keimwulstes bilde, ob er gleich den Keim theils frisch auf dem Scheitel desselben und abgestorben sogar noch etwas darüber richtig gesehen und in seinen Figuren 18 u. 19 abgebildet hat.

Hofmeister¹⁾ hat ebenfalls gesehen, dass im Scheitel der Makrosporen von *Pilularia* eine linsenförmige Plasmamasse erscheint, und sich später mit einer Membran bekleidet und zur Mutterzelle des Vorkeims wird. Ohne die Zwischenstufen der Bildung beobachtet zu haben, glaubt er, dass dieselbe sich wiederholt zweitheile, und dass eine von den so entstandenen 4 Zellen durch eine geneigte Scheidewand die centrale Zelle von sich abscheidet, die nun ihrerseits die 4 Zellen als Anfang des Archegoniums emporhebe, während sich von ihrer Basis tafelförmige Zellen abgliedern, welche aus sich alsdann die unteren und seitlichen Zellen des Vorkeims herzustellen haben.

Für *Marsilia quadrifolia* giebt er diese Entwicklung an: Die „Ausstülpung“ des Scheitels der grossen Spore werde durch eine Scheidewand von dem übrigen Raum derselben zu besonderer Zelle abgetrennt, und enthalte einen Zellkern. Dieser verschwinde und statt dessen erschienen zwei neue, worauf die Zelle sich senkrecht erst zweitheile, dann viertheile. Durch fortgesetzte Theilung entwickle sich der halbkugelige Vorkeim, aus einer Centralzelle, die von einer Doppel-Zellschicht getragen und von einer dreifachen bedeckt werde, bestehend. Die 4 Längsreihen, die den Scheitel der Centralzelle bedecken, weichen an ihren Berührungskanten auseinander, und lassen einen Gang zwischen sich entstehen²⁾.

Meine Beobachtungen an den neuholländischen Arten der Gattung haben dagegen zu den folgenden Ergebnissen geführt.

Das Vorkeim-Wärzchen der Makrospore ist beim Austreten derselben noch fest von dem Scheiteltheil des Exosporiums bedeckt, der, wenn auch bedeutend dünner als das übrige, dennoch wenig durchsichtig ist. Es ist demselben daher optisch schwer beizukommen, und zumal bei unverletzter Spore, die durch ihre Dicke eine Annäherung starker Linsensysteme nicht gestattet. Mit Schnitten kann man aber zunächst nichts ausrichten, da nicht allein der erste Plasmahügel, sondern auch noch der schon fast fertig angelegte Vor-

1) Hofmeister, Vergleichende Untersuchungen etc. S. 105, 107 Tf. XXI, XXII.

2) A. a. O. S. 107 Tf. XXII F. 22 — 31.

keim, bevor seine Zellen sich consolidirt haben, bei geringster Verletzung sofort zerfließt.

Es bleibt also nur übrig, von der Makrospore selbst so viel als möglich zu entfernen, und den am Rest derselben haftenden Vorkeimanfang in den ersten Stadien durch Glycerin, später durch Kalilösung, mit der man ihn wenige Minuten behandelt, möglichst durchsichtig zu machen, und von allen Seiten zu betrachten.

So findet man denn zuerst den linsenförmigen Raum der Scheitelwarze durch sehr feinkörniges orangefarbiges Plasma erfüllt, und allein dadurch von dem übrigen Sporenraum verschieden. Eine Membran trennt jenen von diesem noch nicht, wovon man sich sehr leicht durch die stets misslingenden Versuche überzeugen kann, die vermeintliche Scheitelzelle von dem übrigen Sporenhalt loszupräpariren. Bei dem geringsten Druck gegen die Makrospore werden einige der grossen Stärkekörner aus ihrem Inneren in das zarte Plasma des Scheitelraumes hineingetrieben, ohne dass von irgend einem Widerstand etwas zu merken wäre. Man kann dann durch das bedeckende Exosporium hindurch mehr oder weniger davon in der Plasmamasse eingebettet liegen sehen, wo sie leicht, ihrer Grösse gemäss, bald wie Zellkerne, bald wie schon angelegte Tochterzellen aussehen. Bei mehrfachem Eindringen derselben zergeht endlich das Plasma ganz, und verliert sich zwischen die Theile des Sporenhalts. Ich habe durch dergleichen eingedrungene Stärkekörner wiederholt Ansichten erhalten, die an junge aus Theilung hervorgegangene Zellbildungen erinnerten (X, 20).

Mit Schwefelsäure behandelt wird das Plasma sehr durchsichtig und zeigt in seinen Körnern dieselbe blaue Farbe, die durch dies Reagens dem noch unfertigen Chlorophyll mitgetheilt zu werden pflegt.

Erst mehrere Stunden nach der Aussaat ist eine fertig abgeschlossene Zelle im Scheitel der Makrospore nachweisbar. (Vielleicht ist es dies Stadium gewesen, in welchem auch Mettenius den Vorkeimanfang schon freigelegt hat.)¹⁾ Sechs Stunden nach derselben liess sich diese aus der Makrospore herauspräpariren (X, 29, a, b), und zeigte nun, mit Kalilösung behandelt, eine fertige Membran, stand jedoch mit ihrer Mutterzellhaut (mz), dem Endosporium der Spore, noch in Verbindung, indem sie an derselben ringsum anhaftend erschien (X, 29, a, b). Die Fig. b zeigt zugleich die Spur eines

1) Mettenius, Beitr. zur Bot. 1850, S. 7 Tf. III F. 34.

Zellkerns, während Fig. a eine erste beginnende Zertheilung des Plasmas wahrnehmen lässt. Der gesammte Inhalt erscheint bei dieser Behandlung zu einer völlig klaren gelblichen Flüssigkeit aufgequollen. Auch unter Glycerin erblickt man jetzt den Anfang einer Theilung.

Ebensowenig, wie ich Hofmeister's Darstellung der Vorkeimentwicklung von *Pilularia* und *Marsilia* bestätigt gefunden habe, eben so sehr erinnert mich der Vorgang, wie er bei letzterer tatsächlich stattfindet, an desselben Forschers Mittheilung über die entsprechende Bildung von *Isoëtes*¹⁾, deren Vorkeim sich nach ihm durch gleichzeitige Bildung von zahlreichen Zellen aus dem vorher getheilten Plasma entwickelt; nur dass bei *Marsilia* die Sache viel deutlicher zu sehen ist, vorausgesetzt dass man nicht durch versuchte Schnitte die Bildung zerstört hat.

Hier findet nämlich eine Theilung des gesammten Plasmas in der Art statt, dass sich eine grosse Centralmasse aussondert, die von einer peripherischen, nach oben stärkeren, nach unten schwächeren Schicht umgeben ist, welche sich darauf erst in grössere, dann allmählich in kleinere Plasmaportionen abtheilt, die um die Centralzelle eine einfache Lage bilden. F. 21, a giebt eine Mittelansicht eines in Glycerin durchsichtig gewordenen Vorkeimanfangs. 21, b die oberflächliche Ansicht desselben. 10 Stunden nach der Aussaat. Die Eintheilung zu Zellanfängen ist fast vollendet, aber von beginnenden Zellhäuten ist noch ebensowenig etwas wahrnehmbar, wie dies bei der Plasmatheilung in den Androsporen der Fall ist. Zellkerne konnte ich bei der Dichte des körnigen Plasmas nicht erkennen.

Wenig später, bis etwa 12 Stunden nach der Aussaat, umgiebt sich zuerst die Centralmasse mit einer Membran, und ist nun die Zelle, welche zur Keim-Mutterzelle bestimmt ist. Darauf erst folgen die peripherischen Plasmaportionen in Entwicklung ihrer Membranen. Doch schien es nicht, dass diese alle zugleich vollendet sind. Vielmehr lässt mich der Umstand, dass beim Freipräpariren derartiger junger Vorkeime öfter die unteren Zellen zergingen, während die oberen schon Widerstand leisteten, vermuthen, dass die den Gipfel des Vorkeims ausmachenden Zellen die ersten fertigen sind.

Der Plasma-Antheil, der unterhalb der Centralmasse zu liegen kommt, theilt sich durch Abgrenzungsflächen, die radial auf den

1) Beiträge u. s. w. 1, 1852, S. 126, Tf. II F. 1, 2.

Mittelpunkt der Grundfläche zulaufen, erst in grössere keilförmige, später in kleinere ungleiche Stücke ab, und bildet dem entsprechende Zellen (27, ba), während an den Seiten und in der oberen Wölbung mehr cuboidische Zellen entstehen (24, 26). Die Basalzellen schliessen oft nicht völlig unter der Mitte der Centralzellen zusammen, sondern keilen sich früher aus, so dass diese unmittelbar auf der Trennungswand zwischen Vorkeim und Sporenraum aufliegt. Auf dem Scheitel jedoch erkennt man bald 4 gleiche Zellen, die sich etwas über die Nachbarn erheben.

Etwa in der 12. und 13. Stunde nach der Aussaat vollzieht sich dieser Vorgang. Doch sieht man auch viel später noch Theile des Zellgewebes bei Berührung zerfliessen, oder die jungen Zellen von einander lassen, oder sich ihres Inhalts entledigen, und erst gegen die Reife des Vorkeims hin zieht sich der Plasmahalt aller einzelnen Zellen auf Einwirkung von Reagentien von der Wand zurück, und die Wände bilden mit einander ein haltbares Gewebe.

Eigenthümlich ist, dass die Inhaltsmasse der Centralzelle sich jetzt schon von ihrer ursprünglichen Haut löst und zu kleinerer Kugel zusammenzieht, und sich mit so fester Umgrenzungsfläche umgiebt, dass sie fast nun schon zwei durch einen Zwischenraum getrennte Häute zu haben scheint, wie Fig. 24 (X) von einem 13 Stunden alten Vorkeim zeigt. Dass die äussere Haut nicht bloss etwa durch die zusammenhängenden Wandflächen der Umfangszellen gebildet wird, zeigt erstlich die Ansicht dieser und der Fig. 23, und dann der Umstand, dass man die Centralzelle, von beiden Membranen umgeben, frei präpariren kann. Es ist mithin die kugelförmig gelöste und fest contourirte Masse der Anfang zur Keimzelle, das Keimkörperchen, wie Schacht das analoge Gebilde der Phanerogamen nennt, oder die Befruchtungskugel nach Pringsheim, d. h. die zukünftige Keimzelle, so weit sie durch das weibliche Organ vorgebildet wird (das Keimbläschen im Sinne von Mettenius)¹⁾. Ein solches Präparat zeigte mir die Zwischenräume zwischen beiden Conturen von farblosem Schleim erfüllt; eine gleiche Schleimhülle hat Pringsheim am Keimkörper von *Salvinia* beobachtet. Im Centrum des Plasmas erscheint mehr oder weniger deutlich ein Kern (X, 24, 28).

Hofmeister schildert die Bildung bei *Isoëtes*²⁾ analog, von

1) Mettenius, Beiträge S. 5 etc., Tf. III F. 26, 27.

2) Hofmeister, Beiträge I, S. 128, Tf. II, F. 4—6.

*Equisetum*¹⁾, den *Polypodiaceen*²⁾ und *Salvinia*³⁾) jedoch ganz abweichend, während Pringsheim⁴⁾ den Vorgang bei *Salvinia* eben so beobachtet hat.

Letzter hat nun ferner bei dieser Pflanze gesehen, wie sich im Gipfel der Centralzelle eine besondere kleine Zelle bildet, die sich kegelförmig erhebt, die unteren vier Zellen des Archegoniumhalses empor und auseinander treibt, sich beim Abwerfen der oberen Halszellen desselben oben öffnet, ihren Schleiminhalt austreten lässt und so einen offenen Kanal bis zum Scheitel der Befruchtungskugel oder des Keimkörpers herstellt.

Wie schon Pringsheim bei *Salvinia* nicht über alle Stadien dieser Entwicklung völlig ins Reine gekommen ist, so lässt sich bei der nicht genügenden Durchsichtigkeit des Vorkeims von *Marsilia* der entsprechende Vorgang noch weniger klar durchblicken.

Nachdem der ganze Vorkeim durch fertiges Zellgewebe angelegt ist, und während die seitlichen Zellen ebenfalls noch hin und wieder sich zu Zellen einer zweiten Generation in derselben Schicht theilen, erheben sich die 4 Scheitelzellen desselben deutlicher zu einem vortretenden Hügelchen, und theilen sich durch eine Scheidewand, die von der äusseren Wand gegen die gemeinschaftliche Berührungskante geneigt ist, in je 2 Zellen, eine obere und eine untere (X, 25, ♀). Der Hügel erhebt sich höher, das Plasma der vier oberen Zellen verschwindet bis auf wenige Körner, die in klarem Saft schwimmen, und der Halstheil des Archegoniums ist somit äusserlich vollendet. (X, 25, 26; vgl. auch XI, 8, 10, 11, 13.)

Während dieser Entwicklung sondert sich im Scheitel des Keimkörpers unmittelbar unter den vier unteren Halszellen eine linsenförmige Masse desselben ab, die gegen die Zeit der Empfängnisreife aus klarem Schleim besteht, und — in günstiger Ansicht — durch eine Doppellinie von dem übrigen körnigen undurchsichtigen Plasma geschieden ist (XI, 1, sl). Die Art der Entstehung dieses zellähnlichen Körpers, und ob er wirklich von einer festen Wand umgeben und durch solche von dem Keimkörper gesondert wird, ist mir bisher nicht festzustellen gelungen, obwohl Ansichten wie Fig. 28 (X) dafür sprechen, und zugleich wahrscheinlich machen, dass er eine Tochterzelle von demselben ist. In einem anderen mit Kali behandelten

1) Ebend. S. 172, Tf. XVII F. 7, 8, 10, 11.

2) Beiträge II 1857, S. 605, Tf. V F. 2, 3.

3) Ebend. S. 667, Tf. XIII F. 8 — 13.

4) Pringsheim, *Salvinia natans*, Jahrbücher etc. III S. 36 u. s. w., Tf. XVI.

Präparat war der Gipfel des Keimkörpers stark kegelförmig hervorgezogen, ohne jedoch schon eine Abgliederung zu zeigen. In mehreren Fällen zeigte der Keimkörper noch nach der Befruchtung einen napfförmigen Ausschnitt an der Spitze (XI, 8, 10). Dieser Schleimkörper ist somit das unzweifelhafte Aequivalent der Pringsheim'schen „Kanalzelle“ bei *Salvinia*, obgleich der Anspruch desselben, eine wirkliche Zelle zu sein, für *Marsilia* noch nicht festgestellt ist.

Dieser zellähnliche Körper tritt hier nicht, wie bei *Salvinia*, allmählich und zeitig zwischen die Halszellen hinein, vielmehr bleiben diese bis unmittelbar vor der Befruchtung selbst fest zusammengeschlossen, und zwar die vier unteren sowohl wie die vier oberen. Dass dann die ganze übrige kugelige Plasmamasse, dieselbe, die sich zuerst unter den Zellen des Vorkeims absonderte, zur Anlage des Keims wird, — wie zuerst Mettenius¹⁾ bestimmt für die Polypodiaceen, *Selaginella* und *Pilularia* ausgesprochen, und Pringsheim neuerdings, von *Salvinia* ausgehend, bestätigt hat, — ist hier so der unmittelbaren klaren Anschauung unterworfen, dass darüber nicht der geringste Zweifel bleiben kann. Und es findet dadurch die Hofmeister'sche Auffassung der Befruchtung und Entwicklung seines „Keimbläschens“, für welche er Geltung über alle Gefässkryptogamen beansprucht²⁾, durch *Marsilia* eine neue Beschränkung.

Während der Ausbildung des Vorkeims ist er nach und nach zum mehrfachen Volumen des ursprünglichen Gipfelwärtchens der Makrospore herangewachsen, hat das deckende Exosporium meist dreiklappig auseinander getrieben, und seinen Inhalt mit lebhaft grünen Chlorophyllkörnern erfüllt. Dass jedoch nun weiter nichts daraus wird, wenn man beiderlei Sporen getrennt hält, aber durch Hinzuthun der Mikrosporen eine Keimung auch noch nach einiger Zeit veranlasst wird, führt zum Beweise der Sexualität schon E. Fabre³⁾ an. Schon 16—18 Stunden nach der Aussaat ist der Vorkeim äußerlich erwachsen; 20—24 Stunden darnach pflegt die Befruchtung

1) Beiträge zur Botanik S. 22.

2) Hofmeister, Berichte der K. Sächs. Gesellsch. d. Wissensch. 1854, S. 54.

3) Annales d. sc. nat. 1837. S. 227, 229. Dagegen glaubt Debat noch im Jahre 1861, dass die ganze Makrospore gleich nach ihrer Vollendung durch den Inhalt ihrer 3 Schwesterzellen befruchtet wird, während es ihm sehr zweifelhaft ist, ob die — vielleicht ganz zwecklosen — Mikrosporen etwa noch später das Erzeugniss der Spore, das dann nur ein Vorkeim wäre, auch noch mit ihrem Inhalt befruchten müssen: Sur la formation de l'embryon dans le *Marsilia quadrifolia*: Ann. d. l. soc. Linnéenne de Lyon 1861. T. 8 p. 571 etc.

einzutreten, und zwar unabhängig von der Tageszeit, zu beliebiger Tag- oder Nachtstunde. Selbst um Mitternacht habe ich die Spermatozoiden schwärmen sehen.

4. Befruchtung.

Den Augenblick des Oeffnens der Archegoniummündung und des Einschlüpfens eines Spermatozoids abzapassen ist schwierig, da es keinerlei äusseres Vorzeichen dafür giebt, und die Undurchsichtigkeit des Vorkeims die inneren oft ganz verbirgt. Jedoch ist es mir geglückt, den Vorgang in seinen wesentlichen Momenten unter meinen Augen sich vollziehen zu sehen. Beim Durchmustern empfängnissreifer Sporen bemerkte ich unter dem Archegoniumhalse eine Bewegung. Eine weiche Masse schob sich von unten zwischen die unteren Halszellen herein, erst langsam, plötzlich gab ihr Zusammenhalt nach, und in kräftiger Explosion fuhr eine ziemliche Menge breiartigen Schleimes zwischen den oberen Halszellen hindurch ins Freie hinaus, und bildete auf diese Weise zwischen den auseinandergetriebenen 8 Zellen längs ihrer Innenkante einen Kanal, der nun von aussen bis zum Keimkörper hin offen blieb. Der ausgetriebene Schleim war augenscheinlich das Material der Schleimzelle oder zellähnlichen Schleimmasse auf dem Scheitel des Keimkörpers¹⁾.

Kaum war die Empfängnissöffnung hierdurch erschlossen und das Innere zugänglich geworden, so war auch eins der im Trichter schon angelangten Spermatozoiden zur Hand. Dennoch kehrt dies erste noch wieder um, doch gleich darauf naht dasselbe oder ein anderes von Neuem, schwimmt schnell mit der Spitze voran herbei, bohrt mit den vorderen etwas ausgereckten Windungen in die Archegoniummündung, wirbelt in heftigster Drehung einen Augenblick, wie durch einen im Grunde des Kanals wirkenden Widerstand aufgehalten, ohne vorwärts zu kommen, während die hinteren weiten Windungen — ohne Säckchen — noch aussen sind, und schlüpft dann, nachdem dieser überwunden, urplötzlich ganz ins Innere hinein, wobei es sich der weiteren Beobachtung entzieht²⁾. Leider macht die zu undurchsichtige Masse des Vorkeims eine Beobachtung des Vorgangs der Befruchtung im Inneren desselben unmöglich, und auch keinerlei Prä-

1) In einem Falle (XI, 8) fand sich später eine grössere Quantität desselben im Grunde des schon gebräunten Archegoniumhalses zurückgeblieben.

2) Es gewährte hierbei jenen bekannten Anblick eines in Rotation gesetzten schraubig gedrehten Glasstabes.

paration lässt das Spermatozoid dort wieder ereilen, oder noch eine Spur desselben später auffinden. Ich glaube jedoch, dass es, erst mit der Spitze gegen den Keimkörper stossend, den Widerstand seiner derberen membranartigen Aussenschicht überwinden musste, und im Augenblick, wo dies geschehen, in die Masse desselben unmittelbar eindrang. Die Grössenverhältnisse der betreffenden Theile lassen dies annehmen, erlauben aber den Spermatozoiden ein Umschwärmen des Keimkörpers durchaus nicht. In einem Falle sah ich nach dem ersten Schwärmfaden alsbald einen zweiten erscheinen, und ebenfalls ohne Weiteres eindringen und verschwinden. Fernere wurden jedoch nicht mehr empfangen, obgleich sie energische Versuche einzudringen machten. Einer bemühte sich vergebens, sich weiter als zur Hälfte einzubohren. Bald sieht man alle Mündungen der befruchteten Archegonien von immer mehr sich häufenden Gesellschaften von Spermatozoiden belagert, die alle mit der äussersten Spitze in der Mündung festhängend, zuletzt ganze Büschel bilden (XI, 7) und endlich auch an anderen Theilen des Vorkeims anlegen und hängen bleiben. Schnell wird der Archegoniumhals braun als Zeichen der vollzogenen Befruchtung. Stundenlang sieht man immer noch einzelne neue im Trichterraum heranschwimmen und abgewiesen werden. Aber auch schon vor dem Oeffnen der Mündung nahen sich schon viele, ihre Function auszuüben bereit, wie z. B. Fig. 6 (XI) ein Paar auf ein Archegonium lossteuernde Spermatozoiden darstellt, welche, rückwärts und mithin langsamer rudern, in dem abgebildeten Moment durch Hinzulassen eines Tropfens Glycerin fixirt wurden.

Schon Mettenius¹⁾ sah einen Schleiminhalt am Halskanal bei *Pteris* und deutete ihn gegen die Suminsky'sche Ansicht, dass er aus Spermatozoidenresten bestehe, richtig als hier entstanden. Auch sah er ihn unter Druck austreten.

Auch Hofmeister²⁾ sah bei *Polypodiaceen* eine Quantität Schleim aus dem Halskanal freiwillig austreten, und durch sein Aufquellen die Scheitelzellen auseinandergedrängt werden. Von einem momentanen, explosiven Ausschleudern und Aufbrechen spricht er nicht. In welcher Weise Pringsheim³⁾ bei *Salvinia* den Austritt des Schleimes der „Kanalzelle“ beobachtet hat, geht aus seiner Darstellung nicht hervor.

Bei *Marsilia* vollzieht sich der ganze Vorgang im Zusammen-

1) Mettenius, Beiträge zur Botanik S. 21, Tf. III F. 18, 20.

2) Hofmeister, Beiträge II, S. 605.

3) Ueber *Salvinia natans*, Jahrb. III S. 520 etc.

hange, vom sichtbaren Andrängen des Schleims gegen die Halszellen bis zum Verschwinden des Spermatozoids, in sehr kurzer Frist; es vergingen kaum einige Sekunden, so war alles gethan. Vermuthlich wird durch allmähliche Wasseraufnahme die Schleimmasse oder Schleimzelle über dem Keimkörper in eine Spannung versetzt, die den festen Zusammenschluss der Halszellen nur nach Erlangung bedeutenderer Intensität plötzlich in gewaltsamem Durchbruch überwinden kann, ähnlich, wie zuerst von Pringsheim bei *Vaucheria* der Schleindurchbruch beobachtet ist.

Der ausgeworfene Schleim bläht sich im freien Wasser — innerhalb des Trichters — zu einer schaumig blasigen Masse auf, die Tage lang ohne irgend welche Veränderung liegen bleibt, und bei *Marsilia* niemals irgend eine Molekularbewegung blicken lässt, noch derartig beweglichen Körpern die Entstehung giebt. Mit den beweglichen Körperchen, die von A. Braun schon früher gesehen und von mir¹⁾ beschrieben sind, darf sie, wie man hin und wieder geneigt scheint, nicht verwechselt werden.

Was diese eigenthümlichen Körperchen betrifft, so habe ich sie nun bei allen Aussaaten in ganz gleicher Weise wieder auftreten sehen, wie sie in jenem erst beschriebenen Fall und früher schon öfter ähnlich von A. Braun beobachtet sind, so dass es gerechtfertigt erscheint, noch einmal darauf zurückzukommen. Es sind kleine länglich runde Körperchen von bestimmter Gestalt und Grösse, welche sich bei allen unbefruchtet gebliebenen Archegonien, häufig schon in den ersten Stunden nach dem Befruchtungsact, zuweilen erst ein oder zwei Tage nachher einfinden, und zunächst vor der offenen Mündung in lebhaft wimmelnder Bewegung sehr schnell hin- und herfahrend bemerkt werden. Sie haben genau die Gestalt der einzelnen Glieder von *Vibrio lineola* Ehrbg, sind jedoch etwa nur $\frac{2}{3}$ so gross, bald schmaler bald breiter elliptisch. Weder in ihrer Gestalt noch in ihrer Bewegung haben sie mit unregelmässigen sogenannten Molekulen zerfallender organischer Substanzen und deren mehr taumelnder als wimmelnder Bewegung eine Aehnlichkeit. Vielmehr habe ich mich jetzt überzeugt, dass es selbständige organische Gebilde sind, die theils den Monaden, theils den Vibrionen sehr nahe stehen. Denn nachdem sie eine Zeit lang im lebhaften Wimmeln beobachtet sind und sich reichlich vermehrt haben, sieht man viele von ihnen zahlreich auf der Oberfläche des Objectglases

1) Monatsberichte der Berl. Akademie 1862, S. 114.

zur Ruhe gekommen, und hier theils einzeln, theils in Ketten, welche mannigfach geschlängelte Zickzacklinien bilden, aneinander gelagert oft die zierlichste Mosaik bilden, und zuletzt wohl wie eine zusammenhängende Tapete den Boden bedecken (XII, 14).

So sammeln sie sich zunächst unmittelbar um die Mundöffnung des Archegoniums, ballen sich, hier zur Ruhe kommend, zu einem kugeligen Häufchen zusammen, an dessen Umfang das Wimmeln immer fort dauert, und den Haufen zu umfangreicher, oft völlig regelnässiger dichter und undurchsichtiger Kugelmasse vergrössert, während zugleich sich allmählich der ganze Trichterraum mit ihrem immer dichteren Getümmel erfüllt, und sie in grosser Zahl sich in der Schleimhülle selbst, zumal an ihrer Oberfläche und in den concentrischen Spaltungsflächen ihrer Masse, ansammeln. Auch am äusseren Umfang der Makrosporen finden sich immer mehr ein. Das Ganze gewährt endlich ein eigenthümliches Bild, wie es theilweis in Fig. 9 (XI) angedeutet ist.

Oft dauert dies Treiben Tage lang. Nachdem schon die Archegoniummündung unzugänglich ist, fahren die Körperchen noch in den übrigbleibenden Zwischenräumen zwischen Vorkeim und Schleimhülle hin und her. Die sonderbare Erscheinung des massenhaften Anhäufens vor der Archegoniummündung hatte die Frage nahe gelegt, ob sie zu dem weiblichen Organe in irgend einer directen Beziehung ständen. Andererseits hatte ich sie stets zuletzt auch in der Nähe der Mikrosporen erscheinen, und zumal in den verkommenden Entleerungs-Producten derselben in Menge aufgehäuft, ja auch an anderen vom Sporenentwicklungs-Vorgang herrührenden organischen, zumal stickstoffhaltigen Resten auftreten sehen. Und so ward es auch fraglich, ob sie etwa aus den Bestandtheilen des männlichen Befruchtungsapparats herrührten, und sich bei den weiblichen nur sammelten.

Um dies zu ermitteln, that ich alsbald nach Entfaltung des Inhalts einer Frucht einige Makrosporen, lange ehe in ihnen und den Mikrosporen irgend eine Entwicklung begonnen, auf ein besonderes Objectglas, auf ein anderes ebenso isolirte Mikrosporen, und auf ein drittes Stücke eines entleerten Sorus ohne alle Sporen. Die Folge war entscheidend. Sowohl bei den grossen als bei den kleinen Sporen erschienen die Wimmelkörperchen und trieben ihr Wesen in gewohnter Weise, und auch auf dem dritten Glas ohne Sporen erschienen sie. Also waren weder die einen noch die anderen die nothwendige Ursache ihrer Entstehung, vielmehr genügte irgend eine der hier

vorhandenen organischen Substanzen, sie — sei es zu erzeugen, sei es wenigstens zu vermehren. Und dazu kam, dass sie in viel grösserer Menge nahe dem Rande der Deckgläser, mit denen die drei Objecte belegt waren, sich sammelten und zur Ruhe kamen, als im mittleren Raum derselben.

Es ist daraus mithin wahrscheinlich, dass sie von aussen stammen, durch die Luft zuerst zugeführt in das Wasser der Objecte gelangen, sich, wo sie die reichlichste Nahrung finden, am reichlichsten vermehren, und somit erst secundär in die eigenthümliche Beziehung zu den Sporen treten.

Immerhin ist dabei auffallend, dass unter allen Umständen und in allen von mir beobachteten Fällen ganz dieselbe Form von Körperchen auftrat, in gleicher Weise sich benahm und in gleichem Maasse sich vermehrte.

Auffallend bleibt ferner, dass diese monadenartig wimmelnden Körper stets zuerst vor unbefruchteten, also unbefriedigten Archegonien erscheinen, vor befruchteten nur seltener und später, erst wenn sie in grösserer Menge vorhanden sind, und dass sie, abgesehen von ihrer überall deutlich selbstständigen Bewegung, lebhafter und schneller als an anderen Orten sich vor dem Archegoniummunde tummeln, schnell auf die Oeffnung los- und wieder zurückfahren, und dadurch ein Schauspiel gewähren, wie man es vor der Mundöffnung einer Vorticelle oder eines Stentors erblickt. Dazu kommt, dass auch andere beliebige Körper, die in die Nähe kommen, herbeigezogen werden, und dass die Spermatozoiden selbst, wenn sie, statt schnurstracks in normaler Weise auf die Empfängnissöffnung los zu schwimmen, etwa rückwärts herankommen, in der Nähe der Mündung plötzlich wie von einem Strudel ergriffen schnell und taumelnd mit der Spitze voran gegen diese heranhfahren, während sie vor dem noch nicht erschlossenen Archegoniummund ganz gleichgültig und ungestört vorbei rudern. Man sieht sich versucht, an irgend eine mechanische Ursache dieser Bewegung zu denken, doch ist davon keine Spur zu erblicken. Auch könnte man meinen, dass irgend ein aus dem Archegoniumhalse austretender Stoff im Wasser vor demselben diffundirend eine Strömungserscheinung veranlasste. Doch ist die fragliche Bewegung hierzu viel zu heftig, und ist auch ein solcher Stoff schwer anzunehmen, da jener aus dem Halse ausgeworfene schaumige Schleim geronnen und unverändert und zumal unvermindert meist weit von der Mündung entfernt liegen bleibt, und im Inneren also höchstens noch das Plasma des Keinkörpers dispo-

nibel wäre, welches man sich aber auch nicht verringern, sondern vielmehr erhärten und allmählich bräunen sieht.

Somit bleibt diese auf so verschiedene belebte und todte Körper augenscheinlich anziehend wirkende Bewegungsursache an der Archegoniummündung vorläufig noch unaufgeklärt, und die Bewegung der kleinen Körperchen selbst wird unrichtig von denen, die sie nicht vollständig selbst beobachtet haben, mit der sogenannten Molekularbewegung zusammen gethan.

Der Halskanal der befruchteten Archegonien bräunt sich meist sehr bald, der der unbefruchteten meist gar nicht oder spät. Doch habe ich auch befruchtete Archegonien lange ungebräunt bleiben sehen, und sie für unbefruchtet gehalten, bis das Schwellen des Keims das Gegentheil bewies.

5. Keimung.

Bald nach vollzogener Befruchtung findet sich der Keimkörper (XI, 10) von fester Membran umgrenzt (XI, 11) und somit als Urzelle des Keims constituirt. Es gelingt von jetzt ab, denselben freizupräpariren, und es ist dies zugleich die einzige Methode, in welcher man die Zelltheilung und Entwicklung des Keimes sicher und ohne Zweifeln unterworfen zu bleiben verfolgen kann. Mit Schnitten ist auch jetzt noch, in den ersten Stadien des Keimens, nicht allein wegen der grossen Verletzlichkeit des neu sich bildenden Gewebes, sondern noch vielmehr desshalb, weil man denselben keine sichere Richtung geben kann, nichts zu erreichen. Der Vorkeim ist seinem Grundriss nach völlig kreisrund und regelmässig, und nichts giebt über die Lage des Keimes darin eher eine Andeutung, als bis derselbe seine Gestalt schon sehr entwickelt hat und aus vielen Zellen besteht. Man könnte also bei noch so genauem Schneiden aus den Schnitten nichts schliessen, weil man nicht wüsste, in welcher Richtung man den Keim zertheilt hätte. Auch müsste man so unbestimmte Ansichten dann noch mit Mühe zu einem Gesamtbilde des Zellenbaues combiniren. Dazu käme noch, um die Unsicherheit zu erhöhen, der Umstand, dass der Keim in der ersten Zeit bei gewaltsamer Berührung im Innern des Vorkeims etwas verschiebbar und drehbar ist.

Ein anderes Verfahren hat jedoch zu befriedigendem Aufschluss geführt. Die Vorkeime wurden zunächst in Aetzkalkilösung gelegt, und zwar bei noch sehr jungem Keim nur 3—5 Minuten, in späte-

ren Stadien etwas länger. Dadurch wird das Zellgewebe derselben so weit nachgiebig, dass man den jungen Keim, nachdem der Vorkeim aus der Makrospore herausgelöst, aus diesem mit der Nadel frei präpariren kann, und zwar am leichtesten durch die schwachgeschlossene Basalfläche desselben. Das Kali macht freilich auch den Keim äusserst verletzlich, so dass er nur mit Vorsicht ganz herauszubringen ist. Doch macht es ihn andererseits auch so durchsichtig, dass man nun mit einem guten Linsensystem jede gegebene Durchschnittebene desselben völlig deutlich beobachten kann. Ich habe dergleichen Präparate alsdann unter Glycerin mit sehr feinen und kleinen Glimmerblättchen belegt, — da auch das feinste Deckglas noch viel zu schwer ist —, und sie durch Verschieben derselben mit der Nadel unter dem Mikroskop nach allen Seiten gerollt, dadurch jede beliebige Ansicht gewonnen und somit eine vollständigere und übersichtlichere Anschauung erhalten, als sie überhaupt durch Schnitte bewirkt werden kann. Um jedoch den Keim und die Richtung seiner Theilungswände in ihrer Lage zum Vorkeim zu beobachten, wurden die durchsichtigsten Vorkeime möglichst vorsichtig von den Sporen befreit und sonst unverletzt betrachtet.

Bald nach der Befruchtung beginnt im Vorkeim (XI, 10) eine Zelltheilung sowohl durch Scheidewände, die parallel mit der Oberfläche, als auch durch solche, die senkrecht darauf gehen (11), und er besteht somit bald aus durchschnittlich zwei Schichten cuboidischer oder tafelförmiger Zellen. Er schwillt dadurch schon etwas an, ohne darauf zu warten, dass ihn der Keim von innen dränge. Seine Basalzellen breiten sich im Scheitel des Sporenraumes unter dem ringförmigen Rande der dichten Aussenhaut mehr oder weniger kragenförmig aus (11, 12), und so erscheint der Vorkeim an der Stelle der ursprünglichen Oeffnung des Exosporiums etwas eingeschnürt, im Ganzen meist sphäroidisch mit aufgesetztem Hügelchen (10—13). Man erkennt um diese Zeit und auch später am freigelegten Vorkeim noch deutlich die ihn nach Art einer Cuticula umgebende Mutterzellhaut im Zusammenhang mit dem Endosporium, dessen Scheiteltheil diese ursprünglich ausgefüllt, dann ausgedehnt hat, und mit dem sie nun innig verschmolzen erscheint (XI, 11, 12 : mz). Die Zellvermehrung hält von jetzt ab mit der des Keimes Schritt.

Zwölf Stunden nach der Befruchtung etwa pflegt man die erste Zelltheilung im Keime zu bemerken. Es ist eine Wand, die ich, indem ich die Makrospore, den Vorkeim nach oben, auf ihre Längsaxe gestellt denke, nahezu senkrecht nennen kann, indem sie unter

dem Archegoniumhalse beginnend, fast nach der Mitte der Basis der Keimzelle zugeht, und den Keim in zwei etwas ungleiche Hälften theilt (XI, 15). Aus der grösseren entwickelt sich der Stammtheil, aus der kleineren die erste Wurzel. Ich will daher jene die vordere, diese die hintere nennen.

In beiden folgt schnell je eine zweite Wand, wodurch die vordere Zelle fast horizontal in zwei ziemlich gleiche Hälften getheilt wird, während die hintere neue Wand etwa von der Berührungslinie der vorderen mit der senkrechten beginnend, sich nach hinten zu etwas abwärts neigt (XI, 13, 16, 1, w¹).

Somit ist die Keimzelle in vier nicht ganz gleiche Tochterzellen zerlegt, von denen ich gleich vorweg bemerken will, dass die obere vordere dem ersten Blatt (b), die obere hintere (die grösste der beiden hinteren) der ersten Wurzel (w), die untere hintere (die kleinere) einem Theil des Keimfusses (f) und endlich die untere vordere (st) der Stammknospe und zugleich dem andern Theil des Keimfusses die Entstehung giebt, deren beide Anfangszellen, wie sogleich zu entwickeln, demnächst durch eine fernere dritte, gegen die zweite geneigte Wand sich trennen (17).

Dass die Keimbildung mit einer Zweitheilung des gesammten Keimkörpers beginnt, giebt schon Mettenius¹⁾ für die Polypodiaceen an.

Nach Hofmeister²⁾ ist eine Viertheilung der ersten fertigen Keimzelle allen Gefässkryptogamen gemeinsam. Doch giebt er an, dass stets eine der 4 Zellen, und zwar eine der Archegoniummündung abgewendete, das erste Blatt und zugleich die secundäre Stammknospe erzeugt, während eine andere, — und selbst bei den Polypodiaceen verschieden, bald die jener benachbarte, bald die diagonal entgegengesetzte — die erste Wurzel bildet, die beiden übrigen dagegen die verkümmerte primäre Axe und zumal den dieselbe hauptsächlich repräsentirenden sogenannten Fuss des Keimes hervorbringen. Dies trifft weder nach Pringsheim's³⁾ neueren Beobachtungen für *Salvinia*, noch nach den meinigen für *Marsilia* zu, und zwar in keiner der beiden in *Pteris* und *Aspidium* von Hofmeister beobachteten Entwicklungsarten. Vielmehr trennt bei *Salvinia* die erste fast senkrechte Scheidewand einen hintern Theil des Keimes ab, der, — zwei Zellen der Vierzahl entsprechend, — bei dieser wurzel-

1) Mettenius, Beiträge zur Botanik S. 22.

2) Hofmeister, Beiträge etc. I, S. 131. 174; II, 607 etc.

3) Pringsheim a. a. O. S. 524 etc., Tf. XXVII — XXIX.

losen Pflanze ganz und gar nur das sogenannte Stielchen als erstes Stengelsegment anlegt, während die überhaupt zweite Theilzelle das zweite Segment nebst seinem Blatte, dem Schildchen, aus sich erzeugt, und die dritte als bleibende Scheitelzelle den Werth der Stammknospe behält. Auf Marsilia bezogen ist die hintere bald in zwei Zellen getheilte Hälfte des *Salvinia*-Keims das Aequivalent der Wurzel- und hinteren Fusszelle, während das Schildchen von *Salvinia* aus der gleichen Zelle seinen Ursprung nimmt, die ihn hier dem ersten Blatt giebt, und die Stammknospen-Zelle ebenfalls die gleiche in beiden Pflanzen ist.

Ogleich es daher eine weit geltende Annahme ist, dass der Keim sämmtlicher Farne mit einer verkümmernnden Hauptaxe beginnt und die Fortbildung nur mittelst einer sekundären Axe stattfindet, so kann ich in dem factischen Sachverhalt bei der Zellentheilung im Keime von Marsilia für diese Ansicht keinen Anhalt finden, da die zuerst auftretende Scheidewand den Keim schon senkrecht in eine Wurzel- und eine Stengelhälfte spaltet, in welchen beiden, wie sogleich zu zeigen ist, alle ferneren Theilwände auf eine fast horizontale oder vielmehr vorn etwas nach unten geneigte Lage der ursprünglichen ersten und Hauptaxe des Keimpflänzchens hinweisen, wie sie ebenso von Pringsheim für *Salvinia* dargethan worden ist. Es bleibt sonach für einen ursprünglich zwischen Wurzelantheil und Secundäraxe vorhandenen primären Axentheil nichts übrig, und man könnte nur noch annehmen, dass etwa der vordere oder hintere Fussantheil für sich die Bedeutung der ursprünglichen Hauptaxe habe, die, nachdem sie nach einer Seite die Wurzel, nach der andern die Stamm-Urzelle — oder umgekehrt — von sich geschieden, hiermit ihre fortzeugende Thätigkeit beendet.

Damit käme man aber zu einer Zelltheilungsfolge, die aller Symmetrie und Regel der sonst beobachteten ähnlichen Vorgänge völlig widerspricht, und somit erst recht nicht befriedigen kann.

Die fernere Zelltheilungsfolge hat im Allgemeinen theils mit dem von Hofmeister besonders an den Polypodiaceen, theils mit dem von Pringsheim an *Salvinia* beobachteten Entwicklungsvorgänge Aehnlichkeit, nur dass die Wurzellosigkeit und die morphologisch sehr eigenartige Bildung des *Salvinien*-Keimes auf der einen und die Abweichung in der Gestaltung des Vorkeims und der Stellung der Archegonien auf der anderen Seite mancherlei Unterschiede veranlassen. Bei *Pilularia* lässt dagegen das, was seit Bischoff

alle Beobachter¹⁾, C. Müller, Schleiden, Mettenius und Hofmeister von der Keimung angeben, einen völlig gleichen Entwicklungsgang wie bei *Marsilia* vermuthen, in welchem alsdann diese beiden Gattungen einen eigenartigen Typus zwischen den Polypodiaceen und der *Salvinia* ausmachen.

Es bedarf übrigens zuvörderst für die übrigen Farne einer noch genaueren Ableitung der ersten organischen Gegensätze von Knospe, Blatt und Wurzel aus den vier Anfangszellen ihrer Keime, um zu einer sicheren Anschauung zu gelangen, welche durchgreifenden Verschiedenheiten etwa die Polypodiaceen, Ophioglosseae, Equisetaceae, Lycopodiaceae und Isoëteen von dem Entwicklungsgesetz trennt, das für die beiden Familien der Rhizocarpeen jetzt gewonnen ist, und es ist mir nicht so unwahrscheinlich, dass sich dadurch eine grössere Uebereinstimmung, als es jetzt scheint, herausstellen möchte.

Die fernere Zellfolge also bei den *Marsilia*-Keimen ist nun diese:

Nachdem die vordere Keimhälfte durch die horizontale Wand (1) getheilt ist, setzt in der unteren die nächste Theilungswand (2) an dieser Horizontalwand selbst, nahe jener senkrechten, an und geht nach unten und vorn geneigt bis zum Umfang, eine keilförmige Zelle aus diesem Keimquadranten ausschneidend (XI, 17, 19 a: s). Diese ausgeschnittene Zelle ist nun die fernere Stamm-Scheitelzelle, sie liegt fast in der Mitte der vorderen Keimhälfte zwischen einer ersten oberen und einer zweiten unteren Abschnittszelle.

Jetzt theilen sich etwa zu gleicher Zeit die somit hergestellten drei vorderen Zellen je durch eine auf die Haupt-Theilungswand (0—0) senkrecht stehende und an sich ebenfalls senkrechte (also in Fig. 17 in der Ebene des Papiers liegende) Scheidewand in je zwei gleiche Hälften (18, 19 b, c: b²) und gleich darauf findet in dem oberen vorderen Keimquadranten, d. h. der ersten Blattzelle und zwar in beiden Halbirungszellen eine neue Theilung fast parallel der Hauptscheidewand statt (17, 18, 19 a, 19 b, b³), so dass das Blatt nun seinerseits aus vier Zellen besteht.

Während dessen ist auch in der Wurzelhälfte eine fernere Theilung eingetreten, indem in der oberen grösseren Wurzelzelle, an der senkrechten Mittellinie der Hauptscheidewand, eine Theilungswand in schieferm Winkel ansetzt und nach einer Seite schräg und zugleich

1) A. d. a. O.

etwas gekrümmt bis zum Umfang läuft. Unmittelbar danach, so dass man nicht leicht die eine ohne die andere erblickt, tritt eine zweite Wand auf, welche an der ersten unweit ihres Ursprungs ansetzend ähnlich wie diese aber in entgegengesetzter Richtung nach der anderen Seite zieht (18, 19 a, b: w^2 , w^3).

Jetzt gewährt der junge Keim von der Seite gesehen die Ansicht von Fig. 19 a, von oben die von 18 und 19 b, von vorn die von 19 c. In 18 sieht man genau über dem Treffpunkt der Hauptscheidewand mit den senkrechten Scheidewänden in Blatt und Wurzel die Archegoniummündung liegen. In anderen Fällen erscheint sie wohl etwas daneben, doch ist schwer zu sagen, ob dies nicht durch eine leichte Drehung des Keimes veranlasst ist. Der Keim ist zwar jetzt schon in der Richtung seiner Axe gestreckt und demnach der Vorkeim unbedeutend in die Länge gezogen, häufig aber zugleich etwas schief geworden, so dass man äusserlich an ihm die Lage des Keims doch noch nicht genau beurtheilen kann.

Eine leichte Uebersicht über die Fortentwicklung des Keim-Zellgebäudes wird man aus den Fig. 20 u. 21 a—k gewinnen. Die letzten stellen ein und denselben frei gelegten und durchsichtig gemachten Keim 34 Stunden nach seiner Befruchtung dar, von allen Seiten gesehen, bald oberflächlich betrachtet, bald in medianer Einstellung des Mikroskopes. Die auf einander folgenden Scheidewände der Stammseite sind mit 0, 1, 2, 3 u. s. w., die der Wurzelseite mit w^1 , w^2 , w^3 u. s. w., die im ersten Blatt ebenfalls an die Wand 1 sich anschliessend, mit b^2 , b^3 , b^4 u. s. w. bezeichnet.

Die letztentstandene Wand in der Stamm-Scheitelzelle war die senkrechte Wand 3, welche, zugleich mit entsprechenden Wänden in den benachbarten Zellen, die von den Wänden 1 u. 2 begrenzte Scheitelzelle — bis dahin im Ganzen die Stammzelle 3ten Grades — fast in zwei Hälften theilte (XI, 17—21, 1, 2, 3). Die eine dieser Hälften ist die Urzelle des zweiten Blattes, die andere die fernere Scheitelzelle 4ten Grades. In beiden tritt gleichmässig eine von oben und vorn nach hinten und unten schwach geneigte oder beinahe horizontale Wand 4 auf, die mit 1 fast gleichlaufend unter schiefem Winkel auf 2 trifft. Später erscheint diese stärker herabgekrümmt. Auf diese folgt dann eine entgegengesetzt gegen 4 geneigte mit 2 gleichlaufende Wand 5.

Doch geht dieser Theilungsprocess langsam vor sich, und wird von der Theilung in den benachbarten Zellen überholt, zumal von der im Blatt, welche zuvörderst am schnellsten fortschreitet.

Nachdem das Blatt durch die senkrechte Wand b^2 in zwei nebeneinanderstehende gleiche Hälften getheilt ist, werden diese beiden durch eine gleiche und symmetrische Zellfolge übereinstimmend fortgebildet. Wir sahen schon in beiden die absteigende Wand b^3 auf-treffen. Auf diese trifft die seitlich neben der Medianebene verlaufende ein wenig von aussen nach innen geneigte Wand b^4 , dann wieder eine fast horizontal liegende Wand b^5 , und nun wieder eine fast senkrechte b^6 , so dass durch wechselnd nach den drei Richtungen des Raumes laufende Wände immer neue Abschnitte von der Blatt-Scheitelzelle abgegliedert werden. Die von b^4 , b^5 , b^6 gebildete Zelle ist die Blattzelle 5ten Grades. Die Blatt-Abschnittszellen werden ihrerseits ebenfalls durch einander kreuzende Wände getheilt, die ähnliche Richtung mit den ersten Theilwänden haben. Nur in der ersten senkrechten Abschnittszelle jeder Blatthälfte, die von den Wänden 0, b^2 u. b^3 begrenzt wird, zeigt sich erst eine nahezu horizontale obere, dann eine schiefe nach hinten geneigte untere Wand, die mit den Wänden 0, 1 u. b^3 zusammen eine schiefwinklige innere Zelle einschliesst; diese wird zur Urmutterzelle des Blattgefässbündels (21a, gz).

In der Wurzel ist inzwischen auf die zwei schiefen geneigten Wände w^2 u. w^3 eine dritte, der absteigenden ersten Wurzelscheidewand w^1 ähnlich laufende doch auch bogig gekrümmte Wand w^4 gefolgt, die mit w^2 u. w^3 eine dreiseitig pyramidale Mittelzelle mit gewölbter nach hinten, aussen und etwas aufwärts gekehrter Grundfläche als fernere Wurzel-Scheitelzelle herauschneidet (21 a und b). Diese Zelle theilt sich schnell in ein neues inneres tetraëderartiges und in ein äusseres calottenförmiges Stück; jenes bleibt Scheitelzelle, dieses ist die Mutterzelle der späteren Wurzelhaube (20, 21, wh). Die Wurzel-Abschnittszellen theilen sich ihrerseits durch wiederholte verschieden gerichtete und geneigte Wände in fernere Theilzellen.

Der als zweite Stamm-Abschnittszelle abgetrennte untere Theil des vorderen unteren Keimquadranten, ist unterdessen ganz ebenso wie die erste Wurzel-Abschnittszelle, d. h. der hintere untere (kleinste) Keimquadrant, durch einander kreuzende, nicht in allen Fällen durchaus übereinstimmende Theilungswände in cuboidische oder polyëdrische Zellen getheilt, welche sich alle in Gemeinschaft zu einem parenchymatischen Körper ausbilden, der, wie schon bemerkt, als sogenannter Keimfuss auftritt, d. h. den Keim an den unteren Theil des Vorkeims nach und nach fest ansaugt, und den Raum des Spo-

ren-Inneren überwölbt (19, 20, 21 a, d und h—k: f). In diesem Stadium sind beide verschieden abstammende Antheile dieses Gebildes als durch die Wand 0 geschieden noch deutlich zu erkennen. Später verwischt sich die Grenze mehr und mehr und sie verschmelzen mit einander. Es charakterisirt sich jedoch dieses ganze Gebilde von jetzt ab immer augenfälliger durch den blasseren und weniger dichten Inhalt seiner Zelle, während das Chlorophyll in den übrigen Theilen des Keimes das dichtkörnige Plasma immer deutlicher färbt (XI, 21 a; XII, 1 a, 2 a).

Wirft man nun auf die Zellfolge des bis jetzt gewonnenen Keimzustandes einen vergleichenden Blick, so gewahrt man, dass von der neutralen Hauptscheidewand 0 an sich das ganze Zellgebäude aus einer nach 3 Seiten hin in wechselnd gegeneinander geneigten Wänden fortschreitenden Theilungsweise constituirt hat, welche am übersichtlichsten, wenn auch nicht in ganzer Vollständigkeit, auf der Ansicht des Profilschnittes (21 a) zu überblicken ist.

Die Urzelle theilt sich in zwei in entgegengesetzter Richtung fortvegetirende Scheitelzellen, die Stammzelle und Wurzelzelle. Wechselnd von vorn und unten sind gegen die neutrale Wand geneigt in der Stammregion die Wände 1, 2, und nach der senkrechten Wand 3 wieder die Wände 4 u. 5, in der Wurzelregion die Wand w^1 , auf welche in dreiseitiger Neigung w^2 , w^3 , w^4 folgen. Verbindet man die Scheitelwölbung der Stamm-Scheitelzelle mit der der Wurzel-Scheitelzelle (s—ws), so hat man die etwas geneigte ideale Richtung der liegenden Hauptaxe des Keimes, dessen Vegetationsgrundfläche die Ebene 0—0 ist. Nach vorn beginnt die Abgliederung von Theilzellen mit einem oberen Stück, dem ersten Blatt, worauf als zweites die vordere Fuss-Abschnittszelle folgt; nach hinten ist die erste Theilzelle eine untere, und ist unmittelbar der hintere Fussantheil.

In diesem letzten Umstand liegt freilich etwas Auffallendes. Bildeten die zweiten Wände 2 und w^1 vielmehr die Urscheidewand, so wäre etwa die dadurch gebildete untere Keinhälfte als eine verkümmerte Axe anzusehen, aus der seitlich eine Knospe entspränge. Dies stimmte dann recht gut mit der bestehenden Theorie. Wäre wenigstens die erste Wand der Keinzelle nicht die senkrechte 0—0 (F. 15, 16), sondern die gebrochene 0— w^1 (16), dann die zweite die absteigende Fortsetzung von 0, die dritte 1, dann 2 u. s. f., so entspränge der gesammte Fuss als erster und dritter Abschnitt aus der Stammhälfte des Keimes. Oder wäre sogar die Folge der gegen die hypothetische neutrale Wand 0— w^1 geneigten Wände: 1, 2 u. s. w.,

und die untere Fortsetzung von Wand 0 wäre erst sekundärer Natur, so wäre der Fuss einfach der zweite Abschnitt des Stammes, also etwa ein umgestaltetes zweites Blatt.

Ich habe daher auf die Ermittlung der Folge der ersten Theilungswände die grösste Sorgfalt gewandt und mich schliesslich durch sehr zahlreiche Präparationen zweifellos davon überzeugt, dass in der That die senkrechte Wand 0 die erste ist. Es finden sich nicht allein Fälle (F. 15), wo sie allein existirt, und ohne alle Krümmung von oben nach unten verläuft und die Keimmasse in zwei nur wenig verschiedene Hälften theilt, sondern, wenn der Keim auch schon geviertheilt ist (16), so hängen noch lange die zwei und zwei Zellen der vorderen und hinteren Hälfte inniger zusammen (14a u. b), oder lassen bei geringem Druck weniger weit von einander (13, 20) und bezeugen so ihre Herkunft als Schwesterpaare.

Man muss also vom theoretischen Postulat absehen und das Thatsächliche zulassen, dass der Fuss aus Wurzel und Stengel zugleich stammt, und zwar durch den ersten Abschnitt des Fusses und den zweiten des Stammes hergestellt wird.

Es verliert nun dies sehr an Seltsamkeit, wenn man wahrnimmt, wie demnächst darzufließen ist, dass nicht jeder Stammabschnitt ein Blatt giebt, sondern vielmehr die grössere Zahl derselben blattlose Internodialstücke bildet. Somit ist der vordere Fussantheil der auf das erste Blatt folgende erste Internodialtheil, ein, wenn man so sagen darf, „parakotyle“ Axentheil, während der hintere aus der Wurzel-Urzelle stammende Fussantheil als Fortsetzung davon eine Art von „hypokotylem“ Axentheil vorstellt.

Daraus und überhaupt aus der gesamten ersten Theilung erhellt zugleich, dass kein Grund vorhanden ist, das erste Blatt nicht als ein wahres Keimblatt (Cotyledon) zu betrachten, was durch seine Eigenartigkeit in morphologischer und topischer Hinsicht demnächst noch seine Bestätigung finden wird. Auch haben dies erste Marsilia-Blatt schon E. Fabre und Dunal, und das entsprechende von Pilularia schon C. Müller, Schleiden und Mettenius so genannt.

Der Vergleich der letzterwähnten Figurenreihe (XI, 21) unter sich und mit den vorhergehenden (17—20) wird die besprochenen Einzelheiten in Uebersicht erkennen lassen, ohne dass es nöthig wäre, Ort und Richtung aller auftretenden Wände im Einzelnen noch genauer anzugeben. Die Unterschiede, die zwischen den oberflächlichen perspectivischen Ansichten des Keims und den Durchschnitten hervor-

treten, geben über die schon jetzt sich zeigenden Abweichungen zwischen äusseren und inneren Zellen den genügenden Aufschluss.

Wie schon gesagt eilt jetzt das Blatt den anderen Keimtheilen in der Entwicklung voraus, und zumal durch eine lebhafte Theilung seiner ersten Abschnittszellen, in denen mehrfache Generationen äusserer und innerer Zellen zu schneller Entwicklung gelangen, und zwar besonders die äusseren, die desshalb eine nahezu cubische Gestalt erhalten, während die entstehenden inneren Lagen sich mehr strecken. Dadurch drängen diese inneren sich keilförmig zwischen die äusseren Lagen der oberen und vorderen Seite, welche ursprünglich (XI, 20, 21 a) senkrecht gegen einander geneigt sind, und bringen sie nach und nach zu immer spitzwinkliger geneigter Lage (XII, 1 a, 2 a, zwischen 0 u. b^3 und 1 u. b^5), die zuletzt in eine nahezu parallele übergeht (XII, 4 a, 5, 7). Entsprechend wird der erst rechte Winkel, den die Scheidewände 0 u. 1 machen, immer stumpfer. Die Scheidewand b^3 verliert ihren Parallelismus mit 0, reckt sich im unteren Theil längs der Blattaxe, bleibt oben nach aussen gebogen und wird hier mit der Wand b^5 weit von ihrer ursprünglichen Stelle, die sie in der Nähe von 0 u. 1 inne hatte, entfernt (siehe dieselben Figuren). Die inneren Zellen theilen sich noch einigemal in die Länge, nur selten in die Quere, und zumal die Tochterzellen der mit gz bezeichneten Zelle (XI, 21 a; XII, 1 a) entwickeln sich zu Mutterzellen des Gefässbündels (XII, 2 a, 4 a, 5, 7).

Die Scheitelzelle des ersten Blattes bleibt als solche nicht lange thätig und behauptet ihren erkennbaren Charakter kaum über den 7ten Grad hinaus. Ihre letzten Abschnitte theilen sich nur träge und wenig; sie strecken sich gemeinsam bis zu bedeutender Länge, und bilden die lang ausgezogene fadenförmige Spitze des im Ganzen sich zu walzenförmiger Gestalt ausbildenden ersten Blattes. Die älteren Scheidewände sind hier dann später zwischen den jüngeren nicht mehr herauszuerkennen. Das Gefässbündel erstreckt sich seinem Ursprung gemäss niemals in diese Spitze hinein. Während aber später schon die ersten Gefässe selbst sich aus ihren Mutterzellen zu bilden beginnen, verharret die ganze Blattbasis noch lange im cambiosen Zustand und in lebhafter Zellvermehrung (XII, 7), die erst spät erlischt. Durch wiederholte Theilung der parenchymatischen Zellen einer mittleren Lage ausschliesslich in radialer Richtung entstehen die grossen Luftgänge zwischen dem äusseren Parenchym und dem Gefässbündel mit seiner Scheide (XIII, 10).

Nächst dem Blatt ist es die Wurzel, die sichtlich an Ausbildung

gewinnt, und zwar in sehr einfacher Weise. Wir sahen schon durch zwei gegeneinander geneigte obere und eine darauf folgende untere Theilungswand eine Scheitelzelle ausgesondert und von dieser die erste Kappenzelle abgeschieden werden. Während die Abschnitzzellen sich nach und nach durch zahlreiche Wände, die jetzt noch strahlig vom Scheitelpunkt nach der Wurzelbasis auseinanderlaufen, später jedoch der sich streckenden Wurzelaxe parallel werden, gleichmässig zerstückeln (XII, 1 b, 2 a, 4 a, 5), viertheilt sich die Kappen-Mutterzelle durch kreuzweis gestellte Wände (XII, 1 a, b; 2 a 4 a : wh). Jede dieser vier Zellen theilt sich durch eine der Peripherie gleichlaufende Wand ferner, dann zerlegen sich die äusseren Zellen radial (4 b, wh), und zuweilen auch wohl noch die inneren (3 c).

Dieser ganze Vorgang wiederholt sich aus der Scheitelzelle her; neue 3 basale Abschnitzzellen geben eine Scheitelzelle wiederum höheren Grades, die abermals eine Kappenzelle gegen die erste hin abscheidet. Während die Basalzellen sich recken, die äusseren sich in kürzere, die inneren in längere Theilzellen höherer Generationen zerlegen, arbeitet die Scheitelzelle Schritt für Schritt durch parallel gegen die schon fertigen abgeschiedene neue Abschnitzzellen fort, und zwar nach innen zu natürlich an sekundären Zellgenerationen ergiebiger als nach aussen. In Fig. 5 hat die Zellerzeugung den zweiten Umgang vollendet. In Fig. 7 ist aus der Scheitelzelle (ws) die dritte Kappen-Mutterzelle abgeschieden, die noch dünnflüssigeren Saft führt, während die älteren Kappenzellen sich durch ihren dichten undurchsichtigen Inhalt unter allen anderen Zellen auszeichnen (wh). Die älteren Zelllagen sind schon nicht mehr abzuzählen.

Hier sieht man auch die erste Anlage eines Theils des Wurzel-Gefässbündels in Gestalt eines Stranges langgestreckter feiner Zellen auftreten, die sich mit dem gleichbedeutenden Zellbündel aus dem Blatte vereinigen. In der sich langsamer entwickelnden Stammknospe zeigt sich diese Anlage später auch von jenem Knotenpunkt aus beginnend. Auch dringen von demselben kurze Gefässe aus der Gegend der Vereinigung der Stamm- und Wurzelstränge zwischen die Zellen des Fusses ein, wie sie in ähnlichem Vorkommen als Gefässe der primären Axe angesprochen werden¹⁾.

Der Fuss, in dessen beiden heterogenen Mutterzellen der Theilungsvorgang zugleich, und zwar, wie schon bemerkt (vgl. XI, 21 a; XII, 1 a, 2 a), nach keinem ganz constanten Gesetz vor sich geht, ver-

1) Hofmeister, Beiträge II, S 618.

schmilzt bald zu einer gleichmässigen Parenchymmasse von 2—3 Lagen, deren untere sich aus zahlreichen kleinen würfelförmlichen Zellen zusammensetzt, die in einer je länger desto mehr gewölbten Fläche einen oberhalb der Makrosporenöffnung sich bildenden grossen Hohlraum überspannen (XII, 5, 7, f). Die Zellen dieser untersten Schicht verharren noch lange in Theilung; sie bilden ein unterscheidbares Epithelium, lassen lange noch deutliche Zellkerne wahrnehmen und haben offenbar die Aufgabe, das verflüssigte Nahrungsmaterial der Makrospore dem Keim zu überliefern.

Am meisten bleibt der Vegetationspunkt zurück. Er scheidet zwar allmählich neue Cyclen von Theilzellen ab, die sich nach drei Richtungen den fertigen anreihen, doch verharren diese in wenig entwickeltem Zustand (XII, 2 a, 3 a, b, 5: s). Ihre Folge und Fortbildung soll unten im Zusammenhange geschildert werden.

Der allmähliche Verfolg des Hergangs lässt auch in den vorgeschrittenen Stadien die aus den vier Anfangszellen jetzt hervorgegangenen Theile und ihre verschobenen Grenzlinien meist noch unzweifelhaft erkennen. (Vgl. bes. XII, 5.)

Die Keimentwicklung vollzieht sich der Jahreszeit und dem Culturort gemäss sehr verschieden schnell. Der in Fig. 7 (XII) dargestellte Keim war 5 Tage alt, doch kann er auch schon viel früher diese Ausbildung erreichen. Ein Gesetz lässt sich darüber nicht aussprechen. Durchschnittlich werden die ersten Zelltheilungen am Tage nach der Befruchtung sichtbar. Zuweilen wird schon am zweiten Tage der Keim zum sehr vielzelligen Körper mit spitz vorgezogenem Blatt.

Bisher ist der Vorkeim noch im Stande, dem Wachsthum des Keims zu folgen, oder vielmehr demselben selbstthätig voranzugehen ¹⁾.

Unmittelbar nach der Befruchtung schon sahen wir denselben die bis dahin einfache Schicht seiner Zellen verdoppeln, und diese auch in der Flächenausdehnung vervielfältigen (XI, 11, 12, 13, 23, 24). Später werden sie sogar zum Theil dreifach. Zugleich wird der Vorkeim gemäss der künftigen Gestalt des Keimes länglich, aber nicht immer symmetrisch, vielmehr erscheint oft eine Seite etwas aufgetrieben. Hier heben sich dann die Zellen der oberen Schicht zu kegelförmigen Fortsätzen, die alsbald zu langen einfachen Wurzelhaaren auswachsen ²⁾. Allmählich greift diese Bildung rings um den Vorkeim. Die Stelle der frühesten stärksten Bewurzelung scheint nicht immer dieselbe zu sein, und mag von der Lage des Vorkeims

1) Vgl. Hofmeister. Beiträge II, S. 614, 615.

2) Monatsberichte der Berl. Akad. 1862 etc.

gegen den Boden abhängen. Diese einfachen Vorkeimwurzeln dienen hauptsächlich zur vorläufigen Befestigung. Mit ihnen legt sich der Vorkeim sicher vor Anker, indem er sie zwischen die Theilchen des Grundes hineindrängt und diese dicht umspinnt, und so gewinnt er einen Halt, um die verhältnissmässig massige erste Wurzel in den Boden schieben zu können¹⁾. Liegen einige Sporen nahe bei einander, so umstricken sie sich gegenseitig damit, und ziehen auch sonst von fremden Körpern in ihren Bereich, was sie erlangen können.

Der Vorkeim streckt nun über dem Blatt eine kegelförmige Scheide empor, die alle seine Regelmässigkeit aufhebt (XII, 8, 9, 10), und zumal die Archegonium-Mündung (♀) auf eine Seite schiebt. Jene steigt schief nach oben an, während seitlich nach unten eine dickere stumpfere Auftreibung der Wurzel vorangeht. Der Empfängnissöffnung entgegengesetzt liegt am Grunde des Blattes die Knospe verborgen, meist ohne sich äusserlich zu verrathen. Rings um den Keim, bis zum Fuss hinab, findet zwischen ihm und dem Vorkeim keine sehr innige Berührung statt; nur dieser saugt sich immer fester an die ihn dicht umschliessenden Lagen der Vorkeimzellen an, welche jedoch unter der Sohle desselben, selbst auseinander getrieben, einen mehr und mehr sich weitenden Raum lassen, den eben, wie oben bemerkt, das basale Epithelium überwölbt. Während man daher in früheren Stadien den Keim nach kurzer Behandlung mit Aetzkalilösung ganz aus dem Vorkeim hervorziehen kann, so gelingt dies später kaum noch, ohne dass Stücke des Fusses zurückbleiben. Dennoch ist das charakteristische Zellgewebe desselben von den viel grösseren Zellen des Vorkeims leicht zu unterscheiden, die nach und nach die geschlängelte Form cryptogamischer Epidermiszellen annehmen, und sehr grosse Dimensionen erreichen (XIV, 18).

Sonderbar ist die sich zuletzt am ganzen Vorkeim hinauf erstreckende Bildung von kegelförmigen Auftreibungen vieler Ober-

1) Lässt man die Keimung in einem Schälchen mit Wasser vor sich gehen, und die Keime darin ihre ersten Blätter und Wurzeln entwickeln, so sind diese nicht mehr in Stande, sich selbst anzuwurzeln, wenn man sie nun auch auf eine vom Wasser überdeckte Erdschicht thut. Sie bringen da wohl leicht ein Paar Blätter und Wurzeln hervor, die sehr lang werden, können sich aber nicht aufrichten und verkommen bald, wenn man sie nicht künstlich einpflanzt. Bei einer Aussaat jedoch liess ich die ganze Entwicklung von vorne an in Blumentöpfen, die mit Sand bedeckte Erde enthielten und im Wasser standen, vor sich gehen, und es gelang in sehr kurzer Frist fast sämmtlichen Keimen sich ohne Hülfe festzuwurzeln und schon nach wenigen Tagen ihre Blattspitzen aus dem Wasser hervorstrecken.

hautzellen, die — gewissermaassen als Consequenz der Wurzelhaarbildung — oft ziemlich lang hervortreten (XII, 15) ¹⁾.

Endlich überholt das rapidere Wachsthum des Keimes, dem der ganze Sporenhalt zu Gebote steht, den Vorkeim, der bald vom Blatt, bald von der Wurzel zuerst durchbrochen wird (XII, 10, 12, 15). Dem Durchtritt der dicken Wurzelspitze geht die auffallende Erscheinung vorher, dass die erst mehrfache Lage der Vorkeimzellen, die sie überdeckt, sich nach und nach vereinfacht und verjüngt, bis nur noch eine einfache Schicht von Zellen übrig ist, die nach dem Scheitel der Wölbung zu, indem sich dieser streckt, immer dünner werden. Endlich lassen die Zellen selbst von einander und man sieht die Decke des Gewölbes nur doch durch eine structurlose Membran hergestellt, die die Lücke überspannt. Dieselbe sieht aus, als ob sie aus einer äusseren und einer inneren Lamelle, von der Aus- und Innenfläche des Vorkeim-Zellgewebes her bestände, die zusammenhaltend sich noch dehnen, während die Zellen zwischen ihnen, nachdem sie sich so lange wie möglich gestreckt haben, nun dazwischen zurückbleiben. Und es ist dies ein Zeugniss für die Fortexistenz einer allgemeinen den Vorkeim umhüllenden einfachen Membran, deren Ursprung füglich nur in der Haut der Mutterzelle, innerhalb der der Vorkeim sich erzeugt hat, und die man, wie oben erwähnt, beim Freipräpariren jüngerer Vorkeime leicht zu sehen bekommt (XI, 11, 12, 13), gesucht werden kann. Und man findet sie dann auch auf anderen Stellen vollwüchsiger Vorkeime hier und dort in Lappen sich lösend oder die Kegelfortsätze der Oberhautzellen locker überspannend deutlich erkennbar wieder. Sie bewahrt mithin ihre Vitalität merkwürdig lange.

In ähnlicher Weise, ist auch die Mutterzellhaut des Keimes selbst lange noch, wenn dieser sich schon zum vielzelligen Körper herangebildet hat, als einfache über alle Zellen gleichmässig hinwegziehende continuirliche Membran unzweifelhaft zu erkennen (XI, 13, 15, 16, 19, 20, 21), und überzieht denselben sicher noch sehr lange in weniger trennbarer Cuticulargestalt.

Vorkeime, deren Keimkörper unbefruchtet bleibt, wachsen lange Zeit selbständig weiter, und bilden sich zu seltsam verbreiterten, oft beckenförmigen, oder verschieden lappigen Gestalten aus, auf deren

1) Diese und manche andere untergeordnete Eigenheiten im Zellgewebe der Vorkeime und Keime durch die verschiedenen Arten der Gattung vergleichend zu beobachten, dürfte noch zu interessanten Ergebnissen führen. Doch überschritt das die Grenzen dieser Arbeit.

Scheitel das unbefriedigte Empfängnißorgan noch lange sichtbar bleibt, wie ich schon anderen Orts¹⁾ genauer geschildert habe.

Mit dem Durchbruch des Keimes und der nun beginnenden Verkümmernng des Vorgeims ist die eigentliche Keimung vollendet, ob sich gleich der Keim noch lange mittelst seines jetzt stark gewölbten Fusses an dem am längsten ausharrenden unteren Theil des Vorgeims und durch dessen in der Spore fest steckenden Basaltheil an dieser festhält, um die erst sehr viel später allmählich sich erschöpfenden Nahrungsvorräthe auszunutzen.

6. Fortbildung der Stammknospe.

Es ist schon berichtet, dass, nachdem die Stamm-Scheitelzelle dritten Grades (XI, 17, 5) sich durch eine senkrechte Wand in zwei Hälften, d. h. eine neue Scheitelzelle vierten Grades und eine ebenso gestaltete neben ihr liegende Urzelle eines zweiten Blattes (XI, 19c, 5) getheilt und hierdurch der Keim seine bis dahin vollkommene Symmetrie zwar nicht dem Ansehen aber der Bedeutung der Theile nach momentan eingebüsst hat, in der neuen Scheitelzelle zunächst eine mit ihrer oberen Wand parallele entsteht (XI, 20, 21a, b, c; XII, 1a:4), auf die eine eben solche untere Wand folgt (XII, 2a u. b, 3a u. b:5). Die nächste Scheidewand 6 ist dann wiederum senkrecht, mit der ersten senkrechten, 3, parallel (XII, 2b, 3a:6). Die Wände 4, 5, 6 verjüngen die Scheitelzelle vierten Grades zu einer desgleichen siebenten Grades, die jener ähnlich ist, ohne dass hiermit ein neues Blatt angelegt würde. Die drei neuen Zellen haben nur den Werth von Interstitialzellen, und theilen sich gewöhnlich zuerst ihrer grössten Ausdehnung parallel in zwei gleiche Scheibenzellen (XII, 2a, b, 3b: zwischen 1 u. 4, 2 u. 5) und diese theilen sich wieder in gewohnter Weise nach verschiedener Richtung, um die Masse der Axe herstellen zu helfen, in innere und oberflächliche Zellgenerationen. (XII, 3a, 5; XIII, 1, 2).

Jedoch findet in der zweiten Blatt-Mutterzelle zu gleicher Zeit oder unmittelbar darauf eine anfänglich gleiche Zertheilung statt, so dass die äussere Symmetrie noch zuvörderst erhalten bleibt. Erst etwas später wölbt sich dann die Blatt-Scheitelzelle mehr aufwärts, die Axen-Scheitelzelle mehr vorwärts.

Die oberen Wände dieses Systems, d. h. No. 1 u. 4 erscheinen

1) Monatsberichte etc. 1862, S. 116, F. 20 — 22.

sowohl von vorn nach hinten als auch von der Medianebene des Keims nach den Seiten zu merklich gewölbartig herabgekrümmt, was für das Verständniss ihrer Projektion auf die verschiedenen Durchschnitsansichten zu beachten ist. Indem jedoch die Scheitelzelle weiter vorquillt, werden die Oberwände mehr und mehr zu Hinterwänden derselben (XIII, 1—8).

Es tritt demnächst nun eine Theilungswand 7 auf (XIII, 2, 5, 6, 7), die an der senkrechten 6 ansetzend und unter und vor der Hinter- und Oberwand 4 hinziehend, sich nach der äusseren Seite zu mehr und mehr von dieser entfernt, und nach hinten sich schneller herabkrümmt. Das dadurch von der Scheitelzelle abgetrennte voluminöse Stück wölbt sich alsbald aufwärts hervor und zeigt sich als dritte Blatt-Mutterzelle, in der sofort die ferneren Scheidungen wie in der zweiten vor sich gehen.

Dadurch liegt jetzt wieder die nunmehrige Stamm-Scheitelzelle achten Grades, von ihrer gewölbten Aussenfläche an betrachtet (XIII, 5), zwischen zwei Blattanfängen (XIII, 5, 6, 7), und die Symmetrie des Ganzen ist nun dem Werthe der Theile nach wieder hergestellt. Aber nicht völlig der Form nach. Denn das zweite Blatt ist stets in seinem Wachsthum dem dritten voran, ragt höher hinauf, und drängt mit seiner massigeren Basis die Knospenzelle stärker zur Seite als dieses. Es zeigt sich das besonders in der verschiedenen Profilan-sicht dieser Theile (XIII, 4a, b, c). Denkt man sich jetzt, der nunmehrigen natürlichen Lage folgend, das erste Blatt aufrecht gestellt, so wird die Knospe durch jene Ungleichheit der ersten Blätter gezwungen, in ihrer Fortentwicklung etwas schräg von der Vorderfläche des ersten Blattes fortzustreben, ob sie gleich von Hause aus ihrem Ursprung nach genau symmetrisch ansetzt. Daher die nachmalige scheinbare Asymmetrie in der Stellung des ersten Blattes und der ersten Wurzel zur Hauptaxe.

Von jetzt ab, schon während noch der Vorkeim als geschlossene Scheide die Mitte des Keimes umgiebt, beginnen besonders die oberflächlichen Zellen von der Bauchseite der entstehenden Axe her sich zu Haaren auszudehnen, die am Grunde quer angesetzt und daher starr aufrecht alsbald die Knospe dichter und dichter bedecken. Dieser Umstand macht von nun an dieselbe immer schwieriger der Beobachtung zugänglich. Sie hindern die sichere Richtung von feinen Schnitten, so dass man sich auf solchen nicht orientiren kann, und gezwungen, die Knospe erst von ihnen zu befreien, verletzt man wieder deren zartes Gewebe leicht. Beim entwickelten Stämmchen

sind alle Knospen von so dichtem Filz umhüllt, dass dies Hinderniss öfter unüberwindlich wird. Das Beste bleibt daher auch hier, die Knospe möglichst isolirt herauszuschneiden, mit Kali zu behandeln, und durch Rollen allseitiger Beschauung zugänglich zu machen.

In den ersten Stadien erlangte ich dadurch meist genügende Bilder, weil die Scheitelzelle im Ganzen sich weniger über die Nachbartheile heraushebt. Je länger aber, desto spitzer wird der Vegetationskegel, und man erhält dann wohl noch gute Profilaussichten, aber keine genügenden von der Scheitelrichtung aus, weil die Seitenzellen sich auf dieser stark verkürzen und die zu schief ansetzenden Wände sich leicht der Wahrnehmung entziehen. Dabei wird der hohe Hügel bald nicht durchsichtig genug, bald zu verletzlich¹⁾. Dennoch habe ich schliesslich aus sehr zahlreichen Einzelbeobachtungen die Gesamtanschauung gewonnen, dass die fernere Zellbildung aus der Stamm-Scheitelzelle in ganz gleicher Weise fortfährt.

Man bemerkt bald, dass die folgenden Blätter sich an der Axe vor das zweite und dritte in zwei Reihen stellen, in denen sie untereinander alterniren (XIV, 15). Es lag daher nahe, diese Stellung aus einer zweischneidigen Gipfelzelle hervorgegangen zu denken, wie solche Hofmeister²⁾ z. B. bei manchen Polypodien und anderen Farnen gefunden hat. Allein dem ist nicht so. Vielmehr erfolgen nach der oben geschilderten Ziehung der siebenten Scheidewand, welche das dritte Blatt abgrenzt, neue Cyclen von Wänden, die den schon angelegten sich anreihend in dreifachem Wechsel nach unten, links und rechts geneigt sind (8, 9, 10, 11, 12, 13 u. s. w.) und immer wieder eine neue tetraëdrische Scheitelzelle zwischen sich lassen, wie es das Schema, Fig. 5 auf Taf. XIV angiebt. Die Figuren

1) Es wäre freilich nicht schwer gewesen, entsprechende Totalansichten, welche mir bisher kein einziges Einzelpräparat hat bieten wollen, aus Theilbildern zu combiniren, und der theoretische Werth solcher etwas schematisirten Darstellungen ist keineswegs zu verkennen. Ich habe mich aber dennoch nicht dazu entschliessen können, sondern mich begnügt, nur wirkliche Portraitbilder zu geben, weil es nur so möglich ist, auch noch eine spätere Kritik von jedem Präjudiz so viel als möglich frei zu halten. Freilich ist so nicht zu vermeiden gewesen, dass man auf mancher Figur diese oder jene Linie, die man eigentlich sehen müsste, aus perspectivischen Gründen, oder wegen irgend einer lokalen Inhaltstrübung nicht zu sehen bekommt, oder dass auch einmal eine scheinbar überzählige von hinten durchblickt. Allein die Vergleichung aller dieser partiellen Ansichten, die so genau als möglich gezeichnet sind, wird dennoch das erreichbar gewesene Gesamtresultat ebenso ins Licht setzen. Dasselbe ist schliesslich in einer rein schematischen Darstellung zusammengefasst. Vielleicht führen fortgesetzte Bemühungen an anderen Arten dieser Gattung zu noch vollkommenerem Resultat.

2) Beiträge II, S. 652 u. a. a. O.

9—14 (XIII) und 6 (XIV) geben einzelne Anschauungen der fortschreitenden Entwicklung, in verschiedener Richtung betrachtet, in denen die Anlage bis zum vierten Blatt gelangt. Das einfache bei jedem neuen Blatt wiederkehrende Verhältniss der Scheitelzelle zu den jüngsten Blatthügeln ergibt sich am klarsten aus dem Vergleich der Zustände, die Fig. 7, Taf. XIII und Fig. 4, Taf. XIV darstellen.

Wie viel Interstitialzellen zu entstehen haben, bis nach dem dritten die Mutterzelle eines neuen Blattes folgt, ist mir nicht zu ermitteln gelungen, und ebensowenig, wie sich das Zahlenverhältniss am älteren Spross gestaltet. Man bekommt in früheren Zuständen keine genügend grosse Anzahl von kleineren Blattanfängen zugleich in Uebersicht, um ein Gesetz zu folgern, da die vorletzten zu schnell heranwachsen, und damit die Ursprungs-Zellabschnitte nicht mehr unterscheidbar bleiben. Doch ist mir kaum zweifelhaft, dass die Zahl der Zwischenzellen gemäss der temporären Ueppigkeit des Wachstums veränderlich ist.

Alle Blätter jedoch entstehen lediglich aus den beiden Zellschichten, die seitlich und zugleich etwas geneigt nach oben gewendet sind, keins aus der unteren Lage, die nur Internodialzellen und sodann aus diesen Wurzelanfänge liefert.

Ansichten, wie sie die Knospen erwachsener *Marsilia*-Stämmchen liefern, bestätigen durchaus das aus den Keimen gewonnene Gesetz. Allein die Theile, die hier zart und wenigzellig angelegt werden, sind dort massige Zellkörper. Die gewaltige schnell voraneilende Entwicklung der an der oberen Wölbung des Stammes entspringenden Blätter (vgl. XIV, 15, 17) drängt die Gipfelknospe scheinbar an die Unterseite desselben herab, von wo aus sie durch Haare versteckt wird.

Dennoch lehrt ein Längsschnitt, horizontal durch einen wachsenden Spross geführt, das ganze Stellungsgesetz der Theile aufs Klarste (XIV, 1). Rechts und links wechseln die Stümpfe abgestorbener oder entfernter Blätter ab, deren jedes eine Knospe in seiner Achsel zeigt und zwar etwas schief nach der Bodenseite des Sprosses gerichtet. Der Gipfel trägt gedrängt die jüngsten Blätter in grösserer Zahl (XIV, 1, 2), die nach Farnenart eingerollt und von Haaren umhüllt den Vegetationspunkt zwischen sich tief verborgen halten. Durch Schnitte, die bald näher dem Rücken, bald näher der Bauchseite des kriechenden Sprosses, horizontal oder senkrecht gegen die Axe laufen, überzeugt man sich, dass sämtliche Blattansätze auf dem Rücken einander genähert sind, die Bauchseite also einen

grösseren Theil des Stengelumfanges umfasst, und auf diesem ausschliesslich alle ferneren Wurzeln hervorbringt.

Dasselbe zeigt die genauere Betrachtung des Sprossscheitels (XIII, 15, 16; XIV, 1, 2, 3). Man sieht den Vegetationskegel in der Seitenansicht aus alternirenden Zellscheiben aufgebaut, welche die aufeinanderfolgenden Abschnitte der Scheitelzelle sind. Die jüngsten Blätter nehmen deutlich aus einzelnen derselben ihren Ursprung, und zeigen dabei nicht allein in der symmetrischen Ansicht von oben (XIII, 15), sondern noch klarer in der Profil- oder Halbprofilansicht (XIII, 16; XIV, 3), dass die ersten Blattanfänge schon auf einer Axenseite näher, im Ganzen etwa um den dritten Theil des Axenumfanges von einander entfernt sind. In Fig. 3 (XIV) verräth zugleich die nicht symmetrische Stellung der Blätter zu den Zellreihen, die den Stammgipfel zusammensetzen, dass solcher Reihen nicht bloss die beiden sichtbaren existiren, sondern ausserdem noch eine hinten liegende dritte vorhanden ist.

Ueber das Fortwachsen solches Gipfels ist daher im Allgemeinen kaum noch ein Wort den Bildern hinzuzufügen nöthig. Die Abschnittszellen theilen sich durch gekreuzte Wände aussen in kürzere, innen in längere Theilzellen, deren Schichten erst spitzwinkelig oder rechtwinkelig auf einander stossen, später in parallelere Lagen übergehen, wie schon oben aus Blatt und Wurzel geschildert ist. Den Gipfel behauptet auch ferner eine nahezu tetraëdrische Zelle, deren Wände jedoch so stark gewölbt sind, dass sie von oben betrachtet fast sphärisch erscheint.

Eine Gabelung des Gipfels ist mir niemals vorgekommen, ob schon manchmal eine Achselknospe so nahe demselben zu kräftiger Entwicklung kommt, dass es äusserlich wie solche aussehen kann. Genauere Untersuchung lässt jedoch nirgends Zweifel, dass alle Seitenknospen dieser Pflanzen ihrer Stellung nach wahre Achselknospen sind, wenn sie auch, wie gesagt, von Anbeginn an dem unteren Rande der Achsel („bodenseits“) auftreten, wie schon Mettenius¹⁾ im entwickelten Zustand bemerkt hat. Denn ob dieselben am Grunde der Blätter, bei denen sie erscheinen, unterhalb der Spitze des Vegetationskegels früher oder später sichtbar werden, als die nächst jüngere Blattanlage, ist doch sicher nicht massgebend, wenn einmal die Anlage zu ihnen in einer bestimmten Zelle von Anbeginn gegeben ist. Sie sind völlig mit demselben Recht Achselknospen wie die

1) Mettenius. Seitenknospen der Farne S. 618.

gleichnamigen Gebilde der Phanerogamen, wie denn überhaupt die Mettenius'sche Ansicht¹⁾, dass die axillaren und extraaxillaren Seitenknospen der Farne keineswegs mit Hofmeister als lauter Adventivknospen, sondern als reguläre Seitenknospen aufzufassen seien, — wenn sich immerhin im Einzelnen um die Abgrenzung beider Begriffe noch streiten liesse, — dennoch, trotz der von Hofmeister neuerdings wiederholt versuchten Begründung²⁾ seiner Auffassung, allgemeinere Geltung behalten wird, wenn man erwägt, dass eine Knospe nicht als eine „adventive“ zu betrachten ist, welche an regelmässigem durch die Blattstellung bestimmbarem Ort, getrennt oder mit dem Blatt verbunden, aus irgend einer Theilzelle, gleichviel ob ersten oder n^{ten} Grades, aus der Axe hervorgeht.

Will man aber nur solche Knospen als Seitenknospen betrachten, die aus einer „Gabelung“ des Gipfels hervorgehen, und damit zugleich alle regulären Seitensprosse auf eine Gabelung des Gipfels zurückführen³⁾, so ist darauf zu erwiedern, dass freilich sowohl Blätter als Knospen aus der Theilung einer Gipfelzelle in letzter Instanz hervorgehen müssen, dass jedoch von Gabelung nur die Rede sein kann, wo die Gipfelzelle selbst sich nicht, wie überall die Norm, durch eine excentrische Wand in eine fernere Gipfel- und eine Seitenzelle theilt, sondern wo sie sich durch eine in der Axe selbst stehende Scheidewand in zwei völlig congruente und symmetrische Hälften zerlegt und dadurch ihre Alleinherrschaft aufgibt und zwei genau symmetrischen Zwillings sprossen die Entstehung giebt. Letzter Fall ist gewiss im ganzen Pflanzenreich nur der seltenere Ausnahmefall. Bei den Phanerogamen sind wir zwar bis zur Scheitelzelle nur noch selten gelangt, doch sind die jungen Anlagen von Blättern und Knospen neben und unter dem Gipfel früh genug zu sehen, um erkennen zu lassen, dass sie vom Haus aus excentrisch und dem Gipfel ungleichwerthig sind. Und müsste man mit den Knospen natürlich auch die Blätter selbst als Gabeläste des Gipfels auffassen. Bei den Kryptogamen aber kennen wir Scheitelzell-Entwicklungen genug, um mit Sicherheit schon die Urzelle der Blätter und Seitenknospen als Seitenzelle, und jene somit als normale Seitengebilde zu erkennen. Jene Herleitung scheint mir daher den

1) Mettenius, Seitenknospen der Farne, Abhandl. d. K. Sächs. Ges. d. Wiss. VII, 611 sq.

2) Pringsheim's Jahrbücher III, S. 278.

3) Pringsheim, in Bot. Zeit. 1853, S. 609. — Irmisch, ebend. 1855, S. 61.

bisher bekannten Thatsachen nicht zu entsprechen, und wäre zumal, wie gesagt, für *Marsilia* entschieden unzutreffend, wo ich weder symmetrische Spaltung der Scheitelzelle noch irgend eine Adventivknospe gefunden habe.

Mit der Anlage neuer Blätter hält die neuer Wurzeln Schritt, oder überholt sie vielmehr in der Zahl bedeutend, und zwar schon in ganz jungen Pflänzchen.

Die zweite Wurzel tritt an der Flanke der Bodenseite der Stammknospe so auf, dass sie in ihrer Richtung der des zweiten Blattes (ersten Laubblattes) sich fast entgegensetzt, und nahezu unter der Basis des dritten erscheint. Aehnlich erscheinen die folgenden im Verhältniss zu den späteren Blättern, doch eben nicht ganz regelmässig, weil die Zahlen nicht stimmen und neue Adventivwurzeln zwischen den älteren nachkommen. Die Wurzeln bilden zwei fortlaufende Reihen seitlich an der unteren Fläche des Stammes, wie die Blätter näher seinem Rücken. Jede geht aus einer in einer tieferen Schicht gelegenen Urzelle hervor, die sich nach demselben Theilungsgesetz, wie die Anfangszelle der ersten Wurzel fortentwickelt.

Stellt man sich nun das Stellungsverhältniss der Theile zur Axe vor, so ergibt sich, dass das erste Blatt allein eine rein dorsale Stellung behauptet, und von der ganzen Oberseite des Stammtheiles der Keimpflanze seinen Ursprung nimmt, und zugleich in sich stielrund und symmetrisch aus zwei gleichen Längshälften zusammengesetzt ist. Die fernerer jedoch entspringen wechselnd rechts und links, nach oben genähert, d. h. in Zifferwerthe übertragen, die Divergenz zwischen dem ersten und zweiten Blatt ist nicht ganz $\frac{1}{4}$ (oder genau genommen zuerst $\frac{1}{4}$, später zu $\frac{1}{6}$ auf dem kurzen Weg verringert) und die zwischen allen fernerer constant $\frac{1}{3}$ (oder $\frac{2}{3}$ auf dem langen Weg) mit stets umschlagender Richtung der Entwicklungsspirale. Die anfängliche Wendung, vom Keimblatt zum ersten Laubblatt, ist bald rechts, bald links; ob eine Richtung und welche überwiegt, bleibt noch zu ermitteln.

Freilich ist diese Stellung in der Zelltheilung genau vorgezeichnet, aber bemerkenswerth ist, dass die Zellfolge selbst sich schnell zu beständiger gleichlaufender $\frac{1}{3}$ -Spirale regelt, während die Blätter in umsetzender verharren. Alle folgenden Blätter, vom zweiten an, zeigen Spreitenbildung und sind mit der oberen Seite derselben einander zugekehrt und entsprechend eingerollt. Ich finde in der Aus-

nahmestellung und Ausnahmegestaltung des ersten Blattes eine Bestätigung seiner Cotyledonar-Natur¹⁾).

Auch lässt sich nicht in Abrede stellen, dass die erste ebenfalls völlig symmetrisch gestellte Wurzel ähnlich von allen übrigen abweicht, und ich möchte daher zur Erwägung geben, ob in der That für diese Pflanzengattung noch hinreichender Grund bleibt, dieselbe statt für eine wirkliche Hauptwurzel nur für die erste Adventivwurzel zu halten. Sie liegt mit ihrer Axe in der directen Verlängerung der Stammaxe, und die Richtung der ersten sie von dem Fussantheil trennenden Wand spricht nicht dafür, diesen als Hauptstück und ihre Urzelle als Seitenabschnitt der gemeinsamen Mutterzelle aufzufassen. Ob aber lediglich die Analogie mit verwandten Pflanzen zur Aufrechterhaltung der geltenden Annahme bei mangelndem concreten Grund genügen kann, dürfte doch bezweifelt werden können. Mit der liegenden Hauptaxe scheint mir daher eine sehr einfache Anschauung der Keimmorphologie vereinbar zu sein. Doch mögen erst noch mehr vergleichende Untersuchungen verwandter Fälle die Sache spruchreif machen.

7. Blattentwicklung.

Das Keimblatt der Marsilien bleibt stets einfach fadenförmig ohne alle Spreitenbildung. Es wird nur wenige Linien bis etwa einen halben Zoll lang, streckt aber dennoch schon gern seine Spitze über die Wasseroberfläche heraus. In den folgenden Blättern kommt schrittweis die Spreite zur Ausbildung, doch muss erst eine ganze Zahl erscheinen, ehe die vollkommene gegliederte Gestalt des gevierten *Marsilia*-Blattes zu Stande kommt. Die Abbildung (XIV, 15) einer jungen Pflanze von *M. salvatrix* zeigt eine solche Entwicklungsfolge. Schon E. Fabre²⁾ deutet eine übereinstimmende Folge der Blätter von *M. pubescens* an.

Man sieht hier die drei ersten Laubblätter mit lanzettlicher Spreite erscheinen (15, 2, 3, 4), die nächsten zwei (5, 6) mit zweitheiliger, dann zwei mit viertheiliger (7, 8), dann eins, bei dem die Theilung auf dem Uebergang zur Gliederung steht, und dann erst tritt mit dem zehnten und elften Blatt eine vollständige Gliederung

1) Nach Mettenius, *Rhizocarpeen* S. 40 steht bei *Pilularia* zwar das Keimblatt mit in der Reihe der zweizeiligen Laubblätter, doch ist dies vermuthlich nur eine scheinbare, sekundäre Wendung desselben.

2) A. a. O. S. 227.

auf, bei jenem noch mit ungleichen Blättchen. Ueberall diesem Beispiel ähnlich, vollzieht sich die Formentfaltung doch unter untergeordneten Zahlunterschieden der Blätter jeder Stufe. Auch treten die ersten gegliederten Blättchen sehr häufig nur mit gepaarter, nicht schon gevierter Spreite auf.

Mit der vollkommenen Gliederung der Spreite gewinnt die Blattbildung jedoch sogleich eine andere Physiognomie und die Pflanze tritt in das Stadium des Erwachsenseins. Denn jene Jugendblätter mit ungegliederter, erst ganzer, dann getheilter Spreite tragen dieselbe von Anbeginn steif aufrecht auf kurzen verhältnissmässig kräftigen Stielen. Niemals ist sie eingerollt, nur im Zustande der Anlage etwas eingekrümmt (XIII, 14, b²). Sie werden alle nicht gross, etwa $\frac{1}{2}$ bis 1 Zoll hoch, und bleiben daher, wenn der Boden höher mit Wasser überdeckt ist, ganz unter demselben, wo sie frisch und lange fortvegetiren. Die vollkommenen Blätter dagegen schiessen mit dünnerem, schlankem Stiel schnell auf, suchen unter allen Umständen die Wasseroberfläche, und tragen die noch lange eingerollte und unentwickelte Spreite gern weit über diese empor, um sie in der Luft zu entfalten. Nur bei schwächerem Wuchs lassen sie die vier Blättchen ausgebreitet schwimmen. Die ferneren Blätter nehmen noch lange fort und fort an Grösse in allen Theilen zu, indem jedes folgende das vorhergehende übertrifft. Zuletzt hängt endlich die Grösse von dem Standort ab, und ist nicht allein bei derselben Art, sondern sogar bei derselben Pflanze ausserordentlich veränderlich, zwischen wenigen Zollen und Fusseslänge, je nachdem dieselbe trocken oder im Wasser steht. Damit harmonirt die Streckung der Internodien, die bald zwischen dicht gedrängten Blättern und gehäuft entwickelten Achselknospen unsichtbar bleiben, — wie die ersten z. B. stets (XIV, 15), — bald viele Zoll weit am Boden des Wassers vorwärts schiessen, ehe sie ein Blatt entrollen, und sich zugleich aus dessen Knoten wieder anwurzeln. Die Marsilien sind sehr dauerhafte Pflanzen, den verschiedensten Umständen sich anzupassen fähig.

Die Bildung und Entwicklung des Keimblatts ist schon oben geschildert, und es bleibt nur hinzuzufügen, dass schliesslich an seinem oberen Theil sich einige zerstreute Spaltöffnungen zu entwickeln pflegen (XII, 7; XIV, 14:spa), die es zum Luftathmen befähigen. In einem Fall sah ich eine solche unmittelbar auf der Spitze des Blattes (XIV, 13). — Sonst sieht man den borstenförmigen feinen Ausgang derselben oft chlorophyllarm, und zuweilen verschrumpft. Auch eine eigenthümliche spirale Drehung desselben habe ich öfter wahr-

genommen, wie sie die Abbildung (XIV, 14) zeigt, und wie sie nach Mettenius auch bei *Pilularia* vorkommt¹⁾).

Die Entwicklung der Jugendblätter ist vom ersten an sofort eine andere, insofern sie alsbald mit Anlegung einer breiteren Spreite beginnen.

Zuerst entwickelt sich die Blatt-Mutterzelle, wie die Stamm-Scheitelzelle selbst, durch wechselnd von zwei Seiten her gegeneinander geneigte Scheidewände, die eine neue Scheitelzelle höheren Grades zwischen sich lassen. Zumal die ersten Laubblätter zeigen hierin eine grosse Aehnlichkeit mit der wachsenden Stammknospe (XIII, 1, 2, 4—7: b^2 u. b^3), nur dass der Neigungswinkel mehr aufwärts geöffnet ist als bei dieser. Allein schon nach wenigen Theilungen hebt sich der junge Blatthügel charakteristisch heraus (XIV, 6, b^3). Doch geht alsbald die Entwicklung mehr in die Breite, so dass die Scheitelzelle des jungen Blattes mehr dem Schlusssteine eines kreisähnlichen Gewölbebogens als der Spitze eines Kegels ähnelt (XIV, 6, b^2 : b^2 , b^3), und desshalb bei nicht ganz rechtwinkliger Beschauung oft unter ihren letzterzeugten Nachbarn nicht herauszuerkennen ist (XIII, 9, 11—14: b^2 , b^3). So bildet sich bald eine Reihe fast keilförmiger Scheibenzellen, welche im Bogen nebeneinander geschichtet, den aufwärts fortrückenden Rand des Blattes bilden, während sie unten und von innen her sich in Schichten cuboidischer Theilzellen zerlegen, aus denen sich Stiel und Spreite nach und nach aufbauen, indem die entstehenden Lagen sich unten mehr zu walziger Rundung, oben mehr zu flächenförmiger Ausbreitung entwickeln (XIV, 6, 8; XIII, 14, b^2).

Das junge Blatt theilt sich so, dass es seine Fläche der Stamm-Scheitelzelle, aus der es hervorgegangen, zuwendet, die Ränder in Bezug auf die Stammaxe aber nach und nach mehr vorwärts und rückwärts kehrt als nach oben und unten. So erhebt es sich dann über die Oberseite der kriechenden Axe. Demnach erblickt man, wenn man es von der Seite her ansieht, bloss die bogigen Ansatzlinien der einen Abschnitts-Zellenreihe in schmalerer Ansicht (XIV, 7); wenn man dagegen die Fläche betrachtet, sieht man auf breiterer Rundung die ganze Theilungsfolge (XIV, 6, 8). Von oben gesehen, erscheint das junge Blatt leicht als fast einfache Kugel, da die sehr geneigten Theilungswände nicht oder kaum sichtbar werden (XIII, 3, 9, 10, b^3).

1) *Rhizocarpeen* S. 40.

Hier beginnt also die Anlage der Spreite die Blattentwicklung, und der Stiel rückt erst in der Folge nach. Ganz anders gestaltet sich die Ausbildung der gegliederten normalen Blätter, welche nur im ersten Stadium jenen Jugendblättern gleichen (XIII, 15, bz, by; 16, bz; 17, 18, b; XIV, 3, bz). Sie treten in Gestalt einer blasigen Auftreibung auf der seitlichen Abdachung der Rückenfläche der zur Blattbildung bestimmten Abschnittszelle, wenn diese etwa um 2—3 Zellen von der Scheitelzelle entfernt ist, hervor, und gliedern sich zunächst von ihrer mit dem Stengel vereint bleibenden Unterlage ab (XIV, 3, bz; XIII, 18). Diese theilt sich wie ihre Nachbarabschnitte; der eigentliche Blattanfang jedoch hebt sich als Scheitelzelle zwischen einfach von zwei Seiten geneigten Wänden (XIII, 15, by; 17, 18, b), einen schmalen, oft fast cylindrischen Kegel bildend. Während die Jugendblätter den Vegetationskegel schon früh an Breite übertreffen, sind vielmehr diese normalen Blätter bei ihrem ersten Hervortreten von dem oft ähnlichen Axengipfel durch ihre schlankere Form unterschieden (XIII, 17, 18; XIV, 3).

Immer höher wachsen sie zu cylindrischer Gestalt aus, und die Scheibenzellen (XIV, 9 b, 9 c, 9 d: p—z), die sich vom Gipfel (bs) abtrennen, gewinnen in ihrem grössten Durchmesser in der Richtung von der vorderen zur hinteren Blattseite eine bedeutende Ausdehnung (XIV, 9 a). Daher beginnt in ihnen eine Theilung in entgegengesetzter Richtung, und zwar ebenfalls durch geneigte Scheidewände, die abwechselnd an der Rücken- und Bauchseite der jungen Blattanlage beginnend in der Mitte unter nahezu rechtem Winkel aufeinander treffen, und so zunächst schmale Streifen von der inneren Kante der keilförmigen Scheibenzelle absondern, die sich dann schnell, in kurz prismatische „Schichtzellen“ — wie man diese das ganze Blatt durchsetzenden Zellenreihen, welche äussere und innere Zellen umfassen, am besten nennen kann — zerlegen (9 c). Durch diese Reihen secundärer wechselnd geneigter Scheidewände, deren Neigungsebene auf der Neigungsebene der ersten Scheidewände fast rechtwinklig steht, wird, indem ihre inneren Endigungen sich nach und nach aneinanderreihen, eine Art von continuirlicher medianer Scheidewandkette durch das ganze Blatt hergestellt, welche auf der Profil-Durchschnittsansicht (XIV, 9 c) erscheint, während eine einfachere das Blatt von vorn nach hinten durchsetzende fortlaufende Wand durch die inneren Endungen der primären Abschnittszellen zusammengesetzt wird, die sowohl auf der Rücken- als auf der Bauchfläche des Blattes (9 b u. 9 d) sichtbar ist.

Auf diesen Ansichten erblickt man dann die Theilungsfolge in leichter Uebersicht. Schon in der dritten Zelle unterhalb der Gipfelzelle (9 b u. d: vx) theilt sich eine streifenförmige Zwischenzelle ab, die sich sofort (9 c) in eine Schichtzellenreihe verwandelt. Die verjüngte Randzelle spaltet sich in zwei dergleichen, und durch wiederholte wechselnde Abtrennung von Schichtzellen und Spaltung der Randzellen dehnt und reckt sich das Ganze (9 b u. d). Die Randzellen theilen sich zuletzt ganz in Schichtzellen, deren äussere ringsum kurz und polyedrisch bleiben, während die mittleren länger werden, und die innersten endlich zur späteren Herstellung des Gefässbündels sich bedeutend strecken und hauptsächlich der Länge nach spalten (9 e).

Das Spalten und Dehnen der Rand- und Schichtzellen geschieht auf der Rückenseite des Blattes schneller als auf der Bauchseite. Daher krümmt sich das Blatt nach innen und rollt sich endlich völlig ein (XIV, 2, 3, 9), und es sieht dann im Profil (9 a, c) aus, als ob die Scheitelzelle seitwärts sässe.

Erst nachdem das junge Blatt in kegelartiger Gestalt eine ziemliche Ausdehnung erreicht hat, legt es seine Spreite an.

Man sieht von der Flächenseite her durch überwiegende Schwellung seitlicher Marginal-Zellgruppen die Spitze dreieckig werden (XIV, 10 b). Die Thätigkeit dazwischen liegender Randzellen stockt, und sie wird dreilappig. Jetzt hört auch die Scheitelzelle als solche auf thätig zu sein, während seitlich von ihr die Theilung der Marginalen lebhafter wird (XIV, 11), und so theilt sich nach und nach der mittlere Lappen noch einmal. Die vier Lappen überbieten bald durch schnelles Wachsthum die Breite ihrer Basis, die Ausdehnung des Stieles und sogar den disponiblen Raum am Stengel; die mittleren fügen sich mit der Innenseite zusammen, und die seitlichen legen sich von aussen gegen sie, während alle die nach innen geneigte Stellung bewahren (XIV, 12; 15, 11). So entwickeln sie sich neben einander gleichmässig fort, und gliedern sich, indem sich ihre Basalthteile für sich stielartig ausbilden, vom gemeinschaftlichen Stiel ab.

Der Rand jedes Lappens wächst durch Spaltung der Marginalen (XIV, 12 c, d) und Abtrennung von Schichtzellen (12 a, b) ringsum fort, ohne Scheitelzelle. Ja es überwiegen sogar die zu äusserst an beiden Seiten stehenden Randzellen in der Forterzeugung neuer Zellen, und man nimmt hier von oben und seitwärts gegen einander geneigte Wände wahr. Innerhalb der Marginalen erfolgt die Schicht-

zellenbildung durch Wände, die von hinten und vorn geneigt sind, fort, wie in der noch spreitenlosen Blattspitze (12a, b).

So wirkt lange der gesammte Blattrand als Vegetationslinie. Es legen sich die sämmtlichen Flächen-Zellschichten des Blattes an, es sondern sich die Cambialzüge aus und gestalten die Gefässbündel, es entwickeln sich die Oberhautgebilde, die eigenthümlichen mit einem Querfortsatz ihrer Basalzelle eingefügten Haare und die Spaltöffnungen. Auf alle diese histologischen Einzelheiten jedoch, auf die Art, wie sie in Blatt, Wurzel und Stengel nach und nach sich herstellen und sich im und am erwachsenen Pflanzenstock vertheilen und vielleicht auch spezifische Unterschiede bergen, genauer einzugehen, lag ausserhalb des Themas dieser Arbeit, wie dieselbe auch die Bildung der Früchte und Sporen nicht berührt hat, da ja gerade von allen diesen Punkten durch die Arbeiten der wiederholt genannten Forscher fast alle wesentlichen Züge bekannt geworden sind.

8. E r g e b n i s s.

Es sei schliesslich in kurzen Worten das Wesentlichste des in diesen Untersuchungen Gewonnenen zusammengefasst:

1. In dem Fruchthälter der Marsilien liegt ein Ring knorpeligen Zellgewebes, dessen Zellen im trocknen Zustande eng gefaltet und zusammengepresst und mit aufquellbarer Substanz gefüllt sind, und zwischen dessen hinterer und vorderer Krümmung die Sori ausgespannt sind. Derselbe sprengt bei Wasseraufnahme die Hülle, tritt in Gestalt eines gallertartigen voluminösen Ringes, der vorn leicht zerreisst, ins Freie und breitet die Soren im Wasser aus, die zugleich geöffnet die Sporen entlassen.

2. Der Inhalt der Mikrospore theilt sich durch 3 auf einander senkrecht stehende Theilungsebenen zuerst in 8, und durch tetraëdrische Zertheilung jeder dieser 8 schliesslich in 32 Plasmaportionen, die sich alsdann zu eben so vielen Spermatozoid-Mutterzellen ausbilden, welche mit dem Endosporium zugleich entleert werden.

3. Das Spermatozoid besteht aus einer selbständigen Zelle, deren kugelförmiges Hintertheil viele Stärkekörner enthält, deren Vordertheil in einen vielfach gewundenen feinen Schraubenfaden übergeht, der mit zahlreichen langen Wimpern besetzt ist. Es schwimmt schnell in stetiger Drehung, verliert — meist im Schleim der Makrospore — sein „Stärkesäckchen“ und schlüpft ohne dasselbe in die Empfängnisöffnung.

4. Im Scheitel der Makrospore bildet sich aus einem vorgebildeten Plasmahäufchen die Urzelle des Vorkeims. Ihr Inhalt theilt sich durch Sonderung in eine grosse centrale und eine einfache Schicht kleiner peripherischer Plasmaportionen, die sich erst dann durch Membranbildung zu Zellen gestalten.

5. Vier auf dem Scheitel gelegene Zellen erheben sich zum Archegoniumhals, indem sich jede von ihnen durch eine etwas nach innen geneigte Wand in zwei theilt.

6. Die centrale Plasmamasse wird zum Keimkörper (Befruchtungskugel, Pringsheim). Sie sondert eine Schleimmasse auf ihrem Scheitel in Zellform (als Tochterzelle?) ab, welche durch Explosion nach aussen den Archegoniumhals zur Empfängniss öffnet. Ein Spermatozoid schlüpft nach Ueberwindung eines kurzen Widerstandes ein, und verschwindet im Inneren, vermuthlich in der Masse des Keimkörpers.

7. Derselbe umkleidet sich mit einer Zellhaut und theilt sich senkrecht in die Stamm- und Wurzel-Mutterzelle.

8. Die Stammzelle trennt zuerst nach oben die Anfangszelle des ersten oder Keim-Blattes ab.

9. Die Wurzelzelle scheidet zuerst nach unten die Urzelle des hinteren Fussantheils ab, so dass nun die Keimzelle rechtwinkelig und symmetrisch gegen ihre Medianebene in vier ungleiche Zellen zerlegt ist.

10. Der vordere obere Keimquadrant entwickelt sich zuerst und zwar durch wechselnd geneigte Scheidewände aus seiner Scheitelzelle zu dem spreitenlosen fadenförmigen Keimblatt. Die Scheitelzelle entwickelt sich nur durch wenige Grade, dann fährt die Zellvermehrung nur noch an der Basis lebhaft fort.

11. Der hintere obere Keimquadrant (die Wurzelzelle zweiten Grades) theilt nach 3 Seiten geneigte Abschnittszellen in stets gleichen Cyclen ab, die eine nahezu tetraëdrische Scheitelzelle zwischen sich lassen. Diese scheidet nach dem ersten dreigliedrigen Cyclus (als Wurzelzelle fünften Grades) die erste Wurzelhauben-Zelle ab, auf die später mehrere folgen.

12. Der vordere untere Keimquadrant theilt durch seine zweite Theilungswand nach unten zu die Mutterzelle des vorderen Fussantheils ab. Durch seine dritte seitlich das zweite Blatt (erste Laubblatt). Darauf folgt ein dreigliedriger ebenso gelagerter Cyclus von Internodialabschnitten; dann durch die siebente Wand dem zweiten gegenüber das dritte Blatt.

13. Die hierdurch gegebene Entwicklungsrichtung der Stammknospe lässt die Lage der Keimaxe als fast horizontal (etwas nach vorn geneigt) erkennen. Die erste Wurzel liegt, — wie eine phanerogame Hauptwurzel, — genau in ihrer Rückwärtsverlängerung. Die Annahme einer früheren Axe in anderer Richtung, die unentwickelt bliebe, erscheint mit der ersten senkrechten Theilung nicht vereinbar. Vielmehr ist jene liegende als die Hauptaxe der Pflanze anzusehen.

14. Der Fuss entwickelt sich aus einer vorderen Abschnittszelle zweiter und einer hinteren erster Ordnung, die gemeinsam eine parenchymatische (saugnapfartige) Zellmasse ausbilden, welche als seitliche Ausbreitung des para- und hypokotylen Theiles der liegenden Axe betrachtet werden kann, und der Nahrungsaufnahme dient.

15. Die Stammknospe fährt fort dreigliedrige Cyclen von Abschnittszellen (nach $\frac{1}{3}$ -Divergenz) zu erzeugen, die zwei dorsale und eine centrale Reihe bilden. Aus jenen stammen von Zeit zu Zeit (bei noch nicht ermitteltem Zahlenverhältniss der Internodialzellen) die zweireihig gestellten Blätter, aus jener die Wurzeln unter rechten Winkeln gegen die Blätter. Die Blattstellung setzt unter $\frac{1}{4}$ - (später $\frac{1}{6}$ -) Divergenz nach dem Keimblatt ein, und fährt in constant umschlagender Spirale mit $\frac{1}{3}$ - ($\frac{2}{3}$ -) Divergenz fort.

16. Die Verästelung geschieht allein durch normale Achselknospen-Entwicklung.

17. Auf das spreitenlose median gestellte Keimblatt folgt eine Anzahl Jugendblätter mit kurzem Stiel und ganzer, dann zwei-, dann viertheiliger fast von Anbeginn aufgerichteter Spreite. Darauf erst entwickeln sich normale Blätter mit langem Stiel und erst eingerollter (erst zwei- dann) viergliedriger Spreite.

18. Beide Laubblatt-Generationen wachsen mit fortzeugender Spitze. Die Jugendblätter entwickeln jedoch sofort eine Spreite, deren Randzellen die Spitzenzelle in der Fortbildung unterstützen. Die normalen Blätter entwickeln sich zuerst stielförmig, und legen erst dann die Spreite an, indem die Scheitelzelle ihre Function an die Gesamtzahl der Randzellen abtritt, die, gruppenweis voraneilend, die Viergliedrigkeit des Blattes bewerkstelligen. Sie theilen sich bis zum Erwachsensein des Blattes.

19. Die Gefässbündel werden durch Längstheilung der axilen Zellen der Blätter, Wurzeln und der Axe angelegt, und fügen sich unter entsprechenden Winkeln an einander. Im Keimblatt beginnen sie der Entwicklung folgend von oben nach unten, die Spitze selbst

jedoch nicht erreichend. In den anderen Theilen schreiten sie von der Basis zur Spitze fort.

20. Der Vorkeim folgt von der Befruchtung an selbständigem Entwicklungsgesetz, bis er vom Keimblatt und der ersten Wurzel überholt von diesen durchbrochen wird und allmählich verkümmert.

Aus Vorstehendem erhellt, bei mancher Eigenartigkeit, doch eine bedeutende Verwandtschaft der *Marsilia* und der sehr ähnlichen *Pilularia* in ihrer Entwicklung mit der der *Polypodiaceen*, während ihre Aehnlichkeiten mit *Salvinia* sich im Wesentlichen auf die horizontale Keimlage und die erste Theilung in der Stammzelle beschränkt. Letzte steht den niederen *Cryptogamen* in mancher Beziehung näher, während die *Marsiliaceen* sich jenen höheren anschliessen. Freilich dürfte vielleicht noch manches, was jetzt als auffallender Unterschied in der Keimentwicklung zwischen den verschiedenen Farnfamilien hervortritt, bei wiederholter Prüfung sich als gemeinsamere Eigenthümlichkeit herausstellen.

Erklärung der Abbildungen.

Die Figuren sind mit Ausnahme der wenigen, die nur nach Loupen-Vergrößerungen gezeichnet sind, mit der Camera lucida entworfen und zwar, wenn nicht besonders eine andere Art angegeben, nach *Marsilia salvatrix*. Für die öfter wiederkehrenden Theile finden übereinstimmend folgende Bezeichnungen statt:

k: Keim oder Keimkörper.

vk: Vorkeim.

s: Stamm-Scheitelzelle; st: Stamm.

v oder pv: Vegetationspunkt ohne Bezeichnung der Scheitelzelle.

1, 2, 3, 4 . . . : erste, zweite, dritte u. s. w. in der Stammzelle auftretende Scheidewand.

0: Scheidewand zwischen der Stamm- und Wurzel-Mutterzelle.

w: Wurzel; ws: Wurzel-Scheitelzelle; wh: Wurzelhaube.

w1, w2, w3 . . . : erste, zweite, dritte u. s. w. in der Wurzelzelle auftretende Scheidewand.

b: Blatt; b¹, b², b³ . . . : erstes, zweites, drittes u. s. w. Blatt.

b1, b2, b3 . . . : erste, zweite, dritte u. s. w. in der Blattzelle auftretende Scheidewand.

bs: Blatt-Scheitelzelle.

bz, by, bx, bw . . . : letzte, vorletzte, drittletzte u. s. w. in der Blattzelle aufgetretene Scheidewand.

f: Keimfuss.

gsp: Gyno- oder Makrospore.

ex: Exosporium.

end: Endosporium.

mz: Mutterzellhaut des Vorkeims.

mu: Mutterzelle des Spermatozoids.

am: Stärkekörner; anz, Zellen, dergleichen enthaltend.

gz: Mutterzellen des Gefäßbündels.

c: centrale, pe: periphere Plasmamassen des werdenden Vorkeims.

♂: Spermatozoid.

♀: Archegonium-Oeffnung.

Tafel X.

Fig. 1. Makrospore vor der Befruchtung in ihrer Schleimhülle. — Vergr. c. 15 mal.

Fig. 2. Mikrosporen; a 100 mal vergrößert, b im richtigen Verhältniss zur Makrospore.

Fig. 3. Endosporium einer Mikrospore, $4\frac{1}{2}$ Stunden nach der Aussaat mit Aetz-

kali behandelt und demzufolge ausgetreten. Der gleichmässig aufgequollene plastische Inhalt hat sich contrahirt und in zwei Portionen getheilt. Ringsum eine Sphäre von schwächer lichtbrechendem Inhalt. — V. 310.

Fig. 4. Ein gleiches, welches schon die Viertheilung zeigt. — V. 310.

Fig. 5. Eine ganze Mikrospore, ebenso behandelt, $6\frac{3}{4}$ Stunden nach der Aussaat, die Achtheilung zeigend. — V. 310.

Fig. 6. Eine ähnliche unter Glycerin durchsichtig geworden und etwas aufgequollen und geöffnet, kurz vor der Reife. Man sieht die 16 angelegten Mutterzellen der oberen Hälfte in 4 tetraëdrischen Gruppen, in deren jeder die 4 zellkernartigen Aulagen der Spermatozoiden einander zugekehrt sind. Ausgeschlossene Stärkekörner liegen in der Umgebung. — V. 310.

Fig. 7. Eine mit Aetzkali behandelte Mikrospore, $10\frac{3}{4}$ Stunden nach der Aussaat, 7a in oberer, 7b in unterer Einstellung des Mikroskops. Das Endosporium ist glashell durchsichtig, und zeigt in jeder Ansicht die Hälfte der Mutterzellen, 16, in regelmässiger Lagerung, deren Inhalt jedoch klar aufgelöst ist. — V. 310.

Fig. 8. Herausgetretenes ähnliches Endosporium, in anderer Richtung und bei geringer Aenderung der Einstellung des Mikroskopes so dargestellt, dass 24 Mutterzellen in ihrer gegenseitigen Lage zur Anschauung kommen, und nur die 8 untersten unsichtbar bleiben. — V. 310.

Fig. 9. Ein Paar einzelne Mutter-Zellgruppen daraus. — V. 465.

Fig. 10. Reife Mikrospore, $21\frac{1}{2}$ Stunden nach der Aussaat, deren Innenhaut im Austreten begriffen, die fertigen in ihren Mutterzellen noch eingeschlossenen Spermatozoiden zeigend. Einige mit grösseren Stärkekörnern gefüllte überzählige unregelmässige Zellen, amz, in der Umgebung jener. — V. 270.

Fig. 11. Gleichzeitiger Austritt des Endosporiums, der Mutterzellen und der Spermatozoiden, welche schnell davon eilen, $16\frac{3}{4}$ Stunden nach der Aussaat (einer anderen, als von der F. 10 ist). Viel freie übrig gebliebene Stärkekörner (am) im Umfang des Endosporiums. — V. 310.

Fig. 12. Herausgetretenes Endosporium, aus dem die Mehrzahl der Spermatozoiden ausgeschwärmt ist. Einige (♂), sowie leere Mutterzellen (mu), eine Stärkezelle (amz) und freie Stärkekörner (am) sind noch darin. Weder in dieser noch in der vorigen Figur ist eine Oeffnung des Endosporiums bemerkbar. (Aussaat von Fig. 10, $21\frac{1}{2}$ Stunden nach derselben.) — V. 270.

Fig. 13. Entleerte Spermatozoid-Mutterzellen, deren eine ungewöhnlich gross. — V. 400.

Fig. 14. Spermatozoiden in der Stellung des Schwärmens; a während der Bewegung selbst gezeichnet, b—e durch Zusatz von Glycerin in unveränderter Stellung zur Ruhe gekommen. 14e vielleicht von einer anderen Art. — 690.

Fig. 15 a u. b. Zur Befruchtung im Schleimtrichter nach Ablösung des Stärkesäckchens rückwärts heranschwimmende Spermatozoiden.

Fig. 16. Durch Jod getödtete Samenfäden, b u. c, mit weit von sich gestreckten Fäden. — 690.

Fig. 17 a—c. Von selbst zur Ruhe gekommene Spermatozoiden. — 690.

Fig. 18. Spermatozoid in der Mutterzelle mit Jod getödtet. — 690. (Wie 14e und 16 vielleicht M. elata.)

Fig. 19. In der Schleimhülle der Makrospore zurückgelassene Stärkesäckchen. — 690.

Fig. 20. Scheitel einer Makrospore unter Oelsüss (etwas eingesunken dadurch), $2\frac{1}{2}$ Stunden nach der Aussaat. In die etwas contrahirte Plasmamasse sind zwei grosse Stärkekörner aus dem Sporenraum gedrungen. — 230.

Fig. 21. Dessgleichen 6 Stunden nach der Aussaat, in Plasmatheilung begriffen; a die Durchschnichts-, b die Oberflächen-Ansicht des Plasmas; c die centrale, pe die peripherischen Massen desselben; r die Schwesterzell-Reste der Makrospore. — 230.

Fig. 22. Vorkeim 12 Stunden nach der Aussaat mit noch unfertigen Zellen, unten verletzt (x). — 230. (Wie die 2 vorigen Figuren vielleicht *M. elata*.)

Fig. 23. Ein ähnlicher. Die Centralzelle ist fertig, und ihr Inhalt etwas contrahirt. Die peripherischen noch leicht zerfließend. — 230.

Fig. 24. Ein ähnlicher, 13 Stunden alt, im horizontalen Durchschnitt gesehen, mit ziemlich vollendeter Zellbildung; y, Zellkern der Centralzelle. — 230.

Fig. 25. Gipfel des fast fertigen Vorkeims, 22 Stunden nach der Aussaat, mit dem sich hebenden Archegonium, dessen Zellen in Quertheilung sind. (*M. Drummondii*?) Centralkörper stark contrahirt. — 230.

Fig. 26. Fertiger Vorkeim, von oben gesehen, mit dem Archegoniumhals, 22 Stunden alt. — 230.

Fig. 27. Ein ähnlicher, $16\frac{1}{2}$ Stunden alt, von unten gesehen. Die Basalzellen treffen keilförmig im Mittelpunkt (ba) zusammen. — 230.

Fig. 28. Freigelegter Keimkörper, mit einer anhaftenden Tochter-(?) Zelle und Kern, $17\frac{1}{4}$ Stunden alt. — 230.

Fig. 29. Zwei Vorkeimanfänge, 6 Stunden nach der Aussaat mit Kali behandelt. Der Inhalt ist gelb und klar durchsichtig, und lässt in a die beginnende Theilung, in b die Spur von einem Kerne wahrnehmen. Auch zeigt sich seine Zellhaut im Zusammenhang mit ihrer Mutterzelle, dem Endosporium, mz und end. (*M. elata*?) — 100.

Tafel XI.

Fig. 1. Vorkeim-Scheitel vor der Befruchtung, den Schleimkörper unter dem Archegoniumhals zeigend, sl. — 310.

Fig. 2. Der Archegonium-Kanal wird durch die Explosion des Schleimes (sl) geöffnet. — 310.

Fig. 3. Das Spermatozoid schlüpft ein. (Im Eindringen beobachtet und gleich darauf gezeichnet.) — 310.

Fig. 4. Aehnliches Archegonium nach der Befruchtung mit halb eingedrungenem Spermatozoid, das zur Ruhe gekommen ist. — 310.

Fig. 5. Dasselbe Archegonium wie Fig. 2 u. 3 nach der Befruchtung. Der Schleim, der in Explosion beobachtet wurde, liegt schaumig geronnen in Ruhe vor demselben. Spermatozoiden, die nachträglich angelangt, sind an der Mündung hängen geblieben und zur Ruhe gekommen. — 310.

Fig. 6. Ein ähnliches Archegonium, vor welchem zwei Spermatozoiden zur Befruchtung heranschwimmen. Die Wimpern bei der schnellen Rotation nur zum Theil sichtbar. — 310.

Fig. 7. Ein anderes befruchtetes mit vielen daran haftenden zur Ruhe gekommenen Spermatozoiden und gebräuntem Halse. — 310.

Fig. 8. Ein dem Anschein nach nicht befruchtetes Archegonium, in dessen Halskanal eine körnig schleimige Masse stecken geblieben zu sein scheint (y). Keimkörper

stark und unregelmässig contrahirt, mit seichter Grube auf dem Scheitel. Kaulalmündung von 4 kernartigen Körpern in den Halszellen umstellt. — 230.

Fig. 9. Unbefruchtet scheinender Vorkeim, vor dessen Archegoniummündung eine kugelförmige Masse monadenartiger Körper zur Ruhe gekommen ist, deren viele noch in der Umgebung lebhaft wimmeln, andere an der Grenze des Schleimtrichters hängen geblieben sind (wm). — 150.

Fig. 10. Vorkeim mit Keimkörper im Durchschnitt gesehen, 1—2 Stunden nach seiner Brfruchtung; vkf, Vorkeimfuss. — 230.

Fig. 11. Wie 10, etwas später. Die Keimzelle ist mit Wandung versehen. Die Vorkeimzellen in Theilung; die an der Basis schliessen nicht zusammen. Die Mutter-Zellhaut des Vorkeims deutlich bei mz. — 230.

Fig. 12. Ein ähnlicher Vorkeim von aussen gesehen, 13 Stunden nach der Befruchtung. — 230.

Fig. 13. Dessgleichen, 17 Stunden nach der Befruchtung mit 4 zelligem Keim im Durchschnitt gesehen. — 230.

Fig. 14. Die beiden Hälften eines freipräparirten Keimes nach seiner Viertheilung; a die Wurzelhälfte, b die Stammhälfte; 14 Stunden nach der Befruchtung. — 230.

Fig. 15. Freier Keim nach seiner ersten Theilung, ebenso alt wie 14. — 230.

Fig. 16. Ein anderer nur 13 stündiger, der schon viertheilig ist. — 230.

Fig. 17, 18. Keim nach begonnener fernerer Theilung in seiner Lage im Vorkeim; 17, von der Seite, 18, von oben gesehen; etwa 18 Stunden alt. — 100.

Fig. 19. Keim, 26 Stunden alt, a von der Seite, b von oben, c von vorn gesehen (s ist hier die Scheitelzelle des Blattes, darunter die des Stammes). — 230.

Fig. 20. Dessgleichen 38 Stunden nach der Befruchtung, von der Seite gesehen. Die erste Theilung noch sehr deutlich. — 230.

Fig. 21. Ein anderer Keim (*M. elata*?), 34 Stunden alt, weiter in der Theilung vorgeschritten, und zwar von allen Seiten betrachtet; 230:

- a: Von der Seite im Profildurchschnitt, der Axe parallel.
- b: Dessgleichen, äussere Ansicht.
- c: Von vorne, äussere Ansicht. Man sieht die senkrechten medianen Theilwände, und die horizontale Wand 1.
- d: Tiefere Durchschnichtsansicht, von vorne.
- e: Horizontale Durchschnichtsfläche, von oben gesehen.
- f: Oberflächen-Ansicht in dieser Stellung.
- g: Dieselbe mehr von hinten gesehen, so dass die Wurzelzellen oben zu liegen kommen.
- h: Aeussere Ansicht von hinten, gerade gegen die Wurzelzelle und den hinteren Fussantheil.
- i: Mittlerer Durchschnitt von hinten gesehen.
- k: Ansicht von unten und vorn, so dass die Stamm-Scheitelzelle (s) gehoben erscheint, und der Fuss hervortritt.

Fig. 22. Archegoniummündung auf einem 50stündigen stark entwickelten Keim. Zellen in dessen Umgebung in lebhafter Theilung begriffen. — 230.

Fig. 23. Ein ähnlicher Keim wie 21 noch im Vorkeim von oben im Durchschnitt gesehen; ♀ bezeichnet die Lage der Archegoniummündung über demselben. — 230.

Fig. 24. Ein ähnlicher Vorkeim von unten gesehen; ba, Mitte. — 160.

Tafel XII.

Fig. 1. Zweieinhalbtägiger Keim, a von der Seite im Durchschnitt, b von oben auf die Aussenfläche gesehen. — 230.

Fig. 2. Keim von $3\frac{1}{2}$ Tagen, a von der Seite im Durchschnitt, b von der Unterfläche gesehen, wo der Fuss und die Knospe erscheinen. — 230.

Fig. 3. Stammknospe eines fast 3tägigen Keims, a von der Vorderfläche, b im Profil-Durchschnitt gesehen. 3c, Wurzelhaube desselben von der Oberfläche gesehen. 3d, Ganzer Keim im Querschnitt durch den Grund des Blattes und von oben auf die Knospe gesehen. — 230.

Fig. 4. Oberer Theil eines anderen Keims (*M. elongata*?) $2\frac{1}{2}$ Tage nach der Befruchtung; a von der Seite im Profilschnitt, b auf die obere Fläche gesehen. Knospe und Fuss fehlen. — 230.

Fig. 5. Profilschnitt-Ansicht eines Keims von $3\frac{1}{2}$ —4 Tagen (*M. Drummondii*?). Die Keimquadranten sind noch gut herauszuerkennen. — 230.

Fig. 6. Mittelstück eines ähnlichen Keims von der Seite und etwas von hinten gesehen (*M. elongata*?); $3\frac{1}{2}$ Tage alt. — 230.

Fig. 7. Fünftägiger Keim in Profilschnitt-Ansicht. Die Gefässbündel sind in Anlage (gz), die Wurzelhaube stark markirt, aus zwei Schichten und einer noch einfachen Mutterzelle der dritten Schicht, die eben von der Scheitelzelle getrennt ist, bestehend. — 230.

Fig. 8. Schwacher Keim von 5 Tagen auf dem Gipfel der Makrospore im sich bewurzelnden Vorkeim.

Fig. 9. Dreitägiger Keim, von der Spore getrennt ebenso (*M. elongata*?). — 14.

Fig. 10. Fünftägiger Keim mit dem stark gewölbten Fuss fest am Sporenscheitel haftend, das Blatt schon durchgebrochen (*M. Drummondii*?). — 14.

Fig. 11. Freigelegter Keim von 7 Tagen. — 14.

Fig. 12. Sehr kräftiger Keim von 9 Tagen, vom Vorkeim gelöst, Blatt und Wurzel herausgetreten (*M. Drummondii*?). Nur 7mal vergrössert. (Die Keime dieser Art waren durchschnittlich kräftiger.)

Fig. 13. Siebentägiger Keim (im Juli erwachsen und schneller entwickelt) mit zwei Blättern und zwei Wurzeln, noch an der Spore. — 14.

Fig. 14. Monaden- oder vibrionenartige Körper, die sich bei der Entwicklung stets im Wasser anfinden, und sich in grösster Menge zumal vor dem unbefruchteten Archeogonium anhäufen, besonders *Vibrio lineola* Ehrbg ähnlich aber kleiner. — 960.

Fig. 15. Durchbruchstelle des Keimblattes durch den Vorkeim (Art zweifelhaft), 5 Tage nach der Befruchtung. — 160.

Tafel XIII.

Fig. 1. Knospe eines fünftägigen Keims an der Basis des Keimblattes haftend von vorn gesehen, die Scheitelzellen des Stammes und des zweiten Blattes, mit ihren ersten Theilungen zeigend, beide einander noch sehr ähnlich. — 230.

Fig. 2. Dieselbe Knospe von oben gesehen. — 310.

Fig. 3. Eine andere eben so alt in ähnlicher Ansicht. (Das Präparat war durch das Deckglas etwas gedrückt, wodurch die Zelltheilung in der Scheitelzelle sich mehr auf die Horizontalebene projectirt und deutlicher hervortritt.) — 310.

Fig. 4. Knospe eines anderen fünftägigen Keims von der Seite gesehen; a bie

unterer, b bei mittler, c bei oberster Einstellung des Mikroskopes, mithin dem entsprechend das zweite Blatt, die Scheitelzelle und das dritte Blatt in Profilsansicht zeigend. — 310.

Fig. 5—7. Dasselbe Präparat: 5 halb von vorn und von der Seite, 6 noch mehr von vorn, 7 etwas mehr von der anderen Seite gesehen. Etwas weiter entwickelt als Fig. 1, zeigt sich hier die vortretende Stamm-Scheitelzelle in ihrer Stellung zu dem zweiten und dritten Blatt. Nicht in jeder Stellung sind alle Theilungswände gleich sichtbar. — 310.

Fig. 8. Dasselbe Präparat im Profil-Durchschnitt von der anderen Seite gesehen. — 310.

Fig. 9. Knospe eines siebentägigen Keims fast von oben gesehen. Blatt 2 geneigt. — 310.

Fig. 10. Achttägiger Keim im Querschnitt der Blattbasis gesehen, die Knospe von oben. — 160.

Fig. 11. Knospe eines achttägigen Keimes, von oben und vorn gesehen; i Internodialzellen. — 310.

Fig. 12. Ähnliche Ansicht mehr von vorn. Hinter der Scheitelzelle und hinter dem 3ten Blatt sieht man Internodial-Zellschichten (i). — 310.

Fig. 13. Knospe eines neuntägigen Keims von der Seite des zweiten Blattes halb von oben gesehen. — 310.

Fig. 14. Eben so alte mehr entwickelte Knospe schief von vorn gesehen. Das zweite Blatt mit zusammengekrümmter Spreite. Hinter b^1 würde das mit der Basis des zweiten weggelassene erste Blatt erscheinen. w^2 Anfang der zweiten Wurzel von der Fläche aus. In diesen und den ähnlichen Präparaten sind die Haare weggelassen. — 230.

Fig. 15. Vegetationskegel eines älteren Sprosses von der Rückenseite aus gesehen, mit den letzten Blättern, bz, by; bx Ort des drittletzten (M. Drummondii). — 310.

Fig. 16. Ein ähnlicher schief von der Seite und etwas von unten gesehen (dieselbe Art). — 230.

Fig. 17 u. 18. Dessgleichen aus einer Achselknospe in 2 Stellungen von der Seite gesehen mit einem Blatt (dieselbe). — 310.

Tafel XIV.

Fig. 1. Längsschnitt durch einen entwickelten Spross, von unten gesehen. (Die Haare am Rande sind meist weggelassen.) — Einigemal vergrößert. (M. Drummondii.)

Fig. 2. Gipfelknospe desselben, stärker vergrößert; ak, Achselknospen (dieselbe Art).

Fig. 3. Andere Gipfelknospe mit dem Vegetationskegel schief von der Seite und etwas von unten gesehen (dieselbe Art). — 230.

Fig. 4. Knospe eines Keimes, schief von der Seite und von vorn gesehen, die Scheitelzelle 11ten Grades zeigend. — 380.

Fig. 5. Schema der Theilungsfolge der Scheitelzelle bis zum 14ten Grade; 5 a auf eine die Axe senkrecht schneidende Ebene projicirt. Die Wände 1, 3 u. 7 trennen das erste, zweite und dritte Blatt von der Scheitelzelle; die übrigen bilden nur Internodialzellen. 5 b, dasselbe auf eine das dritte Blatt und die Scheitelzelle senkrecht schneidende Ebene projicirt.

Fig. 6. Knospe mit dem 2ten und 3ten Blatt, 7 Tage alt, von oben und von

der Seite gesehen die erste Blatt-Zellfolge zeigend; bs Scheitelzelle des zweiten Blattes. — (Dieselbe wie XIII, 9) — 310.

Fig. 7. Sehr junges drittes Blatt eines achttägigen Keimes in Profil-Durchschnittsansicht. — 310.

Fig. 8. Das ältere (2te) aus derselben Knospe; a von der Fläche aus, b in gleicher Stellung im Durchschnitt gesehen. z, y, x . . . die Folge der Scheidewände. — 310.

Fig. 9. Oberer Theil eines jungen Blattes aus der Knospe eines entwickelten Sprosses; a von der Seite, äussere Ansicht, b von der concaven Innenfläche, c im mittleren Profilschnitt, d von der convexen Rückenfläche gesehen. Die Buchstaben in b u. d bezeichnen die Reihe der in der Scheitelzelle entstandenen seitlich wechselnd geneigten Wände, in c die von vorn und hinten wechselnd nach innen geneigten von der Medianebene aufgehend abgetheilten Schichtzellen-Reihen. In diesen sieht man fernere Theilungen (M Drummond). — 310.

Fig. 10. Weiter vorgeschrittenes Blatt ebendaher; a im Profil-Durchschnitt, b von der inneren Fläche gesehen. Die seitlichen Spreitenblättchen (stb) beginnen sich als hervortretende Ecken zu zeigen. Die Scheitelzelle ist noch thätig. Flächenzellen in Theilung. Bezeichnung wie 9 (M. Drummond). — 310.

Fig. 11. Spitze eines älteren Blattes ebendaher; die seitlichen Spreitenblättchen (stb) sind schon getrennt, die mittleren noch nicht, doch die Scheitelzelle nicht mehr als solche thätig. Theilung der Randzellen ringsum. Flächenzellen übers Kreuz getheilt; bst Blattstiel.

Fig. 12. Blatt mit vollständig angelegter Spreite, die Blättchen a u. b in der mittleren Durchschnittsansicht, c u. d von oben her gegen den Rand gesehen. Die Randzellen scheibenförmig, in Parallel-Theilung (c, d), und durch wechselnd geneigte Wände von innen her zu Schichtzellen zerlegt (a, b : ss). Bei bst ist die Durchschnittsfläche des Blattstiels angedeutet, gegen den die 4 zusammengelegten Blättchen mit ihren Rändern eingeschlagen sind. Zwischen ihnen die verbreiterte Innenfläche der Blattstielspitze, aus der sie sich entwickelt haben (M. Drummond). — 230.

Fig. 13. Oberes Ende eines Keimblattes mit einer Spaltöffnung (spa) an der Spitze. — 160.

Fig. 14. Dessgleichen mit solchen an der Seite; gedreht. (M. Drummond.) — 160.

Fig. 15. Junge Pflanze, schwach vergrössert, die Blattfolge zeigend; 1 Keimblatt; 2—4 Jugendblätter mit ganzer, 5, 6 mit zweitheiliger, 7—9 mit viertheiliger aufrechter Spreite; 10, 11 normale Blätter mit eingerollter viergliedriger Spreite. Von 2 an zweizeilig; pv. Gipfelknospe, vom Blatt 12 überragt; gsp Sporenrest.

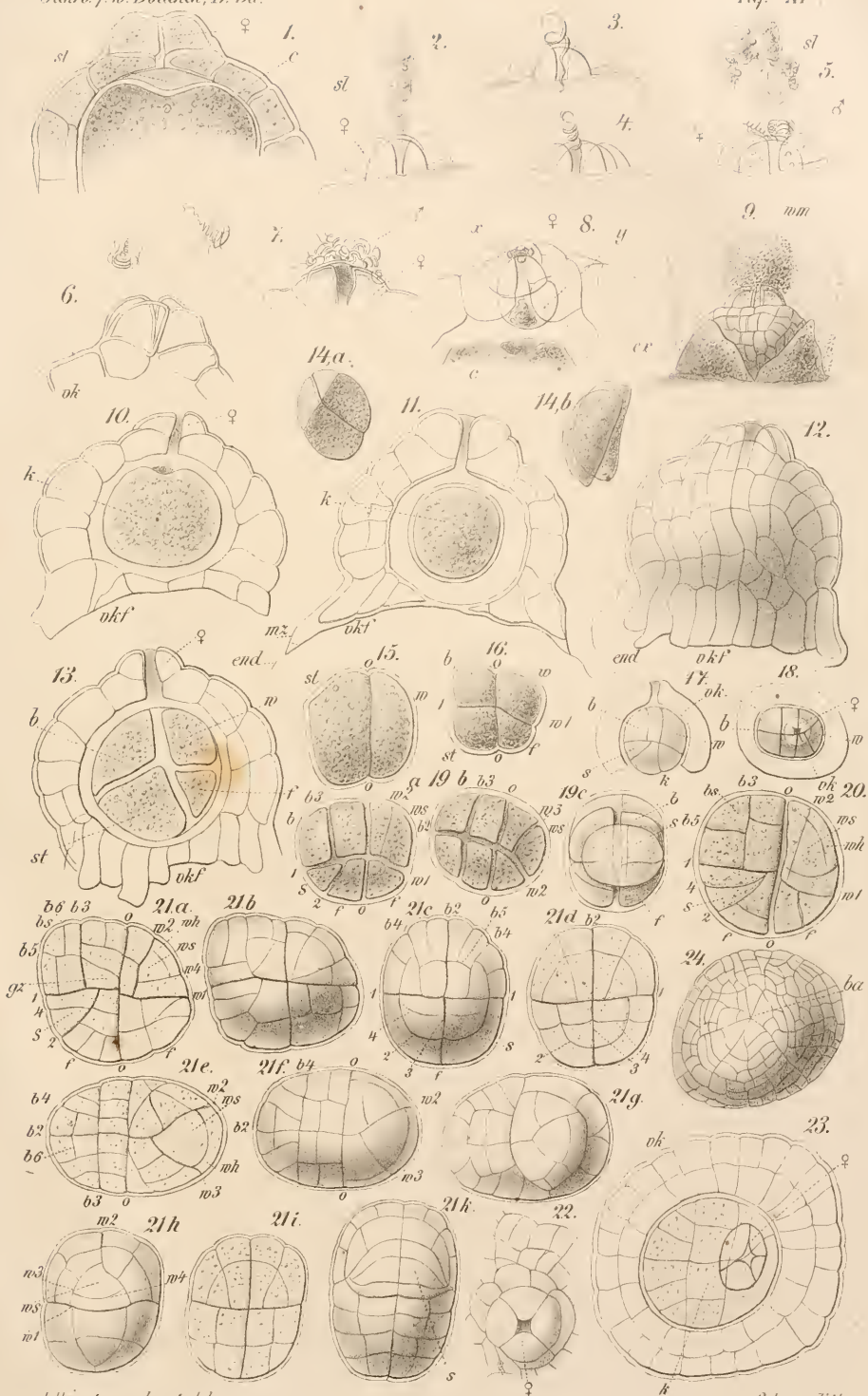
Fig. 16. Anfangsstück derselben Pflanze in entgegengesetzter Ansicht, die 3 ersten Blätter und die 4 ersten Wurzeln zeigend. Stärker vergrössert.

Fig. 17. Spitze des Pflänzchens ebenso gesehen mit den letzten Blättern und Wurzeln.

Fig. 18. Senkrechte Durchschnittsansicht eines Keimfusses, 7 Tage alt, die Epithel-Zellenschicht zeigend, die einen über der Sporenöffnung befindlichen Hohlraum (h) überwölbt. Aus dem Vorkeim genommen. — 200.

Fig. 19. Durchschnittsansicht einer Keim-Wurzelspitze kurz vor dem Durchbruch durch den Vorkeim, dessen Zellen vor ihr, ohne direct berührt zu werden, auseinander weichen, und nur noch durch eine einfache Membran (x) verbunden sind. (Art zweifelhaft.) — 200.

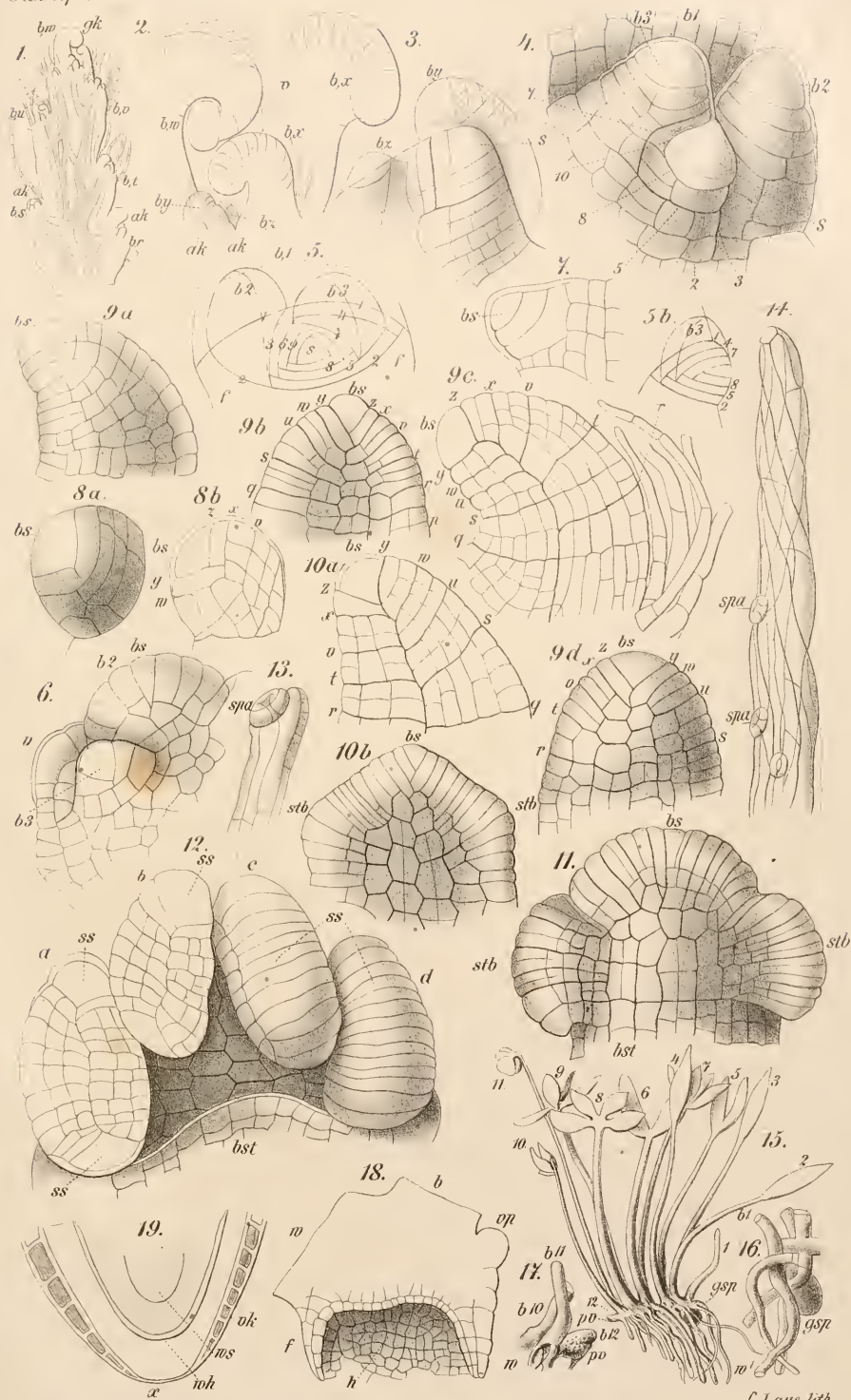












ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Jahrbücher für wissenschaftliche Botanik](#)

Jahr/Year: 1865-1866

Band/Volume: [4](#)

Autor(en)/Author(s): Hanstein Robert Johannes Ludwig Emil

Artikel/Article: [Die Befruchtung und Entwicklung der Gattung Marsilia. 197-260](#)