Nachdruck verboten.
Übersetzungsrecht vorbehalten.

Über den Befruchtungsvorgang bei *Chaetonema irregulare* Nowak.

Von

K. I. Meyer.

(Hierzu 15 Textfiguren.)

Chaetonema irregulare, das auf *Batrachospermum*, *Tetraspora*, *Chaetophora* u. a. Algen lebt, ist zuerst von L. Nowakovsky 1876 beschrieben worden, der seiner Beschreibung zwar keine Abbildungen beigelegt hat. Eingehender wurde sie 1892 von Huber erforscht, welcher seine Arbeit mit schönen Abbildungen illustrierte. Huber, welcher *Chaetonema irregulare* auf *Batrachospermum* gefunden hatte, gibt eine ausführliche Schilderung der Verzweigung, des Zellaufbaues und der Fortpflanzung. Die Vermehrung geschieht mit Hilfe der in jeder Zelle sich paarweise ausbildenden Zoosporen. Die Zoosporen sind, wie es noch Nowakovsky beobachtet hat, mit vier Geißeln versehen (Huber, Pl. 12 Fig. 4). Die Zoosporen beginnen noch im Schleime von *Batrachospermum* zu keimen, indem sie einem kurzen Faden Ursprung geben; bald darauf verzweigt sich der Faden und bildet Borsten. Etwas später, 1894, veröffentlichte Huber eine kleine Mitteilung, in der er den Palmellenzustand von *Chaetonema* und anscheinend die Autosporenbildung beschrieb, welche innerhalb der kugelförmigen Palmellen zum Vorschein kam (Huber, Pl. 1 p. 8—9). Die Bildung der Zoosporen war bis jetzt die einzige bekannte Vermehrungsweise bei *Chaetonema*. Der Befruchtungsvorgang war von den Forschern nicht beobachtet worden. Es ist mir gelungen den letzteren im August 1929 am Baikalsee (in Maritui),

während meiner Arbeit in der Baikalexpedition der Akademie der Wissenschaften USSR., zu beobachten. Am Baikalsee wird *Chaeto-*

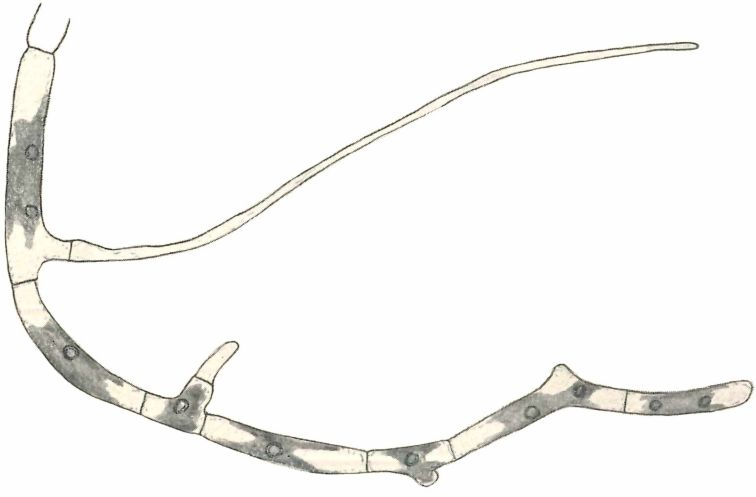

Fig. 1. Vegetative Fäden mit Borsten. Vergr. 395 : 1.

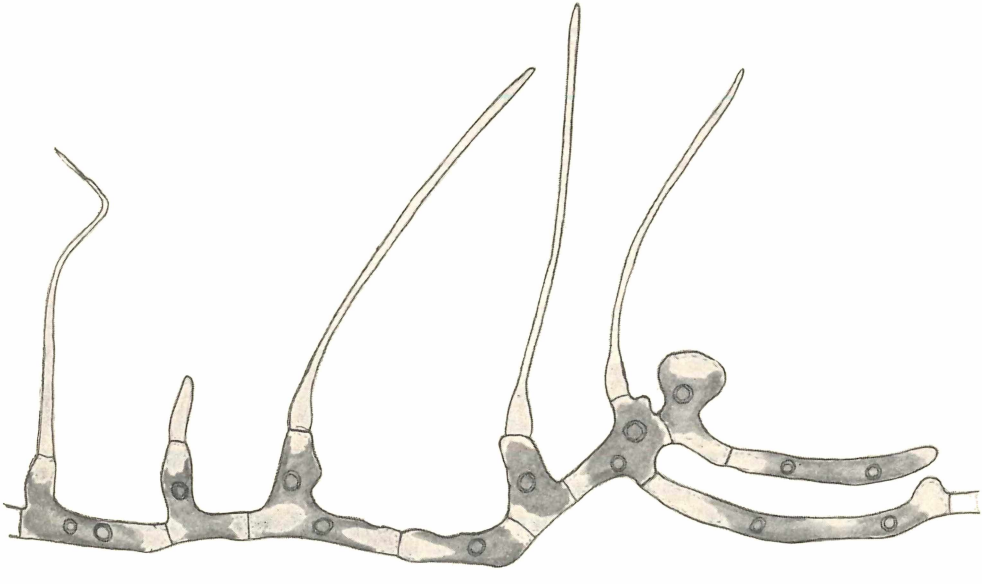

Fig. 2. Vegetative Fäden mit Borsten. Vergr. 395 : 1.

nema irregulare als ein Epiphyt auf *Tetraspora cylindrica* var. *bullosa* angetroffen, indem sie sich im Schleime des schlauchartigen Thalloms der letzteren und zwar auf der inneren Seite desselben, besonders

im oberen Teile, wo die Zerstörung bereits eintritt, vorfindet. Hier ist die Alge oft in bedeutenden Mengen zu beobachten. *Chaetonema irregulare* bildet kurze, unregelmäßig verzweigte Fäden, die bald aus verlängerten, bald aus kurzen Zellen gebaut sind (Fig. 1—2). Die Zweige sind in manchen Fällen lang, in anderen im Gegenteil sehr kurz, aus einer einzigen Zelle bestehend. Diese Zweiglein haben gewöhnlich am Ende eine Borste; es werden solche oft auch an den Zellen des Fadens selbst gebildet, derartige Zellen geben dabei einen Fortsatz gerade so, wie es bei der Bildung des Zweiges der Fall ist, doch wird dieser Fortsatz durch eine Scheidewand vom Zweige nicht abgesondert, woraus eine verzweigte Zelle hervorkommt (Fig. 2—5).

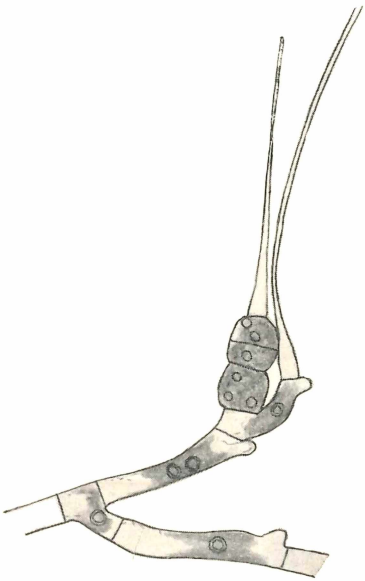

Fig. 3. Männlicher Faden, erste Entwicklungsstadien des *Antheridiums*. Vergr. 395:1.

Am Ende der Verzweigung wird eine kleine durchsichtige,

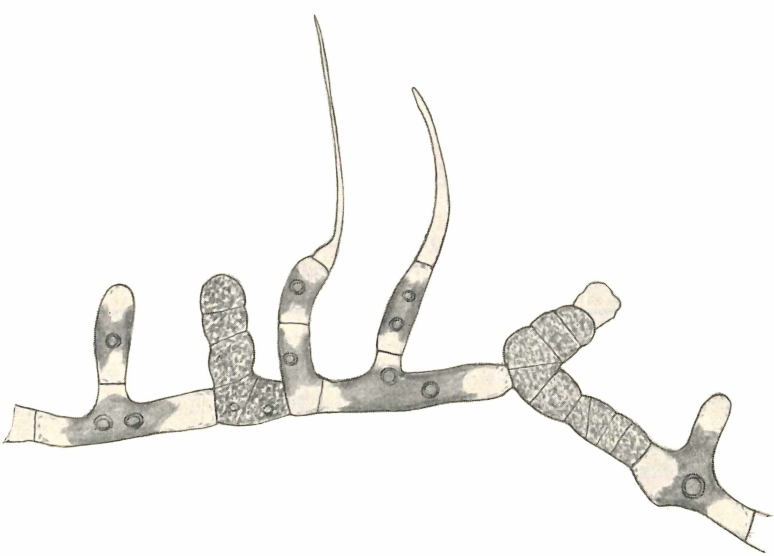

Fig. 4. Männliche Fäden mit Antheridien. Vergr. 395:1.

farblose Zelle abgegliedert, welche später zu einer langen, feinen, an ihrer Basis zwiebelförmig erweiterten Borste heranwächst. Die Borsten sind einzellig. Die Zellen haben ein Plattenchromatophor mit 1—2 Pyrenoiden. Das Chromatophor nimmt gewöhnlich den ganzen Zellraum nicht ein, sondern läßt beide Zellenden frei. Bei der Färbung mit Hämatoxylin kommt in jeder Zelle ein unter dem Chromatophor gelagerter Kern zum Vorschein. Die von Huber und Nowakovsky beschriebenen Zoosporen mit vier Geißeln haben wir

Fig. 5. Männliche Fäden mit Antheridien. Vergr. 395 : 1.

am Baikalsee nicht finden können; was aber den Befruchtungsvorgang anbetrifft, so war er oft im August, in der ersten Hälfte des Monats zu beobachten. Er hat sich als streng oogam erwiesen, d. h. es werden hier Antheridien und Oogonien gebildet, dabei entwickeln sich die letzteren getrennt, an verschiedenen Fäden; wir müssen also hier zwischen männlichen (Fig. 5—7) und weiblichen Fäden unterscheiden (Fig. 9—13). In Antheridien werden kurze einzellige Zweige, bisweilen aber auch einzelne Zellen des Hauptfadens verwandelt. Die den Antheridien Ursprung gebende Zelle wird durch Querwände in kurze Zellen zerlegt (Fig. 3). Diese Zellen wachsen etwas heran und gewinnen eine perlschnurartige Form.

Ihr Chromatophor verblaßt, das Pyrenoid verschwindet, der Zellinhalt wird dicht, feinkörnig, gelbgrün und derart ausgebildete Antheridien heben sich nun durch ihren Inhalt von den grünen vegetativen Zellen stark ab. Die Antheridien sind 10—15 μ dick. In je einem *Antheridium* bilden sich acht männliche Gameten. Sie gelangen durch die Öffnung in der Zellwand des *Antheridiums* ins

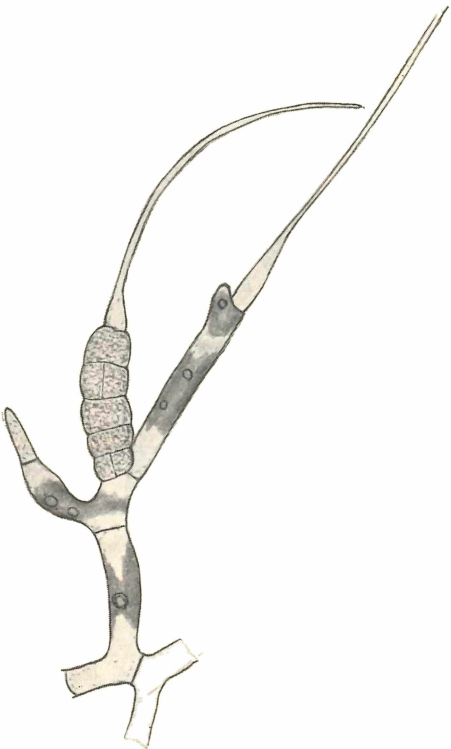

Fig. 6. Männliche Fäden mit Antheridien. Vergr. 395 : 1.

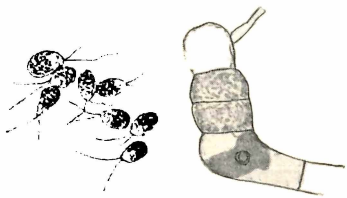

Fig. 7. Antheridien und männliche Gameten. Vergr. 395 : 1.

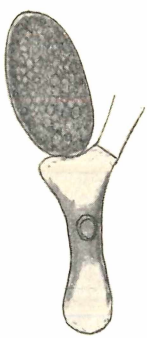

Fig. 8. Weibliche Fäden mit Oogonien. Vergr. 395 : 1.

Wasser und schwimmen hier mit einer recht schnellen zitternden Bewegung (Fig. 4—7). Die männliche Gamete sieht wie eine kleine ovale Zoospore 8—10 μ lang und etwa 5 μ dick aus. An ihrem farblosen Vorderende befinden sich zwei Geißeln, die etwas länger als der Körper der Gamete erscheinen. Hier sind auch zwei große kontraktile Vakuolen gelegen, das hintere Ende der Gamete ist von einem reduzierten gelbgrünen Chromatophor eingenommen; kein Augenfleck ist zu bemerken. Die Oogonien, wie bereits oben erwähnt war, bilden sich an besonderen weiblichen Fäden (Fig. 8—12).

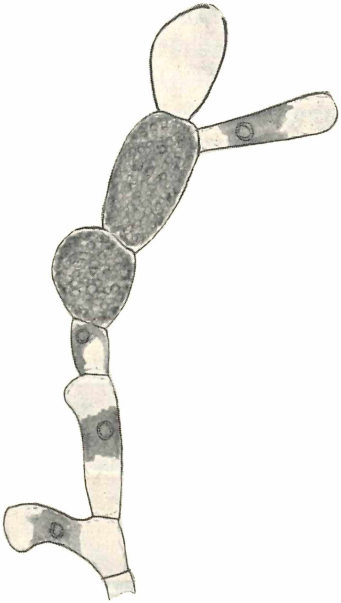

Fig. 9.

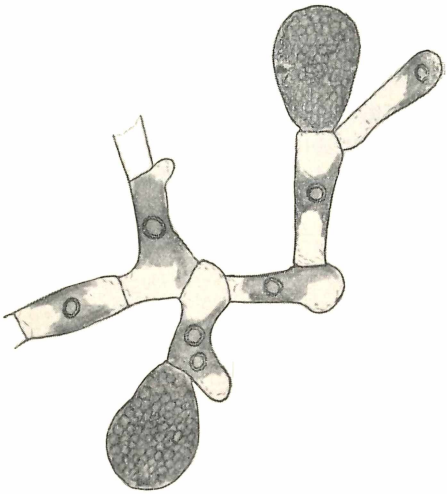

Fig. 10.

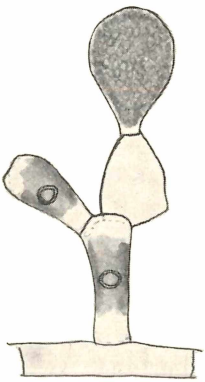

Fig. 11.

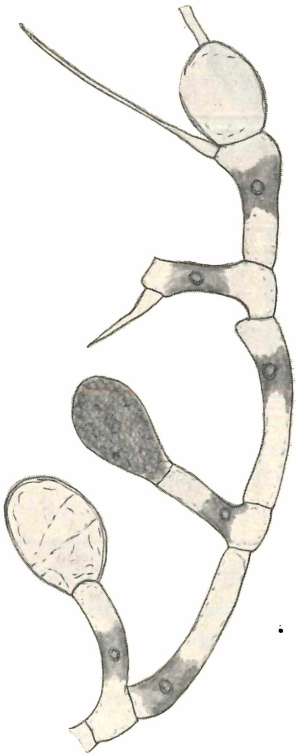

Fig. 12.

Fig. 9—12. Weibliche Fäden mit Oogonien. Vergr. 395 : 1.

Sie entwickeln sich meistens an den kurzen Seitenzweigen, aus deren Endzellen, bisweilen aus den Endzellen des Hauptfadens, und sitzen bald vereinzelt, bald zu zweien oder sogar zu dreien nebeneinander. Das Oogonium stellt eine rundliche, ovale oder birnförmige Zelle dar, 20—25 μ dick und 40—45 μ lang. Es ist mit einer dünnen Zellhaut umgeben und enthält ein dichtes, mit einer großen Menge Reservestoffe angefülltes Plasma (hauptsächlich Öle). Der Zellinhalt ist damit so überfüllt, daß seine grüne Färbung ganz

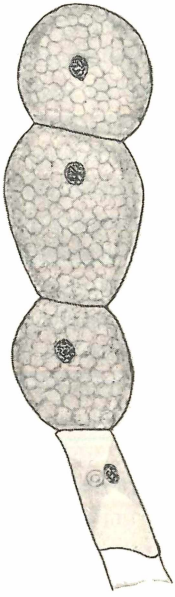

Fig. 13. Oogonien mit Hämatoxylin gefärbt. Vergr. 530 : 1.

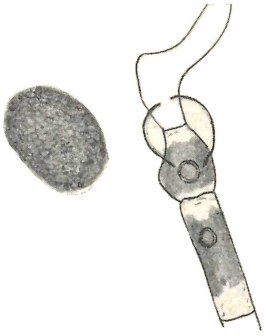

Fig. 14.

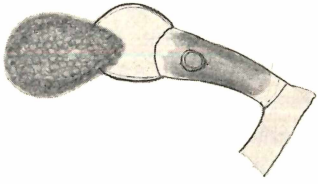

Fig. 15.

Fig. 14 u. 15. Austritt der Eizelle aus dem Oogonium. Vergr. 395 : 1.

verdunkelt wird und nur an einigen Stellen des dunkelgrauen Grundinhalts durchschimmert. Mit Hilfe der Hämatoxylinfärbung wird im Oogonium ein kleiner Kern zur Anschauung gebracht (Fig. 13). Der ganze Inhalt des Oogoniums wandelt sich in eine Eizelle um, welche durch die Öffnung am Scheitel des Oogoniums oder in seinem oberen Teile hervortritt. Dabei kriecht die Eizelle aus der Öffnung zunächst langsam hervor; dann wird sie aber durch einen raschen Ruck herausgestoßen und in einige Entfernung vom Oogonium gebracht (Fig. 14—15). In diesem Stadium stellt sie eine nackte bewegungslose ovale Zelle ohne eine Spur von Geißeln, 20—25 μ breit und etwa 35 μ lang. Sie sieht dunkel aus, dank

der großen Menge von hier gelagerter Reservestoffe. Den oben beschriebenen Austritt der Eizelle habe ich dreimal beobachten können, sonst sind die leeren, nach dem Austritt der Eizellen nachgebliebenen Hüllen sehr oft zu finden (Fig. 11—12). Leider ist es mir nicht gelungen, den eigentlichen Befruchtungsvorgang — die Verschmelzung der männlichen und der weiblichen Gameten — zu beobachten.

Wie aus dem oben Dargelegten zu ersehen ist, steht *Chaetonema irregulare* nach seinem Befruchtungsvorgang — der Bildung einer großen unbeweglichen Eizelle, welche durch eine kleine männliche Gamete (Spermatozoid) befruchtet wird — nicht nur unter anderen Chaetophoraceen, sondern auch überhaupt unter allen grünen Algen auf einer hohen Differenzierungsstufe. In dieser Beziehung kommt ihr nach ihren morphologischen Verhältnissen eine Stellung zwischen der Aphanochaete und Coleochaete zu. Bei der ersteren sehen wir eine heterogame geschlechtliche Vermehrung, welche die Befruchtung einer großen, unbeweglichen weiblichen Gamete durch eine kleine männliche, bewegliche, ein stark reduziertes Chromatophor enthaltende Gamete darstellt. Bei der zweiten ist die geschlechtliche Vermehrung streng oogam: eine unbewegliche, das Oogonium nie verlassende Eizelle wird durch eine kleine, farblose männliche Gamete (Spermatozoid) befruchtet.

Mit der Entdeckung des geschlechtlichen Befruchtungsvorganges ist der Lebenscyclus von *Chaetonema irregulare* vollkommener erforscht: die ungeschlechtliche Vermehrung erfolgt hier also mittels der mit vier Geißeln versehenen Zoosporen, der geschlechtliche Fortpflanzungsvorgang ist oogam und stellt eine Befruchtung der unbeweglichen weiblichen Gamete durch eine kleine männliche dar (Spermatozoid). Die Befruchtung findet außerhalb des Oogoniums statt. Die Keimung der Zygote blieb unerforscht.

Wir wollen nun versuchen, auf Grund der oben beschriebenen neuen Angaben die Stellung von *Chaetonema irregulare* unter anderen Chaetophoraceen zu bestimmen. Alle Chaetophoraceen können nach dem Aufbau der Elemente ihrer ungeschlechtlichen und geschlechtlichen Vermehrung — den Zoosporen und Gameten — in drei Gruppen eingeteilt werden:

1. Die erste Gruppe bilden diejenigen Vertreter dieser Familie, welche Zoosporen mit vier Geißeln haben (Macro- und Micro-) sowie viergeißelige Gameten. Die wichtigsten Gattungen dieser Gruppe sind: *Draparnaldia*, *Phaeophila* (?), *Pringsheimia*, Ochlochaete (isogam) und Aphanochaete (oogam) [1]).

[1]) Leider sind die meisten Vertreter der Chaetophoraceen entwicklungs-

2. In die zweite Gruppe gehören solche, die sich mit Hilfe von Zoosporen mit vier Geißeln und der Gameten mit zwei Geißeln vermehren: *Chaetophora*, *Endoclonium*, *Chaetopeltis*, *Trichodiscus*, *Endoderma*, *Chlorotylium*, *Gomontia* (isogam), *Chaetonema* (oogam).

3. Die dritte Gruppe bilden die Formen, welche Zoosporen mit zwei Geißeln und ebensolche Gameten haben: *Leptosira*, *Gongrosira*, *Ctenocladus*, *Chloroclonium*, wahrscheinlich *Protoderma* (isogam) und augenscheinlich Acrochaete. Diese Alge wurde noch 1862 von Pringsheim beschrieben und auf die allgemeinen Charakterzüge ihres Baues untersucht. Huber untersuchte dieselbe aufs neue und es gelang ihm zu beweisen, daß Acrochaete zweierlei Zoosporen bildet: größere grüne, mit einem Pyrenoid (Huber, Pl. 13 Fig. 5) und sehr kleine, fast farblose, ohne Pyrenoide (Fig. 7). Beider Art Zoosporen tragen zwei Geißeln. Die ersteren sind zweifellos echte ungeschlechtliche Zoosporen, die Natur der zweiten ist für Huber im unklaren geblieben, da er weder die Copulation, noch die Keimung beobachten konnte. Der Charakter des Befruchtungsvorganges bei *Chaetonema irregulare* scheint etwas Licht auf diese Zoosporen zu verbreiten. Pringsheim hat auf der Fig. 9 (Taf. 2) seiner Arbeit ein Gebilde dargestellt, welches nach seinem Äußeren sehr stark an das Oogonium von *Chaetonema* erinnert: es ist ebenso grau, farblos, mit kleinen runden Körperchen angefüllt (Öltropfen und andere Einschließungen). Möglicherweise haben wir hier in der Tat ein Oogonium vor uns, in diesem Falle wären die kleinen Zoosporen als männliche Gameten anzusehen, und dem ganzen Befruchtungsvorgang bei Acrochaete wäre derselbe Charakter wie bei *Chaetonema* zuzusprechen, mit anderen Worten würde Acrochaete als oogam zu erklären sein. Was *Stigeoclonium* anbetrifft, so muß es in alle oben beschriebenen Gruppen eingereiht werden, da seine zahlreichen Arten, wie die Untersuchungen von Pascher u. a. ergeben haben, verschieden gebaute Zoosporen und Gameten besitzen. Unter denselben sehen wir erstens Arten, die viergeißelige Zoosporen und viergeißelige Gameten haben: *St. tenue* (sensu Pascher), *St. nudiusculum*, *St. insigne*, *St. fasciculare*. Pascher nennt diese Formen *Eustigeoclonium*. Zweitens gibt es unter den *Stigeoclonium*-Arten solche, die viergeißelige Zoosporen (Macro- und Micro-) und zweigeißelige Gameten besitzen: *St. flagelliferum*, *St. tenue* (s. West), *St. longipilum* (Kniep, p. 113). Diese Gruppe von Arten könnte

---

geschichtlich sehr wenig untersucht und von vielen ist schwer zu sagen, in welche Gruppe sie gehören.

Stigeocloniopsis (= *Prostigeoclonium* und *Hemistigeoclonium* Pascher) genannt werden. Drittens ist unter den Stigeoclonien auch eine Form zu finden, welche zweigeißelige Zoosporen und zweigeißelige Gameten hat. Das ist nämlich *St. terrestre*. Pascher hat sie als eine besondere Gattung *Iwanoffia* abgetrennt. Die Gattung *Stigeoclonium* stellt also einen Formenkomplex dar, welcher zu wenigstens drei verschiedenen Gattungen gehört, die im vegetativen Zustande voneinander zwar nicht zu unterscheiden sind. Aus dem oben Gesagten ist ersichtlich, daß *Eustigeoclonium* am Anfang unserer ersten Gruppe stehen muß; wir können dieselbe mit Pascher als Eutetracontae bezeichnen. *Stigeocloniopsis* muß in die zweite Gruppe eingeschlossen werden, nach Pascher sind das Hemitetracontae, zum Teil Eutetracontae; *Iwanoffia* kommt schließlich in den Anfang der dritten Gruppe zu stehen — Dicontae von Pascher [1]). Jede dieser Gruppen stellt eine selbständige phylogenetische Linie dar, die sich den zwei anderen parallel aus den *Stigeocloniumartigen* Formen entwickelte. Für beide Linien sind folgende Tatsachen charakteristisch: erstens, daß sie sowohl die progressiven als auch die reduzierten Formen einschließen, zweitens, daß in jeder von ihnen die Oogamie selbständig aus dem isogamen Befruchtungsvorgang entwickelt hatte. So haben wir in der Linie Eutetracontae progressive Formen — *Eustigeoclonium* und die hoch differenzierte *Draparnaldia*; reduziert sind *Phaeophila*, *Pringsheimia*, Ochlochaete und Aphanochaete. Schon bei den isogamen Formen, z. B. bei *Draparnaldia* treten uns die ersten Anfänge der Heterogamie entgegen (es kolupieren ungleich große Gameten, s. Klebs, T. 3 Fig. 16), bei Aphanochaete gelangt schon die Heterogamie fast zu einer Oogamie. In der Linie Hemitetracontae sind *Stigeocloniopsis* und *Chaetophora* progressiv, *Chaetopeltis*, *Endoderma*, *Chlorotylium*, *Chaetonema* aber reduziert. Dabei erhält die Heterogamie ihren höchsten Ausdruck im oogamen Befruchtungsvorgang von *Chaetonema irregulare*. Die Linie Dicontae hat progressive Formen: *Iwanoffia*, *Gongrosira*, *Leptosira*, *Ctenocladus*; reduzierte: *Zoddaea*, *Protoderma*. Das sind alles isogame Formen, innerhalb dieser Linie sind genau oogame Formen unbekannt. Auf Grund der oben ausgesprochenen Erwägungen könnte aber Acrochaete als eine solche gelten. Falls diese Voraussetzung keine Rechtfertigung finden

[1]) Pascher hat schon im Jahre 1907 eine Gruppierung der *Ulotrichales* und *Chaetophorales* gegeben, die der unserigen im folgenden gegebenen ähnlich ist, obgleich seine Gruppen mit den unserigen nicht ganz übereinstimmen (Pascher, Studien über Schwärmer usw.).

würde, so mögen an die Linie Dicontae die Coleochaeten mit ihrem streng oogamen Befruchtungsvorgang leicht anschließen und zwar über die Acrochaeten.

Innerhalb jeder Linie sind also sowohl die isogamen wie auch die oogamen Formen zu beobachten, dabei ist es von Interesse hervorzuheben, daß gerade die reduzierten Vertreter der betreffenden Linie oogam erscheinen als ob die Differenzierung des Befruchtungsvorganges eben mit der Reduktion des vegetativen Teiles verbunden sei (vgl. Pascher, Studien über Schwärmer).

Aus dem hier Dargelegten ist zu folgern, daß *Chaetonema irregulare* ein oogames, dabei aber auch ein reduziertes Mitglied der Linie *Hemitetracontae* ist.

März 1930.

Laboratorium des Botanischen Gartens
der I. Universität Moskau.

Literaturverzeichnis.

1) Borzi, A.: Studi algologici. I 1883, II 1895.
2) Huber, J. (1892): Contributions à la connaissance des Chaetophorees epiphytes et endophytes. Ann. Sc. Nat. Bot.
3) — (1894): Sur un état particulier du Chaetonema irregulare Now. Bull. Herb. Boiss. Vol. 2 p. 163.
4) Klebs, G. (1896): Bedingungen usw.
5) Kniep, H. (1928): Sexualität der niederen Pflanzen.
6) Nowakowski, L. (1876): Beitrag zur Kenntnis der Chytridineen. Breslau.
7) Pascher, A. (1907): Studien über die Schwärmer einer Süßwasseralgen. Bibl. Bot. H. 67.
8) — (1914): Süßwasserflora, Chlorophyceae III. H. 6.
9) Pringsheim, N. (1861): Beiträge zur Morphologie der Meeresalgen. Abh. d. K. Akad. zu Breslau.
10) Printz, H. (1927): Chlorophyceae. Engler's. Die Nat. Pflanzenfamilien 2. Aufl. Bd. 3.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Archiv für Protistenkunde

Jahr/Year: 1930

Band/Volume: 72_1930

Autor(en)/Author(s): Meyer K.I.

Artikel/Article: Über den Befruchtungsvorgang bei Chaetonema irregulare N o w a k . 147-157