

Herz- und Gefässentwicklung

Prof. Lukas Sommer

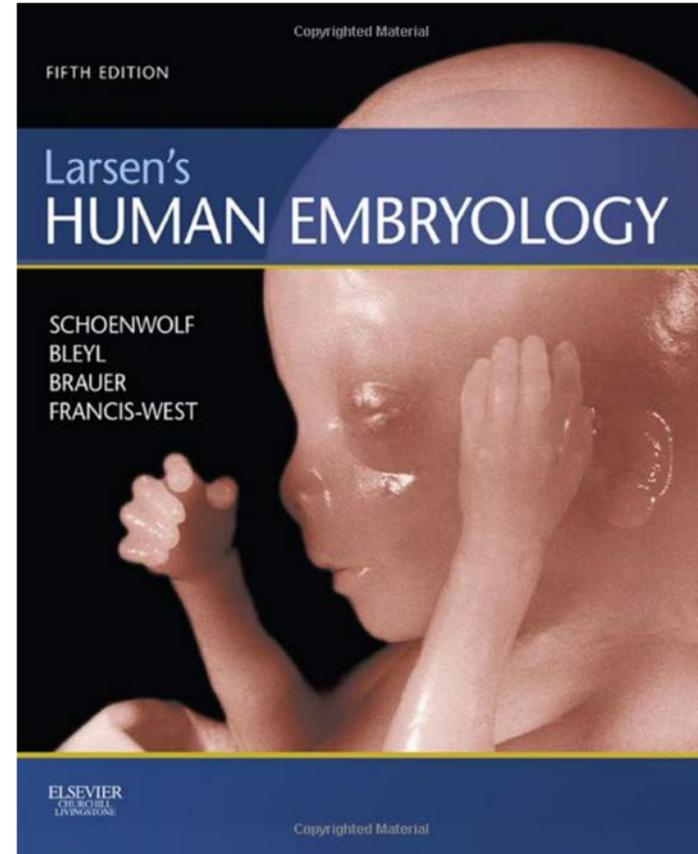
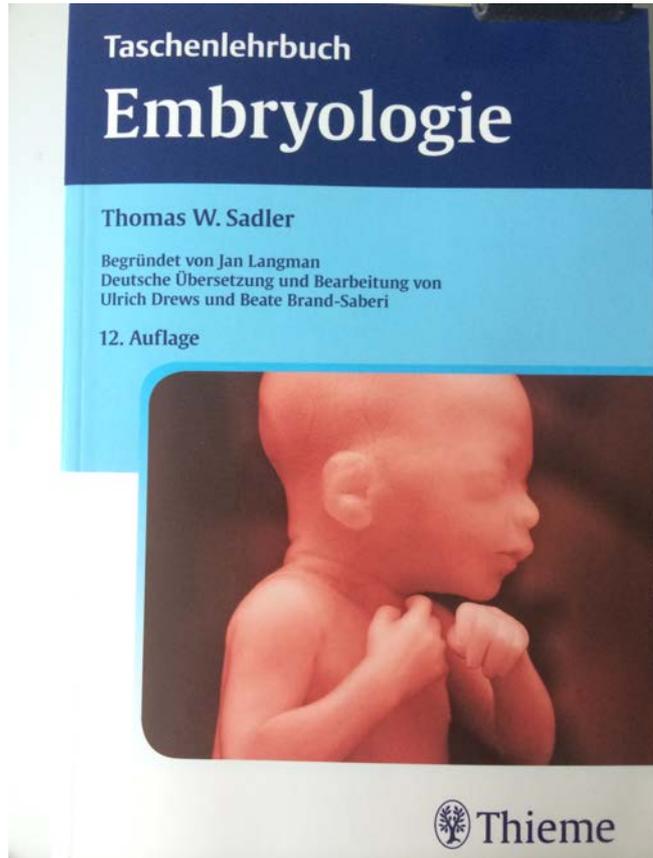
Institut für Anatomie

lukas.sommer@anatomy.uzh.ch

Inhalt

- Frühe Entwicklung: die Herzanlage
- Bildung des Herzschlauchs und der Herzschleife
- Umbauvorgänge der Vorhöfe und Ventrikel
- Entwicklung der Herzsepten und Klappen
- Neuralleiste und die Bildung der Herzausflussbahn
- Entwicklung der Gefäße: Arterien, Venen und Lymphen
- Embryo-fetaler Kreislauf: Umstellung bei Geburt

Empfohlene Literatur



www.embryology.ch (M.Celio, Fribourg)

Herzentwicklung und angeborene Herzfehler

Das Herz ist das erste funktionierende Organ des Embryos, und alle weiteren Vorgänge im Leben eines Organismus hängen von der Fähigkeit des Herzens ab, der Nachfrage des Körpers nach Sauerstoff und Nährstoffen nachzukommen. Kongenitale (angeborene) Herzkrankheiten gehören zu den häufigsten Geburtsfehlern beim Menschen und betreffen ca. 1% aller Neugeborenen. Die Häufigkeit spontaner Aborte aufgrund von Herzfehlern wird auf etwa 10% geschätzt.

Voraussetzungen

- Befruchtung, Blastogenese
- Gastrulation
- Chorda, Neurulation
- Endoderm, Mesoderm, Ektoderm

Blastozyste (13 Tage)

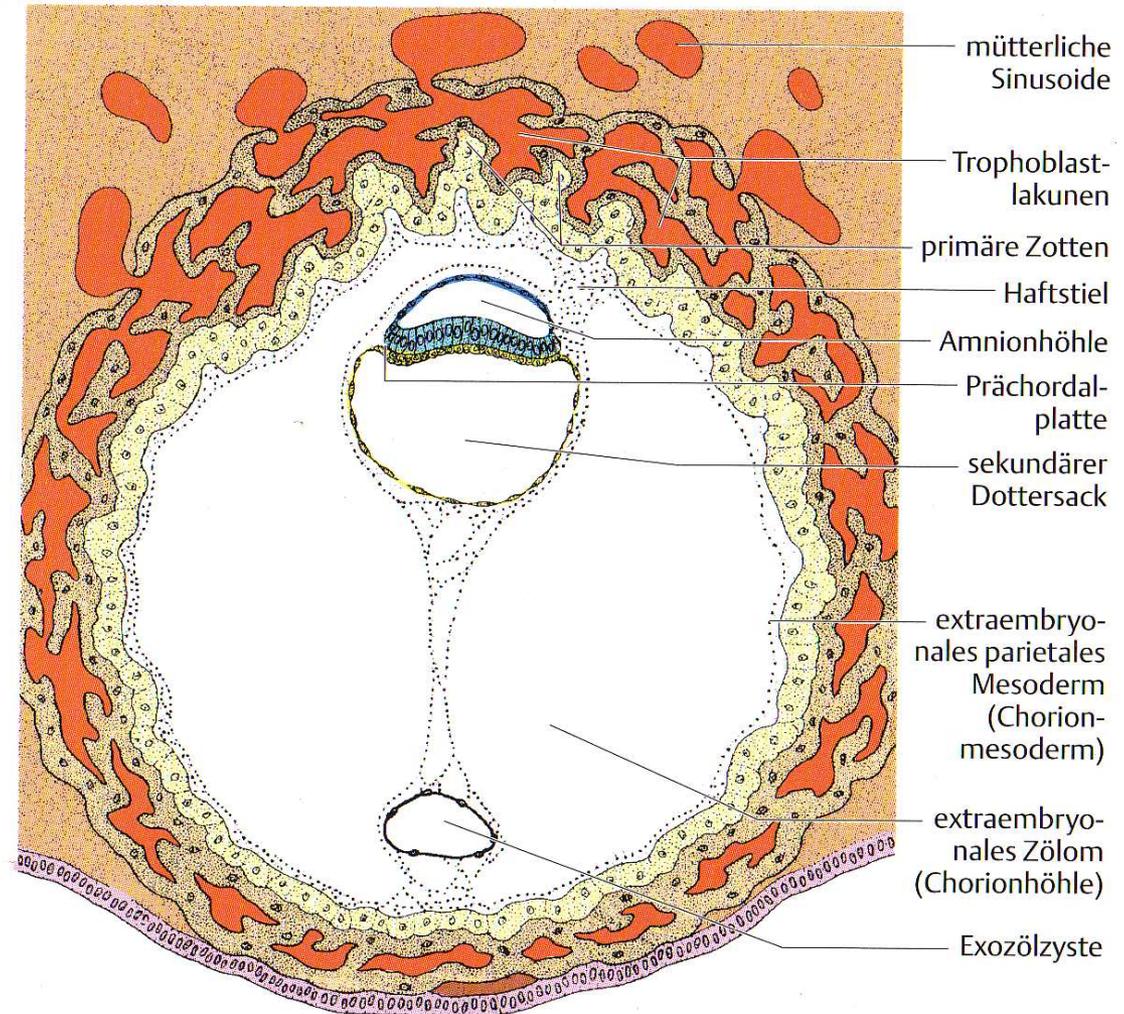
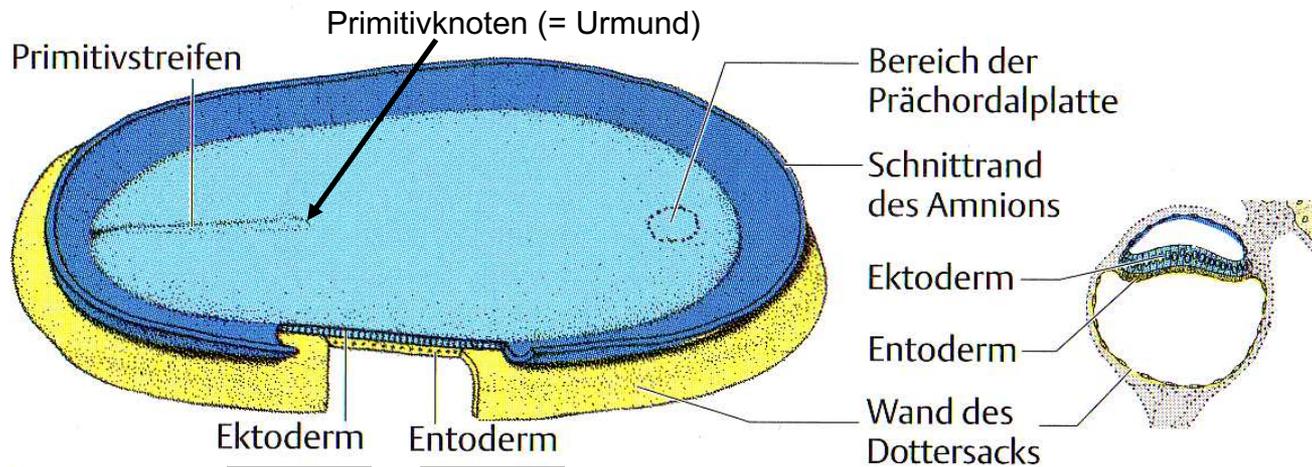


Abb. 3.4 Die Blastozyste ist vollständig in das Endometrium eingebettet. Die Trophoblastlakunen sind jetzt sowohl am embryonalen als auch am abembryonalen Pol vorhanden. Der uteroplazentare Kreislauf hat begonnen. Beachte die Entstehung der primären Stammzotten und des extraembryonalen Zöloms. Der sekundäre Dottersack besitzt eine Wandung aus Entoderm und Dottersack-Mesoderm (extraembryonales viszerales Mesoderm). Die Exozölzyste innerhalb des extraembryonalen Zöloms ist ein Überbleibsel des primären Dottersackes.

Zweiblättrige Keimscheibe ; Bildung von Primitivknoten und -streifen

— Embryonalanlage am Ende der 2. Woche



Aufsicht auf Epiblast

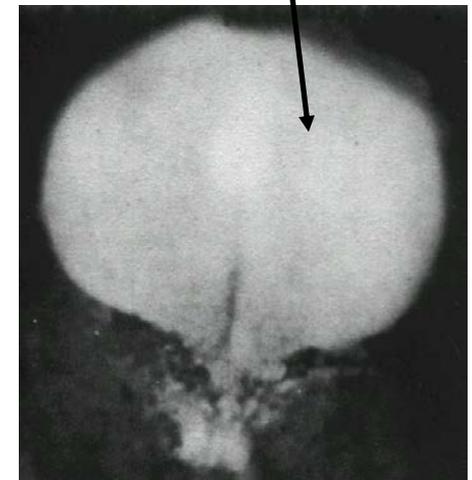
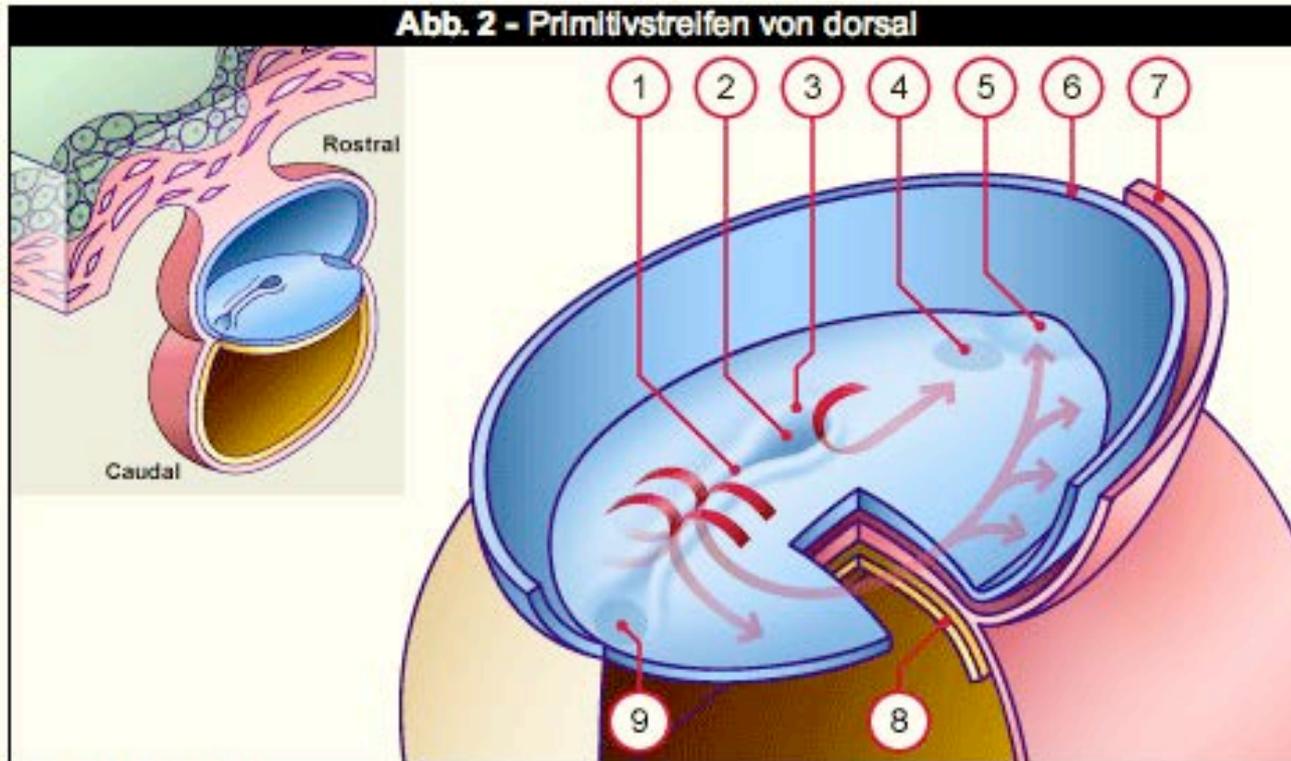


Abb. 4.1 **A** Embryonalanlage mit Haftstiel und einem Segment aus der Chorionwand. **B** Keimscheibe. Die Amnionhöhle ist eröffnet, so daß man von dorsal auf das Ektoderm schaut. Ektoderm und Entoderm liegen noch direkt aufeinander. Kaudal liegt der Primitivstreifen mit der flachen Primitivrinne.

Gastrulation

Umwandlung der 2- zur 3-blättrigen Keimscheibe

Charakterisiert durch Zellproliferation und -wanderung durch Primitivknoten und -streifen

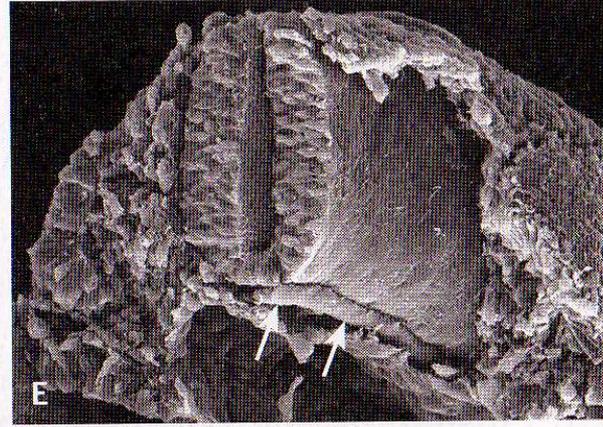
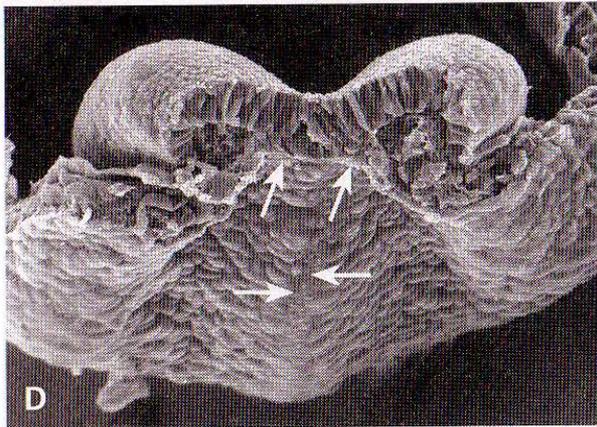
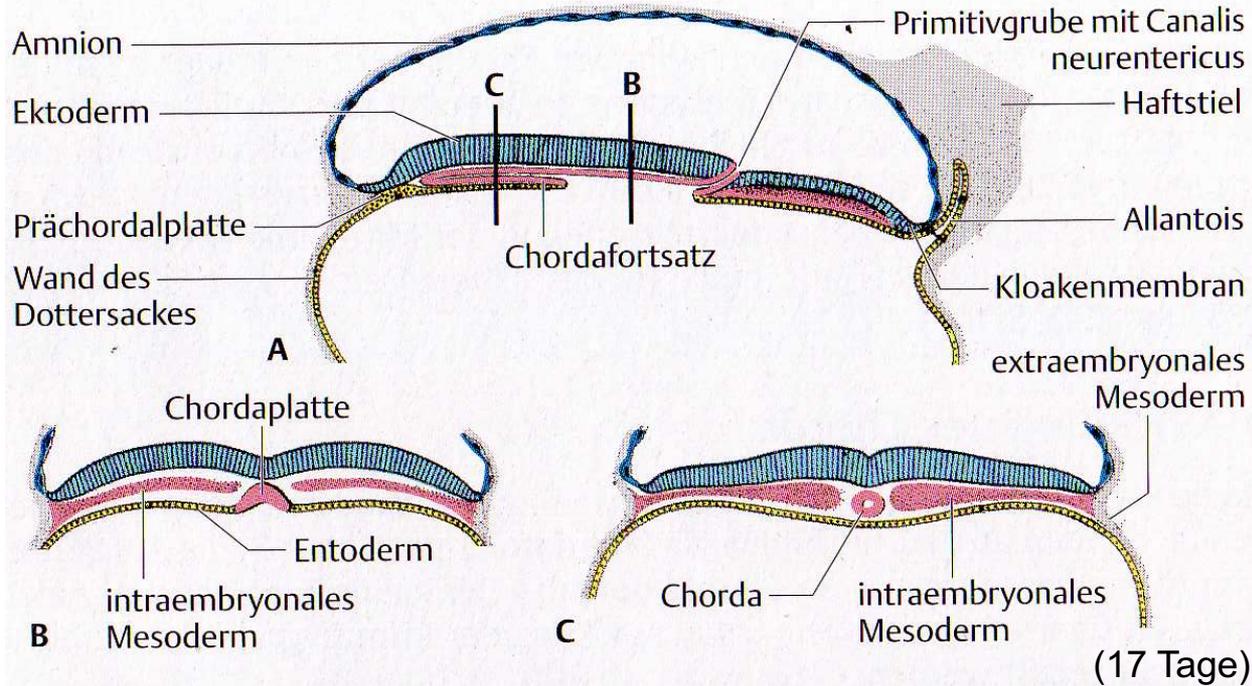


Legende

Abb. 2
Embryonalscheibe von dorsal aus betrachtet
◀ 6 ▶. Die roten Pfeile geben schematisch die Wanderungsrichtung der Epiblastzellen an ihren Bestimmungsort wieder.

- 1 Primitivrinne
 - 2 Primitivgrube
 - 3 Primitivknoten
 - 4 Membrana oropharyngea
 - 5 kardogene Platte
 - 6 Schnitttrand des Amnions
 - 7 Mesoderm
 - 8 Endoderm
 - 9 künftige Membrana cloacalis
- NB** 1+2+3 = Primitivstreifen

Entwicklung der Chorda; Neurulation



Die Chorda dorsalis bestimmt die Longitudinalachse des Embryos. Sie legt die zukünftige Lage der Wirbelkörper fest und induziert den Ektoblasten bei dessen Differenzierung zur Neuralplatte.

Entstehung der Herzanlage: die kardiogene Platte (auch kardiogene Zone genannt)

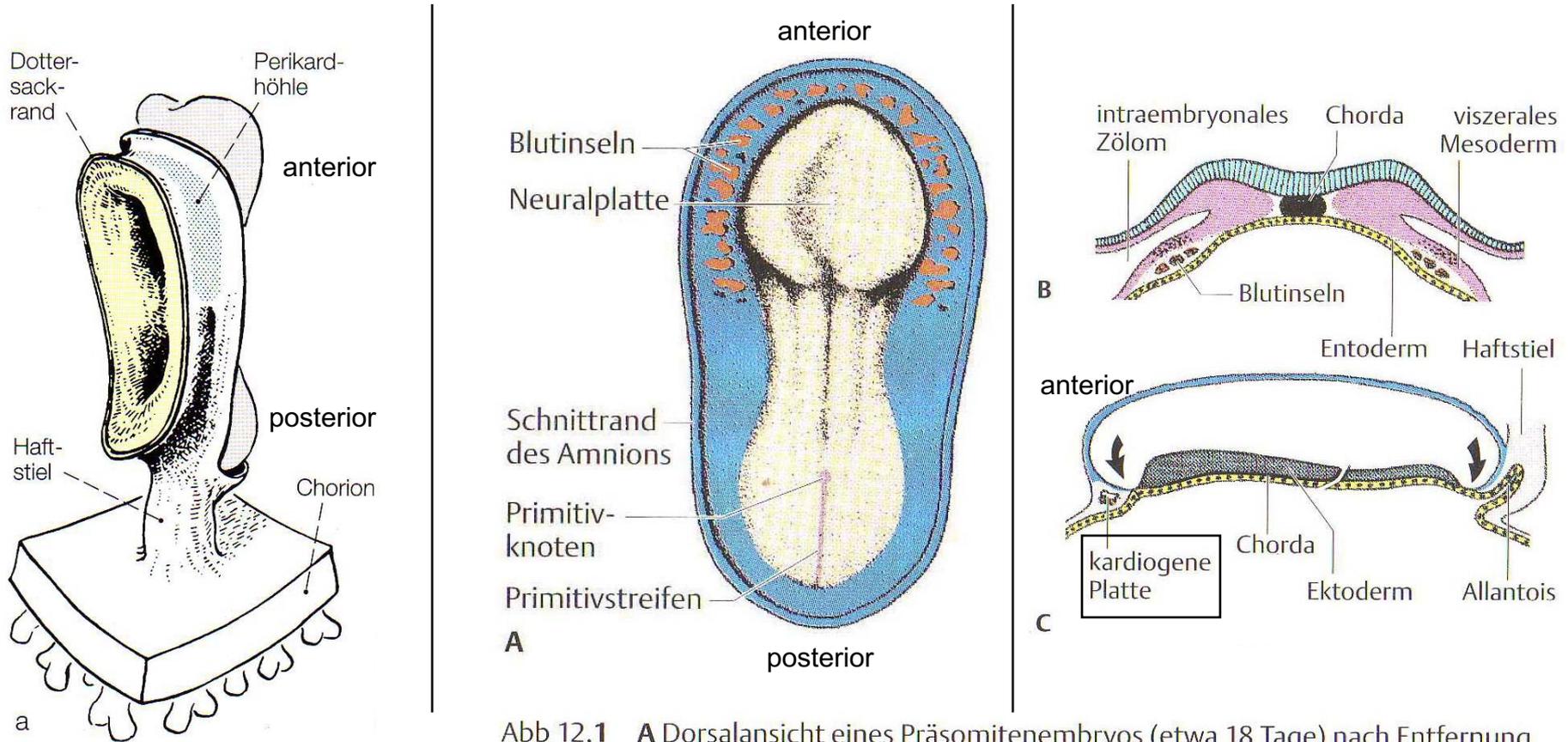
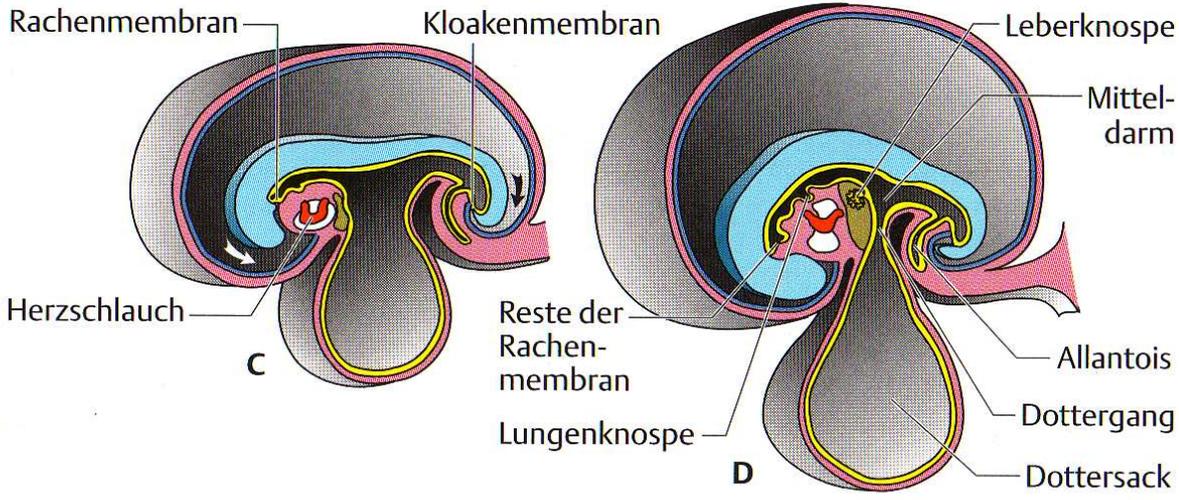
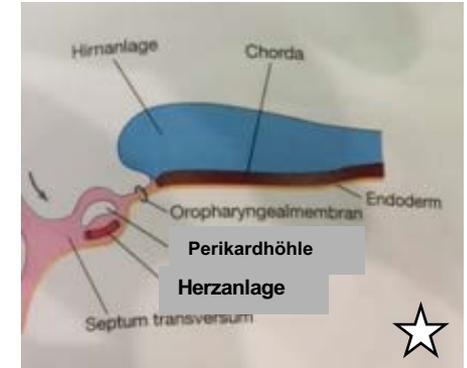
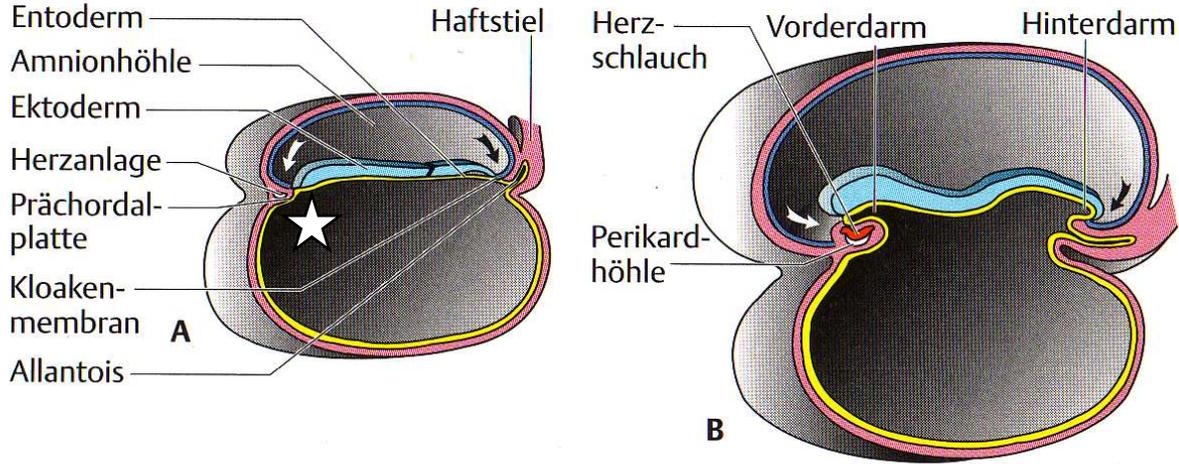


Abb 12.1 **A** Dorsalansicht eines Präsomitenembryos (etwa 18 Tage) nach Entfernung des Amnions. Die Blutinseln in der viszeralen Mesodermis-schicht vor der Neuralplatte und beiderseits des Embryos schimmern durch das Ektoderm und die parietale Mesodermis-schicht hindurch. **B** Querschnitt: Angiogenetisches Material in der viszeralen Mesodermis-schicht. **C** Sagittalschicht: Die Perikardhöhle liegt vor der Prächordalplatte. Die angiogenetischen Zellen fließen zum hufeisenförmigen Herzschauch zusammen, der unter den Neuralfalten des Kopfes liegt (s. Abb. 12.3 A).

Lageveränderung der Herzanlage durch kraniokaudale Krümmung



Von der kardiogenen Platte zum Herzschlauch

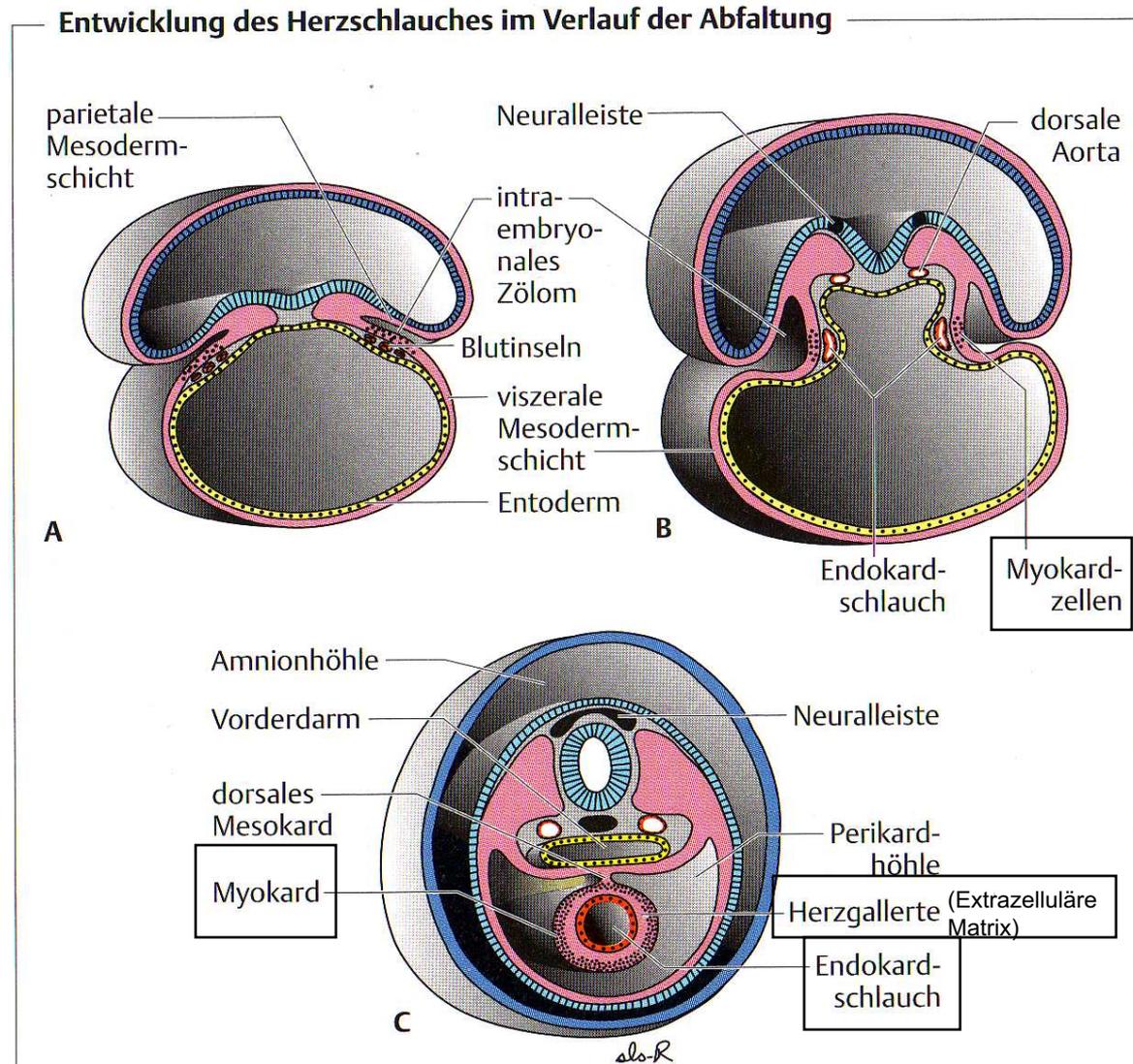
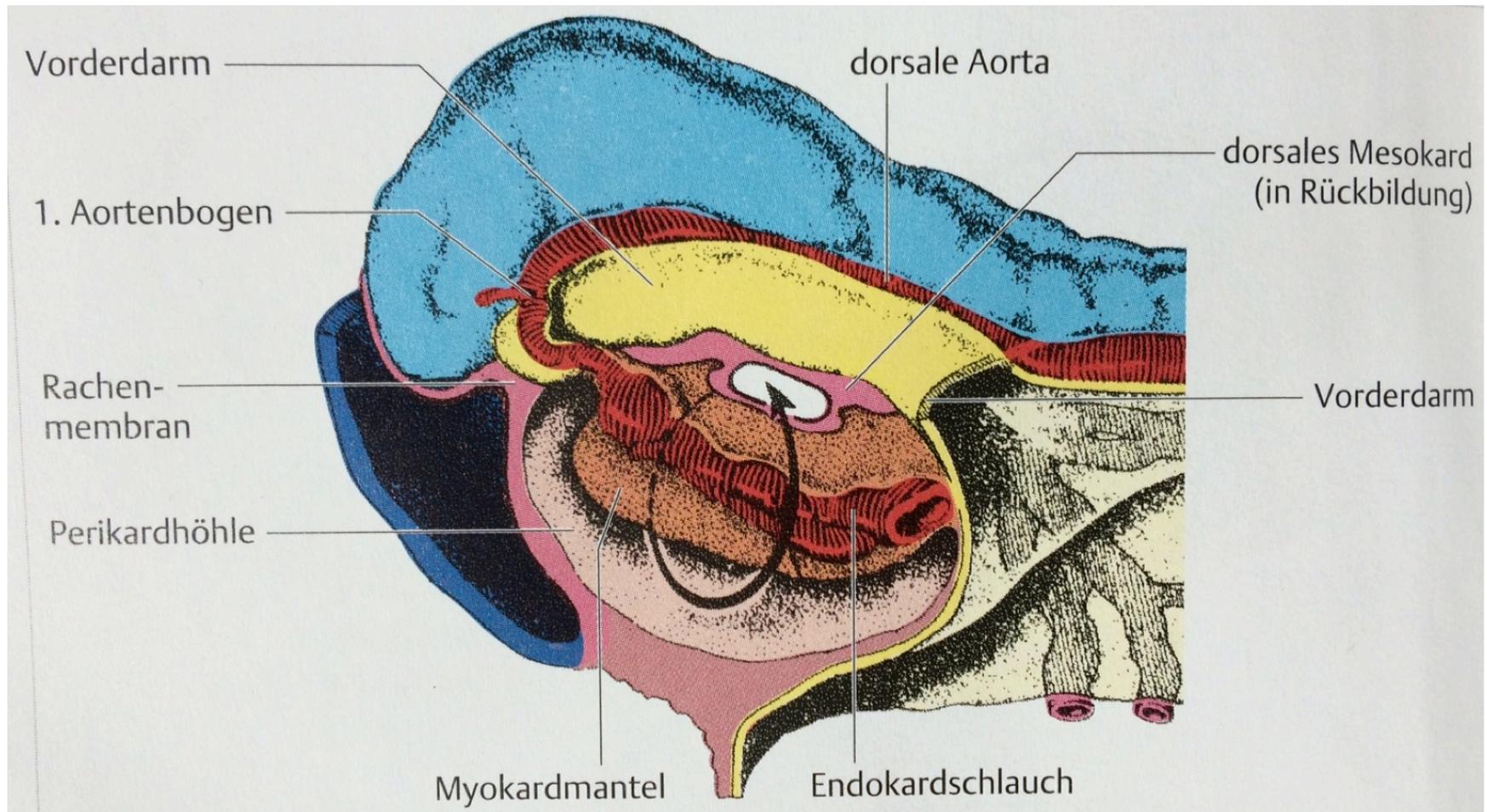


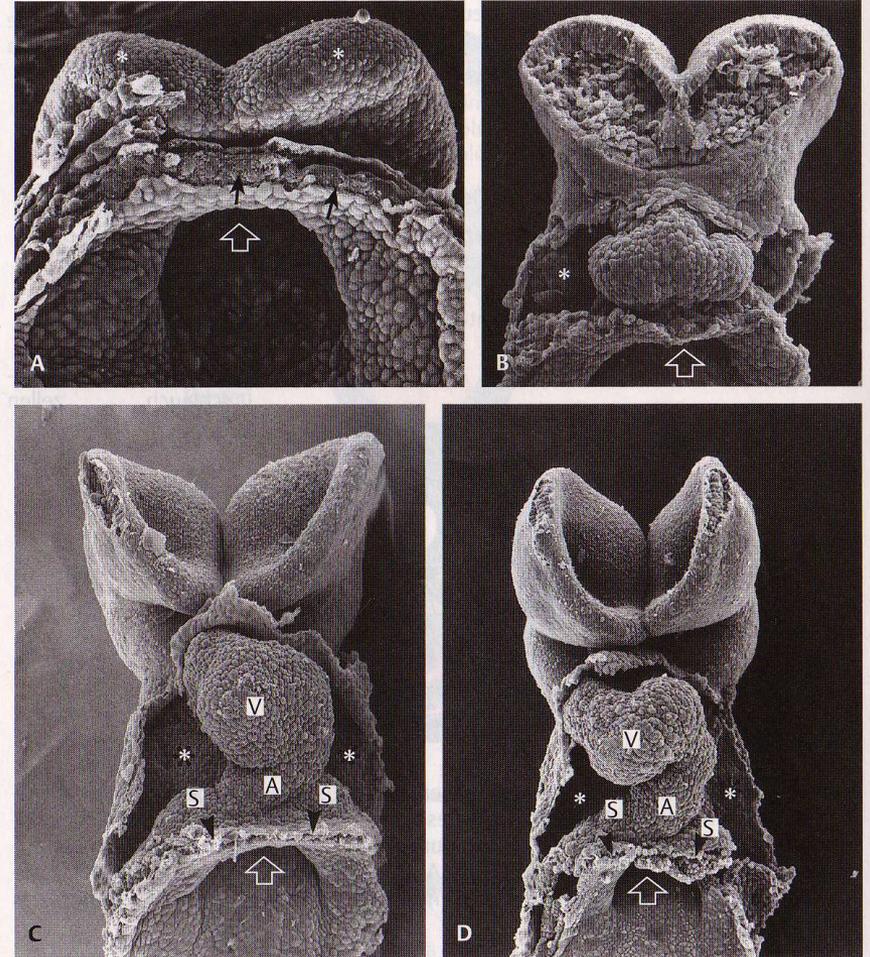
Abb. 12.2 Der einheitliche Herzschlauch entsteht aus zwei paarigen Anlagen. **A** Frühes Präsomitenstadium (17 Tage). **B** Spätes Präsomitenstadium (18 Tage). **C** 8-Somitenstadium (22 Tage). Die Fusion erfolgt nur in dem kaudalen Abschnitt des hufeisenförmigen Schlauches (vgl. Abb. 12.3). Die Ausflußbahn und der größte Teil der Kammerregion entstehen durch Ausdehnung und Wachstum des mittleren Abschnitts des Hufeisens.

Der Herzschlauch nach der lateralen Abfaltung



Herzschlauch aus Endokard und umgebender Herzwand (Myokard) wölbt sich in Perikardhöhle (schwarzer Pfeil). Rückbildung des dorsalen Mesokards (an dem Herzschlauch dorsal aufgehängt)

Schnelles Längenwachstum des kranial und kaudal fixierten Herzschlauches führt zu einer S-förmigen Krümmung, der Herzschleife



Siehe z.B.

<https://www.youtube.com/watch?v=RpZHiwkFUM4>

Abb. 12.3 Rasterelektronenmikroskopische Aufnahmen von Mausembryonen, die den Tagen 19, 20, 21 und 22 der menschlichen Entwicklung entsprechen. **A** Der Herzschlauch (*Pfeile*) liegt hufeisenförmig in der Perikardhöhle unter den Neuralfalten (*Sternchen*). **B** Der Scheitel des Hufeisens erweitert sich zur Anlage der Kammer und der Ausflußbahn. Die kaudalen (venösen) Abschnitte des Hufeisens werden durch die laterale Abfaltung zusammengeführt (vgl. Abb. 12.2). **C** Die Verschmelzung der kaudalen Abschnitte beginnt. Der Herzschlauch ist kurz und fast gerade. **D** Die Verschmelzung der kaudalen Abschnitte ist vollständig. Die kaudalen Enden sind in das Septum transversum eingebettet (*Pfeilköpfe*). Mit der Verlängerung des Herzschlauches entsteht die Herzschleife. Die Vorhofregion verlagert sich nach kranial und dorsal hinter den Ventrikelabschnitt. *Sternchen*: Perikardhöhle; *A*: Vorhofabschnitt; *S*: Sinus venosus; *V*: Ventrikel; *großer Pfeil*: vordere Darmpforte.

Entwicklung der Herzschleife

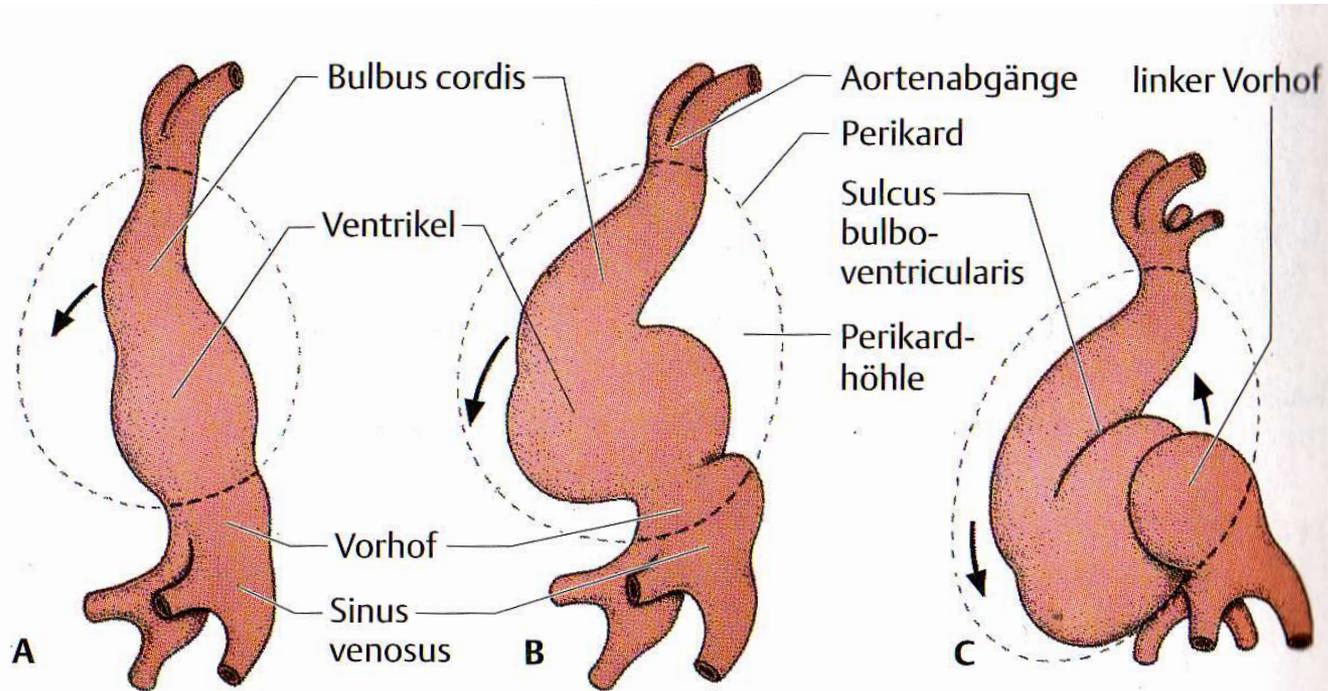
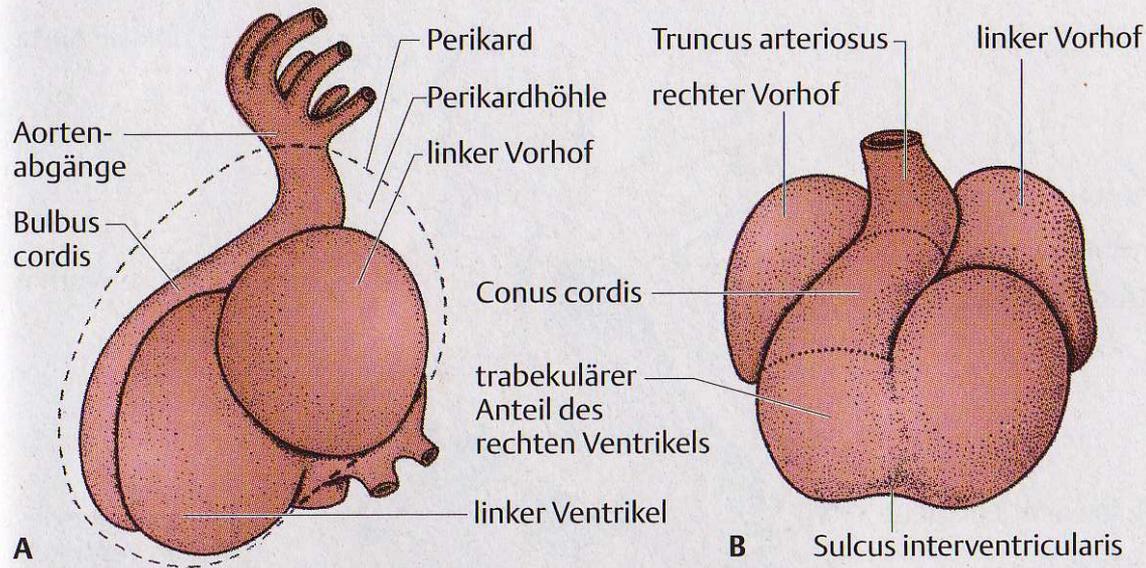


Abb. 12.5 **A** Mit 8 Somiten. **B** Mit 11 Somiten. **C** Mit 16 Somiten. Die gestrichelte Linie zeigt den Verlauf des Perikards. Vgl. auch die elektronenmikroskopischen Aufnahmen in Abb. 12.3 C und D.

Atrium commune: kaudales Einströmungssegment
 Ventriculus communis: mittleres Austreibungssegment
 Conus arteriosus: rostrales Ausströmungssegment

Vorhof verlagert sich nach kranial und dorsal
 -> Rechts gerichtete C-förmige Herzschleife als erste Struktur des Embryos
 mit Rechts-Links Asymmetrie

Herz eines 5-mm-Embryos (etwa 28 Tage)



Sulcus interventricularis:
äusserliche Untergliederung zw. späteren
linken und rechten Ventrikeln

Conus cordis:
Ausflussbahn beider Ventrikel

Truncus arteriosus:
Wurzel der Aorta und A.pulmonalis



Abb. 12.6 **A** Von links. **B** Von frontal. Beachte, daß sich im Bulbus cordis der Truncus arteriosus, der Conus cordis und der trabekuläre Anteil des rechten Ventrikels gegeneinander abgrenzen. Gestrichelte Linie: Perikard. **C** Rasterelektronenmikroskopische Aufnahme des Herzens eines Mausembryos im entsprechenden Entwicklungsstadium; Ansicht wie in B.

– Herz eines 30 Tage alten Embryos

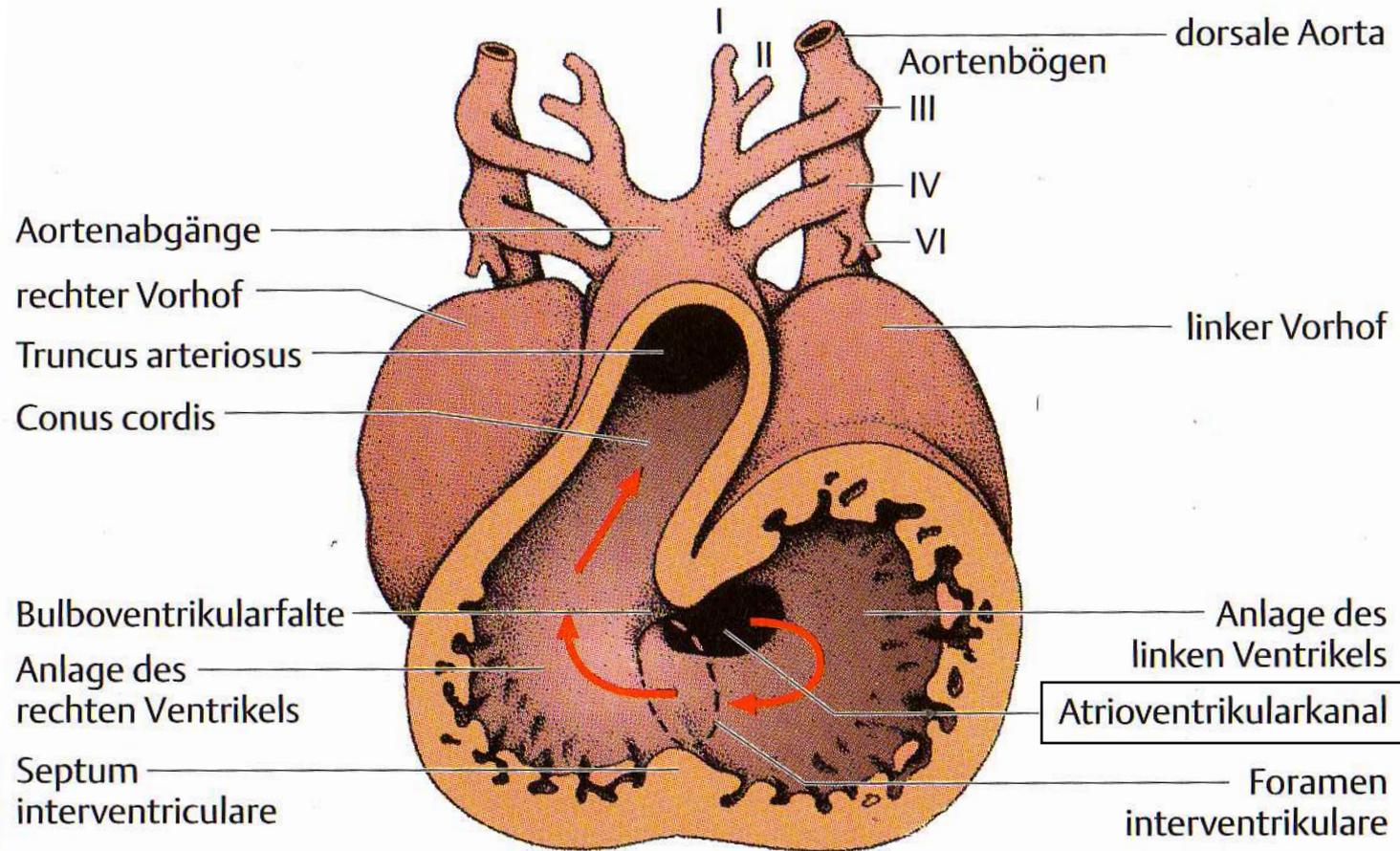
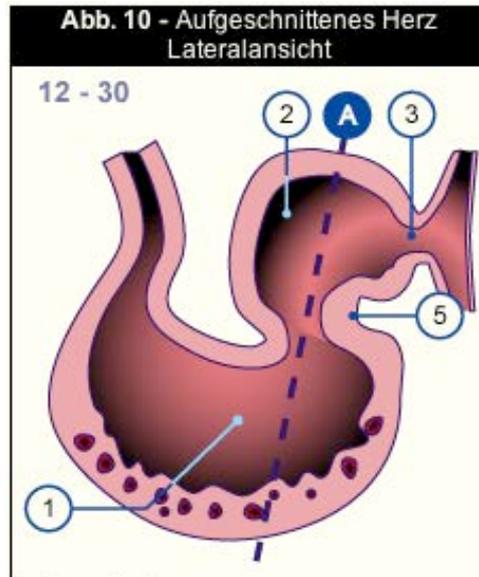


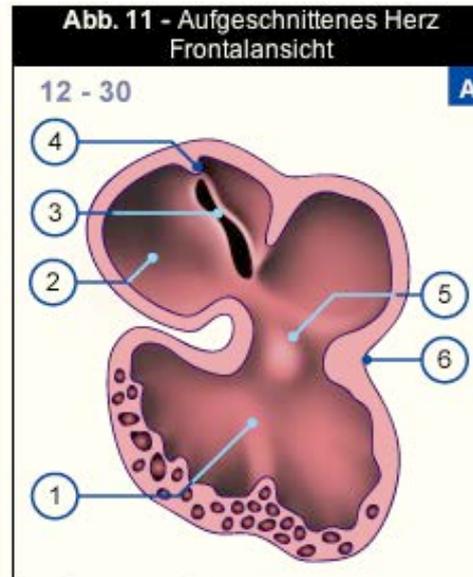
Abb. 12.7 Im Frontalschnitt sind das Foramen interventriculare primum und die Einmündung des Vorhofs in den primitiven linken Ventrikel zu sehen. Beachte die Bulboventrikularfalte. Die Pfeile zeigen die Strömungsrichtung des Blutes an.

Verbindung zw. Vorhof und Ventrikel bleibt eng und wird zum Atrioventrikularkanal

Vom seriellen zum parallelen Kreislauf: Septierung des Herzens



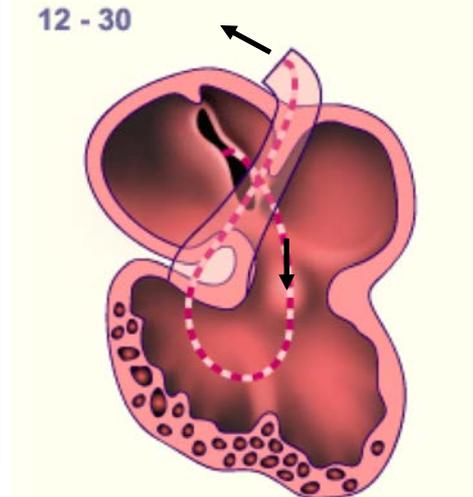
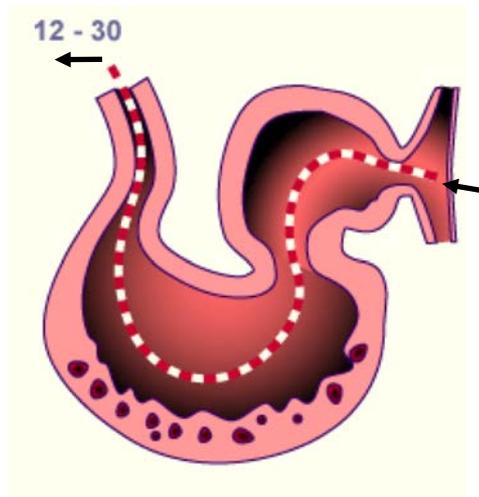
- 1 Ventrikel
- 2 Atrium
- 3 Ostium sinu-atriale



- 4 Septum spurium
- 5 Dorsales Septum atrio-ventriculare im av-Kanal
- 6 Sulcus atrio-ventricularis

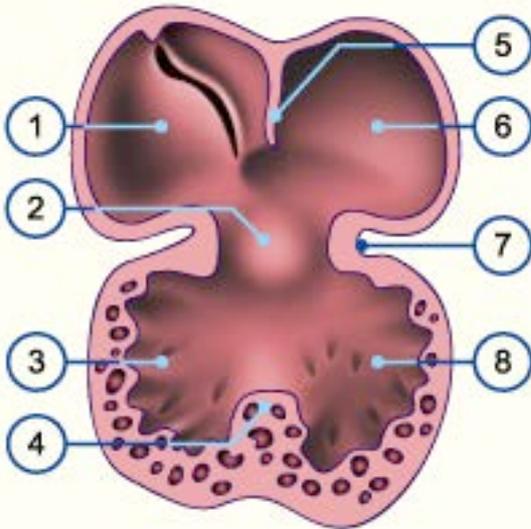
Legende

Abb. 10, 11
Im Stadium 12 (ca. 30 Tagen) tritt das Blut durch das Ostium sinu-atriale in den Vorhof ein und gelangt über den av-Kanal in den gemeinsamen Ventrikel.
Der av-Kanal wird aussen durch den Sulcus atrio-ventricularis eingeengt.



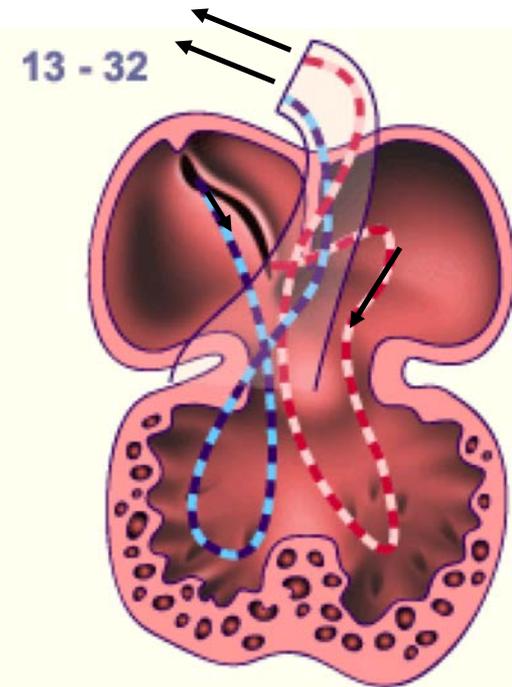
**Abb. 12 - Aufgeschnittenes Herz
Ansicht von ventral**

13 - 32



- 1 Rechtes Atrium
- 2 Dorsales Septum atrio-ventriculare im av-Kanal
- 3 Rechter Ventrikel
- 4 Septum interventriculare
- 5 Septum primum
- 6 Linkes Atrium
- 7 Sulcus atrio-ventricularis
- 8 Linker Ventrikel

Abb. 12
Das Herz im Stadium 13 (ca. 32 Tage) steht der av-Kanal in der Mitte und gewährleistet so, dass jeder Vorhof Kontakt zu seinem Ventrikel bekommt.



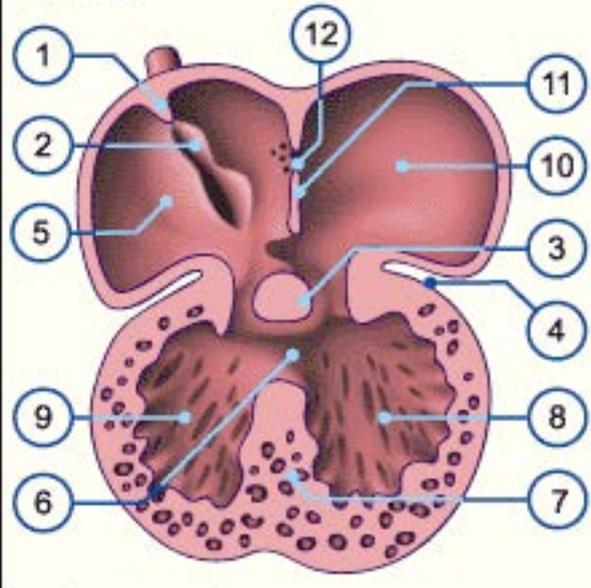
Paralleler Kreislauf schon vor eigentlicher Septierung der Vorhöfe und Ventrikel:

Blut, welches über **V. cava superior** (blau gestrichelt) in den rechten Vorhof fließt, entleert sich durch den **rechten Teil des av-Kanals** vor allem in den **rechten Ventrikel**.

Blut aus den Vv. umbilicales (sauerstoff- und nährstoffreich von der Plazenta) und den Vv. Vitellinae (Dottervenen) via **V. cava inferior** (rot gestrichelt) entleert sich vor allem in den **linken Ventrikel**

**Abb. 13 - Aufgeschnittenes Herz
Ansicht von ventral**

15 - 36

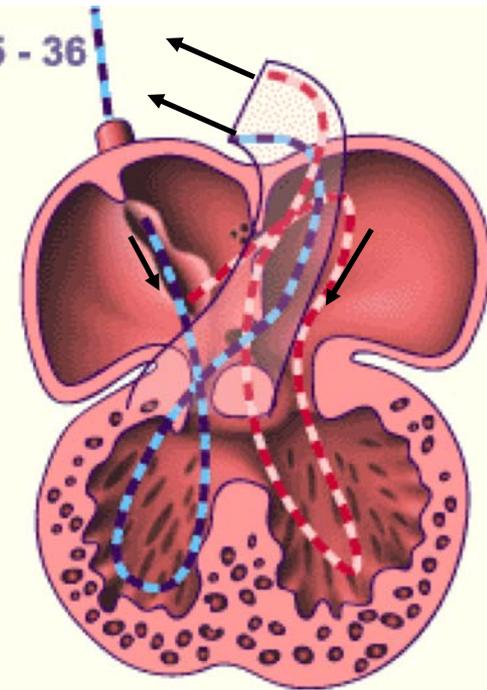


- 1 Septum spurium
- 2 Ostium sinu-atriale
- 3 Dorsales Septum atrio-ventriculare
im av-Kanal
- 4 Sulcus atrio-ventricularis
- 5 Atrium dextrum
- 6 Foramen interventriculare
- 7 Septum interventriculare
- 8 Linker Ventrikel
- 9 Rechter Ventrikel
- 10 Linkes Atrium
- 11 Septum primum
- 12 Foramen secundum

Abb. 13

Das Herz im Stadium 15 (ca. 36 Tage) zeigt vier noch nicht vollständig getrennte Kammern. Der av-Kanal ist durch das dorsale (untere) und ventrale (obere) Polster in einen linken und rechten av-Kanal aufgetrennt worden.

15 - 36



Entwicklung des Sinus Venosus

In 4. Woche,
venöses Blut
über
Sinus venosus.
Linkes und
rechtes
Sinushorn
mit je drei
grossen Venen

Mit Obliteration
der linken Nabel-
Vene und der linken
Dottervene
(5. Woche)
verliert linkes
Sinushorn an
Bedeutung

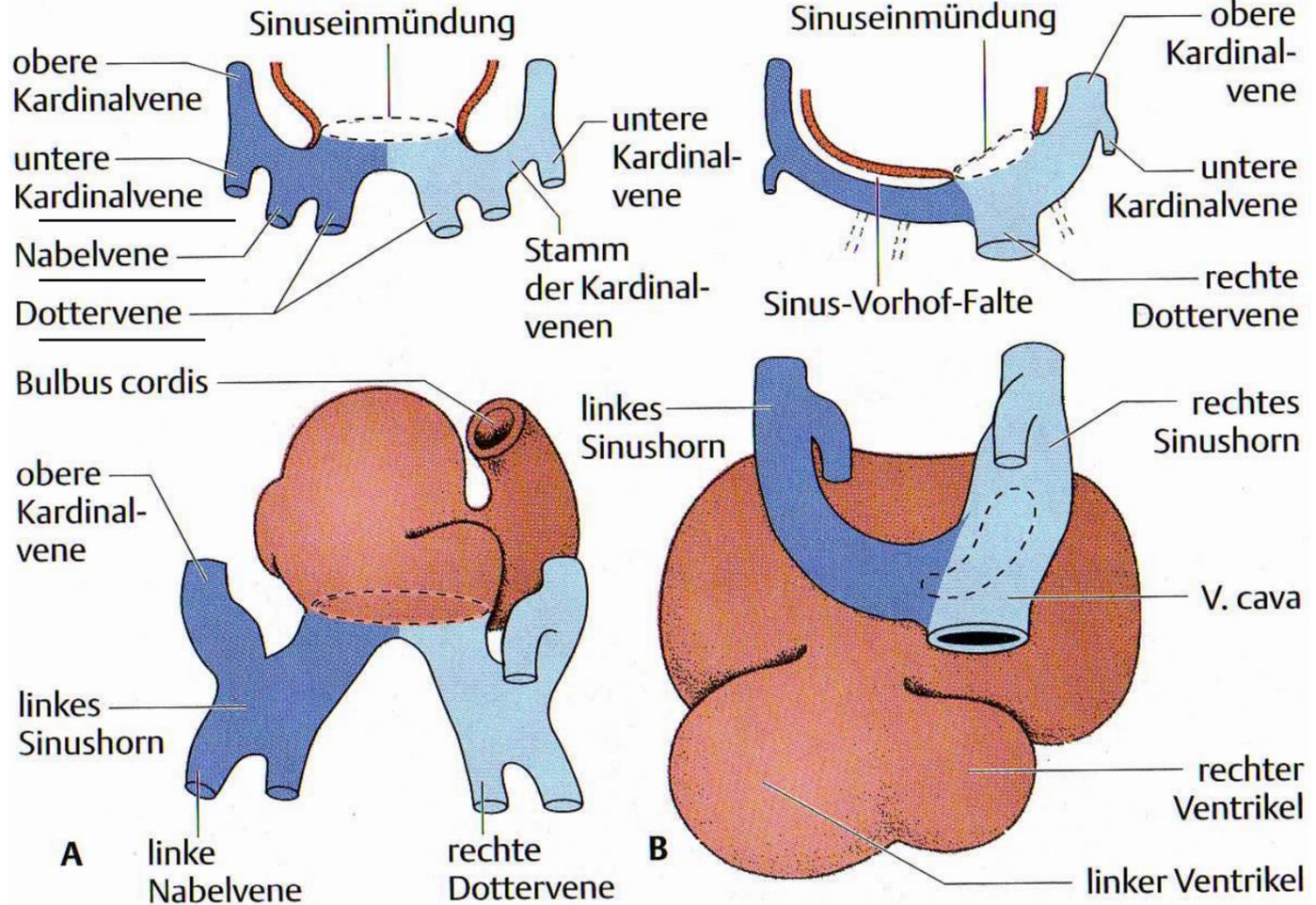
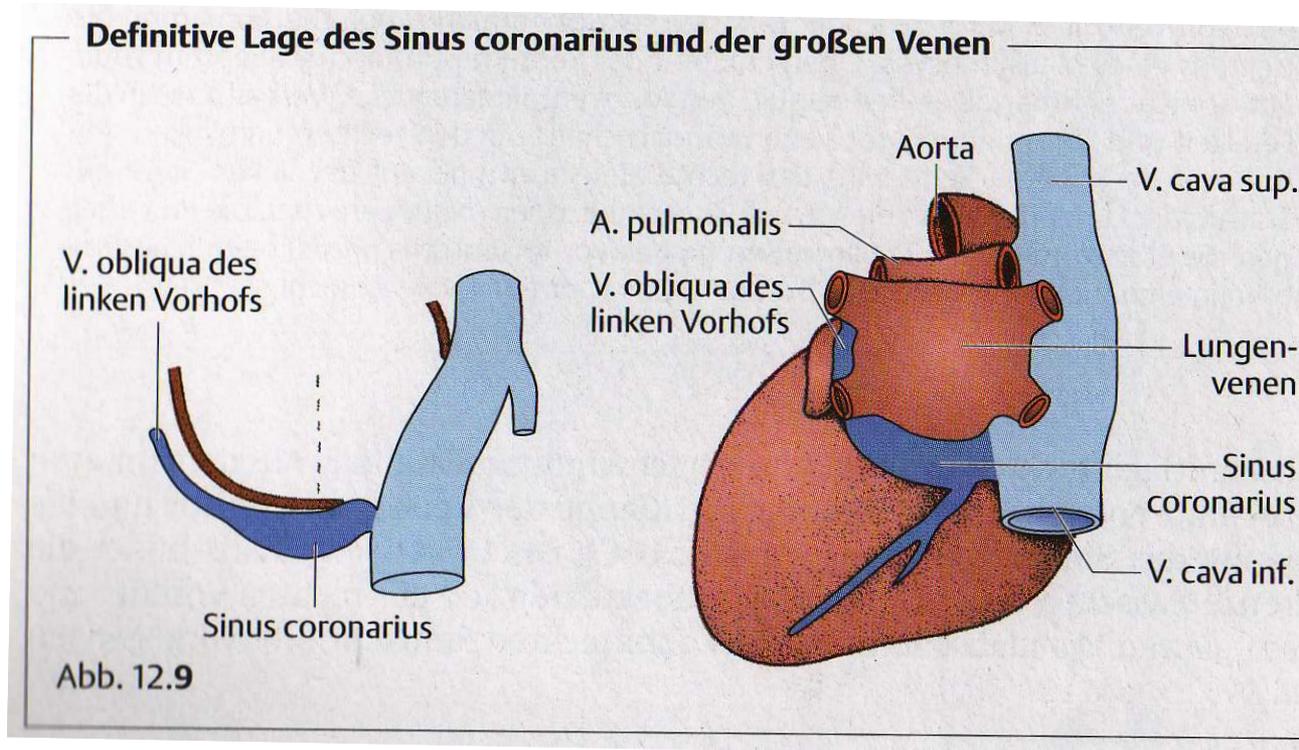


Abb. 12.8 Dorsalansicht. Die gestrichelte Linie zeigt die Einmündung des Sinus in den Vorhof an. Die Verlagerung der Einflußbahn nach dorsal und kranial ist innerhalb des Herzens mit einer Verlagerung der Einmündung des Sinus in den Vorhof nach rechts verbunden. **A** Mit 18 Somiten (etwa 24 Tage). **B** Mit etwa 35 Tagen. (Vgl. Abb. 12.9 und 12.27.)



Mit Rückbildung des linken Stammes der Kardinalvenen in der 10. Woche bleiben vom linken Sinushorn nur noch die Vena obliqua des linken Vorhofes und der Sinus coronaris

Rechter Stamm der Kardinalvenen übernimmt
Hauptfunktion: Zufluss zum Herz

– Einbeziehung von Venenwand in die Vorhöfe

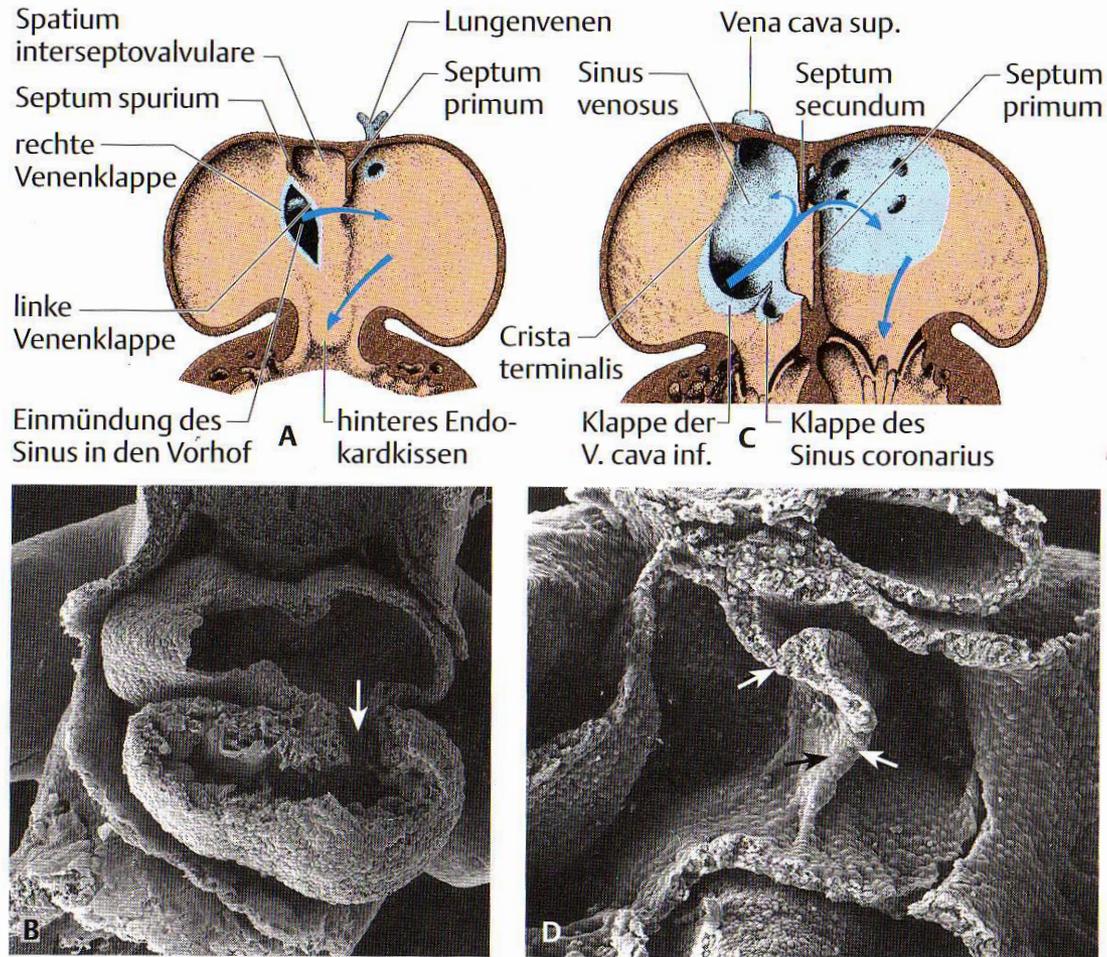
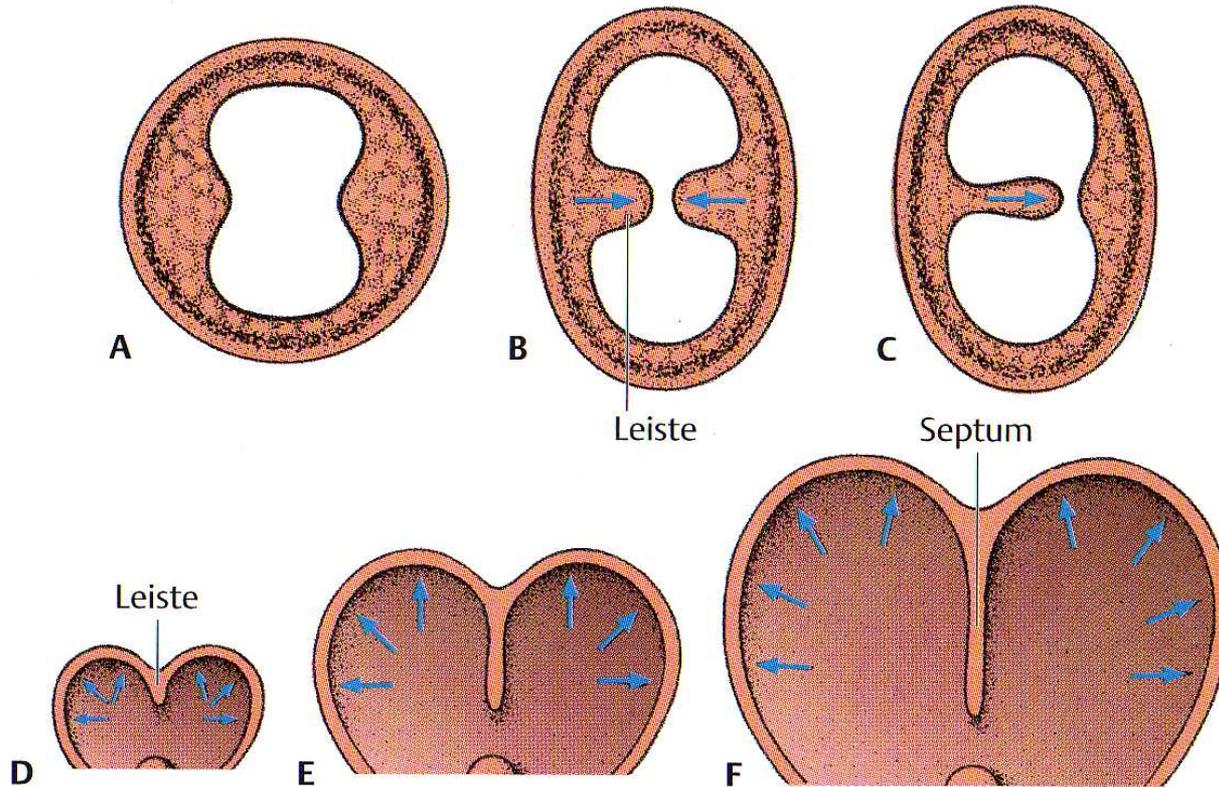


Abb. 12.10 Frontalschnitt durch das Herz in Höhe des Atrioventrikularkanal, gesehen von ventral. **A** Mit 5 Wochen. **B** Rasterelektronenmikroskopische Aufnahme des Herzens eines Mausembryos. Oben entsteht das Septum primum (das Septum spurium ist nicht sichtbar). Der Pfeil zeigt in den Atrioventrikularkanal. **C** Verhältnisse in der Fetalzeit und Einbeziehung der Venenwandabschnitte in den rechten und linken Vorhof: Auf der rechten Seite wird das rechte Sinushorn und auf der linken Seite der Stamm der Lungenvenen in die Vorhofwand einbezogen (blaue Bereiche). Die Pfeile zeigen die Blutströmung an. **D** Vergrößerung des Vorhofseptums (Pfeile) beim Mausembryo in einem C entsprechenden Stadium. Das Foramen ovale ist nicht sichtbar.

Entwicklung der Herzsepten

Mechanismen der Septumbildung



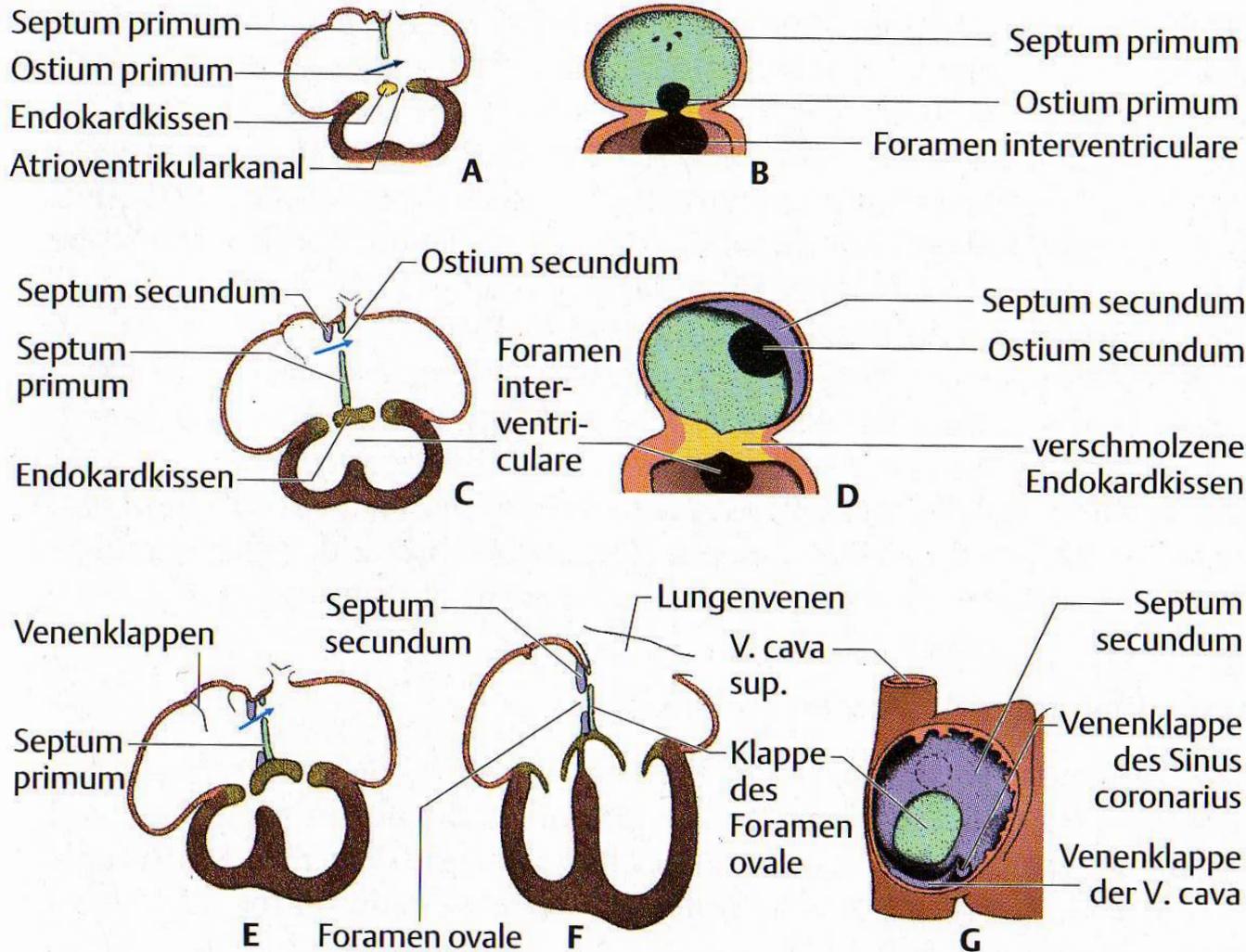
zB Unterteilung
des av-Kanals
oder
der Ausflussbahn
in Aorta und
A.pulmonalis

zB Unterteilung der
Vorhöfe und
Kammern

Abb. 12.11 **A** und **B** Septumbildung durch zwei Gewebeleisten, die miteinander verschmelzen. **C** Das Septum kann auch von einer einzelnen Leiste gebildet werden. **D–F** Septumbildung durch Verschmelzung von aufeinanderliegenden Wandabschnitten in Verbindung mit der Expansion benachbarter Herzabschnitte. Die ursprüngliche Öffnung bleibt zunächst noch erhalten.

Lokal regulierte, unterschiedliche Proliferationsrate

Entwicklung der Septen im Vorhof



Septum Primum wächst auf Endokardkissen des av-Kanals herab

Septum primum reißt oben ein.

Septum secundum schiebt sich über Ostium secundum

Mit Einsetzen des Lungenkreislaufs bei Geburt drückt sich das Septum primum gegen Septum secundum, das Foramen ovale wird verschlossen

Abb. 12.12 **A** Etwa 30 Tage (6 mm). **B** Wie A, jedoch in der Ansicht von rechts. **C** Etwa 33 Tage (9 mm). **D** Gleiches Stadium wie C in der Ansicht von rechts. **E** Etwa 37 Tage (14 mm). **F** Beim Neugeborenen. **G** Ansicht des Vorhofseptums beim Neugeborenen von rechts. Die Pfeile zeigen den Blutstrom aus dem rechten in den linken Vorhof an.

Unterteilung des Atrioventrikularkanals

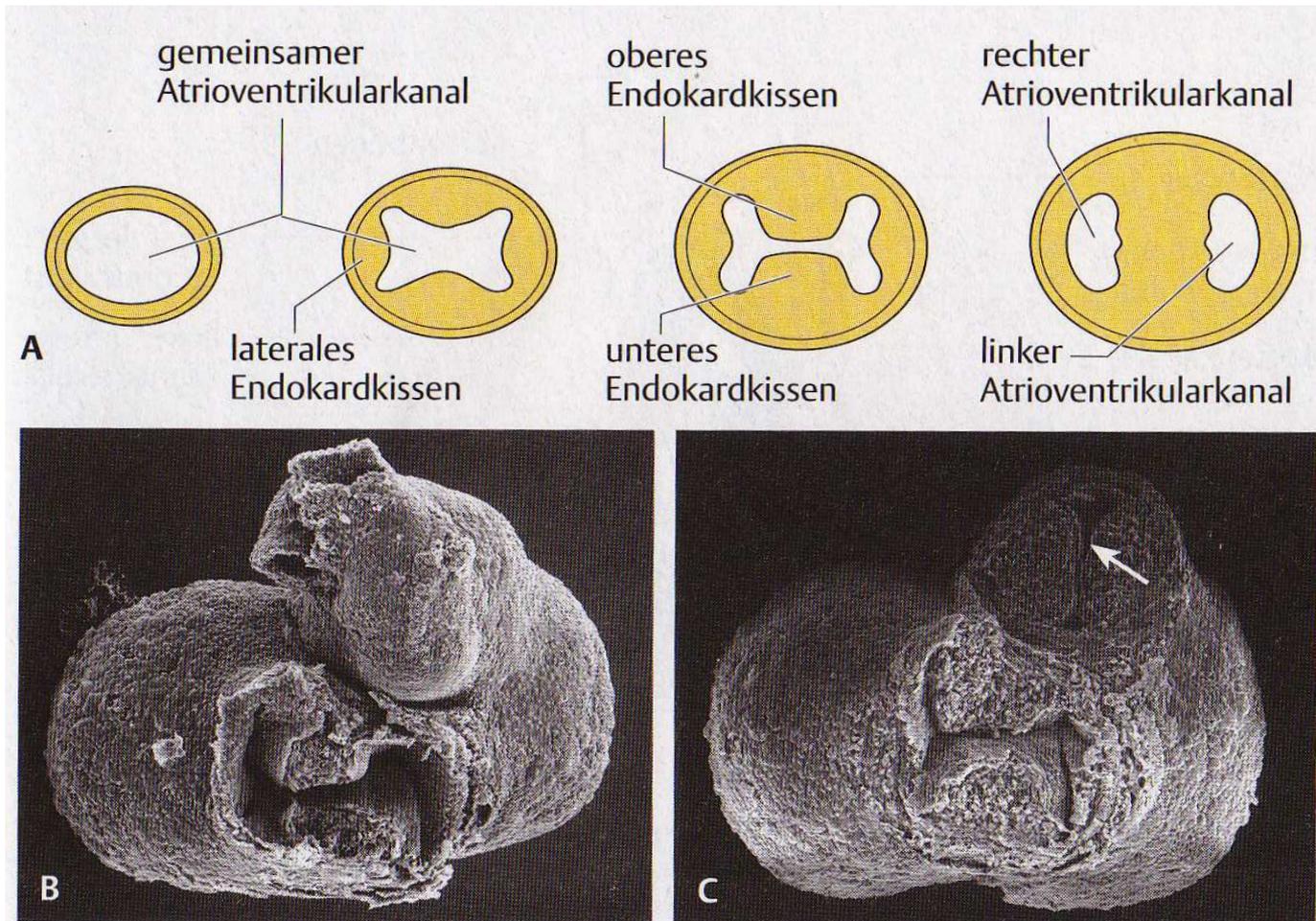


Abb. 12.13 **A** In der Reihenfolge von links nach rechts mit 23, 26, 31 und 35 Tagen. **B** und **C** Rasterelektronenmikroskopische Aufnahmen des Herzens bei der Maus, die das Wachstum und die Verschmelzung der oberen und unteren Endokardkissen im Atrioventrikularkanal zeigen. In **C** ist die Verschmelzung der Endokardleisten in der Ausflussschleife zu sehen.

Vorhofseptumdefekte

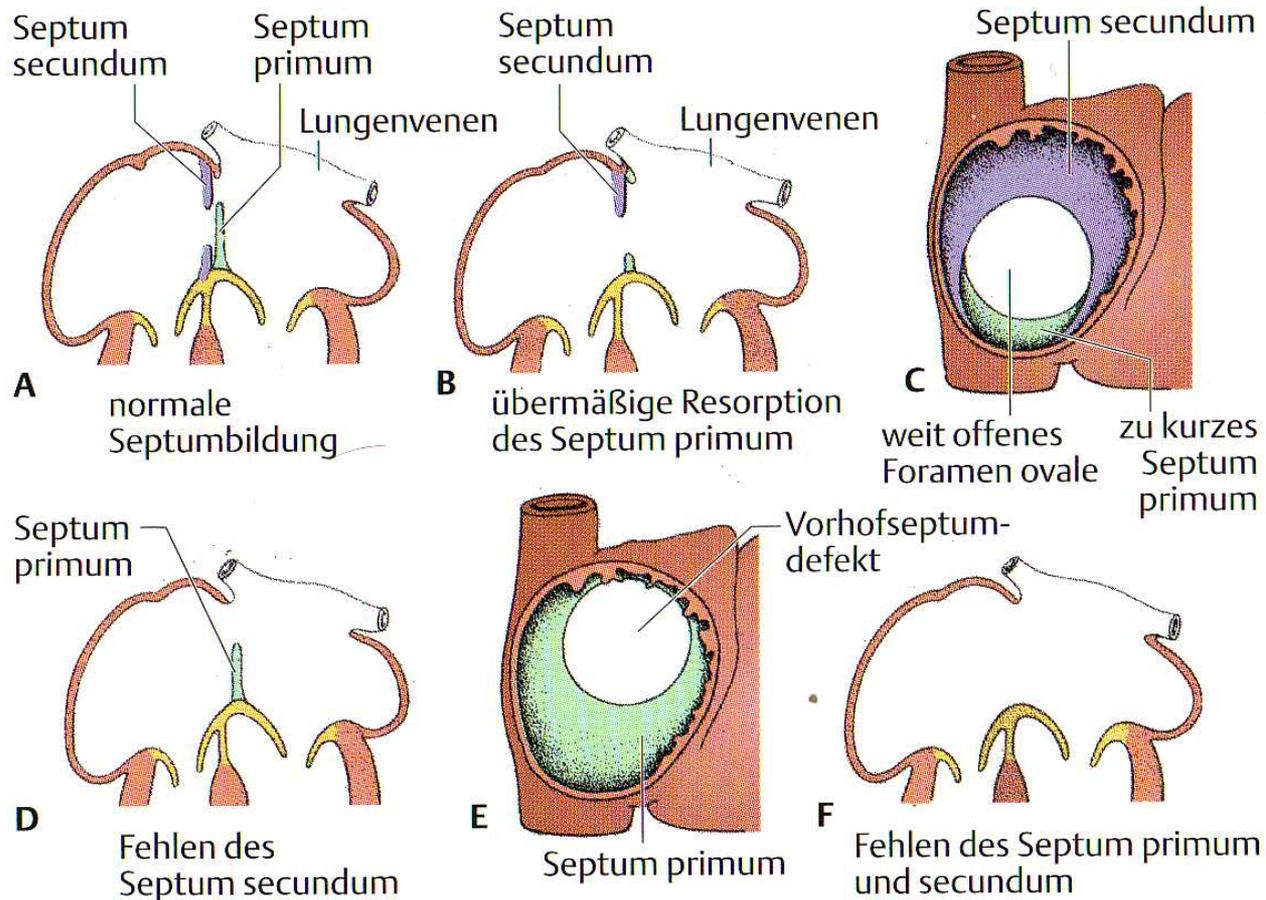
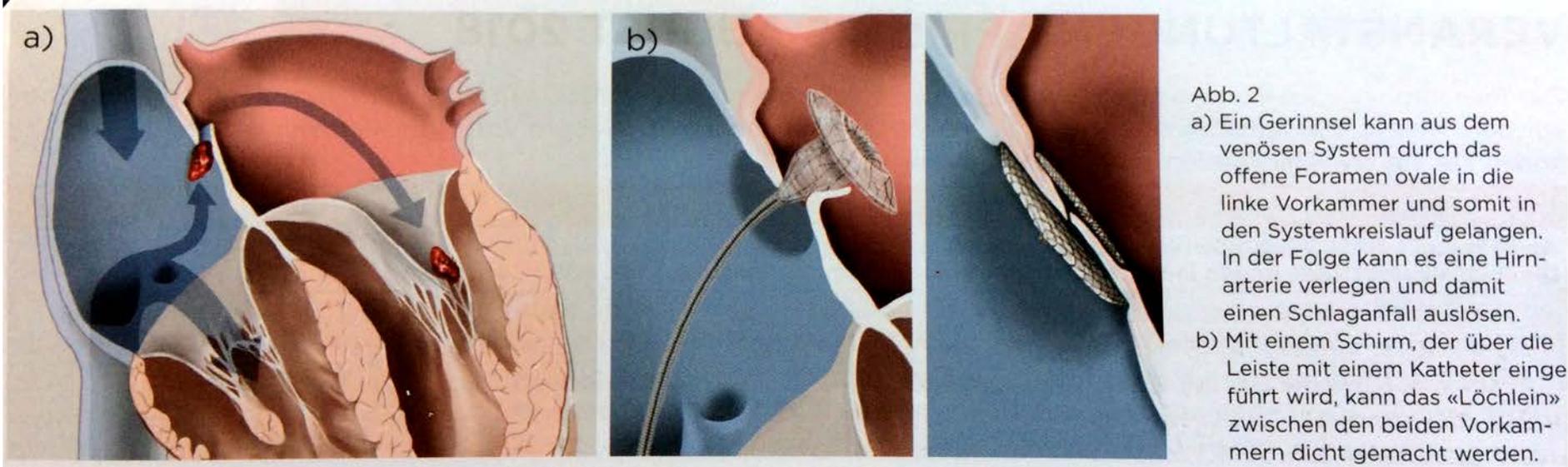


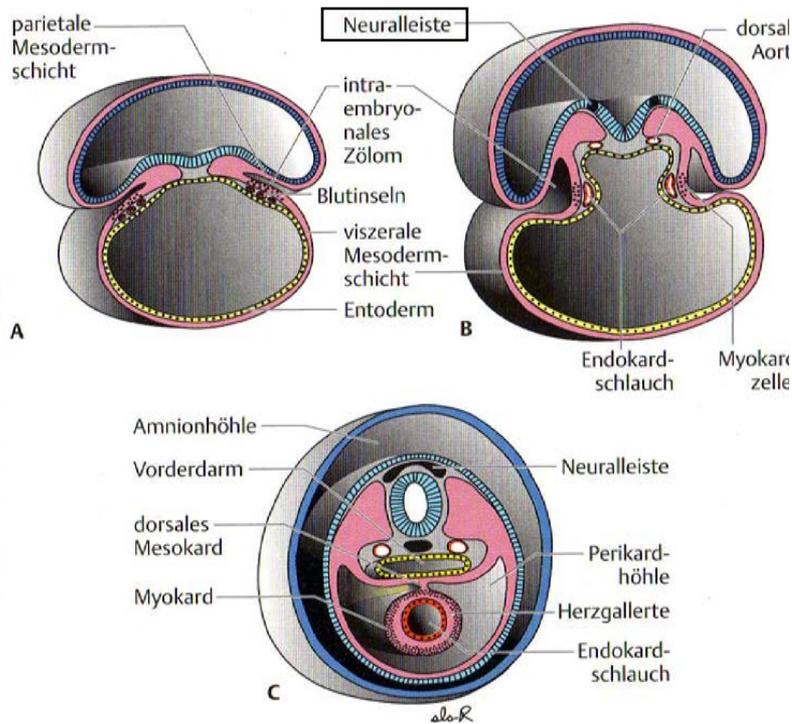
Abb. 12.16 **A** Normale Septenbildung im Vorhof. **B** und **C** Ostium-secundum-Defekt, der durch übermäßige Resorption des Septum primum entstanden ist. **D** und **E** Entsprechender Defekt, der jedoch auf dem Fehlen des Septum secundum beruht. **F** Atrium commune oder Cor triloculare biventriculare: Vollständiges Fehlen des Septum primum und Septum secundum.

Bei Vorhofseptumdefekten fließt Blut postnatal vom linken in den rechten Vorhof
 -> erhöhte Blutfracht im Lungenkreislauf, pulmonale Hypertonie, rechtsventrikuläre Hypertrophie

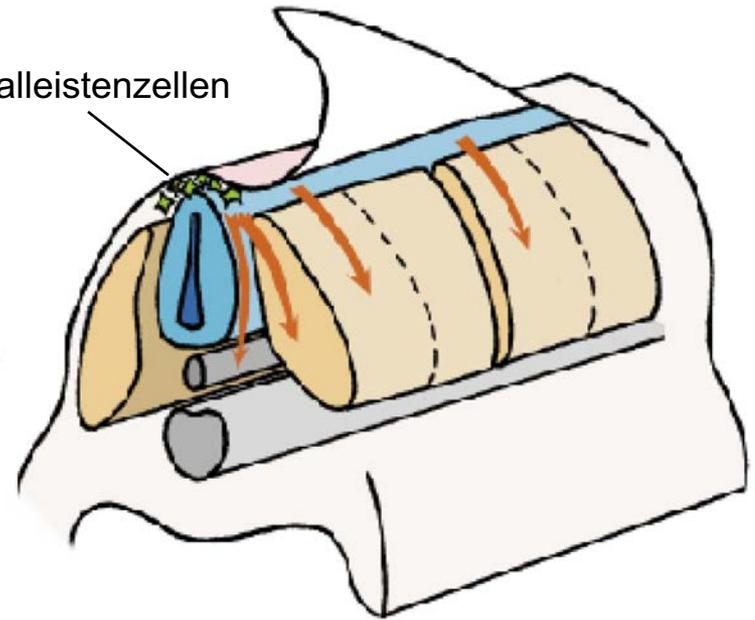
Klinischer Bezug: Schlaganfall oder Herzinfarkt bei offenem Foramen ovale



Septierung der Ausflussbahn, Bildung der Endokardkissen : Beteiligung von Neuralleistenzellen



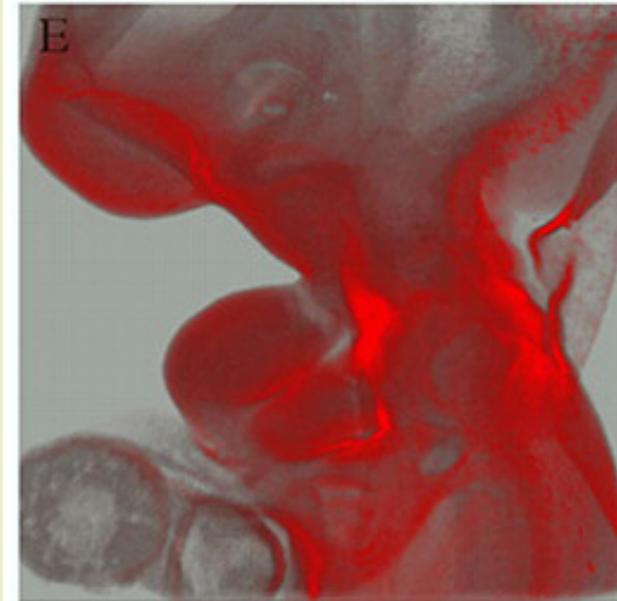
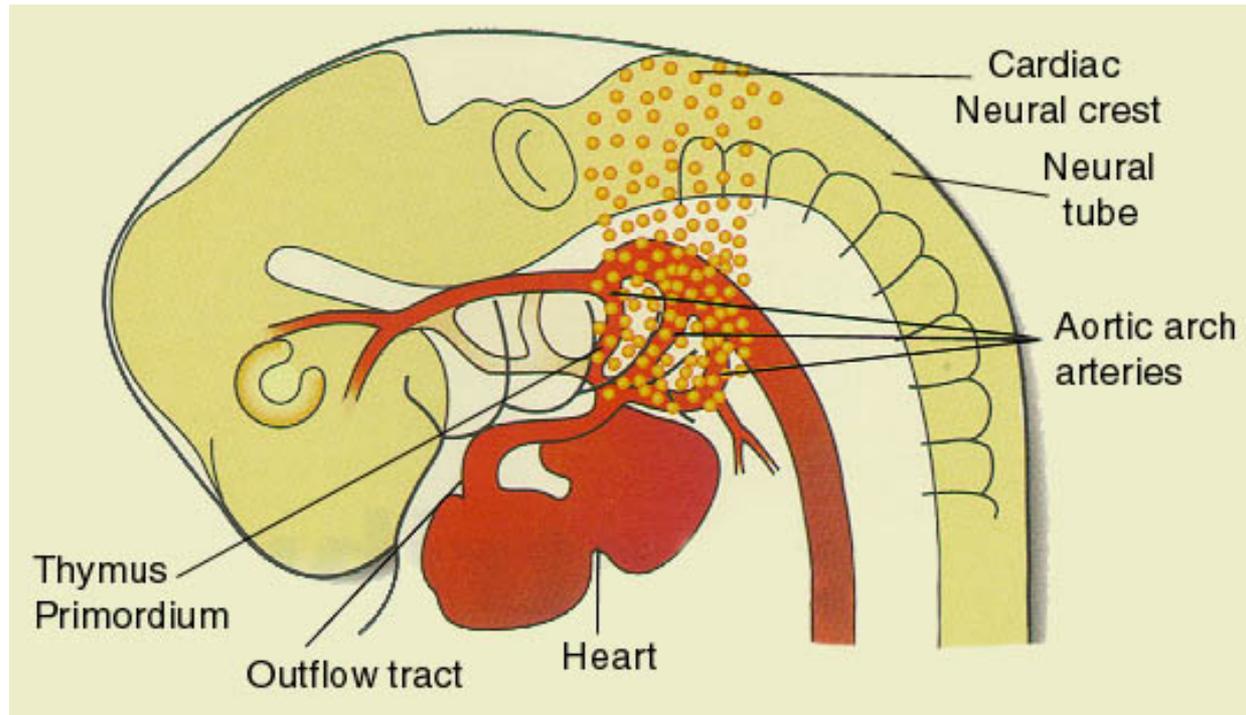
Neuralleistenzellen



Neuralleistenzellen:

Vorläufer des grössten Teils des Peripheren Nervensystems, von Pigmentzellen, kardiovaskulären Strukturen, kraniofazialen Knochen und Knorpel, etc.

Wanderung kardialer Neuralleistenzellen



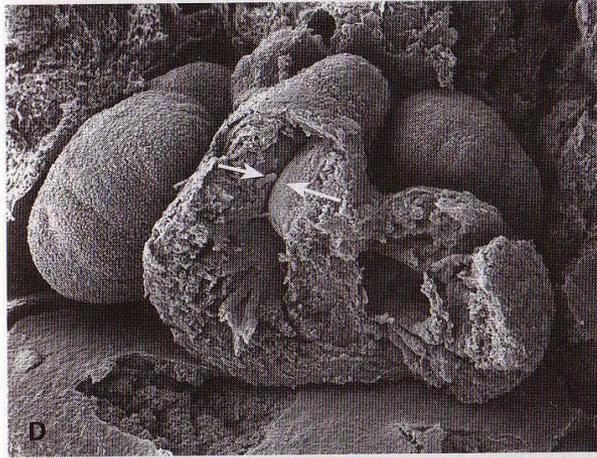
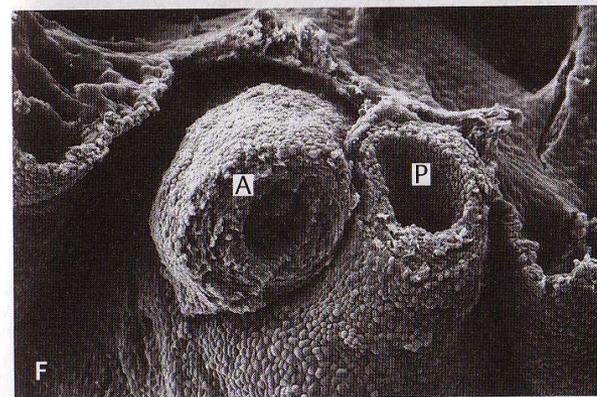


Abb. 12.20D-F Herzen von Mausembryonen, in denen die Bildung der Conus-Truncus-Leisten zu sehen ist. Sie bilden das Septum in der Ausflußbahn und unterteilen sie in Aorta und A. pulmonalis.

D Frontalschnitt. Die Conus-Truncus-Leisten (*Pfeile*) in der Ausflußbahn berühren sich.

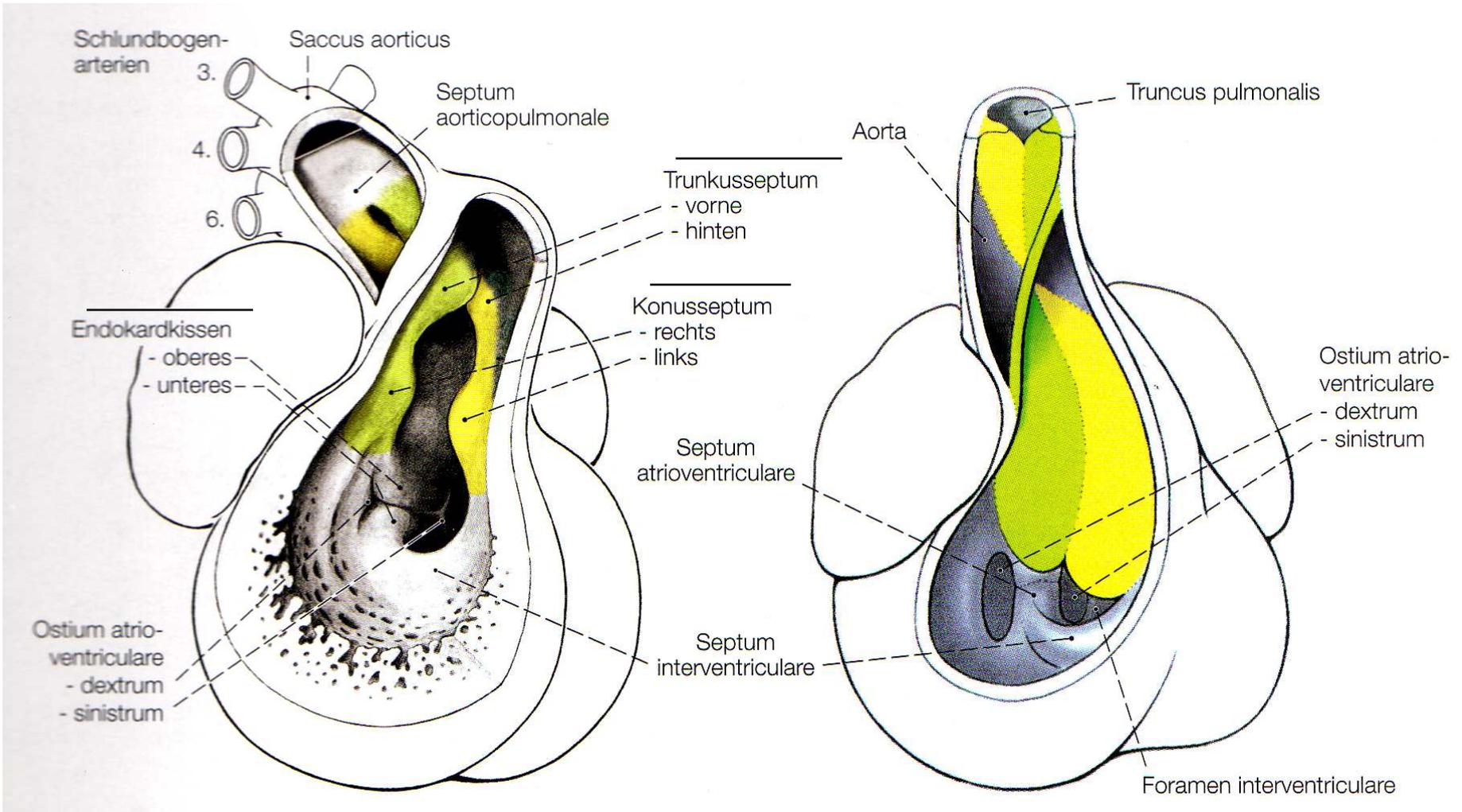
E Querschnitt durch den Atrioventrikularkanal (*Pfeilköpfe*) und die Ausflußbahn (*Pfeil*). Die Endokardpolster in beiden Regionen berühren sich.

F Querschnitt durch die Aorta (A) und die A. pulmonalis (P). Nach Verschmelzung der Conus-Truncus-Leisten drehen sich die Gefäße spiralig umeinander. Die Wand der Aorta ist dicker als die der A. pulmonalis.



Septierung der Ausflussbahn in Aorta und A. pulmonalis

Bildung eines spiraligen Septums -> separate Ausflussbahnen für rechten bzw linken Ventrikel



Bildung eines spiralen Septums -> separate Ausflussbahnen für rechten bzw linken Ventrikel

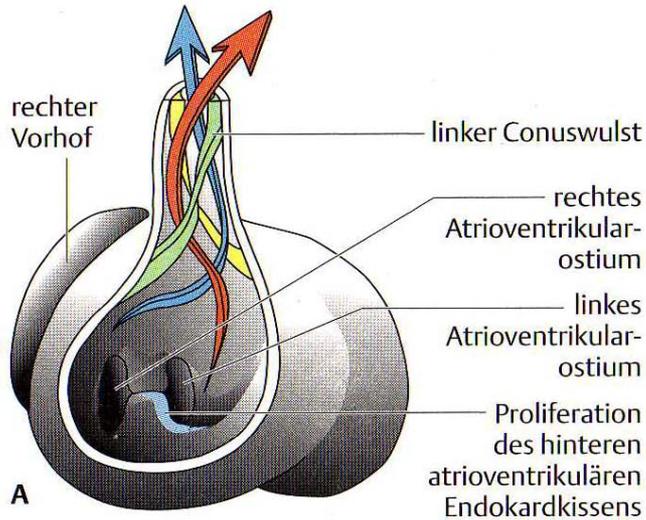
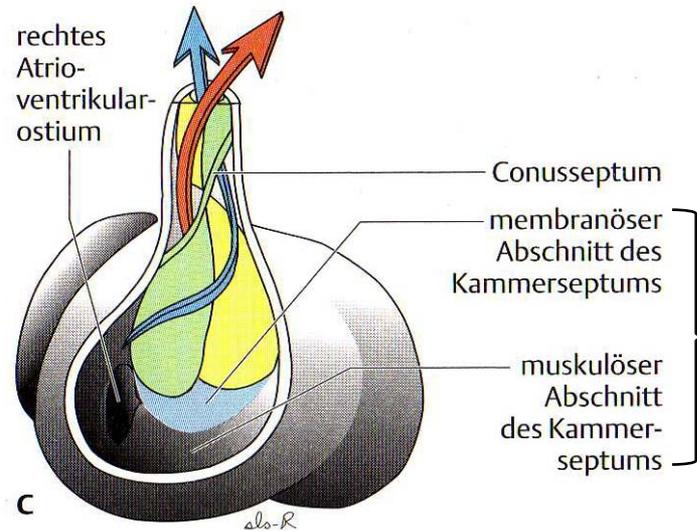
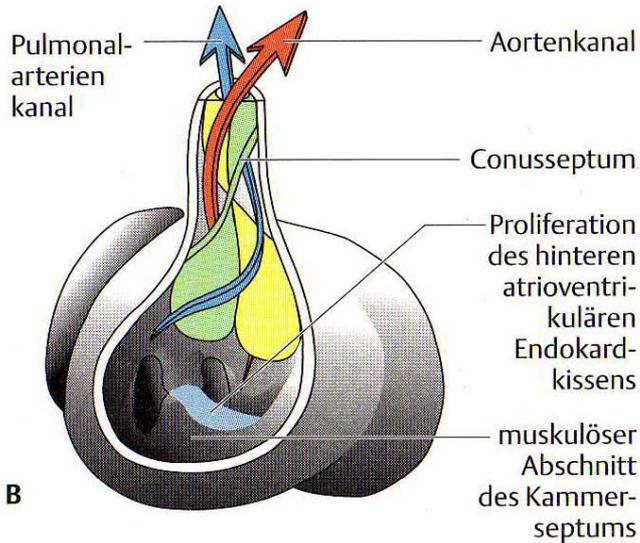


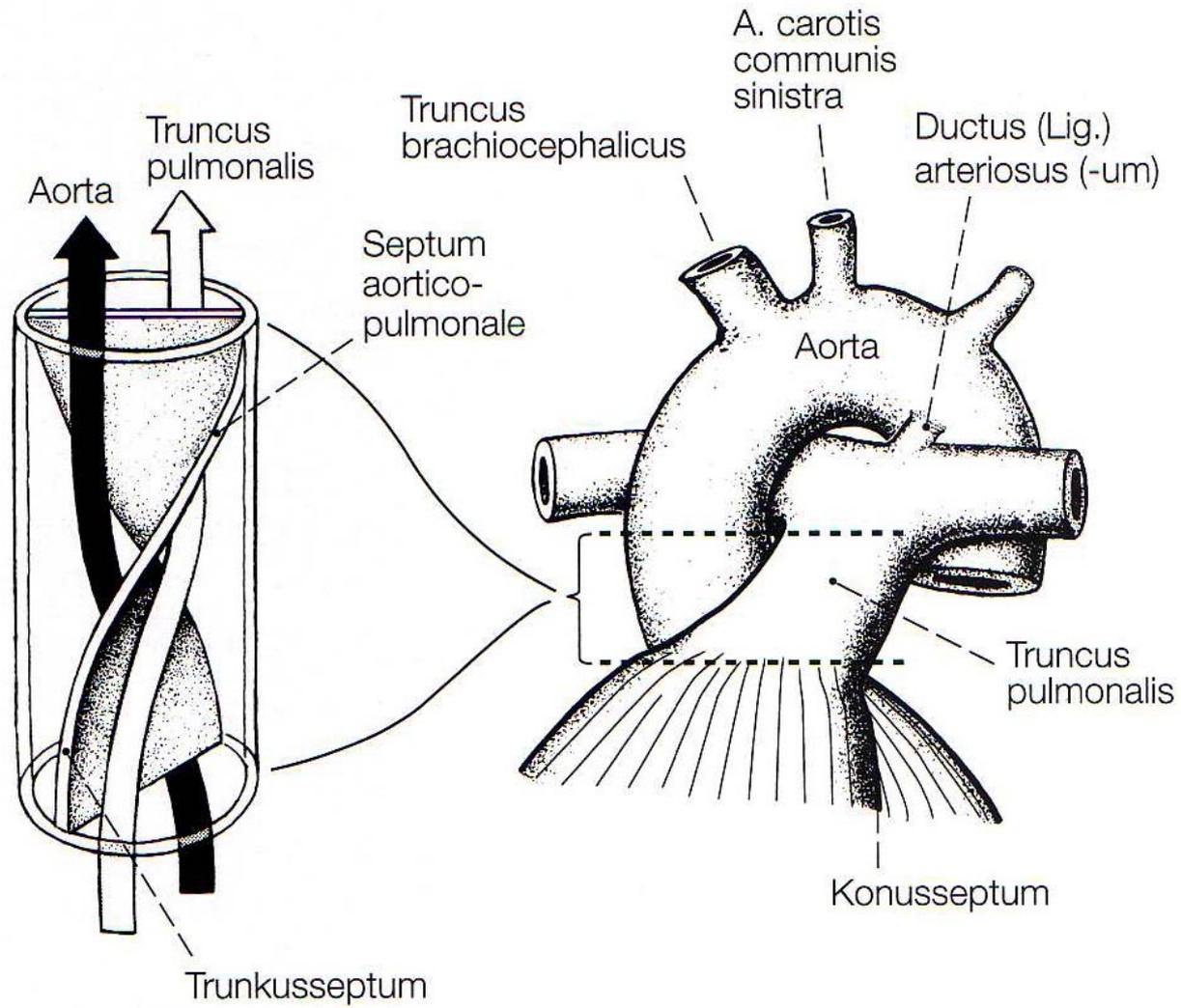
Abb. 12.20 **A-C** Proliferationszonen am rechten und linken Conuswulst sowie am hinteren Atrioventrikularkissen verschließen allmählich das Foramen interventriculare und bilden den membranösen Abschnitt des Septums interventriculare. **A** Mit 6 Wochen (12 mm). **B** Anfang der 7. Woche (14,5 mm). **C** Am Ende der 7. Woche (20 mm).

Hinteres (=unteres) Endokardkissen wird zu membranösem Abschnitt des Kammerseptums

Nach unten wachsendes Conusseptum (rechter und linker Wulst) verschmilzt mit membranösem Abschnitt des Kammerseptums



Bildung des Ventrikelseptums (Kammerseptums)



Wenn Unterteilung des Trunkus fast abgeschlossen ist,
 kommt es zur Bildung der Semilunarklappen (Taschenklappen)
 Dabei spielt Blutrückfluss eine Rolle

Entwicklung der Semilunarklappen

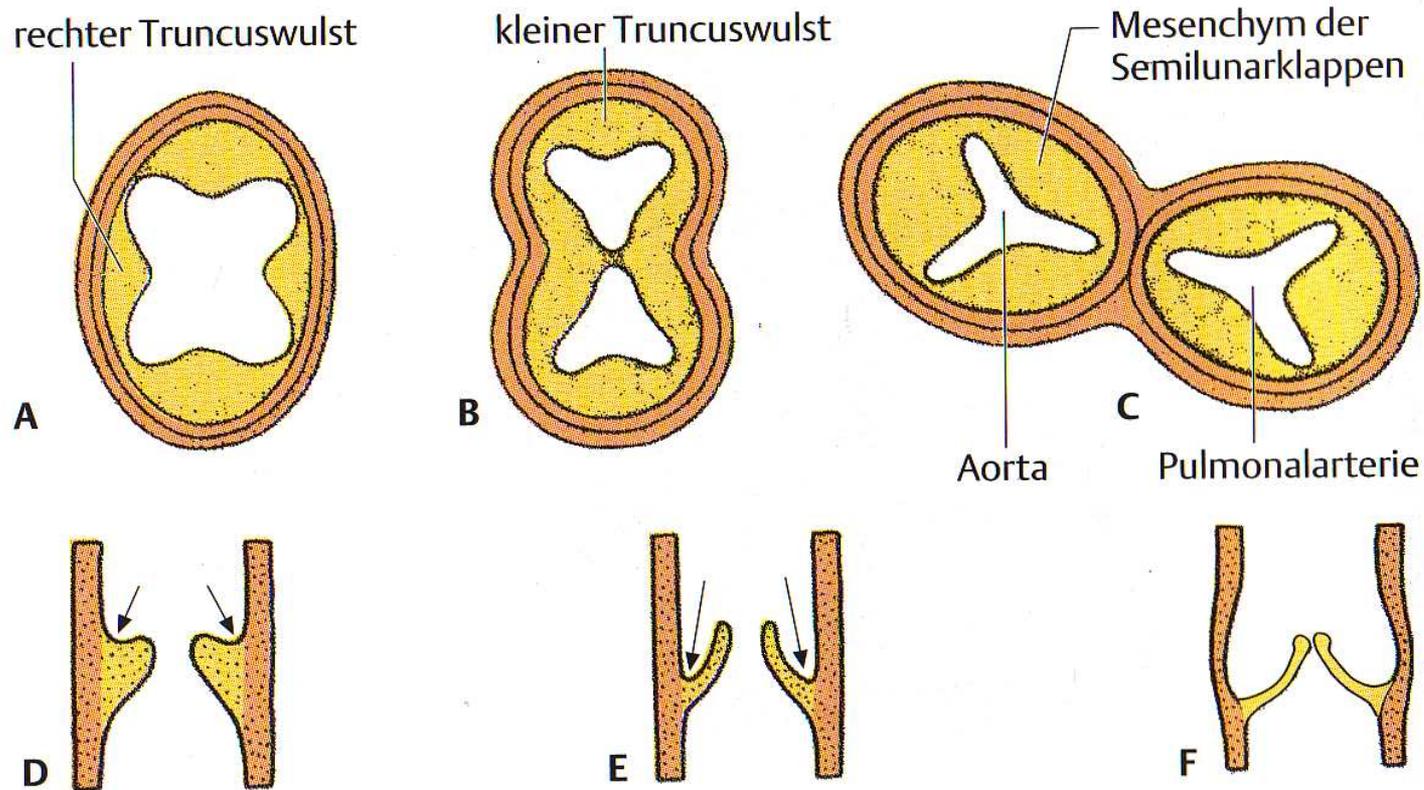


Abb. 12.21 A–C Querschnitte durch den Truncus arteriosus in Höhe der Semilunarklappen im Alter von 5, 6 und 7 Wochen. D–F Längsschnitte durch die Semilunarklappen in der 6., 7. und 9. Entwicklungswoche.

Angeborene Herzfehler: Ventrikelseptumdefekte (VSD), oft in Kombination mit Störungen bei der Conus-Truncus Unterteilung

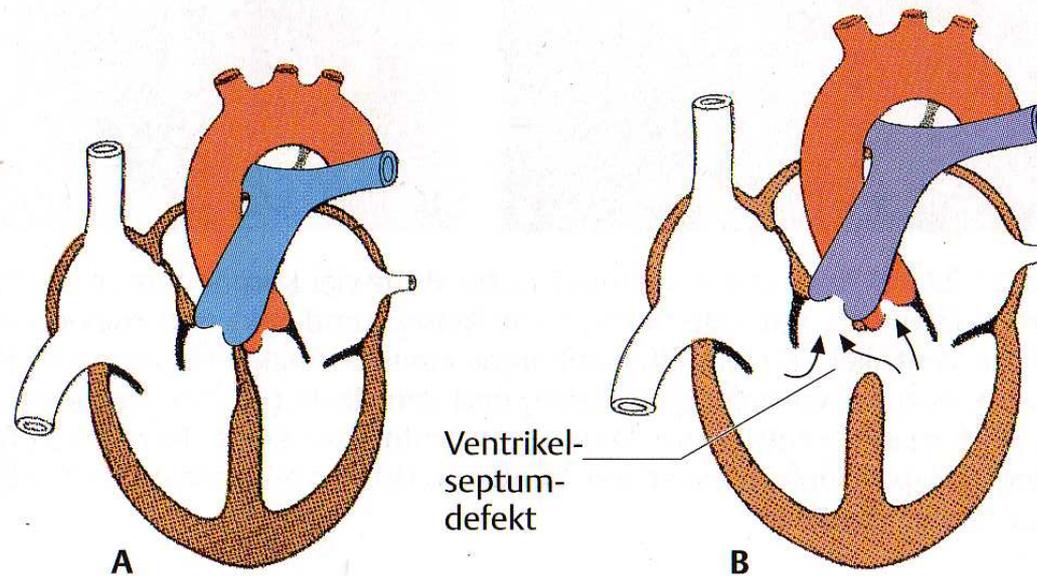


Abb. 12.22 **A** Normales Herz. **B** Defekt im membranösen Anteil des Interventrikularseptums. Beachte den Blutstrom vom linken Ventrikel in den rechten durch das Foramen interventriculare.

Häufigste Form (12/10' 000 Geburten):
Nichtvereinigung des membranösen Ventrikelseptums mit dem Konusseptum

Fallot-Tetralogie

Häufigste Kombination von Fehlern

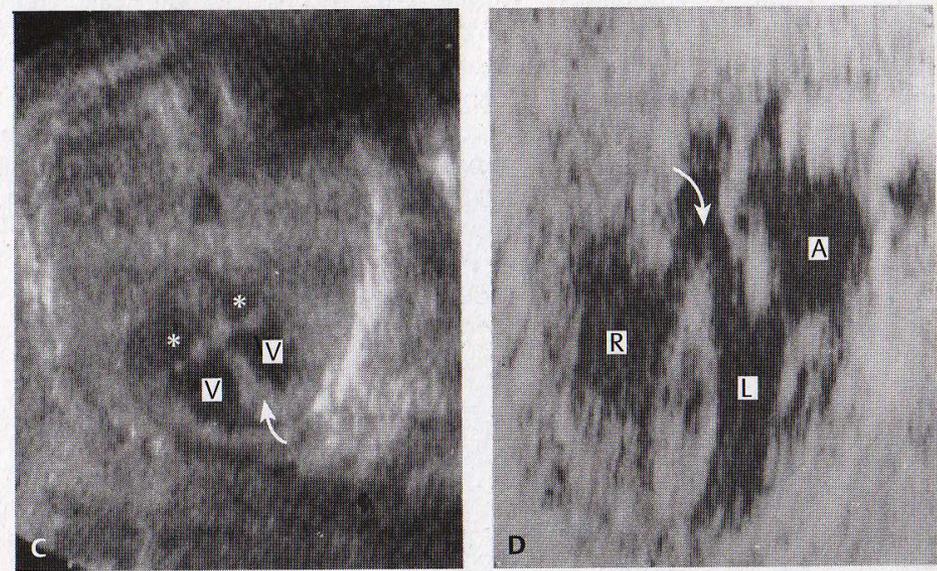
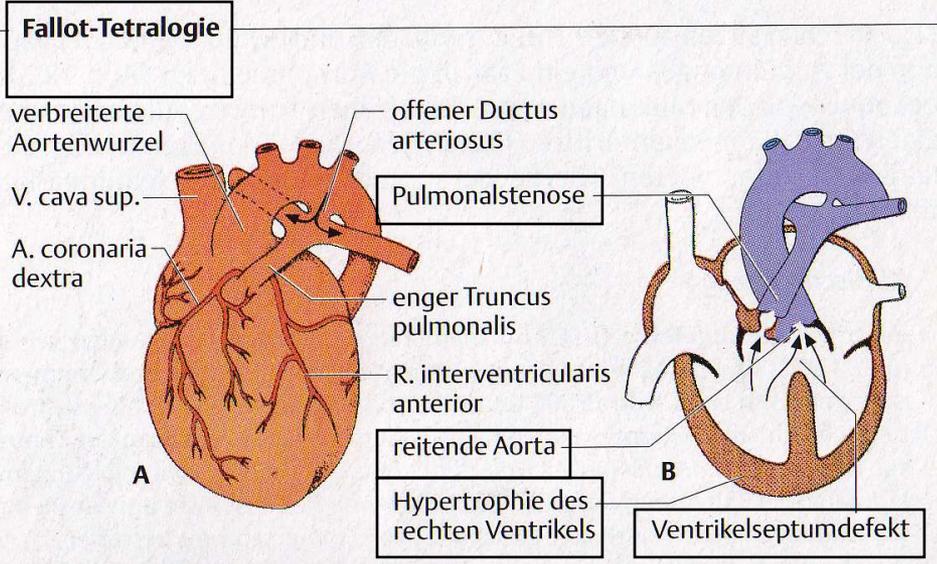


Abb. 12.23 **A** Ansicht der Herzoberfläche. **B** Die vier Komponenten des Defektes: Pulmonalstenose, reitende Aorta, Ventrikelseptumdefekt und Hypertrophie des rechten Ventrikels. **C** Ultraschallaufnahme eines normalen Herzens mit dem typischen Kreuz aus Vorhöfen (Sternchen) und Ventrikeln (V). Der Pfeil kennzeichnet das Septum interventrikulare. **D** Ultraschallaufnahme eines Herzens mit Fallot-Tetralogie: Hypertrophie des rechten Ventrikels (R) und reitende Aorta (Pfeil). A: Atrium; L: linker Ventrikel.

Zugrundeliegender Defekt :
 Verengter rechter Kammerausfluss wegen Verlagerung des Conusseptums

-> zu wenig Blut durch Lungenkreislauf
 -> Kinder sind zyanotisch (bläulich verfärbte Lippen, Schleimhäute, etc)

Transposition der großen Gefäße und Pulmonalatresie

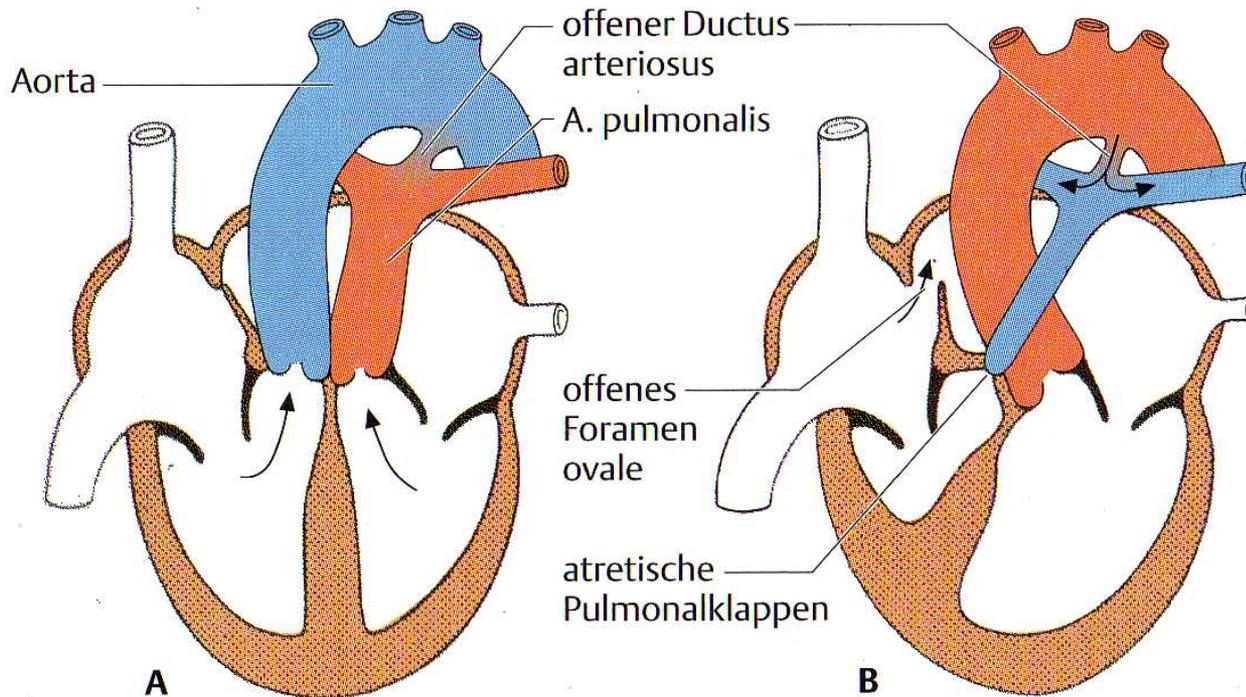


Abb. 12.25 **A** Transposition der großen Gefäße. **B** Pulmonalatresie bei normaler Aortenwurzel. Der Zufluß zu den Lungen erfolgt nur über den offenen Ductus arteriosus.

- A) Entsteht wenn Conus-Truncus-Septum sich nicht spiralg windet
-> Aorta aus rechtem, A.pulmonalis aus linkem Ventrikel

Offener Ductus arteriosus als eine der häufigsten Anomalien der grossen Gefäße

Gefässentwicklung

- Während früher Embryonalentwicklung:
Vaskulogenese: *de novo* Bildung von Gefässen

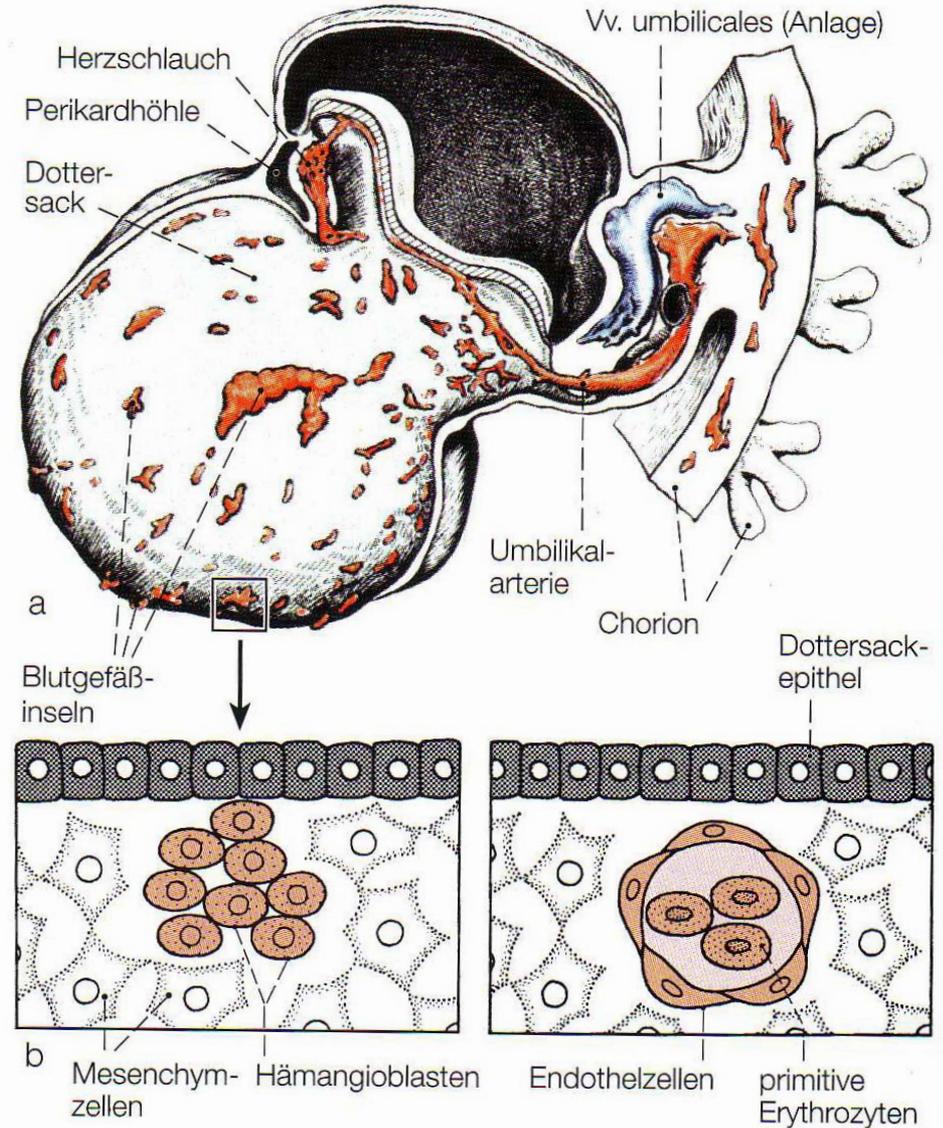
- Späte Entwicklung und im adulten Organismus:
Angiogenese (Sprossung bereits gebildeter
Gefässe)

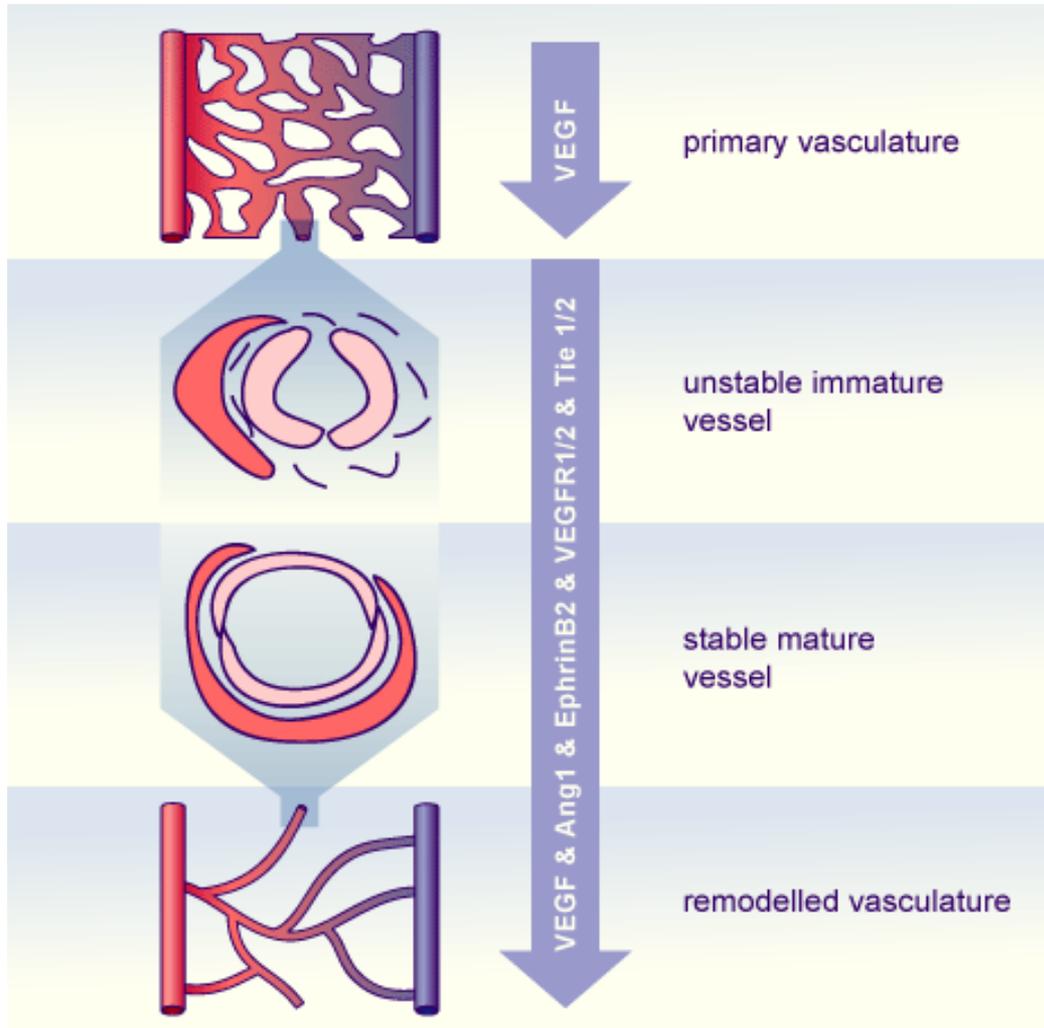
Prinzip der Vaskulogenese

Abb. 9.1-3 Die embryonale und extraembryonale Gefäßbildung Ende der 3. Entwicklungswoche.

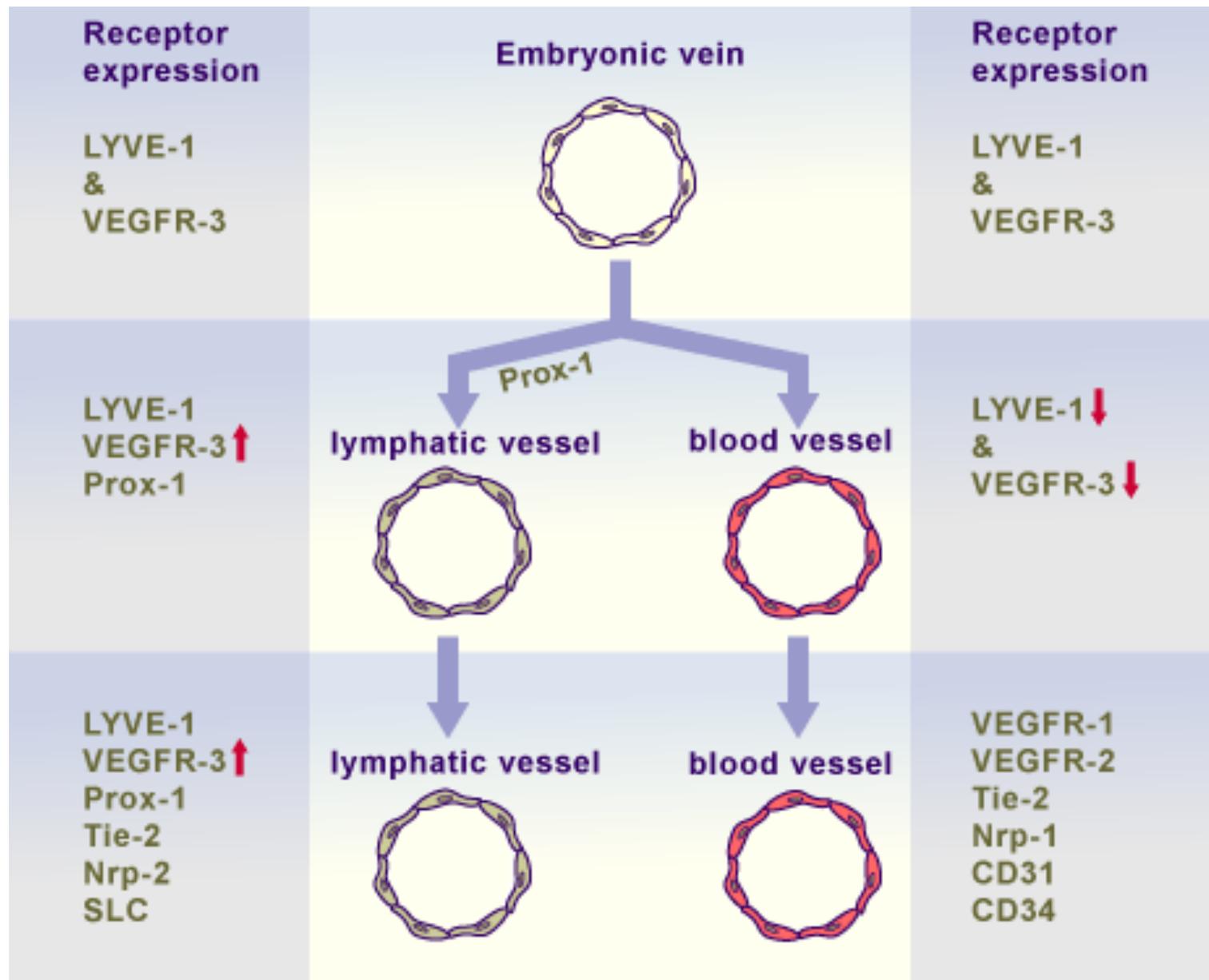
(a) Die Herzanlage (Herzschlauch) ist über die 1. Schlundbogenarterie an das noch unvollständige dorsale Aortenpaar angeschlossen, besitzt aber noch keine Verbindung zu den Dottersack- und Umbilikalgefäßen. Im Haftstiel sind die rechte A. umbilicalis und die Anlage der V. umbilicalis zu sehen.

(b) Schematische Darstellung der Bildung von Blutgefäßinseln im Dottersackmesenchym.

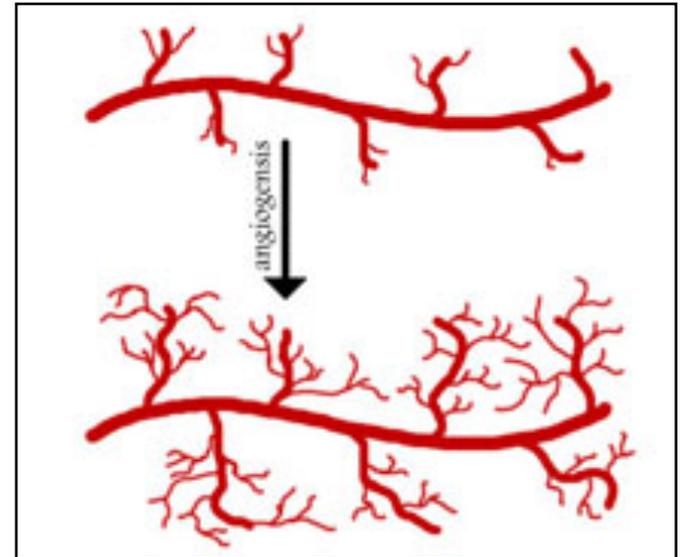
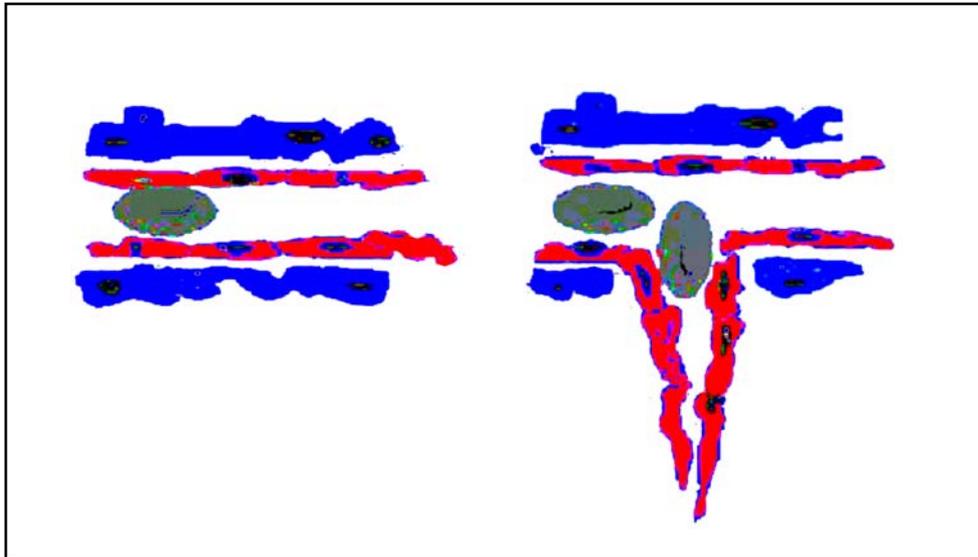




VEGF =
Vascular Endothelial
Growth Factor



Angiogenese: Sprossung neuer Gefäße



S.Werner, ETH

Angiogenese im adulten Organismus

- Physiologische Angiogenese:
Menstruationszyklus, Haarzyklus, Bildung von Fettgewebe, Muskelwachstum

- Pathologische Angiogenese:
Wundheilung, diabetische Retinopathie, rheumatoide Arthritis, Tumorwachstum

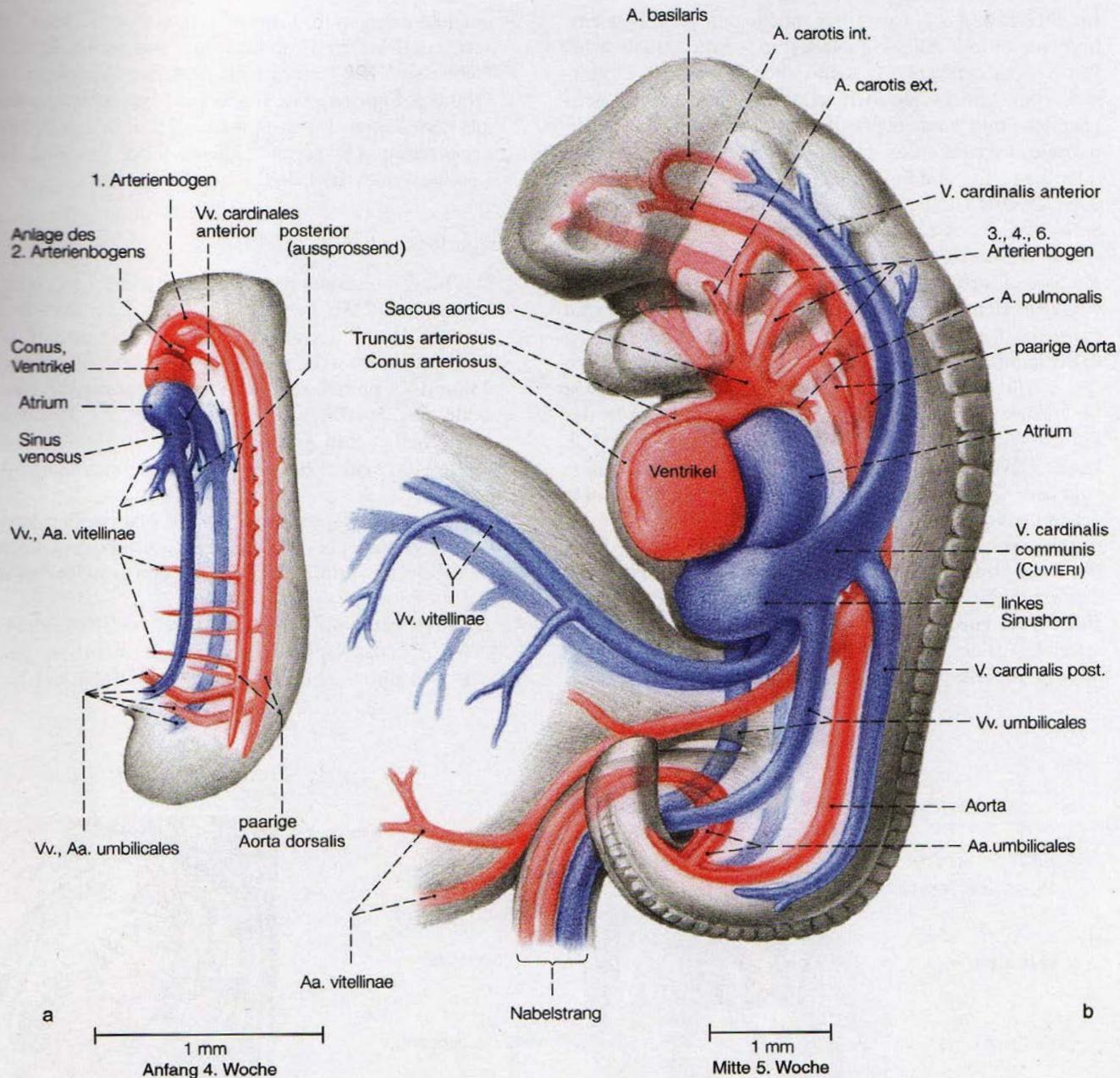


Abb. 9.1-4 Embryonales Herz-Kreislauf-System (a) am Beginn der 4. Woche und (b) Mitte der 5. Woche.

— Gefäßsystem am Ende der 4. Woche —

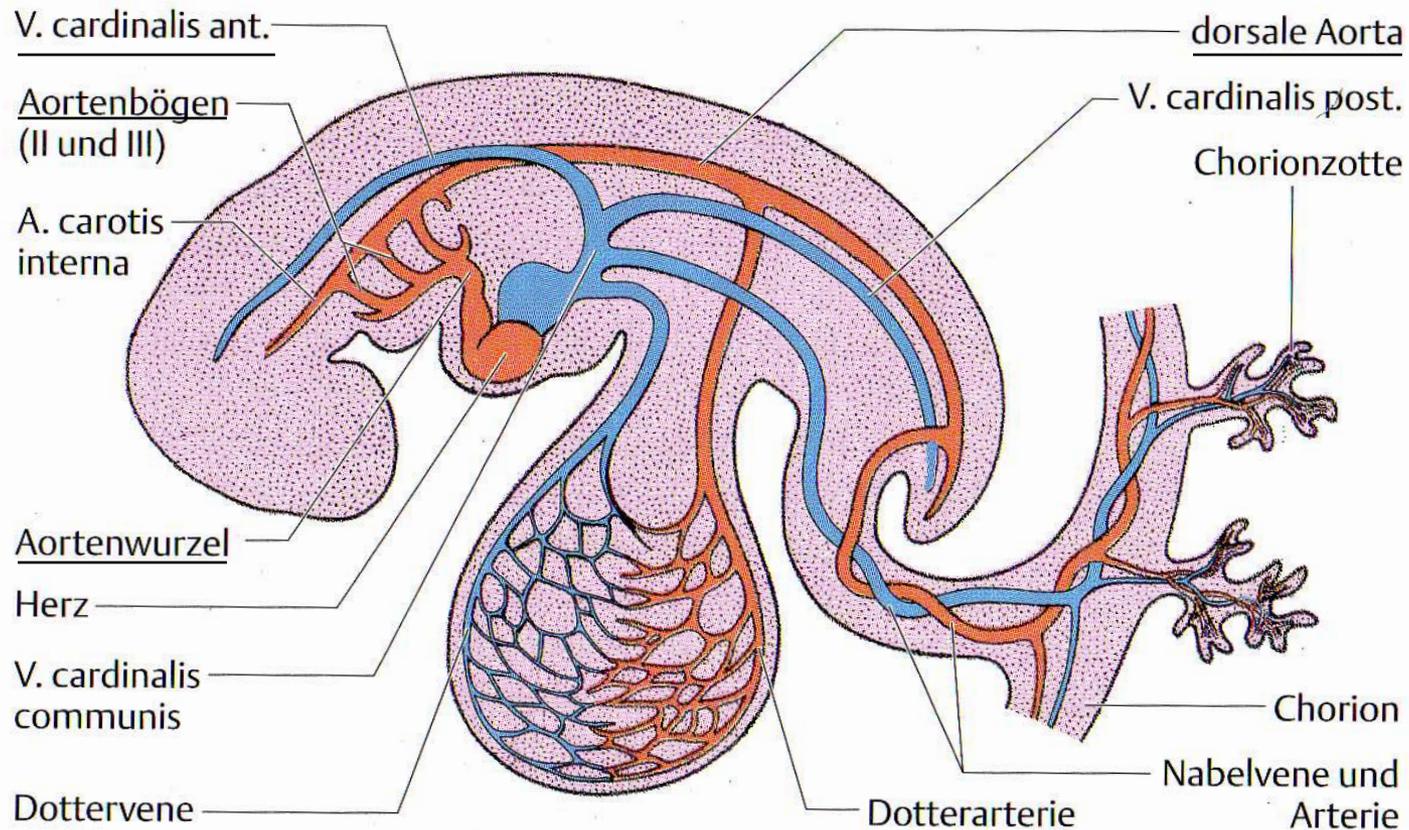


Abb. 12.27 Der Embryo ist etwa 4 mm lang. Es sind nur die Gefäße der linken Seite dargestellt.

Jeder sich entwickelnde Schlundbogen erhält seine Arterie,
die auch als Aortenbogen bezeichnet wird
Im Bereich der Aortenbögen bleiben paarige dorsale Aorten erhalten;
Weiter kaudal -> Verschmelzung zur absteigenden Aorta

Entwicklung der Aortenbögen

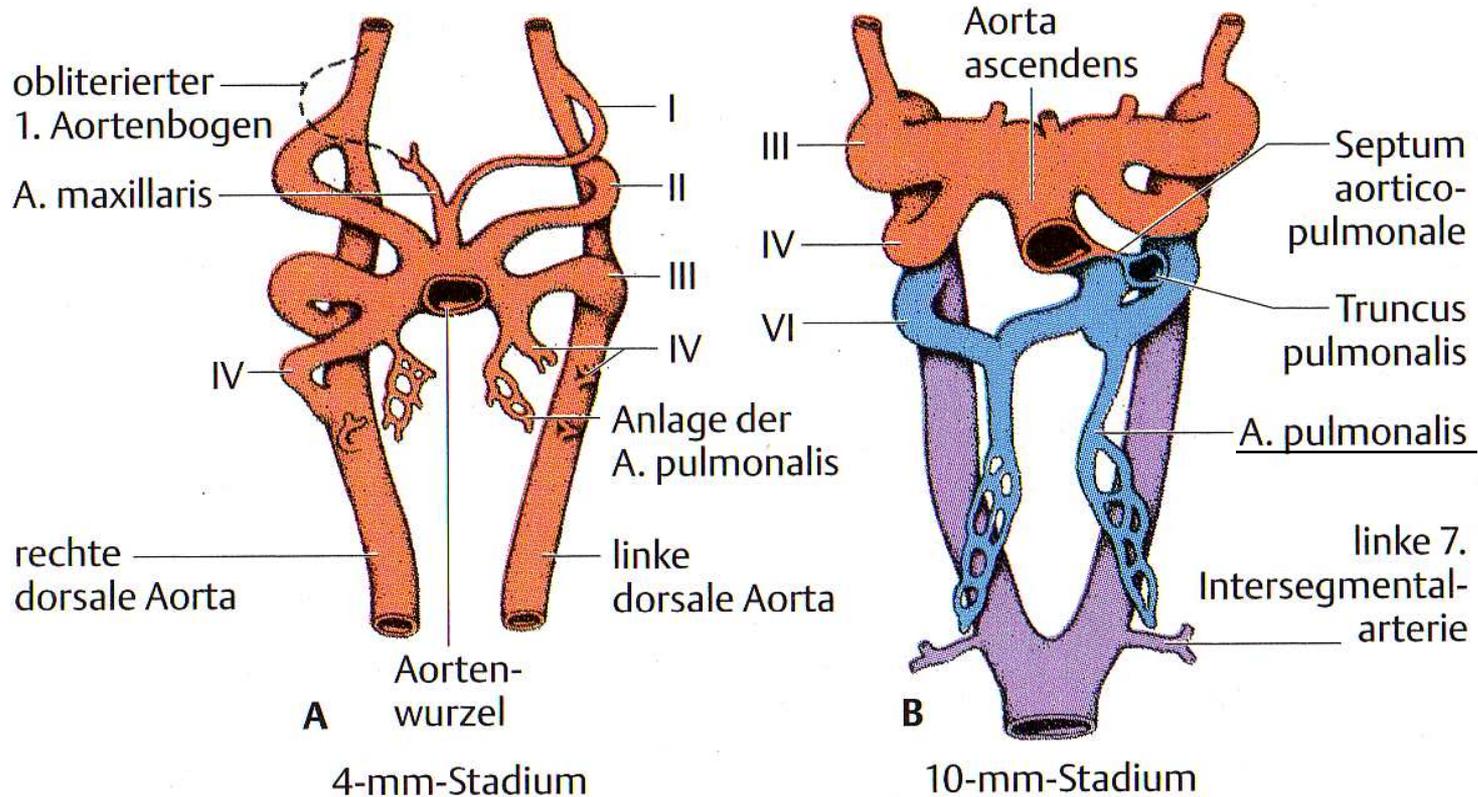
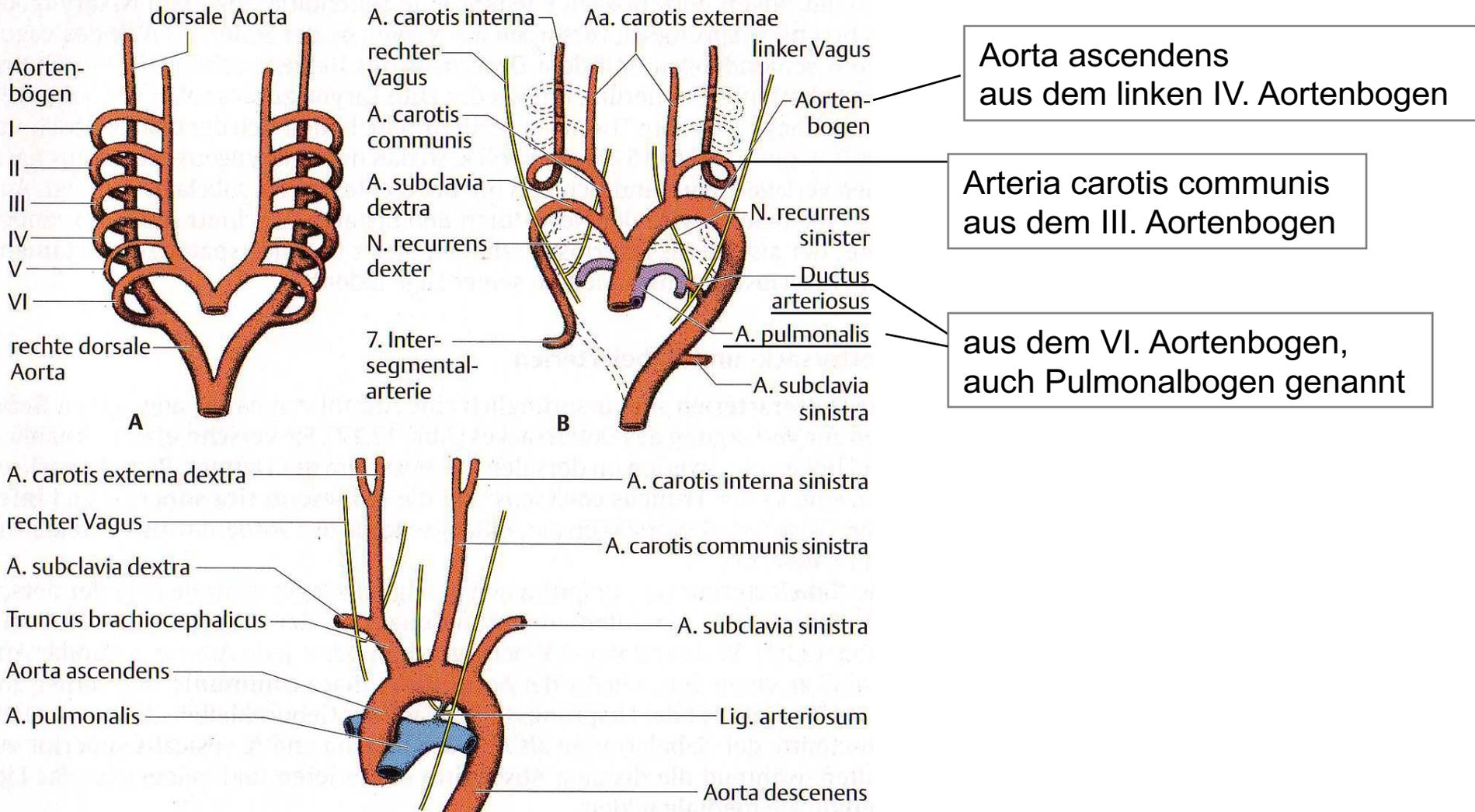


Abb. 12.28 **A** Ende der 4. Woche: Der 1. Aortenbogen ist obliteriert, bevor der 6. sich voll entwickelt hat. **B** Anfang der 6. Woche. Beachte das Septum aortico-pulmonale und die weiten Pulmonalarterien.

Umbildung der Aortenbögen zum definitiven Gefäßsystem



Aorta ascendens aus dem linken IV. Aortenbogen

Arteria carotis communis aus dem III. Aortenbogen

aus dem VI. Aortenbogen, auch Pulmonalbogen genannt

Abb. 12.29 **A** Aortenbögen und dorsale Aorten vor der Umbildung zum definitiven Gefäßsystem. **B** Aortenbögen und dorsale Aorten nach der Umbildung. Die obliterierten Abschnitte sind gestrichelt eingezeichnet. Beachte den offenen Ductus arteriosus und die Lage der 7. Intersegmentalarterie auf der linken Seite. **C** Die großen Arterien beim Erwachsenen. Vergleiche den Abstand zwischen dem Abgang der linken A. carotis communis und der linken A. subclavia in B und C. Nach der Rückbildung des distalen Abschnitts des 6. Aortenbogens (die 5. Bögen werden nicht vollständig angelegt) schlingt sich der rechte N. laryngeus recurrens um die rechte A. subclavia. Auf der linken Seite verläuft die Nervenschlinge in ihrer ursprünglichen Position um das Lig. arteriosum herum.

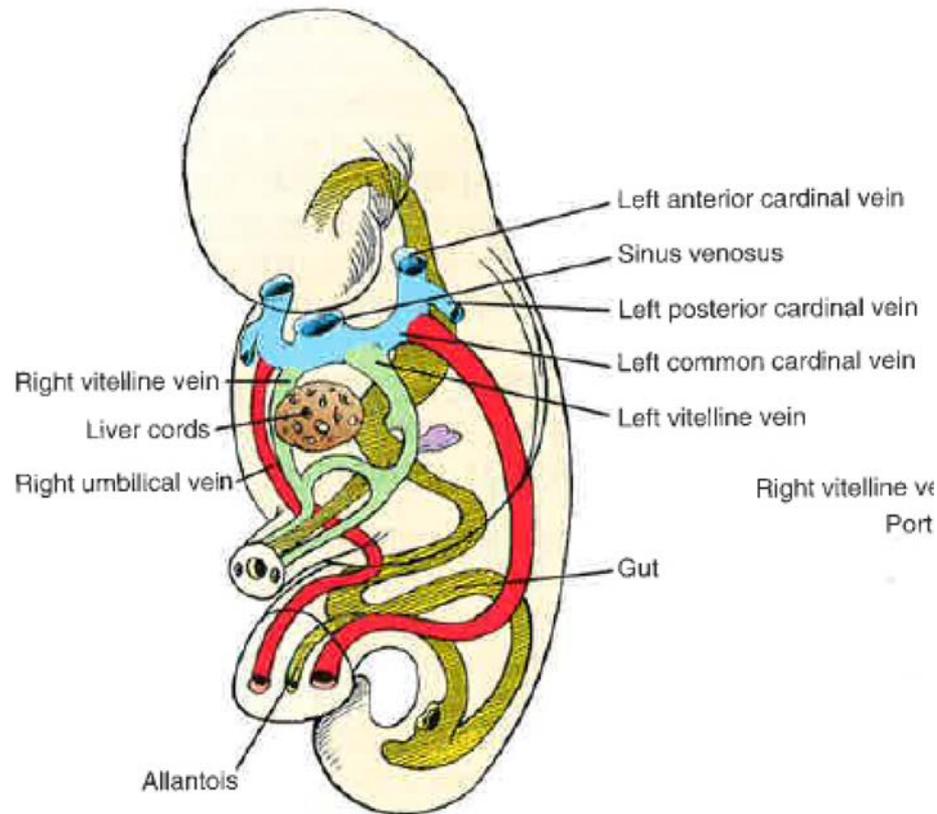
Entwicklung der Venen

In der 4. Woche sind drei grosse Venenpaare vorhanden:

Dottervenen (Blut vom Dottersack zum Sinus venosus)

Nabelvenen (sauerstoffreiches Blut vom Chorion)

Kardinalvenen (Blutrückfluss aus dem eigentlichen Embryonalkörper)



A 28 days

Entwicklung der Venen

– Dotter- und Nabelvenen in der 4. und 5. Woche

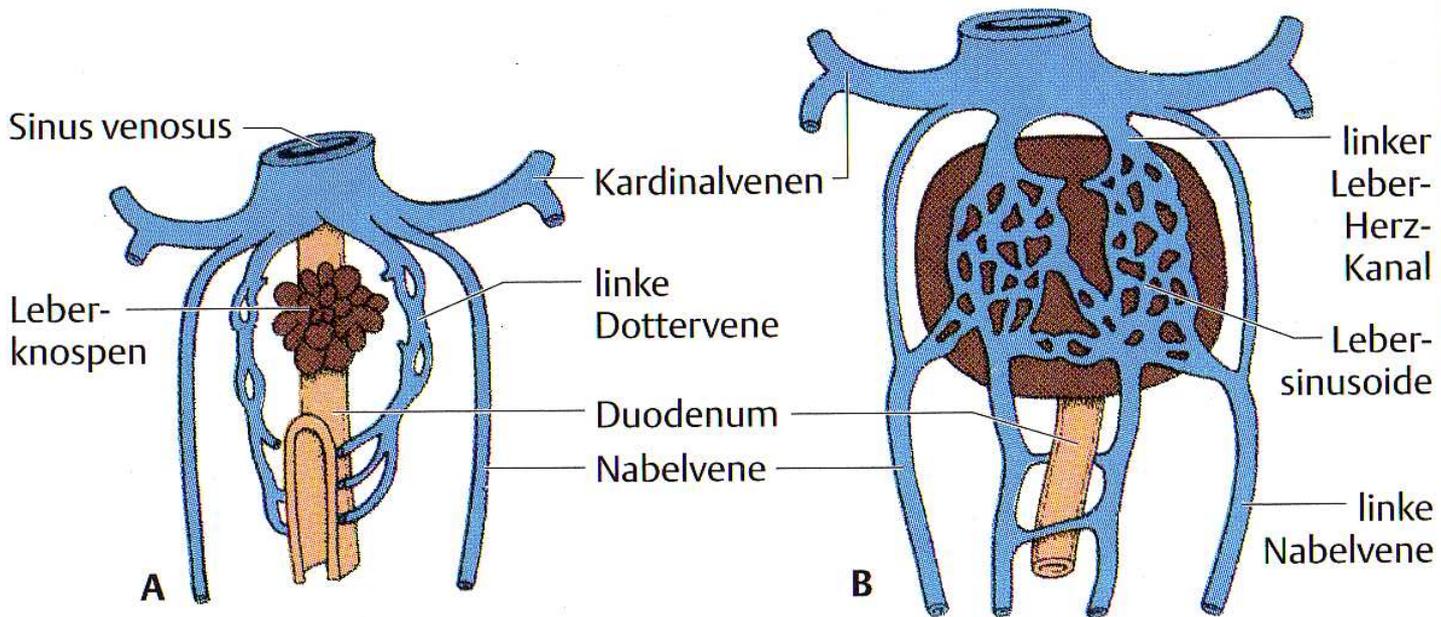


Abb. 12.34 **A** 4. Woche. **B** 5. Woche: Die Leberbälkchen wachsen in die Strombahn der Dottervenen ein, so daß Lebersinusoiden entstehen. Um das Duodenum bildet sich ein Plexus. Der venöse Blutstrom beginnt sich von links nach rechts zu verlagern.

— **Dotter- und Nabelvenen im 2. und 3. Monat** —

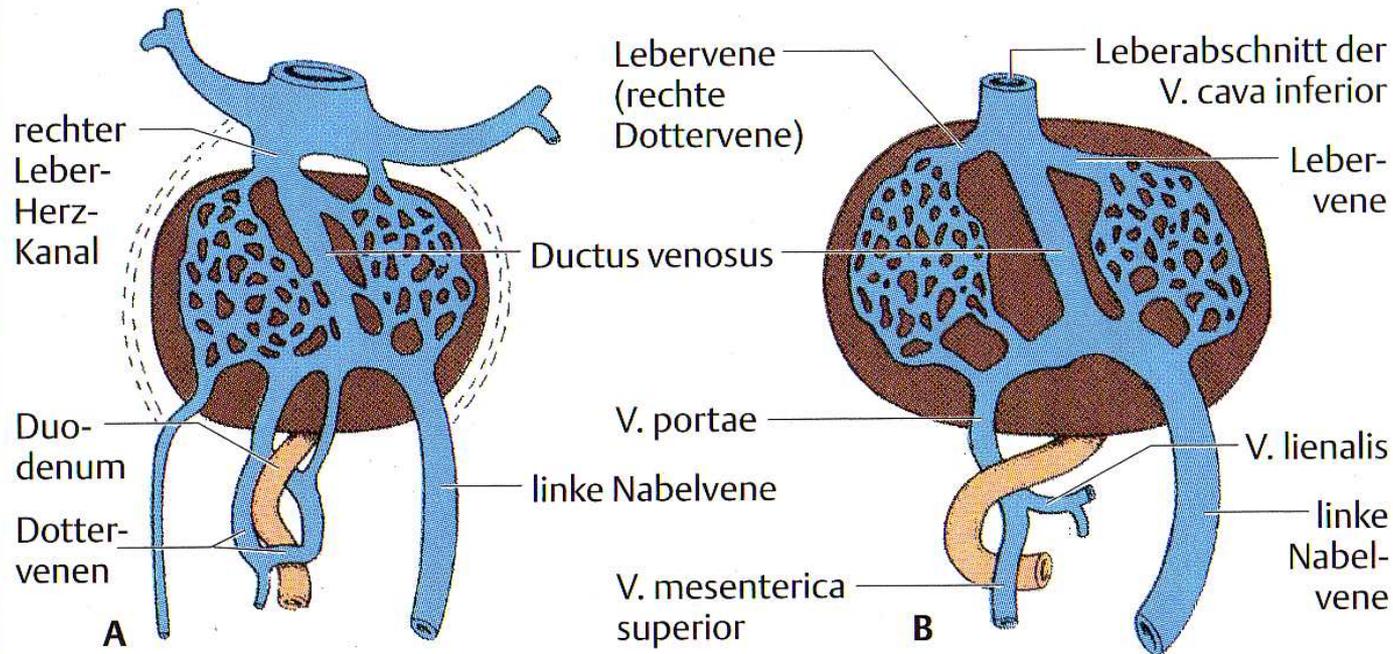


Abb. 12.35 **A** 2. Monat. **B** 3. Monat: Das Blut der linken Nabelvene wird über den Ductus venosus nach rechts geleitet. Das Lebersegment der V. cava inferior entsteht aus dem rechten Leber-Herz-Kanal. Die V. lienalis vereinigt sich mit der V. mesenterica superior zur V. portae.

Mit Rückbildung des linken Sinushorns fließt Blut von der linken Seite nach rechts,
 Duktus venosus wird gebildet.
 Geht einher mit Stärkung des Plazentakreislaufs.

V. portae aus rechter V. vitellina (Dottervene)

Entwicklung des kardinalen Venensystems

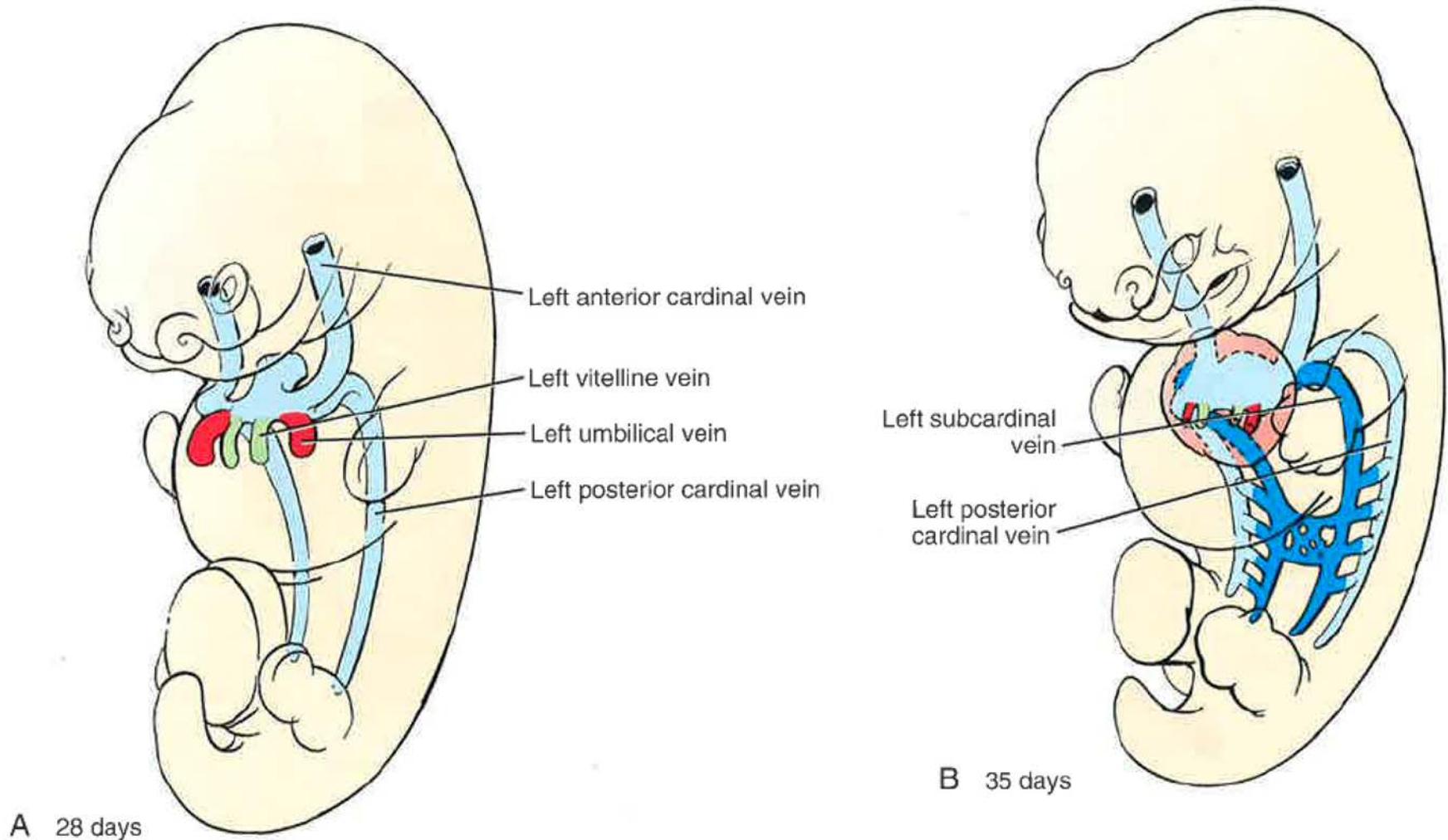
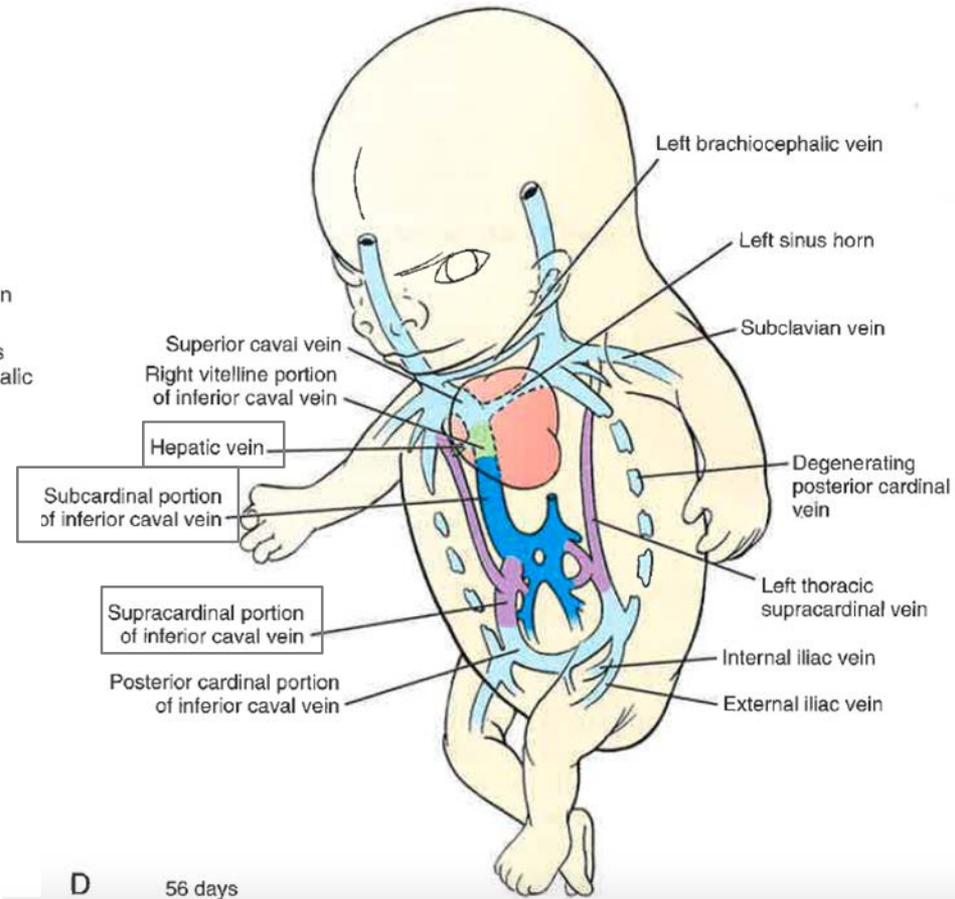
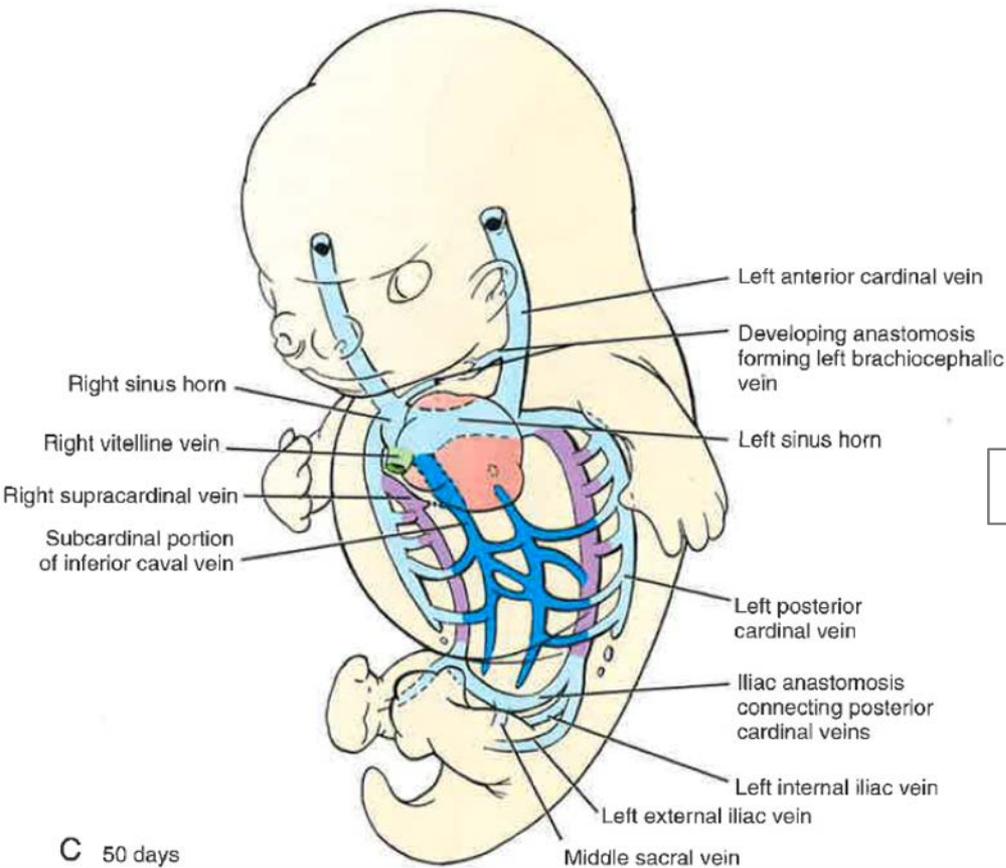
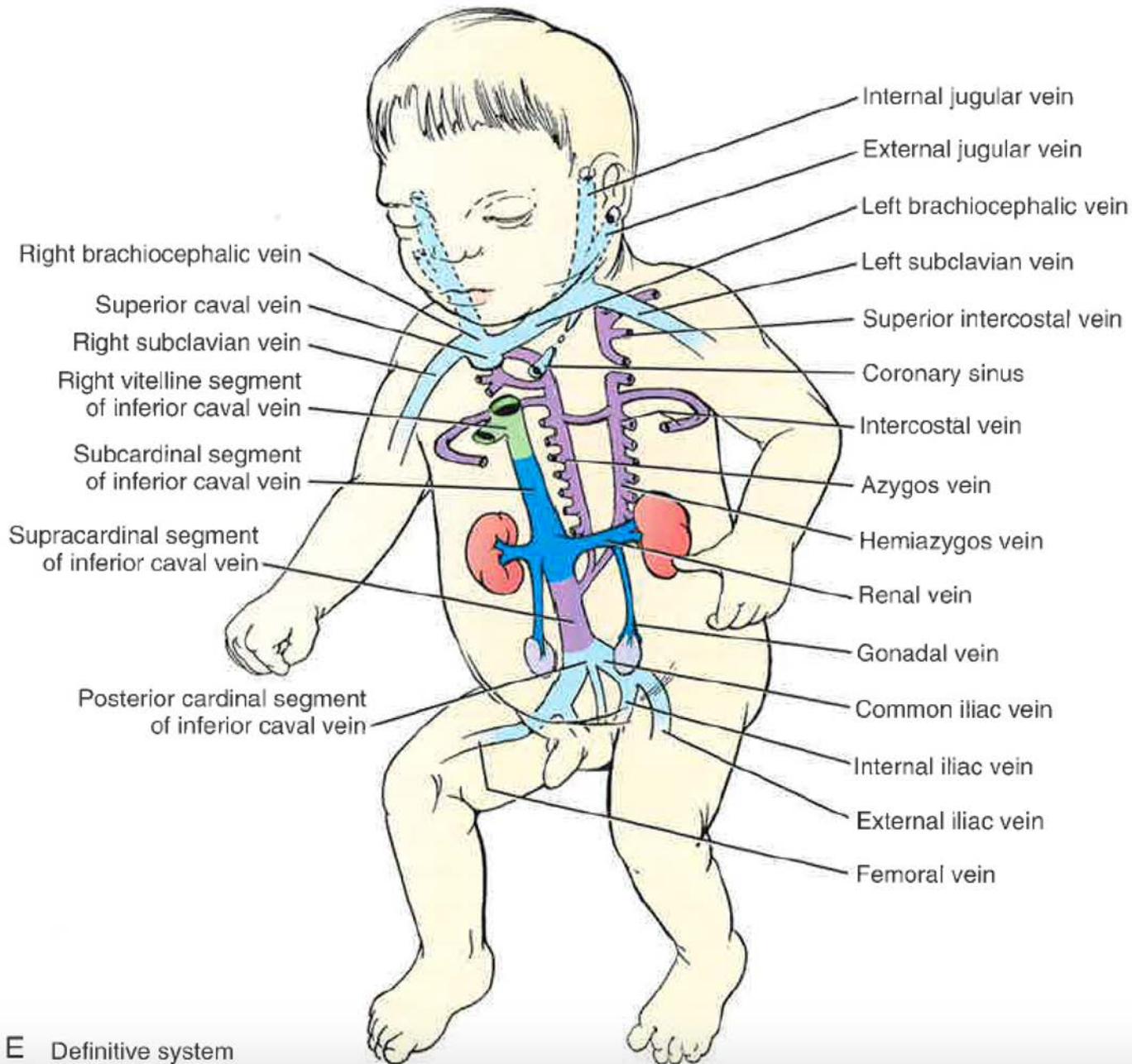


Figure 13-25. Development of the systemic venous system from the four bilaterally symmetrical cardinal vein systems. A-E, These systems are remodeled to drain blood from both sides of the head, neck, and body into the right atrium. The head and neck are initially drained by an anterior cardinal system, and the trunk is drained by a posterior cardinal system. The posterior cardinals are replaced by a set of subcardinal veins and a set of supracardinal veins.



Bildung von 3 anterior-posterior verlaufenden Strängen,
 die über Anastomosen (Verbindung zwischen Hohlorganen) teilweise miteinander verbunden
 und zu finalem Venensystem ummodelliert werden;

rechter Strang wird zu Hauptabfluss



Am Ende der embryonalen Periode hat das Venensystem annähernd den Zustand des Erwachsenen erreicht. An der Bildung der **V. cava inferior** sind die **V. supracardinalis dextra**, die **V. subcardinalis dextra** sowie die **Venen der Leber**,* die den Leber-Herz-Kanal bilden, beteiligt. Im sakralen Bereich hat sich aus dem sakralen Plexus nach diversen Umbauvorgängen die **V. iliaca communis**, sowie die **V. iliaca interna** und **externa** gebildet.

* Ursprünglich aus rechter Dottervene

Umstellung des Blutkreislaufs bei Geburt

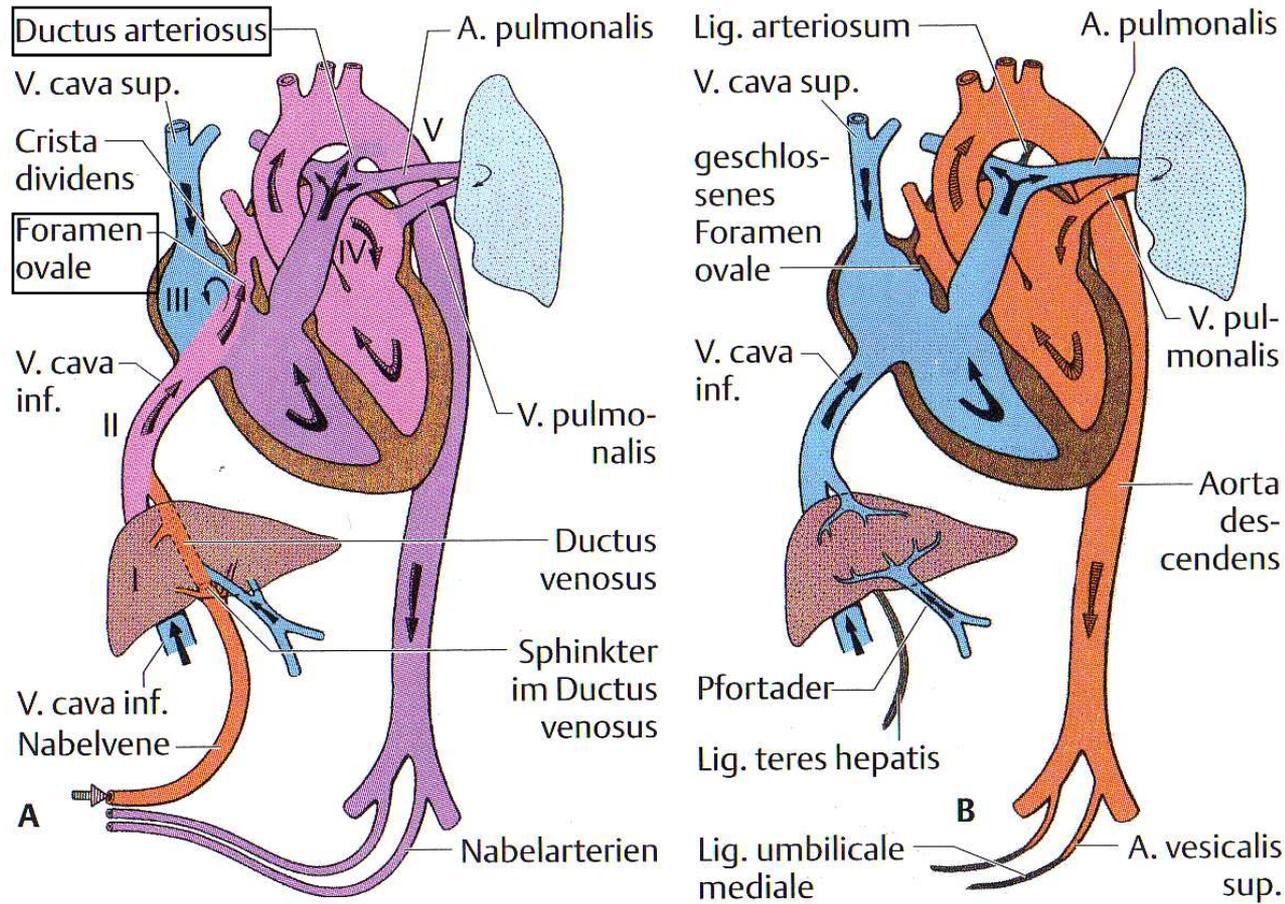


Abb. 12.39 **A** Der Blutkreislauf des Menschen vor der Geburt. Die Pfeile zeigen die Richtung des Blutstromes an. Beachte, in welchen Gebieten sich sauerstoffreiches und sauerstoffarmes Blut mischt: in der Leber (I), in der V. cava inferior (II), im rechten Vorhof (III), im linken Vorhof (IV) und an der Einmündung des Ductus arteriosus in die absteigende Aorta (V). **B** Der Kreislauf des Menschen nach der Geburt. Beachte die Veränderungen, die durch das Einsetzen der Atmung und die Unterbrechung des Plazentakreislaufes hervorgerufen werden.

Umstellung des Kreislaufs bei Geburt durch Unterbrechung des Blutzufusses aus Plazenta und Beginn der Lungenatmung

Verschluss des Ductus arteriosus durch Kontraktion seiner Wandmuskulatur und durch Thrombozytenaggregation

-> Anstieg der Blutmenge im Lungenkreislaufs, Erhöhung des Drucks im linken Vorhof
Abfall des Drucks im rechten Vorhof wegen Unterbruch des Plazentarkreislaufs

-> Verschluss des Foramen ovale

(Septum primum wird gegen Septum secundum gepresst)

In den ersten Lebenstagen ist Verschluss reversibel (Rechts-links 'Shunt')

Verschmelzen der beiden Septen innerhalb ca. 1 Jahres

Verschluss der Nabelarterien durch Kontraktion der glatten Muskulatur

Verschluss und schliesslich Obliteration der Nabelvene und des Ductus venosus