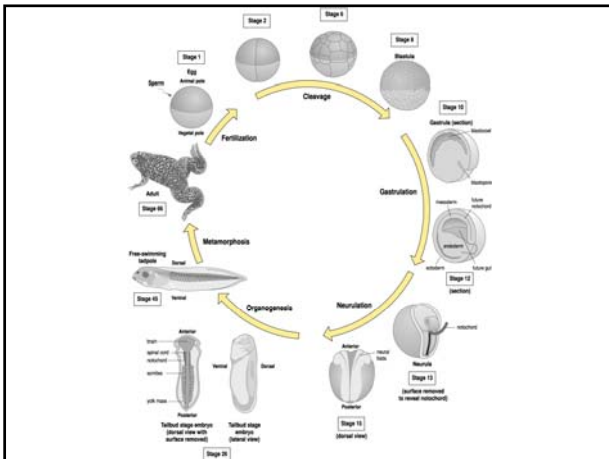


## Entwicklungsbiologie 02

Ernst A. Wimmer  
Abteilung Entwicklungsbiologie

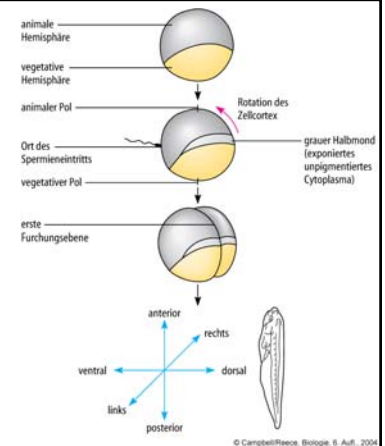
## Entwicklungsabschnitte

- **Embryonalphase: (Embryogenese)** entscheidende Entwicklungsprozesse: **Furchung, Gastrulation, Organogenese**  
auf zellulärer Ebene: **Spezifikation, Determination, Differenzierung**
- **Juvenilphase:** intensives **Wachstum**  
**direkte Entwicklung**  
**indirekte Entwicklung**  
**Larvalstadien mit Metamorphose**
- **Adultphase:** **regenerative Prozesse (adulte Stammzellen)**
- **Seneszenzphase:** **Alterungsprozesse, Tod**

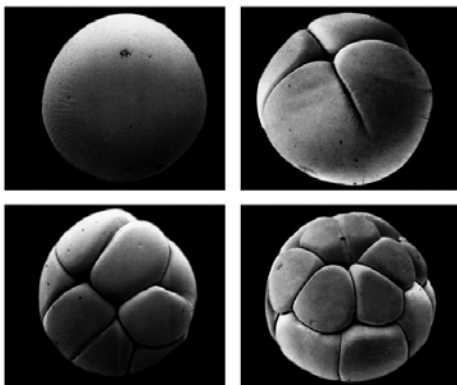


## Befruchtung

- **Rotation des corticalen Cytoplasmas zur Eintrittsstelle des Spermiums**
- **Grauer Halbmond** in Äquatornähe
- **Festlegung der ersten Furchungsebene und der Achsen**



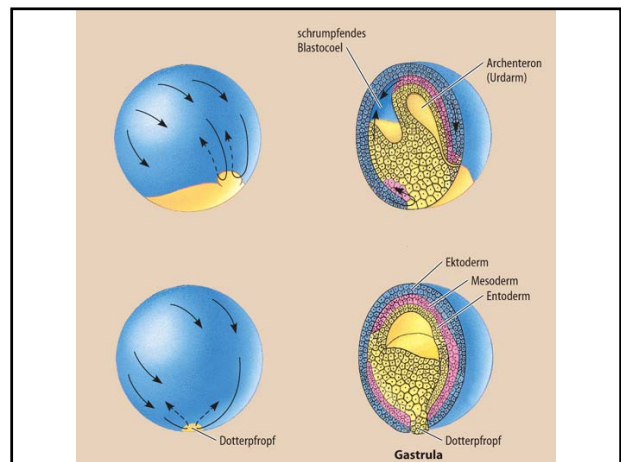
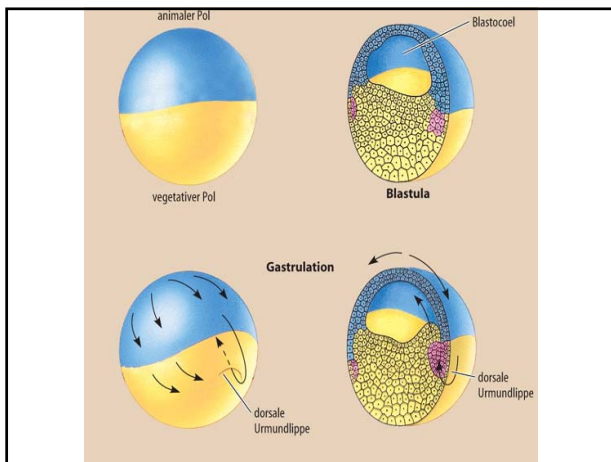
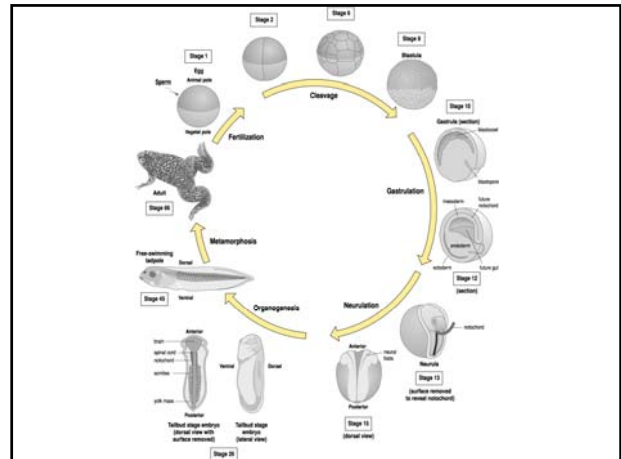
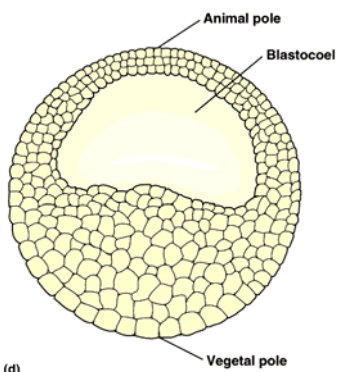
## Furchung beim Froschkeim



## Ergebnis der Furchungsteilungen

- **Blastomeren** einzelne Zellen der ersten mehrzelligen Entwicklungsstadien
- **Morula** kompakter Zellhaufen aus Blastomeren (Maulbeerkeim)
- **Blastula** vielzelliges frühes Entwicklungsstadium in Form einer **Hohlkugel** (Blasenkeim)
- **Blastocoel** innerer Hohlraum der Blastula (**primäre Leibeshöhle**)
- **Animaler Pol** Pol der polarisierten Eizelle, an dem meist der Zellkern liegt
- **Vegetaler Pol** dem animalen Pol gegenüberliegender, dotterreicher Eipol

## Querschnitt durch die Frosch-Blastula

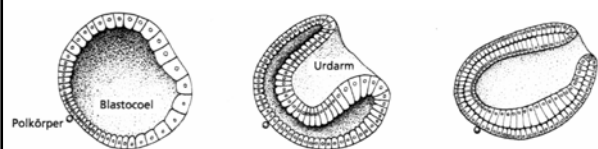


## Gastrulation

- Entwicklungsvorgang, führt zur Ausbildung der:
- **Gastrula** (aus der Blastula)
- und der **Keimblätter**
- verbunden mit morphogenetischen Bewegungen  
**Morphogenese = Bildung der Gestalt**

Lewis Wolpert: Nicht Geburt, Hochzeit oder Tod sondern die Gastrulation ist der wichtigste Augenblick im Leben des Menschen

## Gastrulation durch Invagination



*Branchiostoma lanceolatum*

## Gastrula

- **becherförmiges** Entwicklungsstadium
- entsteht durch Einstülpung oder Einwanderung von Zellen der Blastula
- Zellschichten entsprechen den ersten beiden **Keimblätter (Ektoderm und Entoderm)**
- Entspricht prinzipiell der Organisation bei adulten Schwämmen, Cnidaria und Ctenophora  
**Gastraea-Theorie (Haeckel): Monophylie der Metazoa**

## Ergebnis der Gastrulation

- **Primäre Leibeshöhle** Volumen des Blastocoels (Körperhohlraum zwischen Ekto- und Entoderm) wird eingeengt
- **Urdarm** entodermaler Hohlraum der Gastrula, (gaster, griechisch Magen) entsteht durch Einstülpung des Blastulaepithels: **Archenteron**
- **Urmund** Einstülpungsstelle des Urdarms: **Blastoporus**

## Unterteilung der Bilateria nach Schicksal des Urmundes

### Protostomier (Urmünder)

- Tierstämme, bei denen der **Urmund** der Gastrula zum definitiven **Mund** wird und der **After neu gebildet**

### Deuterostomier (Neumünder)

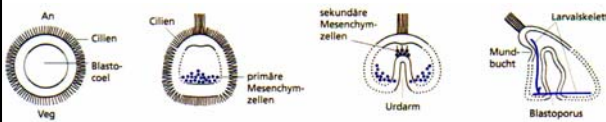
- Tierstämme, bei denen sich in der Ontogenese der **definitive Mund neu bildet** und der **Urmund** der Gastrula zum **After** wird.

**Diese Aufteilung ist noch in vielen Lehrbüchern zu finden, da Unterteilung an sich korrekt, aber die Definition ist in dieser Form heute eigentlich nicht mehr haltbar (siehe Anteroposteriore Achse und Hox-Gene)!**

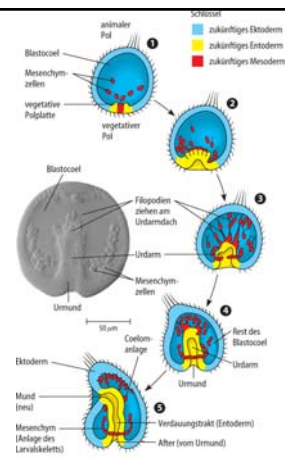
## Formen der Gastrulation

- **Invagination** Bildung des **Urdarms** durch Einstülpung (Branchiostoma, Cnidaria, Echinodermen)
- **Immigration (Ingression)** Einwanderung von einzelnen Zellen ins Blastocoel (primäre Mesenchymzellen beim Seeigel)

## Gastrulation durch Immigration und Invagination



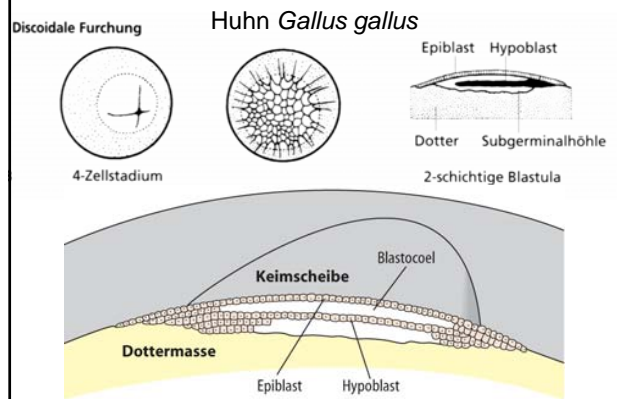
Seeigel *Paracentrotus lividus*



## Formen der Gastrulation

- **Invagination** Bildung des **Urdarms** durch Einstülpung (Branchiostoma, Cnidaria, Echinodermen)
- **Immigration (Ingression)** Einwanderung von einzelnen Zellen ins Blastocoel (primäre Mesenchymzellen beim Seeigel)
- **Delamination** Entodermbildung durch **plattenartige Einwanderung: Abblätterung von Zellschichten** (Hypoblast-Bildung bei Vögeln und Säugetieren)

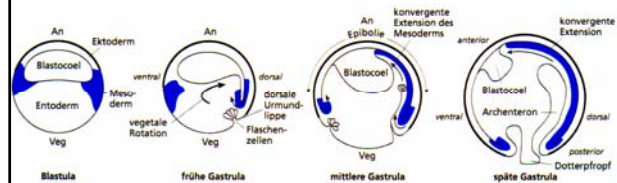
## Gastrulation durch Delamination



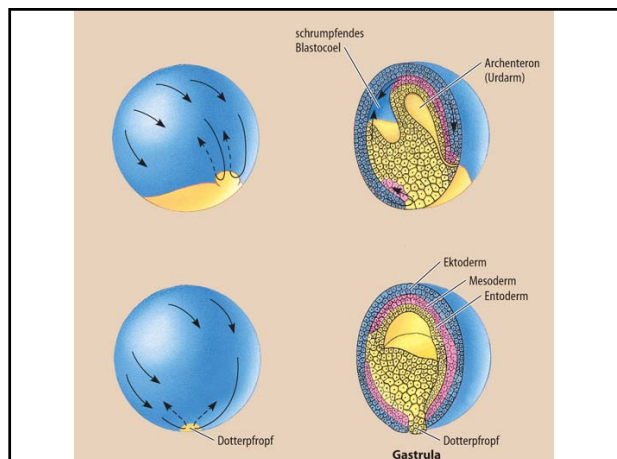
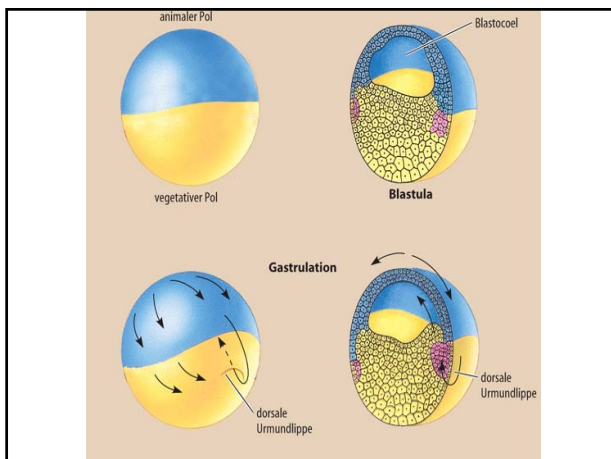
## Formen der Gastrulation

- **Invagination** Bildung des **Urdarms** durch Einstülpung (Branchiostoma, Cnidaria, Echinodermen)
- **Immigration (Ingression)** Einwanderung von einzelnen Zellen ins Blastocoel (primäre Mesenchymzellen beim Seeigel)
- **Delamination** Entodermbildung durch **plattenartige Einwanderung: Abblätterung von Zellschichten** (Hypoblast-Bildung bei Vögeln und Säugetieren)
- **Involution** Umstülpung, Umströmung: Einwanderung über den Blastoporusrand (Mesodermbildung bei Amphibien)
- **Epibolie** Umwachsung einer inneren Masse Ektoderm der Amphibien umschließt Zellen des vegetativen Pols: (Dotterpfropf)

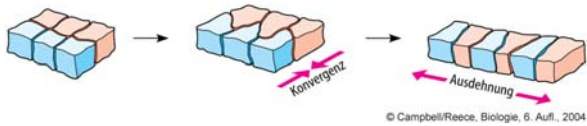
## Gastrulation durch Involution und Epibolie



Krallenfrosch *Xenopus laevis*



## Konvergente Ausdehnung einer Zellschicht



© Campbell/Reece, Biologie, 6. Aufl., 2004

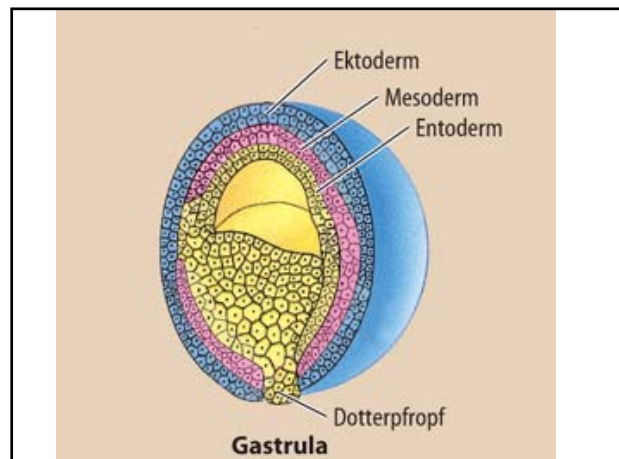
Veränderungen der Zellform und der Zellposition bewirken, dass die Zellschicht schmaler und länger wird. Zellen strecken sich in eine bestimmte Richtung und kriechen zwischen einander (konvergieren). Das Ergebnis dieser Konvergenz ist einer Ausdehnung (Extension) der Zellschicht senkrecht zur Konvergenzrichtung.

## Formen der Gastrulation

- **Invagination** Bildung des **Urdarms** durch Einstülpung (Branchiostoma, Cnidaria, Echinodermen)
- **Immigration (Ingression)** Einwanderung von einzelnen Zellen ins Blastocoel (primäre Mesenchymzellen beim Seeigel)
- **Delamination** Entodermbildung durch **plattenartige Einwanderung: Ablätterung von Zellschichten** (Hypoblast-Bildung bei Vögeln und Säugetieren)
- **Involution** Umstülpung, Umströmung: Einwanderung über den Blastoporusrand (Mesodermbildung bei Amphibien)
- **Epibolie** Umwachsung einer inneren Masse Ektoderm der Amphibien umschließt Zellen des vegetativen Pols: (Dotterpfropf)

## Ergebnis der Gastrulation: Keimblätter

- **embryonale Zellschichten**, die während der Gastrulation gebildet werden
- aus ihnen gehen die verschiedenen **Organsysteme** und **Gewebe** hervor
- äußeres Epithel: **Ektoderm** (1. Keimblatt)
- inneres Epithel: **Entoderm** (2. Keimblatt)
- bei **Bilateria** dazwischen zusätzlich **3. Keimblatt (Mesoderm)**: **triplobastisch** im Gegensatz zu den diploblastischen Radiata



## Organogenese

Aus den Keimblättern bilden sich **Organe**.

- Für die Organogenese müssen die verschiedenen Keimblätter miteinander interagieren. Ende der Präformationstheorie in den 1820ern.

Ausbildung von verschiedenen **Gewebetypen**:

- Epithelien: Haut-, Darm-, Lungen- und Blasenepithel
- Nervengewebe
- Muskelgewebe: quer gestreifte, schräg gestreifte, glatte, Herzmuskulatur
- Bindegewebe: lockeres und formgebendes

## Ektodermale Organe

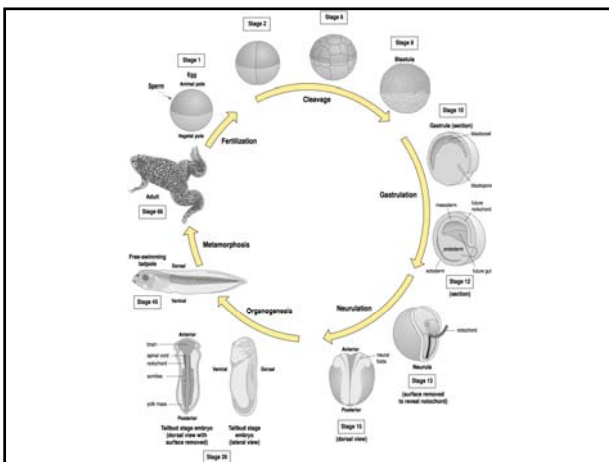
- **Epidermis** und deren Derivate: Hautdrüsen, Haare, Schuppen, Federn
- **Nervensystem** und **Neuralleistenderivate**
- **Plakoden**: beteiligt am Aufbau von Sinnesorganen
- **Vorder- und Enddarm** (Stomodaeum, Proctodaeum)
- **Protonephridien** (vieler Wirbelloser)
- **Malpighi-Gefäße** der Insekten
- **Tracheen**

## Entodermale Organe

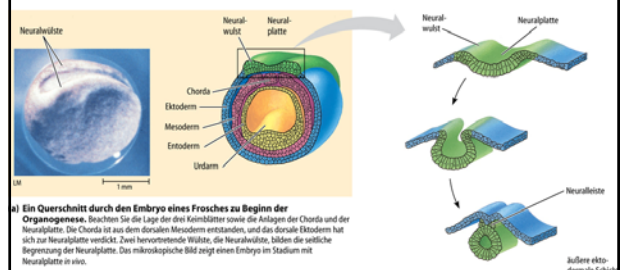
- **Mitteldarm und Anhangsorgane:** Leber, Bauchspeicheldrüse
- **Lungen, Kiementaschen, Schwimmblase**
- einige **endokrine Organe:** Schilddrüse, Nebenschilddrüse
- **Thymus**
- **Blase**
- **Malpighi-Gefäße** der Spinnen

## Mesodermale Organe

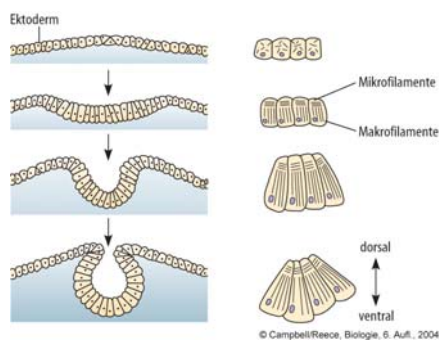
- **Coelom** (sekundäre Leibeshöhle)
- **Notochord**
- **Muskulatur**
- **Bindegewebe**
- **Skelett**
- **Blut und Lymphgefäße**
- **Exkretionsorgane:** Nephridien, Nieren
- **Gonaden und Gonadenausführgänge** (aber nicht die Keimzellen selbst)



## Neurulation



## Formänderungen der Zelle während der Neurulation



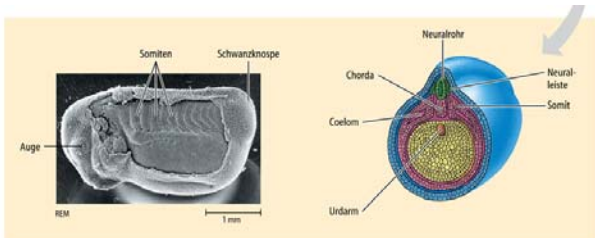
Cytoskelett-Reorganisation: Verlängerung der Makrofilamente (Mikrotubuli) bei gleichzeitiger Kontraktion von Mikrofilamenten (Actin)

## Neurulation

Auf Gastrulation folgender Entwicklungsvorgang bei Chordaten

- Einfaltung der **Neuralplatte**
- Aufwölbung der **Neuralleisten** (Neuralwülste)
- Einsinken der Neuralrinne: Anlage des **Neuralrohrs**

## Neurulation



## Ektodermale Organe der Neuralplatte

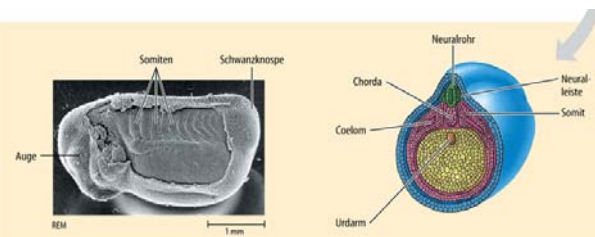
### Neuralrohr

- **ZNS:** Hirnbläschen, Augenblase, Rückenmark, Hypophysenhinterlappen

### Neuralleistenzellen

- Cranial- und Spinalganglien
- Hirnhäute
- Pigmentzellen
- Knorpel und Knochen des Visceralskeletts
- Teile des Seitenliniensystems

## Mesoderm: Somiten



(c) **Somiten.** Der Embryo in diesem Querschnitt besitzt ein geschlossenes Neuralrohr, das von Somiten flankiert wird. Somiten gehen aus dem Mesoderm hervor und werden später segmentale Strukturen bilden, wie Wirbel und segmentale Skelettmuskeln. Das laterale Mesoderm spaltet sich in zwei Gewebeschichten, die als Auskleidung des Coeloms (sekundäre Leibeshöhle) dienen. Die mikroskopische Aufnahme zeigt die seitliche Ansicht eines Embryos im Schwanzknospentadium. Die Somiten sind nach Entfernen des Ektoderms gut sichtbar.

© Campbell/Reece, Biologie, 6. Aufl., 24

## Mesodermale Organe

### Chordamesoderm

- **Chorda dorsalis** bzw. **Notochord** (Zwischenwirbelscheiben)

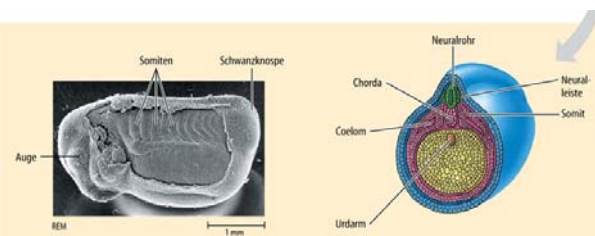
### Segmentierte Somiten: Ursegmente

- **Sklerotom**, bildet Wirbel
- **Myotom**, bildet Muskeln
- **Dermatom**, bildet Unterhautgewebe (Dermis)

### Seitenplattenmesoderm: unsegmentiert

- bildet **Körpercoelom**

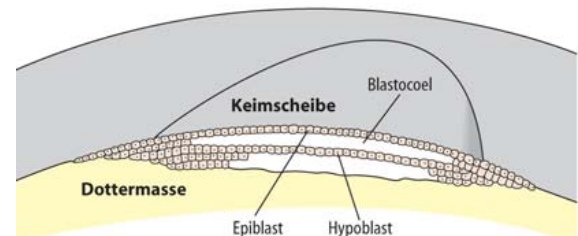
## Mesoderm: Somiten



(c) **Somiten.** Der Embryo in diesem Querschnitt besitzt ein geschlossenes Neuralrohr, das von Somiten flankiert wird. Somiten gehen aus dem Mesoderm hervor und werden später segmentale Strukturen bilden, wie Wirbel und segmentale Skelettmuskeln. Das laterale Mesoderm spaltet sich in zwei Gewebeschichten, die als Auskleidung des Coeloms (sekundäre Leibeshöhle) dienen. Die mikroskopische Aufnahme zeigt die seitliche Ansicht eines Embryos im Schwanzknospentadium. Die Somiten sind nach Entfernen des Ektoderms gut sichtbar.

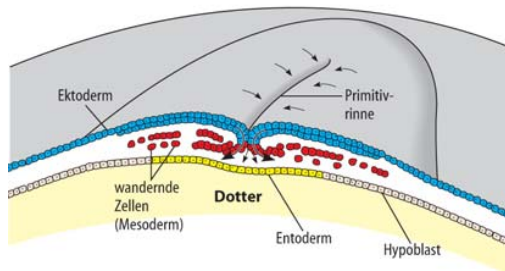
© Campbell/Reece, Biologie, 6. Aufl., 24

## Furchung, Gastrulation und frühe Organogenese beim Hühnerembryo.



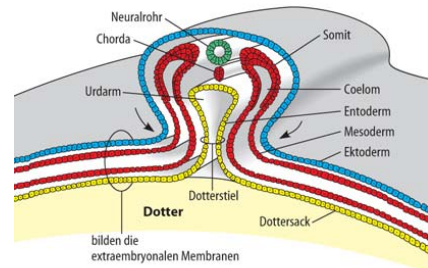
- 1 **Furchung.** Die extrem dotterreichen Eier von Vögeln und Reptilien furchen sich meroblastisch (das heißt partiell). Die Zellteilung beschränkt sich auf eine kleine Kalotte von Cytoplasma am animalen Pol. Infolge der Furchungen entsteht eine zelluläre Keimscheibe, die auf einer großen ungeteilten Dottermasse liegt. Die Keimscheibe reorganisiert sich und bildet zwei Schichten (Epiblast und Hypoblast), die ein Blastocoel umschließen. Dieses Stadium ist demnach eine Blastula.

### Furchung, Gastrulation und frühe Organogenese beim Hühnerembryo.



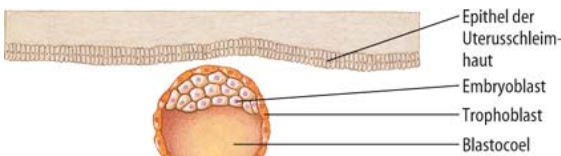
**2 Gastrulation.** Während der Gastrulation wandern bestimmte Zellen (Pfeile) über eine Primitivrinne ins Innere des Embryos, der hier im Querschnitt gezeigt ist. Nach der Passage der Primitivrinne wandern einige Zellen seitlich weg und bilden das Mesoderm, andere wandern fast senkrecht nach unten und bilden das Entoderm.

### Furchung, Gastrulation und frühe Organogenese beim Hühnerembryo.



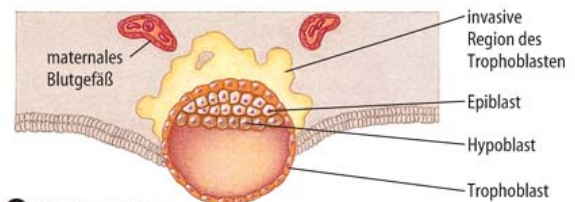
**3 Frühe Organogenese.** Die Darmanlage bildet sich, während der Embryo sich durch seitliche Faltung von der Dottermasse abhebt. Etwa in der Mitte des Embryos bleibt über den Dotterstiel eine Verbindung mit dem Dotter erhalten, die vorwiegend aus Hypoblastzellen besteht. Chorda, Neuralrohr und Somiten bilden sich ähnlich wie beim Frosch. Die drei Keimblätter und der Hypoblast liefern auch Zellmaterial für die extraembryonalen Membranen, die für die weitere Entwicklung von besonderer Bedeutung sind.

### Frühe Entwicklung des menschlichen Embryos



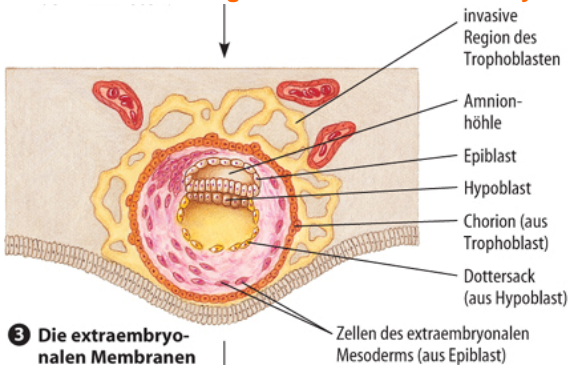
**1 Die Blastocyste im Uterus.**

### Frühe Entwicklung des menschlichen Embryos



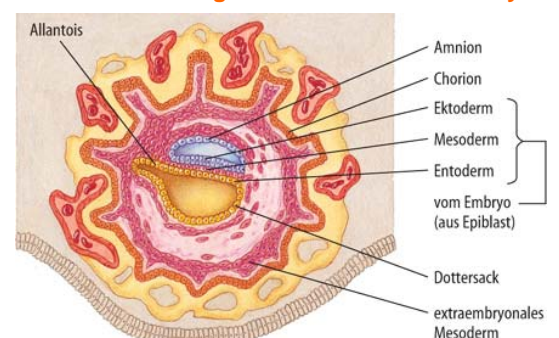
**2 Die Blastocyste beim Einnisten.**

### Frühe Entwicklung des menschlichen Embryos



**3 Die extraembryonalen Membranen beginnen sich auszubilden.**

### Frühe Entwicklung des menschlichen Embryos



**4 Die Gastrulation führt zu einem dreischichtigen Embryo und seinen vier extraembryonalen Membranen.**



### Dottersack

## Embryonalhüllen

- Entsteht durch Umwachsen der Dottermasse von seitlichen Ränder
- Mit ento-mesodermaler Hülle
- Dient der Ernährung des Embryos
- Bei Säugetieren als Relikt erhalten

### Amnion

- ekto-mesodermale **innere Embryonalhülle** der Amnioten (Reptilien, Vögel, Säuger)
- **Wand** der flüssigkeitsgefüllten Amnionhöhle, die den Embryo umgibt

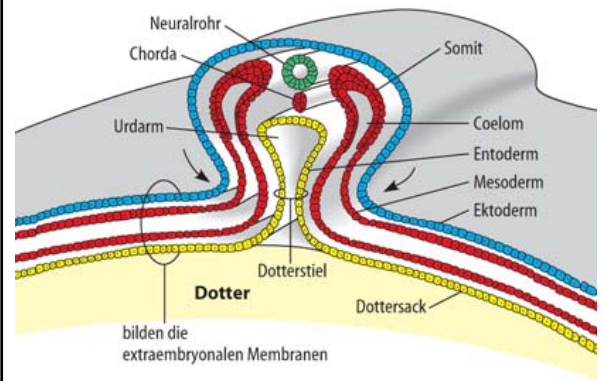
### Serosa (Chorion)

- **äußerste Embryonalhülle** der Amnioten
- Zwischen Amnion und Serosa: **extraembryonales Coelom**

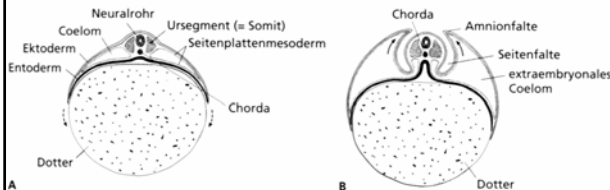
### Allantois

- Aussackung des Enddarms: **Exkretspeicher** und **Atmungsorgan**

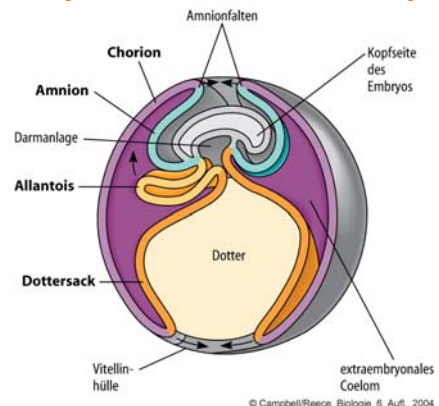
## Embryonalhüllen beim Hühnerembryo.



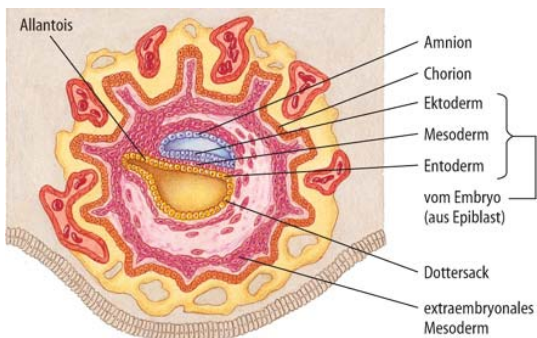
## Embryonalhüllen beim Hühnerembryo.



## Embryonalhüllen beim Hühnerembryo.



## Embryonalhüllen des menschlichen Embryos



4 Die Gastrulation führt zu einem dreischichtigen Embryo und seinen vier extraembryonalen Membranen.

## Embryonalhüllen des menschlichen Embryos

