



Kapitel 5

Herz-Kreislauf-System

- 5.1 Die Herzentwicklung 83
- 5.2 Die Aortenbögen (Schlundbogenarterien) 90
- 5.3 Der Fetalkreislauf und seine Umstellung 91

Loch im Herzen

Bei der Entwicklung des Herzens kann so manches schief gehen. Meist werden Herzfehler schon kurz nach der Geburt bemerkt: Die Kinder werden zyanotisch, d. h., die Haut ist bläulich verfärbt, oder sie leiden an Atem- und Wachstumsstörungen. Auch bei Samuel M. wird ein angeborener Herzfehler festgestellt. Aber da ist er schon 52 Jahre alt.

„Atmen Sie bitte tief aus und ein.“ Dr. Schneider setzt das Stethoskop auf den Rücken seines Patienten. Schon nach den ersten Atemzügen ist klar: Samuel M. hat eine schwere Bronchitis. Bei der Anamnese hatte der Patient, der nur gebrochen Deutsch spricht, angegeben, seit längerer Zeit unter Atemnot und Müdigkeit zu leiden. Vor zwei Wochen sei nun Husten hinzugekommen. Der Arzt hört die Lungen auch noch an der Brust ab und setzt das Stethoskop dann wie üblich auf das Herz. Reine Routine. Doch dann stutzt er. Die Herztöne sind nicht ganz normal. Er fragt seinen Patienten, ob mit seinem Herzen alles in Ordnung sei. Samuel M., der nicht in Deutschland aufgewachsen ist, zuckt mit den Achseln.

Ein gespaltener Ton

Dr. Schneider hört noch einmal hin. Der zweite Herzton ist gespalten und links neben dem Sternum hört der Arzt auch noch ein Geräusch. Er lässt ein EKG schreiben. Auch dieses ist auffällig: Die rechte Herzhälfte scheint überlastet zu sein. Dr. Schneider schickt Samuel M. zur Kardiologin. Dr. Bauer empfängt ihn zusammen mit ihrer Famulantin Laura.

Die Ärztin untersucht das Herz gründlich, macht ein Röntgenbild des Thorax und führt eine Echokardiographie – eine Ultraschalluntersuchung des Herzens – durch. Auch hier zeigt sich eindeutig: Das rechte Herz und die Lunge sind belastet. Die rechte Herzkammer kommt kaum nach, Blut in die Lunge zu pumpen. Doch wo kommt das ganze Blut her?

Von links nach rechts

Diese Frage stellt Dr. Bauer auch ihrer Famulantin. Zum Glück hat Laura in der Vorlesung gut aufgepasst.

Das Blut, so lautet ihre Diagnose, kommt aus dem linken Herzen: Es handelt sich um einen sogenannten Links-Rechts-Shunt. Als Ursache vermutet Laura einen Vorhofseptumdefekt. Bei diesem Herzfehler sind die Vorhöfe durch ein Loch in der Scheidewand miteinander verbunden. Dr. Bauer bestätigt die Diagnose und erzählt, dass ein Vorhofseptumdefekt der häufigste im Erwachsenenalter diagnostizierte angeborene Herzfehler ist. Denn die Patienten bemerken oft erst mit 40 oder mehr Jahren Symptome, z.B. Müdigkeit, Atemnot bei Belastung und pulmonale Infekte.

Was tun?

Schwere Vorhofseptumdefekte werden natürlich schon in der Kindheit entdeckt und können dann auch operiert werden. Bei Samuel M. ist eine solche Operation nicht dringend. Wenn seine Bronchitis vollständig abgeheilt ist, kann man mithilfe einer Herzkatheteruntersuchung herausfinden, wie groß das Loch ist. Möglicherweise ist gar keine Behandlung notwendig – schließlich hat Samuel M. schon seit 52 Jahren gut gelebt. Allerdings muss er regelmäßig untersucht werden, damit man rechtzeitig einschreiten kann, wenn sich die Beschwerden verschlimmern.



5.1 Die Herzentwicklung



Lerncoach

Bei der Bearbeitung dieses Kapitels sollten Sie sich zunächst einen Überblick verschaffen. Achten Sie dabei besonders auf folgende Aspekte:

- die Gliederung des Herzschlauches
- die Septumbildung
- die Umgestaltung der Vorhöfe.

5.1.1 Der Überblick

Die Herzanlage entsteht in der Nähe der **Prächordalplatte**, also am kranialen Ende des Embryos. Dort bilden sich aus Endothelzellen die **Endokardröhren**, die dann während der lateralen Abfaltung zum **Herzschlauch** verschmelzen. Gleichzeitig entsteht die **Perikardhöhle**. Der Herzschlauch wächst in die Länge und krümmt sich bis zum Ende des 1. Monats zur S-förmigen **Herzschleife**, an der bereits funktionell unterschiedliche Regionen erkennbar sind. Durch Septierungsvorgänge wird die Herzschleife dann in Vorhöfe und Kammern unterteilt. Die Ausflussbahn wird unterteilt in Aorta ascendens und Truncus pulmonalis und die Klappen werden angelegt.

5.1.2 Der Herzschlauch und die Perikardhöhle

In der 3. Woche entwickelt sich im Mesoderm ein Gefäßplexus. Dabei verdichten sich Mesodermzellen zu **angiogenetischem Material (Angioblasten)**. Diese Endothelzellen sprossen aus und vereinigen sich mit Epithelzellen anderer Verdichtungen zu netzartig angeordneten Schläuchen (Gefäßplexus). Der vordere paarige Teil des Gefäßplexus ist die **kardiogene Zone**, die seitlich und vor der Buccopharyngealmembran liegt. Hier verschmilzt der Gefäßplexus dann beidseits zu einem Endothelrohr, das jetzt **Endokardrohr** heißt (Endokard = Herzinnehhaut). Durch die laterale Abfaltung verlagern sich die beiden Endokardrohre nach medial und fusionieren dort zum unpaaren **Herzschlauch**.

Im Mesoderm entwickelt sich durch Spaltbildung eine Höhle, die **primäre Perikardhöhle**. Gleichzeitig verdichten sich Mesenchymzellen des viszeralen Blattes zur Myokardplatte (Myokard = Herzmuskulatur). Die Zellen der Myokardplatte wandern aus und umhüllen die Endokardschläuche. Zwischen Endokard und Myokard liegt eine Schicht aus extrazellulärem Material, die **Herzgallerte**.

Innerhalb der primären Perikardhöhle ist der Herzschlauch nur dorsal mit der Wand der Höhle über das **Mesocardium dorsale** verbunden. Bei diesem dorsalen Mesokard handelt es sich um eine mesoartige Aufhängung, d. h. eine plattenförmige Verbindung aus Mesoderm zwischen viszeralem Blatt (hier:

Myokard) und parietalem Blatt (hier: Wand der Perikardhöhle).

Schon bald degeneriert der mittlere Teil des Mesocardium dorsale, sodass dann auch dorsal eine Verbindung zwischen rechter und linker Hälfte der Höhle besteht. Wenig später löst sich das Mesokard dann weitgehend auf. Die Perikardhöhle gewinnt dann Anschluss an das intraembryonale Zöлом. Dabei entsteht die Pleuraperikardhöhle (Pleura = Lungenfell), die nach unten zur späteren Bauchhöhle durch ein **Septum transversum** teilweise abgegrenzt wird. Dieses Septum transversum wächst als dicke Mesodermplatte von ventral in die Höhle vor und bildet eine Trennwand innerhalb der Leibeshöhle (s. auch Bildung des Zwerchfells (S.108)). Später wird dann die Perikardhöhle von der Pleurahöhle abgegliedert (**Abb. 2.19**). Aus dem Bereich des Septum transversum wandern Zellen aus und überziehen als Epikard das Myokard. Somit besteht die Wand des Herzschlauches jetzt aus drei Schichten:

- **Endokard:** innere Endothelauskleidung
- **Myokard:** Herzmuskulatur
- **Epikard:** viszerales (= inneres) Blatt des Herzbeutels (Perikards), bedeckt die Außenfläche des Myokards.

Die Herzgallerte zwischen Endokard und Myokard bildet sich allmählich zurück.

Am Herzschlauch sind jetzt leichte **Ausweitungen**, die von **Einschnürungen** getrennt sind, erkennbar (**Abb. 5.1a** und **b**). Der Herzschlauch gliedert sich dann von der Ausstromseite zur Einstromseite in:

- **Truncus arteriosus**
- **Bulbus cordis** (bildet später auch **Conus arteriosus**)
- **Ventriculus communis**
- **Atrium commune**
- **Sinus venosus** (Einstrombahn, bleibt paarig mit zwei Sinushörnern).

Schon am 22. Tag beginnt das Myokard des Herzschlauches mit rhythmischen Kontraktionen (einer wellenförmig fortschreitenden Wandbewegung).

Beachte: Die erste Anlage des Herzens entsteht in der Nähe der Prächordalplatte. In der weiteren Entwicklung verlagert sich das Herz aus der Halsregion in den Thoraxraum (Descensus cordis). Bei diesem Deszensus in den Thoraxraum werden auch Nerven „mitgezogen“, z. B. N. laryngeus recurrens des N. vagus: Beim Erwachsenen verläuft deshalb der N. laryngeus recurrens um die Aorta und um die A. subclavia dextra.

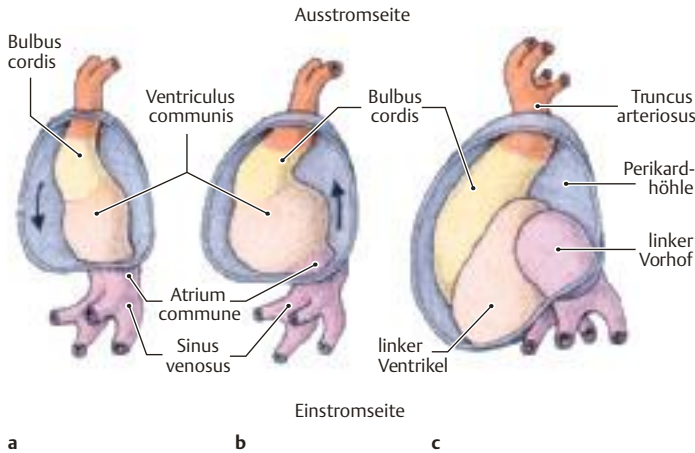


Abb. 5.1 Entwicklung der Herzschleife. a 21. Tag; b 22. Tag; c 25. Tag.

5.1.3 Die Herzschleife



Lerntipp

Bei der Herzschleifenbildung finden komplizierte dreidimensionale Vorgänge statt. Achten Sie vor allem auf folgende Entwicklungsschritte:

- die S-förmige sagittal ausgerichtete Struktur dreht sich nach rechts
- die Einflussbahn verlagert sich nach hinten oben und nähert sich der Ausflussbahn
- von vorne wird die U-förmige Bulboventrikularschleife sichtbar.

Der zunächst gerade Herzschlauch wächst ab Beginn der 4. Woche schneller als die Perikardhöhle in die Länge. Dadurch entsteht in der Sagittalebene eine S-förmige Krümmung, die **Herzschleife**. Die sagittale Schleife klappt nach rechts. Die linken Seiten des Ventriculus communis und des Bulbus cordis zeigen jetzt nach vorne, das Atrium liegt hinter dem Ventriculus und dem Bulbus. Die Einstrombahn ist nach dorsal und oben verlagert und nähert sich damit der Ausstrombahn. Bei der Ansicht von ventral wird eine U-förmige Schleife erkennbar (auch **Bulboventrikularschleife** genannt). Der primitive Ventrikel liegt dabei im absteigenden Schenkel der Schleife, der Bulbus cordis und die Ausstrombahn im aufsteigenden Teil (Abb. 5.1c).

5.1.4 Die Septierungen

Aus dem Herzschlauch (**Cor commune**) entsteht in der 5.–7. Woche durch die Septierungsvorgänge das vierkammerige Herz.

Dabei lassen sich folgende Prozesse unterscheiden:

- Unterteilung in Vorhof und Kammer
- Septierung der Vorhöfe
- Septierung der Ventrikel
- Septierung der Ausströmungsbahn (Conus und Truncus arteriosus).

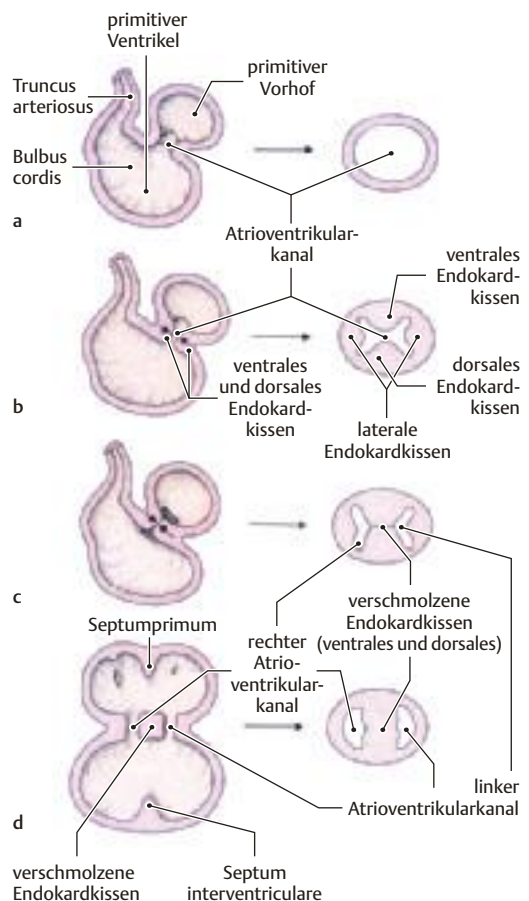


Abb. 5.2 Unterteilung des Atrioventrikularkanal (links Sagittalschnitte des Herzens, rechts Querschnitte durch den Atrioventrikularkanal und die Endokardkissen). a 23. Tag; b 26. Tag; c 30. Tag; d 32. Tag.

Die Unterteilung in Vorhof und Kammer

Zwischen dem **Atrium primitivum** (primitiver Vorhof) und dem **Ventriculus primitivum** (primitiver Ventrikel) liegt als Verbindung der **Atrioventrikularkanal** (AV-Kanal, **Abb. 5.2**). Auf Höhe des AV-Kanals bilden sich insgesamt **vier Endokardkissen** aus. Die Kissen entstehen durch Proliferation von Mesenchymzellen. Dadurch wird das Endokard in Form von Kissen oder Polstern in den Blutstrom (also in das Lumen) vorgewölbt. Die vier Endokardkissen im AV-Kanal sind:

- 1 ventrales (vorderes) und 1 dorsales (hinteres) Endokardkissen
- 2 laterale Endokardkissen.

Das Lumen des AV-Kanals wird durch die Endokardkissen **H-förmig** eingeengt. Die beiden großen Endokardkissen, nämlich das ventrale und das dorsale, wachsen dann aufeinander zu und verschmelzen mittig miteinander. Dadurch wird der AV-Kanal in einen rechten und linken Abschnitt unterteilt. Der rechte Abschnitt ist das **Trikuspidalostium**; hier entstehen die drei Segel der Trikuspidalklappe. Im linken Abschnitt, dem **Bikuspidalostium**, entwickeln sich die zwei Segel der Bikuspidalklappe (Mitralklappe, S.88).

Die Septierung der Vorhöfe



Lerntipp

Der primitive Vorhof wird durch die Entwicklung zweier Septen (**Septum primum** und **Septum secundum**) in einen rechten und einen linken Vorhof geteilt. Achten Sie hierbei auf die Entstehung der **Foramina** und ihre Bezeichnungen.

Von dorsal oben wächst aus der Wand des primitiven Vorhofs eine dünne, halbmondförmige Membran, das **Septum primum**, in Richtung auf den Atrioventrikularkanal herab (**Abb. 5.3a**). Zunächst bleibt zwischen dem ventralen und dorsalen Endokardkissen und dem Unterrand des Septum primum eine relativ große Öffnung, das **Foramen primum** (oder Ostium primum). Durch Annäherung des Septum primum und Wachstum der (mittig verschmolzenen ventralen und dorsalen) Endokardkissen, wird das Foramen primum zunehmend verkleinert und schließlich verschlossen. Noch vor dem Verschluss des Foramen primum treten im oberen Teil des Septum primum Perforationen auf, die schnell zu einer größeren Öffnung, dem **Foramen secundum** (Ostium secundum) zusammenfließen (**Abb. 5.3b**). Rechts vom Septum primum entwickelt sich (zum Ende des 2. Monats) als feine Einfaltung des Vorhofs daches ein zweites

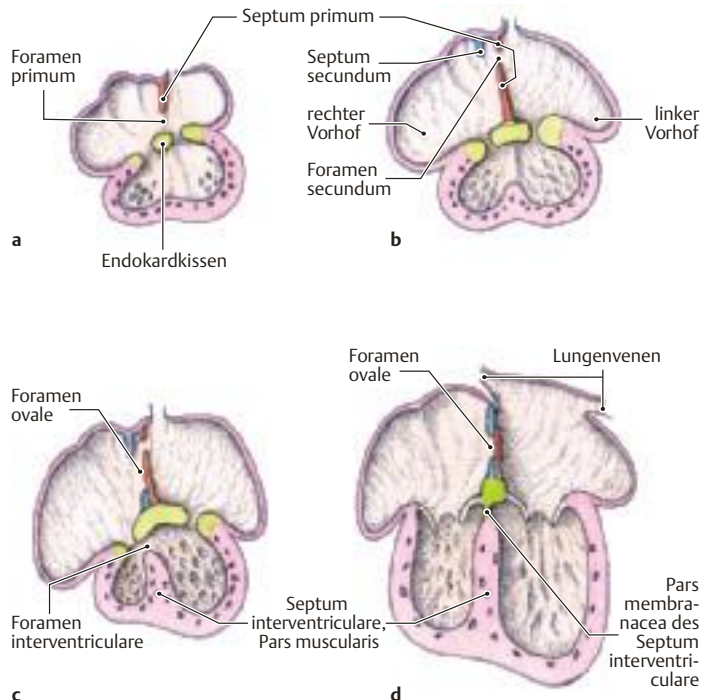


Abb. 5.3 Septierung der Vorhöfe und Bildung des Foramen ovale. a 30. Tag; b 37. Tag; c 40. Tag; d 7. Woche.

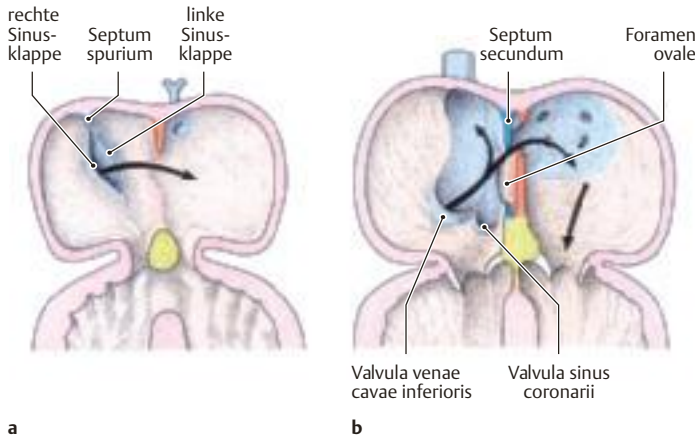


Abb. 5.4 Umgestaltung der Sinusklappen. a 4. Woche; b 7. Woche

Septum, das **Septum secundum**. Es bedeckt das Foramen secundum und bildet nur eine unvollständige Trennwand. An seinem Unterrand bleibt eine ovale Öffnung, das **Foramen ovale** (Abb. 5.3c). Das Septum secundum begrenzt also mit seinem sichelförmigen Randwulst das Foramen ovale. Der nicht bedeckte Teil des Septum primum im Foramen ovale hat somit Kontakt zum rechten Vorhof. Vor der Geburt wird das Blut aus der V. cava inferior im rechten Vorhof auf das Foramen ovale gelenkt und gelangt dann zwischen Septum primum und Septum secundum in den linken Vorhof. Die beiden Septen bilden ein Ventil, d.h. lassen das Blut nur in eine Richtung, von rechts nach links hindurch. Es ermöglicht so einen **Rechts-Links-Shunt auf Vorhofebene** (Abb. 5.4): Das Blut aus der V. cava inferior (Bluthauptstrom) wird dadurch am Lungenkreislauf vorbei direkt in den linken Vorhof geleitet.

MERKE

Das Foramen ovale entwickelt sich auf der Grundlage des Foramen secundum, das durch die Degeneration im Septum primum entsteht und anschließend durch das Septum secundum unvollständig bedeckt wird. Der unbedeckte Teil wird als Foramen ovale bezeichnet. Es ist eine Kurzschlussverbindung zwischen rechtem und linkem Vorhof.

Klinischer Bezug

Defekte des Vorhofseptums: Man kennt Ostium-secundum- und Ostium-primum-Defekte. Beim Ostium-(oder Septum-)primum-Defekt wächst das Septum primum nicht bis auf das Endokardkissen herab; es persistiert also ein Foramen primum. Der untere Teil des Foramen ovale ist dabei ganz offen.

Wenn die Perforationen im Septum primum an falscher Stelle erfolgen oder zu groß sind, können sie nicht oder nicht vollständig vom Septum secundum abgedeckt

werden. Die Folge ist eine Persistenz des fehlerhaften Ostium secundum. Auch eine unzulängliche Entwicklung des Septum secundum kann zu einem Ostium-secundum-Defekt (offenes Foramen ovale) führen. Bei Defekten des Vorhofseptums kommt es postnatal zu einem Links-Rechts-Shunt (durch den Defekt hindurch). Dadurch besteht eine Volumenbelastung des rechten Herzens (à Hypertrophie des rechten Herzens) und eine Hypertonie im Lungenkreislauf.

Die Septierung des Ventrikels

Aus dem Ventriculus primitivus entsteht der linke und aus dem Bulbus cordis der rechte Ventrikel. Es kommt zunächst zu einem starken Wachstum des Myokards an den Außenflächen des Ventriculus primitivus und des Bulbus cordis. Gleichzeitig wird die Innenfläche ausgehöhlt. Diese Aushöhlung erfolgt nicht gleichmäßig, sodass die Innenfläche der Herzkammern später netzförmig verbundene Muskelbälkchen, die **Trabeculae carneae**, aufweist. Während die zwei Hohlräume sich stark ausdehnen, bleibt ein schmaler Streifen zwischen ihnen im Wachstum zurück. Dadurch entwickelt sich eine Leiste am Boden des Ventrikels. Diese Leiste, die die Anlage des **muskulären Septum interventriculare** darstellt, verlängert sich nach oben. Die Verlängerung erfolgt dann auch durch Proliferation von Muskelgewebe des Septum (Abb. 5.3c). Zwischen dem Oberrand des Septum interventriculare und den verschmolzenen (ventralen und dorsalen) Endokardkissen verbleibt zunächst eine Öffnung, das **Foramen interventriculare**.

Klinischer Bezug

Ventrikelseptumdefekt: Die häufigsten Ventrikelseptumdefekte sind die hoch sitzenden Defekte im Bereich der Pars membranacea. Es besteht ein Links-Rechts-Shunt, d.h. Blut aus dem linken Ventrikel fließt durch den Septumdefekt in den rechten Ventrikel (und dann

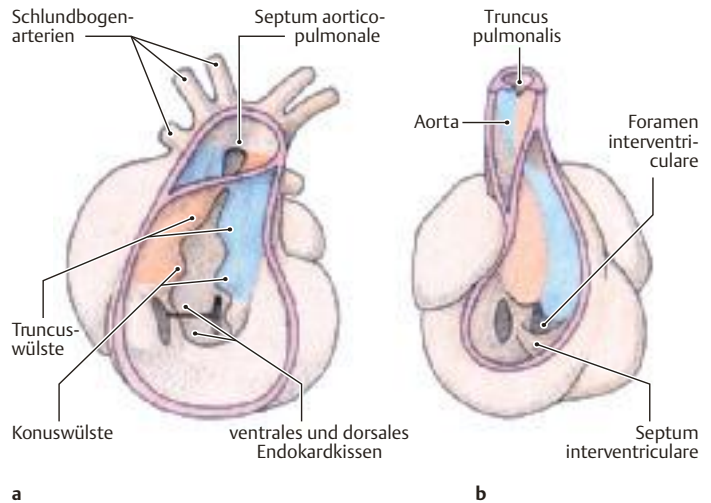


Abb. 5.5 Septierung des Ventrikels und der Ausflussbahn. a 5. Woche; b 6. Woche

weiter in die Lungenstrombahn). Schließlich kann es zu einer Volumenbelastung des linken Ventrikels kommen. Die Klinik hängt im Wesentlichen von der Defektgröße ab, die das Shuntvolumen bestimmt. Symptome bei einem großen Ventrikelseptumdefekt sind Trinkschwäche, Gedeihstörungen, Dyspnoe (Atemnot), Schwitzen.

Die Septierung der Ausflussbahn

Die Ausflussbahn (Bulbus und Truncus arteriosus) wird durch drei Wulstsysteme septiert (**Abb. 5.5**):

- Septum aortico-pulmonale (unpaar)
- Truncuswülste (vorderer und hinterer Wulst)
- Konuswülste (rechter und linker Wulst).

Dabei entsteht insgesamt eine *spiralig* angeordnete Scheidewand.

MERKE

Die Entstehung der Ausflussbahn-Septierung wird in den Lehrbüchern unterschiedlich dargestellt. So findet sich oft die Beschreibung (anders als in diesem Buch), dass die Konus- und Truncuswülste aufeinander zuwachsen und sich zum Septum aortico-pulmonale vereinigen.

Aus der dorsalen Wand des Saccus aorticus (s. **Abb. 5.9**) wächst das **Septum aortico-pulmonale** aus. Darunter vereinigen sich die **Truncus- und Konuswülste**. Insgesamt sind dadurch Aorta ascendens und Truncus pulmonalis voneinander getrennt. Der Bulbus cordis wird größtenteils in die Wand der rechten Kammer einbezogen; er bildet hier die glattwandige Ausflussbahn, den Conus arteriosus (Infundibulum), der dann über die Pulmonalklappe in den Truncus pulmonalis übergeht. Im linken Ventrikel ist

nur ein kurzer Teil unter der Aortenklappe glattwandig.

Beachte: Durch den spiraligen Verlauf des Septums in der Ausflussbahn ergibt sich, dass Aorta ascendens und Truncus pulmonalis dann *umeinander gewundene Ausflussrohre* sind. Das bedeutet, dass der Ursprung der Aorta vom Truncus pulmonalis überkreuzt wird.

Klinischer Bezug

Transposition der großen Gefäße: Erfolgt die Septierung von Conus und Truncus arteriosus nicht spiralig, so liegt eine Vertauschung in der Lage, von Truncus pulmonalis und Aorta vor. Das heißt, die Aorta entspringt aus dem rechten Ventrikel und liegt ventral vom Truncus pulmonalis, der aus dem linken Ventrikel entspringt. Nur wenn zusätzliche Fehlbildungen die beiden Kreisläufe herstellen, ist die Transposition mit dem Leben vereinbar.

Als letztes wird das Foramen interventriculare verschlossen. Dieser Verschluss erfolgt durch Wachstum und Vereinigung der Ränder des Septum interventriculare und der verschmolzenen Konuswülste. Der Verschluss ist bindegewebig und wird als **Pars membranacea** des Ventrikelseptums bezeichnet (d. **Abb. 5.5**).

Beim Erwachsenen besteht das Septum interventriculare größtenteils aus Herzmuskelgewebe, Pars muscularis. Nur ein kleiner Teil des Septums in der Nähe der Vorhof-Kammer-Grenze ist die dünne und bindegewebige Pars membranacea.

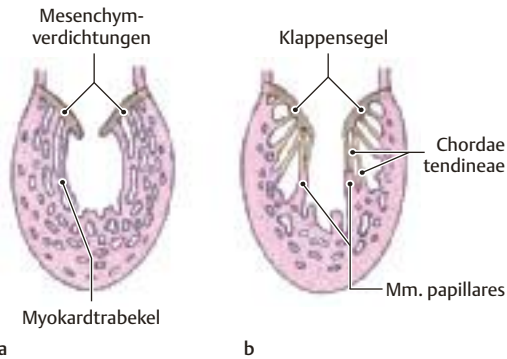


Abb. 5.6 Entwicklung der Atrioventrikularklappen. a 7. Woche; b 15. Woche

Die Entwicklung der Herzklappen

Das Herz besitzt 4 Herzklappen, 2 **Segelklappen** und 2 **Taschenklappen**.

- Segelklappen: sind die **Atrioventrikularklappen** zwischen den Vorhöfen und den Ventrikeln
- Taschenklappen: sind die **Semilunarklappen** (Aortenklappe und Pulmonarklappe) an den Ausflusshbahnen.

Die Atrioventrikularklappen (Segelklappen)

Sowohl im rechten als auch im linken Atrioventrikularkanal kommt es zu umschriebenen Mesenchymverdichtungen (**Abb. 5.6**). Auf der Kammerseite liegen unter diesen Verdichtungen Myokardtrabekel. Die segelnahen Abschnitte der Trabekel werden bindegewebig umgewandelt (nach Apoptose des Myokards). Dadurch entstehen die **Chordae tendineae**. Die segelfernen Myokardtrabekel werden zu Mm. papillares, die in der Ventrikelwand verankert sind. Die Mm. papillares sind auf der anderen Seite mit den Segeln (Cuspis anterior,- posterior,- septalis) verbunden. Im linken Ostium atrioventriculare bildet sich so die **Mitralklappe** (oder Bikuspidalklappe) mit zwei Klappensegeln und im rechten Ostium atrioventriculare die **Trikuspidalklappe** mit drei Klappensegeln.

Die Semilunarklappen (Taschenklappen)

Die Semilunarklappen entstehen aus Klappenwülsten (Mesenchymverdichtungen), die von oben (durch den diastolischen Blutrückfluss) ausgehöhlt werden (**Abb. 5.7**). So entstehen die Taschen (Valvulae semilunares) der Aorten- und Pulmonalklappe.

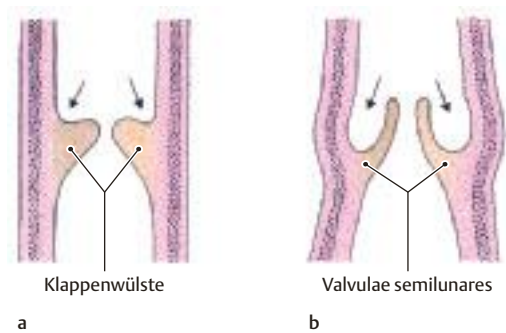


Abb. 5.7 Entwicklung der Semilunarklappen. Die Pfeile deuten die Aushöhlung der Wülste durch den diastolischen Rückfluss an. a 6. Woche; b 9. Woche

Klinischer Bezug

Angeborene Stenosen der Herzklappen: Bei Stenosen der Pulmonal- und Aortenklappe erscheinen die Klappen klein, deformiert oder partiell verwachsen. Die Pulmonalstenose kommt in allen Schweregraden vor. Es kommt zur Druckerhöhung in der rechten Kammer, die dann hypertrophiert. Die Aortenklappenstenose ruft letztlich eine Hypertrophie des linken Ventrikels hervor.

5.1.5 Die Umgestaltungen im Bereich der Vorhöfe

Beide Vorhöfe weisen im Inneren einen Wandteil mit **glatter** Oberfläche und einen **zerklüfteten** Wandteil auf. Diese gehen aus unterschiedlichen Strukturen hervor (Sinushorn bzw. Pulmonalvenen und Atrium primitivum).

Der Sinus venosus und die Umgestaltung im rechten Vorhof

In der 4. Woche besitzt der Sinus venosus ein rechtes und ein linkes Horn, die zunächst etwa gleich groß sind. In jedes Sinushorn münden drei Venen:

- die Dottervene (**V. vitellina**)
- die Nabelvene (**V. umbilicalis**)
- der gemeinsame Stamm der oberen und der unteren **Kardinalvene**.

In Folge findet eine Verlagerung des Blutstroms im Venensystem *nach rechts* statt (**Links-Rechts-Shunt**). Dadurch vergrößert sich das rechte Sinushorn zunehmend, während sich das linke Horn ständig verkleinert. Der Links-Rechts-Shunt kommt durch Umbauvorgänge im Venensystem (Dotter,- Nabel,- und Kardinalvenen) zustande:

- Obliteration der linken Dottervene
- Einstrom der linken V. umbilicalis (über den Lebervenenplexus und die rechte V. vitellina) in das rechte Sinushorn.

Die rechte V. cardinalis communis und ihre V. cardinalis superior werden zur **V. cava superior**. Die rechte V. cardinalis inferior wird zur V. azygos. Aus dem Lebervenenplexus entsteht die **V. cava inferior**.

Bei diesen Umbauvorgängen wird das rechte Sinushorn in den rechten Vorhof integriert (**Abb. 5.8a, b**). Der aus dem rechten Sinushorn entstandene Vorhofteil ist **glattwandig**; während der aus dem Atrium primitivum entstandene Teil **rauwandig trabekulär** ist. Der rauwandig trabekuläre Teil, der im späteren rechten Herzohr liegt, ist durch parallele Muskelbälkchen, die *Mm. pectinati*, gekennzeichnet. Die Grenze zwischen trabekulärem und glattem Anteil bildet eine Muskelleiste, die **Crista terminalis**.

Aus dem linken Sinushorn entwickelt sich der **Sinus coronarius** (Sammelvene für den größten Teil des venösen Blutes der Herzmuskulatur) und die kleine V. obliqua atrii sinistri.

Die Umgestaltung im linken Vorhof

Auch im linken Vorhof ist ein **glattwandiger** und ein **trabekulärer** Teil zu unterscheiden. Der raue Anteil entstammt wie auf der rechten Seite aus dem Atrium primitivum und ist im linken Herzohr lokalisiert. Der glattwandige Teil entsteht durch Einbeziehung der primitiven Pulmonalvenen in den Vorhof. Zunächst tritt eine V. pulmonalis communis in den Vorhof ein. Die V. pulmonalis communis wird zunehmend in die Wand des Vorhofes integriert (**Abb. 5.8d bis e**). Dann werden auch die ersten Äste (Verzweigungen) in den Vorhof aufgenommen, sodass zuerst zwei und dann schließlich vier Pulmonalvenen getrennt in den Vorhof münden.

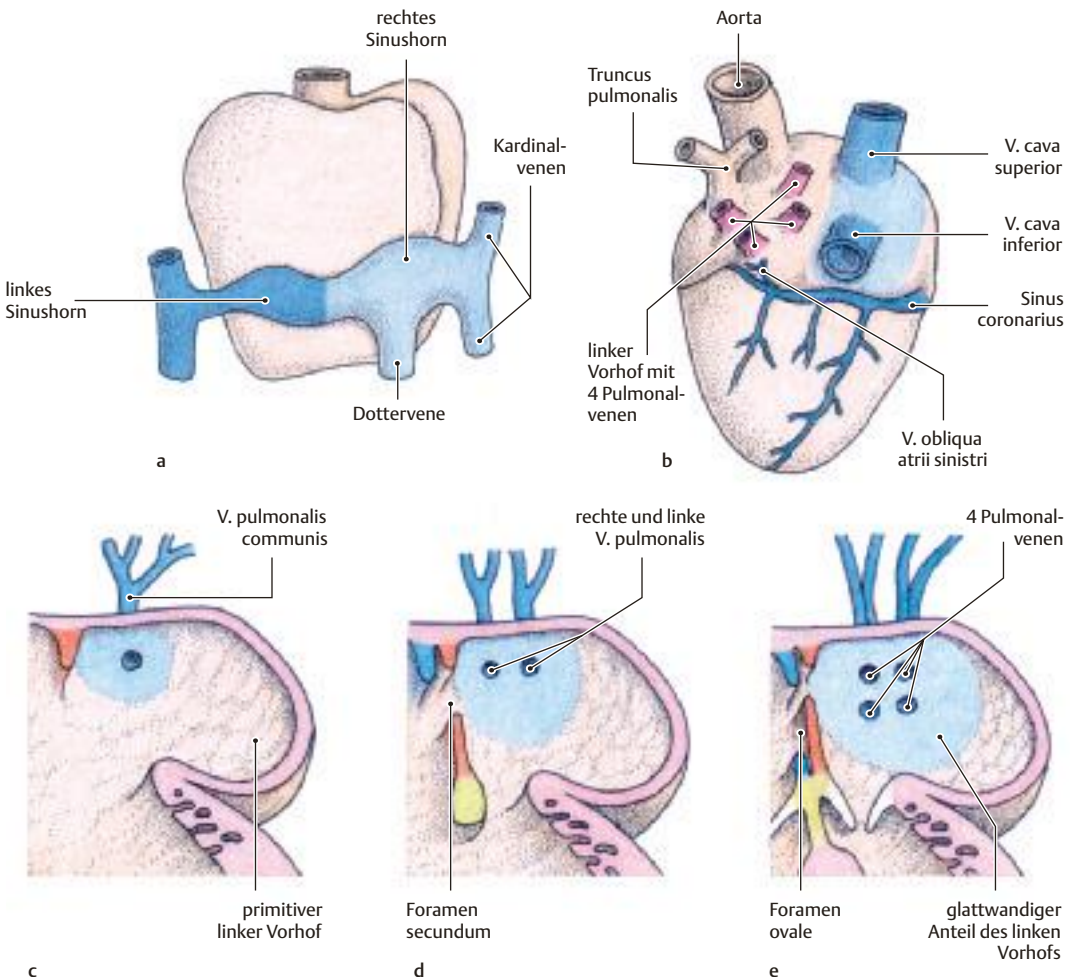


Abb. 5.8 Umgestaltung in den Vorhöfen. a und b Umbauvorgänge an den Sinushörnern. a 24. Tag; b 7. Woche. c–e Einbeziehung der Pulmonalvenen in den linken Vorhof. c 5. Woche; d 6. Woche; e 8. Woche

Klinischer Bezug

Die Fallot-Tetralogie: Bei der Fallot-Tetralogie handelt es sich um einen Herzfehlerkomplex, bei dem vier Veränderungen vorliegen:

- Pulmonalstenose
- Ventrikelseptumdefekt
- Dextroposition und Überreiten der Aorta (über Ventrikelseptumdefekt)
- Hypertrophie des rechten Ventrikels.

Die Pulmonalstenose, eine Verengung der Ausflussbahn, führt dazu, dass venöses Blut aus dem rechten Ventrikel über den Ventrikelseptumdefekt in den linken Ventrikel und damit in die Aorta gelangt. Schon intrauterin ist die Aorta erweitert (à Dextroposition und Überreiten). Aufgrund der Pulmonalstenose sind die Pulmonalgefäße unterentwickelt. Die Kinder sind zyanotisch (bläuliche Verfärbung der Haut und Schleimhäute). Dabei arbeitet der rechte Ventrikel gegen einen erhöhten Druck an (Hypertrophie). Symptome wie Dyspnoe, rasche Ermüdbarkeit und Gedeihstörung treten allmählich im Säuglingsalter auf. Ferner können Anfälle von Bewusstlosigkeit und Krämpfe auftreten.



Check-up

- ✓ **Machen Sie sich nochmals klar, wie die Vorhöfe umgestaltet werden und welche Strukturen an dieser Umgestaltung beteiligt sind.**
- ✓ **Rekapitulieren Sie das Schicksal des Sinus venosus während der Vorhofentwicklung.**
- ✓ **Wiederholen Sie, was zur Fallot-Tetralogie gehört.**
- ✓ **Rekapitulieren Sie, wie ein offenes Foramen ovale entstehen kann.**

5.2 Die Aortenbögen (Schlundbogenarterien)



Lerncoach

Die Derivate der Schlundbogenarterien werden häufig geprüft, Sie müssen sie auswendig kennen.

5.2.1 Die Anordnung der Aortenbögen

Bei der Entwicklung der Schlundbögen (S.71) erhält jeder Bogen eine eigene Arterie (**Schlundbogenarterie** oder **Aortenbogen**). Die Aortenbögen entspringen aus der Aortenwurzel (**Abb. 5.9**, erweiterter Teil des Truncus arteriosus, Saccus arteriosus, auch Aorta ventralis ascendens). Sie münden hinten beidseits in die paarige Aorta dorsalis. Weiter kaudal verschmelzen die paarigen Aorten zur absteigenden Aorta. Es werden beidseits sechs Aortenbögen angelegt, die jedoch nie gleichzeitig vorhanden sind. D.h. zu dem Zeitpunkt, zu dem das 6. Aortenbogenpaar angelegt wird, haben sich das 1. und 2. Paar schon zurückgebildet.

Die Derivate der Aortenbögen (**Abb. 5.10**)

- **1. Aortenbogen:** verschwindet größtenteils, nur ein kleiner Abschnitt beteiligt sich an der Bildung der A. maxillaris.
- **2. Aortenbogen:** bildet sich größtenteils zurück; nur aus dem dorsalen Abschnitt entsteht die A. stapedia.
- **3. Aortenbogen:** bildet mit seinem proximalen Abschnitt die A. carotis communis, mit seinem distalen Abschnitt die A. carotis interna.
- **4. Aortenbogen:** bildet links den (definitiven) Arcus aortae, rechts den proximalen Abschnitt der A. subclavia.
- **5. Aortenbogen:** wird häufig gar nicht angelegt; hat keine Derivate.

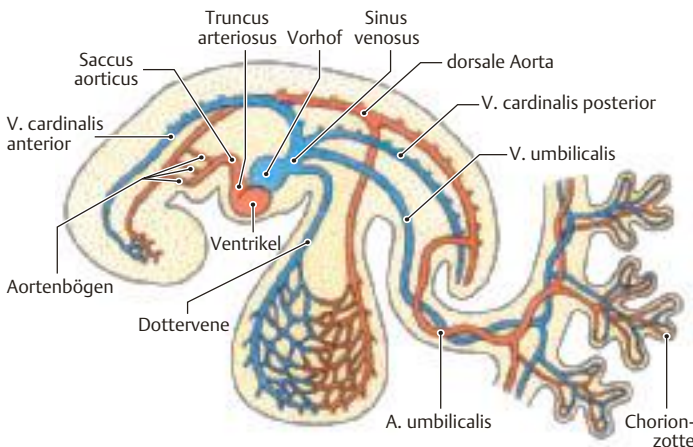


Abb. 5.9 Embryonales Herz-Kreislauf-System in der 5. Woche.