

Zweites Kapitel.

Die Reifeerscheinungen von Ei- und Samenzelle und der Befruchtungsprozeß.

1. Die Reifeerscheinungen.

Eier, die noch ein Keimbläschen besitzen, müssen, ehe sie in den mit der Befruchtung beginnenden Entwicklungsprozeß eintreten können, zuvor noch eine Reihe von Veränderungen — den Reifeprozeß — durchmachen. Der Reifeprozeß spielt sich an dem Keimbläschen ab, führt seinen Untergang herbei und endet mit der Bildung der sogenannten Polzellen. Er beginnt, wie man an geeigneten lebenden Objekten, an kleinen durchsichtigen Eiern wirbelloser Tiere im Zusammenhang verfolgen kann, damit, daß das große Keimbläschen aus der Mitte des Eies weiter an die Oberfläche heranrückt und ein wenig einschrumpft, indem aus seinem Inhalt Kernsaft in den umgebenden Dotter austritt (Fig. 13 A). Die infolgedessen faltig gewordene Kernmembran beginnt sich jetzt aufzulösen; auch der Keimfleck — oder, wo ihrer zahlreichere

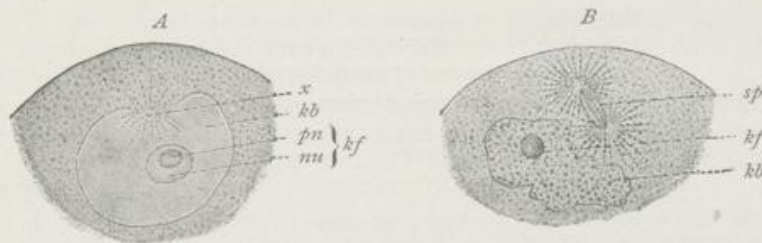


Fig. 13. Ausschnitte aus Eiern von *Asterias glacialis*.

Sie zeigen die Rückbildung des Keimbläschens (*kb*). In Fig. A beginnt dasselbe zu schrumpfen, indem ein Protoplasmahöcker (*x*) mit einer Strahlung in sein Inneres eindringt und die Membran daselbst auflöst. Der Keimfleck (*kf*) ist noch deutlich, aber in zwei Substanzen, Nuclein (*nu*) und Paranuclein (*pn*), gesondert.

In Fig. B ist das Keimbläschen (*kb*) ganz geschrumpft, seine Membran ist aufgelöst, der Keimfleck (*kf*) nur noch in kleinen Resten vorhanden, in der Gegend des Protoplasmahöckers der Fig. A ist eine Kernspindel (*sp*) in Ausbildung begriffen.

vorhanden sind, die Keimflecke — zerfallen in kleine Fragmente, die sich nach einiger Zeit ganz der weiteren Beobachtung entziehen. Das Ei ist indessen durch die vollständige Rückbildung des Keimbläschens keineswegs, wie es den Anschein hat, kernlos geworden; es hat nur eine Um-

wandlung des Kerns in der Weise, wie sie überall im Pflanzen- und Tierreich als Vorbereitung zur Zellteilung eintritt, stattgefunden. Denn bei geeigneter Behandlung mit Reagentien ist leicht festzustellen, daß sich aus einzelnen Bestandteilen des Keimbläschens (Fig. 13 B) während seiner Auflösung eine Kernspindel (*sp*) gebildet hat, über deren eigentümliche Zusammensetzung das Nähere in Lehrbüchern der Histologie nachzusehen ist.

Nach ihrer Entstehung verfolgt die Kernspindel den vom Keimbläschen schon vorher eingeschlagenen Weg noch weiter, bis sie mit ihrer Spitze an die Oberfläche des Dotters anstößt und sich hier mit ihrer Längsachse in die Richtung eines Eiradius einstellt (Fig. 14 I *sp*). Bald kann man an dieser Stelle bei kontinuierlicher Beobachtung des lebenden Eies wahrnehmen, daß sich an der Dotterrinde ein kleiner Hügel emporwölbt, in welchen die Kernspindel selbst zur Hälfte hineintrückt. Der Hügel schnürt sich darauf (Fig. 14 II *rk*¹) an seiner Basis ein

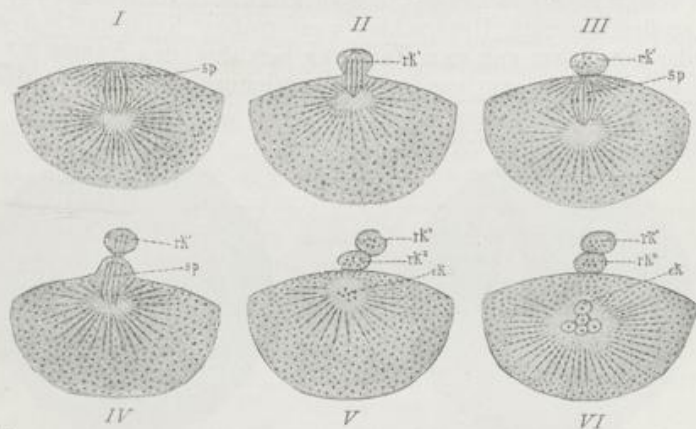


Fig. 14. Bildung der Polzellen (Richtungskörperchen) bei *Asterias glacialis*.

In Fig. I ist die Kernspindel (*sp*) an die Oberfläche des Eies gerückt. In Fig. II hat sich ein kleiner Hügel (*rk*¹) gebildet, der die Hälfte der Spindel aufnimmt. In Fig. III ist der Hügel zu einer Polzelle (*rk*¹) abgeschnürt. Aus der Hälfte der früheren Spindel ist wieder eine zweite vollständige Spindel entstanden. In Fig. IV wölbt sich unter der ersten Polzelle ein zweiter Hügel hervor, der sich in Fig. V zur zweiten Polzelle (*rk*²) abgeschnürt hat. Aus dem Rest der Spindel entwickelt sich der Eikern (*ek*) in Fig. VI.

und löst sich mit der Hälfte der Spindel vom Dotter als ein sehr kleines Kügelchen ab. Dieses besitzt den Formwert einer Zelle. Denn es besteht aus Protoplasma und Kern und ist ja auch unter den charakteristischen Erscheinungen der Zell- und Kernteilung (Karyokinese) entstanden (Fig. 14 III *rk*¹). Allerdings unterscheidet sich der hier vorliegende Prozeß von einer gewöhnlichen Zellteilung dadurch, daß die beiden Teilprodukte von außerordentlich ungleicher Größe sind. Genauer gesagt, haben wir es also mit jener Modifikation der Teilung zu tun, die als Zellenknospung unterschieden und namentlich im Kreis der niederen Organismen ziemlich häufig beobachtet wird.

Bei der Reife des Eies wiederholt sich nun genau derselbe Vorgang noch einmal. An die erste schließt sich an derselben Stelle eine zweite Zellenknospung an, nachdem sich die im Ei zurückgebliebene Hälfte der Spindel wieder zu einer ganzen Spindel (Fig. 14 III u. IV *sp*) ergänzt

oder umgewandelt hat, ohne zuvor wieder in das bläschenförmige Ruhestadium des Kerns eingetreten zu sein. Somit liegen jetzt auf der Oberfläche des Eies zwei winzige Kügelchen (Fig. 14 Vrk^1, rk^2); zuweilen sind es auch drei, wenn, was häufig geschieht, die zuerst gebildete Zellenknospe sich noch einmal in zwei Tochterzellen teilt; sie sind hier oft noch zu einer Zeit, wo das befruchtete Ei bereits in einen Haufen von Zellen zerlegt ist, unverändert nachzuweisen. Schon in der Mitte des 19. Jahrhunderts sind sie von Anatomen und Zoologen bei einigen Tierarten entdeckt und als Richtungskörper oder Polzellen (*corpuscules polaires*) beschrieben worden. Den letzteren Namen haben sie deswegen erhalten, weil sie bei Eiern, an denen ein animaler Pol zu unterscheiden ist, stets an diesem ihren Ursprung nehmen.

Bei der Bildung der zweiten Polzelle ist die eine Hälfte der zweiten Kernspindel in sie mitübergegangen, die andere Hälfte (Vek) ist in der Dotterrinde zurückgeblieben und wandelt sich hier ($VIek$) in einen sehr kleinen, leicht zu übersehenden, bläschenförmigen Kern um (Fig. 15 ek). Diesen wollen wir zum Unterschied vom großen Keimbläschen als Eikern oder mit einem von VAN BENEDEN herrührenden Namen als weiblichen Vorkern (*pronucleus femelle*) bezeichnen. Von seiner Bildungs-

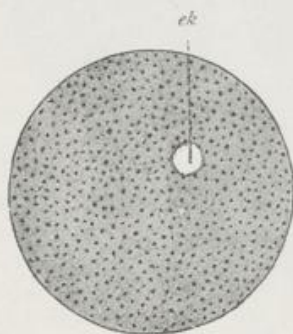


Fig. 15.

Fig. 15. Reifes Ei eines Echinoderms. Es schließt im Dottter den sehr kleinen homogenen Eikern (ek) ein. 300mal vergrößert.

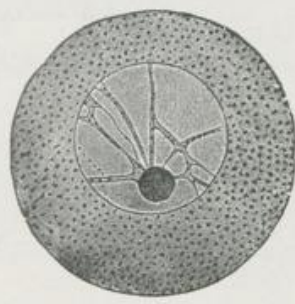


Fig. 16.

Fig. 16. Unreifes Ei aus dem Eierstock eines Echinoderms. 300mal vergrößert.

stelle in der Eirinde wandert er in der Regel bald wieder mehr in die Tiefe des Dotters, zuweilen sogar bis in die Mitte des Eies zurück.

Der Eikern oder weibliche Vorkern darf mit dem Keimbläschen des unreifen Eies nicht verwechselt werden. Man vergleiche die bei derselben Vergrößerung gezeichneten Figuren, das unreife (Fig. 16) und das reife Ei (Fig. 15) eines Echinoderms. Das Keimbläschen ist von sehr ansehnlicher Größe, der Eikern verschwindend klein. Am Keimbläschen unterscheidet man eine deutlich entwickelte Kernmembran, ein Kernnetz und einen Keimfleck; der Eikern dagegen sieht im lebenden Zustand nahezu homogen aus, ist ohne Keimflecke und gegen das Protoplasma durch keine feste Membran abgegrenzt. Ähnliche Unterschiede kehren überall im Tierreich in der Beschaffenheit beider Kerngebilde wieder.

Polzellen werden während der Reife des Eies bei allen Tierarten ohne Ausnahme gebildet. Bei den ausgedehnten vergleichenden Untersuchungen, die wir hierüber besitzen, hat man die wichtige Beobachtung

gemacht, daß parthenogenetische Eier gewöhnlich nur eine einzige Polzelle ausstoßen, während bei befruchtungsbedürftigen Eiern deren zwei oder drei nachgewiesen werden, eine Tatsache, deren Erklärung erst später gegeben werden soll.

In bezug auf die Zeit, die zwischen Eireife und Befruchtung liegt, finden sich Unterschiede zwischen einzelnen Abteilungen des Tierreiches. Während bei einigen die Reifung schon ganz abgeschlossen ist, ehe die Befruchtung erfolgt, fallen bei anderen beide Prozesse mehr oder minder zeitlich zusammen, z. B. bei den später noch zu besprechenden Nematoden. Dagegen rückt das Keimbläschen bei den Säugetieren und wohl ebenso auch beim Menschen, wie Untersuchungen am Kaninchen und an der Maus ergeben haben, schon mehrere Wochen vor dem Platzen des GRAAFschen Bläschens an die Oberfläche des Eies empor; zur Zeit des Follikelsprunges verschwindet es hier; an der Stelle, wo es geschwunden ist, bilden sich bald nach dem Austritt aus dem Ovarium der Eikern und ein oder zwei unter der Zona pellucida gelegene Polzellen aus.

Was haben nun die mit so großer Konstanz im Tierreich auftretenden Gebilde zu bedeuten? Daß es wirkliche Zellen sind, wurde schon durch die Art ihrer Entstehung bewiesen. Wir haben jetzt noch weiter hinzuzufügen, daß sie rudimentär gewordene oder Abortiveier vorstellen. Zugunsten solcher Ansicht lassen sich einmal vereinzelte Beobachtungen anführen, daß unter besonderen Umständen die erste Polzelle bei einzelnen Würmern (Prostheceraeus, Ascaris megalocephala) eine erhebliche Größe, fast wie der andere Teil des Eies, erreicht, daß sie wie dieser befruchtet wird und sich zu einem wirklichen Embryo entwickelt. Auf diese Weise können in derselben Eischale Zwillinge entstehen. Einen zweiten Beweis liefert ein genauerer Vergleich der Prozesse, welche sich bei der Ei- und Samenbildung abspielen. Diese lassen sich besonders leicht bei den Nematoden, zumal bei Ascaris megalocephala, überschauen (Fig. 17 u. 18). In einer 1890 erschienenen Untersuchung „Vergleich der Ei- und Samenbildung bei Nematoden“ habe ich zum erstenmal Punkt für Punkt den Nachweis geführt, daß genau dieselben Zellgenerationen sowohl in der Ovogenese wie in der Spermatogenese aufeinanderfolgen und daß namentlich ein der Bildung der Polzellen entsprechender Prozeß mit seinen eigentümlichen Kernveränderungen (Reduktionsteilung) auch bei der Entstehung der Samenfäden unterschieden werden muß.

Wenn wir das unreife Ei, solange es noch ein Keimbläschen besitzt, als Ovocyte bezeichnen, so können wir ein ihm entsprechendes Gebilde auch in der Spermatogenese als Spermatocyte nachweisen. Die weitere Vergleichung lehrt dann, daß von der Ovocyte wie von der Spermatocyte unter gleichen eigentümlichen Veränderungen des Kernes zuerst zwei Tochterzellen und durch ihre abermalige Teilung schließlich vier Einzelzellen abstammen. Bei der Ovogenese sind die Einzelzellen in ihrer Größe verschieden, sie stellen das reife Ei und die zwei resp. drei winzigen Polzellen dar (Fig. 17 IV); bei der Spermatogenese sind alle vier Teilprodukte gleich groß (Fig. 18 III B, C), sie heißen Spermatiden und wandeln sich in vier befruchtungsfähige Samenkörper um.

Während der Spermato- und Ovogenese bildet sich zwischen den reifen männlichen und weiblichen Keimzellen ein sehr auffälliger Gegensatz aus, dessen Bedeutung im vierten Kapitel (S. 51) noch weiter erörtert werden wird. Bei der Spermatogenese werden sehr zahlreiche

und sehr kleine bewegliche Zellen, die Samenfäden, geliefert, dagegen bei der Oögenese in beschränkterer Anzahl riesig große weibliche Zellen, die reich mit Dotter beladen sind. Von dem Gesichtspunkt aus, daß die im Eierstock eingetretene Dotteransammlung auch bei der Eireife in einer Zelle ungeschmälert erhalten bleiben soll, wird uns die rudimentäre Beschaffenheit der Polzellen leicht verständlich. Um es gleich hier schon kurz zu sagen, kommt es bei den die Eireife

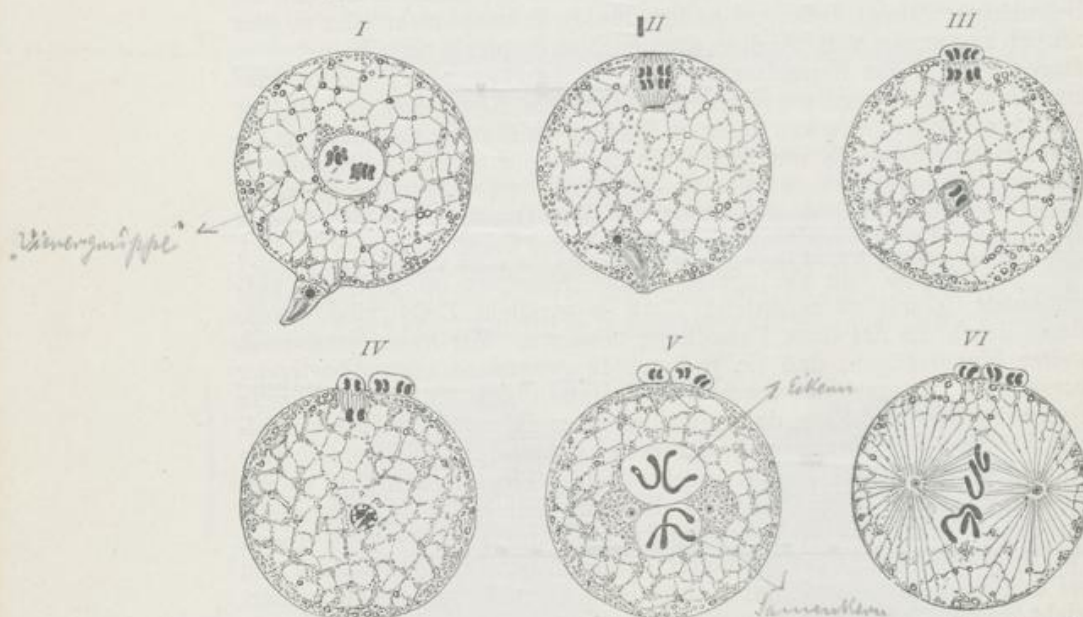


Fig. 17. Schema für die Bildung der Polzellen und die Befruchtung des Eies von *Ascaris megalocephala bivalens*.

I Ei mit Keimbläschen (Oocyte) und einem seiner Oberfläche aufsitzenden Samenkörper. II Ei, bei welchem sich aus dem Keimbläschen die erste Polspindel gebildet hat und der Samenkörper in die Oberfläche des Dotters eingedrungen ist. III Ei, bei welchem sich die erste Polzelle gebildet hat. IV Ei, bei welchem sich die zweite Polzelle abgeschnürt hat und der Samenkörper bis in die Mitte des Dotters gewandert ist. V Ei mit zwei Polzellen, mit Eikern und Samenkern, in welchen sich das Chromatin in je zwei Chromosomen angeordnet hat. VI Ei, bei welchem sich die Kernspindel mit vier Chromosomen ausgebildet hat, von welchen zwei vom Eikern, zwei vom Samenkern abstammen.

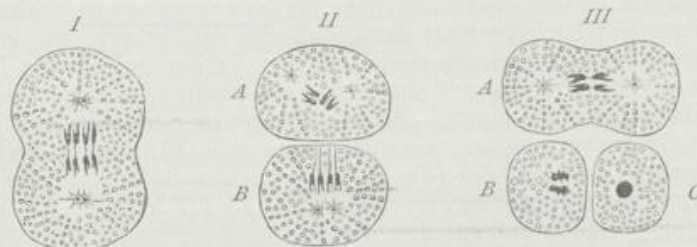


Fig. 18. Schema für die Entstehung der Samenzellen aus einer Spermatocyte von *Ascaris megalocephala bivalens*.

I Teilung der Spermatocyte in zwei Präspematiden. II Die beiden Präspematiden (A u. B) bereiten sich gleich nach der ersten Teilung zu einer zweiten Teilung vor. III Die Samentochterzelle A teilt sich in zwei Spermatozoen. B u. C zwei Spermatozoen. Diese werden zu Samenkörpern oder Spermatozoen.

ausmachenden Teilprozessen darauf an, daß sich eine Zelle des gesamten Vorrates an Reservestoffen, welche die Mutterzelle angesammelt hat, bemächtigt, auf Kosten der anderen Teilprodukte, welche zu rudimentären Gebilden, zu den Polzellen, werden.

Den Gegensatz zwischen Ei- und Samenbildung und die Aufeinanderfolge der verschiedenen, einander entsprechenden Zellengenerationen kann man sich in bequemer Weise auch verständlich machen und dem Gedächtnis fester einprägen durch nebenstehendes Schema.

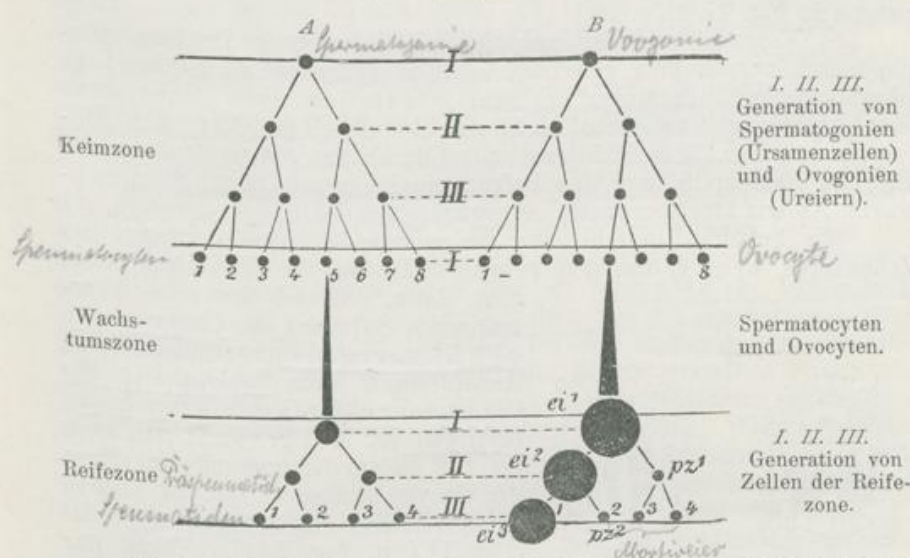


Fig. 19. Stammbaum der Zellgenerationen, welche bei der Samenbildung (Spermatogenese) A und bei der Eibildung (Oogenese) B aufeinander folgen, nach BOVERI in etwas abgeänderter Form.

Die jüngsten, im Stammbaum der Geschlechtsprodukte unterschiedenen Zellen werden als Ursamenzellen (Spermatogonien) und als Ureier (Ovogonien) bezeichnet. Sie vermehren sich während längerer Zeit durch häufig wiederholte Teilungen. Bei *Ascaris* geschieht dies in einem Abschnitt der röhrenförmigen Geschlechtsorgane, welchen man die Keimzone nennt.

Die vom blinden Ende der Ei- und Hodenröhre am weitesten entfernten Keimzellen treten hierauf in ein längere Zeit dauerndes Ruhestadium ein; während desselben nehmen sie erstens an Größe zu, und zwar in besonders hohem Maße bei der Oogenese, zweitens erfahren sie wichtige und charakteristische Veränderungen in der Konstitution des Kerns, namentlich des Chromatins. Sie heißen auf diesem Stadium Spermatocyten (1-8) und Oocyten (1-8). Der sie enthaltende Abschnitt der Ei- und Samenröhre ist die Wachstumszone. An sie schließt sich ein dritter Abschnitt als die Reifezone an. In der Reifezone gehen die physiologisch höchst wichtigen zwei Reifeteilungen vor sich. In der Spermatogenese heißen die durch die erste Teilung der Spermatocyten entstandenen Elemente die Präspmatiden (II), aus ihnen gehen durch die zweite Reifeteilung vier Spermatiden (1-4) hervor, welche sich dann in die reifen Samenfäden umwandeln. Aus den beiden Reifeteilungen in der Oogenese entstehen beidesmal Teilprodukte von ungleicher Größe. Die Teilung verläuft daher unter dem Bild der Knospung. Die erste Reifeteilung liefert das Vorei (ei¹) und die erste Polzelle (pz¹), die zweite Reifeteilung das reife, befruchtungsbedürftige Ei (ei²) und die zweite Polzelle (pz²). Die erste Polzelle (pz¹) kann sich ebenfalls noch einmal teilen und eine zweite Zellgeneration von Polzellen (pz³ und pz⁴) hervorbringen. Somit stammen am Schluß des Reifungsprozesses von jeder Spermatocyte und jeder Oocyte vier Einzelzellen ab; diese sind in der Spermatogenese gleich groß und werden zu reifen Samenfäden, in der Oogenese aber fallen sie sehr ungleich groß aus; von ihnen wird nur eine Zelle zum reifen Ei, während die drei übrigen als Polzellen zu weiterer Entwicklung ungeeignet sind und später zugrunde gehen.

Dasselbe ist zur Illustration der Vergleichungspunkte, die ich in der oben erwähnten Untersuchung festgestellt hatte, von BOVERI entworfen und von mir nachträglich in einigen Details etwas abgeändert worden.

Im Schema (Fig. 19) sind die beiden Stammbäume der männlichen und weiblichen Zellgenerationen von *Ascaris megalocephala* nebeneinander dargestellt. [Wer sich für diese wichtigen Prozesse näher interessiert, findet eine eingehendere Beschreibung in meinem Lehrbuch der Entwicklungsgeschichte, 9. Aufl., S. 92. Auch vergleiche man die Erklärungen zu Fig. 17, 18 u. 19.]

Der Vorgang, welcher uns durch die gegebene Deutung morphologisch verständlich geworden ist, hat außerdem noch eine hohe physiologische Bedeutung; er stellt nämlich eine besondere Vorbereitung für den sich anschließenden Akt der Befruchtung dar. Man ist hierauf zuerst durch das genaue Studium der Ei- und Samenreife und des Befruchtungsprozesses beim Pferdespulwurm, *Ascaris megalocephala*, aufmerksam geworden.

Wie bekannt, besteht eine der wichtigsten Veränderungen des Zellenkerns, wenn er aus dem ruhenden Zustand in die Teilung über-

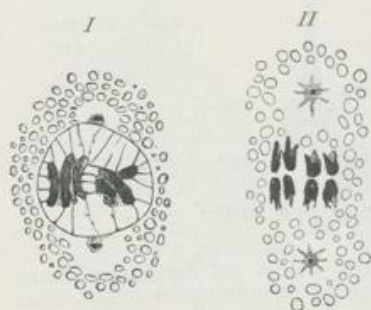


Fig. 20. Zwei Kerne von Spermatozyten von *Ascaris megalocephala* bivalens in Vorbereitung zur Teilung. Nach HERTWIG.

geht, darin, daß sich aus seiner chromatischen Substanz die Chromosomen oder Kernsegmente hervorbilden, deren Anzahl nach dem Zahlengesetz der Chromosomen für jede Tierart genau bestimmt ist. Das geschieht nun auch bei der Ei- und Samenreife im Kern der Oocyte und Spermatoocyte, aber in einer überaus eigentümlichen Weise (Fig. 17 I u. Fig. 20 I). Nicht nur werden die Chromosomen schon überaus frühzeitig angelegt, sondern sie treten dabei, was man bei anderen Zellen nie gefunden hat, in Gruppen von je vier vereinigt auf, und zwar wieder in einer für jede Tierart genau festgesetzten Zahl. Die sehr charakteristische Anordnung, welche schon in den verschiedensten Abteilungen des Tierreiches nachgewiesen worden ist, hat den passenden Namen der „Vierergruppe“ erhalten. Sie findet ihre Erklärung in den weiteren Vorgängen, durch die sich die Teilungen bei dem Reifeprozess der Geschlechtsprodukte von den gewöhnlichen Kernteilungen unterscheiden. Denn bei einer gewöhnlichen Kernteilung wird die Gesamtzahl der Chromosomen, nachdem eine Längsspaltung in Tochtersegmente vorausgegangen ist, in zwei gleiche Gruppen geteilt, die auseinanderweichen, sich bei der Zerlegung der Zelle auf die beiden Tochterzellen verteilen und die Grundlage für den jetzt folgenden bläschenförmigen Ruhezustand des Kerns bilden. Beim Reifeprozess dagegen werden die in einer Vierergruppe vereinigten Chromosomen gleich auf vier Zellen verteilt, von denen jede nur ein Segment erhält. (Vgl. Fig. 17—20 und die dazu gehörigen Figurenerklärungen.) Es geschieht dies durch zwei Zellteilungen, die sich unmittelbar aufeinander folgen, ohne daß zwischen zwei Teilungen der Kern in den bläschenförmigen Zustand der Ruhe übergeht, und ohne daß dabei eine erneute Spaltung der schon im Keimbläschen vorbereiteten Chromosome eintritt. Dadurch wird die Zahl der Chromosomen

ist, in zwei gleiche Gruppen geteilt, die auseinanderweichen, sich bei der Zerlegung der Zelle auf die beiden Tochterzellen verteilen und die Grundlage für den jetzt folgenden bläschenförmigen Ruhezustand des Kerns bilden. Beim Reifeprozess dagegen werden die in einer Vierergruppe vereinigten Chromosomen gleich auf vier Zellen verteilt, von denen jede nur ein Segment erhält. (Vgl. Fig. 17—20 und die dazu gehörigen Figurenerklärungen.) Es geschieht dies durch zwei Zellteilungen, die sich unmittelbar aufeinander folgen, ohne daß zwischen zwei Teilungen der Kern in den bläschenförmigen Zustand der Ruhe übergeht, und ohne daß dabei eine erneute Spaltung der schon im Keimbläschen vorbereiteten Chromosome eintritt. Dadurch wird die Zahl der Chromosomen

und die Masse der Kernsubstanz, welche im Ruhekern von Oocyte und Spermatocyte vorbereitet ist, nicht wie bei einer gewöhnlichen Zellteilung einfach halbiert, sondern infolge der zwei zusammengehörigen Teilungen geviertelt. Eikern und Samenkern besitzen daher nur die halbe Masse des Chromatins (Nucleins) und die halbe Zahl der Chromosomen eines Normalkerns, wie er aus einer gewöhnlichen Teilung hervorgeht. Der bei der Reife der Geschlechtsprodukte stattfindende Teilungsprozeß, der in seiner Art einzig dasteht, kann seinem Wesen nach mit einem von WEISMANN vorgeschlagenen Worte als Reduktionsteilung bezeichnet werden.

Die Reduktion der Chromatinmasse ist, wie wir im folgenden Abschnitt gleich sehen werden, eine Vorbedingung für den Befruchtungsprozeß; sie unterbleibt daher auch bei den parthenogenetisch sich entwickelnden Eiern, die nur eine Polzelle bilden (siehe S. 21).

In vielen Gruppen von Insekten zeigt die Spermatogenese einige sehr auffällige Besonderheiten, denen von vielen Forschern eine große Bedeutung beigelegt wird. Es unterscheiden sich nämlich bei den Insekten die Chromosomen in den Kernteilungsfiguren der Spermatogonien und Spermatocyten durch ihre oft sehr ungleiche Größe und zugleich durch ihr verschiedenes Verhalten bei der Karyokinese voneinander. Die Folge davon ist, daß bei den Reifeteilungen die einzelnen Chromosomen in ungleicher Weise auf die einzelnen Spermatozoen verteilt werden, und daß dadurch zwei verschiedene Arten derselben mit verschiedenem Chromatingehalt entstehen. Wie namentlich häufig beobachtet wird, tritt bei manchen Insektenarten ein durch Größe und Färbbarkeit leicht unterscheidbares Chromosom auf, das als akzessorisches oder als Heterochromosom bezeichnet worden ist.

Zur Erläuterung dieses Verhaltens mag die Spermatogenese von *Gryllus domesticus* dienen. Schon bei der Teilung der Spermatogonien (Fig. 21 A) läßt sich leicht ein besonderes Heterochromosom (*h*) von allen übrigen Chromosomen unterscheiden, sowohl durch seine abweichende Form und Größe als auch durch den Umstand, daß die aus seiner Längsspaltung hervorgehenden Tochtersegmente außer der Reihe mit den übrigen liegen und ihnen bei der Verteilung auf die Tochterzellen etwas verspätet nachfolgen. In der Spermatocyte ist ebenfalls wieder ein durch erheblichere Größe ausgezeichnetes Heterochromosom nachweisbar. Dieses wird aber jetzt bei der Teilung in die beiden Prä spermatiden (Fig. 21 B) nur auf eine derselben ungeteilt übertragen. Es entstehen daher aus der Teilung der Spermatocyte zwei Arten von Prä spermatiden, eine Art mit einem Heterochromosom (*B 2 h*) und eine zweite ohne ein solches (*B 1*).

Bei der letzten Reifeteilung gehen aus der ersten Art der Prä spermatiden (Fig. 21 B 2) zwei Spermatiden hervor, von denen jede ein Heterochromosom (*D h*) enthält. Es hat also hier während der Karyokinese eine Spaltung desselben stattgefunden. Von der zweiten Art von Prä spermatiden dagegen gehen bei ihrer Teilung nur zwei Spermatiden ohne Heterochromosom hervor (Fig. 21 C). Auf diese Weise werden die Spermatiden ungleich voneinander; sie wandeln sich dann natürlich auch weiterhin in zwei Arten von Spermatozoen um.

Die bei Insekten beobachteten Tatsachen sind von mehreren Forschern, wie MC CLUNG, WILSON, SUTTON, STEVENS, MORGAN und anderen, zu einer viel erörterten Hypothese über die Entstehung des männlichen und des weiblichen Geschlechts im befruchteten Ei benutzt

Abbildungspoden

worden. Je nachdem die Eier durch Samenfäden mit oder ohne Heterochromosom befruchtet werden, sollen sie sich zum weiblichen oder männlichen Geschlecht entwickeln. WILSON nimmt daher zwei an Zahl einander gleich große Klassen von Spermatozoen an, „male producing and female producing forms“. Er bemerkt dazu: „Since the idiochromosomes or heterotropic chromosomes form the distinction differential between the nuclei of the two sexes, it is obvious that the chromosomes are definitely coordinated with the sexual characters.“

Bei dem Mangel vergleichbarer und entsprechender Beobachtungen in anderen Klassen des Tierreiches scheint mir die Frage, ob und in welcher Weise ein ursächlicher Zusammenhang dieser morphologischen Tatsachen mit der Geschlechtsbestimmung besteht, für eine zusammenfassende, kurze, lehrbuchmäßige Darstellung noch nicht geeignet zu sein.

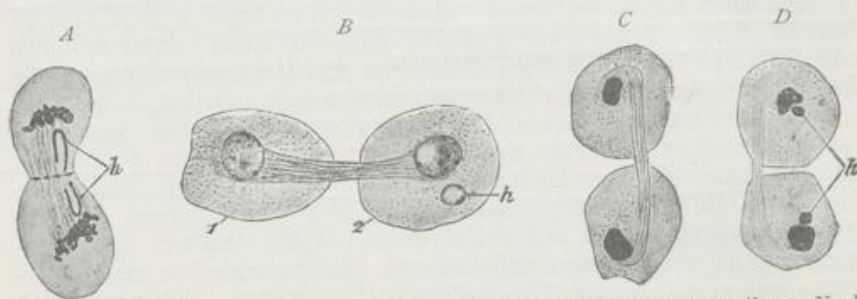


Fig. 21 A-D. Studien aus der Spermatogenese von *Gryllus domesticus*. Nach GUTHERZ. A Spermatogonie in Teilung mit Heterochromosomen (h). B Teilung einer Spermatocyte in 2 Prä-spermatiden 1 und 2; nur 2 hat das Heterochromosom (h) erhalten, das sich in ein eigenes Kernbläschen umgewandelt hat. C Teilung der Prä-spermatide (B 1) ohne Heterochromosom in 2 Spermatozoen ohne Heterochromosom. D Teilung der Prä-spermatide mit Heterochromosom (B 2 h) in 2 Spermatozoen mit Heterochromosom (h).

Genauer über die fundamentalen Vorgänge des Reifungsprozesses und über andere sich anknüpfende Probleme (die Synapsis, die Individualität der Chromosomen, die Autonomie der mütterlichen und der väterlichen Kernsubstanz usw.) findet sich: HERTWIG, Lehrbuch der Entwicklungsgeschichte, 9. Aufl., 1910, S. 83—101; ferner: HERTWIG, Allgemeine Biologie, 4. Aufl., 1909, S. 291—322.

2. Der Befruchtungsprozeß.

Nachdem festgestellt worden war (s. S. 13, 14), daß die Samenfäden, wie die Eier, wirkliche Elementarbestandteile des tierischen Körpers sind, konnte man doch lange Zeit über die Rolle, welche sie beim Befruchtungsprozeß spielen, nicht ins klare kommen. Daß sie sich an die Oberfläche der Eier, mit denen sie zusammentreffen, in größerer Anzahl ansetzen, war leicht zu beobachten; dagegen blieb dunkel, was weiter geschieht. Einige Forscher nahmen an, daß die Samenfäden schon durch den bloßen Kontakt das Ei befruchten sollen, indem sie Träger eines Stoffes seien, der durch die Dotterhaut hindurchdringe und wie ein Ferment auf den Eiinhalt einwirke. Andere Forscher gaben an, in einigen Fällen Samenfäden im Dotter selbst gesehen zu haben, und glaubten, daß sie hier zerfielen und durch ihre Vermischung mit dem Ei seine Entwicklung anregten. Klarheit kam in die Befruchtungs-