



HUMANEMBRYOLOGIE

Version 2008-2009

Online Embryologiekurs für Studierende der Medizin
Entwickelt von den Universitäten Freiburg, Lausanne und Bern
mit Unterstützung des Schweizerischen Virtuellen Campus.



Kapitel

Contact

EMBRYOGENESE

HOME

AUSTAUSCHZONE

SUCHEN

HILFE

UP ▲

4.0 Lernziele, vorausgesetzter Stoff,
Einführung, Problemkreise

- [Lernziele](#)
- [Vorausgesetzter Stoff](#)
- [Einführung](#)
- [Problemkreise](#)

4.1 Die Ovulation

- [Der weibliche Genitaltrakt](#)
- [Das Ovar und der dominante Follikel](#)
- [Heranreifen der Eizelle im dominanten Follikel kurz vor der Ovulation](#)
 - [Rückblick: Die primäre Oozyte](#)
 - [Beenden der ersten Reifeteilung](#)
 - [Die sekundäre Oozyte](#)
 - [Die Aufgabe des Progesterons in der Follikelflüssigkeit](#)
 - [Der sprungbereite Follikel](#)
- [Die Ovulation auch Eisprung genannt](#)
- [Das Auffangen der Eizelle durch die Tube](#)
- [Die Eizelle in der Kumuluszellwolke nach der Ovulation](#)

4.2 Die Bereitstellung der Spermien

- [Reifungsschritte der Spermien](#)
- [Vorgänge im männlichen Genitaltrakt](#)
 - [Vorgänge im Hoden \(Testis\)](#)
 - [Vorgänge im Nebenhoden \(Epididymis\)](#)
- [Die Ejakulation und das Ejakulat](#)
 - [An der Ejakulation beteiligte Drüsen](#)
 - [Das Seminalplasma](#)
 - [Das Spermatozoon](#)

4.3 Der Weg der Spermien bis zur Oozyte -
Die Kapazitation

- [Überblick](#)
- [Die Passage der Cervix](#)
- [Die Kapazitation der Spermien](#)

4.4 Die Spermien treffen auf die Oozyte - Die Akrosomalreaktion

- Die Penetration der Kumuluszellen
- Der Kontakt mit der Zona pellucida
 - Die Akrosomalreaktion
 - Die Penetration der Zona pellucida

4.5 Das Eindringen des Spermatozoons in die Oozyte

- Der Andockmechanismus des Spermatozoons an die Oozyte (das Schlüssel-Schloss Prinzip)
- Der Polyspermieblock
- Die Aufnahme des Spermatozoons in die Oozyte (Imprägnation)
- Das Beenden der zweiten Reifeteilung der Oozyte

4.6 Die Fertilisation wird abgeschlossen. Die Ausbildung der Zygote

- Einführung in die Bildung und Entwicklung der Vorkerne
 - Bildung des väterlichen Vorkerns
 - Bildung des mütterlichen Vorkerns
 - Synthesephase der DNS in den Vorkernen
- Annäherung der Vorkerne
- Die Ausbildung der Zygote

4.7 Quiz

- Testen Sie Ihr Wissen

4.8 Kurz gefasst

- Zusammenfassung

4.9 Referenzen

- Referenzen

Modul
Befruchtung
44.0 Lernziele, vorausgesetzter Stoff,
Einführung, Problemkreise

- Lernziele
- Vorausgesetzter Stoff
- Einführung
- Problemkreise

Lernziele

In diesem Modul werden folgende Kenntnisse vermittelt:

- Erläutern der Vorgänge bei der Ovulation
- Kennen der nötigen Schritte, die zur Bereitstellung des Spermatozoons führen
- Beschreiben wie die Kapazitation der Spermien abläuft
- Beschreiben wie das Spermatozoon in die Oozyte eindringt
- Kennen der Vorgänge um die Ausbildung der Zygote

Vorausgesetzter Stoff

- Bau des weiblichen Genitaltrakts
- Entwicklung der Oozyte im Ovar
- Bau des männlichen Genitaltrakts
- Spermatogenese

Einführung

Für eine erfolgreiche Befruchtung muss **das reife Spermatozoon** (Spermium) **in die reife Oozyte** (Eizelle) **eindringen**. Gleichzeitig ist dies auch die Begegnung einer der kleinsten mit einer der grössten menschlichen Zellen, misst doch der Kopf des Spermiums gerade $4\mu\text{m}$, wogegen die Eizelle einen Durchmesser von $120\mu\text{m}$ ($0,12\text{mm}$!) aufweist.

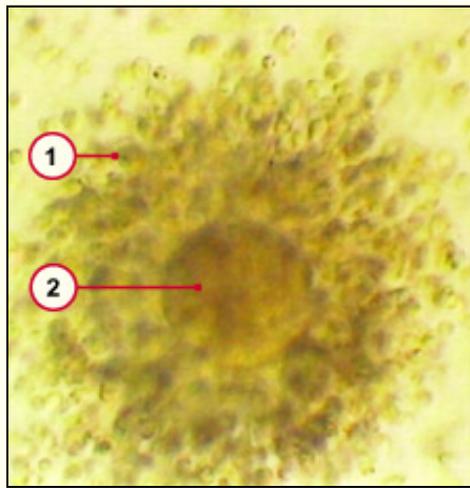
Abb. 1 - Oozyte mit Corona radiata

Abb. 2 - Spermatozoen

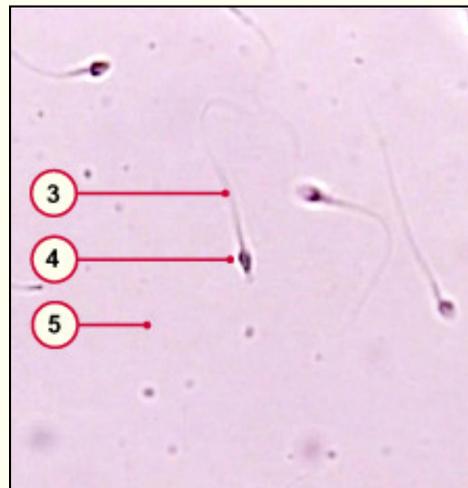
Legende

Quiz

Quiz 08



1 Kumuluszelle
2 Oozyte



3 Spermatozoonschwanz
4 Spermatozoonkopf
5 Seminalplasma

Abb. 1
Oozyte nach der Ovulation umgeben von einer Zellwolke aus Kumuluszellen, die eine Hülle, die Corona radiata, um die Oozyte bilden.

© Dr. A. Senn et al, CHUV Lausanne

Abb. 2
Spermatozoen in einem nativen Ejakulat. Die Spermatozoen dieses Ejakulats müssen noch über mehrere Stufen reifen, bis sie die Fähigkeit haben, die Oozyte befruchten zu können.

Video

[Ejakulat \(200K\)](#)

Mehr dazu

[Dies sagt der Gesetzgeber heute in der Schweiz zu diesem Themenkomplex.](#)

Von einer **vollendeten** Befruchtung spricht man, wenn sich die **Erbsubstanz** des männlichen Spermatozoons mit dem der weiblichen Oozyte zu einem neuen einzigartigen Individuum **vereinigt hat**.

Legende

Abb. 3
Die Vereinigung der beiden Vorkerne steht unmittelbar bevor. Seit dem Eindringen des Spermatozoons in die Oozyte sind mehr als

18 - 20 Std.

vergangen. Die Kumuluszellen wurden für eine bessere Sicht auf die Eizelle weggeschält.

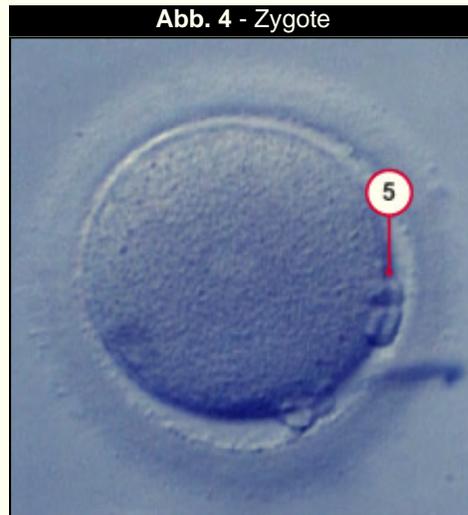
© Dr. A. Senn et al, CHUV Lausanne

Abb. 4
Nach der Vereinigung der Vorkerne erkennt man den Spindelapparat mit den Chromosomen in der Anaphase Die Zygote, die erste Zelle des Embryos, teilt sich sofort in zwei Zellen.

© Dr. A. Senn et al, CHUV Lausanne



1 männlicher Vorkern
2 weiblicher Vorkern in der Nähe der Polkörper
3 ein Polkörper
4 Zona pellucida



5 mehrere Polkörper

Problemkreise

Schlüsselbegriffe

Begriffe, die im Modul Befruchtung von Bedeutung sind.

- Beim Verlassen des Hodens ist das Spermatozoon noch nicht befruchtungsfähig. Welche Veränderungen müssen am Spermatozoon ablaufen, damit es sich mit der Oozyte vereinigen kann?
- Wie gelangt die Oozyte aus dem Ovar in die Tube?
- Wie vermag das Spermatozoon in die Oozyte einzudringen?
- Wie wird eigentlich sichergestellt, dass nicht ein artfremdes Spermatozoon sein Erbmateriale deponiert?
- Zum Zeitpunkt einer vollendeten Fertilisation hat sich das Erbgut beider Eltern vereinigt. Wie läuft diese Vereinigung des Erbguts ab?

[Liste der Kapitel](#) | **[Nächstes Kapitel](#)**

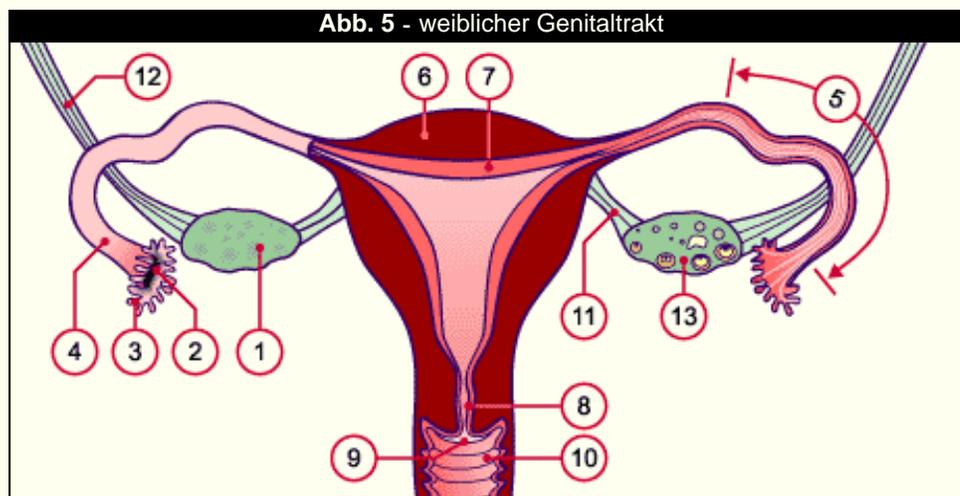


4.1 Die Ovulation

- **Der weibliche Genitaltrakt**
- **Das Ovar und der dominante Follikel**
- Heranreifen der Eizelle im dominanten Follikel kurz vor der Ovulation
 - Rückblick: Die primäre Oozyte
 - Beenden der ersten Reifeteilung
 - Die sekundäre Oozyte
 - Die Aufgabe des Progesterons in der Follikelflüssigkeit
 - Der sprungbereite Follikel
- Die Ovulation auch Eisprung genannt
- Das Auffangen der Eizelle durch die Tube
- Die Eizelle in der Kumuluszellwolke nach der Ovulation

Der weibliche Genitaltrakt

Die Vorgänge um die Befruchtung spielen sich im weiblichen Genitaltrakt ab.



- 1 Ovar
- 2 Tubentrichter
- 3 Fimbrien
- 4 Tube
- 5 ampullärer Teil der Tube
- 6 Uterusmuskulatur
- 7 Uterusschleimhaut
- 8 Cervix
- 9 Portio
- 10 Vagina
- 11 Lig. ovarii proprium
- 12 Lig. suspensorium ovarii
- 13 Ovar aufgeschnitten (Follikel in verschiedenen Stadien)

Legende

Abb. 5
Schematische Darstellung der weiblichen Geschlechtsorgane, Ansicht von frontal. Vagina, Uterus, rechte Tube und rechtes Ovar sind aufgeschnitten.

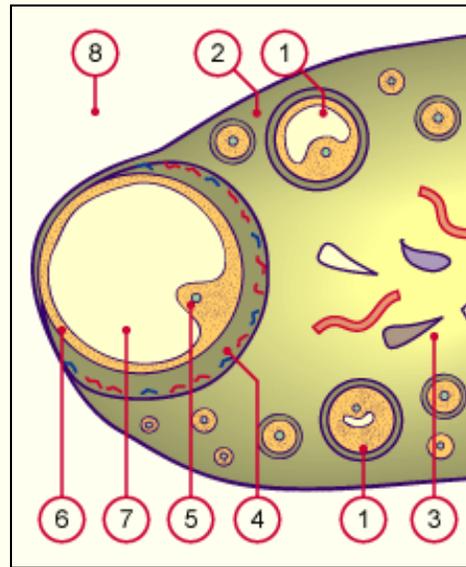
Das Ovar und der dominante Follikel

Etwa eine Woche vor der Zyklusmitte entwickelt sich in einem der beiden

Abb. 6 - Graafscher Follikel

Legende

Ovarien der **dominante Follikel**. Dieser wächst schneller als die übrigen Tertiärfollikel und bereitet sich auf den Ovulation vor. Er erreicht einen Durchmesser von bis zu 25mm und wird auch als **Graafscher Follikel** bezeichnet.



- 1 Tertiärfollikel
- 2 Rinde des Ovars (Cortex)
- 3 Mark des Ovars
- 4 Theka mit Kapillarnetz des Graafschen Follikels
- 5 Oozyte im Cumulus Oophorus
- 6 Stratum granulosum (Granulosa)
- 7 Antrum folliculi mit Follikelflüssigkeit
- 8 Peritonealhöhle

Abb. 6
Schematische Zeichnung eines Graafschen Follikels im ovarialen Umfeld

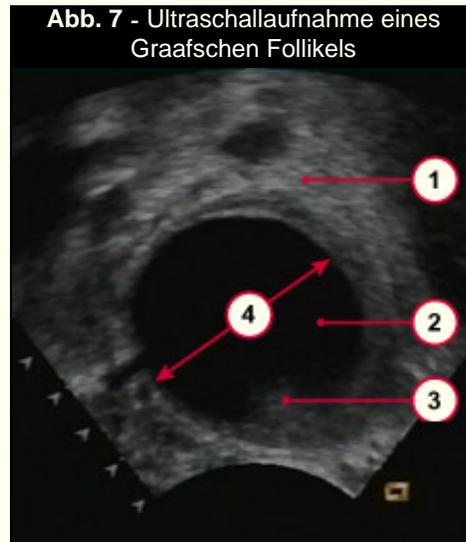
Quiz

[Quiz 03](#)

Quiz

[Quiz 11](#)

Die Ultraschall-Aufnahme in Abb.7 zeigt die Follikelflüssigkeit als schwarze Fläche. Die Aufnahme wurde kurz vor der Ovulation gemacht. Da sich zu diesem Zeitpunkt der Cumulus oophorus von der Granulosa gelöst hat, "schwimmt" die Eizelle umgeben von ihren Kumuluszellen (sog Corona radiata) in der Follikelflüssigkeit. Dies ist allerdings in der Abbildung nicht erkennbar. Der Graafsche Follikel wölbt sich an der Oberfläche des Ovars vor. Er ist sprungbereit, d.h. seine Wand wird bald rupturieren und der wässrige Inhalt wird sich mitsamt der Eizelle in den Tubenrichter ergiessen. Der Durchmesser des **sprungbereiter Follikels** misst hier 22mm (entspricht 5ml Follikelflüssigkeit).



- 1 ovarielles Gewebe
- 2 sprungbereiter Follikel
- 3 Reste des Cumulus Oophorus.
- 4 Mass von 22mm

Abb. 7 - Ultraschallaufnahme eines Graafschen Follikels

Legende

Abb. 7
Standbild aus einer Videosequenz, welche einen sprungbereiten Follikel zeigt.

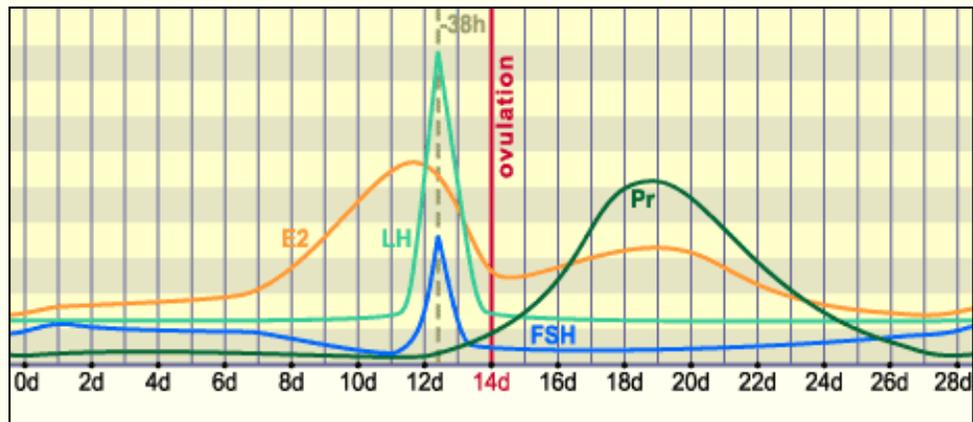
© Dr. L. Rayo,
Inselspital Bern

[Video \(150KB\)](#)

Für die Follikelreifung ist eine ausgeklügelte hormonelle Steuerung verantwortlich. Die Selektionskriterien für die Auswahl des dominanten Follikels sind allerdings nicht bekannt. Das folgende Schema gibt den Konzentrationsverlauf der beteiligten Hormone während eines Zyklus wieder.

Abb. 8 - Hormonverlauf eines Zyklus

Legende



LH Luteinisierendes Hormon
 E2 Östradiol
 Pr Progesteron
 FSH Follikel stimulierendes Hormon

Abb. 8
 Die Kurven zeigen die Konzentrationsverläufe im Blut der Hormone FSH, LH, Östradiol und Progesteron. Sie sind während der durchschnittlich 28 Tage eines Zyklus aufgetragen. Etwa 38h vor dem Eisprung findet ein LH-Gipfel statt.

Quiz

[Quiz 12](#)

Quiz

[Quiz 13](#)

Kommentar

Wie kommt es zum LH-Gipfel?

Wie sehen die hormonellen Verhältnisse aus, die zum LH-Peak führen. Wie beeinflussen sie den Follikel in seinem Reifeprozess.

Mehr dazu in einem [interaktiven Pop-up](#). (620KB!)

Etwa eineinhalb Tage vor der Zyklusmitte steigt die Konzentration des Luteinisierenden Hormons (LH) stark an. Der darauffolgende LH-Gipfel ist für eine ganze Reihe von Vorgängen verantwortlich. Diese haben zum Ziel, die **Ovulation** auszulösen, ein optimales **Milieu** für eine erfolgreiche Befruchtung zu schaffen und die **zeitliche Abfolge** der Vorgänge aufeinander abzustimmen.

Der LH-Gipfel löst folgende Vorgänge in der Eizelle aus:

- Beendigung der ersten Reifeteilung und in den Beginn der zweiten RT

Der LH-Gipfel löst folgende Vorgänge im Follikel aus:

- Auflockerung der Granulosazellen im Bereich des Cumulus oophorus
- Erhöhung der Progesteronkonzentration in der Follikelflüssigkeit
- Auflockerung des perifollikulären Gewebes und zunehmende Vaskularisation

Als Folge dieser Vorgänge ergibt sich

- Die korrekte Platzierung des Tubentrichters an der Ovaroberfläche
- Die Ruptur der Wand des Follikels und Übertritt der Follikelflüssigkeit mit der Eizelle in den Tubentrichter
- Die Hemmung der Reifung weiterer Follikel

Quiz

[Quiz 02](#)

Diese Punkte werden auf den nächsten Seiten näher erläutert.

[Liste der Kapitel](#) | [Nächste Seite](#)



4.1 Die Ovulation

- Der weibliche Genitaltrakt
- Das Ovar und der dominante Follikel
- **Heranreifen der Eizelle im dominanten Follikel kurz vor der Ovulation**
 - **Rückblick: Die primäre Oozyte**
 - **Beenden der ersten Reifeteilung**
 - **Die sekundäre Oozyte**
 - **Die Aufgabe des Progesterons in der Follikelflüssigkeit**
 - **Der sprungbereite Follikel**
- Die Ovulation auch Eisprung genannt
- Das Auffangen der Eizelle durch die Tube
- Die Eizelle in der Kumuluszellwolke nach der Ovulation

Heranreifen der Eizelle im dominanten Follikel kurz vor der Ovulation

Rückblick: Die primäre Oozyte

In der **ersten Zykluswoche** ist das **Heranreifen der Eizelle** im jeweiligen Follikel **abhängig** vom Fortschritt des Reifeprozesses der **umgebenden Follikelzellen**. Der fitteste Follikel mit seiner Eizelle wird in der zweiten Zykluswoche zum führenden Follikel und später zum Graafschen Follikel (Abb. 9).

Bis knapp zwei Tage vor dem Eisprung beschränkte sich die Reifung der Eizelle auf die Aufnahme von Stoffen (**Anlegen des Dotters**), die ihr von den umgebenden Granulosazellen gereicht wurden. Dieser Stoffaustausch wird durch **Zytoplasmfortsätze** der Granulosazellen, die durch die Zona pellucida hindurch in der Eizelloberfläche verankert sind, vermittelt (Abb. 10). Auch der **Oozytenkern** [2n,4C] ist in den letzten Tagen vor dem LH-Gipfel «gereift». Er war bis dahin in der extrem verlängerten Prophase (= **Diktyotän**) der ersten Reifeteilung arretiert. (Die Arretierung bestand seit der Fetalperiode.) Durch die «Reifung» tritt der Kern in die **Diakinese** (der Prophase) über und bereitet sich auf die Vollendung der ersten Reifeteilung vor, die durch den LH-Gipfel ausgelöst wird.

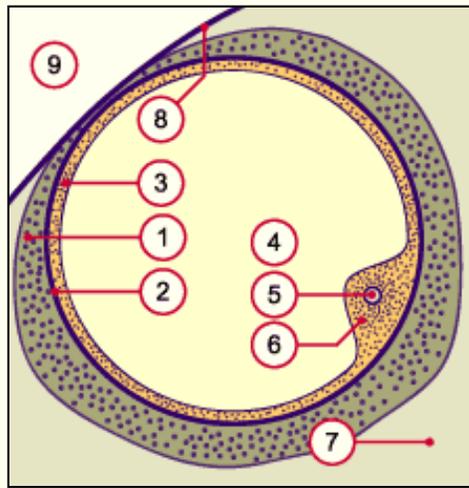
Kommentar

Wie beeinflussen die hormonellen Faktoren den Follikel in seinem Reifeprozess? Siehe dazu die Bildserie [«Wie kommt es zum LH-Gipfel?»](#) (620KB) auf der vorherigen Seite.

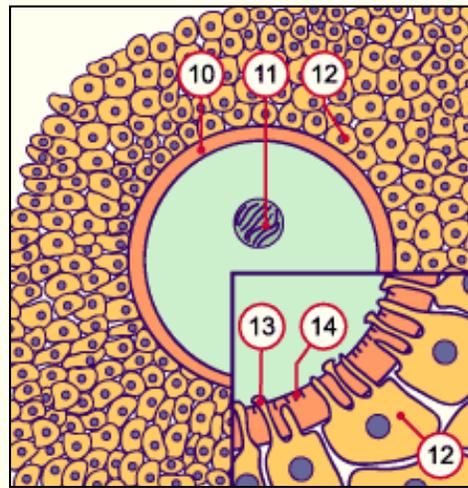
Abb. 9 - Graafscher Follikel

Abb. 10 - Primäre Oozyte

Legende



- 1 Theca interna und externa
- 2 Basalmembran zwischen Theca und Granulosa
- 3 Granulosa
- 4 Graaf'scher Follikel mit Follikelflüssigkeit
- 5 primäre Oozyte
- 6 Cumulus oophorus
- 7 Ovarielles Gewebe
- 8 Tunica albuginea des Ovars
- 9 Peritonealhöhle



- 10 Zona pellucida
- 11 Kern in der Diakinese
- 12 Granulosazelle
- 13 Zellausläufer der Granulosazelle
- 14 Mikrovilli der Eizelloberfläche

Abb. 9
Darstellung eines Graaf'schen Follikels unmittelbar vor dem LH-Gipfel: Die Granulosazellen umschliessen in kompakter Form die primäre Oozyte (5) im Cumulus oophorus (6). Die tatsächliche Grösse der Eizelle entspricht der Grösse eines i-Punktes in diesem Text.

Abb. 10
Schnitt durch den Cumulus oophorus mit Sicht auf die primäre Oozyte. Die Zellausläufer (13) der Granulosazellen (12) versorgen die primäre Oozyte durch die Zona pellucida (10) hindurch. Der Kern ist in die Diakinese eingetreten.

Mit dem LH-Peak werden nun in und um die Eizelle herum folgende Reifungsschritte bis zur Ovulation ausgelöst:

In der Eizelle:

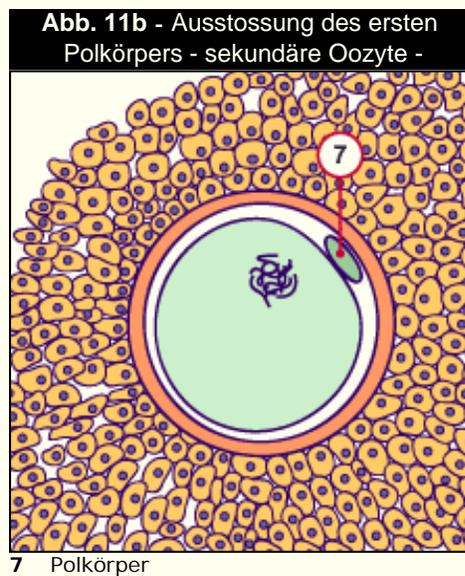
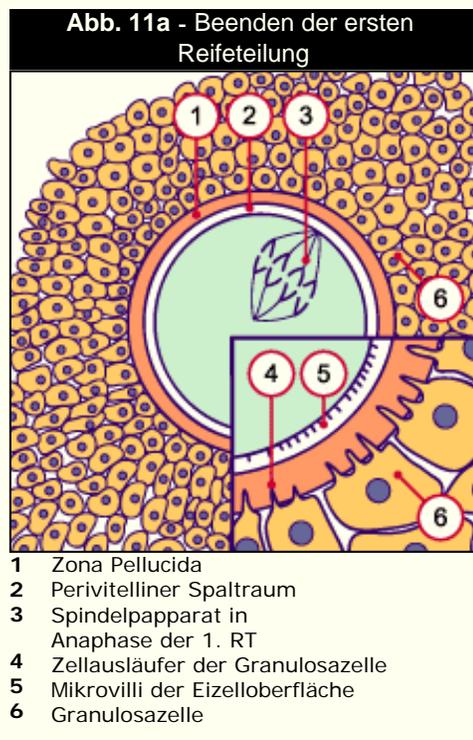
- Die Beendigung der **ersten RT** mit Ausstossung des ersten Polkörpers (Abb. 11b)
- Inangriffnahme der **zweiten RT** mit Arretierung in der Metaphase (Abb. 14)
- Reifung des **Zytoplasmas** der Eizelle, durch Bereitstellung von Molekülen und Strukturen, welche zum Zeitpunkt der Befruchtung benötigt werden.

Im Follikel:

- Die unmittelbar aussen auf der Zona pellucida sitzenden Granulosazellen ziehen ihre für die Übertragung von Stoffen ausgebildeten **Zellausläufer** von der Eizelloberfläche in die Zona pellucida zurück (Abb. 11a).
- Zwischen der Eizelle und der Zona pellucida bildet sich der **perivitelline Spalt**. Dieser ist nötig, damit sich erstens die Eizelle teilen kann, und zweitens das mit der Teilung entstandene erste Polkörper in diesen Spalt ausgestossen werden kann.
- **Auflockerung der Granulosazellen** im Bereich des Cumulus oophorus und Vermehrung der Granulosazellen.
- Erhöhung der **Progesteronkonzentration** in der Follikelflüssigkeit durch Produktionssteigerung in den Granulosazellen.

Beenden der ersten Reifeteilung

Der **Spindelapparat** zur Aufteilung der Chromosomen hat sich ausgebildet und radiär zur Zelloberfläche hin ausgerichtet. Das erste Polkörper wird an der Stelle entstehen, wo der Spindelapparat an der Zelloberfläche verankert ist. Weiter haben sich die Zellausläufer der Granulosazellen von der Oozytenoberfläche in die Zona pellucida zurückgezogen. Dadurch hat sich letztere von der Eizelle gelöst, was zur **Bildung eines perivitellinen Spaltraumes** führt. In diesen Spaltraum erfolgt die Ausstossung des ersten Polkörpers als Zeichen für das Ende der ersten Reifeteilung.



Legende

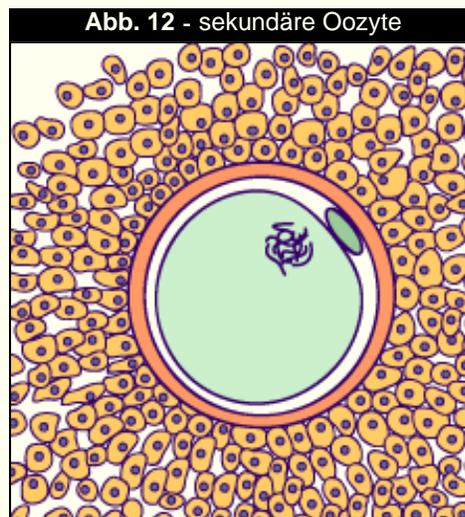
Abb. 11a
Momentaufnahme 15h nach dem LH-Gipfel. Der Spindelapparat zur Aufteilung der Chromosomen hat sich ausgebildet und radiär zur Zelloberfläche hin ausgerichtet. Die Granulosa-Zellschichten sind teilweise aufgelockert. In der Vergrößerung ist das Zurückziehen der Fortsätze der Granulosazellen und das Auftreten des perivitellinen Spaltraumes illustriert.

Abb. 11b
Frisch entstandene sekundäre Oozyte mit ihrem ersten Polkörper (18h).

Mit dem **Abschluss der ersten Reifeteilung** wechselt auch die Bezeichnung der Eizelle von **primärer Oozyte** zu **sekundärer Oozyte**.

Die sekundäre Oozyte

Durch die Wirkung des LHs auf die **Granulosazellen**, haben diese angefangen ihren **Zellverband aufzulockern** und sich zu vermehren. Sie produzieren jetzt neu auch **Progesteron**, welches sie in die Follikelflüssigkeit abgeben. Durch die Trennung der homologen Chromosomen in der ersten Reifeteilung findet sich jetzt in der sekundären Oozyte ein **haploider** (reduplizierter) Chromosomensatz (1n, 2C). Das erste Polkörper enthält ebenfalls 1n, 2C. Polkörper und Eizelle bleiben nach der Meioseteilung durch eine feine Zytoplasmaverbindung miteinander verbunden, ähnlich wie dies bei der Bildung der männlichen Gameten der Fall ist.



Legende

Abb. 12
Momentaufnahme 21h nach dem LH-Peak: Die Granulosazellen sind stark aufgelockert.

Quiz

Quiz 01

Die Aufgabe des Progesterons in der Follikelflüssigkeit

Das Progesteron in der Follikelflüssigkeit hat nach heutigem Wissen folgende **zwei** Hauptaufgaben:

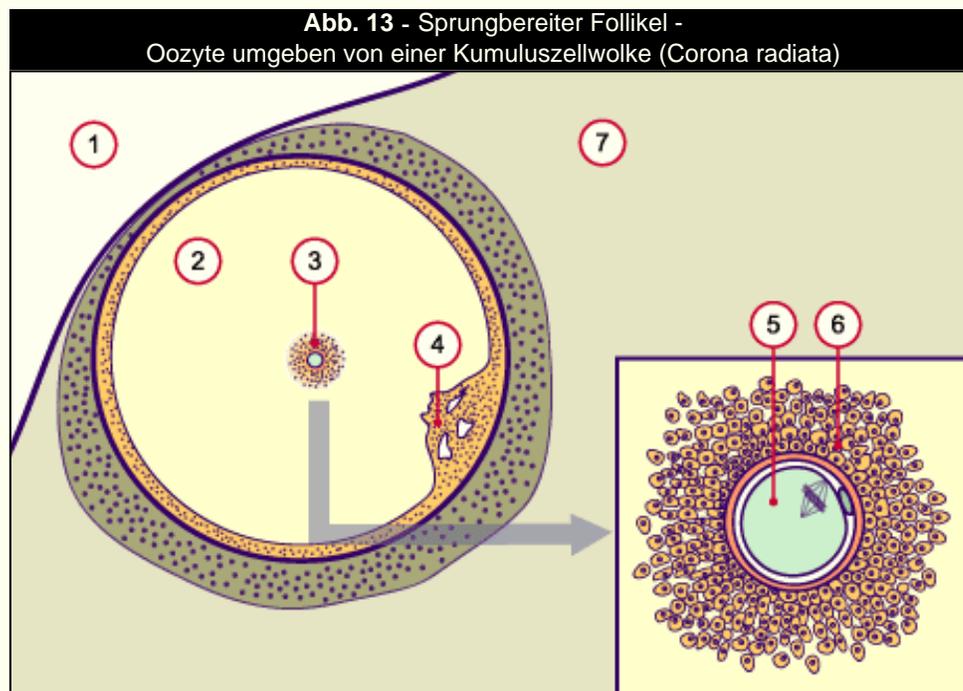
- Es stimuliert die weitere **Reifung der Eizelle**
- Es gelangt bei der Ovulation in die Tube und führt zur Bildung eines Konzentrationsgradienten zur **Anlockung der Spermien**.

Der sprungbereite Follikel

Die Granulosazellen sezernieren neben den Hormonen auch eine extrazelluläre Matrix, hauptsächlich Hyaluronsäure, in die Follikelflüssigkeit. Vor der Ovulation nimmt das Volumen der Follikelflüssigkeit stark zu. Der Kumuluszellverband lockert sich weiter auf. Dadurch löst er sich zusammen mit der eingeschlossenen Oozyte von der Unterlage und schwimmt nun in der Follikelflüssigkeit. Den Kranz von Granulosazellen des Kumuluszellverbandes, welche die Oozyte einschliessen, nennt man Corona radiata.

Quiz

[Quiz 10](#)



- 1 Peritonealhöhle
- 2 Sprungbereiter Follikel mit Follikelflüssigkeit (stark Hyaluronsäure und Progesteron haltig)
- 3 Kumuluszellwolke mit Oozyte
- 4 Aufgelockerter Kumulus
- 5 Sekundäre Oozyte
- 6 Corona radiata
- 7 Ovarielles Gewebe

Legende

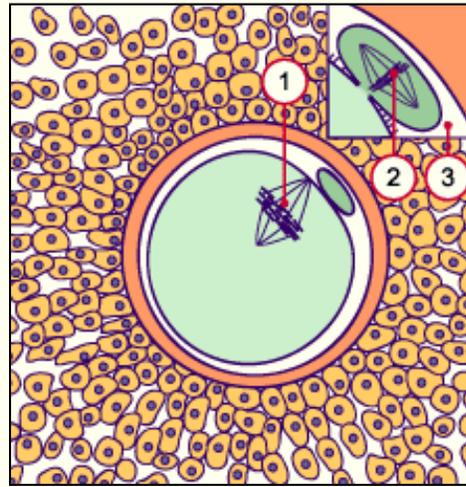
Abb. 13
Momentaufnahme 35h nach dem LH-Gipfel. Eizelle schwimmt in einer Kumuluszellwolke in der Follikelflüssigkeit. Der Follikel buchtet die Oberfläche des Ovars aus. Die tatsächliche Größe der Eizelle im Follikel entspricht der Größe eines i-Punktes in diesem Text.

Die Eizelle hat nun alle Reifungsschritte beendet, die vom LH-Peak ausgelöst wurden. Im Zytoplasma sind die molekularen und strukturellen Vorbereitungen für die Zeit nach dem Eindringen des Spermiums getroffen

Abb. 14 - Sek. Oozyte in Metaphase 2

Legende

worden. Erneut hat sich ein Spindelapparat (2.RT) mit den Chromosomen in der Äquatorialebene (**Metaphasenplatte**) ausgebildet. Die Spindel ist abermals radiär an der Zellmembran in der Nähe des Polkörpers verankert. Auch am Polkörper laufen dieselben Vorgänge ab. **Die zweite Reifeteilung wird in dieser Position arretiert.** Die allerletzten Schritte der Reifung, nämlich die Entarretierung der zweiten Reifeteilung, vollzieht die sekundäre Oozyte erst, wenn das Spermium eingedrungen ist.



- 1 Spindelapparat mit Chromosomen, die die Metaphasenplatte bilden
- 2 Arretierter Spindelapparat im Polkörper
- 3 Perivitelliner Spaltraum

Abb. 14
Sekundäre Oozyte: Eizelle und Polkörper in der Metaphase der 2.RT arretiert. (in der Vergrößerung ist die bestehen bleibende Zytoplasma-Verbindung erkennbar). Die Polarkörperchen degenerieren mit der Zeit.

Der Follikel und die Eizelle sind jetzt für die Ovulation bereit, die etwa 38h nach dem LH-Gipfel stattfindet.

[Vorherige Seite](#) | [Nächste Seite](#)

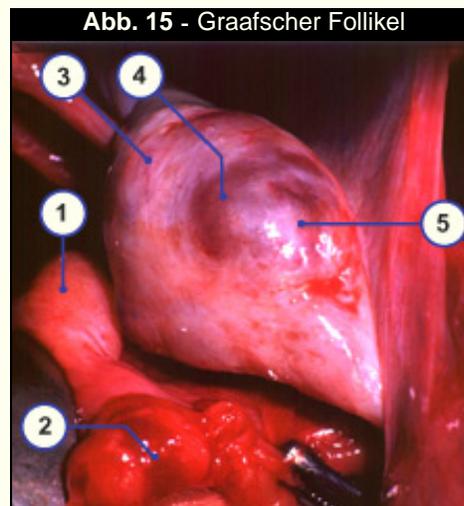


4.1 Die Ovulation

- Der weibliche Genitaltrakt
- Das Ovar und der dominante Follikel
- Heranreifen der Eizelle im dominanten Follikel kurz vor der Ovulation
 - Rückblick: Die primäre Oozyte
 - Beenden der ersten Reifeteilung
 - Die sekundäre Oozyte
 - Die Aufgabe des Progesterons in der Follikelflüssigkeit
 - Der sprungbereite Follikel
- Die Ovulation auch Eisprung genannt
- Das Auffangen der Eizelle durch die Tube
- Die Eizelle in der Kumuluszellwolke nach der Ovulation

Die Ovulation auch Eisprung genannt

Die Ovulation, d.h. das Heraustreten der sekundären Oozyte aus dem Follikel, hängt vom Zerfall der Wände des Follikels und des Ovars ab. Wenige Stunden nach dem FSH/LH-Gipfel beobachtet man eine verstärkte Vaskularisierung und ödematöse Veränderung der Umgebung des dominanten Follikels. Er wandert zur Oberfläche des Ovars wo er sich schliesslich vorwölbt (Abb. 15).



- 1 Tube
- 2 Fimbrien
- 3 Ovar
- 4 Follikel
- 5 Stigma

Legende

Abb. 15
Graafischer Follikel wölbt sich an der Oberfläche des Ovars hervor. Beginnende Ausbildung eines Stigmas (blutgefässfreier, weisslicher Bezirk).

Video

Laparoskopische Video-Aufnahme eines Ovars mit sprungbereitem Follikel (190kB)
© PD. Dr. med. Michel Müller, Frauenklinik Inselspital Bern

Die von den Granulosazellen abgegebene Hyaluronsäure hat die Eigenschaft Wasser zu binden: Je mehr Hyaluronsäure gebildet wird, desto mehr Wasser kann aufgenommen werden. Auf diese Weise kommt es zu einer **raschen Zunahme der Follikelflüssigkeitsmenge**, was die **Wand-Spannung** im Follikel dramatisch ansteigen lässt. Dies zusammen mit der Wirkung abbauender / lytischer Enzyme führt schliesslich zu einer Ruptur des Follikels an eng umschriebener Stelle. Auf der Ovarialoberfläche über dem sprungbereiten Follikel, kommt es kurz vor der Ruptur zur Ausbildung eines weissen Punktes (Kompression der Blutgefässe) des sogenannten **Stigmas**.

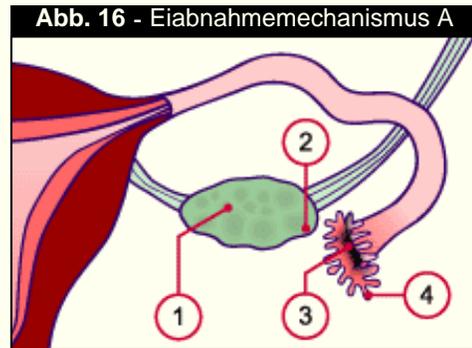
Das Auffangen der Eizelle durch die Tube

Quiz

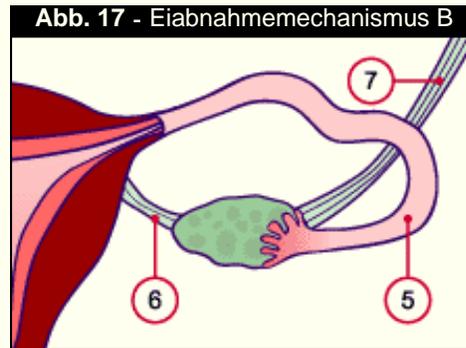
Quiz 14

Die Fimbrien des Tubentrichters haben sich zwischenzeitlich rund um das Stigma des Ovars gelegt und dichten diese Stelle ab.

Durch Rotation um die Achse des Lig. suspensorium ovarii und des Lig. ovarii proprium kann das Ovar den sprungbereiten Follikel der Tube entgegen drehen.



- 1 Ovar
- 2 Sprungbereiter Follikel
- 3 Tubentrichter
- 4 Fimbrien



- 5 Tube
- 6 Ligamentum ovarii proprium
- 7 Ligamentum suspensorium ovarii

Legende

Abb. 16
Mechanismus der Eiabnahme:
Ausgangslage

Abb. 17
Mechanismus der Eiabnahme: Fimbrien angelegt

Beim Rupturieren der Oberfläche gelangt die Masse von mit Hyaluronsäure getränkten Kumuluszellen, die in ihrem Innersten die Eizelle beherbergen, zusammen mit dem serös-gelben Follikelinhalt die Tube.

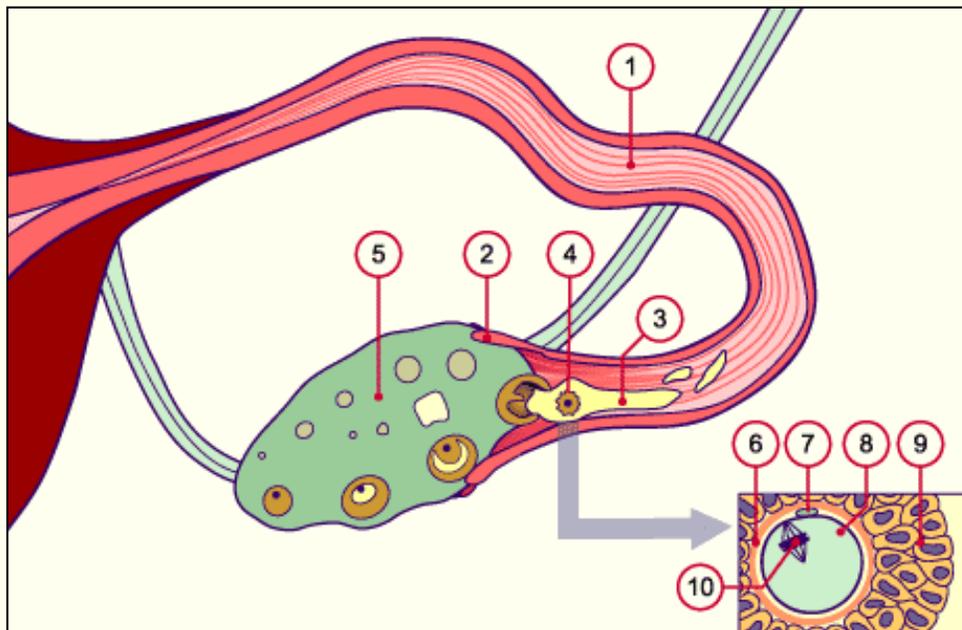
Video

[Laparoskopische-Aufnahme](#) des Uterus, der Tuben und der Ovarien (Video: 620KB!)
© PD Dr. med. Michel Müller, Frauenklinik Inselspital Bern

Abb. 18 - Eiabnahmemechanismus C

Legende

Abb. 18
Mechanismus der Eiabnahme: Fimbrien und Tube durchsichtig mit Eizelle und Follikelflüssigkeit in Tube



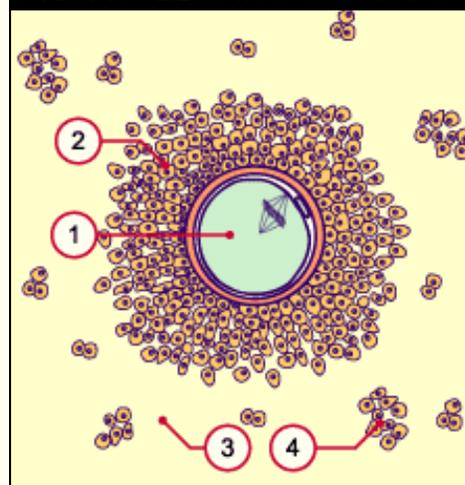
- 1 Aufgeschnittene Tube mit in Falten gelegter Tubenschleimhaut
- 2 Dicht anliegende Fimbrien
- 3 heraufgeflossene Follikelflüssigkeit
- 4 sekundäre Oocyte mit Corona radiata
- 5 Ovar mit atretischen Follikeln in verschiedenen Stadien
- 6 Zona Pellucida
- 7 erster Polkörper
- 8 sekundäre Oocyte
- 9 Zellen der Corona radiata
- 10 Arretierter Spindelapparat

Das Herausquellen des Follikelinhalts ist ein von Gerinnungsprozessen begleiteter **Vorgang**. Diese Ausschleusung der Eizelle aus dem Follikel macht es auch verständlich, dass der Fimbrientrichter der Tube ausreichend Zeit hat, sich über die Ovulationsstelle zu stülpen und den Oozyten-Kumulus-Komplex mit dem Follikelflüssigkeitsvolumen in die Ampulle der Tube aufzunehmen.

Die Eizelle in der Kumuluszellwolke nach der Ovulation

Die sekundäre Oocyte wird in der Tube von der Corona radiata und weiteren versprengten Anteilen von Kumuluszellen (sog. Kumuluszell-Wolke) umgeben. Die dazwischen liegende Flüssigkeit ist klebrig und fadenziehend (Effekt der Hyaluronsäure) und stark Progesteronhaltig (zur Anlockung der Spermien).

Abb. 19 - Eizelle nach der Ovulation



Quiz

Quiz 15

Legende

Abb. 19
Schematisch die Oocyte nach der Ovulation.

- 1 sekundäre Oozyte (in arretierter Metaphase der 2. RT)
 - 2 Corona radiata
 - 3 Follikelflüssigkeit
 - 4 vereinzelte Kumuluszell-Haufen
-

Video

In vivo sind die Kumuluszellwolke, die Eizelle mit der Corona radiata und der Effekt der Hyaluronsäure in diesem [Video](#) gezeigt (332kB).
Aufnahmen mit freundlicher Unterstützung von Dr. A. Senn, Lausanne und S. von Wyl, Bern

Kommentar

Die Eizelle "wartet" nun in der Tube auf eine Befruchtung durch die Spermien. Die Matrix aus Hyaluronsäure hält sie sozusagen in der Tube "gefangen". Nach etlichen Stunden verflüssigt sich die Matrix immer mehr und die Eizelle wird allmählich durch den Zilienschlag der Tubenepithelzellen uteruswärts transportiert. Da die Eizelle nach der Ovulation auch nur einige Stunden befruchtungsfähig ist, muss die Befruchtung fast zwangsläufig im ampullären Teil der Tube stattfinden.

[Anfang des Kapitels](#) | [Vorherige Seite](#) | **[Nächstes Kapitel](#)**

Modul
Befruchtung

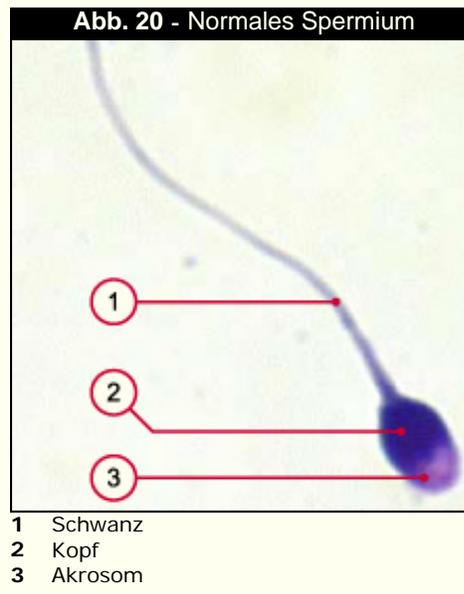
4.2 Die Bereitstellung der Spermien

- **Reifungsschritte der Spermien**
- Vorgänge im männlichen Genitaltrakt
 - Vorgänge im Hoden (Testis)
 - Vorgänge im Nebenhoden (Epididymis)
- Die Ejakulation und das Ejakulat
 - An der Ejakulation beteiligte Drüsen
 - Das Seminalplasma
 - Das Spermatozoon

Reifungsschritte der Spermien

Zwischen der Bereitstellung der Spermien und der Reifung der Oozyte bestehen einerseits Parallelen aber auch deutliche Unterschiede. Bis die Oozyte zur Aufnahme eines Spermatozoons bereit ist, bedarf es einer Abfolge mehrerer Reifungsschritte über einen definierten Zeitraum.

Auch das Spermatozoon muss mehrere **zeitlich und örtlich getrennte Reifungsschritte** durchlaufen, um in die Eizelle eindringen zu können. Während bei der Oozyte die Reifungsschritte das Einlagern von Dotter und den Fortgang der Reifeteilungen betreffen, sind es bei den Spermien funktionelle Reifungsschritte, die vor allem deren **motile Fähigkeiten** und deren **Penetrationsvermögen** durch die Eihüllen betreffen. Die Spermien werden **über mehrere Stufen aktiviert**.



Einen ersten Reifungsschritt erfahren die Spermien während ihrer "Lagerungszeit" im **Nebenhoden**. Durch die **Ejakulation** erfolgt der zweite Schritt, der zu einer plötzlichen **Aktivierung der Motilitätsfunktion** führt. Der dritte Schritt läuft während des **Aufenthalts** im weiblichen Genitaltrakt ab besonders während der **Azension** zum Ovar. Die Spermien erfahren dabei die sogenannte **Kapazitation**. Schliesslich erfolgt der letzte Aktivierungsschritt, die **Akrosomalreaktion**, in unmittelbarer **Nähe der Eizelle**.

Quiz

Quiz 19

Legende

Abb. 20
Normales Spermatozoon mit Kopf und Schwanz. Im Kopf ist eine Aufhellung sichtbar, das sogenannte Akrosom. Der etwas dickere Anfang des Schwanzes enthält die Mitochondrien.

Die Reifung und Aktivierung des Spermatozoons erfolgt durch die folgenden vier Schritte:

Lagerung im Nebenhoden	➔	Reifung
Ejakulation	➔	Aktivierung
Azension zum Ovar	➔	Kapazitation
In der Nähe der Oozyte	➔	Akrosomalreaktion

Die obige Abfolge von der Reifung im Nebenhoden bis zur Akrosomalreaktion bei der Eizelle ist in vivo für optimal befruchtungsfähige Spermien eine Voraussetzung. Nur ein akrosomalreagiertes Spermium ist in der Lage, sich an die Zona pellucida der Oozyte zu binden. ([weiterführender Kommentar dazu](#)).

[Liste der Kapitel](#) | [Nächste Seite](#)



4.2 Die Bereitstellung der Spermien

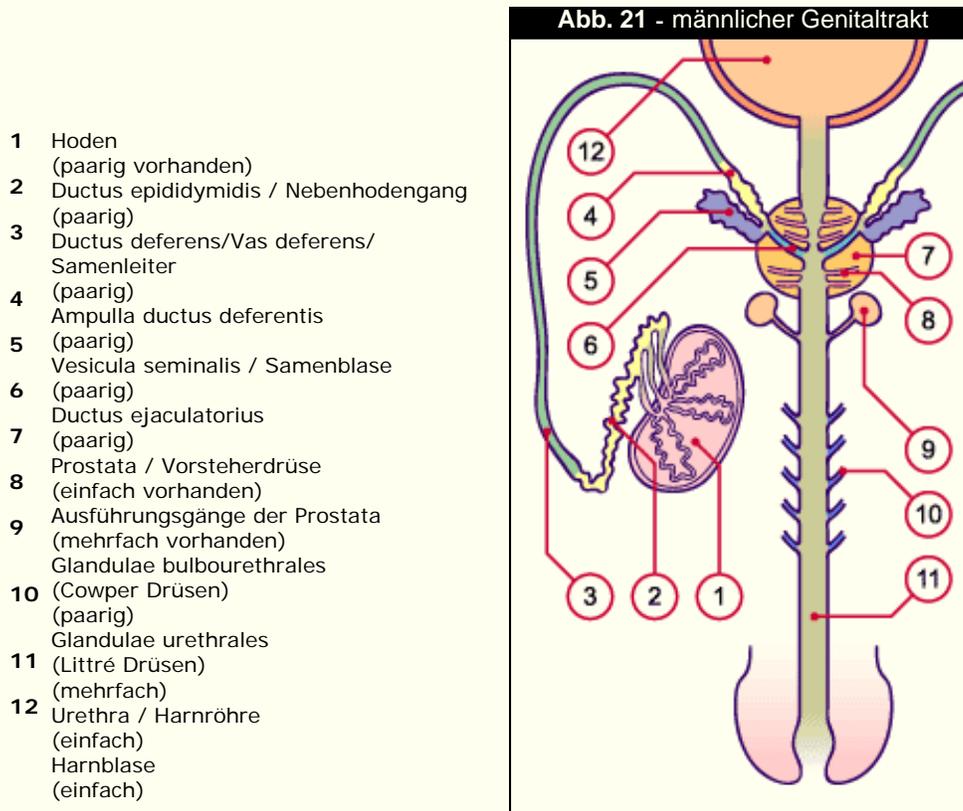
- Reifungsschritte der Spermien
- Vorgänge im männlichen Genitaltrakt
 - Vorgänge im Hoden (Testis)
 - Vorgänge im Nebenhoden (Epididymis)
- Die Ejakulation und das Ejakulat
 - An der Ejakulation beteiligte Drüsen
 - Das Seminalplasma
 - Das Spermatozoon

Vorgänge im männlichen Genitaltrakt

Die Bereitstellung der Spermien findet im männlichen Genitaltrakt statt. Abbildung 21 gibt einen Überblick über den Weg der Spermien bei der Ejakulation.

Quiz

Quiz 07



Legende

Abb. 21
Hoden (= Bildungsort der Spermien), Nebenhoden (= Lagerplatz der Spermien). Der Ejakulationsweg der Spermien wird durch beide Samenleiter (3), beide Ductus ejaculatorii (6) und die Urethra (11) gebildet. Als Ductus ejaculatorius wird die Passage durch die Prostata in die Urethra bezeichnet. Entlang des Ejakulationsweges fügen verschiedene Drüsen (4+5+7+9+10) ihre Sekrete dem Ejakulat bei.

Vorgänge im Hoden (Testis)

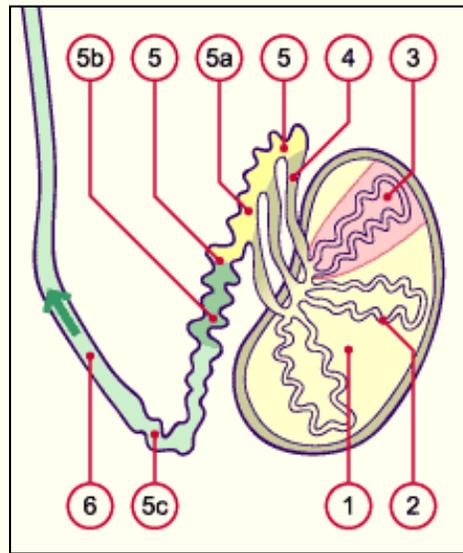
Der Hoden ist die Produktionsstätte der Spermien, welche in den Tubuli seminiferi contorti aus den

Abb. 22 - Hoden und Nebenhoden

Legende

Spermatogonien durch mitotische und meiotische Teilung entstehen (siehe Spermatogenese).

Die ca. 600 - 800 Tubuli seminiferi contorti bilden den Hauptbestandteil des Hodenparenchyms, das in über 300 kleine unvollständig septierte Läppchen gegliedert ist. Bei einer Länge von ca. 50 - 60 cm eines einzelnen Tubulus seminiferus contortus, lässt sich berechnen, dass im Hoden eine Gesamtlänge von ca. 300m Hodenkanälchen untergebracht ist. Zusätzlich finden sich im Zwischengewebe auch die hormonproduzierenden (Testosteron) Leydigschen Zwischenzellen.



- 1 Hoden
- 2 Tubuli seminiferi contorti
- 3 Läppchen
- 4 Ductuli efferentes testis
- 5 Ductus epididymidis / Nebenhodengang
- 5a Caput epididymidis
- 5b Corpus epididymidis
- 5c Cauda epididymidis
- 6 Ductus deferens / Samenleiter

Abb. 22

Im Hoden sind die stark geschlängelten Tubuli seminiferi contorti in Läppchen angeordnet. Der **Nebenhoden** wird gebildet aus **einem einzigen** 5-6m langen, stark geschlängelten **Gang**, genannt Ductus epididymidis. Der Nebenhoden wird unterteilt in einen **Kopf** (Caput) - in diesem Bereich münden die 10-20 Ductuli efferentes testis vom Hoden her kommend in den Ductus epididymidis - in einen **Körper** (Corpus) und in einen **Schwanz** (Cauda).

Vorgänge im Nebenhoden (Epididymis)

Die Spermien werden - nach ihrer Produktion in den Tubuli seminiferi contorti des Hodens - im Ductus epididymidis gesammelt und gelagert.

Im kaudalen Teil des Nebenhodenganges, der nahtlos in den Ductus deferens übergeht, befindet sich der Vorrat ejakulationsbereiter Spermien. Die Spermien brauchen **durchschnittlich 14 Tage**, um vom einen zum anderen Ende des 5-6m langen Nebenhodenganges zu gelangen. Während dieser zwei Wochen durchlaufen die Spermien verschiedene **morphologische und funktionelle Reifungsschritte**:

Reifungsschritte der Spermien im Nebenhoden:

- Durch die Einlagerung von neuen Proteinen im Kern wird die **DNS weiter kondensiert**. Der Spermienkopf wird dadurch kleiner und kompakter. Dies ist ein wichtiger Schritt für die spätere korrekte Dekondensation der väterlichen DNS in der mütterlichen Eizelle.
- Das schon spärliche **Zytoplasma wird weiter reduziert**, dadurch werden die Spermien schlanker
- Die **Fähigkeit zur Motilität** wird erlangt, aber gleichzeitig durch das Milieu auch wieder gehemmt.
- Die Struktur der **Plasmamembran wird verändert**. Dies hat Auswirkungen auf die Motilität, die Fähigkeit zur Kapazitation und die Fähigkeit zur Akrosomalreaktion.

Daraus ergibt sich folgender Merksatz:

Nur Spermien, die den Nebenhoden passiert haben, sind soweit gereift, dass sie die Fähigkeit zur Motilität haben.



4.2 Die Bereitstellung der Spermien

- Reifungsschritte der Spermien
- Vorgänge im männlichen Genitaltrakt
 - Vorgänge im Hoden (Testis)
 - Vorgänge im Nebenhoden (Epididymis)
- **Die Ejakulation und das Ejakulat**
 - **An der Ejakulation beteiligte Drüsen**
 - Das Seminalplasma
 - Das Spermatozoon

Die Ejakulation und das Ejakulat

Die Ejakulation wird durch wellenförmig ablaufende, **rhythmische Kontraktionen der Ductus deferentes** und durch unterstützende Kontraktionen der

Beckenbodenmuskulatur herbeigeführt.

Sinn und Zweck der Ejakulation beim Geschlechtsakt ist es, die in der Cauda des Nebenhodens gespeicherten, zum grossen Teil unbeweglichen Spermien in das hintere Scheidengewölbe zu deponieren, d.h. nahe der Portio, dem Eingang zum Uterus.

Während die Spermien durch den Ductus deferens und die Urethra getrieben werden, wird ein **grosses Volumen an Sekreten verschiedener Drüsen zugemischt**. Diesen flüssigen Anteil des Ejakulats stellt das **Seminalplasma** dar.

Das Ejakulat besteht demnach aus bis zu 10% Spermien und aus 90% Seminalplasma bei einem totalen Volumen von 2-6ml.

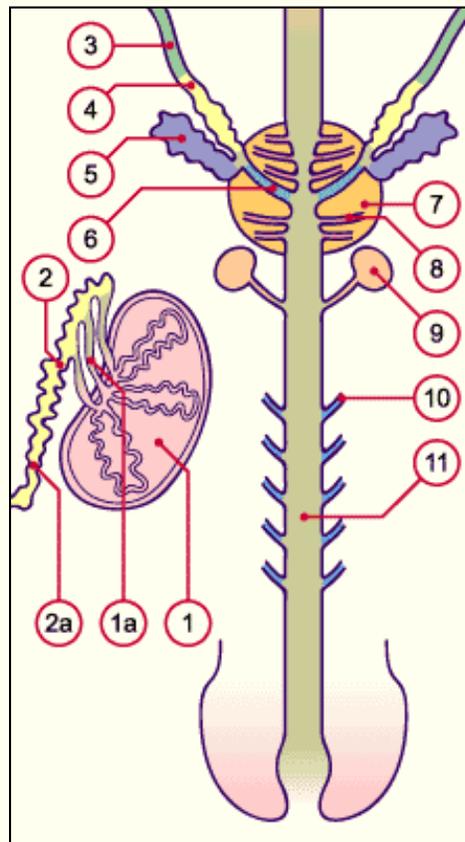
An der Ejakulation beteiligte Drüsen

Die Abbildung 23 zeigt die an der Zusammensetzung des Seminalplasmas beteiligten Drüsen. Es setzt sich neben den Absonderungen des **Nebenhodens** (Flüssigkeitsmantel für die Spermien) aus den Sekreten der **Samenblase**, der **Prostata** und der akzessorischen Drüsen (**Cowper und Littré**) zusammen. Diese Sekrete werden in einem genauen zeitlichen Ablauf dem Ejakulat zugemischt.

Abb. 23 - männliche Geschlechtsdrüsen

Legende

Abb. 23
Farblich hervorgehoben und bezeichnet sind die am Ejakulat beteiligten männlichen Geschlechtsdrüsen. Ihre Sekrete fügen sich zum Seminalplasma zusammen, welches 90% des Ejakulats ausmacht. ([Popup mit interaktivem Bild dazu](#); 138 Kb).



- 1 Hoden
- 1a Ductuli efferentes testis
- 2 Ductus epididymidis
- 2a Cauda epididymidis
- 3 Ductus deferens / Samenleiter
- 4 Ampulla ductus deferentis
- 5 Vesicula seminalis / Samenblase
- 6 Ductus ejaculatorius
- 7 Prostata
- 8 Ausführungsgänge der Prostata
- 9 Glandulae bulbourethrales
(Cowper Drüsen)
- 10 Glandulae urethrales
(Littre Drüsen)
- 11 Urethra / Harnröhre

Die Ejakulation stellt den **zweiten Schritt in der Reifung** der Spermien dar. Bei diesem Vorgang werden die motilen Fähigkeiten der Spermien schlagartig aktiviert. Der genaue Mechanismus dieser Aktivierung ist bisher noch unklar. Die folgenden Faktoren gelten aber zumindest als mitbestimmend:

1. Die **mechanische** Stimulation während der Ejakulation.
2. Die Beimengung von Drüsensekreten, die
 - a) zur **Verdünnung** des Spermienkonzentrats führt, und
 - b) zur **chemischen** Aktivierung beiträgt.

Die Folge des Zusammenspiels von mechanischer Stimulation durch die Ejakulation und chemischer Einwirkung von Drüsensekreten auf die Spermien entspricht einer physiologischen Aktivierung der Spermien, die damit in der Lage sind, die bevorstehende Kapazitation und die Akrosomalreaktion zu durchlaufen - Beide sind Voraussetzungen für eine Annäherung und Bindung des Spermiums an die Zona pellucida der Oozyte.

Wiederholung

Reifung und
Aktivierung des
Spermatozoons

Modul 4 Befruchtung



4.2 Die Bereitstellung der Spermien

- Reifungsschritte der Spermien
- Vorgänge im männlichen Genitaltrakt
 - Vorgänge im Hoden (Testis)
 - Vorgänge im Nebenhoden (Epididymis)
- Die Ejakulation und das Ejakulat
 - An der Ejakulation beteiligte Drüsen
 - **Das Seminalplasma**
 - Das Spermatozoon

Das Seminalplasma

Die chemischen Funktionen des Ejakulats werden vom Seminalplasma wahrgenommen.

Das Zusammenmischen der verschiedenen Drüsenfraktionen führt zu einem Koagulieren des frischen Ejakulats im hinteren Scheidengewölbe binnen einer Minute. Auf diese Weise wird in der Vagina ein Spermiendepot errichtet. Nach ca. 15-20 Minuten verflüssigt sich das koagulierte Ejakulat wieder.

Wegen seiner leichten Alkalinität (leicht alkalischer Puffer) ist es aber auch für die Schaffung eines für die Spermien günstiges Milieus im normalerweise sauren Scheidenmilieu zuständig.

Das Seminalplasma hat folgende Aufgaben zu erfüllen:

- Schaffung eines alkalisch gepufferten Milieus in der Scheide
- Koagulieren des Ejakulats und Errichten eines Spermiendepots in der Vagina
- Anlagerung von Kapazitationsinhibitoren an die Spermien
- Aktivierung und Verstärkung der Motilität der Spermien
- Bereitstellen von Nährstoffen für die Spermien
- Verflüssigung des Ejakulats nach 15-20min

Die Hauptmenge des Seminalplasmas wird durch das Sekret der Samenbläschen beigesteuert.

Das Samenblasensekret enthält verschiedene Proteine und Fructose als Energielieferanten für die Spermienmotilität und ist auch für die Schaffung des Grossteils des alkalischen Puffer zuständig.

Das Prostatasekret enthält Proteasen zur Verflüssigung des Ejakulats und Spermin, das die Motilität und die weitere Reifung der Spermien unterstützt.

Die genaue Zusammensetzung des Seminalplasmas ist der folgenden Tabelle zu entnehmen.

Zusammensetzung des Seminalplasmas

Menge	2-6ml
pH Wert	7-8 (leicht alkalischer Puffer)

Samenblasensekret	75% des Volumens, alkalisches fructosereiches Sekret (1,5-6,5mg/ml Fructose), Phosphorylcholin, Ascorbinsäure
Prostatasekret	20%-25% des Volumens, Biogene Amine (Spermidin, Spermin), Zitronensäure, Cholesterin, Phospholipide, Proteasen zur Verflüssigung des Ejakulats (Fibrinolysin, Fibrinogenase)
Weitere Bestandteile	Phosphat und Bikarbonat als Puffer, Prostaglandine, Hyaluronidase, Zelldetritus aus Sertolizellen, Zellen aus Vorstufen der Spermiogenese, Lymphozyten.

[Vorherige Seite](#) | [Nächste Seite](#)

-



4.2 Die Bereitstellung der Spermien

- Reifungsschritte der Spermien
- Vorgänge im männlichen Genitaltrakt
 - Vorgänge im Hoden (Testis)
 - Vorgänge im Nebenhoden (Epididymis)
- Die Ejakulation und das Ejakulat
 - An der Ejakulation beteiligte Drüsen
 - Das Seminalplasma
 - **Das Spermatozoon**

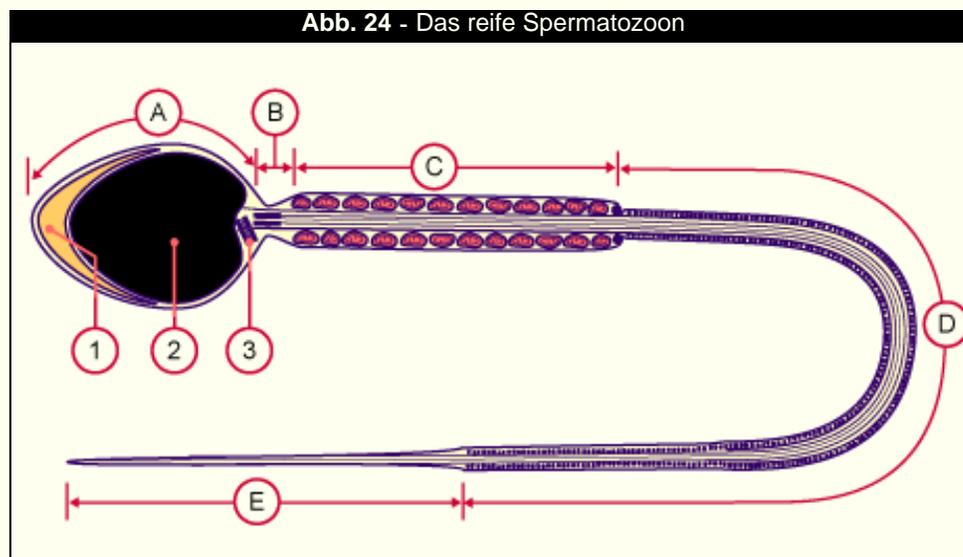
Das Spermatozoon

Am Spermatozoon **unterscheidet man:**

- Kopf
- Hals
- Mittelstück
- Hauptstück
- Endstück

Der Kopf enthält den kondensierten Kern, der vorne vom Akrosom, einem kappenförmigen Vesikel, bedeckt wird. Im Vesikel sind hydrolysierende Enzyme gespeichert, die eine wichtige Rolle bei der Durchdringung der Eizell-Schutzhüllen (Corona radiata und Zona pellucida) spielen.

Deshalb sollte das Akrosom volumenmässig etwa 40% des Kopfes ausmachen.



- 1 Akrosom
- 2 Kern
- 3 proximales Zentriol
- A Kopf
- B Hals
- C Mittelstück
- D Hauptstück
- E Endstück

Legende

Abb. 24
Das reife Spermatozoon ist schlank, die Mitochondrien sind im Mittelstück dicht und ringförmig den äusseren Ringfasern angelagert. Die DNS im Kern ist maximal kondensiert.

Mehr dazu

Mehr Informationen über den [Bau des Spermatozoons](#)

Auch in einem normalen Ejakulat sind zahlreiche missgebildete Spermien vorhanden.
Man findet Spermatozoen mit folgenden Abnormalitäten:

- abweichende Kopfform:
 - zu klein
 - zu schmal
 - piriforme = birnenförmige Kopfform
 - zwei oder drei Köpfe
- Defekte der Akrosomal-Kappe
- zwei Schwänze

Mehr dazu

Mehr Informationen
über [minimale Menge
an Spermien](#)

[Anfang des Kapitels](#) | [Vorherige Seite](#) | **[Nächstes Kapitel](#)**

Modul
Befruchtung4.3 Der Weg der Spermien bis zur Oozyte -
Die Kapazitation

- Überblick
- Die Passage der Cervix
- Die Kapazitation der Spermien

Überblick

Nach der Ejakulation befinden sich die Spermien in grosser Anzahl im hinteren Scheidengewölbe, nahe der Portio. Der Weg, den die Spermien von der Portio bis zum Zusammentreffen mit der Oozyte im ampullären Teil der Tube zurücklegen müssen, ist 13-15cm lang. Auf dieser Strecke machen die Spermien einen weiteren Reifungsprozess durch, die sogenannte **Kapazitation**.

Die Steuerungsmechanismen, welche die Spermien zur Eizelle führen, sind nicht in allen Facetten erforscht. Damit aber **zum richtigen Zeitpunkt** eine **genügende Anzahl an Spermien in der Ampulle** auftauchen kann, müssen die Spermien in sehr hoher Anzahl im Ejakulat vorhanden sein.

Quiz

Quiz 05

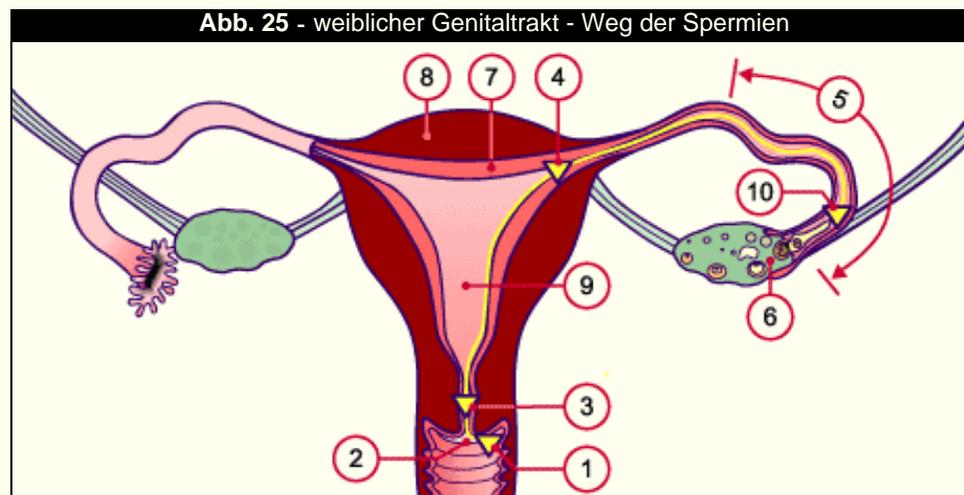
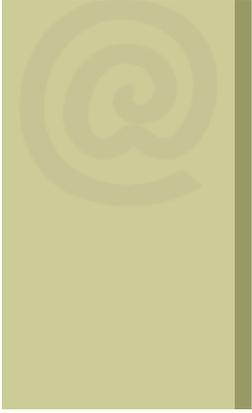


Abb. 25 - weiblicher Genitaltrakt - Weg der Spermien

- 1 hinteres Scheidengewölbe
- 2 Portio / Muttermund
- 3 Cervixkanal
- 4 Tubenwinkel
- 5 Ampullärer Teil der Tube (Ampulle)
- 6 Ovar mit angelegten Fimbrien
- 7 Endometrium
- 8 Myometrium
- 9 Cavum uteri
- 10 Treffpunkt der Spermien mit der Oozyte

Legende

Abb. 25
Der Weg, den die Spermien zurücklegen, ist farblich eingezeichnet. Die Punkte kennzeichnen diejenigen Stellen entlang des Wegs, an denen sich die Spermien nachgewiesenermassen während längerer Zeiträume wartend aufhalten können. Es sind dies Krypten in der Cervix, der Bereich des Tubenwinkels und der ampulläre Teil der Tube.



Von den ca. 200 Millionen ejakulierten Spermien schaffen **nur einige hundert** den langen Weg durch den Muttermund (Cervix), die Gebärmutter (Uterus) und über den Tubenwinkel in den Eileiter bis in die ampulläre Region des Eileiters, um dort **die Eizelle zu treffen**.

Unterwegs können ganze Pulks von Spermien an bestimmten Orten anhalten und in eine Phase geringerer Aktivität eintreten. Deshalb behält ein Teil der Spermien seine Befruchtungsfähigkeit bis zu 4 Tagen bei.

[Liste der Kapitel](#) | [Nächste Seite](#)

Modul
Befruchtung4.3 Der Weg der Spermien bis zur Oozyte -
Die Kapazitation

- [Überblick](#)
- **Die Passage der Cervix**
- [Die Kapazitation der Spermien](#)

Die Passage der Cervix

Nach der Ejakulation sind die Spermien vom leicht alkalisch puffernden Seminalplasma umhüllt, das sie vor dem sauren Scheidenmilieu schützt. Trotzdem geht ein grosser Teil der Spermien dort zugrunde. Die Überlebenden werden durch das alkalische, spermienfreundliche **Milieu der Cervix angezogen**.

Um den Zeitpunkt der Ovulation ändern sich die Eigenschaften der Cervix und des Cervixschleims. So verändert sich die Cervix von einer "spermienfeindlichen" zu einer sehr "spermienfreundlichen" Umgebung.

Vor der Ovulation (Abb.26) ist der Cervixkanal **eng** und der Cervixschleim **stark vernetzt** (er bildet den sogenannten **Cervixpfropf**) was eine Spermienpassage verhindert.

Mit der Ovulation (Abb.27) wird die Cervix locker und der Kanal **weit**. Die Schleimhautfalten (Abb.28) nehmen zu und lassen tiefere und verzweigte Krypten entstehen, es gibt **mehr Cervixdrüsen**.

Unter dem Einfluss des kurz vor der Ovulation ansteigenden Östradiols wird der **Cervixschleim umstrukturiert**. Der Schleimpfropf wird dadurch **für Spermien durchgängig**.

Abb. 26 - Cervixkanal vor Ovulation

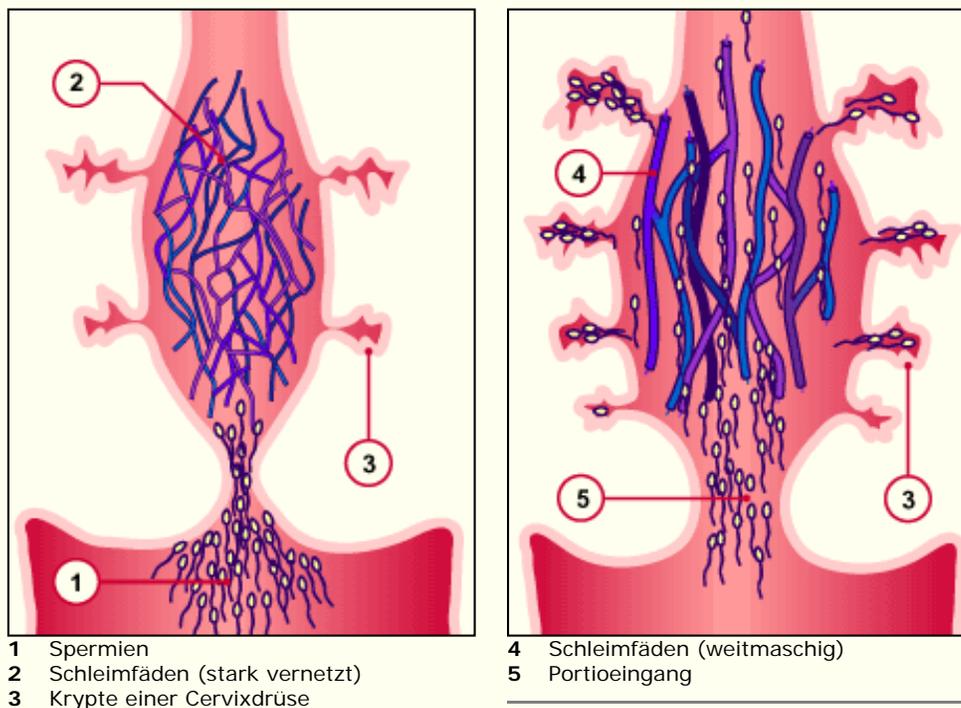
Abb. 27 - Cervixkanal während Ovulation

Legende

Abb. 26; Abb. 27
Vor der Ovulation ist der Cervixkanal eng, mit wenigen und kleinen Cervixdrüsen und der Schleim ist stark vernetzt). Die Spermien "stauen" sich am Portioeingang. Bei der Ovulation wird der Cervixkanal weit, mit vielen weitverzweigten Cervixdrüsen und der Schleim wird weitmaschig, es bilden sich Kanäle darin aus. Die Spermien können passieren. Ähnliche Zeichnungen entstanden schon 1953 durch Hempel,

Quiz

[Quiz 16](#)



der die Strukturveränderungen im cervikalen Schleim um den Ovulationszeitpunkt darstellen konnte.

Beim Umbau des Cervixpfropfs wird der Schleim **dünnerflüssiger**. Darin sollen sich regelrechte, von spezifischen **chemotaktischen Molekülen ausgekleidete Kanäle** bilden, in denen die Spermien die Cervix bevorzugt passieren können. Zusätzlich weist der Schleim zum Ovulationszeitpunkt einen **alkalischen pH-Wert** auf, den die Spermien gegenüber dem sauren Vaginalsekret bevorzugen.

Die aktive Passage der Cervix ist für die Selektion der Spermien von Bedeutung. Der zervikale **Schleimpfropf wirkt als Filter** in dem atypische Spermien hängen bleiben. Sie werden durch einen hydrodynamischen Effekt an der Aszension gehindert. Durch diesen einfachen Mechanismus wird sichergestellt, dass nur normal geformte und gut motile Spermien die Mukus-Barriere der Cervix überwinden können.

Kommentar

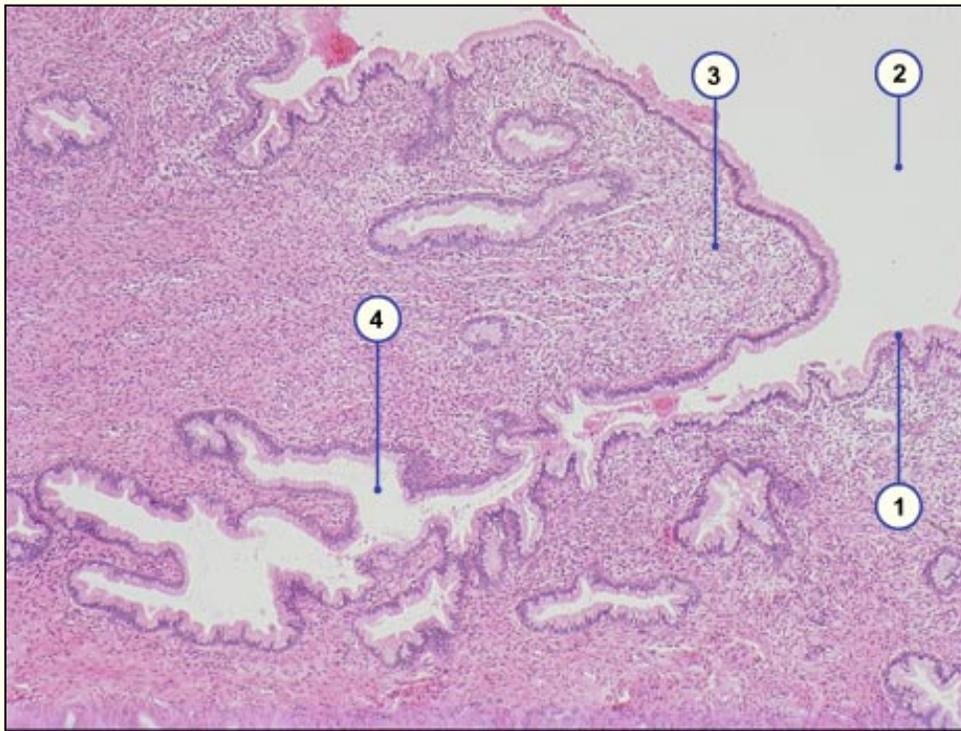
Bei der assistierten Befruchtung wird der Vorgang der Spermienfiltration und -selektion durch die Zentrifugation durch ein Dichtegradienten-Gel erreicht.

Abb. 28 - Histologisches Schnittbild des Cervixkanals

Legende

Abb. 28
Die Epithelzellen, die den Cervixkanal auskleiden, produzieren Mucus. Durch Schleimhautfalten entstehen tief verzweigte Krypten, in denen sich der Schleim ansammelt. Man nennt diese deshalb auch Cervixdrüsen. Zum Zeitpunkt der Ovulation erweitern und vertiefen sie sich und können Spermien für mehrere Tage

ruhigstellen.



- 1 Epithel (Schleimproduzierend)
- 2 Cervixkanal
- 3 Schleimhautfalte
- 4 Krypte (eigentliche Cervixdrüse)

[Vorherige Seite](#) | [Nächste Seite](#)

Modul
Befruchtung4.3 Der Weg der Spermien bis zur Oozyte -
Die Kapazitation

- [Überblick](#)
- [Die Passage der Cervix](#)
- **Die Kapazitation der Spermien**

Die Kapazitation der Spermien

Quiz

[Quiz 17](#)

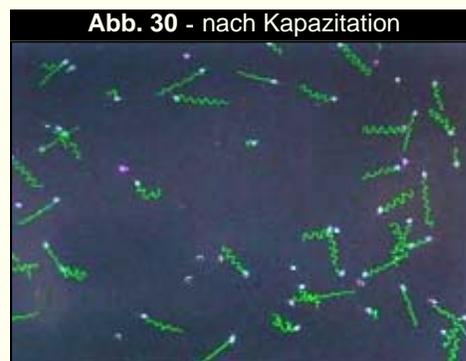
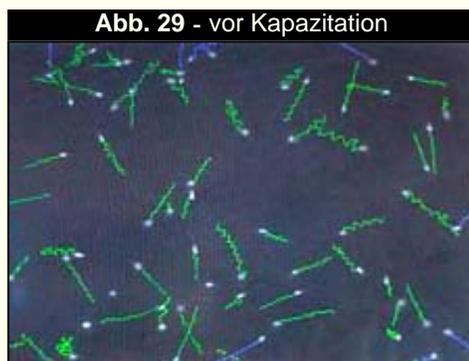
Die Spermien durchlaufen nach der Ejakulation im weiblichen Genitaltrakt einige essentielle physiologische Veränderungen, bevor sie schliesslich die Zellmembran der Eizelle durchdringen können.

Die erste Veränderung in dieser Kaskade ist die **Kapazitation**. Sie wird von den Spermien während der Aszension des Genitaltrakts (im Kontakt mit dessen Sekreten) vollzogen. Es handelt sich um einen physiologischen Reifungsprozess der Spermienzellmembran, der als Voraussetzung für den nachfolgenden Schritt, die Akrosomalreaktion gilt.

Die **Kapazitation ist eine funktionelle Reifung des Spermatozoons**. Die Veränderungen laufen über die Spermienzellmembran ab, bei der durch das Abtragen einer Glycoproteinschicht möglicherweise Rezeptoren freigegeben werden. Auch der Bereich der Akrosomal-Kappe wird dadurch so verändert, dass die Akrosomalreaktion möglich wird.

Durch die Membranveränderungen ändern sich auch die motilen Eigenschaften des Spermatozoons. Es kommt zu **ausladenden Peitschenschlagbewegungen** des Schwanzes gepaart mit grösseren **seitlichen Pendelbewegungen des Kopfes**. Diese Art der Motilität wird als Hyperaktivität bezeichnet. Man kann also sagen, dass die sichtbare Folge der Kapazitation in einer Hyperaktivität des Spermatozoons besteht.

Als Kapazitation bezeichnet man die Veränderungen, die zur Hyperaktivität des Spermatozoons führen und die es dem Spermatozoon später gestatten, auch die Akrosomalreaktion zu durchlaufen.



Legende

Abb. 29, Abb. 30
Das sind Bildschirmaufnahmen eines Apparates, der die Bewegungsbahnen der jeweiligen Spermienköpfe (weisse Punkte) während eines bestimmten Zeitraums aufzeichnet und mit einer grünen Linie darstellt. Vor der Kapazitation sind die Linien mehrheitlich gerade. Nach der Kapazitation sind fast alle Spermien dazu übergegangen stark

mit dem Kopf zu pendeln, was sich in gezackten Linien widerspiegelt.

Da sich der genaue Zeitpunkt, wann sich Oozyte und Spermatozoon treffen, nicht voraussagen lässt, sind die **Reifungsmechanismen** so ausgelegt, dass verschiedene Gruppen (Pulks) von Spermien über einen relativ langen Zeitraum nach der Kohabitation die Befruchtungschancen aufrecht erhalten. Die ejakulierten Spermien werden zu diesem Zweck nicht alle gleichzeitig ihre Kapazitation beenden, so dass es zur Bildung **heteroger Gruppen** von Spermien kommt.

Die Gruppen haben eine unterschiedliche Geschichte hinter sich, was ihr Alter und was ihre Lagerungsbedingungen angeht. Sie liegen folglich bezüglich Reifung/ Kapazitation nicht auf dem gleichen Niveau, was es möglich macht, über einen längeren Zeitraum befruchtungsfähige Spermien zu erhalten weil sie gestaffelt ausreifen. (Man kann sich vorstellen, dass jeweils **eine kleine Population an Spermatozoen Ihre Kapazitation beendet** und so bereit ist, eine eventuell in den ampullären Teil der Tuba uterina vorgedrungene Oozyte zu befruchten.)

[Anfang des Kapitels](#) | [Vorherige Seite](#) | **[Nächstes Kapitel](#)**

Modul
Befruchtung4.4 Die Spermien treffen auf die Oozyte -
Die Akrosomalreaktion

- Die Penetration der Kumuluszellen
- Der Kontakt mit der Zona pellucida
 - Die Akrosomalreaktion
 - Die Penetration der Zona pellucida

Die Penetration der Kumuluszellen

Die Spermien treffen in Wogen auf die von Kumuluszellen umgebene Eizelle. In einer Fertilisation in vivo ist dies kein Problem, hingegen bei einer Befruchtung im Reagenzglas muss die dazugegebene Menge an Spermien streng beachtet werden, denn ein Zuwenig ergibt keine Befruchtung.

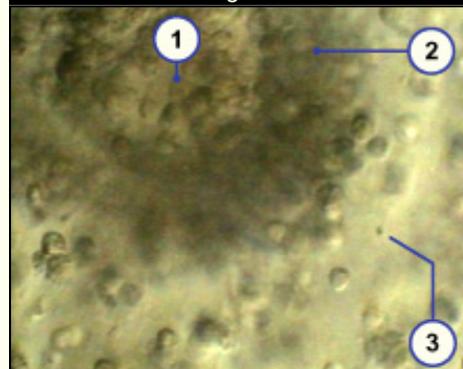
Durch die Akrosomalreaktion werden Enzyme freigesetzt; die Hyaluronidase **löst die Interzelluläre Matrix** zwischen den Kumuluszellen auf, andere Enzyme lösen die um die Eizelle gelegene Zona pellucida auf. In der Regel kommt es erst zu dieser Reaktion des Spermiums, wenn es auf die Zona pellucida trifft.

Bei einem kleinen Prozentsatz der Spermien läuft die Akrosomalreaktion spontan ab, so wie es auch bei einem kleinen Prozentsatz der Spermien gleich nach der Ejakulation spontan zur Kapazitation kommt. Diese Tatsache hilft mit, dass gleich von Beginn weg, wenn die Woge Spermien auf die Eizelle trifft, eine geringe Menge an Hyaluronidase frei ist und dazu beiträgt, einigen Spermien den Weg zur Zona pellucida zu bahnen. An der Zona pellucida angekommen, werden diese Spermien akrosomalreagieren und weitere Mengen an **Hyaluronidase** und anderen Enzymen freisetzen. Auf diese Weise wird der Kumuluszellhaufen weiter aufgelöst und immer mehr Spermien erhalten die Möglichkeit, an der Zona pellucida selber die Akrosomalreaktion zu durchlaufen.

Die durch die Kapazitation erworbene **Hyperaktivität** des Spermatozoons ist ein entscheidender Faktor, der dazu beiträgt, dass sich das Spermatozoon mit peitschenschlagartigen Schwanzbewegungen durch den Kumuluszellhaufen treiben kann, am Anfang der Begegnung sogar ohne grosse Mitbeteiligung der Hyaluronidase.

Zusammenfassend handelt es sich um einen dirigierten "Angriff" vieler Spermien auf die die Eizelle umgebenden Strukturen, letztlich mit dem Ziel, **einem einzigen Spermatozoon** die Vereinigung mit der Eizelle zu ermöglichen.

Abb. 31 - Oozyte von Kumuluszellen umgeben



- 1 Zentrum der Oozyte
- 2 Corona radiata (umschliesst und verdeckt teilweise die Oozyte)
- 3 Kopf des Spermatozoons

Quiz

[Quiz 20](#)

Legende

Abb. 31
Bild einer IVF (In-vitro-Fertilisation). Der von Kumuluszellen umgebenen Oozyte werden die Spermien beigegeben. Die Spermien befruchten die Eizelle auf natürlichem Weg.

Sehen sie im ersten [Video \(230KB\)](#), wie ein Spermatozoon versucht, die Kumuluszellen zu durchdringen.

Im zweiten [Video \(220KB\)](#) umkreisen mehrere Spermien die Eizelle.

Video

ICSI: Insemination durch intrazytoplasmatischen Spermieninjektion. (3 MB)
© Prof. B. Imthurn, Unispital, Zürich

[Liste der Kapitel](#) | [Nächste Seite](#)

Modul
Befruchtung4.4 Die Spermien treffen auf die Oozyte -
Die Akrosomalreaktion

- Die Penetration der Kumuluszellen
- **Der Kontakt mit der Zona pellucida**
 - Die Akrosomalreaktion
 - Die Penetration der Zona pellucida

Der Kontakt mit der Zona pellucida

Wenn die Spermien auf die Zona pellucida auftreffen, binden sie an diese. Nach der **Bindung des Spermiums an die Zona pellucida** wird durch ZP3 (Zona Protein 3) die **Akrosomalreaktion induziert**.

Kommentar

Die Veränderungen, zu denen es an der **Zellmembran des Spermatozoons** beim Durchlaufen der Kapazitation kommt, sind mitentscheidend für ein Gelingen der Akrosomalreaktion. Sowohl die Bindung an die Zona pellucida wie auch die anschließende Akrosomalreaktion sind von der Funktion der Zellmembran abhängig.

Die Akrosomalreaktion

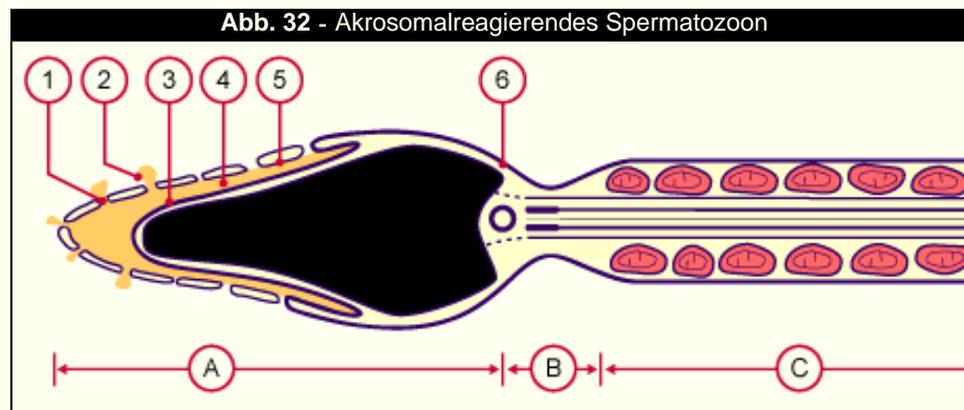
Bei der Akrosomalreaktion wird der Inhalt des Akrosoms nach aussen freigesetzt. Es **verschmilzt** die Zellmembran des Spermatozoons mit der darunterliegenden äusseren Membran des Akrosoms. Durch die entstehenden "Poren" gelangt der Inhalt des Akrosoms nach aussen.

Quiz

[Quiz 21](#)

Legende

Abb. 32
Für die Akrosomalreaktion verschmilzt die Zellmembran mit der äusseren Akrosomalmembran.

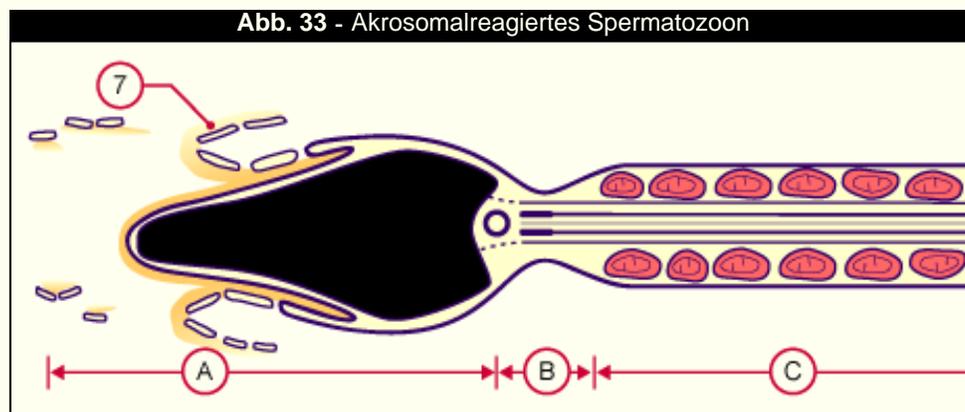


- 1 Poren
 - 2 Austritt von akrosomalem Inhalt
 - 3 innere Akrosalmembran
 - 4 Akrosomaler Inhalt (Enzyme)
 - 5 äusseren Akrosalmembran
 - 6 Zellmembran
- A** Kopf
B Hals
C Mittelstück

Voraussetzung für ein Gelingen der Akrosomalreaktion ist die vorgängige Bindung des Spermatozoons an die Zona pellucida.

Dass die Zona-Bindung einen entscheidenden Schritt in der Fertilisationskaskade darstellt, lässt sich vielleicht aus der Tatsache ableiten, dass die **Zona-Anbindung speziesspezifisch** ist; die anschließende Anbindung an die Eizellmembran, an das Oolemma, hingegen ist es nicht

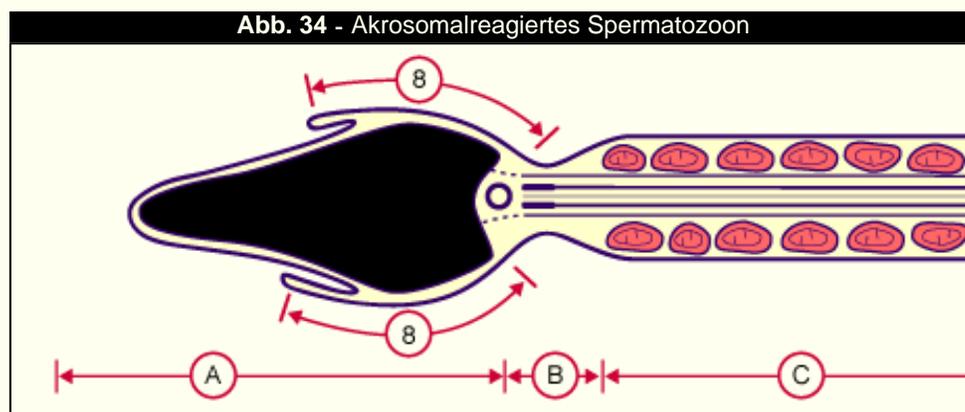
Wenn die Akrosomalreaktion vollständig abgelaufen ist, wird das Spermatozoon im vorderen Bereich nur noch von der ehemaligen inneren Membran des Akrosoms bedeckt. Für den weiteren Fortgang der Befruchtung ist dies entscheidend, denn es wurden dadurch Strukturen freigelegt, die für einen Kontakt mit der Oozyte unumgänglich sind. Als eine Folge davon treten insbesondere Veränderungen im **postakrosomalen Membranbezirk** des Spermatozoons auf.



- 7 Abfallende Membranreste
A Kopf
B Hals
C Mittelstück

Legende

Abb. 33
 Die akrosomale Reaktion ist abgeschlossen. Reste der vesikulierten Membran werden teilweise noch durch einen klebrigen Molekülverband zusammengehalten. Durch die lebhaftere Vorwärtsbewegung der Spermien werden jedoch diese Reste schnell zurückgelassen.



- 8 Postakrosomaler Membranbezirk
A Kopf
B Hals
C Mittelstück

Legende

Abb. 34
 Der vordere Teil des Spermienkopfs ist nun noch von der ehemaligen inneren Membran des Akrosoms bedeckt. Für die Bindung an die Eizelle sind hingegen der jetzt "aktive" postakrosomale Bezirk entscheidend.

Die Penetration der Zona pellucida

Die in unmittelbarer Nähe der Zona pellucida bei der Akrosomalreaktion freigesetzten Enzyme lösen diese lokal auf und gestatten dem Spermium so den Durchtritt durch die Zona pellucida. Es handelt sich um eine Vielzahl von freigesetzten Enzymen, wovon die bekanntesten die schon erwähnte Hyaluronidase und das Akrosin sind, wobei das Akrosin für den Durchtritt des Spermatozoons durch die Zona pellucida sorgt.

[Anfang des Kapitels](#) | [Nächstes Kapitel](#)

Modul
Befruchtung

4.5 Das Eindringen des Spermatozoons in die Oozyte

- Der Andockmechanismus des Spermatozoons an die Oozyte (das Schlüssel-Schloss Prinzip)
- Der Polyspermieblock
- Die Aufnahme des Spermatozoons in die Oozyte (Imprägnation)
- Das Beenden der zweiten Reifeteilung der Oozyte

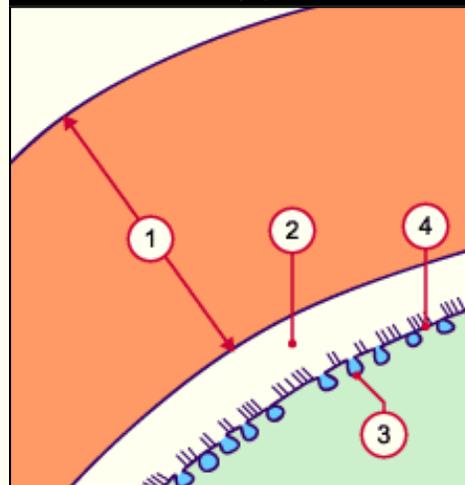
Der Polyspermieblock

Sobald ein Spermatozoon angedockt hat, muss verhindert werden, dass dies auch weitere Spermien tun können. Sowohl am **Oolemma** wie auch an der **Zona pellucida** kommt es zu entsprechenden Veränderungen.

Das Andocken löst am Oolemma eine **rasche Depolarisationswelle** aus, was zur Veränderung der Membranoberfläche führt.

Die Depolarisationswelle führt ebenfalls dazu, dass kleinste **Vesikel**, die sich auf der Innenseite der Eizellmembran befinden, **ihren Inhalt in den perivitellinen Spalt hinein ausschütten**. Die Zona pellucida wird dadurch "gehärtet". Sie lässt Spermien nicht mehr passieren und bietet fortan dem sich in den nächsten Tagen innerhalb der Zona pellucida entwickelnden Embryo besten Schutz.

Abb. 38 - Polyspermieblock



- 1 Zona pellucida
- 2 Perivitelliner Spalt
- 3 kortikale Vesikeln
- 4 Oolemma

Quiz

Quiz 22

Legende

Abb. 38

Der Inhalt der kortikalen Vesikel, der in den perivitellinen Spalt abgegeben wird, führt zu einer Verhärtung der Zona pellucida.

Die Aufnahme des Spermatozoons in die Oozyte (Imprägnation)

Nachdem das Spermatozoon am Oolemma angedockt hat, kommt es zu einem Verschmelzen der beiden Membranen. Das ermöglicht den innerhalb des Spermatozoons gelegenen Strukturen, ins Zytoplasma der Eizelle zu gelangen. Man nennt diesen Vorgang die **Imprägnation der Oozyte**. Transferiert werden unter anderem der **Kern** mit der hoch kondensierten DNS, das quer zwischen Kern und Schwanzansatz gelegene **Zentrosom** und das Kinozilium, welches den Schwanz bildete.

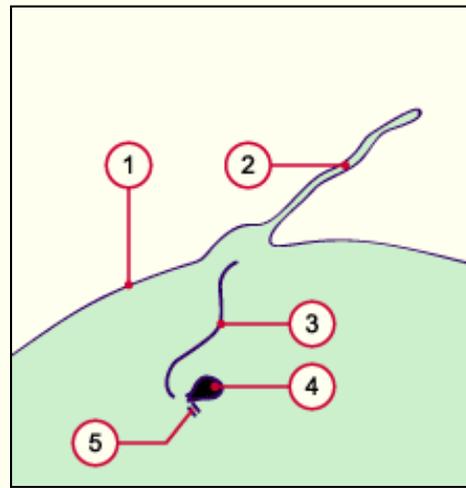
Das Kinozilium wird in der Folge aufgelöst. Das im Kern gelegene, vom

Abb. 39 - Imprägnation der Oozyte

Legende

Vater stammende, Erbmaterial wird dekondensiert und für den Aufbau des väterlichen Vorkerns benötigt. Das Zentrosom spielt in der Folge eine wichtige Rolle bei der Annäherung der beiden Vorkerne. Es wird später auch - nach erfolgter Teilung - für die Ausbildung der ersten Teilungsspindel des neuen Lebewesens verantwortlich sein. Alle Zentrosomen in den Körperzellen eines Menschen stammen von diesem einen väterlichen Zentrosom ab.

Andere Anteile des Spermiums wie Kinozilien, die während der Befruchtung ins Zytoplasma der Oozyte gelangen, werden normalerweise beseitigt. Auch väterliche Mitochondrien der Spermien werden eliminiert, sodass alle Mitochondrien in den Zellen des Körpers normalerweise von der Mutter stammen.



- 1 Oolemma
- 2 Zellmembran des Spermatozoons
- 3 Kinozilium
- 4 Kern (kompakt) des Spermatozoons
- 5 Zentrosom (queres) des Spermatozoons

Abb. 39
Die Membran des Spermienkopfs und Mittelstücks verschmilzt mit dem Oolemma und der ganze Spermieninhalt wird in die Oozyte aufgenommen. Die Schwanzmembran bleibt als Anhängsel bestehen.

Mehr dazu

In seltenen Fällen spielt aber der Mechanismus nicht, der die väterlichen Mitochondrien eliminieren sollte. Dies führt dazu, dass sie in der Oozyte überleben und folglich im kindlichen Gewebe wiederzufinden sind. Dies ist im Normalfall kein Problem. Es kann aber auch vorkommen, dass Krankheiten, welche ihre Ursache in einem Defekt der mitochondrialen DNA haben, auf diese Art und Weise vom Vater auf das Kind übertragen werden. (2)

[Vorherige Seite](#) | [Nächste Seite](#)



4.5 Das Eindringen des Spermatozoons in die Oozyte

- **Der Andockmechanismus des Spermatozoons an die Oozyte (das Schlüssel-Schloss Prinzip)**
- Der Polyspermieblock
- Die Aufnahme des Spermatozoons in die Oozyte (Imprägnation)
- Das Beenden der zweiten Reifeteilung der Oozyte

Der Andockmechanismus des Spermatozoons an die Oozyte (das Schlüssel-Schloss Prinzip)

Das schliessliche Eindringen des Spermatozoons in die Oozyte kann nur nach Ablauf einer komplexen Folge von Vorgängen am Spermatozoon und an der Eizelle erfolgen. Siehe dazu vorherige Kapitel.

Das Erkennen des Spermatozoons und seine Anheftung an das Oolemma, die Eizellmembran, funktioniert auf molekularer Ebene ähnlich wie das Andocken von Viren, wenn diese die geeignete Wirtszelle erkennen, nämlich nach einem Schlüssel-Schloss Prinzip.

Schloss und Schlüssel sind in der Zellmembran eingelagerte Proteine mit grosser gegenseitiger Affinität. Dabei trägt das Spermatozoon den Schlüssel und die Oozyte die Schlösser, die in diesem Zusammenhang als **Rezeptoren** bezeichnet werden.

Somit kann ein sich annäherndes Spermatozoon, das den passenden "Schlüssel" trägt, sofort an der Eizelle andocken.

Die Schlüsselstelle des Spermatozoons befindet sich am Kopf in der Nähe des Äquators. Damit das Andocken gelingt, muss diese Membranstelle erst freigelegt werden, was durch den vollständigen und fehlerlosen Ablauf der Akrosomalreaktion erreicht wird.

Der Ablauf der Akrosomalreaktion ist Voraussetzung für die Membranverschmelzung zwischen Spermatozoon und Oozyte.

Abb. 35 - Akrosomalreagiertes Spermatozoon im perivitellinen Spalt

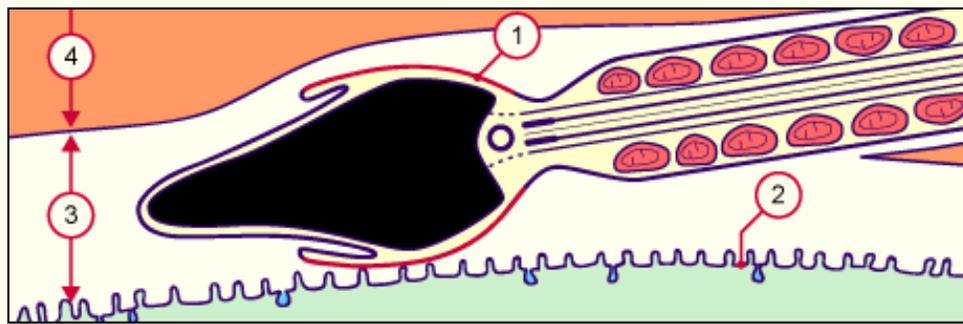
Legende

Quiz

[Quiz 23](#)

Quiz

[Quiz 24](#)



- 1 Postakrosomaler Bezirk
- 2 Oolemma mit Mikro villi
- 3 Perivitelliner Spalt
- 4 Zona pellucida

Abb. 35
Wenn das akrosomalreagierte Spermatozoon nach der Penetration der Zona pellucida auf das Oolemma trifft und dieser entlang streift, verbinden sich die gegenseitigen Membranrezeptoren.

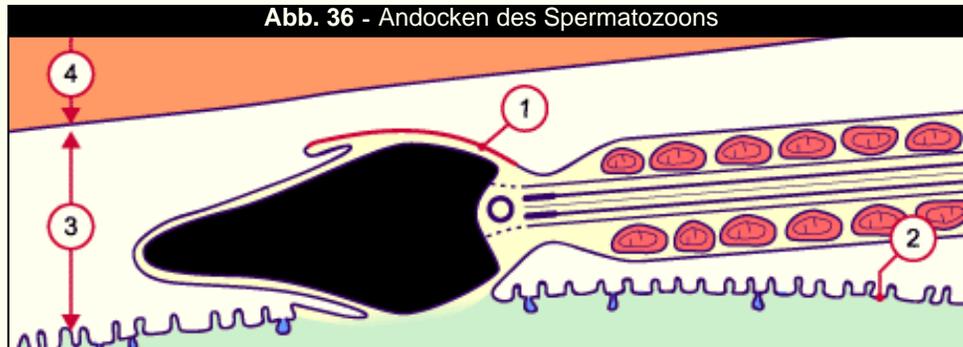


Abb. 36 - Andocken des Spermatozoons

- 1 Postakrosomaler Bezirk
- 2 Oolemma mit Mikro villi
- 3 Perivitelliner Spalt
- 4 Zona pellucida

Legende

Abb. 36
Der postakrosomale Membranbezirk des Spermatozoons hat sich mit dem Oolemma verbunden.

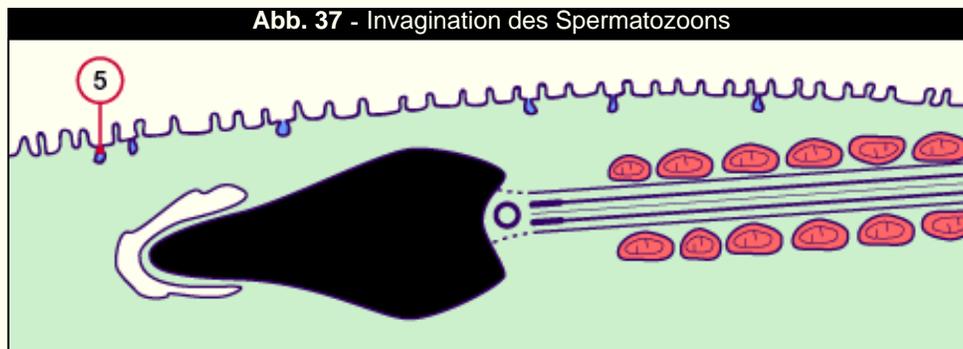


Abb. 37 - Invagination des Spermatozoons

- 5 Vesikel an der Oberfläche der Oozyte

Legende

Abb. 37
Der "Inhalt" des Spermiums ist vollständig ins Zytoplasma der Oozyte aufgenommen worden.

Durch die Akrosomalreaktion werden bekanntermassen Enzyme freigesetzt, die zur Schwächung und lokalen Auflösung der Zona pellucida beitragen. Im Verbund mit starken Schlägen seiner Geißel penetriert das Spermatozoon die Zona pellucida und gelangt schliesslich in den perivitellinen Spalt. Wenn es dort durch die starken Schläge seiner Geißel dem Oolemma entlang streicht, kommt es zum gegenseitigen Erkennen der Andockstelle.

Durch das Andocken des Spermatozoons wird in der Oozyte eine Kaskade von Ereignissen ausgelöst.

Das Andocken löst eine Kaskade von Ereignissen mit folgenden Zielen aus:

- Polyspermieblock: Das Eindringen weiterer Spermien soll verhindert werden.
- Verhärtung der Zona pellucida als mechanischer Schutz des Embryos
- Aufnahme des Spermatozoons in die Oozyte
- Beenden der 2. Reifeteilung der Oozyte mit Ausstossen des 2. Polkörpers
- Vorbereitungen auf molekularer Ebene in der Oozyte zur Entpackung der väterlichen DNS

[Liste der Kapitel](#) | [Nächste Seite](#)

Modul 4 Befruchtung



4.5 Das Eindringen des Spermatozoons in die Oozyte

- Der Andockmechanismus des Spermatozoons an die Oozyte (das Schlüssel-Schloss Prinzip)
- Der Polyspermieblock
- Die Aufnahme des Spermatozoons in die Oozyte (Imprägnation)
- **Das Beenden der zweiten Reifeteilung der Oozyte**

Das Beenden der zweiten Reifeteilung der Oozyte

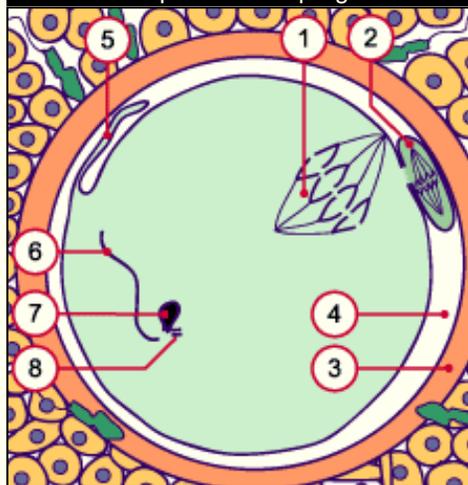
Zum Zeitpunkt der Imprägnation findet man in der sekundären Oozyte, die kurz vor der Ovulation entstanden ist, folgenden Zustand vor:

Die in der Metaphase der zweiten Reifeteilung arretierte **Teilungsspindel**, wird durch die Imprägnation wieder **aktiv**. Vom andockenden und imprägnierenden Spermatozoon wird ein **Signal** zur Wiederaufnahme und Beendigung der zweiten Reifeteilung der Oozyte ausgelöst. Man spricht jetzt von der **imprägnierten Oozyte**.

Quiz

Quiz 25

Abb. 40 - sekundäre Oozyte zum Zeitpunkt der Imprägnation



- 1 Teilungsspindel mit Chromatiden
- 2 1. Polkörper
- 3 Zona pellucida
- 4 Perivitelliner Spalt
- 5 Zellmembran Spermatozoon (Rest als Anhängsel)
- 6 Kinozilium
- 7 Kern (kompakt) des Spermatozoons
- 8 Proximales Zentrosom des Spermatozoons

Abb. 41 - sekundäre Oozyte Imprägnierte Oozyte



Legende

Abb. 40
Die radiär angeordnete und in der Nähe des ersten Polkörperchens verankerte Teilungsspindel ist aktiv geworden und hier in der Anaphase festgehalten.

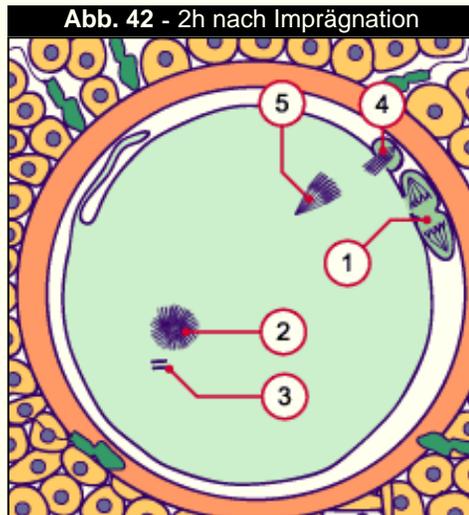
Abb. 41
Unmittelbar nach der Imprägnation lassen sich an der sek. Oozyte keine Merkmale der Imprägnation feststellen. Die Eizelle zeichnet sich durch das Vorhandensein des 1. Polkörpers aus. (manchmal ist dieses in Erwartung einer Teilung schon leicht segmentiert wie hier).

Video

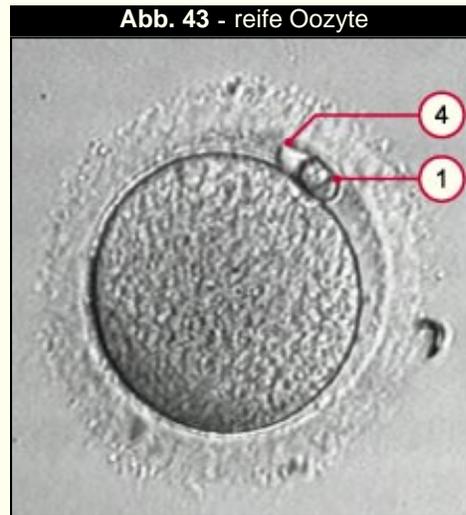
[Video](#) über den ersten Polkörper (90 KB)

In den folgenden zwei Stunden nach der Imprägung zieht die Teilungsspindel die in der Äquatorialebene angeordneten Chromatiden auseinander, so dass in der Eizelle nur mehr $1n,1C$ übrig bleibt. Ein **neu entstehender 2. Polkörper** nimmt die anderen $1n,1C$ auf. Das über eine dünne Zytoplasmabrücke verbunden gebliebene erste Polkörper erhält das gleiche Signal und teilt sich ebenfalls.

Das **Beenden der zweiten Reifeteilung** bedeutet die Teilung der sekundären Oozyte ($1n,2C$) zur **reifen Oozyte** ($1n,1C$) unter Ausstossung des **2. Polkörpers** ($1n,1C$) in den perivitellinen Spalt.



- 1 1. Polkörper
- 2 Kern (leicht dekondensiert) des Spermatozoons
- 3 Proximales Zentrosom des Spermatozoons
- 4 2. Polkörper (im Entstehen)
- 5 Reste der Teilungsspindel mit mütterlichen Chromosomen $1n,1C$



Legende

Abb. 42
Der 2. Polkörper ist im Begriff zu entstehen. Daneben ist das erste in Teilung begriffene Polkörper sichtbar ([mehr dazu mit Video; 490kb](#)). Die DNS des Kern des Spermatozoons hat angefangen, sich zu dekondensieren.

Abb. 43
Drei Polkörper sind nunmehr erkennbar: Der 2. Polkörper und das erste Polkörper, welches sich geteilt hat.

In der Folge lösen sich die Strukturen der Teilungsspindeln auf. Künftig entstehende Teilungsspindeln werden vom eingebrachten väterlichen Zentrosom gebildet.

[Anfang des Kapitels](#) | [Vorherige Seite](#) | [Nächstes Kapitel](#)

Modul
Befruchtung4.6 Die Fertilisation wird abgeschlossen
Die Ausbildung der Zygote

- Einführung in die Bildung und Entwicklung der Vorkerne
 - Bildung des väterlichen Vorkerns
 - Bildung des mütterlichen Vorkerns
 - Synthesephase der DNS in den Vorkernen
- Annäherung der Vorkerne
- Die Ausbildung der Zygote

Einführung in die Bildung und
Entwicklung der Vorkerne

Quiz

Quiz 26

Nachdem das Spermatozoon die Oozyte imprägniert hat, also den väterlichen Anteil des Erbguts überbracht hat, geht es innerhalb der Oozyte nun darum, sowohl die väterliche wie auch die mütterliche Erbinformation in eine Form zu bringen, die es erlaubt, dass beide in geeigneter Weise zusammengeführt werden können. Die jeweilige dekondensierte DNS wird in sich allmählich ausbildenden **väterlichen und mütterlichen Vorkernen** eingeschlossen. In diesen Vorkernen findet während einer Synthesephase die Verdoppelung der DNS statt.

Nach der fast einen Tag dauernden Synthesephase, kondensiert die DNS zu Chromosomen. Diese ordnen sich unverzüglich in die Teilungspindel der Zygote ein, damit sich diese zum Zweizell-Stadium teilen kann.

Im folgenden werden die obgenannten Vorgänge im Detail erläutert.

Bildung des väterlichen Vorkerns

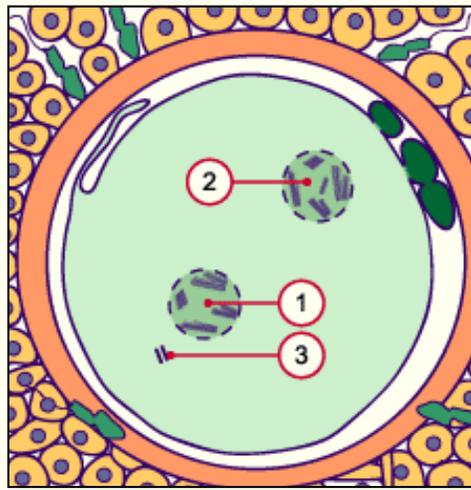
Mit dem Kopf des Spermatozoons ist ein extrem dicht gepackter, halber Chromosomensatz ($1n1C$) ins Zytoplasma der Oozyte gelangt. Diese speziell kondensierte DNS muss in einem ersten Schritt entpackt, d.h. dekondensiert werden.

Die Protamine, um die der DNS-Strang gewickelt ist, werden aus- und abgebaut. Unter Zuhilfenahme von Enzymen und Molekülen aus dem Zytoplasma der Eizelle, baut sich allmählich der väterliche Vorkern auf. Das bedeutet die sich **dekondensierende DNS** wird **von einer Kernmembran umschlossen**. Die Bildung eines (Vor)kerns ist für die nachfolgend stattfindende Synthesephase, in der die DNS verdoppelt wird, notwendig.

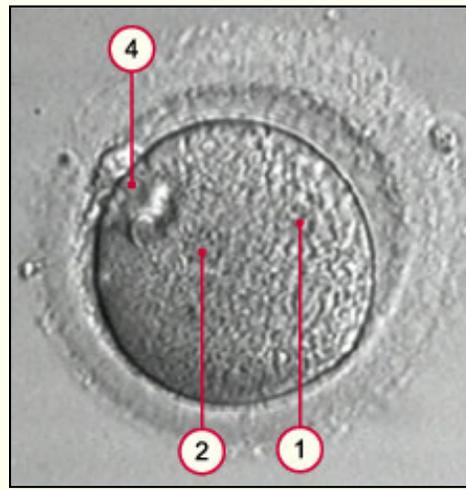
Abb. 44 - 4h nach Imprägnation

Abb. 45 - Imprägnierte Eizelle 4h

Legende



- 1 Vorkern väterlicherseits
- 2 Vorkern mütterlicherseits
- 3 Zentrosom vom Spermatozoon eingebracht



- 4 Ansammlung der Polkörper

Abb. 44
Schematische Darstellung vier Stunden nach Imprägnation. Um beide Vorkerne herum bildet sich eine Kernmembran. (In den Vorkernen selber kommt es an den dekondensierten Chromosomen zu einer Verdoppelung der DNS.)

Abb. 45
Momentaufnahme etwa vier Stunden nach Imprägnation der Eizelle. Die Ausbildung der Vorkerne ist gerade ansatzweise erkennbar.

Kommentar

Der mütterliche Vorkern ist den Polkörpern am nächsten. Der väterliche bildet sich in der Nähe der Spermien Eintrittsstelle aus, die sich fast immer mit einem gewissen Abstand zu den Polkörpern befindet.

Video

[Video](#) mit Entstehung der Vorkerne (166 kB)
© Dr. A. Senn, CHUV
CEMCAV Lausanne

Bildung des mütterlichen Vorkerns

Zur gleichen Zeit wie sich der väterliche Vorkern ausbildet, entsteht auch der mütterliche Vorkern.

Das Eindringen des Spermatozoons in die sekundäre Oozyte hat in dieser die Wiederaufnahme und Beendigung der zweiten Reifeteilung bewirkt. Nach dem Entstehen des 2. Polkörpers werden die **in der Oozyte verbliebenen mütterlichen Chromosomen von einer Kernmembran umschlossen** und dekondensiert. Für die anschliessend einsetzende Synthesephase, in der die DNS verdoppelt wird, müssen die Chromosomen dekondensiert sein.

Synthesephase der DNS in den Vorkernen

Vor jeder bevorstehenden Zellteilung muss die DNS verdoppelt werden, damit sie auf die entstehenden Tochterzellen verteilt werden kann. Bei der imprägnierten Oozyte geschieht dies **für jeden Chromosomensatz** - den vom Vater und den von der Mutter - jeweils **in einem separaten Vorkern**. Die Zeit für die Verdoppelung der DNS beträgt etwa 12-18h. Während dieser Zeitspanne kommt es ebenfalls zu einer räumlichen Annäherung der beiden Vorkerne.

Kommentar

Aus 1n,1C des Spermatozoons wird im väterlichen Vorkern 1n,2C synthetisiert. Aus den in der Oozyte nach der zweiten Reifeteilung verbliebenen 1n,1C werden im mütterlichen Vorkern 1n,2C gemacht.

Modul 4 Befruchtung

4.6 Die Fertilisation wird abgeschlossen Die Ausbildung der Zygote

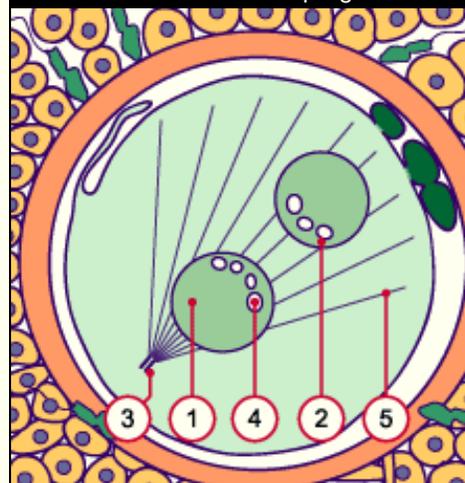
- Einführung in die Bildung und Entwicklung der Vorkerne
 - Bildung des väterlichen Vorkerns
 - Bildung des mütterlichen Vorkerns
 - Synthesephase der DNS in den Vorkernen
- **Annäherung der Vorkerne**
- Die Ausbildung der Zygote

Annäherung der Vorkerne

Der väterliche und der mütterliche Vorkern bewegen sich aufeinander zu mit Hilfe von **Mikrotubuli**, die sich gleich nach der Imprägnation, also dem Eindringen des Spermatozoons auszubilden beginnen. Gleich neben dem entstehenden väterlichen Vorkern, wachsen sie **sternförmig** aus dem väterlichen Zentrosom aus (= Ausbildung eines Asters aus dutzenden von Mikrotubuli). Die mikrotubulären Proteine selbst stammen aus dem Zytoplasma der Oozyte.

Während die Mikrotubuli des Asters die Vorkerne aneinander **ins Zentrum der Eizelle** ziehen, findet in den Vorkernen die **Synthese** des DNS Duplikats statt. Dies **dauert etwa 12 Stunden**. Die Vorkerne nehmen in dieser Zeit an Grösse zu.

Abb. 46 - 6h nach Imprägnation



- 1 Väterlicher Vorkern
- 2 Mütterlicher Vorkern
- 3 Väterliches Zentrosom
- 4 "Inner bodies"
- 5 Mütterliche Astral-Mikrotubuli

Abb. 47 - 18h nach Imprägnation

Quiz

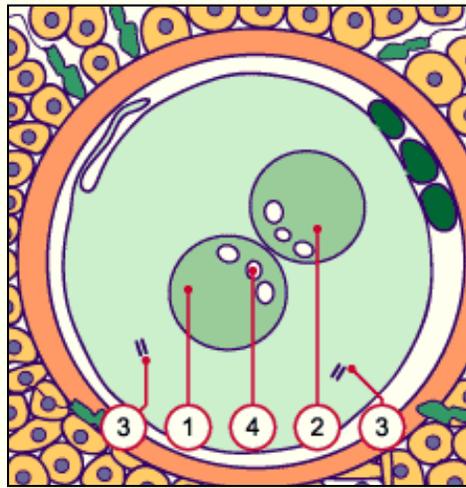
[Quiz 27](#)

Legende

Abb. 46
Schema einer imprägnierten Oozyte: Es hat sich aus dem ursprünglich väterlichen Zentrosom ein Aster ([mehr dazu](#)) ausgebildet. In den Vorkernen sind die sogenannten «inner bodies» erkennbar, die sich typischerweise aufreihen.

Legende

Abb. 47
Der mütterliche und der väterliche Vorkern sind auf ihre maximale Grösse angewachsen. Sie haben sich stark aneinander angenähert und in Vorbereitung der Zellteilung hat sich das Zentrosom geteilt. [Video dazu](#) (255KB)



- 1 Väterlicher Vorkern
- 2 Mütterlicher Vorkern
- 3 Duppliziertes väterliches Zentrosom
- 4 "Inner bodies"

Kommentar

Wie kann man den väterlichen vom mütterlichen Vorkern unterscheiden? Zwei Merkmale können dabei helfen: Der mütterliche Vorkern ist näher an den Polkörpern. Der väterliche Vorkern ist leicht grösser. Dadurch dass der Betrachtungswinkel auf eine Eizelle im Mikroskop nicht immer optimal ist, kann es durchaus vorkommen, dass es nicht möglich ist diese Zuordnung eindeutig zu treffen.

Abb. 48 - 20h nach Imprägnation



Legende

Abb. 48

Imprägnierte Eizelle 20h nach einer assistierten Befruchtung. Die Kumuluszellen sind wie immer weggeschält. Die Vorkerne haben sich maximal aneinander genähert, sind aber noch deutlich erkennbar ([Video dazu 190KB](#)).

Für die Praxis in der Klinik ist dies von Bedeutung, [mehr dazu](#)

[Vorherige Seite](#) | [Nächste Seite](#)



4.6 Die Fertilisation wird abgeschlossen Die Ausbildung der Zygote

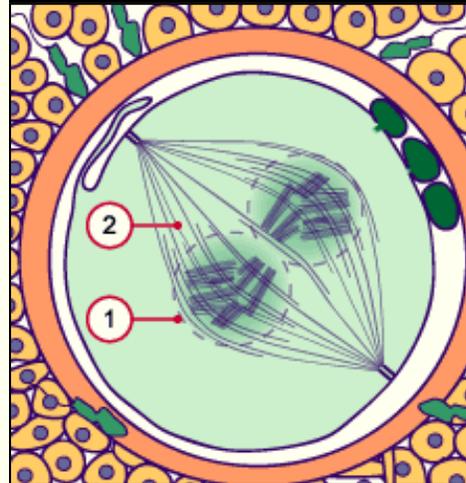
- Einführung in die Bildung und Entwicklung der Vorkerne
 - Bildung des väterlichen Vorkerns
 - Bildung des mütterlichen Vorkerns
 - Synthesephase der DNS in den Vorkernen
- Annäherung der Vorkerne
- **Die Ausbildung der Zygote**

Die Ausbildung der Zygote

Nachdem sich die Vorkerne maximal angenähert haben, findet **keine Verschmelzung** der beiden Vorkerne statt, d.h. ein Zusammenlegen der Chromosomen beider Vorkerne innerhalb einer einzigen Kernmembran, findet nicht statt. Vielmehr **lösen sich die Kernmembranen beider Vorkerne auf** und die Chromosomen beider Vorkerne ordnen sich im Spindelapparat in der Äquatorialebene an. Durch die Anordnung der mütterlichen zusammen mit den väterlichen Chromosomen in einem gemeinsamen Spindelapparat entsteht die Zygote, die erste Zelle des neuen Organismus mit individuellem Genom (2n4C).

Die Teilungsspindel teilt die eben zusammengebrachten Chromosomen auf die zwei ersten Zellen des Embryos auf. Dieser Vorgang zum **Zweizellstadium** findet im Durchschnitt **zwischen 22 und 26 Stunden** nach der Befruchtung statt.

Abb. 49 - Zygote

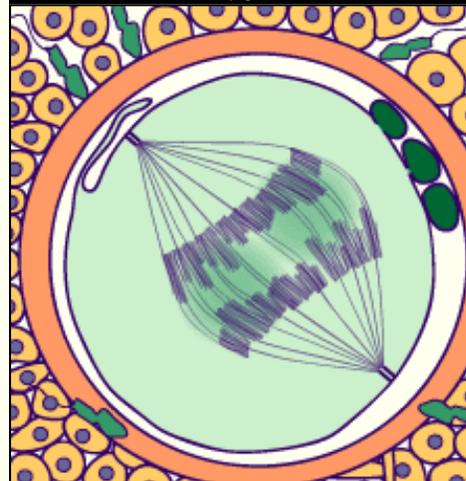


- 1 Kernmembran der Vorkerne, in Auflösung begriffen
- 2 Mikrotubuli der Teilungsspindel

Legende

Abb. 49
22h nach der Befruchtung hat sich eine Teilungsspindel gebildet ([mehr dazu](#)). Die Kernmembran beider Vorkerne löst sich auf. Dies ist das sichtbare Zeichen dafür, dass die Zygote entstanden ist.

Abb. 50 - Zygote teilt sich



Legende

Abb. 50
23h nach der Befruchtung. Spindelapparat in Anaphase. Die Chromosomen werden auseinander gestossen. ([mehr dazu mit Video 620KB](#) oder [940KB](#))

Kommentar und Zusammenfassung:

Die **Zygote** - definitionsgemäss die erste Zelle des Embryos - macht nur einen **unvollständigen Zellzyklus** durch.

Dies ergibt sich aus der Tatsache, dass die Oozyte ihre letzten Schritte der Reifung erst vollzieht, wenn das Spermatozoon eingedrungen ist. Bei der Ausbildung der Zygote wird also ein leicht anderer Weg beschritten, als man vielleicht annehmen würde. Die Erbinformationen beider Eltern werden mit dem Eindringen des Spermiums **nicht** gleich zusammengeführt, um dann gemeinsam verdoppelt und in einer anschliessenden Mitose aufgeteilt zu werden. In Wirklichkeit werden sowohl die väterlichen wie auch die mütterlichen Erbinformationen zuerst in zwei voneinander unabhängigen Vorkernen verdoppelt und auch dort wieder zu Chromosomen kondensiert, um sich gleich darauf in die Äquatorialebene der Teilungsspindel einzureihen.

Das Ziel der Befruchtungskaskade ist damit erreicht:

- Die Herstellung eines **diploiden** Chromosomensatzes
- Die Determination des chromosomalen Geschlechts des neuen **Individuums**
- Die Induktion von normalen "**Furchungsteilungen**" zur Embryogenese.

[Anfang des Kapitels](#) | [Vorherige Seite](#) | [Nächstes Kapitel](#)



4.8 Kurz gefasst

MODUL 4

KAPITEL

LERNZIELE

QUIZ

KURZ GEFASST

REFERENZEN

◀ SEITE ▶

EMBRYOGENESE

ORGANOGENESE

HOME

AUSTAUSCHZONE

SUCHEN

HILFE

UP ▲

Für eine erfolgreiche Fertilisation braucht es ein **reifes Spermatozoon** mit einem haploiden Chromosomensatz und eine **reife Oozyte II**, die in der Metaphase der zweiten Reifeteilung der Meiose arretiert ist. Die Vereinigung findet im ampullären Teil der Tuba uterina statt. Der Prozess des Eindringens des Spermatozoons wird als **Imprägnation** bezeichnet. Dadurch wird die Oozyte veranlasst, ihre zweite Reifeteilung zu vollenden, was auch zu einem haploiden Chromosomensatz führt. Die ganze Fertilisation bis zur Ausbildung der Zygote (Zustand der vereinigten Chromosomensätze der beiden Vorkerne in der Metaphasenplatte der ersten mitotischen Teilung) dauert ca. 24 Stunden und entspricht Stadium 1 nach Carnegie (Stadium 1, ca. 1 Tag, ◀1▶). Das Ziel ist die **Wiederherstellung des diploiden Chromosomensatzes und die Determination des chromosomalen Geschlechts**.

Das reife Spermatozoon besteht aus:

- Kopf mit der Akrosomenkappe und dem Kern
- Hals mit zwei Zentriolen
- Mittelstück mit Mitochondrien
- Hauptstück
- Endstück.

Die Spermien durchlaufen eine Reihe von Aktivierungsvorgänge auf ihrem Aszensus durch Cervix, Cavum uteri und Tuba uterina, welche als **Kapazitation** bezeichnet werden. Dadurch werden gewissen Makromolekülen, die von der Seminalflüssigkeit herkommen, von der Oberfläche der Spermien eliminiert. Im weiteren werden die Spermien dadurch besser beweglich und auf die **Akrosomalreaktion** vorbereitet.

Nach erfolgter Imprägnation der Oozyte durch ein Spermatozoon wird eine kortikale Reaktion der Oozyte ausgelöst, was zu einem **Polyspermieblock väterlichen** bzw. **mütterlichen** Vorkern. Sie nähern sich langsam und ca. 22 h nach Imprägnation der Eizelle bildet sich die Zygote, indem sich die beiden Chromosomensätze in einer gemeinsamen Metaphasenplatte anordnen. Die erste Furchungsteilung erfolgt mit den Teilungsspindeln, die vom proximalen Zentrosom des Spermatozoons stammt. Mit der Entstehung von zwei Tochterzellen ist die Fertilisation abgeschlossen. Die Präimplantationsphase hat damit begonnen.

[Liste der Kapitel](#) | [Nächstes Kapitel](#)

Modul
Befruchtung

4



4.9 Referenzen

1. Die Reifung humaner Spermien im Nebenhoden, Trevor G. Cooper, Reproduktionsmedizin 2000.16:299-300, Springer Verlag
2. Paternal inheritance of mitochondrial DNA. Schwartz M., Vissing J.; New England Journal of Medicine 347: 576-579.

◀ SEITE ▶

EMBRYOGENESE

ORGANOGENESE

HOME

AUSTAUSCHZONE

SUCHEN

HILFE

UP ▲

Liste der Kapitel _

-