© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

18. Harald Kylin: Über den Bau der Spermatozoiden der Fucaceen.

(Mit Taf. II)

(Eingegangen am 23. März 1916.)

Die ältesten Angaben über den Bau der Spermatozoiden der Fucaceen sind von THURET[1]) gegeben worden; er bildet sie als kleine, oval-spindelförmige Körperchen ab, die mit einem gefärbten (orangefarbigen) Fleck und zwei Geißeln, die längere nach hinten, die kürzere nach vorn gerichtet, versehen sind.

Angaben über den feineren Bau der Spermatozoiden finden wir zum ersten Mal bei BEHRENS[2]). Nach diesem Forscher sollen die Spermatozoiden einen verhältnismäßig großen Kern besitzen, der mit einem aus Plasma bestehenden Mantel umgeben ist. STRASBURGER[3]) schließt sich dieser Meinung an, indem er behauptet, daß der Kern die Hauptmasse des Spermatozoids bilde.

Eine ganz andere Meinung wird von GUIGNARD[4]) vertreten. Er betont gegen BEHRENS, daß das Volumen des Protoplasmas demjenigen des Kerns beinahe gleich ist. Er liefert auch Abbildungen von reifen Spermatozoiden, an denen man einen relativ sehr großen birnförmigen Zellkörper sieht, in dessen dickerem Ende ein kleiner runder Kern liegt. Nach den Abbildungen zu urteilen, ist aber das Volumen des Protoplasmas etwa fünfmal so groß wie dasjenige des Kerns. Vor dem Kern sieht man in den Abbildungen von GUIGNARD den kleinen ovalen Augenfleck und dort, wo dieser sich befindet, sind die zwei Geißeln befestigt.

Eine dritte Auffassung über den Bau der Spermatozoiden der Fucaceen ist von RETZIUS[5]) dargestellt worden. Er behauptet,

---

1) THURET, G., Recherches sur la fécondation des Fucacées. — Annales des sc. nat., Botanique, S. 4, T. 2, Paris 1854.

THURET, G. und BORNET, E., Études phycologiques, Paris 1878.

2) BEHRENS, J., Beitrag zur Kenntnis der Befruchtungsvorgänge bei *Fucus vesiculosus* — Ber. der Deutsch. Bot. Ges., Bd. 4, Berlin 1886.

3) STRASBURGER, E., Kernteilung und Befruchtung bei *Fucus* — Jahrb. für wiss. Bot., Bd. 30, Berlin 1897.

4) GUIGNARD, L., Développement et constitution des anthérozoïdes. — Revue gén. de botanique, T. 1, Paris 1889.

5) RETZIUS, G., Über die Spermien der Fucaceen. — Archiv för Botanik, Bd. 5, Stockholm 1906. Auch in Biologischen Untersuchungen von Prof. Dr. GUSTAF RETZIUS, N. F., Bd. 13, Stockholm 1906.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

daß der von GUIGNARD als protoplasmatischer Zellkörper aufgefaßte, verhältnismäßig große, birnförmige Körper der Kern sei, welcher nur von einem äußerst dünnen Plasmamantel umgeben wäre. Der von GUIGNARD beschriebene kleine runde Kern liegt nach RETZIUS nicht in dem birnförmigen Körper, sondern auswendig an dessen Seite und gehört zum Plasmamantel. Weiter sei er auch nicht ein rundes, zusammenhängendes Körperchen, habe nicht die Gestalt und das Aussehen eines Zellkerns, sondern bestehe aus abgesonderten, voneinander getrennten runden Körnchen, die in der Regel zu vieren vorhanden seien. Sie ähneln nach RETZIUS in ganz auffallender Weise den Gebilden, die in den Spermien der niederen Tiere z. B. der Würmer und vieler Mollusken vorkommen, und die von RETZIUS als Nebenkernorgane beschrieben worden sind. Vor diesen Nebenkernorganen befindet sich der schon von älteren Forschern beschriebene Augenfleck oder Chromatophor, welcher auch außerhalb des birnförmigen Körpers, im Plasmamantel, liegt.

Wie man findet, gehen die Ansichten über den Bau der Spermatozoiden der Fucaceen sehr weit auseinander, und besonders ist es die Frage: „was ist Kern und was ist Protoplasma?", die von verschiedenen Forschern sehr verschieden beantwortet worden ist; diese Frage ist es auch, die uns in den folgenden Zeilen in erster Linie beschäftigen wird.

Beim Durchlesen der einschlägigen Literatur findet man aber, daß es über die spätesten Entwicklungsphasen der Spermatozoiden der Fucaceen überhaupt keine Angaben gibt, und um diesem Mangel einigermaßen abzuhelfen, werde ich auch die Entwicklung derselben mit einigen Worten besprechen. Bei meinen Untersuchungen habe ich teils lebendes, teils fixiertes Material von *Fucus serratus* benutzt, und werde zuerst mitteilen, was man bei der Untersuchung an lebendem Material beobachten kann.

In dem jungen Antheridium (Taf. II, Abb. 1) findet man einen verhältnismäßig großen Kern, der durch sein homogenes Aussehen sich sehr gut von dem Protoplasma unterscheiden läßt. Im Kern sieht man ein dunkles Körperchen, den Nukleolus, übrigens sieht der Kern vollkommen homogen aus. Das Protoplasma zeigt eine schöne Wabenstruktur, und im Protoplasma eingebettet findet man einige Chromatophoren, die sich in der Nähe des Kerns befinden, und deren Farbe schwach gelbgrün ist. Außerdem sind einige stark lichtbrechende Körperchen vorhanden, die im Protoplasma zerstreut liegen. Die mikrochemische Untersuchung hat

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

dargetan, daß einige dieser Körperchen Fucosanblasen darstellen, andere dagegen Fetttröpfchen sind[1]).

Der Kern vermehrt sich durch wiederholte Teilungen und schließlich sind 64 Kerne vorhanden. Im 2- und 4-Kernstadium kann man noch die schwach gefärbten Chromatophoren beobachten, im 8-Kernstadium treten sie aber nur selten hervor. Sie haben ihre Farbe verloren und sind jetzt als Leucoplasten vorhanden. Im 64-Kernstadium werden sie wieder gefärbt, und treten dann zuerst als sehr kleine Körnchen auf, deren Farbe anfangs schwach gelblich, bisweilen mit einem Stich ins Gelbgrün, ist. Die Farbe wird aber bald stärker und geht ins Orangegelb bis Orange über. Die Zahl der Chromatophoren hat sich gleichzeitig mit derjenigen der Kerne vergrößert, und im 64-Kernstadium findet man, daß ein Kern und ein Chromatophor sich zusammenpaaren. Die Chromatophoren wachsen und bilden schließlich runde bis schwach ovale Scheiben, die auf der dem Kern zugekehrten Seite konkav sind. Sie sind jetzt stark orangefarbig und stellen den sogenannten Augenfleck des Spermatozoids dar.

Die Kerne sind durch ihr homogenes Aussehen immer sehr deutlich vom Protoplasma zu unterscheiden. Im 8-Kernstadium (Taf. II, Abb. 2) kann man noch die Nukleolen beobachten, von da ab ist dies aber nicht mehr möglich. Das Protoplasma besitzt noch im 32-Kernstadium eine Wabenstruktur; diese tritt aber jetzt nicht so schön hervor wie in den früheren Stadien, und zwar wegen der großen Anzahl der Kerne.

Die Zahl der Inhaltskörper hat sich auch vergrößert, und im 64-Kernstadium (Taf. II, Abb. 3) beobachtet man eine große Menge Fucosanblasen und Fetttröpfchen.

Im 64-Kernstadium beobachtet man, daß große Veränderungen in den Antheridien vonstatten gehen. Das Auftreten und Wachstum der Chromatophoren ist schon oben erwähnt worden. Die Kerne werden mit einem eigentümlichen Ring umgeben, und im Zusammenhang mit dem Auftreten dieses Ringes steht das Verschwinden der Wabenstruktur des Protoplasmas. Der Ring, der je nach der Einstellung der Mikrometerschraube dunkler oder heller als der Kern erscheint, sieht vollkommen homogen aus, und zwar stellt er das Protoplasma des künftigen Spermatozoides dar, welches sich um den Kern herum zu differenzieren beginnt.

Wie wir schon durch die Untersuchungen von THURET wissen, werden die reifen Spermatozoiden nicht vereinzelt aus dem Anthe-

1) KYLIN, H., Über die Inhaltskörper der Fucoideen. — Archiv för Botanik, Bd. 11, Stockholm 1912.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

ridium einer *Fucus*-Art entlassen, sondern sie treten, von der inneren Zellwandschicht des Antheridiums umschlossen, aus der Konzeptakelmündung heraus. Die Entlassung der Spermatozoiden aus dieser Hülle läßt sich unter dem Mikroskop leicht verfolgen. Die Hülle öffnet sich an dem einen Ende, seltener an beiden, und die Spermatozoiden treten durch das Loch heraus. Bei rascher Entlassung liegen sie eine Weile unbeweglich vor der Öffnung. Wie die Untersuchung an fixiertem Material gezeigt hat, sind die Spermatozoiden in diesem Stadium von einer dünnen Plasmamembran umgeben, und diese Membran schließt außer dem Spermatozoid auch einige Überbleibsel von Fucosanblasen und Fetttröpfchen ein, die in unmittelbarer Nähe des Chromatophors liegen und als stark lichtbrechende Körnchen erscheinen. Die Plasmamembran wird durchbrochen und das Spermatozoid wird frei, die kleineren Körnchen können aber an ihm sitzen bleiben, und werden erst allmählich durch die Bewegungen entfernt.

Das freie Spermatozoid ist birnförmig, 2,3—2,5 μ breit und 4—5 μ lang. Es besitzt einen stark orangefarbigen Chromatophor, den sogenannten Augenfleck, und an diesem sind die beiden Geißeln befestigt, die hintere etwa doppelt so lang als die vordere (vgl. die Abb. Taf. II, Abb. 8—9). Mehr läßt sich an den lebenden Spermatozoiden kaum sicher feststellen. Bisweilen scheint es aber, als ob der Körper des Spermatozoides zwei Substanzen enthielte, die sich in bezug auf ihre Lichtbrechungsverhältnisse unterscheiden. Die eine nimmt die zentraleren Teile ein, die andere umschließt diese Teile nebst dem Chromatophor als eine dünne Schicht, und bildet außerdem den zugespitzten Teil des Spermatozoidenkörpers. Es ist aber nötig, fixiertes und gefärbtes Material zu verwenden, um diese beiden Substanzen studieren zu können.

Um die Einzelheiten in der Entwicklung der Spermatozoiden noch weiter zu verfolgen, muß man Präparate benutzen, die auf die für cytologische Zwecke gewöhnliche Weise dargestellt worden sind. Als Fixierungsflüssigkeit habe ich die schwächere FLEMMINGsche Mischung verwendet. Die Präparate sind mit Eisenhämatoxylin nach HEIDENHAIM gefärbt, wobei eine Nachfärbung mit Lichtgrün oder Eosin sich als sehr wertvoll erwiesen hat.

Über die Kernteilungen in den Antheridien einer *Fucus*-Art (*Fucus vesiculosus*) sind wir durch die Untersuchung von YAMANOUCHI[1]) sehr gut unterrichtet, und brauche ich deshalb nur auf seine Arbeit hinzuweisen. Ich möchte nur erwähnen, daß die erste

1) YAMANOUCHI, S., Mitosis in Fucus. — Bot. Gazette, Vol. 47, Chicago 1909.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

Teilung eine Reduktionsteilung ist, und daß es 32 haploide Chromosomen gibt.

Sobald wir im Antheridium 32 Kerne bekommen haben, beginnen Plasmamembranen zwischen den verschiedenen Kernen aufzutreten und es entstehen also im Antheridium 32 Zellen, jede Zelle mit einem Kern (Tafel II, Abb. 4). Eine solche Zellbildung ist schon von YAMANOUCHI inbezug auf *Fucus vesiculosus* nachgewiesen worden.

Nach der letzten Kern- und Zellteilung sind im Antheridium 64 Zellen vorhanden; jede Zelle besitzt einen Kern, der im Durchmesser 2,1—2,3 μ groß ist (Taf. II, Abb. 5). Die Zellen sind durch zarte Protoplasmamembranen voneinander getrennt. Im Kern findet man unmittelbar nach der letzten Kernteilung eine ziemlich reichliche Chromatinmenge; der Nukleolus tritt aber im allgemeinen nicht deutlich hervor.

In jeder dieser 64 Zellen wird ein Spermatozoid gebildet. Die Zellen stellen also die Mutterzellen der Spermatozoiden dar. Während der Entwicklung der Spermatozoiden treten besondere Veränderungen sowohl im Kern wie im Plasma hervor.

In bezug auf den Kern beobachtet man, daß er immer ärmer an Chromatin wird, und im Kerne des reifen Spermatozoids findet man nur einige vereinzelte Chromatinkörnchen. Ein etwas größeres Körnchen in der Mitte des Kerns stellt wohl den Nukleolus dar (Tafel II, Abb. 10—12).

Gleichzeitig mit den oben erwähnten Veränderungen im Kerne beobachtet man, daß sich eine besondere Protoplasmaschicht um den Kern herum auszubilden beginnt. Diese Schicht färbt sich mit Eisenhämatoxylin sehr stark, und in den Präparaten scheint es, als ob der Kern mit einem schwarzen Ring umgeben wäre (Taf. II, Abb. 6). Am lebenden Material beobachtet man in diesem Stadium ebenfalls, daß der Kern mit einem besonderen Ring umgeben ist (vgl. oben). Die Chromatophoren treten jetzt in den mit Eisenhämatoxylin gefärbten Präparaten als schwarze Pünktchen hervor. Die Fucosanblasen erscheinen als graue Körperchen. Vom Eisenhämatoxylin werden sie nicht gefärbt, sie sind aber von der Osmiumsäure der Fixierungsflüssigkeit geschwärzt worden. Im allgemeinen habe ich meine Präparate mit Wasserstoffsuperoxyd behandelt, um das Osmium aus den Fucosanblasen herauszulösen, und die Blasen treten dann nicht hervor. Die Fetttröpfchen sind selbstverständlich während der Behandlung der Präparate herausgelöst worden.

In den Mutterzellen der Spermatozoiden finden demnach

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

folgende Veränderungen statt: Die Chromatinmenge des Kerns wird vermindert, eine besondere Plasmaschicht differenziert sich um den Kern herum und der Chromatophor wird vergrößert.

Der Kern liegt anfangs in der Mitte der Spermatozoidenmutterzelle, wird aber bald seitlich verschoben, wodurch die Hauptmenge des Plasmas an einer Stelle angesammelt wird. In dieser Plasmaansammlung bildet sich der Chromatophor aus. Er liegt zuerst frei in dieser Plasmaansammlung, nähert sich aber bald dem Kern und wird schließlich in die Plasmaschicht eingebettet, welche sich um den Kern bildet. Der Kern ist anfangs rund, nimmt aber nach und nach eine ovale bis schwach eiförmige Gestalt an (Taf. II, Abb. 7), und mit dieser Formveränderung des Kerns ist auch die Form des künftigen Spermatozoids gegeben, das noch immer in seiner Mutterzelle eingeschlossen liegt. — In den Präparaten erscheinen die Mutterzellen abgerundet und von einander getrennt. Dies ist aber wahrscheinlich eine Einwirkung der Fixierungsflüssigkeiten.

Der Kern des reifen Spermatozoids ist oval und beträgt 2,0—2,2 μ in der Breite und 2,4—2,6 μ in der Länge. Er ist sehr inhaltsarm; man beobachtet nur einige wenige Körnchen, die sich mit Eisenhämatoxylin schwarz färben. Er ist mit einer dünnen Plasmaschicht umgeben, die sich mit Eisenhämatoxylin stark färbt. Die schnabelförmige Verlängerung des Spermatozoids besteht aus Protoplasma. Im Protoplasma eingebettet liegt der Chromatophor, der sich mit Eisenhämatoxylin intensiv schwarz färbt, viel stärker als das Protoplasma (Taf. II, Abb. 10—12). Das reife Spermatozoid ist 4—5 μ lang und 2,3—2,5 μ breit. Der Kern stellt dem Volumen nach die Hauptmasse des Spermatozoids dar. Außer dem Chromatophor habe ich im Plasma in den mit Eisenhämatoxylin gefärbten Präparaten keine Körnchen finden können. Bisweilen können die Spermatozoiden zwei Chromatophoren enthalten.

Aus dem oben Angeführten geht demnach hervor, daß ich die von RETZIUS beobachteten Körnchen, das Nebenkernorgan, nicht gefunden habe. Nun ist aber zu bemerken, daß RETZIUS eine ganz andere Untersuchungsmethode verwendet hat. Er hat die Spermatozoiden mit Osmiumsäure fixiert, dann mit Rosanilin gefärbt und in Kaliumacetatlösung eingelegt. Diese Methode habe ich deshalb benutzt, um das Nebenkernorgan zu studieren, ich muß aber gestehen, ich habe das Nebenkernorgan nicht finden können.

Es ist schon oben erwähnt, daß man in den reifen Spermatozoidenmutterzellen einige Überbleibsel von Fucosankörnchen und Fetttröpfchen findet, und zwar liegen diese in der Nähe des Chro-

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

matophors, und also gerade da, wo RETZIUS das Nebenkernorgan gefunden hat. Und wenn man die von RETZIUS gegebenen Abbildungen beobachtet, kann man sich des Gedankens nicht ganz erwehren, daß das Nebenkernorgan der Spermatozoiden der Fucaceen solche Überbleibsel darstelle. RETZIUS schreibt inbezug auf die Körnchen des Nebenkernorgans: „Eigentlich nimmt nur ihr Plasma diese stärkere Farbe (beim Färben mit Rosanilin) an, während ihr Inneres mehr glänzend und weniger gefärbt erscheint.“ Diese Worte deuten eben auf Fucosankörnchen hin.

Mehrmals habe ich beobachten können, daß die nach der Methode von RETZIUS behandelten Spermatozoiden in ihrer Plasmaschicht keine Körnchen enthalten. Bisweilen scheint es aber, als ob in der Plasmaschicht, die den Chromatophor umgibt, einige Körnchen vorhanden wären. Es ist aber immer eine sehr schwierige Aufgabe, mit Sicherheit zu entscheiden, ob die Körnchen wirklich innerhalb der Plasmaschicht liegen, oder ob sie nur außerhalb dieser Schicht angeheftet sitzen. Soviel scheint mir aber jedenfalls sicher, daß diese Körnchen keinen notwendigen Bestandteil des Spermatozoids darstellen und deshalb auch nicht als ein Nebenkernorgan zu bezeichnen sind, das mit den Nebenkernorganen der Spermien der niederen Tiere vergleichbar wäre.

Für den Fall, daß Körnchen in der Plasmaschicht der Spermatozoiden wirklich vorkommen können, möchte ich nur darauf hinweisen, daß Fucosankörnchen für die Zellen der Fucaceen durchaus charakteristisch sind, und daß es mir garnicht ausgeschlossen zu sein scheint, daß solche Körnchen auch in den Spermatozoiden bisweilen vorhanden sein können.

Über die Entstehung der Geißeln habe ich keine Beobachtungen machen können, und zwar deshalb, weil man die Geißeln erst dann sehen kann, wenn sie schon ausgebildet sind und im Begriff sind, sich auszurollen. Inbezug auf die Geißeln schreibt GUIGNARD: „Ils partent l'un et l'autre du point rouge, en deux sens opposés; celui qui correspond au futur bec de l'anthérozoide fait une fois le tour du corps; l'autre, au contraire, en fait deux fois le tour et présentera par conséquent une longeur double.“

Es erübrigt noch, mit einigen Worten die Farbstoffe des Chromatophors zu besprechen. Durch einige Untersuchungen in den letzten Jahren[1]) wissen wir, daß in den Chromatophoren der

1) KYLIN, H., Über die Farbstoffe der Fucoideen. — Zeitschr. für physiol Chemie, Bd. 82, Straßburg 1912.

WILLSTÄTTER, R. und PAGE, H. J., Über die Pigmente der Braunalgen. — Annalen der Chemie, Bd. 404, Leipzig 1914.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

Fucaceen außer Chlorophyll drei gelbe Farbstoffe auftreten, nämlich Karotin, Xanthophyll und Fucoxanthin. In dem stark orangefarbigen Chromatophor des Spermatozoids können wir nur die drei gelben Farbstoffe erwarten. Eine Untersuchung hat aber gezeigt, daß Fucoxanthin fehlt, und daß nur Karotin und Xantophyll vorhanden sein können. Ob wirklich beide vorhanden sind, möge dahingestellt bleiben, es ist aber nicht unwahrscheinlich, daß die Farbe des Chromatophors hauptsächlich oder vielleicht ausschließlich von Karotin bedingt ist.

Das Fucoxanthin wird von verdünnten Säuren blau bis blaugrün gefärbt, die Farbe des Karotins und Xanthophylls wird aber davon nicht verändert. Läßt man aber Antheridien von *Fucus serratus* mehrere Stunden in verdünnter Salzsäure liegen, so findet man, daß die Farbe der Spermatozoidenchromatophoren nicht verändert wird, die Chromatophoren der assimilierenden Zellen werden aber blaugrün gefärbt. Dieser Versuch zeigt, daß die Chromatophoren der Spermatozoiden kein Fucoxanthin enthalten. Von konzentrierter Schwefelsäure werden sie aber blau gefärbt, was auf das Vorhandensein von Karotin oder Xantophyll hindeutet.

Upsala, Botanisches Institut, im März 1916.

Erklärung der Tafel II.

Abb. 1. Anlage eines Antheridiums.

Abb. 2. 8-Kernstadium des Antheridiums.

Abb. 3. 64-Kernstadium des Antheridiums. Eine Plasmaschicht beginnt sich um die Kerne zu bilden. Die etwas langgestreckten Körnchen sind die Chromatophoren, die übrigen sind Fucosanblasen oder Fetttröpfchen.

Abb. 4. 32-Kernstadium mit beginnender Zellbildung.

Abb. 5. 64-Kernstadium unmittelbar nach der letzten Kernteilung.

Abb. 6—7. Spermatozoidenmutterzellen mit in Entwicklung begriffenen Spermatozoiden.

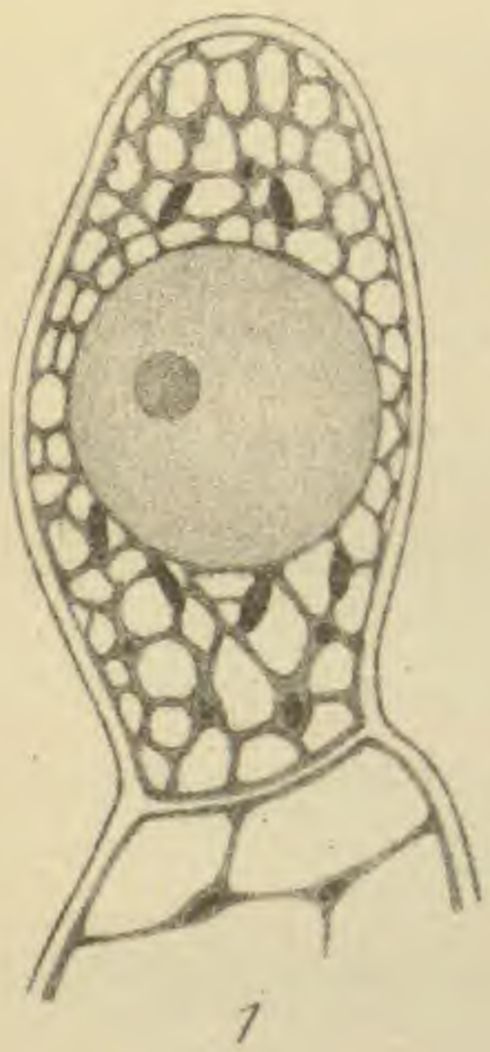
Abb. 8—9. Spermatozoiden mit Rosanilin gefärbt.

Abb. 10—12. Spermatozoiden mit Eisenhämatoxylin gefärbt. Die Geißeln treten bei dieser Behandlung nicht hervor.

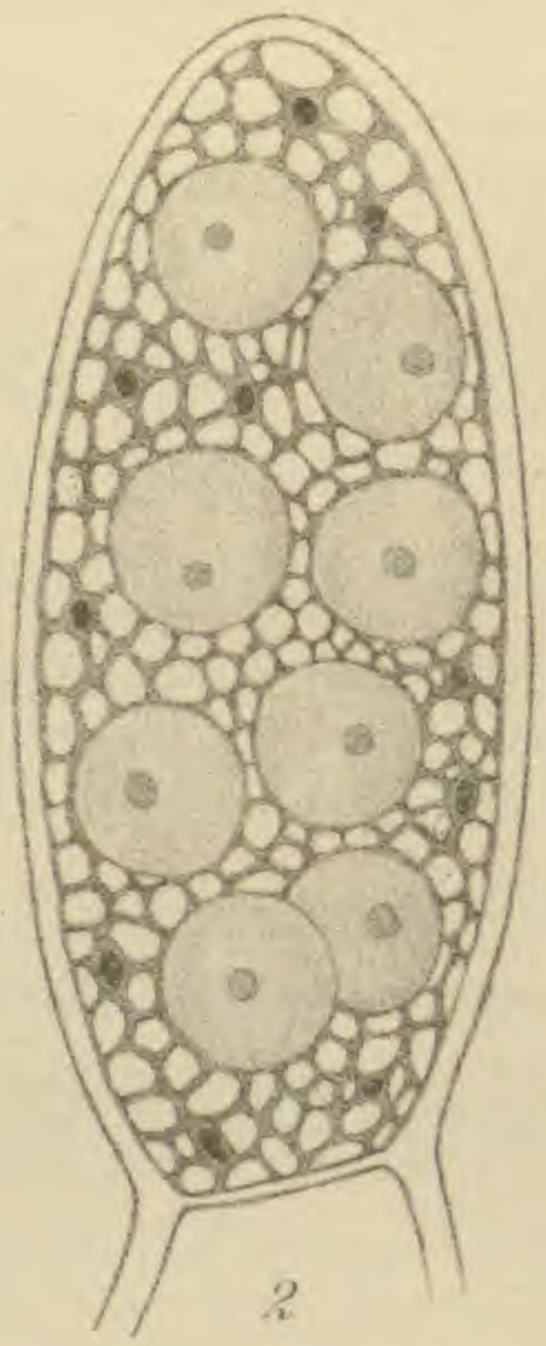
Die Abbildungen 1—3 sind nach lebendem Material gezeichnet.

Alle sind 3000 mal vergrößert.

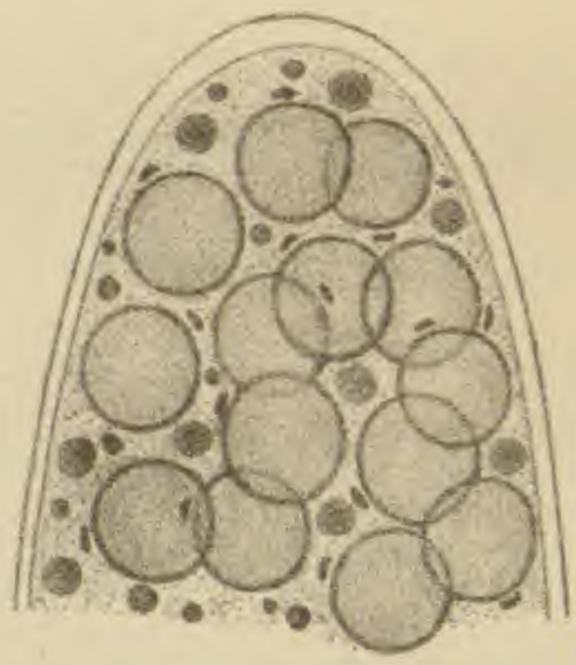
© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at



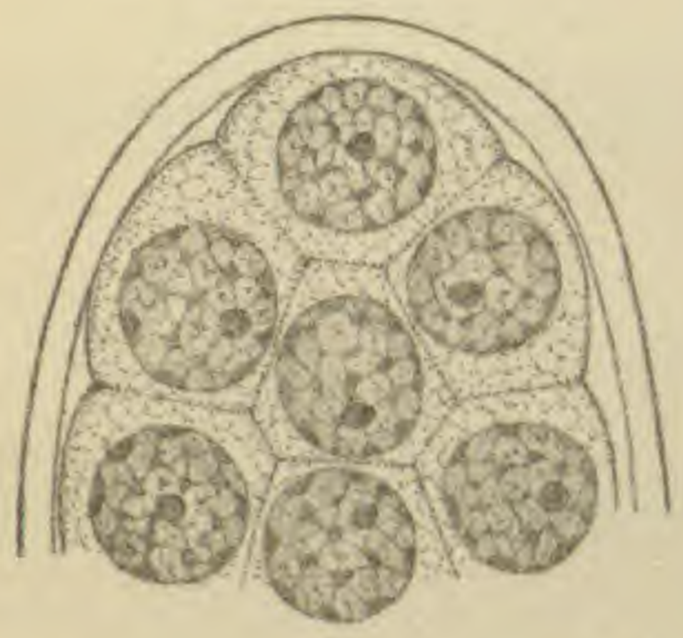
1



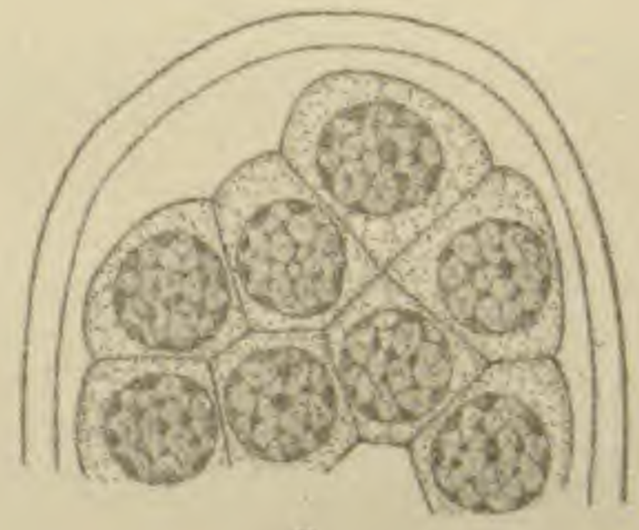
2



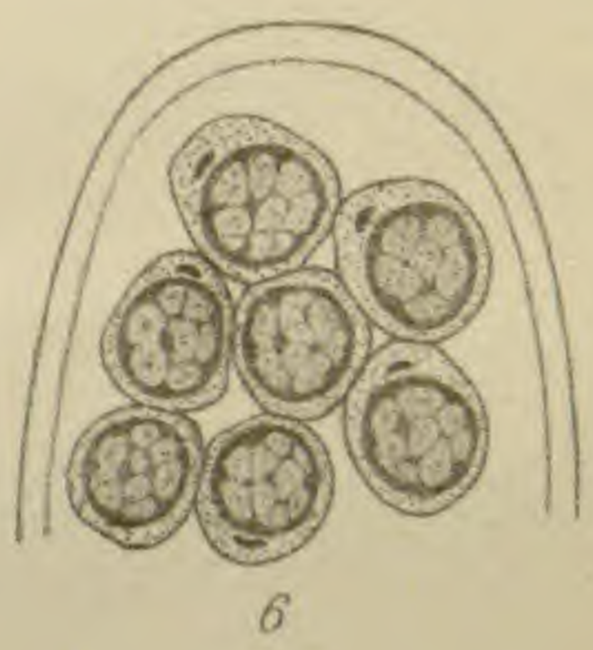
3



4



5



6

7

8

9

10

11

12

Hylin gez. *F. Laue lith.*

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Berichte der Deutschen Botanischen Gesellschaft

Jahr/Year: 1916

Band/Volume: 34

Autor(en)/Author(s): Kylin Harald

Artikel/Article: Über den Bau der Spermatozoiden der Fucaceen. 194-201