
Embryologie

Gastrulation, Neurulation, Störungen

David P. Wolfer
Institut für Bewegungswissenschaften und Sport, D-HEST, ETH Zürich
Anatomisches Institut, Medizinische Fakultät, Universität Zürich

376-0151-00 Anatomie und Physiologie I

Do 05.10.2023 10:15-12:00






Gastrulation I

- Gastrulation

- 2→3 Keimblätter:
Ektoderm, intraembryonales Mesoderm, Entoderm
- sichtbare Festlegung Körperlängsachse: kaudal – kranial,
kraniokaudales Entwicklungsgefälle (zB ① → ②)

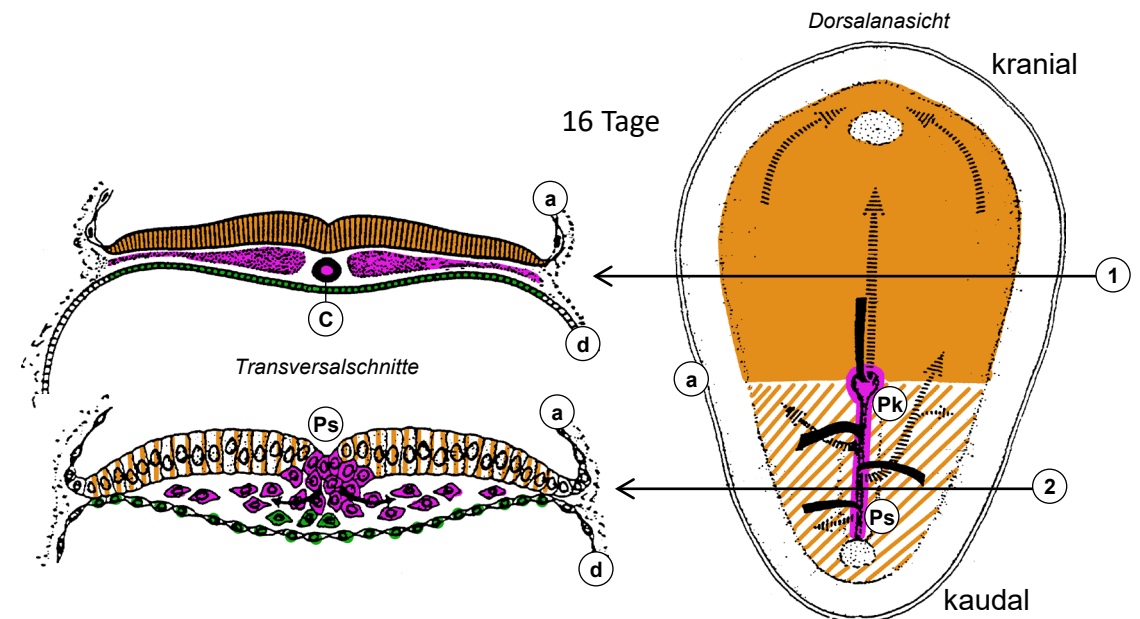
- Primitivstreifen

- Mesoderminvagination (Zellproliferation in Mittellinie des Epiblasts + Verlagerung der Zellen nach ventral) → dann Ausbreitung der neuen Zellen nach lateral und kranial
- → primäres intraembryonales Mesoderm (Mesenchym), am Rand des Embryos Anschluss an Splanchnopleura
- weitere Welle von Zellwanderung nach ventral, Verteilung nach allen Richtungen, Verdrängung des Hypoblasten → Entoderm (später → primitives Darmrohr → Parenchym Verdauungsorgane & Luftröhre + Lunge)

	Epiblast	C	Chordafortsatz
	Hypoblast	Pk	Primitivknoten
	Ektoderm	Ps	Primitivstreifen
	Entoderm	a	Amnion + Splanchnopleura
	Mesoderm	d	Dottersack + Splanchnopleura

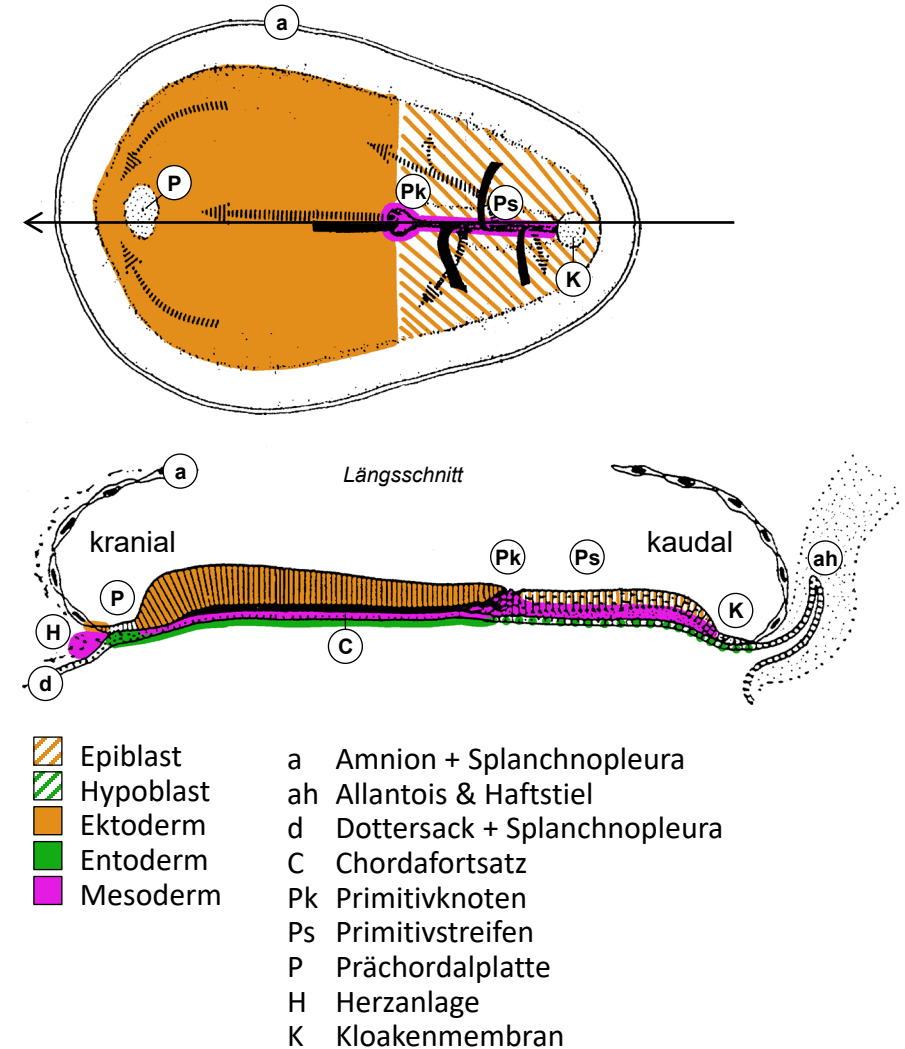
- Primitivknoten

- Mesoderminvagination, Zellwanderung nach kranial
→ Chordafortsatz: zuerst solider Epithelstrang, dann Rohr
- mit Wachstum des Chordafortsatzes Rückzug des Primitivknotens nach kaudal und Verkürzung des Primitivstreifens

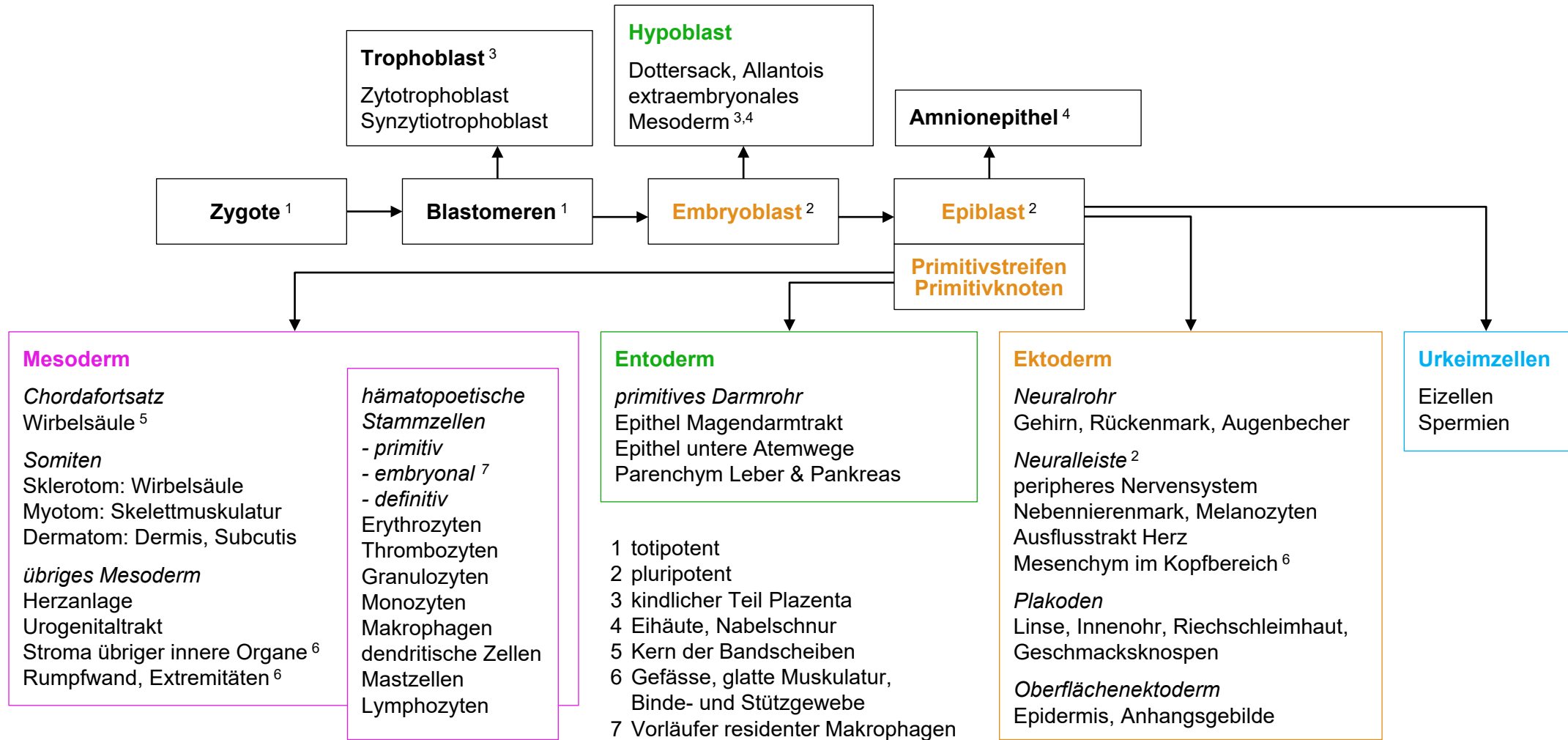


Gastrulation II

- Urkeimzellen: Keimbahn
 - Zellen aus Epiblast, Auswanderung in Dottersackwand
 - später in Embryonalperiode Rückwanderung in Gonadenanlagen
 - Ektoderm
 - was nach Auswanderung der Zellen für intraembryonales Mesoderm, Entoderm und Keimbahn vom Epiblasten übrig bleibt
 - kraniales und kaudales Ende
 - Prächordalplatte: kein Mesoderm, später Eingang Magendarmtrakt
 - Kloakenmembran : kein Mesoderm, später Darmausgang
 - Kopfmesoderm + Herzanlage (Herztätigkeit ab 4. SSW): Mesodermanteile kranial der Prächordalplatte
 - 3 Generationen hämatopoietischer Stammzellen
 - leiten sich vom primärem embryonalem Mesoderm ab, gemeinsame Vorläufer mit Endothelzellen
- * kernhaltige Erythrozyten
- ① primitiv (Ansiedelung in Dottersackwand): früheste noch extraembryonale Blutbildung*
 - ② embryonal (Dottersackwand → Leber): Blutbildung* im Embryo, residente Makrophagen einzige bleibende Abkömmlinge
 - ③ definitiv (Leber → Knochenmark): Blutbildung ab Fetalperiode

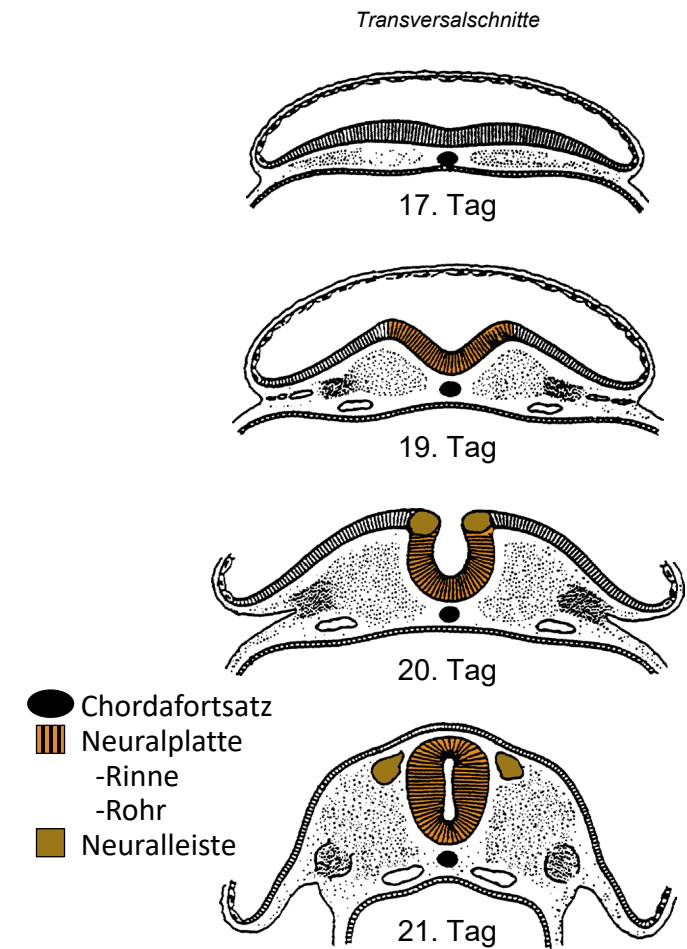


Keimblätter, Zellstammbaum



Neurulation, Entwicklung des Ektoderms

- Neuralrohr
 - erste Organanlagen um Ende 3. SSW schon vor Beginn der Embryonalperiode
 - Neuralplatte → Rinne → Rohr → ZNS: alle Zellen des Nervengewebes ausser Mikroglia (= residente Makrophagen)
 - Neurulation durch Chordafortsatz induziert
- Neuralleiste
 - transitorische Anlage: paariger epithelialer Zellstrang an den Rändern der Neuralrinne → Auflösung durch Ausschwärmen der Zellen in ganzen Embryo: pluripotente Stammzellen → Zellen für viele Organe
 - Derivate: peripheres Nervensystem, Nebennierenmark, Melanozyten, Ausflusstrakt Herz, Mesenchym im Kopfbereich (Hirnhüllen, Schädel, Auge ausser Netzhaut + Linse, Weichteile Gesicht: bestimmen spätere Physiognomie)
- Plakoden
 - lokale Verdickungen des Ektoderms im Kopfbereich → Ablösung → Teile von Sinnesorganen (Linse, Innenohr, Riechschleimhaut, Geschmacksknospen)
- Oberflächenektoderm
 - was von Ektoderm übrig bleibt
 - → Epidermis und epitheliale Anhangsgebilde (Haare, Nägel, Schweißdrüsen)



Somiten, Entwicklung des Mesoderms

- 42-44 Somiten

- primäres intraembryonales Mesoderm → Somiten, intermediäres Mesoderm, viszerales und parietales Seitenplattenmesoderm

- ① Somiten (Ursegmente) transitorische segmentale Anlage, zuerst epithelial, dann Auflösung durch 3 Zellwanderungswellen, Zahl der Somiten → Altersbestimmung, kranio-kaudales Entwicklungsgefälle

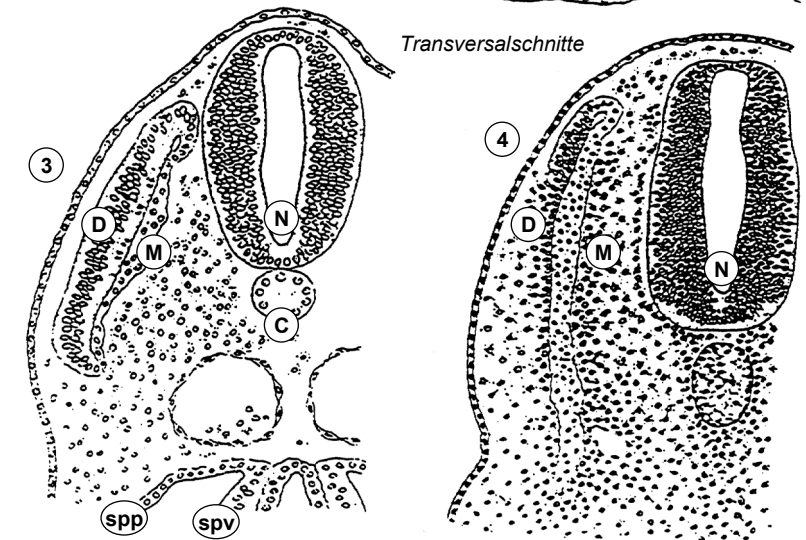
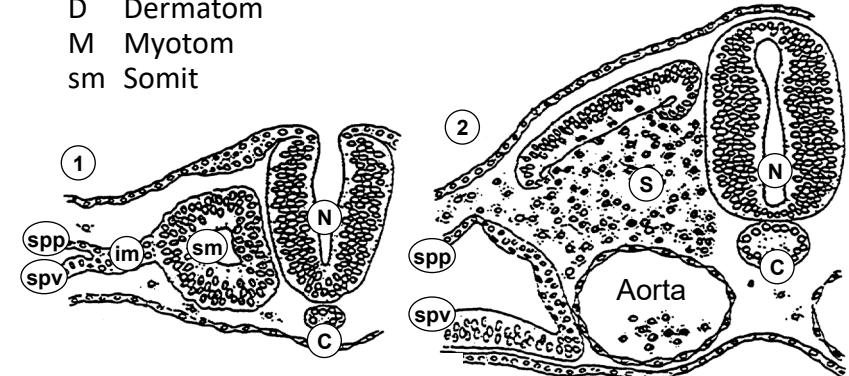
- Sklerotom, Myotom, Dermatome

- ② Sklerotom → Mesenchym für Wirbelsäule (Knochen, Gelenke, Bänder)
- ③ Myotom, Ausschwärmen in Rumpf und Extremitätenanlagen → Myoblasten = Vorläufer der Skelettmuskelfasern, Satellitenzellen
- ④ Dermatome → Mesenchym unter Epidermis → bindegewebige Anteile der Hautdecke: Dermis & Subcutis

- Intermediäres und Seitenplattenmesoderm

- intermediäres Mesoderm → Herzanlage, Anlage des Urogenitaltrakts
- viszerales Seitenplattenmesoderm → Mesenchym → Stroma übriger innere Organe (Organkapsel, Feingerüst, Lamina propria der Schleimhäute, glatte Muskulatur, Blut- und Lymphgefäße)
- parietales Seitenplattenmesoderm → Mesenchym → Binde- und Stützgewebe von Rumpfwand & Extremitäten, inklusive Knochen und Gelenke, Blut- und Lymphgefäße

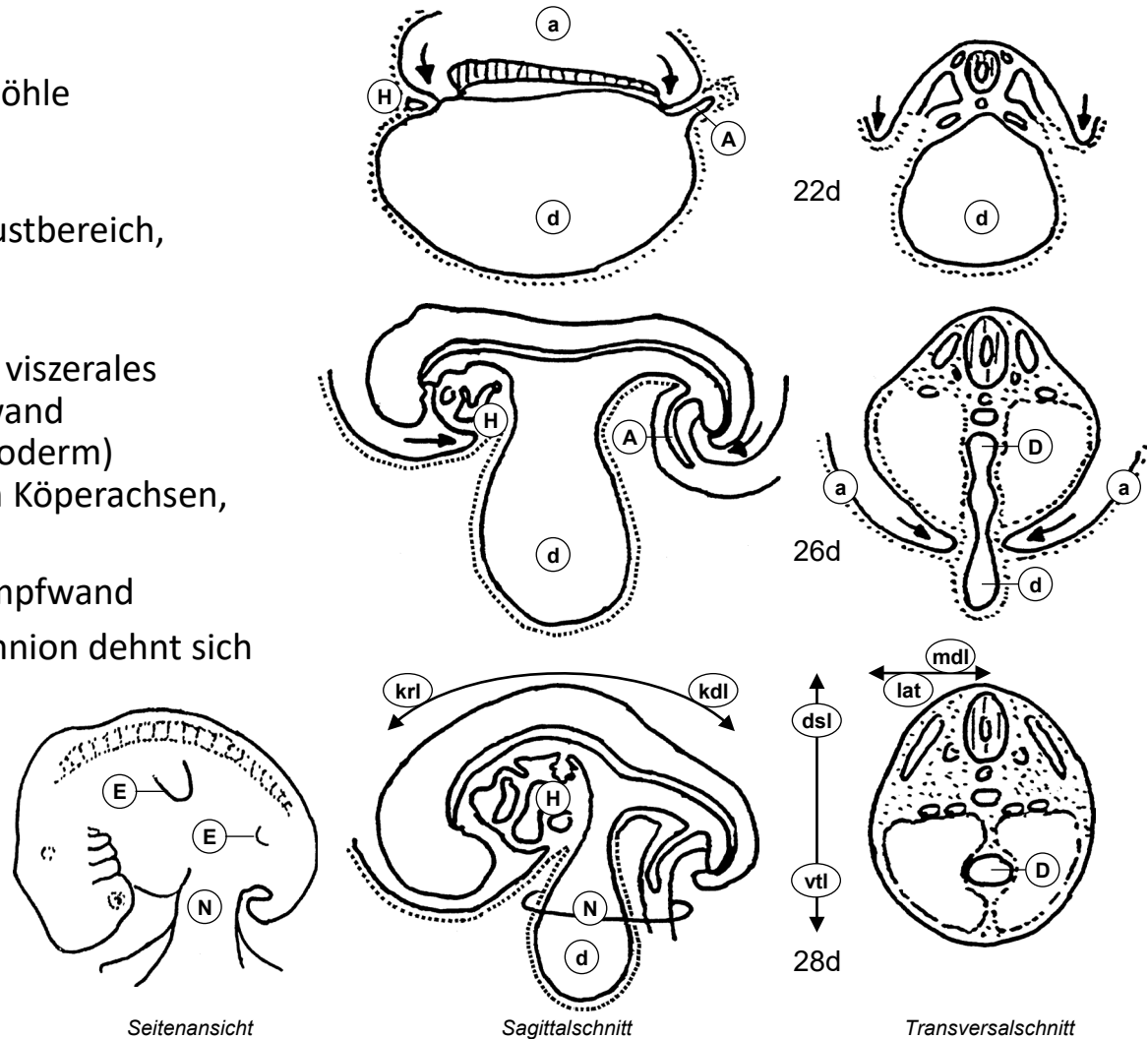
N	Neuralrohr	spv	viszerales Seitenplattenmesoderm
C	Chordafortsatz	spp	parietales Seitenplattenmesoderm
S	Sklerotom	im	intermediäres Mesoderm
D	Dermatome		
M	Myotome		
sm	Somit		



Körperform und Körperachsen

- Frühentwicklung
 - flache Keimscheibe zwischen Dottersack und Amnionhöhle
- Embryonalperiode
 - longitudinale Abfaltung: Verlagerung Herzanlage in Brustbereich, Anlagen von Kopf und Gesicht, sowie des Unterleibs
→ Etablierung der kraniokaudalen Körperachse
 - transversale Abfaltung: Magendarmkanal (Entoderm + viszerales Seitenplatten-Mesoderm), laterale & ventrale Körperwand (Oberflächenektoderm + parietales Seitenplatten-Mesoderm)
→ Etablierung der dorsoventralen und mediolateralen Körperachsen, Bildung von Brust- und Bauchhöhle
 - Anlage der Extremitäten: Auswüchse der lateralen Rumpfwand
 - Dottersack verschwindet, Bildung der Nabelschnur, Amnion dehnt sich aus und bildet mit Chorion Fruchtblase

- | | | | |
|-----|---------|---|-------------|
| krl | kranial | H | Herzanlage |
| kdl | kaudal | A | Allantois |
| mdl | medial | D | Darm |
| lat | lateral | N | Nabelschnur |
| dsl | dorsal | E | Extremität |
| vtl | ventral | a | Amnion |
| | | d | Dottersack |



Wichtige Ereignisse der Früh- und Embryonalentwicklung

1. Woche Befruchtung, Morula, Blastozyste mit Embryoblast und Trophoblast. Wanderung durch Eileiter zum Uterus, Beginn der Implantation.
2. Woche Implantation, Differenzierung des Trophoblasten in Zyto- und Synzytiotrophoblast, primäre Zotten, Arrosion mütterlicher Sinusoide. Differenzierung der zweiblättrigen Keimscheibe, Prächordalplatte, Amnionhöhle, Dottersack, Haftstiel, extraembryonales Mesoderm.
3. Woche Chorion \emptyset erreicht 2mm \rightarrow im Ultraschall erkennbar, Sekundär- und Tertiärzotten. "Gastrulation", Primitivknoten, Primitivstreifen, Chordafortsatz, intraembryonales Mesoderm, Somiten. Neurulation, Neuralrohr, Neuralleiste, Coelom, Blut und Gefässsystem.

Frühentwicklung

Embryonalperiode

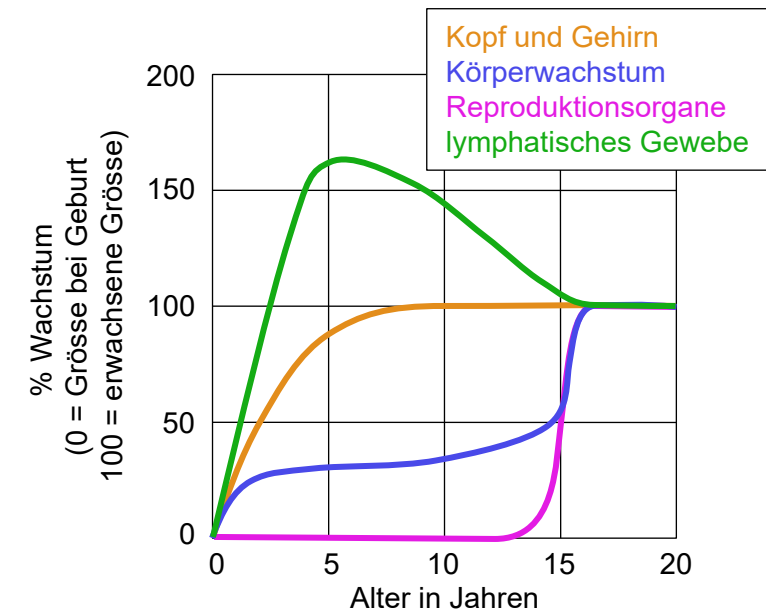
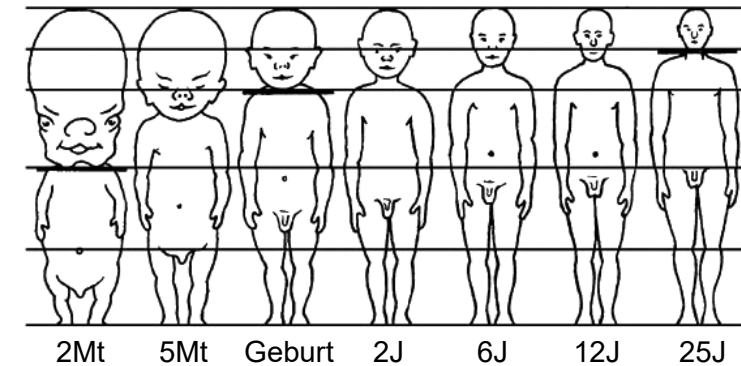
4. Woche: Neurulation abgeschlossen, **Herz** beginnt zu schlagen. Longitudinale und transversale Abfaltung des Embryo. **Armknospe**, Ohrgrube, Schlundbogen, Darmrohr, Nabelstrang.
5. Woche Nasengrube, **Beinknospe**, starkes Wachstum des Kopfes, Begin 5. Woche Scheitel-Steiss-Länge im Ultraschall messbar 4.1 mm
6. Woche Ellenbogen, Handgelenk, Fingerstrahlen, Ohrmuschel.
7. Woche **Finger getrennt**, physiologischer Nabelbruch.
8. Woche Augenlider, **Zehen getrennt**, Schwanz zurückgebildet, Ende 8. Woche Scheitel-Steiss-Länge 30 mm

Organanlagen entstehen durch Zusammentreffen von Zellen aus zwei oder drei Keimblättern

Zellen können vor finaler Differenzierung zwischen epithelialem, mesenchymalen und migratorischem Erscheinungsbild wechseln

Wachstum

- Wachstumsbeurteilung
 - Monitoring von Grösse und Gewicht:
Perzentile = % Population, welche gemessenen Wert unterschreitet.
50% = Median
 - Beurteilung von Verlauf und Wachstumsrate benötigt
mindestens 2 Messungen
- Körper- und Organwachstum
 - Wachstumsverlauf und -Rate unterschiedlich je nach Organsystem,
Körperproportionen verschieben sich:
Kopf $1/2 \rightarrow 1/8$, Beine $1/8 \rightarrow 1/2$ (Mensch ist ein Lauftier)
 - 4 Grundtypen des Verlaufs
 - Kopf und Gehirn: bis Schuleintritt
 - Körper: 2 Schübe, Säuglingsalter + Pubertät
 - Reproduktionsorgane: erst in Pubertät
 - lymphatische Organe: Involution, insbesondere Thymus
- Pubertärer Wachstumsschub
 - zentripetale Sequenz im Skelett:
Füsse/Hände \rightarrow Unterschenkel/-Arm \rightarrow Oberschenkel/-Arm \rightarrow Rumpf,
«zu kleine Schuhe \rightarrow zu lange Arme und Beine»
 - Ende mit Eintritt in Adoleszenz



Fehlbildungen I

- Fehlbildungen

- Entwicklungsstörungen in Frühentwicklung → oft Kompensation oder Spontanabort (ev. unbemerkt), später (va Embryonalperiode) → Risiko manifester Fehlbildung
- Ursachen: 10% Umwelt, 10% genetisch, 80% unbekannt («multifaktoriell», «idiopathisch»)
- teratogen: Umweltfaktor, der Fehlbildungen verursachen kann, zB teratogene Substanzen, Strahlung, Infektionen

- Genetische Faktoren

- breites Spektrum von Folgen: Abort, bei Geburt manifeste Fehlbildung, früh oder spät einsetzende Funktionsstörung (genetische Krankheit), oder nur erhöhtes Risiko für Fehlbildung oder Krankheit (Disposition)
- Aneuploidie: falsche Chromosomenzahl, Trisomie oder Monosomie, kann Autosomen oder Geschlechtschromosomen betreffen
- chromosomale Strukturanomalie: Deletion, Duplikation, Translokation, Inversion
- Einzelgndefekte: nur 1 Gen betroffen, kein oder defektes Protein gebildet

- Häufigste Aneuploidie von Autosomen

- Trisomie 21 (autosomal) = Down-Syndrom (Alter der Mutter)
- geistige Beeinträchtigung, Probleme im Bewegungsapparat

- Aneuploidien der Sexchromosomen

- Klinefelter-Syndrom: XXY Trisomie (1:750), männlich, steril, geistige Beeinträchtigung (oft mild, spät entdeckt)
- Turner-Syndrom: XO Monosomie (1:2,500, hohe Abortrate), weiblich, steril, Kleinwuchs, Pterygium colli (seitliche Halsfalte)

- Beispiel chromosomale Strukturanomalie

- Mikrodeletion im Chromosom 15: Angelmann / Prader-Willi-Syndrom (1:15,000)
- Imprinting (mütterliche oder väterliche Kopie bestimmter Gene wird inaktiviert) von Genen in betroffener Region: Vererbung durch Mutter → AS, durch Vater → PWS

- Beispiele von Einzelgndefekten

- Sichelzellanämie (Hb β -Kette, autosomal, 10-40 % Träger in Malariagebieten, va in Afrika)
- Mukoviszidose (1:4,000, Chlorid-Kanal, autosomal, 5% Träger)
- Duchenne-Krankheit (1:3,300, Dystrophin, X-Chromosom)
- Huntington-Krankheit (1:15k, Huntingtin, autosomal dominant)

Fehlbildungen II

Zeitpunkt
entscheidend!

- Umweltfaktoren

- Frühentwicklung: Spontanabort oder Reparatur
- Embryonalperiode: max. Teratogenität während Bildung der Organanlagen
- Fetalperiode: sensitive Systeme bleiben gefährdet (Bewegungsapparat, ZNS & Sinnesorgane)

- Infektionen

- Viren: Zytomegalie, Röteln; Parasiten: Toxoplasmose
- Zika Virus: Mikrozephalie, auch Fetus gefährdet
- HIV, SARS-CoV2: keine Evidenz für Teratogenität

- Ionisierende Strahlung

- Direkte Schädigung des Embryo oder Auslösung von genetischen Schäden in der Keimbahn

- chemische Stoffe, Medikamente

- Thalidomid, Retinsäure, fetales Alkoholsyndrom, Rauchen

- Mangel - und Unterernährung

- Jodmangel: Kretinismus, Folsäure: Spina bifida
- Kalorienmangel: direkte Teratogenität nicht nachgewiesen

- Pränatale Diagnostik

- nicht ohne Beratung bezüglich Konsequenzen des Resultats: Zuverlässigkeit? therapeutische Massnahmen und Vorbereitung der Geburt oder Schwangerschaftsunterbrechung?
- nicht invasiv, ohne Abortrisiko: Ultraschall (Wachstumskurve, Fehlbildungen), Diagnostik am mütterlichen Blut (hormoneller Status, α -Fetoprotein, genetische Analyse an fetaler DNA)
- invasive (Abortrisiko!) Untersuchungen: Chorionbiopsie (10-14. SSW): transabdominaler oder vaginaler Zugang, fetale Zellen für genetische Diagnostik; Amniozentese (14-18. SSW): transabdominale Punktion, Fruchtwasser + fetale Zellen
- Analyse fetaler DNA aus mütterlichem Blut ab 11. SSW → nicht invasives Screening: experimentell seit 2012 gesamtes fetales Genom sequenzierbar. Kommerzielle und zugelassene Tests erkennen Aneuploidien (Trisomie 13,18,21), ev. einzelne Strukturanomalien – positive Resultate brauchen Bestätigung

- Präimplantationsdiagnostik (PID)

- an Morula in Zusammenhang mit IVF
- in CH 2001 verboten – per 01.09.2017 neues FMedG: Ausnahme zum Ausschluss schwerer Erbkrankheiten, Morulae dürfen für spätere Implantation kryopreserviert werden.