

## Brusteingeweide

Die Brusteingeweide liegen in der Brusthöhle, *Cavitas thoracis*. Der Raum wird vom knöchern-muskulären Thorax und dem Zwerchfell begrenzt. Durch eine in der Medianebene stehende Gewebeplatte, *Mediastinum*, wird die Brusthöhle in eine linke und rechte Pleurahöhle, *Cavitas pleuralis sinistra* und *dextra*, unterteilt.

### I. Bezugspunkte und Linien an der Thoraxoberfläche

Die *Form des Thorax* ist abhängig vom Konstitutionstyp (S. 116), vom Geschlecht und vom Lebensalter.

**Tastbare Punkte** an Skeletteilen, die der Orientierung dienen, sind die Clavicula, die Incisura jugularis, der Angulus sterni mit dem Ansatz der 2. Rippe. Von hier aus werden an der vorderen Brustwand Rippen und Intercostalräume abgezählt. Die Arcus costales treffen sich am Processus xiphoideus. Wichtige Markierungspunkte der Dorsalseite sind die Spinae scapulae und die Processus spinosi, die von der Vertebra prominens aus tastend abgezählt werden (vgl. Abb. 9–12, S. 208).

**Hilfslinien.** Als Untersuchungshilfen führte man *Körperlinien* ein, die durch markante Punkte an der Körperoberfläche gelegt werden (Abb. 12–8 u. Abb. 9–12).

Die *Linea sternalis* verläuft parallel mit dem Sternalrand.

Die *Linea medioclavicularis* wird senkrecht durch die Mitte der Clavicula gelegt, sie ist ungefähr identisch mit der Mamillarlinie, einer Linie senkrecht durch die Mamille. Eine weitere Hilfslinie ist die *Linea parasternalis* zwischen Sternal- und Medioclavicularlinie.

Die *Linea axillaris media* läuft zur tiefsten Stelle der Axilla; die vordere und hintere Axillarlinie sind zu den entsprechenden Falten der Achselhöhle gedacht.

Die *Linea scapularis* läuft senkrecht durch den Angulus inferior scapulae,

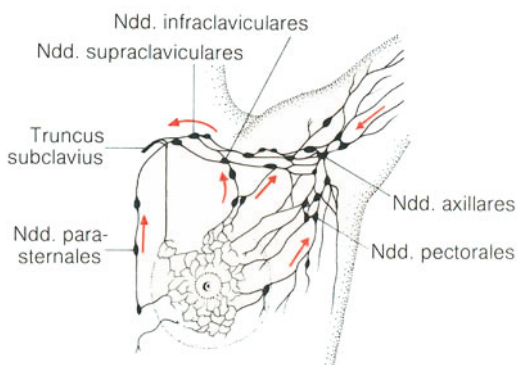
die *Linea paravertebralis* parallel zur äußersten Begrenzung der Wirbelsäule.

Die *Linea interspinalis* verbindet die medialen Enden beider Spinae scapulae.

**Die Abflußwege der Lymphgefäße** der Thoraxoberfläche sind im Bereich der Mamma (Mammacarcinom) von besonderer Bedeutung (Abb. 12–1). Sie verlaufen von der lateralen Hälfte der Drüse zu den *Nodi lymphatici axillares, pectorales, infraclaviculares* und *supraclaviculares* bevor sie in den Truncus subclavius münden. Für die mediale Hälfte der Mamma liegen die regionalen Lymphknoten als *Nodi lymphatici parasternales* unter der Pleura im Thoraxraum. Sie münden in die parasternalen Lymphbahnen (S. 456).

### A. System der Atmungsorgane

Die Lunge dient der Respiration, nämlich dem Gasaustausch zwischen Alveolarluft und Blut. Er ist für die Zellatmung erforderlich; denn jede der Milliarden Zellen des Organismus benötigt O<sub>2</sub> und gibt CO<sub>2</sub> ab. Alle übrigen Abschnitte des Atmungstraktes dienen der Kontrolle, Anfeuchtung, Anwärmung und Reinigung der Atemluft. Sie stellen für die Atmung „toten Raum“ dar. Zur Erfüllung dieser Aufgaben muß gefordert werden:



**Abb. 12–1.** Regionale Lymphknoten der Brustdrüse und des Armes. Strömungsrichtung durch Pfeile markiert. (Nach Töndury, 1970)

Tabelle 12–1. Bauprinzip der unteren Atemwege

1. Tunica mucosa	(a) Lamina epithelialis (respiratorisches Epithel) (b) Tunica propria mit gemischten Drüsen
2. Tunica fibromusculocartilaginea	(a) M. trachealis, M. bronchialis (b) Tunica fibrocartilaginea: hyaline Knorpelspangen mit Bindegewebe
3. Tunica adventitia	Lockerer Bindegewebe; Verbindung zur Umgebung

- eine große Austauschoberfläche,
- die Diffusion der Gase wenig behindernde Barriere zwischen Blut und Luft,
- Atemwege geringen Luftströmungswiderstandes,
- Atemmuskulatur

Im Anschluß an die oberen Atemwege Nase, Pharynx und Larynx (S. 389) folgen Luftröhre und Bronchien. Man faßt sie zusammen unter der Bezeichnung *untere Atemwege*.

### I. Trachea (Luftröhre), Bronchus principalis

Die Trachea ist ein biegsames Rohr von 10–12 cm Länge, gemessen von ihrem Beginn am Ringknorpel bis zur *Bifurcatio tracheae*. Hier gabelt sie sich in die beiden Hauptbronchien, *Bronchus principalis sinister* und *dexter*. Die Wand des Rohres wird versteift durch 16–20 hufeisenförmige Knorpelspangen, *Cartilagine tracheales*. (Abb. 12–27, S. 454) Sie sind durch die *Ligg. anularia* untereinander verbunden. Die Rückseite des Rohres bildet eine Bindegewebsmuskelplatte, *Paries membranaceus* mit dem *M. trachealis*.

#### Feinbau

Das Rohr wird von einer *Tunica mucosa* ausgekleidet. Ihre Lamina epithelialis besteht aus respiratorischem Epithel. Sie sitzt auf einer relativ dicken Basalmembran. Der Schleim, der die Epitheloberfläche bedeckt, stammt von den Becherzellen und von den seromukösen Gll. tracheales, die in die Tunica propria mucosae eingelagert sind. Durch den Schlag der Kinocilien wird der Schleim auf der Epitheloberfläche verteilt und mit den anhaftenden Staubpartikelchen rachenwärts befördert. Da eine Submucosa fehlt, haftet die Schleimhaut fest und unverschieblich auf ihrer Unterlage. Sie faßt man unter der Bezeichnung *Tunica fibrocartilaginea* zusammen, um den funktionellen Zusammenhang zwischen den aus hyalinem Knorpel aufgebauten *Cartilagine tracheales* mit den zwischengeschalteten *Ligg. anularia* zum Ausdruck zu bringen. Diese bestehen aus Kollagenfasergeflechten mit elastischen Netzen, die in das Perichondrium einstrahlen. Der

*M. trachealis* besteht aus glatten Muskelzellen. Das lockere Bindegewebe der *Tunica adventitia* stellt die Verbindung zum Mediastinum her. Es ermöglicht die funktionsbedingten Verschiebungen beim Atmen oder Schlucken.

Das Bauprinzip der Trachea wird, wenn auch abgewandelt, bis zu den peripheren Verzweigungen der Bronchien und Bronchiolen beibehalten (Tabelle 12–1).

#### Funktionelle Gesichtspunkte

Die Knorpelspangen der Trachea stehen im Leben unter Spannung, indem durch den Tonus der glatten Muskulatur im *Paries membranaceus* ihre freien Enden einander genähert werden. Nach dem Tod läßt der Muskeltonus nach; das Lumen erweitert sich dann von 12 mm im queren Durchmesser auf 16 mm. Im Leben liegt die Tunica mucosa über dem *Paries membranaceus* in Längsfalten. Beim Schlingen größerer Bissen wird der *Paries membranaceus* durch die sich entfaltende Speiseröhre ins Lumen vorgedrängt.

Die Trachea steht außerdem ständig unter einer Längsspannung, die der Einbau elastischer Fasernetze in die *Ligg. anularia* verursacht. Wird während des Schluckens der Kehlkopf gehoben (S. 387), so kehrt er hernach infolge der Längsspannung der Trachea wieder in seine Ausgangslage zurück. Das caudale Ende der Trachea ist durch die *Membrana bronchopericardiaca* mit dem Perikard und dem Zwerchfell verbunden. Bei tiefer Inspiration wird durch diese Verbindung die Trachea um ungefähr 1,5 cm gedehnt. Nimmt man den Kopf zur Vorspannung der Atemhilfsmuskeln des Halses in den Nacken, so verlängert sich die Trachea um mindestens 2,5 cm. Beim Hustenstoß wird die Trachea durch die tiefe Inspiration zuerst ausgiebig gedehnt. Bei der folgenden durch Atemhilfsmuskeln unterstützten Expiration verkürzt sie sich. Der anhaftende Schleim wird gelockert und durch den ausgestoßenen Luftstrom glottiswärts befördert.

Die *Membrana bronchopericardiaca* bildet eine wichtige Verspannung zwischen *Bifurcatio tracheae*, Perikard, Bronchien, Lungenhilus und Zwerchfell. Sie dient der Fixation der Trachea.

**1. Bronchus principalis dexter et sinister**

(Abb. 12–27, S. 454)

Die beiden Hauptbronchien sind die Fortsetzungen der Trachea bis zum Eintritt in die Lungenportale. Der rechte Bronchus ist weitulmiger, steht steiler und setzt damit die Verlaufsrichtung der Trachea fort. Der linke ist englumiger, mit 4–5 cm fast doppelt so lang und verläuft mehr horizontal. Beide bilden einen Winkel von ungefähr 70 Grad. An der Teilungsstelle ragt ein knorpelunterlagerter Sporn, die *Carina tracheae*, in das Lumen vor. Der Wandbau der Bronchien gleicht dem der Trachea. Nur die Carina ist von einem mehrschichtigen unverhornten Plattenepithel überzogen.

**II. Pulmo, Lunge**

**1. Entwicklung**

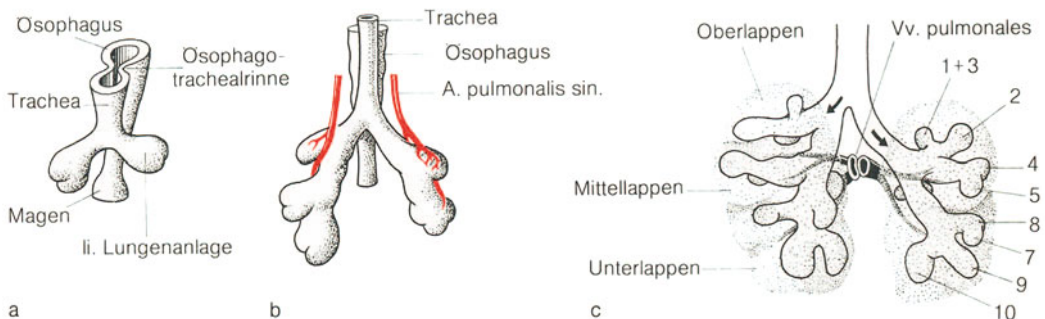
Die Lunge entsteht wie eine Drüse aus dem Darmrohr. Zwei Anteile sind beteiligt: ein entodermal-epithelialer und ein mesenchymaler. Der epitheliale entwickelt sich beim drei Wochen alten Keim knapp hinter dem Kiemendarm aus einem ventralen Divertikel. Der mesenchymale (mesodermale) differenziert sich aus der Splanchnopleura.

**Differenzierung des epithelial-entodermalen Anteils.** Bereits das Lungendivertikel ist paarig angelegt. Das Wachstum der rechten und linken Lungenanlage (Lungenknospe) geht mit einer Abtrennung vom Vorderdarm einher, indem sich auf beiden Seiten eine Rinne bildet (Abb.

12–2a), die sich mehr und mehr vertieft. Das Epithel verwächst dann an der Berührungsstelle, wodurch eine Scheidewand entsteht, *Septum tracheo-oesophageale*. Hiermit sind Ösophagus und Trachea getrennt. Die rechte Lungenknospe läßt bald die Anlage von drei Lappen, die linke von zwei erkennen (Abb. 12–2b). Nun folgen bis zur Geburt 17–18 dichotome Teilungen (Zweitteilungen) der Knospen.

**Differenzierung des mesenchymalen Anteils** (Abb. 12–2c). Die ersten pulmonalen Gefäße differenzieren sich aus der 6. Kiemenbogenarterie (Abb. 12–12, 3–15b, S. 439), indem Capillarsprosse mit der epithelialen Anlage der Lunge Kontakt aufnehmen. Mit zunehmender Reifung entsteht im Mesenchym zwischen den Epithelknospen ein verzweigtes Gefäßnetz. Andere Mesenchymzellen differenzieren sich zu Fibroblasten und erzeugen argyrophile und elastische Fasern. Nerven wachsen ein. Durch die sukzessive Sprossung des epithelialen Anteils wird der bindegewebige zunehmend komprimiert, bis er nur mehr als dünne Lamelle zwischen den Alveolarknospen zu liegen kommt. Im Bereich der Bronchien und Bronchiolen entstehen aus dem Mesenchym glatte Muskulatur und als Wandverstärkung der Bronchien Knorpel. In der Morphogenese der Lunge unterscheidet man zunächst ein **pseudoglanduläres**, dann ein **kanalikuläres** und ab 7. Monat ein **alveoläres Stadium**.

**Während der Geburt** müssen die z. T. noch mit Fruchtwasser angefüllten Alveolen zu weiten



**Abb. 12–2.** a Rekonstruktion des epithelialen Anteils der Lungenanlage im Zustand der Abschnürung vom Verdauungsrohr. Embryo von 5 mm Scheitel-Steiß-Länge; b Die Abschnürung ist erfolgt; Trachea und Ösophagus sind getrennt. Rechts sind drei Lungenknospen, links zwei entstanden. Sie beginnen sich bereits wieder zu teilen. Embryo von 9 mm Scheitel-Steiß-Länge (nach Heiss, 1922) c Entodermaler und mesenchymaler Anteil (durchsichtig gedacht) der Lun-

ge eines Embryos von 14 mm Länge; Lappenbildung bereits erkennbar; bronchopulmonale Segmente angelegt (*arabische Ziffern*) Segment 6 z. T. verdeckt. Pfeile bezeichnen die Stelle, an der der Mesenchym-(= Splanchnopleura)-Mantel vom Mediastinum abgetrennt wurde, also die Stelle des Umschlags vom visceralen auf das parietale Blatt der Pleura. Aa. pulmonales nicht gezeichnet

Räumen entfaltet werden. Das Fruchtwasser wird ausgehustet und über den Bronchialbaum resorbiert. Für die Aufweitung der Alveolen unter Abflachung des zunächst prismatischen Epithels wurde ein die Oberflächenspannung herabsetzender Stoff („Surfactant“) in das Lumen sezerniert. Er breitet sich als Film auf der Oberfläche des Alveolarepithels aus. Der Lungenkreislauf wird eingeschaltet (S. 439). Zwerchfell- und Thorakalatemung setzen ein.

Nach der Geburt finden vermutlich noch acht weitere Teilungsschritte der terminalen Alveolen statt.

Von der fertigen Lunge entstehen aus

- *Entoderm*: Bronchial- und Alveolarepithel;
- *Mesoderm*: Bindegewebe, Knorpel, Muskulatur, Gefäße;

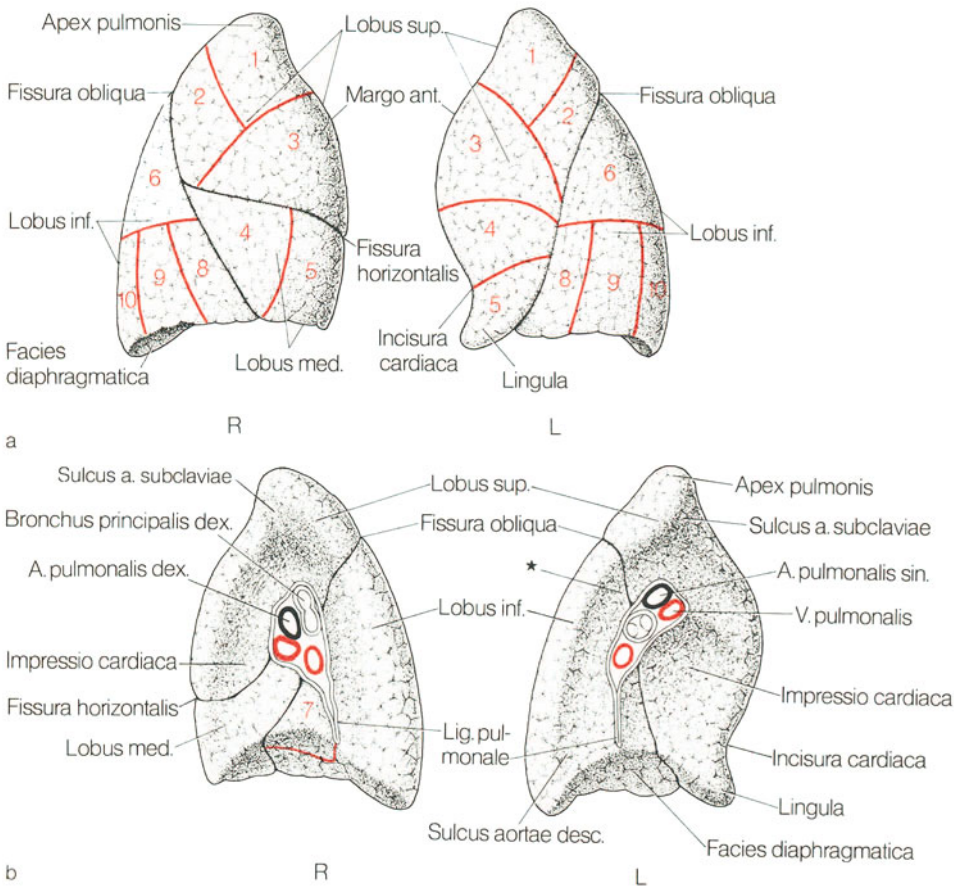
- *Sekundär eingewandert*: vegetatives Nervensystem.

**Klinischer Hinweis.** Die unvollständige Trennung von Ösophagus und Trachea führt zur *Ösophago-Trachealfistel*. Das Neugeborene aspiriert beim Trinken Milch. Mangelhafte Ausbildung des „Surfactant“ bedingt eine unvollständige Entfaltung der Lunge (*Atelektase*).

**2. Lungen des Erwachsenen**

**Gestalt** (Abb. 12-3)

Die Lungen sind paarige Organe, *Pulmo dexter* und *sinister*. Nur nach Fixation *in situ* gleicht ihre äußere Form dem Negativ der Pleurahöhlen; andernfalls kollabieren sie aufgrund ihrer Eigenelastizität. Man unterscheidet die *Basis*, die mit der *Facies diaphragmatica* auf der Zwerchfell-



**Abb. 12-3. a** Rechte (R) und linke (L) Lunge von lateral, Ansicht der Facies costalis. Die Segmentgrenzen sind eingezeichnet (rot) und die Lungensegmente durch Ziffern gekennzeichnet (vgl. hierzu Abb. 12-27d). Die Felderung der Lungenoberfläche entspricht den Lungenlobuli. **b** Rechte (R) und linke (L) Lunge von medial. Dargestellt ist der Lungenhilus mit Arterien

(schwarz), Venen (rot) und Bronchien (Bronchus principalis sinister nicht bezeichnet). Das Lungensegment 7 ist nur auf der mediastinalen Seite der rechten Lunge zu sehen; der linken Lunge fehlt es. \*Impression, die durch die Aorta hervorgerufen wird. (Nach Feneis, 1974)



kuppel liegt. Die *Facies medialis* grenzt an das Mittelfell, die *Facies costalis* an die Innenseite des mit Pleura parietalis ausgekleideten Brustkorbes. Beide gehen am *Margo anterior* ineinander über (Abb. 12–23, S. 448). Die Lungenspitze, *Apex pulmonis*, setzt sich durch den Sulcus a. subclaviae ab. An der *Facies medialis* treten im *Hilum pulmonis* Bronchien, Arterien und Nerven in das Organ ein, Venen und Lymphgefäße aus. Die Gesamtheit dieser Gebilde wird als *Radix pulmonis* bezeichnet. Hier findet auch der Überschlag der Pleura visceralis (= pulmonalis) auf das parietale Blatt statt (Abb. 12–23). Unten ist der Übergang zu einer Duplikatur ausgezogen, *Lig. pulmonale*. Die Lappen, *Lobi*, werden von Furchen, *Fissurae interlobares*, die fast bis zum Hilum einschneiden, getrennt. Die Pleura visceralis überzieht die Lappen vollständig, geht also in der Tiefe der Fissuren auf den anderen Lappen über (Abb. 12–23).

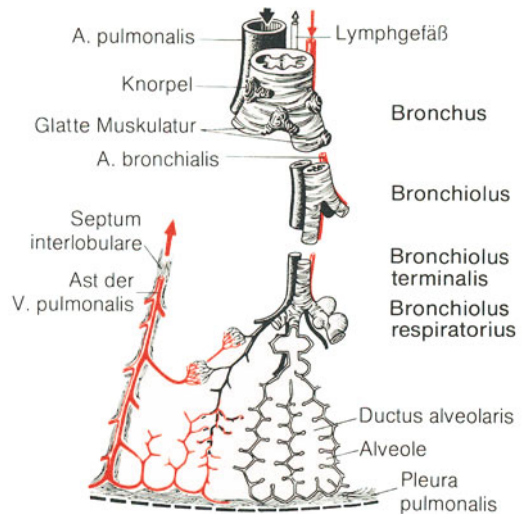
**Linke Lunge.** Sie besteht aus zwei Lappen. Sie ist weniger voluminös als die rechte; denn das Herz fügt sich in die *Impressio cardiaca* ein und schneidet noch die *Incisura cardiaca* (Abb. 12–3) aus dem unteren Teil des *Lobus superior*. Er läuft oft in einen Fortsatz, in die *Lingula pulmonis sinistra* aus. Die *Fissura obliqua* trennt ihn vom *Lobus inferior*. Im Hilum liegen vorne die Vv. pulmonales, oben die A. pulmonalis und in der Mitte hinten der Hauptbronchus. Ösophagus und Aorta hinterlassen an der *Facies medialis* entsprechende Impressionen.

**Rechte Lunge.** Sie wird in drei Lappen unterteilt. Zwischen *Lobus superior* und *inferior* schiebt sich der nur vorne und seitlich sichtbare *Lobus medius*. Er wird vom Oberlappen durch die *Fissura horizontalis* getrennt (Abb. 12–8). Im Hilum liegen vorne unten die Vv. pulmonales, oben hinten der Bronchus, oben vorne die A. pulmonalis. Bei der Betrachtung von dorsal sind wie bei der linken Lunge *Lobus superior* und *inferior* sichtbar. Die V. cava superior, die V. azygos und der Ösophagus bilden sich als Impressionen an der mediastinalen Fläche ab.

### Funktioneller Bau

Der funktionelle Bau der Lunge wird bestimmt von der Konstruktion des als Stützapparat wirkenden blut- und luftleitenden Röhrensystems (bronchialer Anteil) und von den am Gasaustausch beteiligten Abschnitten (alveolärer Anteil) (Tabelle 12–2).

**Bronchialbaum** (Abb. 12–4, 12–27). Durch den *Bronchus principalis sinister* und *dexter* werden



**Abb. 12–4.** Verlauf von Bronchus, Ästen der A. pulmonalis (schwarz), A. bronchialis (rot) und Lymphgefäß. Der Bronchiolus respiratorius endet in zwei Sacculi mit zentralem Ductus alveolaris. Peribronchiales Bindegewebe entfernt. Links im Bild das von der A. pulmonalis gespeiste Capillarnetz mit Abfluß über einen Ast der V. pulmonalis (rot) im Septum interlobulare. Capillarnetz in den Wänden von zwei Alveolen flächenhaft dargestellt

die linke bzw. rechte Lunge mit Luft versorgt. Im Wandbau unterscheiden sie sich nicht von der Trachea. Sie teilen sich rechts in drei, links in zwei *Bronchi lobares*.

Die weiteren Aufzweigungen sind als *Bronchi segmentales* (Abb. 12–27 d) den **Lungensegmenten** (= bronchopulmonale Segmente) zugeordnet. Die rechte Lunge erlaubt eine Unterteilung in zehn Segmente, die linke in neun, da das 7. Segment meist fehlt. (Ungeachtet dessen zählt man unter Auslassung der Zahl 7 durch und erhält damit ebenfalls die Zahl 10). An der äußeren Oberfläche der Lunge sind die Segmente nicht abgrenzbar. Sie werden nur durch den Verlauf der Venen bestimmt (Abb. 12–5). Die Projektion der Segmentgrenzen auf die Lungenoberfläche wurde in Abb. 12–3 eingezeichnet und durch Ziffern ihre Zuordnung zu den Lappen markiert. Die Gestalt eines Segmentes ist keil- bis pyramidenförmig, die Spitze hiluswärts gerichtet. Zentral verläuft der Bronchus. In der Tunica fibrocartilaginea ist das Knorpelgerüst in einzelne Plättchen und am Teilungssporn in hantelförmige Spängchen aufgelöst. Kleinste Knorpelplättchen enthalten elastische Fasernetze. Seromuköse *Gll. bronchiales* sind in das Bindegewebe eingelagert.



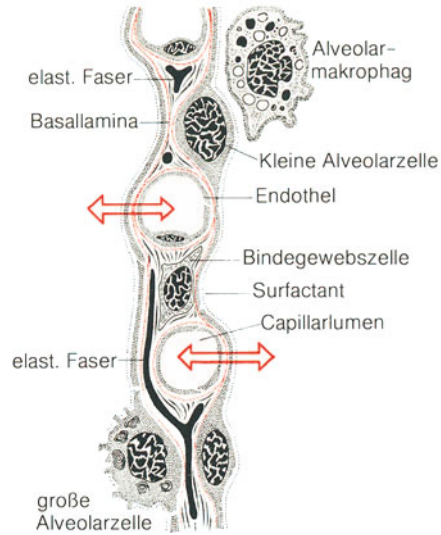
**Abb. 12-5.** Bronchopulmonales Segment. An der Kante des kegelförmigen Segmentes treten A. und Bronchus segmentalis ein; intersegmental verläuft die Vene (rot). Durch Kohlenstaubeinlagerung sind die Lobuli scharf abgegrenzt

Die Muskulatur legt sich in Schraubentouren um das sternförmig gefaltete mit respiratorischem Epithel ausgekleidete Lumen.

Die nächst kleinere Einheit, das *Lungenläppchen*, *Lobulus* (Abb. 12-5), wird von einem *Bronchus lobularis*, kleinere Lämpchen werden von einem *Bronchiolus* versorgt. Mit dieser Bezeichnung versteht man einen Abschnitt des luftleitenden Röhrensystems unter 1 mm Durchmesser, in dessen Wand Knorpelspangen und Drüsen fehlen. Der Lobulus grenzt an die Pleura pulmonalis. Durch Septen aus lockerem Bindegewebe sind die Lämpchen gegeneinander abgegrenzt, wodurch die polygonale Felderung an der Lungenoberfläche zustandekommt. Der Durchmesser der Felder beträgt 1-4 cm. Im Innern des Lämpchens erfolgt die dichotome Aufzweigung der *Bronchioli terminales* in die *Bronchioli respiratorii*, deren Wand bereits mit Alveolen besetzt ist. Hier endet der luftleitende Abschnitt. Die *Bronchioli respiratorii* gehen nach dichotomer Teilung in den *Ductus alveolaris* über, der rundum mit Alveolen besetzt ist.

Als *Acinus* wird die Gesamtheit der einem *Bronchiolus terminalis* zuzuordnenden Alveolen bezeichnet, als *Sacculus* ein *Ductus* mit den von ihm abgehenden Alveolen.

**Bedeutung der Lämpchengliederung.** Sie trifft nur auf die Mantelzone der Lappen zu; der Lappenkern läßt sie vermissen. Die aus lockerem Bindegewebe strukturierten *Septa interlobularia*, die oft nur eine unvollständige Trennwand bilden, gestatten eine bessere Verformbarkeit der Lunge bei den Atemexkursionen. Da auch die Bindegewebsfasern der Alveolarwände (s. u.) in die Septen einstrahlen, kommt ihnen bei der Übertra-



**Abb. 12-6.** Interalveolareseptum. Im Bindegewebe drei Capillarquerschnitte. Die Basallamina (rot) von Capillaren und Alveolarepithelzellen verschmilzt an der Kontaktstelle zu einer Membran. Die Pfeile zeigen den Weg des Gasaustausches

gung der Kräfte bei der Inspiration für die Erweiterung der Alveolen eine gewisse Bedeutung zu.

**Gefäßsystem, zuleitende Gefäße**

Das CO<sub>2</sub>-reiche Blut aus dem Körperkreislauf wird über immer feinere Verzweigungen der *Aa. pulmonales*, die mit dem peribronchialen Bindegewebe verlaufen, bis zur capillären Endstrecke in der Wand der Alveolen geleitet (Abb. 12-4, 12-6). Auf diesem Weg geben sie keine Äste ab. Die *Aa. pulmonales* stehen also nur im Dienst des Gasaustausches für den Körper; man bezeichnet sie deshalb auch als **Vasa publica**.

Ein 2. Gefäßsystem, die *Rr. bronchiales* (Abb. 12-4), die größtenteils direkt aus der Aorta thoracica entspringen, versorgen als **Vasa privata** mit O<sub>2</sub> Bronchien und Bronchiolen, das peribronchiale Bindegewebe und als *Vasa vasorum* die großen Stämme der *A. pulmonalis*.

Zur klaren Abgrenzung von Nervenästen (*Rr. bronchiales*) wird hier die ältere Bezeichnung *Aa. bronchiales* bevorzugt.

**Feinbau der Gefäßwand.** Die *Aa. pulmonales* gehören bis zu den kleinsten Ästen zu den Arterien des elastischen Typs. Die Adventitia steht im Zusammenhang mit dem peribronchialen Bindegewebe (Abb. 12-7), das Nerven, Lymphgefäße

und die A. bronchialis enthält. *Nach ihrem Verzweigungstyp ist die A. pulmonalis eine Endarterie.* Anastomosen bestehen zwischen der A. pulmonalis und bronchialis. Von Bedeutung ist außerdem der arteriovenöse Kurzschluß zwischen Ästen der A. pulmonalis und den Vv. pulmonales unter Umgehung des Capillarnetzes. Sperrrichtungen in der Wand können das Lumen der Anastomosen einengen, so daß dann mehr Blut zur Austauschoberfläche fließt. Dies wird bei körperlicher Anstrengung (S. 433) notwendig.

### Feinbau der Blut-Luft-Schranke

**Alveoli pulmonis.** Der Ausdruck „Alveole“ vermittelt eine falsche Vorstellung. Es handelt sich nämlich beim Menschen nicht um ballonartige Bläschen, sondern um sechskantige Pyramidenstümpfe mit einem Durchmesser von 0,15–0,5 mm. Benachbarte Alveolen haben eine gemeinsame Wand, das *Septum interalveolare* (Abb. 12–4, 12–6). Es wird von einzelnen Poren durchsetzt. Die ca. 300 Millionen Alveolen beider Lungen vergrößern die Oberfläche bei mittlerer Respirationslage auf 100–140 m<sup>2</sup>. Der Gasaustausch zwischen Alveolarluft und dem Blut der A. pulmonalis erfolgt in den capillären Verzweigungen der Alveolarwand. Der Diffusionsweg beträgt nur 0,5 µm; denn das Alveolarepithel ist außerordentlich dünn (50–150 nm) und seine Basalmembran mit der des Endothels im Bereich der Kontaktstellen zu 1 Membran verschmolzen. Zwischen den Blutcapillaren sind argyrophile und ganz besonders reichlich elastische Fasernetze eingebaut, die für die Elastizität des Lungengewebes verantwortlich sind (Atemmechanik S. 431). Das Alveolarepithel besteht aus zwei Zelltypen. Die kleinen *Alveolarzellen* (Typ I) bilden eine kontinuierliche Lage. Ihr Zellleib ist ganz flach ausgebreitet. An seiner Oberfläche liegen zahlreiche pinocytotische Einsenkungen. Das Cytoplasma der *großen Alveolarzellen* = *Nischenzellen* (Typ II) ist ausgezeichnet durch zahlreiche Mitochondrien und corpusculäre Einschlüsse, die den „Surfactant“ vor der Abgabe an die Oberfläche enthalten. Dieser besteht aus Phospholipiden. Der Eingang zur Alveole ist ringförmig und durch die Einlagerung eines elastischen Randreifens und glatter Muskelzellen verdickt.

### Gefäßsystem, ableitende Gefäße

Der Abfluß des mit O<sub>2</sub> angereicherten Blutes erfolgt über die venösen Wegstrecken der Capillarnetze. Sie sammeln sich in Venen, die in den Septa interlobularia verlaufen (Abb. 12–4). Durch

Vereinigung mehrerer interlobulärer Venenstämme entstehen größere Venen, die intersegmental liegen (Abb. 12–5). Sie ermöglichen erst das Aufsuchen der bronchopulmonalen Segmente vom Hilus aus. Dort haben sie sich meist in zwei großen Stämmen vereinigt, bevor sie in das Mediastinum übertreten (Vv. pulmonales S. 450) (Abb. 12–27, S. 454).

*Vv. bronchiales* leiten das Blut aus den Endverzweigungen der Aa. bronchiales in die V. azygos und hemiazygos. Kleine periphere Verzweigungen münden in die Vv. pulmonales.

### Schutzeinrichtungen

Bei der Inspiration werden mit der Atemluft pathogene Keime und vor allem Staub aufgenommen. Ein Großteil wird bereits in den oberen Atemwegen zurückgehalten (5 µm große Partikelchen bis zu 50%). Der Rest gelangt in die unteren Atemwege. Hier bleibt er z. T. auf dem Schleimfilm haften, den die Tunica mucosa der Bronchien und Bronchiolen erzeugt. Der Cilien-schlag transportiert ihn wieder samt Schleim in Richtung Pharynx. Ein Anteil der Schwebeteilchen gelangt bis in die Alveolen, wo sie von den *Alveolarmakrophagen* (Abb. 12–6) aufgenommen und gespeichert werden. Diese Zellen, die nichts anderes als ausgewanderte Blutmakrophagen sind, wandern dann in das Bronchialsystem und werden schließlich ausgehustet. Ein nicht geringer Anteil des eingeatmeten Staubes gelangt transcellulär in das Bindegewebe der Alveolarwände. Von hier erfolgt der Abtransport in das peribronchiale, subpleurale und vor allem interlobuläre Bindegewebe. Histiocyten phagozytieren ihn und lagern ihn ab. Dies ist die Ursache, weshalb die Lunge des Neugeborenen noch rosig aussieht, die des Erwachsenen sich mehr und mehr grau verfärbt (Anthrakose der Lunge). Die Ablagerung von Kohlenstaub im interlobulären Bindegewebe läßt die Läppchengrenzen deutlicher hervortreten. Über Lymphgefäße wird auch von hier wieder zumindest ein Teil in die regionalen Lymphknoten abtransportiert. Sie verfärben sich infolgedessen im Laufe des Lebens schwarz.

### Lymphgefäße und Lymphknoten

Sie beginnen im subpleuralen, peribronchialen und interlobulären Bindegewebe. Sie führen die Lymphe den *Nodi lymphatici pulmonales, bronchopulmonales* und *tracheobronchiales* zu. Besonders auffällig im Röntgenbild sind die Lymphknoten im Hilusgebiet (Hiluslymphknoten, Abb. 12–27c). *Folliculi lymphatici solitarii* finden sich ubiquitär in der Mucosa der Bronchien, an

den Einmündungsstellen der Drüsen und im Lungenparenchym. Sie stehen im Dienste der Abwehr.

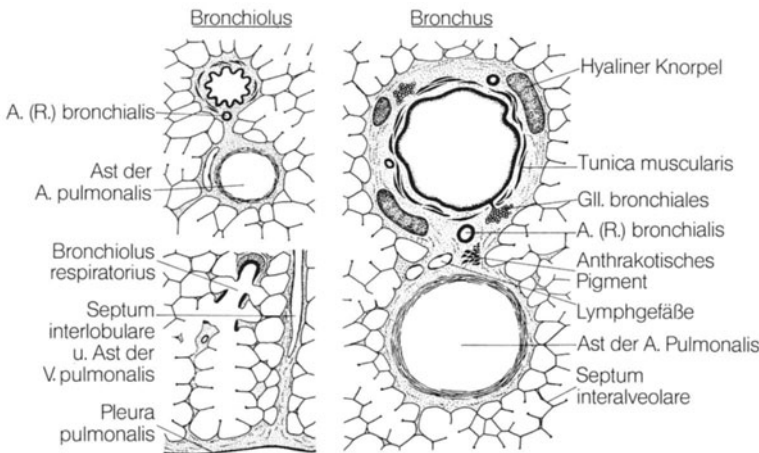
**Innervation**

Parasympathische Fasern aus dem N. vagus und sympathische aus dem Grenzstrang erreichen den Plexus pulmonalis, ein vorn und hinten am Lungenhilus gelegenes Geflecht. Von hier aus ziehen die feinsten Endäste im peribronchialen Bindegewebe zur glatten Muskulatur, zu den Blutgefäßen und zu den Drüsen.

**Feinbau**

Das histologische Bild der Lunge (Abb. 12-7) wird von der großen Zahl von Alveolen be-

stimmt. In den Septa interalveolaria lassen sich mit Spezialfärbungen elastische Netze darstellen. Der Eingang in die Alveole wird durch einen dicken elastischen Faserring verstärkt, dem sich noch glatte Muskelzellen anschmiegen. Deshalb erscheint im Schnittpräparat das Ende der Alveolarwände verdickt. Durch den Einbau von Spangen aus hyalinem Knorpel unterscheiden sich Bronchien von Bronchiolen. Ihre Begleitgefäße sind stets Arterien. Annähernd gleichkalibrige Gefäße gehören Verzweigungen der A. pulmonalis an. Äste der V. pulmonalis liegen dagegen im Präparat weiter entfernt in einem Septum interlobulare. Im peribronchialen Bindegewebe finden sich außer den Ästen der A. bronchialis marklose Nervenfasern, vereinzelt Ganglienzel-



**Abb. 12-7.** Histologischer Feinbau der Lunge. Bronchus, Bronchiolus, Bronchiolus alveolaris, Ductus alveolares und Alveolen. Beachte die Lagebeziehungen von Bronchien und Gefäßen

**Tabelle 12-2.** Differentialdiagnose des Feinbaues der verschiedenen Abschnitte des luftleitenden Rohrsystems

	Trachea und Hauptbronchien	Große Bronchien, Segmentbronchien	Bronchiolen und Bronchioli terminales	Bronchioli respiratorii
Epithel	Mehrreihiges Flimmerepithel, Becherzellen	Mehrreihiges Flimmerepithel, Becherzellen	Einschichtiges prismatisches Flimmerepithel, spärlich Becherzellen. Sie fehlen im Bronchiolus terminalis	Kubisches Epithel ohne Cilien, Becherzellen fehlen
Knorpel	Hufeisenförmige Knorpelspangen	Einzelne Knorpelplättchen	Fehlt	Fehlt
Muskulatur	Nur im Paries membranaceus	Konzentrisch angeordnet	schraubig, scherengitterartig	Scherengitterartig
Drüsen	Gll. tracheales u. bronchiales	Gll. bronchiales in der Tunica fibrocartilaginea	Fehlen	Fehlen



len, Ablagerungen von Kohlenstaub, gemischte Gl. bronchiales und Ansammlungen lymphatischen Gewebes. Differentialdiagnose der einzelnen Bronchialabschnitte s. Tabelle 12–2.

### Lunge im Röntgenbild (Abb. 12–21, S. 446)

Die Hiluszeichnung der Lunge beruht vorwiegend auf der Abbildung der Gefäßschatten. Lymphknoten im Bereich des Hilus sind nach Kalkeinlagerung sichtbar.

**Klinischer Hinweis.** Eine ausgedehnte Zerstörung von Interalveolarepten (beim Lungenemphysem) führt zu einer Verminderung der respiratorischen Oberfläche. Sie äußert sich in chronischer Atemnot, Kurzatmigkeit und Hypertrophie des rechten Herzens. Durch Bakterien oder Viren verursachte Lungenentzündungen befallen oft nur einen Lappen (Lobärpneumonie). Wird infektiöses Material aspiriert, dann sind von der Entzündung einzelne Läppchen betroffen (lobuläre oder Bronchopneumonie). Der Lungeninfarkt ist eine Folge der charakteristischen Verzweigung der A. pulmonalis (Endarterie). Verschießt ein verschleppter Blutpfropf (Embolus) das Gefäß, so wird das einem Segment oder Lobulus zugehörige Gebiet des Lungenparenchyms nicht mehr mit O<sub>2</sub> versorgt; es geht zugrunde. Das Gewebe des Versorgungsgebietes der A. bronchialis bleibt aber erhalten. Schwimmprobe: Aus der Lunge des Neugeborenen, das bereits geatmet hat, läßt sich die Luft nicht mehr vollständig entfernen (Minimalluft). Ein Stückchen dieser Lunge schwimmt auf dem Wasser; die Lunge eines Kindes, das noch nicht atmete, geht dagegen unter. Die anfallsweise Atemnot beim Asthma bronchiale beruht auf der krampfartigen Kontraktion der Muskulatur der Bronchiolen und einer vermehrten Sekretion zähen Schleimes beim Überwiegen der Vagusfunktion.

### III. Pleura, Brustfell, Pleurahöhlen

#### Begrenzung und Ausdehnung der Pleurahöhlen

Die *Pleura visceralis* überzieht die Lungen mit Ausnahme des Hilus. Die *Pleura parietalis* ist die Auskleidung der Pleurahöhle. Sie wird nach topographischen Gesichtspunkten mit verschiedenen Namen belegt: *Pleura diaphragmatica* über dem Zwerchfell; *Pleura mediastinalis* über dem Mediastinum; *Pleura costalis* über Rippen, Wirbelsäule und Sternum (Abb. 12–10, 12–23, S. 448). Die Stellen des Überganges (Umschlagstellen) von der Pleura mediastinalis und diaphragmatica in die Pleura costalis werden *Pleurgrenzen* genannt. Die Pleurahöhle, *Cavitas pleuralis*, reicht vorne 1–2 Querfinger (2–3 cm) über den Oberrand der 1. Rippe bis unter das Zelt-dach der Mm. scaleni. Mit ihnen und der 1. Rippe ist dieser Abschnitt des Cavums, die *Pleurakuppel*, durch derbe Bindegewebszüge fest verbunden. An Übergängen von einem Pleuraabschnitt

in einen anderen (z. B. der Pleura diaphragmatica in die Pleura mediastinalis) entstehen *Recessus pleurales*. Bei einigen liegen die Blätter über eine größere Strecke aufeinander (Abb. 12–10). Sie werden bei tiefer Einatmung voneinander abgehoben, um der sich erweiternden Lunge Raum zur Ausdehnung zu geben. Man bezeichnet die Recessus, die allein von Bedeutung sind, als *Reserve- oder Komplementärräume*. Wichtig sind:

- Der **Recessus costodiaphragmaticus** [Sinus phrenico-costalis]. Er ist in der Axillarlinie 6–7 cm tief (Abb. 12–10).
- Der **Recessus costomediastinalis** ist im Bereich der Incisura cardiaca besonders ausgebildet (Abb. 12–23).

**Physikalische Bedingungen.** In der Pleurahöhle herrscht ein Unterdruck (Donderscher Druck), der in Abhängigkeit von der Ein- und Ausatmung zwischen – 8 und – 3 mmHg schwankt. Er hat zur Folge, daß der atmosphärische Luftdruck die Lunge an die Wand der Pleurahöhle preßt. Der noch resultierende capilläre Spalt ist mit einer serösen Flüssigkeit ausgefüllt, so daß durch Capillarattraktion eine Verbindung zwischen Lungenoberfläche und Wand der Pleurahöhle hergestellt wird, die jedoch eine gleitende Verschiebung bei den Volumenschwankungen zuläßt. Die Unversehrtheit der Pleura ist eine der Voraussetzungen für das Funktionieren der Atemmechanik. Die Capillarattraktion ist die mechanisch wirksame Kraft.

#### Feinbau

Für die Pleura trifft auch das auf S. 419 Gesagte zu. Hinzuzufügen sind folgende Charakteristika: In die Lamina fibrosa sind reichlich elastische Fasern eingelagert; denn sie muß sich den Volumensänderungen der Pleurahöhle und der Lungen anpassen. Mittels eines lockeren Bindegewebes, *Tela subserosa*, ist sie verschieblich (deshalb abziehbar) mit ihrer Unterlage verbunden. Im Bereich der Pleura costalis ist dieses Bindegewebe straff. Es wird deshalb, wenn auch zu Unrecht, als *Fascia endothoracica* bezeichnet (Fascie S. 130).

#### Funktionelle Hinweise

Das subseröse Bindegewebe (Tela subserosa) der Pleura pulmonalis steht mit dem interlobulären in kontinuierlicher Verbindung. Durch Flüssigkeitsverschiebungen infolge der periodischen Formveränderungen des Lungenparenchyms bei der Atmung werden Partikelchen (z. B. Kohlenstaub) in das interlobuläre und weiter in das subpleurale Bindegewebe transportiert und dort abgelagert (vgl. Läppchenzeichnung der Lunge). Durch den gleichen „Pumpmechanismus“ wird die Lymphe in gegenläufiger Richtung, also hi-

lusrwärts, befördert. Allein die Stellung der Klappen in den Lymphgefäßen ist hierfür verantwortlich. Das subseröse Bindegewebe beider Blätter enthält außerdem Blutgefäße, das des parietalen Blattes Nerven und Fettzellen.

Die seröse Gleitflüssigkeit (5 ml/Pleurahöhle) wird vom Pleuraepithel erzeugt und wieder resorbiert. Die eiweißarme Flüssigkeit entstammt dem Blut. Der Abtransport erfolgt über die Blutgefäße.

**Innervation**

Nur die Pleura parietalis ist sensibel versorgt. Schmerzempfindungen (z. B. bei einer Entzündung) werden über die Nn. intercostales, Schmerzen aus dem Bereich der Pleura mediastinalis und diaphragmatica über den N. phrenicus geleitet.

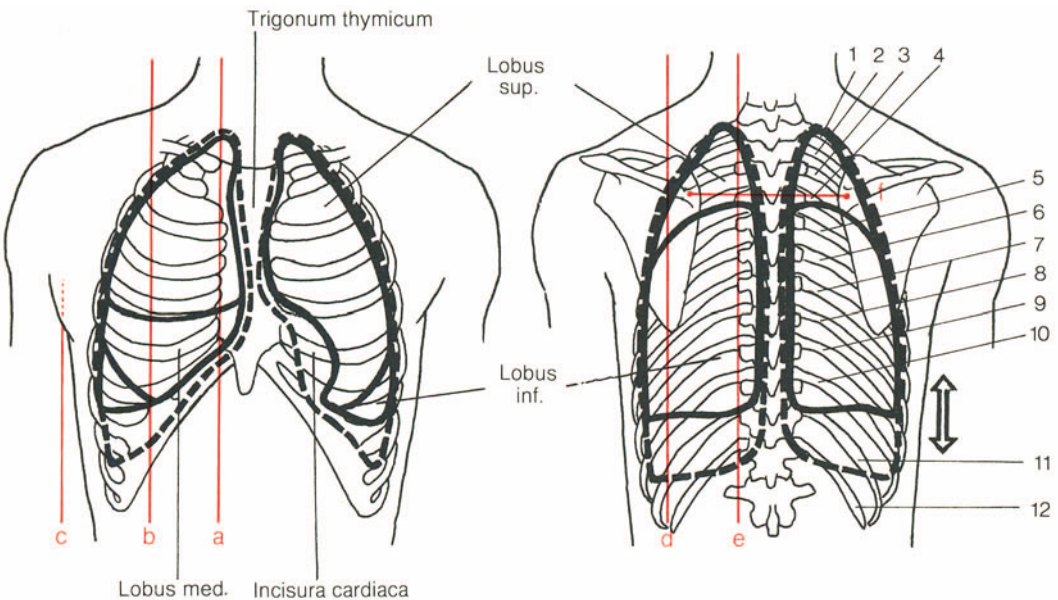
**Topographische Beziehungen zwischen Lunge und Pleurahöhle**

Das Ausmaß der Volumenzunahme der Lunge bei der Atmung wird durch die Lageänderung der Lungengrenzen festgestellt, indem man ihre Projektion auf den Thorax ermittelt. Hierzu muß ein Koordinatensystem festgelegt werden, das geringen individuellen und funktionellen

Schwankungen unterworfen ist. Man wählt den Schnittpunkt der Lungengrenze mit den Rippen im Bereich der auf S. 421 genannten Linien. Der Bezug zur Pleuragrenze wird auf gleiche Weise festgestellt.

**Lungengrenzen** (Abb. 12-8). Verfolgen wir zunächst die Projektion der Grenzen der rechten Lunge in respiratorischer Mittellage: Von der Lungenspitze in Höhe des 1. Brustwirbels (3-5 cm über der Clavicula; hier Auskultation der Lungenspitze) verläuft sie hinter dem Manubrium und Corpus sterni. In der Sternallinie schneidet sie die 6. Rippe und folgt ihr bis zur Medioclavicularlinie. In der mittleren Axillarlinie kreuzt sie die 8., in der Scapularlinie die 10. und in der Paravertebrallinie die 11. Rippe. Die Grenze der linken Lunge verläuft ähnlich; nur weicht sie in der Incisura cardiaca ab. Hier folgt sie in der Sternallinie der 4. Rippe und zieht bogenförmig nach unten. In der Medioclavicularlinie erreicht sie wieder die 6. Rippe und verläuft von hier ab wie auf der rechten Seite.

Der Verlauf der *Fissurae interlobares* (Abb. 12-8) schwankt. Die folgenden Angaben sind nur Richtwerte: Von hinten betrachtet beginnt die Fissura obliqua in Höhe des 4./5. Brustwir-



**Abb. 12-8.** Lungengrenzen (durchgehende Kontur) und Pleuragrenzen (gestrichelt) in der Ansicht von vorne (links) und von hinten (rechts); außerdem sind eingetragen die Sternal- (a), Medioclavicular- (b), Axillar- (c), Sapular- (d), Paravertebral- (e) und Interspinallinie

(f). Pfeil Verschiebung der Lungengrenze bei der Atmung. Parallel zur 4. Rippe die Fissura transversa. Trigonum thymicum, Ort, in dem der Thymus liegt. Zwischen Lungen- und Pleuragrenzen die Komplementär-räume (s. auch Abb. 12-10, 12-23)

bels, folgt der 4. Rippe, verläuft dann schräg abwärts bis zur 6. Rippe, die sie in der Medioclavicularlinie erreicht. Die Fissura horizontalis folgt, nur von vorne und seitlich zu erfassen, der 4. Rippe bis zur Axillarlinie.

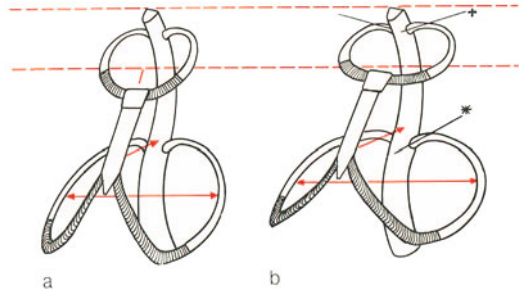
**Pleuragrenzen** (Abb. 12–8, 12–10). Sie sind im Gegensatz zu den Lungengrenzen nicht verschieblich. Sie weichen von ihnen nur im Bereich der Komplementärräume auffällig ab. Von der Pleurakuppel läßt sich die Grenze an der Hinterfläche des Manubrium sterni bis zum Ansatz der 4. Rippe verfolgen. In der rechten Sternallinie treffen wir sie in Höhe der 7. Rippe, der sie bis zur Medioclavicularlinie folgt; in der Axillarlinie schneidet sie die 10., in der Scapularlinie die 11. Rippe und zieht dann mehr oder weniger steil zum 12. Brustwirbel. Im Bereich der Incisura cardiaca erfolgt ab der 5. Rippe eine unterschiedlich stark gebogene Ausbuchtung. Die untere Pleuragrenze liegt mindestens 2 cm höher als die untere Thoraxapertur.

Der **Unterschied von Pleura- und Lungengrenze** ist im Bereich der Axillarlinie am größten. Er beträgt in mittlerer Respirationsstellung ungefähr 8 cm. Bei tiefer Inspiration tritt die untere Lungengrenze hier um 4 cm tiefer, bei maximaler Expiration um den gleichen Wert über die Stellung in mittlerer Respirationslage nach oben. Bei normaler Atmung verschiebt sich die untere Lungengrenze um ungefähr 3–4 cm.

**Klinischer Hinweis.** Lungenerkrankungen gehen oft mit einer Entzündung der Pleura einher (Pleuritis). Eine Begleiterscheinung kann die reaktive Vermehrung der serösen Flüssigkeit sein (feuchte Rippenfellentzündung im Gegensatz zur trockenen). Der Erguß wird, auch wenn er nicht durch Punktion abgezogen wurde, von der Pleura wieder resorbiert. Im Gebiet der Incisura cardiaca wird ein größerer Abschnitt des Herzens nicht vom lufthaltigen Lungengewebe bedeckt. Herz und Herzbeutel sind an dieser Stelle nur durch die beiden aufeinanderliegenden Pleurablätter von der vorderen Brustwand getrennt. Bei der Perkussion vermißt man hier den typischen „Lungenschall“; es tönt dumpf. Man bezeichnet dieses Projektionsfeld als das Gebiet der **absoluten Herzdämpfung** (Abb. 12–22). Durch intensiveres Beklopfen läßt sich das überlagernde lufthaltige Lungengewebe akustisch „durchschlagen“. Man vermag damit die Projektion der Herzkontur auf die vordere Brustwand zu bestimmen „**relative Herzdämpfung**“.

**IV. Atemmechanik**

Ziel der Atmung ist der Gasaustausch; Voraussetzung für den Austausch die Be- und Entlüftung der Lungenalveolen. Da die Lunge nur pas-



**Abb. 12–9a u. b.** Verstellung des Thorax bei Expiration **a** und Inspiration **b**. + Drehachse der 1. und \* der 7. Rippe. Beachte das Höherentreten des Sternums, die Vergrößerung des Abstandes Sternum – Wirbelsäule, die transversale Erweiterung der unteren Thoraxapertur und die Veränderung des Angulus costalis bei der Inspiration. *Schraffiert* Rippenknorpel

siv den Volumensänderungen der Pleurahöhle folgen kann (S. 432), soll dieser Mechanismus (Abb. 12–9), der auf Stellungsänderungen des Thorax und des Zwerchfells beruht, der Lungenkinetik vorangestellt werden.

**Bauteile**

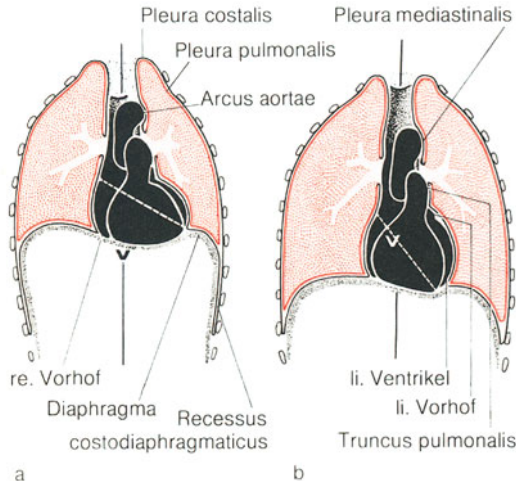
Der **Bänderthorax** (passiver Bewegungsapparat) besteht aus zwölf relativ starren Rippenpaaren, dem Sternum, der Brustwirbelsäule und den Bändern. Die gelenkigen Verbindungen der Rippen mit der Wirbelsäule (S. 194) lassen durch Zapfendrehung die Schwenkung der Rippenenden nach oben oder unten zu (auch Hebung oder Senkung der Rippen bezeichnet). Die Cartilagine costales werden hierbei auf Biegung oder Torsion beansprucht, da die Articulationes sternocostales funktionell straffe Gelenke sind. Von *entscheidender Bedeutung für die Art der Thoraxverstellung bei der Atmung ist die Form und die Länge der einzelnen Rippen und die Stellung der Achsen, um die die Schwenkbewegung ausgeführt wird.* Sie verläuft bei der 1. Rippe, die kurz und mit einem kleinen Krümmungsradius ausgezeichnet ist, fast transversal. Sie verläuft bei der 7. Rippe, die sehr lang und mit einem großen Krümmungsradius ausgezeichnet ist, schräg (Abb. 12–9). Im Alter vermindert sich die Elastizität des Thorax. Eine merkliche Herabsetzung der Vitalkapazität ist damit erklärbar; „die Luft geht einem eher aus“ als in der Jugend.

**Bewegende Anteile (aktiver Bewegungsapparat)**

Die Bewegung des Thorax erfolgt durch die Atemmuskulatur. Funktionell zu unterscheiden sind:

**Tabelle 12–3.** Funktionell am Bänderthorax direkt angreifende Muskulatur

Inspiratorisch wirksam	Expiratorisch wirksam
Mm. scaleni	Mm. intercostales interni
Mm. intercostales ext.	M. transversus thoracis
Mm. intercartilaginei	M. subcostalis
Mm. serrati post. sup. u. inf.	



**Abb. 12–10 a u. b.** Zwerchfell, Lunge und Herz bei maximaler Expiration **a** und maximaler Inspiration **b**. Beachte die Volumensänderung der Lunge, die Verstellung der Herzachse (*gestrichelt*), die Änderung des Zwerchfellstandes, die Öffnung des Recessus costodiaphragmaticus bei der Inspiration und das Eindringen der Lunge in den freigegebenen Raum sowie die Streckung der Bronchien bei der Inspiration. Lunge mit Pleura pulmonalis *rot*.  $\nabla$  Spitze des Proc. xiphoideus. Um die Veränderung bei der Atmung zu erfassen, ist der Stand des Scheitels des Arcus aortae in (**a** u. **b**) auf gleiche Höhe zu bringen. (Nach Hasselwander, 1954)

- die am Bänderthorax direkt angreifenden und ihn bewegenden Muskeln (Tabelle 12–3, 9–10 S. 211).  
Wenn diese Muskeln eine Bewegung ausführen, müssen sie zunächst die Federkraft des Bänderthorax überwinden.
- Von noch größerer Bedeutung als Atemmuskel ist das *Zwerchfell* (S. 457). Bei Innervation kontrahiert es sich und die beiden Kuppeln flachen sich ab. Damit wird die Cavitas pleuralis nach unten erweitert und der Recessus costodiaphragmaticus entfaltet (Abb. 12–10b).

Die Synthese aus diesen Vorbedingungen ermöglicht es, die Thoraxmotorik in einem verein-

fachten Schema zusammenzufassen (vgl. Abb. 12–9 mit Abb. 12–10):

**Inspiration**

Die Kontraktion der inspiratorisch wirksamen Muskeln bedingt am Thorax:

- eine Schwenkbewegung der Rippenringe nach oben und damit eine Parallelverschiebung des Sternums nach vorne oben. Der Thorax wird vorwiegend in dorsoventraler Richtung erweitert: *Sternocostale Form der costalen Atmung*.
- gleichzeitige Vergrößerung des Angulus infra-sternalis unter Torsion und Biegung der Cartilagine costales, während die unteren Rippen mit großem Krümmungsradius nach oben geschwenkt werden. Dieser Mechanismus führt zu einer seitlichen Erweiterung der unteren Thoraxapertur: *Laterale Form der costalen Atmung*.

Das Zwerchfell kontrahiert sich, beide Kuppeln flachen sich ab und die Bauchmuskulatur gibt nach: *Abdominale Atmung*.

Bei der Inspiration werden die *Cavitas thoracis* und damit auch die *Pleurahöhlen* nach vorne, nach unten und zur Seite hin erweitert.

Bei vertiefter Inspiration setzt die Atemhilfsmuskulatur ein. Sie führt z. T. zu einer Streckung der Halswirbelsäule (Rücknehmen des Kopfes bei tiefer Inspiration!). Hierdurch bekommen die Atemhilfsmuskeln (Mm. sternocleidomastoidei) eine günstigere Vorspannung. Die Mm. serrati posteriores inferiores vermögen die unteren Abschnitte des Thorax zu erweitern. Die Atemhilfsmuskeln des Schultergürtels (Mm. pectorales) können nur dann wirkungsvoll eingesetzt werden, wenn der Schultergürtel z. B. durch Aufstützen der Arme festgestellt wird (Tabelle 9–9, S. 210).

**Expiration**

Die Kontraktion der expiratorisch wirksamen Muskeln bedingt am Thorax entgegengesetzte Bewegungen. Die Zwerchfellkuppeln treten höher; damit wird der untere Abschnitt des Cavums verkleinert. Bei forcierter Expiration wird zusätzlich die Bauchpresse eingesetzt. Durch Zusammenpressen der Bauchwand durch die Arme und Zusammenkrümmen des Rumpfes läßt sie sich noch wirkungsvoll verstärken.

**Lungenfunktionsanalyse**

In respiratorischer Mittellage beträgt das Volumen beider Pleurahöhlen 4500 ml, bei tiefster **Inspiration** 7000–8000 ml. (Werte bezogen auf Menschen mittlerer Körpergröße und mittleren Alters. Der Unterschied zwischen einer Ceylonesin und einem Schwergewichtler kann das Dop-



pelte betragen.) Entsprechend werden die Lungen gedehnt, d. h. die Volumina der Alveolen vergrößert. Infolge des atmosphärischen Luftdruckes strömt aus dem Bronchialsystem die gleiche Luftmenge nach. Man hat berechnet, daß die am Gasaustausch beteiligte Alveolaroberfläche sich hierbei von 55 m<sup>2</sup> auf 75–80 m<sup>2</sup> vergrößert. Eine derartige Zunahme des Lungenvolumens ist nur möglich, wenn sich die Lunge in die entfalteten Komplementärräume ausdehnen kann. Doch selbst bei tiefster Inspiration werden sie nicht völlig ausgefüllt. Die Erweiterung der Lungenbläschen erfolgt bei der Inspiration gegen die *Retraktionskraft*. Sie ist die Summe der Elastizität der Fasernetze und der Oberflächenspannung, die an der Grenze von Cytoplasma/Luft auftritt.

Bei der **Expiration** wird jetzt die Retraktionskraft wirksam. Die Alveolen versuchen, die kleinste Oberfläche anzunehmen und die gedehnten elastischen Fasern kontrahieren sich. In gleichem Ausmaß, wie das Volumen der Pleurahöhle verringert wird, nimmt das Lungenvolumen ab. Selbst bei extremer Expiration enthält die Lunge noch Luft (Residualluft) und die elastischen Fasern befinden sich noch immer in gedehntem Zustand. Erst wenn der Druck im Cavum pleurae gleich dem äußeren Luftdruck ist (z. B. Eröffnung der Pleurahöhle; Pneumothorax), tritt der Kollaps der Lunge ein; die elastischen Fasern sind jetzt völlig entspannt. Die Retraktionskraft der Lunge trägt dazu bei, daß nach dem Tod das Zwerchfell höher steht als im Leben bei extremer Expiration.

Bei **mittlerer Atemtiefe** beträgt die mit einem Atemzug gewechselte Luftmenge ungefähr 500 ml.

### Formveränderungen der Lunge

Bei den Atemexkursionen verändert die Lunge ihre Form entsprechend den Verstellungen des Thorax/Pleuraraumes (s. o.). Sie erfolgen also nicht konzentrisch um den Hilus. Wenig verändert sich die Lungenspitze und der dorsomediale Abschnitt. Auch der Hilus und der Lappenkern mit den relativ starren Bronchien und den blutgefüllten Gefäßen bleiben bei mittlerer Atemtiefe fast unverändert. Bei tiefer und tiefster Inspiration gleitet der Oberlappen in der Fissura obliqua mit seinem vorderen Rand schraubig nach vorne medial-ventral, während sich der Unterlappen in den erweiterten Recessus costodiaphragmaticus schiebt. Er dehnt sich also nach unten, und wegen der Weiterstellung der unteren Thoraxapertur, auch seitlich aus. Der Hilus pulmonis wird nach vorne unten gezogen. Die Bronchien werden gedehnt, der Winkel an der Teilungsstelle vergrößert

sich (Abb. 12–10b). Damit werden auch die im Lappenkern zwischen den Bronchien gelegenen Alveolen erweitert. Die inspiratorische Volumenzunahme betrifft ganz besonders die im Lappenmantel gelegenen Alveolen. Bei einem Oberflächenzuwachs von 55 auf 75 m<sup>2</sup> (oder mehr) resultiert zwangsläufig eine beträchtliche Gewebeverschiebung. Sie wird durch die Konstruktion der Läppchen mit ihren Bindegewebssepten und durch die Aufteilung in einzelne, gegeneinander verschiebliche Lappen auf ein Mindestmaß reduziert.

**Regulation der Atmung.** Sie wird zentralnervös gesteuert über das „Atemzentrum“ in der *Formatio reticularis* (S. 665), über Chemorezeptoren (Carotissinus über N. IX, Aorta über N. X und im Hirnstamm gelegene Rezeptoren) und reflektorisch durch Dehnungsrezeptoren der Lunge (afferent N. X). Den letztgenannten Mechanismus bezeichnet man auch als Selbststeuerung, denn auf der Höhe einer Inspiration wird reflektorisch die Expiration eingeleitet. Willkürliche Einflußnahme auf den Atemmechanismus (z. B. Anhalten des Atems oder Hyperventilation des Schnellläufers vorm Start) ist möglich.

### Lungenkreislauf bei der Atmung

Der Körper muß über eine beträchtliche cardio-pulmonale Blutreserve verfügen (z. B. bei einem 3000 m-Lauf). In der Ruhe sind die Gefäße der Lunge eng; die arteriovenösen Anastomosen sind geöffnet. Bei Bedarf erfolgt eine Erweiterung der Capillaren, während die arteriovenösen Anastomosen geschlossen werden. Die Organdurchblutung wird dadurch erhöht.

Die Atemmechanik übt außerdem auch auf die Blutmotorik in den großen mediastinalen Gefäßen einen nicht zu unterschätzenden Einfluß aus, indem die Retraktionskraft der Lunge auf die Venenwände einen Sog ausübt (ganz besonders bei Inspiration), sie offen hält und damit die Saugwirkung des Herzens unterstützt.

**Klinischer Hinweis.** Wenn Luft in den Pleuraraum eindringt (z. B. Messerstich), wird die Capillarattraktion von Lunge/Pleura costalis gelöst. Infolge der Retraktionskraft kollabiert die Lunge auf  $\frac{1}{3}$  ihres ursprünglichen Volumens. Diesen Zustand nennt man Pneumothorax. Der Unterdruck im Cavum pleurae bewirkt eine Verziehung des Mediastinums nach der gesunden Seite. Bei einem Ausfall der Motorik der Atmung (Lähmung des N. phrenicus oder des Atemzentrums) muß man eine künstliche Beatmung vornehmen durch rhythmische manuelle Kompression des Thorax oder durch den Einsatz eines gleichartig wirkenden Apparates oder durch Aufblasen der Lunge durch die Mund-zu-Mund-Beatmung.



## B. System der Kreislauforgane

### I. Entwicklung des Kreislaufs und der Kreislauforgane

Der Kreislaufapparat entsteht Mitte der 3. Woche aus Anhäufungen von Mesenchymzellen im Dottersack- und Haftstielmesenchym, vor und seitlich der Prächordalplatte. Aus diesen zunächst massiven Inseln *angiogenetischen Materials* (*Blutinseln*) differenzieren sich außen Gefäßbildungszellen, *Angioblasten*, und innen Blutbildungszellen, *Hämocytoblasten*, (Abb. 12–11). Die Angioblasten benachbarter Inseln schließen sich zu Gefäßen zusammen. Durch Anastomosen

entstehen Gefäßnetze. Ihre Wand (primäre Gefäßwand) besteht nur aus Endothel. Die sekundäre Gefäßwand mit ihren unterschiedlichen Schichten aus Muskulatur und Bindegewebe bildet sich entsprechend der funktionellen Beanspruchung. Zeit lebens bleibt diese Fähigkeit in gewissem Umfang erhalten (z. B. bei der Bildung von Kollateralkreisläufen).

Von der ersten Entstehung des symmetrisch angelegten embryonalen Kreislaufes bis zum Kreislauf des Erwachsenen mit seinen Kreislauforganen sind tiefgreifende Umgestaltungen notwendig. Sie sind im Folgenden schematisch in vier Entwicklungsschritten, die sich in ihrem zeitlichen Ablauf überschneiden, zusammengefaßt.

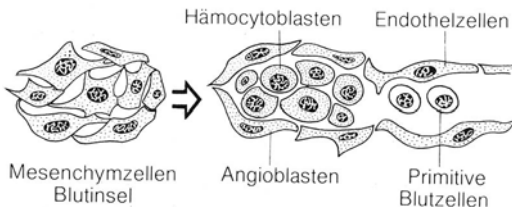


Abb. 12–11. Entstehung von Hämocytoblasten und Angioblasten aus Blutinseln im Dottersackmesenchym

#### 1. Dottersackkreislauf

Die im Dottersackmesenchym entstandenen Gefäßnetze finden über den Dottersackstiel Anschluß an die sich ausbildenden intraembryonalen Gefäße. Es entsteht damit der Dottersackkreislauf. Seine zu- und ableitenden Gefäße, die *Aa. und Vv. omphalomesentericae* sind paarig angelegt (Abb. 3–15b, S. 104, 12–12). Da der Dottersack beim Menschen keine Nahrungsreserven

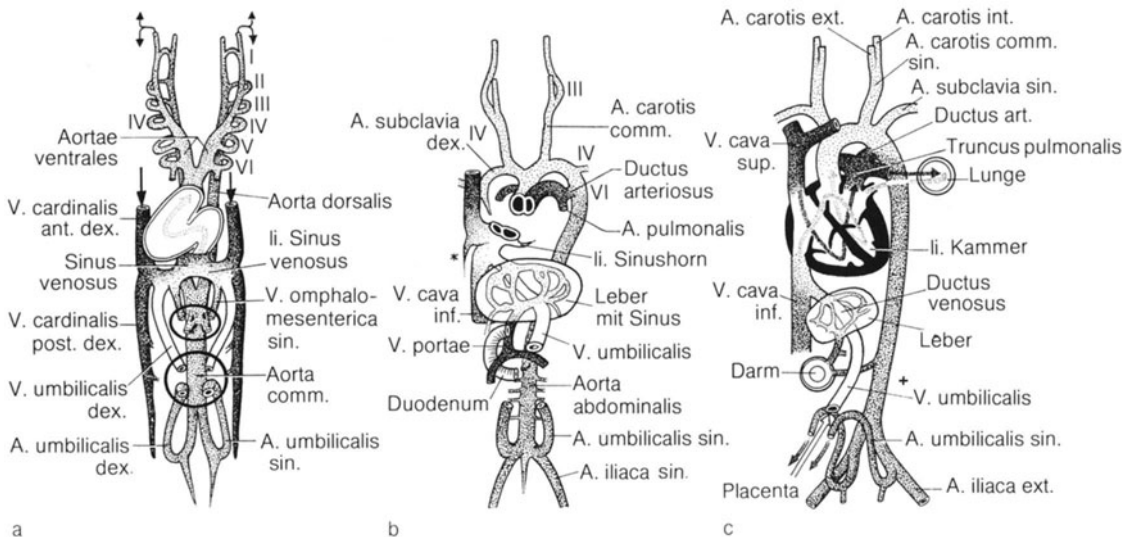


Abb. 12–12a–c. Drei Entwicklungsstadien des Kreislaufes. **a** Symmetrisch angelegter Kreislauf des Embryos. Kiemenbogenarterien durch *römische Ziffern* gekennzeichnet; Herz aufgeschnitten, *Kreislinie* um Vv. und Aa. umbilicales = Kontur des Haftstiels. *Ovale Linie* um Vv. und Aa. omphalomesentericae (letzte nicht bezeichnet) = Kontur des Dottersackstiels; **b** Umgestaltung des Kreislaufes und Derivate der Kiemenbogenarterien (entsprechende römische Ziffern

wie in **a**). In die V. portae münden die V. mesenterica sup. und V. linealis (nicht bezeichnet). Herz entfernt; Unterteilung der Porta venosa und arteriosa; \* Rest der V. cardinalis post. dex.; **c** Fetalen Kreislauf vor der Geburt. V. portae mit Zuflüssen nicht bezeichnet; + dem Mesenterica. Die *Grautöne* entsprechen in **a–c** dem Kohlensäuregehalt des Blutes; *weiß* sauerstoffreiches Blut (vgl. Abb. 12–12a mit Abb. 3–15b)

enthält, wird der Dottersackkreislauf bald zurückgebildet. Einige Abschnitte finden anderweitige Verwendung:

- Das Capillarnetz, das sich zwischen den beiden Vv. omphalomesentericae unterhalb des Septum transversum ausbildet (Abb. 12–25, S. 477), wird in die Leberanlage einbezogen und bildet die Sinusoide, die V. revehens (Vv. hepaticae) und einen kleinen Abschnitt der V. cava inferior.
- Ein Anastomosenring um das Duodenum zwischen den Vv. omphalomesentericae bildet die V. portae (Abb. 12–12b).
- Aus den Aa. omphalomesentericae entstehen die A. mesenterica superior, der Truncus coeliacus und die A. mesenterica inferior.

## 2. Placentakreislauf

Der Placentakreislauf löst den Dottersackkreislauf ab. Die mit der Allantois im Haftstiel verlaufenden *Vasa allantoidea* finden Anschluß an die Gefäße der Chorionzotten (Placenta, S. 93). Von den zunächst paarig angelegten in den Venensinus einmündenden Venen (Abb. 12–12a, 12–25) bleibt nur die linke als *V. umbilicalis* (Nabelvene) erhalten. Sie mündet zunächst über Anastomosen in die Lebersinus. Doch stellt das intrahepatische Capillarnetz offenbar einen zu großen Strömungswiderstand dar, so daß sich ein Umgehungskreislauf über den *Ductus venosus* [Arantii] (Abb. 12–12b) ausbildet. Die Nabelvene wird von den Aa. umbilicales begleitet. Sie führen CO<sub>2</sub>-reiches Blut (Abb. 3–15b).

**Rudimente der Gefäße des Placentarkreislaufes beim Erwachsenen.** Vom *Ductus venosus* bleibt das *Lig. venosum* (Abb. 13–19b, S. 479), von der intraabdominalen Verlaufsstrecke der *V. umbilicalis* das *Lig. teres hepatis* (Abb. 13–5, S. 466, 13–19a). Aus den Aa. umbilicales leiten sich die *Ligg. umbilicalia medialis* ab (Abb. 9–18, S. 220). Der proximale Stamm der Nabelarterie wird zur *A. iliaca interna* und *A. vesicalis superior*.

## 3. Intraembryonaler Kreislauf

Die vor und seitlich der Prächordalplatte entstehenden Gefäße bilden die erste Anlage des Herzens. Sie werden bei der Abfaltung des Embryos in den Embryonalkörper verlagert (Abb. 3–11, S. 105). Die paarigen Capillarrohre vereinigen sich zum unpaaren ungekammerten Endocardschlauch (Abb. 12–13a).

Unterdessen fanden sie Anschluß an andere,

gleichfalls symmetrisch angelegte weitlumige Blutgefäßstämme. Sie werden entsprechend der Strömungsrichtung als Arterien oder Venen bezeichnet. Verfolgen wir den Blutstrom (Abb. 12–12, 3–15b):

Er verläßt durch die ventralen Aorten den arteriellen Abschnitt des Herzens, gelangt über die sechs *Kiemenbogenarterien* (= *Aortenbögen*) in die dorsalen Aorten und durch Capillarnetze (im Schema nicht gezeichnet) in die Venenstämme. Vv. *cardinales craniales* leiten das sauerstoffarme Blut aus der vorderen, Vv. *cardinales caudales* aus der hinteren Körperhälfte über einen gemeinsamen Stamm (*Ductus Cuvieri* = *V. cardinalis communis*) in einen weiten Raum, den *Sinus venosus*, und damit wieder dem Herzen zu. Nach Passage der Placenta (Placentakreislauf, S. 97) erreicht das mit O<sub>2</sub> angereicherte Blut gleichfalls den *Sinus venosus*. Dort mischt es sich mit dem O<sub>2</sub>-armen aus den Kardinalvenen. Das schnelle Wachstum des Keims erfordert, daß zur ausreichenden Blutgefäßversorgung in Capillargebieten neue Strombahnen kanalisiert werden, wie die Nierenarterien, Arterien des Beckens und der Extremitäten, wie auch die Vv. supra- und subcardinales.

Bevor die Umgestaltung des embryonalen Kreislaufes zum Kreislauf des Neugeborenen dargestellt wird, muß zuvor die definitive Entwicklung des Herzens abgehandelt werden.

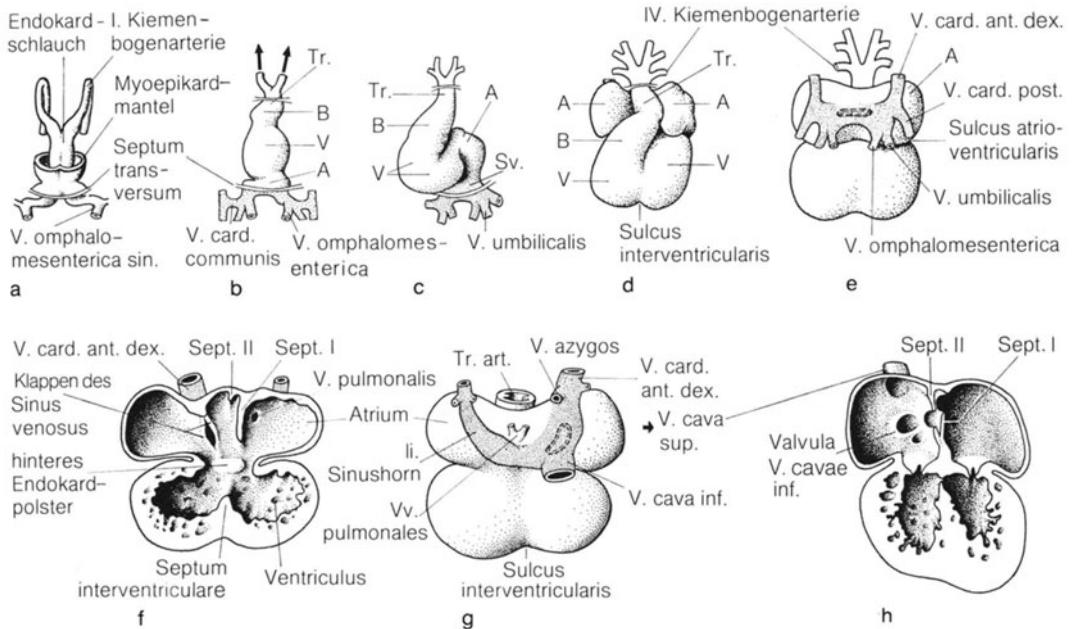
## 4. Herzentwicklung

### Herzschlauch (*Cor tubulare simplex*)

Aus der Splanchnopleura differenziert sich an der Oberfläche des endothelialen *Endokardschlauches* der *myoepikardiale Mantel*. Das *Mesokard* bleibt zunächst als Verbindung zur dorsalen Wand des vorderen Cölomabschnittes (primärer Perikardialraum) erhalten, dessen caudale Begrenzung das *Septum transversum* bildet. Im Mesenchym des Septums ist der *Sinus venosus* implantiert (Abb. 12–25). Die cranialwärts folgenden Erweiterungen der Herzanlage (Abb. 12–13) werden als *Atrium*, *Ventriculus*, *Bulbus* und *Truncus arteriosus* bezeichnet (*Atrium* = Vorhof; *Ventriculus* = Kammer). Nach Durchtritt durch das Perikard zweigt sich der *Truncus* in die *Aortae ventrales* auf. Der Herzschlauch ist noch nicht durch Scheidewände unterteilt. Man spricht deshalb vom *Cor commune*. Seine Wand besteht aus Endothel, *Endokard*, einer Muskelschicht, *Myokard*, und dem visceralen Blatt der Serosaauskleidung, *Epikard*. Die Muskulatur beginnt bereits in diesem Stadium der Entwicklung (23.–24. Tag) sich rhythmisch zu kontrahieren.

### Ausbildung der äußeren Form

Die weiteren Vorgänge werden bestimmt durch das schnelle Längenwachstum des Herzschlauches.



**Abb. 12–13 a–h.** Entwicklung der äußeren Gestalt des Herzens nach Vereinigung der Endokardschläuche zum Cor commune. *Sv* Sinus venosus (fein punktiert); *A* Atrium; *V* Ventriculus; *B* Bulbus; *Tr* Truncus arteriosus; *V. card.* *V. cardinalis*. **a–d** Ansicht von vorne, **e u. g** Ansicht von hinten mit Sinus venosus, **f u. h** Frontalschnitte. Beachte die Stellungsänderung der Einmündung des Sinus venosus in das Atrium (*gestrichelte Doppelkontur*). **g** *Tr. art.* Truncus arteriosus mit Septum aorticopulmonale, *Pfeil* wird zu. Die *Doppelkontur*

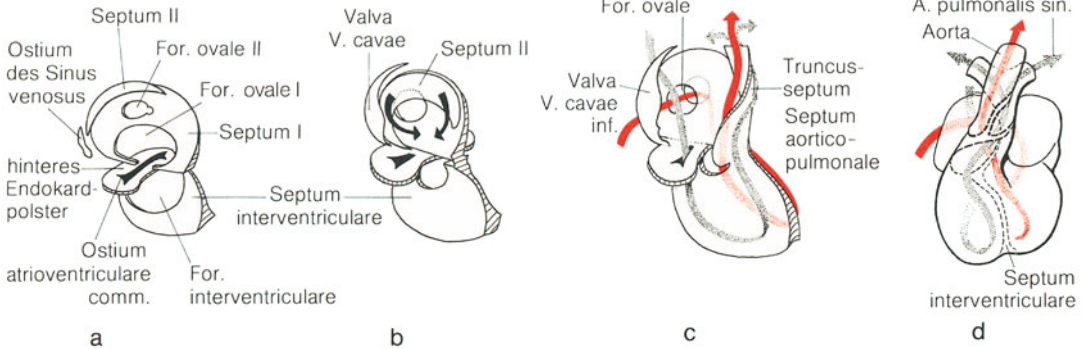
*quer über den Truncus arteriosus* in **Abb. b–d** ist die craniale Begrenzung des Herzbeutels, die caudale fällt mit dem Septum transversum zusammen (s. **Abb. 12–25**, S. 418); **h** Zustand nach der Septierung. Der Sinus venosus ist unterteilt in die Mündung der *V. cava sup.* und *inf.* Außerdem entstand die Öffnung für die *V. magna cordis* (unter der *Valvula v. cavae inf.*), Öffnungen im Septum I und Septum II bilden das Foramen ovale, Septum I die Klappe

ches verbunden mit Aufweitungen im Bereich des Ventriculus und des Atrium. Hierbei biegt sich der Herzschlauch S-förmig (**Abb. 12–12, 12–13c**). Da der Abstand zwischen Truncus arteriosus und Sinus venosus sich nicht wesentlich vergrößert, beide relative Fixpunkte darstellen, rückt der Sinus scheinbar cranialwärts. Er liegt jetzt hinter dem Atrium (**Abb. 12–13e**). Dann buchten sich die vorderen Abschnitte des Atrium vor und umfassen den Truncus (**Abb. 12–13d**). Die Gestalt gleicht jetzt äußerlich bereits der des fertigen Herzens, wenn auch noch immer der Zustand eines Cor commune besteht. Der *Sulcus interventricularis* markiert die Grenze zwischen linkem und rechtem Abschnitt der Kammer, der *Sulcus atrioventricularis* die Grenze zum Vorhof. Am Innenrelief wird der Beginn der Scheidewandbildung durch das Auftreten sichelförmiger Leisten erkennbar (**Abb. 12–13f**). Die Verbindung zwischen Atrium und Ventriculus, der *Atrioventricularkanal* (**Abb. 12–13f**) ist durch Endokardverdickungen (*hinteres, vorderes und seitliches Endokardpolster*) H-förmig eingengt.

Die breite Verbindung zwischen Sinus venosus und Atrium, *Ostium sinuatriale*, rückt weiter nach rechts, wird gleichfalls zunehmend eingengt zu einer von zwei Endokardfalten flankierten, fast senkrecht stehenden Öffnung.

**Umgestaltung des Sinus venosus**

Die Situation, die in **Abb. 12–13c** wiedergegeben ist, erfährt durch die Rückbildung des linken Abschnittes des Sinus samt einmündenden Venen eine tiefgreifende Veränderung. Nur das linke Sinushorn bleibt als *Sinus coronarius* erhalten. Das rechte Sinushorn wird in die Wand des Atrium einbezogen (auf **Abb. 12–13g** durch die punktierte Linie dargestellt). An der Mündung der Venen in das Atrium bilden sich aus den Endokardfalten Klappen, die den Blutstrom in Richtung Vorhofscheidewand lenken, *Valvula venosa sinistra* und *dextra*. Aus der ursprünglich weiten Mündung des Sinus venosus entstehen drei: für die *V. cava superior*, die *V. cava inferior* und den *Sinus coronarius* (**Abb. 12–13h**).



**Abb. 12–14a–d.** Unterteilung des Cor commune durch Septenbildung. In **a–c** ist auf die Wiedergabe der Vorhofs- und Ventrikelwände verzichtet; nur die Septen

sind isoliert dargestellt. Die Pfeile in **b** bezeichnen die Wachstumsrichtung des Septum II

### Lungenvenen

Die Lungenvenen entstehen in der dorsalen Wand des linken Abschnittes des Atrium (Abb. 12–13f links vom Septum I.). Sie wachsen durch das Mesenchym des Mesokards in den mesenchymalen Anteil der Lungenanlage ein und verbinden sich mit dem hier entstandenen Gefäßnetz. Ihr Kaliber vergrößert sich bis zur Geburt so, daß beim Übergang zur Lungenatmung die notwendige Blutmenge sofort dem Herzen zugeführt werden kann.

### Septierung des Cor commune

Die Septierung findet zwischen dem 27. und 37. Tag statt. Grundsätzlich sind folgende Vorgänge notwendig:

- *Unterteilung in Vorhof und Kammer mit ventilartigen Durchlässen*, die nur eine bestimmte Strömungsrichtung gestatten.
- *Unterteilung in linke und rechte Herzhälfte.* Die Tatsache, daß der Lungenkreislauf noch nicht funktioniert, nach Unterbrechung des Placenta-kreislaufes aber schlagartig in Betrieb genommen werden muß, hat eine Komplizierung der Vorhofscheidewand zur Folge (eine Öffnung mit Klappenmechanismus).
- *Durch die Unterteilung der Ausströmungsbahn* (Bulbus und Truncus arteriosus) werden die dem Körper- und Lungenkreislauf zugehörigen Arterien geschaffen.

Diese Vorgänge führen zum *Cor quadricameratum*.

**Unterteilung in Atrium und Ventrikel.** Dorsales und ventrales Endokardpolster nähern sich und verwachsen in der Mitte (Abb. 12–14a). Seitlich bleiben zwei Öffnungen, *Ostien*, bestehen. Rings um die Ostien bilden sich durch Umgestaltung des Muskelschwammwerkes und durch Auszie-

hung der Endokardpolster die als Ventile funktionierenden Segelklappen. Das *Ostium atrioventriculare dextrum* wird von einer dreizipfeligen Segelklappe, das *Ostium atrioventriculare sinistrum* von einer zweizipfeligen begrenzt (Funktion S. 442).

**Unterteilung des Atrium commune in linken und rechten Vorhof.** Die Umgestaltung des Sinus venosus führte dazu, daß die Mündung der großen Venen nach rechts verschoben wurde. Die Öffnung wird von den *Valvulae venosae* flankiert. Die rechte differenziert sich zur Klappe der *V. cava inferior* und zur *Klappe des Sinus coronarius* (Abb. 12–13, 12–14c), während die linke in die Vorhofscheidewand nivelliert wird.

Die Septierung des Vorhofs beginnt mit der Bildung einer sichelförmigen Falte, die an das vordere und hintere Endokardpolster Anschluß gewinnt und das *Septum I (primum)* bildet. Bevor es auch in der Mitte das Endokardpolster erreicht und die Unterteilung in linken und rechten Vorhof vollständig ist, treten im Septum I Lücken auf. Sie konfluieren und bilden das *Foramen ovale II*. Inzwischen entstand rechts vom Septum I eine zweite sichelförmige Falte als Anlage des *Septum II (secundum)*. Seine Wachstumsrichtung wird aus den Pfeilen in Abb. 12–14b ersichtlich. Indem sich die beiden Septen aneinander vorbeischieben, bildet sich aus Septum I eine Klappe, die links vom Foramen ovale II steht. Die weit ins Lumen vorspringende Klappe an der Einmündung der *V. cava inferior* lenkt den Blutstrom in Richtung Foramen ovale. Er biegt das Septum I zur Seite und gelangt in das Atrium sinistrum (Abb. 12–14c).

**Unterteilung in rechte und linke Kammer.** Die zunehmende Ausweitung der Ventrikelwand

geht mit der Bildung eines *Septum interventriculare* einher. Das Septum interventriculare entsteht an der Stelle des Sulcus interventricularis. Das Septum verwächst *rechts* von der Medianebene mit dem hinteren Endokardpolster, läßt aber zunächst noch eine relativ weite Lücke offen, das *Foramen interventriculare* (Abb. 12–14). Angenommen, das Septum würde senkrecht auf die Endokardpolster zuwachsen und auf der ganzen Strecke sich mit ihm verbinden, dann würde die linke Kammer blind enden.

#### Unterteilung des Bulbus und Truncus arteriosus.

Dieser Septierungsvorgang ist verbunden mit der Bildung der notwendigen Ausströmungsventile (Taschenklappen). Die Scheidewand entsteht aus leistenförmigen Strukturen, die mit den Endokardpolstern vergleichbar sind, den *Bulbus-* und den *Truncuswülsten*. Sie wachsen aufeinander zu und vereinigen sich zum *Septum aorticopulmonale*. Sein Verlauf ist aus Abb. 12–14c ersichtlich. Damit sind Aorta ascendens und Truncus pulmonalis entstanden. Schließlich muß zur vollständigen Trennung von Lungen- und Körperkreislauf der Anschluß an das Kammerseptum erfolgen und das Foramen interventriculare verschlossen werden. Am Verschuß beteiligen sich Material des vorderen und hinteren Bulbuswulstes und des hinteren Endokardpolsters. Die Vereinigungsstelle ist membranös und am fertigen Herzen als *Pars membranacea septi interventricularis* noch sichtbar. Zeitlebens bleibt sie frei von Muskulatur.

#### Entwicklung der Herzklappen

Die *Atrioventricularklappen* entstehen aus Mesenchymverdichtungen (Endokardpolster) rings um die Ostien an der Grenze des ventriculären Muskelschwammwerkes. Das Größenwachstum des Herzens und die damit einhergehende Längsdehnung der mit den Mesenchymverdichtungen verbundenen Muskelbälkchen zu den Sehnenfäden (Chordae tendineae S. 441) führt zur Separierung der dünnwandigen *Segelklappen*. Die *Aorten-* und *Pulmonalklappen* entstehen in Höhe der Truncuswülste aus je drei mesenchymunterfütterten, knötchenförmigen Wandverdichtungen. Nach Ausbildung des Septum aorticopulmonale und Trennung der beiden Gefäßrohre werden sie in die dünnwandigen *Semilunarklappen* (= *Taschenklappen*) umgeformt. Bei der Ausgestaltung beider Klappenformen spielt die Wirkung des strömenden Blutes eine wichtige Rolle (Hämodynamik).

Schon vor der eigentlichen Septierung des Herzens ist durch seine Gestalt eine – wenn

auch unvollkommene – Unterteilung in zwei Hauptströme anzunehmen; zwischen beiden eine „Totwasserzone“. In ihr entwickeln sich die Septen, nicht etwa wie es scheint, durch „Vorwachsen“, sondern vor allem durch Ausweitung der Wand während der Größen- und Volumenzunahme des Herzens.

**Mißbildungen des Herzens.** *Offenes Foramen ovale* ist meist eine Folge einer ungenügenden Ausbildung des Septum I. Enge sondendurchgängige Lücken finden sich bei 20% aller Menschen. Sie sind funktionell bedeutungslos.

*Kammerscheidewanddefekt* durch nicht erfolgten Verschuß des Foramen interventriculare.

*Persistierender Truncus arteriosus*, wenn die Ausbildung des Septum aorticopulmonale unterblieb.

*Transposition der großen Gefäße:* Truncus- und Bulbuswülste verwachsen so, daß die Torsion des Septums unterbleibt. Die Aorta geht dann aus dem rechten Ventrikel hervor, der Truncus pulmonalis aus dem linken.

*Stenosen* der Klappen (Pulmonal- oder Aortenstenose), sind auf eine ungenügende Erweiterung der Durchflußöffnung zurückzuführen. Oft sind mehrere Fehlbildungen kombiniert. Schwere Mißbildungen sind mit dem Leben unvereinbar.

#### 5. Umgestaltung des embryonalen zum fetalen Kreislauf

Aus dem zunächst symmetrischen Gefäßsystem des Embryos differenziert sich durch Rückbildung primär angelegter Gefäßstrecken und Ausbildung neuer Strombahnen der *fetale Kreislauf* (Abb. 12–12c). Er stimmt mit dem des Erwachsenen bereits grundsätzlich überein. Die wichtigsten Vorgänge sind in Tabelle 12–4 zusammengestellt.

#### 6. Fetaler Kreislauf (Abb. 12–12)

Das in der Placenta mit O<sub>2</sub> angereicherte Blut wird aus der V. umbilicalis, durch den Ductus venosus und zum geringeren Teil durch die Leber in die V. cava inferior (*unter Hohlvene*) geleitet. Hier mischt es sich mit dem CO<sub>2</sub>-haltigen Blut aus der unteren Körperhälfte und gelangt in den rechten Vorhof. Die Klappe der V. cava inferior an der Einmündungsstelle lenkt den Blutstrom durch das Foramen ovale in den linken Vorhof. Nachdem es durch das Ostium atrioventriculare sinistrum in die linke Kammer strömte, wird es bei der folgenden Kammerkontraktion durch die *Aorta ascendens* ausgetrieben und fließt über ihre Äste *A. subclavia* in die Arme und *A. carotis communis* in Hals und Kopf. Nach Passage der Capillarstrecke im Gewebe wird das Blut über die V. cava superior wieder zum Herzen zurück-



**Tabelle 12–4.** Schema der wichtigsten Vorgänge bei der Umgestaltung des embryonalen zum fetalen Kreislauf

Embryonal angelegt als	Wird beim Feten/Neugeborenen
Kiemenbogenarterie 1	Zurückgebildet (kleiner Abschnitt der <i>A. maxillaris</i> )
Kiemenbogenarterie 2	Zurückgebildet
Kiemenbogenarterie 3	Gabelung von <i>A. carotis int. et ext.</i>
Kiemenbogenarterie 4	<i>Arcus aortae, A. subclavia dext.</i>
Kiemenbogenarterie 5	Zurückgebildet
Kiemenbogenarterie 6	<i>A. pulmonalis sin. et dext., Ductus arteriosus, Lig. arteriosum</i>
Aortae ventrales	<i>A. carotis communis dext. et sin., A. carotis ext. dext. et sin., Truncus brachiocephalicus</i>
Aortae dorsales	<i>A. carotis int. sin. et dext., Aorta descendens</i> nach Verschmelzung der paarigen Anlage
Aa. omphalomesentericae	<i>Truncus coeliacus, A. mesenterica sup. et inf.</i>
Aa. umbilicales	<i>A. iliaca int. (Stamm)</i> <i>A. vesicalis sup., Lig. umbilicale mediale</i>
Aa. segmentales laterales (hier Arterien der Urniere)	<i>Aa. testiculares, Aa. ovaricae, Aa. suprarenales, Aa. renales</i>
Capillarplexus in Extremitätenanlagen	Arm- und Beingefäße
Vv. omphalomesentericae	<i>V. portae, Lebersinusoide, Vv. hepaticae; Teilstück der V. cava inf.</i>
V. umbilicalis	<i>Ductus venosus; Lig. teres hepatis und Lig. venosum</i>
Vv. cardinales craniales	<i>V. brachiocephalica, Vv. subclaviae, V. cava sup. (z. T.)</i>
Vv. cardinales communes Vv. cardinales caudales	<i>V. cava sup., V. obliqua atrii sin., Sinus coronarius</i> <i>Caudaler Abschnitt der V. cava inf. und Vv. iliaca</i>
Vv. subcardinales	Mittlerer Abschnitt der <i>V. cava inf.</i>
Vv. supracardinales	<i>V. azygos et hemiazygos</i>

geleitet. Die *V. cava superior* führt also  $\text{CO}_2$ -reiches Blut. Es wird vom rechten Vorhof durch das Ostium atrioventriculare dextrum in die rechte Kammer geleitet, und bei der nächsten Kammerkontraktion in den *Truncus pulmonalis* und in die *Aa. pulmonales* ausgeworfen. Die Lungen funktionieren noch nicht; ihre Gefäße sind noch nicht erweitert. Deshalb wird ein Kurzschluß, der *Ductus arteriosus* (Tabelle 12–4), zur Aorta benutzt. Nach Einmündung des *Ductus arteriosus* mischen sich  $\text{O}_2$ -reiches und  $\text{O}_2$ -armes Blut, so daß sich der  $\text{O}_2$ -Gehalt in der *Aorta descendens* relativ verringert, aber für die Sauerstoffversorgung der unteren Körperhälfte ausreicht. Am Ende der *A. iliaca communis* (gemeinsame Beckenarterie) biegen die medial gelegenen Gefäßstrecken, die *Aa. umbilicales*, nach ventral und

schließen sich nach Durchtritt durch den Nabelring in der Nabelschnur der *V. umbilicalis* an. Die *Aa. umbilicales* leiten zum Gasaustausch das  $\text{CO}_2$ -reiche Blut des Fetus zur Placenta. Die *A. iliaca* (später externa) versorgt die untere Extremität. Nach Passage der Capillarstrecke wird das Blut über die Venen zur *V. cava inferior* transportiert.

## 7. Umstellung des Fetalkreislaufs bei der Geburt

Nach Unterbrechung des Placentakreislaufs steigt der  $\text{CO}_2$ -Druck im Blut des Kindes an. Das Atemzentrum wird angeregt; Atembewegungen setzen ein; die Lunge wird entfaltet und ihr Gefäßsystem durchströmt. Hierzu muß der Kurzschluß zwischen Pulmonalarterie und Aorta ab-

gesperrt werden. Dies erfolgt durch Kontraktion der glatten Muskulatur in der Wand des Ductus arteriosus. Die jetzt durch die *Vv. pulmonales* zum linken Vorhof aus der Lunge zurückströmende Blutmenge führt zu einer Druckerhöhung im linken Vorhof bei einer Herabsetzung des Druckes im rechten Herzen infolge der Verminderung des Widerstandes des Lungenkreislaufes. Die Druckdifferenz führt zu einem funktionellen Verschluss des Foramen ovale, indem das Septum I an den verstärkten Rand des Septum II gepreßt wird; beide verwachsen erst später. Die Kontraktion der Muskulatur in der Wand der Nabelschnurgefäße verhindert einen Blutverlust durch Reflux nach Durchtrennung der Nabelschnur.

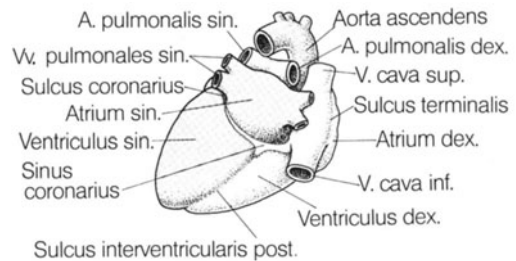
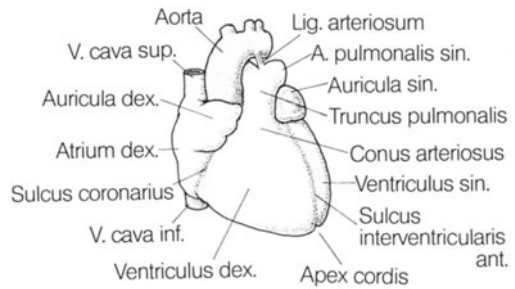
**Klinischer Hinweis.** Hemmungsmißbildungen können entstehen, wenn der Ductus arteriosus nicht verschlossen wird, ein doppelter Aortenbogen infolge Persistierens des rechten. Zwischen beiden liegen Ösophagus und Trachea. Linke 4. Kiemenbogenarterie wurde zurückgebildet; es resultiert dann ein rechter Aortenbogen. Abnorme Gefäßabgänge, z. B. der rechten A. subclavia distal der linken direkt aus der Aorta. Sie verläuft dann hinter dem Ösophagus zur rechten Extremität und führt zur Kompression des Ösophagus. Linke V. cava oder doppelt angelegte V. cava superior sind Folgen irregulärer Rückbildung.

## II. Cor, Herz

Das Herz ist ein muskuläres Hohlorgan, das zur Blutbeförderung in den Kreislauf (S. 137) eingeschaltet ist. Aufbau des Herzmuskulargewebes S. 66. Die Strömungsrichtung wird durch Ventile, *Herzklappen*, bestimmt. Eine Scheidewand trennt die linke von der rechten Herzhälfte. Die linke ist dem Körperkreislauf, die rechte dem Lungenkreislauf zugeordnet. Beide Hälften sind in Vorhof, *Atrium*, und Kammer, *Ventriculus*, unterteilt (Abb. 12–15).

Das Volumen des Herzens entspricht ungefähr der geschlossenen Faust des Menschen. Das Gewicht beträgt 250–300 g. Es schlägt bei einer Pulsfrequenz von 70 Schlägen/min im Tag ungefähr 100 000mal und transportiert dadurch annähernd 7500 l Blut durch den Körper.

**Gestalt** (Abb. 12–15). Die Gestalt wird mit einem aufgebauchten Kegel verglichen, dessen Grundfläche, *Herzbasis*, nach rechts hinten oben und dessen Spitze, *Apex cordis*, nach links unten gerichtet ist; die Achse verläuft also *in situ* schräg. Damit ergeben sich von selbst die Namen der Flächen: *Facies sternocostalis*, *diaphragmatica* und *pulmonalis*. Äußerlich erkennbar markieren sich die Grenzen von *Ventriculus sinister* und



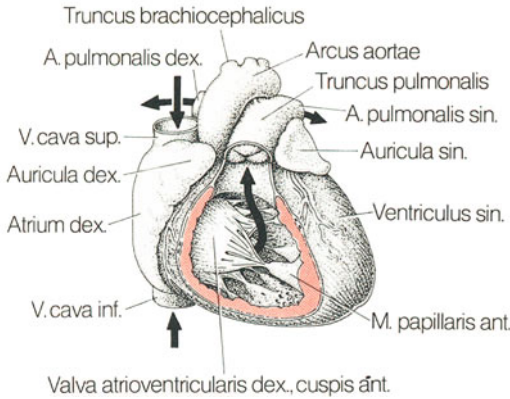
**Abb. 12–15.** Ansicht des Herzens und der großen Gefäßstämme von vorne (*oben*) und von hinten (*unten*). Das linke Herz mit zugehörigen Gefäßen ist durch *hellen Raster* hervorgehoben. In der unteren Abb. ist das Lig. arteriosum nicht gezeichnet

*dexter* durch den *Sulcus interventricularis anterior* und *posterior*, die sich rechts seitlich der Herzspitze in der *Incisura apicis cordis* treffen. Die Grenze zwischen Ventrikel und Atrium ist durch den *Sulcus coronarius* äußerlich gekennzeichnet. *Atrium sinistrum* und *dextrum* sind zu Blindsäcken ausgezogen, die *Herzohren*, *Auriculae cordis*, genannt werden (Abb. 12–27 a). Sie umgreifen ventralwärts die großen Gefäßstämme. Der seichte *Sulcus terminalis* trennt die V. cava superior vom rechten Vorhof. Der *Ventriculus dexter* geht in Gestalt des *Conus arteriosus* in den *Truncus pulmonalis* über.

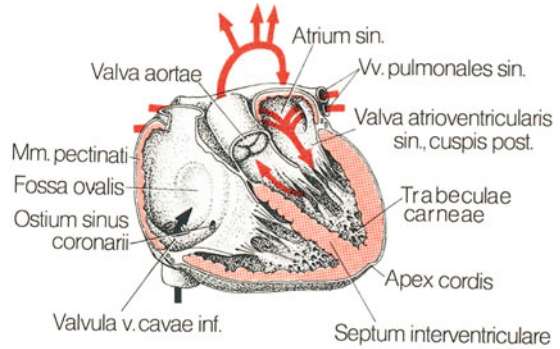
Die Lage der Gefäßstämme, *Truncus pulmonalis* und *Aorta*, *V. cava inferior* und *superior* und *Vv. pulmonales* erleichtern die Orientierung am Herzen. *In situ* liegt die Verlaufsrichtung der *V. cava inferior* und *superior* in einer vertikalen Achse; die *Aorta* tritt zentral aus dem Herzen aus.

### 1. Binnenräume

Sie werden in der Strömungsrichtung des Blutes geschildert, zuerst für den Körper-, dann für den Lungenkreislauf (Abb. 12–16 a, b).



a



b

**Abb. 12–16a u. b.** Binnenräume des Herzens und Richtung des Blutstromes. **a** Durch einen Frontalschnitt wurde die rechte Kammer eröffnet. Beachte die Coronargefäße in den Sulci (vgl. hierzu Abb. 12–15, 12–20). **b** Durch einen weiter dorsal geführten Schnitt wurden noch der rechte Vorhof, die linke Kammer und der linke Vorhof eröffnet. Die Ausströmungsbahn und

der Anfangsteil der Aorta (Aorta ascendens) sind frei präpariert und so gedreht, daß die Aortenklappe sichtbar wird. Beachte, daß die Vorhof- und Kammermuskulatur (*roter Raster*) nicht ineinander übergehen. Im Sulcus coronarius Querschnitte durch die Coronargefäße. (Nach Kahle et al., 1973)

### Atrium dextrum

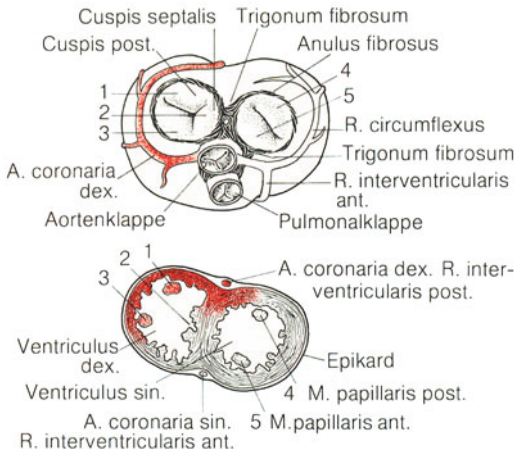
Das Atrium dextrum nimmt die Vv. cavae und die Herzvenen auf. An der Mündung der V. cava inferior befindet sich als Rest des embryonalen Herzens die sichelförmige Valvula v. cavae inferioris [Valvula Eustachii]. Ein ähnliches Relikt, die Valvula sinus coronarii [Valvula Thebesii], liegt an der Mündung des Sinus coronarius, der das venöse Blut aus dem Herzen in den Vorhof leitet. Die Vorhofswand zwischen den Ostien der beiden Hohlvenen ist glatt. An der *Crista terminalis* (ihr entspricht außen der Sulcus terminalis) beginnt die aus dem embryonalen Atrium hervorgegangene Herzmuskelwand. Sie ist charakterisiert durch das Relief „kammförmiger“ Muskelbälkchen, *Mm. pectinati*, die bevorzugt in Richtung Spitze des Herzhohles ausgerichtet sind. Mediale Begrenzung des Atriums ist das *Septum interatriale*. Hier liegt als Rest einer Einrichtung des Fetalkreislaufes (Foramen ovale S. 437) die *Fossa ovalis*. Sie wird umrahmt von einem Muskelwulst, *Limbus fossae ovalis*.

Die Grenze zur rechten Kammer bildet die *Valva atrioventricularis dextra*. Sie besteht aus dünnen Membranen, die von Sehnenfäden, *Chordae tendineae*, gehalten werden. Dieser Konstruktionstyp der Herzklappe wird als Segelklappe, *Valva cuspidalis*, bezeichnet. Die rechte Atrioventrikularklappe ist aus drei Segeln zusammengesetzt, einer *Cuspis septalis*, anterior und posterior (Abb. 12–17). Vereinfachend

spricht man von der *Tricuspidalklappe*. Durch das *Ostium atrioventriculare* zwischen den freien Rändern der Segel gelangt das Blut in die rechte Kammer.

### Ventriculus dexter

Seine Wand ist erheblich dünner als die des Ventriculus sinister (Abb. 12–17). Innen besteht sie aus einem Schwammwerk einzelner Muskelbälkchen, *Trabeculae carneae*, und den drei Papillarmuskeln, *M. papillaris anterior*, posterior und *Mm. papillares septales*. An den Papillarmuskeln sind die Sehnenfäden, *Chordae tendineae*, der Segelklappen befestigt. Sie lassen eine bestimmte Zu- und Anordnung erkennen, die aus Abb. 12–17 ersichtlich ist. Die Kammerscheidewand, das *Septum interventriculare*, buchtet sich in das Kammerlumen vor. Von der Scheidewand zieht die *Trabecula septomarginalis* zum *M. papillaris anterior*. Neben der Anheftungsstelle der Cuspis septalis hat sich als Relikt des embryonalen Herzens die *Pars membranacea septi interventricularis* erhalten. Die Fortsetzung des Ostium atrioventriculare bezeichnet man als Einströmungsbahn der rechten Kammer. Sie biegt spitzwinklig an der Herzspitze in die glattwandige Ausströmungsbahn um und endet im *Conus arteriosus*. Er setzt sich fort in den *Truncus pulmonalis*. An der Grenze liegt eine weitere Ventileinrichtung, die dem Bau nach die Bezeichnung *Taschen- oder Semilunarklappe*, *Valvula semilunaris*,



**Abb. 12–17.** *Oben* Ventilebene mit Herzskelet, Klappen und Coronargefäßen; Vorhofsmuskulatur abpräpariert. Ansicht von oben. A. coronaria dex. rot; A. coronaria sin. weiß; 2 Cuspid septalis; 3 Cuspid anterior der Tricuspidalklappe; 4 Cuspid posterior; 5 Cuspid anterior der Bicuspidalklappe. *Unten* Querschnitt durch die beiden Kammern. Die Zuordnung der Papillarmuskeln zu den Klappen ist aus der entsprechenden Bezifferung in beiden Abb. ersichtlich. Rot unterlegt Versorgungsgebiet der A. coronaria dex. Die Stellung der beiden Abb. zueinander entspricht der Torsion des Herzens

führt. Die drei halbmondförmigen membranartigen Bildungen (Abb. 12–17) entspringen aus der Wand des Truncus wie Schwalbennester. Die freien Ränder sehen nach oben. Sie sind in ihrer Mitte verstärkt durch knötchenförmige Verdickungen, den Noduli valvularum semilunarium. Der Lage nach werden eine Valvula semilunaris anterior, dextra und sinistra unterschieden. Die gesamte Einrichtung bildet die *Pulmonalklappe*, *Valva trunci pulmonalis*.

### Atrium sinistrum

In den linken Vorhof münden beiderseits die beiden Vv. pulmonales ein. Die Vorhofswand ist relativ dünn. Das Innenrelief besteht aus *Mm. pectinati*. Wie auf der rechten Seite endet auch hier der Vorhof in der *Auricula cordis* (sinistra).

Die Valva atrioventricularis sinistra gleicht dem Bau nach der Valva atrioventricularis dextra. Sie besteht jedoch nur aus zwei Segeln, weshalb man sie als *Valva bicuspidalis* oder *Mitralklappe* bezeichnet. Die Stellung der Cuspid anterior und posterior ist aus Abb. 12–17 ersichtlich. Durch das *Ostium atrioventriculare sinistrum* strömt das O<sub>2</sub>-reiche Blut in den linken Ventrikel.

### Ventriculus sinister

Die linke Kammer ist, wie der Querschnitt zeigt (Abb. 12–17b), außerordentlich muskelstark. Das Innenrelief bilden die *Trabeculae carneae* und der *M. papillaris anterior* und *posterior*. Beide dienen den Chordae tendineae der Mitralklappe als Befestigung. Die Einstromungsbahn biegt an der Herzspitze in die Ausstromungsbahn um und leitet das Blut zum *Ostium aortae*. Hier sitzen drei kräftig gebaute Taschenklappen, die zusammen die *Aortenklappe*, *Valva aortae*, bilden (Abb. 12–17). Die Aortenwand buchtet sich kurz oberhalb der Anheftungsstelle der Taschenklappen zu den *Sinus aortae* [Valsalvae] aus. Hier entspringen die Aa. coronariae (S. 445). Die den Sinus entsprechende von außen sichtbare Anschwellung der Aorta bezeichnet man als *Bulbus aortae* (Abb. 12–27d). An ihn schließt sich die Aorta ascendens an.

Die Stellung der Klappen bestimmt die Strömungsrichtung bei der Herzaktion. Es handelt sich also um echte Ventile. Sie liegen ungefähr in einer Ebene, der *Ventilebene* (Abb. 12–17, 12–19).

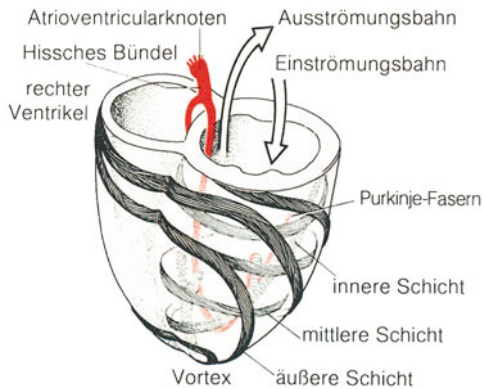
### 2. Wandbau

Die Dreischichtung ist bereits am embryonalen Herz vorgezeichnet. Der Endothelschlauch wird zum Endokard, der Myoepikardmantel zu Myokard und Epikard.

#### Endokard

Das Endokard kleidet die Hohlräume des Herzens vollständig aus, überzieht also auch Papillarmuskeln, Trabeculae carneae und Chordae tendineae. Das Endokard besteht aus einer einschichtigen Lage von Endothelzellen, die in der Systole kubisch gestaucht, in der Diastole flach abgeplattet werden. Der zweite Bestandteil ist die Basalmembran mit dem locker gebauten subendothelialen Bindegewebe. Das darauf folgende *subendokardiale Bindegewebe* stellt die Verbindung zur Muskulatur her. Das subendokardiale Bindegewebe enthält elastische Netze und verzweigte glatte Muskelzellen. Sie bilden ein elastisch-muskulöses System zur Anpassung an die Volumensänderungen.

In das subendokardiale Bindegewebe sind die Verzweigungen des Reizleitungssystems eingebaut. Blutgefäße fehlen. Besondere Differenzierungen des Endokards sind die *Herzklappen*. Ihr subendokardiales Bindegewebe ist wegen der großen mechanischen Beanspruchung (S. 444) reich an kollagenen Fasern. Das Endothel überzieht Ober- und Unterseite. Eigene Blutgefäße fehlen auch ihnen.



**Abb. 12–18.** Verlaufsrichtung der Herzmuskulatur. Die Schichtenbildung beruht auf dem unterschiedlichen Steigungswinkel spiralig verlaufender Bündel von Herzmuskelfasern. Rot Erregungsleitungssystem. Sinusknoten nicht gezeichnet. (Nach Puff, 1960)

### Myokard

Das Myokard ist aus dem typischen Herzmuskelgewebe (S. 66) aufgebaut. Es stellt die Arbeitsmuskulatur des Herzens dar. Die netzartig untereinander verbundenen Stränge von Zellen werden zu makroskopisch sichtbaren Bündeln aggregiert. Präparatorisch läßt sich ein schraubiger Verlauf feststellen (Abb. 12–18), indem von einer äußeren, beide Kammern umgebenden Schicht Bündel ausscheren und im Gebiet einer Herzhälfte in eine fast zirkuläre Verlaufsrichtung einbiegen. Sie bilden die mittlere Schicht der Herzmuskulatur, ziehen dann steil aufwärts und erscheinen als innerste Schicht. Sie enden z. T. in den Papillarmuskeln und Trabeculae carneae. Der *Vortex cordis* kommt dadurch zustande, daß sehr steil verlaufende oberflächlich gelegene Bündel an der Spitze direkt in die entgegengesetzte Verlaufsrichtung in die Tiefe umbiegen. Die drei „Schichten“ sind durch lockeres Bindegewebe voneinander getrennt. Die Konstruktion ist am linken Ventrikel besonders deutlich. Die Wand des rechten Ventrikels und die der Vorhöfe besteht nur aus zwei sich überkreuzenden Schichten.

### Herzskelet

Es ist aus straffem Bindegewebe aufgebaut. Es besteht aus einem *Anulus fibrosus dexter* und *sinister* zwischen Vorhöfen und Kammern sowie je einem Faserring für die Wurzel des Truncus pulmonalis und der Aorta (Abb. 12–17a). Die Zwickel zwischen den beiden Anuli fibrosi und dem Faserring um die Aortenwurzel (Abb. 12–17a) werden von Faserknorpel gebildet und als *Trigona fibrosa* bezeichnet. Sie versteifen und

verbinden die Faserringe. Eine Öffnung im *Trigonum fibrosum dextrum* bleibt für den Durchtritt des Stammes des Hisschen Bündels ausgespart. Am Herzskelet heften sich die Herzklappen und die Vorhofs- und Kammermuskulatur an. Infolgedessen steht die Arbeitsmuskulatur des Vorhofes und der Kammer nicht in kontinuierlicher Verbindung (Abb. 12–16), sondern endet bzw. beginnt am Herzskelet. Auch das Bindegewebe zwischen den drei „Schichten“ des Myokards strahlt in die Anuli fibrosi ein. An seiner Unterseite befestigt sich die Pars membranacea septi interventricularis. Topographisch entspricht das Herzskelet der Ventilebene. Sie projiziert sich am Herzen auf den Sulcus coronarius. Die Stellung der Aorten- und Pulmonalklappe ist aus Abb. 12–17 zu entnehmen.

### Epikard, Lamina visceralis pericardii serosi

(S. 450)

Es läßt den charakteristischen Bau der Serosa erkennen, die starken Volumenschwankungen ausgesetzt ist. Die Blutgefäße des Herzens sind in das subepikardiale Fettgewebe eingelagert. Es nivelliert die Furchen, so daß eine geschlossene Oberfläche zustande kommt. Bei überreicherlicher Fetteinlagerung resultiert eine Beeinträchtigung der Herzfunktion.

### 3. Herzmuskelautomatie, Erregungsleitungssystem und Herznerven

Das zentrale Organ unseres Kreislaufes ist in seiner Funktion mehrfach gesichert und wird in die Lage versetzt, sich den Erfordernissen bei körperlicher Höchstleistung anzupassen.

#### Herzmuskelautomatie

Das Herzmuskelgewebe (Arbeitsmuskulatur) verfügt über die Fähigkeit zur automatischen rhythmischen Kontraktion.

#### Erregungsleitungssystem

Zur Koordination der Muskelautomatie verfügt das Herz über ein eigenes Zentrum der Erregungsbildung und über eigene Bahnen der Erregungsleitung, die als Erregungsleitungssystem bezeichnet werden. Es handelt sich um modifiziertes, sog. spezifisches Herzmuskelgewebe, das sich präparatorisch bis zu seinen subendokardialen Verzweigungen darstellen läßt. Das System besteht aus folgenden Anteilen (Abb. 12–18):

**Sinusknoten** (Nodus sinuatrialis, Keith-Flackscher Knoten). Er liegt in der Wand des rechten Vorhofes im Sulcus terminalis, im Winkel zwischen V. cava superior und rechtem Herzohr. Er



steht in Verbindung mit der Arbeitsmuskulatur des Vorhofes.

**Atrioventricularknoten** (Nodus atrioventricularis, Aschoff-Tawarascher Knoten). Er liegt am Boden des rechten Vorhofes neben dem Septum interatriale auf dem Trigonum fibrosum dextrum dicht neben der Mündung des Sinus coronarius. Das spezifische Gewebe, aus dem er aufgebaut ist, setzt sich fort in das

**Atrioventricularsystem (AV-System).** Die Erregungsleitung erfolgt zuerst im *Hisschen Bündel*, *Truncus fasciculi atrioventricularis*. Es durchsetzt das Trigonum fibrosum dextrum und teilt sich hinter der Pars membranacea septi in ein *Crus dextrum* und *sinistrum*. Man kann sagen, das Hissche Bündel reitet auf dem Septum interventriculare. Die Crura, *Kammerschenkel*, ziehen zu beiden Seiten des Septum subendokardial herzsitzend und zweigen sich auf. Einige Äste biegen in Richtung Herzbasis um. Diese und die Endverzweigungen des Kammerschenkels bilden das Netz der *Purkinje-Fasern*, die an der Arbeitsmuskulatur, bevorzugt an den Papillarmuskeln, enden. Eine Abzweigung des Crus dextrum zieht in der Trabecula septomarginalis (Moderatorband) zum vorderen Papillarmuskel. Das Crus sinistrum teilt sich in zwei Äste auf, die in ihren Verzweigungen dem Gebiet des vorderen und hinteren Papillarmuskels entsprechen.

**Feinbau.** Das Baumaterial des Erregungsleitungssystems sind sarkoplasmareiche fibrillenarme Herzmuskelzellen. Der Gehalt an Mitochondrien ist gering. Bei manchen Tieren zeichnet sich das Erregungsleitungssystem durch besonderen Glycogenreichtum aus. Die Purkinje-Fasern stehen mit der Arbeitsmuskulatur durch Zellkontakte in Verbindung, ohne synapsenähnliche Strukturen auszubilden.

**Funktion und klinischer Hinweis.** Zwischen Sinus- und Atrioventricularknoten besteht keine Verbindung durch spezifisches Herzmuskelgewebe. *Die Erregung, die im Sinusknoten gebildet wird, muß also über die Arbeitsmuskulatur zum AV-Knoten geleitet werden.* Dagegen wird die Grenze von Vorhof- und Kammernmuskulatur am Anulus fibrosus nur vom Hisschen Bündel überbrückt. Es hat sich gezeigt, daß die einzelnen Anteile des Reizleitungssystems funktionell nicht gleichwertig sind. Der Sinusknoten (auch Schrittmacher genannt, weil er die Herzfrequenz bestimmt) induziert eine Schlagfrequenz von 70/min. Im AV-Knoten erfolgt eine Verzögerung der Erregungsleitung von 0,1 s. Bei Ausfall des Sinusknotens übernimmt der AV-Knoten die Erregungsbildung. Die Schlagfrequenz des Herzens beträgt dann aber nur noch 50/min. Fällt auch noch der AV-Knoten aus, dann resultiert eine völlige Dissozia-

tion zwischen Vorhof- und Kammersystole. Die Systole der Kammer erfolgt nur noch 30/min.

### Herznerven

Die Herznerven passen die Herztätigkeit der Körpertätigkeit an. Die Steuerung erfolgt über das vegetative Nervensystem. Hierbei wirken die *Nn. cardiaci* des Sympathicus beschleunigend, die *Rr. cardiaci* des Parasympathicus (*N. vagus*) verlangsamernd.

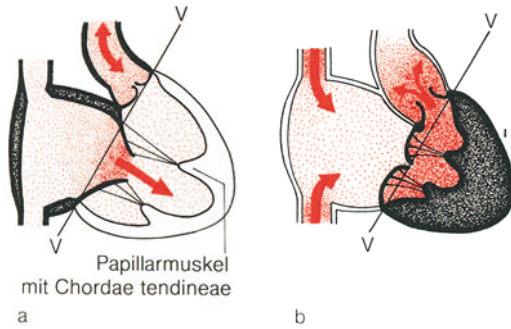
Die *Herzäste* beider Anteile des vegetativen Nervensystems bilden zwischen Aorta und Truncus pulmonalis den *Plexus cardiacus*. Hier durchmischen sich beide Faserarten. Während die Nerven des Sympathicus bereits postganglionäre Fasern führen, erfolgt die Umschaltung des *N. vagus* auf die postganglionäre Strecke in Nervenzellen, die im Gebiet der Herzbasis und des Vorhofes liegen. Die Endverzweigungen des Plexus erreichen die Arbeitsmuskulatur, vorwiegend aber den Sinus- und AV-Knoten. Die Beeinflussung des Sinusknotens besteht in einer Beschleunigung oder Verlangsamung, die Beeinflussung des AV-Knotens dagegen in einer Veränderung der Verzögerungsdauer. Andere Verzweigungen des Plexus cardiacus erreichen das Epikard. Sie führen afferente sensible Fasern, die der Schmerzleitung dienen.

### 4. Herzaktion

Der Pumpmechanismus des Herzens (Abb. 12–19) beruht auf der koordiniert ablaufenden Kontraktion der Arbeitsmuskulatur, **Systole**, alternierend mit einer **Erschlaffung** der Muskulatur, **Diastole**. Rechte und linke Herzhälfte arbeiten hierbei **synchron**.

Die Erregungsbildung im Sinusknoten führt innerhalb von 0,1 s zur Kontraktion der Vorhöfe, *Vorhofsystole*. Unterdessen läuft die Erregung über die Arbeitsmuskulatur des rechten Vorhofes zum AV-Knoten. Er sorgt bei normaler Herztätigkeit für eine Verzögerung von 0,1 s, bis die Erregungswelle im Hisschen Bündel an die Kammernmuskulatur weitergeleitet wird und die *Kammersystole* einsetzt. Zuerst kontrahiert sich der rechte vordere Papillarmuskel, dann folgen die anderen. Während die Ventilebene in Richtung Herzspitze verlagert wird, kontrahiert sich das Gebiet der Einströmungsbahn. Der entsprechend der Muskelanordnung (Abb. 12–18) fortschreitende Kontraktionsablauf drängt das Blut zur Ausströmungsbahn. Das Austreiben des Blutes bis auf eine Restmenge beruht also auf der

*Kontraktion des Myokards mit Auspressen des Muskelschwammes und dem Tiefertreten der Ventilebene.*



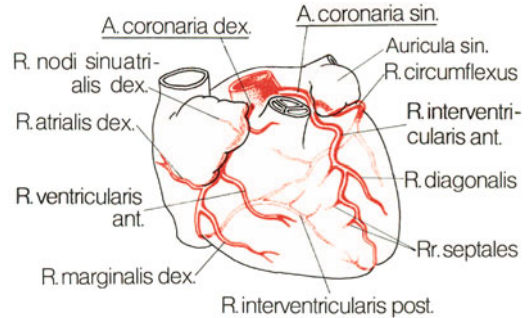
**Abb. 12–19a u. b.** Schema der Herzaktion. Abschnitte in der Systole sind dunkel, in der Diastole hell. *V* Ventilebene; **a** In der Vorhofsystole strömt das Blut durch das Ostium zwischen den Segelklappen in die Kammer; **b** In der Kammersystole wird durch Tieferreten der Ventilebene, Verschluss des Atrioventricularostiums und Kontraktion der Kammermuskulatur das Blut in die Schlagader ausgeworfen, deren elastische Wand gedehnt wird. Es strömt wieder Blut in den Vorhof nach; **a** Kammerdiastole: das in die Schlagader ausgeworfene Blut schließt die Taschenklappen und wird dadurch am Rückstrom in den Ventrikel gehindert. (Nach Leonhardt, 1973)

Hierbei wird gleichzeitig das Volumen der in der Diastole befindlichen (durch den Unterdruck im Herzbeutel/Pleuraraum offengehaltenen) Vorhöfe vergrößert. Blut wird aus den Venen angesaugt, d. h. es strömt entsprechend der Druckdifferenz nach. Herznahe Venen stehen infolgedessen unter der „Saugwirkung“ des Herzens.

**Funktioneller und klinischer Hinweis.** Erst durch den Einbau der Ventile wird das Herz voll funktionsfähig. Störungen des Klappenmechanismus führen deshalb zur erheblichen Beeinträchtigung der Herzfähigkeit. Die Funktion der Atrioventricularklappen beruht darauf, daß das Blut bei der Systole die Segel bläht, die sich mit ihren Rändern dicht aneinanderlegen. Die Sehnenfäden verhindern, daß sie in den Vorhof zurückschlagen. Der Schluß der Aorten- und Pulmonalklappe wird durch das in die beiden elastisch dehnbaren (Abb. 12–19) Schlagadern ausgeworfene Blut herbeigeführt.

## 5. Blut- und Lymphgefäße

Ein Muskel, der zeitlebens in Tätigkeit ist und für körperliche Höchstleistungen über eine beträchtliche Reserve verfügen muß, bedarf einer optimal anpaßbaren Versorgung mit Sauerstoff. Sie wird übernommen von Vasa privata, den beiden Herzkranzgefäßen, *Aa. coronariae cordis* (Abb. 12–20). Sie und die rückführenden Ve-



**Abb. 12–20.** Äste der *A. coronaria sinistra* und *dextra*. Anastomosen nicht gezeichnet z. B. zwischen den *Rr. septales* des *R. interventricularis anterior* und posterior, zwischen dem *R. circumflexus* und der *A. coronaria dextra*. Von der *A. coronaria dextra* zieht als 1. Ast der *R. coni arteriosi* (nicht bezeichnet) zum *Conus arteriosus*. Vom *R. circumflexus* zieht zur Seitenwand der linken Kammer der *R. marginalis sinister* (nicht bezeichnet)

nenstämme fügen sich in die Sulci ein, eingebettet in Fettgewebe und überzogen vom Epikard. Die folgende Darstellung bezieht sich auf den Normalfall (50%), *ausgeglichener Typ* (Abb. 12–20). Außerdem kann ein Überwiegen der *A. coronaria sinistra* (*Linkstyp*) oder der *A. coronaria dextra* (*Rechstyp*) vorliegen.

### **A. coronaria sinistra**

Sie entspringt im *Sinus aortae sinister* oberhalb des freien Randes der linken Aortenklappe, zieht zwischen linkem Herzohr und *Truncus pulmonalis* nach vorn und teilt sich in den *R. circumflexus* und in den *R. interventricularis anterior*. Der *R. circumflexus* verläuft im *Sulcus coronarius sinister* bis zur *Facies diaphragmatica*. Er entsendet auf diesem Weg den *R. marginalis sinister*. Der *R. interventricularis anterior* zieht im *Sulcus interventricularis anterior* bis zur Herzspitze.

Die wichtigsten Zweige sind der *R. diagonalis* (*R. lateralis*) und die *Rr. septales*, wobei letztere die Kammerscheidewand zusammen mit korrespondierenden Ästen aus der rechten Coronarterie mit Blut versorgen.

• **Versorgungsgebiet:** Linker Vorhof, Wand des linken Ventrikels einschließlich eines Großteiles des *Septum interventriculare* und eines kleinen Anteils der Vorderwand der rechten Kammer (Abb. 12–17, 12–20).

### A. coronaria dextra

Sie entspringt im Sinus aortae dexter, verläuft zunächst unter dem rechten Herzohr im Sulcus coronarius dexter nach rechts, biegt in den Sulcus interventricularis posterior ab und folgt ihm als *R. interventricularis posterior* auf der Facies diaphragmatica bis zur Herzspitze.

Auf diesem Weg zweigen ab: der *R. coni arteriosi*, der *R. atrialis dexter* und der *R. marginalis dexter* (zur Kammermuskulatur). Zu den wichtigen Zentren des Erregungsleitungssystems ziehen der *R. nodi sinuatrialis* und der *R. nodi atrioventricularis*.

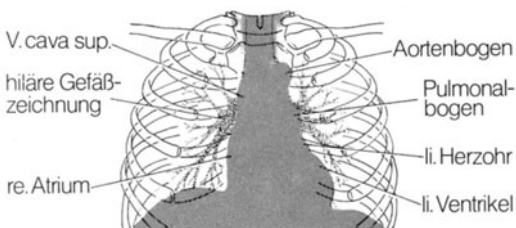
- **Versorgungsgebiet:** Rechter Vorhof, rechte Kammer (Abb. 12–17b), hinterer Abschnitt des Septum interventriculare, Sinus- und AV-Knoten.

Obwohl zwischen den Endverzweigungen der beiden Coronararterien zahlreiche Anastomosen bestehen, reichen sie für einen funktionierenden Kollateralkreislauf nicht aus. Es handelt sich also um funktionelle Endarterien.

### Herzvenen

Aus der Muskulatur der Facies sternocostalis cordis sammelt sich das Blut in der *V. cordis magna*, die mit der Arterie gemeinsam im Sulcus interventricularis anterior aufsteigt. Sie vereinigt sich mit der *V. cordis media* aus dem Sulcus interventricularis posterior und mit den *Vv. posteriores ventriculi sinistri* zum *Sinus coronarius*. Vor seiner Einmündung in den rechten Vorhof nimmt er noch die *V. cordis parva* aus dem Sulcus coronarius auf. Zahlreiche *Vv. cordis parvae* und *Vv. cordis minimae* münden direkt in den rechten Vorhof ein.

**Klinischer Hinweis.** Bei einer Einengung des Lumens der Coronararterien sind diese bei einer Leistungssteigerung nicht mehr in der Lage, sich zu erweitern und



**Abb. 12–21.** Röntgenbild in posterior-anteriorem Strahlengang. Der Herzschatten geht in den Schatten der rechten und linken Zwerchfellkuppel und der oberen Mediastinalorgane über. In der Lunge fällt die Gefäßzeichnung besonders als „Hiluszeichnung“ auf

die notwendige Blutmenge dem Herzmuskel zur Verfügung zu stellen. Es tritt das Symptom der Angina pectoris auf. Stellt sich ein schwerwiegendes Mißverhältnis von Sauerstoffangebot und -bedarf ein, dann kommt es zum Myokardinfarkt, d. h. zu einem Untergang von Herzmuskelgewebe und eventuell von Anteilen des Erregungsleitungssystems (S. 444).

### Lymphgefäße des Herzens

Aus einem subendokardialen, myokardialen und subepikardialen Netz wird die Lymphe den Nodi lymphatici mediastinales zugeleitet.

## 6. Topographisch- und praktisch-anatomische Bezüge

### Gestalt des Herzens in situ während seiner Tätigkeit

Sie ist abhängig von der Körperlage, von der Stellung des Zwerchfells (Abb. 12–10) und vom Lebensalter. Der Herzspitzenstoß (s. u.) liegt beim Kind im 4., beim Greis im 6. Intercostalraum. Die altersbedingte Senkung der Organe betrifft also auch das Herz. Das Herz des Asthenikers steht mit seiner Längsachse mehr senkrecht (Tropfenherz) als das Herz des Pyknikers (quergestelltes Herz). Kenntnisse über die Gestalt des Herzens im Leben erhält man durch die Perkussion und Röntgenuntersuchung.

Die relative Herzdämpfung (S. 431) gestattet, die *Form des Herzens* zu bestimmen. Genauerer Aufschluß gibt die Röntgenaufnahme. Der *Herzschatten*, den das Röntgenbild bei sagittalem Strahlengang liefert (Abb. 12–21), läßt den Aortenbogen, den Pulmonalbogen, (oft nur angedeutet) den Bogen des linken Vorhofes und ausgeprägt den Bogen der linken Kammer erkennen. Die Kontur der gegenüberliegenden Seite wird gebildet von der *V. cava superior* und dem Bogen des rechten Ventrikels mit Vorhof. Im transversalen Strahlengang ist es möglich, den Raum zwischen Herz und Aorta descendens (Holzknechtischer Raum) zu untersuchen, dessen Ausmaße Schlüsse über Erweiterungen des Herzens zulassen.

Zur Beurteilung des Herzens ist die *Bestimmung der Herzgröße* notwendig. Hierzu wird auf der Röntgenaufnahme die Medianlinie festgelegt (Abb. 12–10). Sie zeigt, daß  $\frac{2}{3}$  des Herzens links,  $\frac{1}{3}$  rechts davon liegen. Der Abstand zur Herzspitze und zur äußersten Begrenzung des rechten Vorhofs wird eingetragen. Die Längsachse des gesunden Herzens beträgt ungefähr 15 cm (Abb. 12–10a).

**Tabelle 12–5.** Projektion der Herzklappen auf die vordere Rumpfwand

Herzklappe	Projektion auf	Auskultationsstellen
Rechte Atrioventricularklappe	Sternum in Höhe des 5. Rippenknorpels	4. ICR rechts/5. Rippenknorpel
Linke Atrioventricularklappe	4./5. Rippenknorpel	5. ICR links/Herzspitze
Pulmonalklappe	Linker Sternalrand in Höhe des 3. Interostalraums	2. ICR links
Aortenklappe	Linker Sternalrand am Ansatz des 4. Rippenknorpels	2. ICR rechts

ICR = Abkürzung für Interostalraum.

### Lage des Herzens

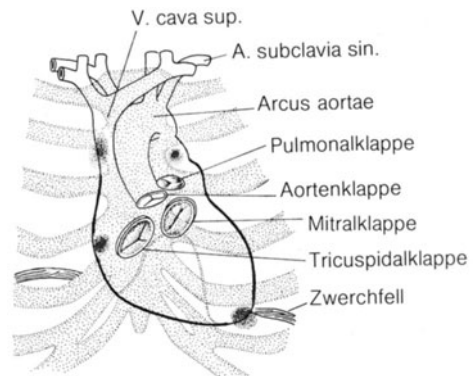
Die Längsachse des Herzens verläuft schräg. Sie bildet mit der Transversal-, Longitudinal- und Sagittalachse des Körpers (Abb. 12–10, 12–23) jeweils einen Winkel von ungefähr 40 Grad. Die Facies sternocostalis cordis wird fast ausschließlich vom rechten Ventrikel gebildet (Abb. 12–15). Auf der Facies diaphragmatica treffen sich rechte und linke Kammer. Infolge der Verlaufsrichtung der Herzachse von rechts hinten oben nach links vorne unten liegt der linke Vorhof am weitesten dorsal im Mediastinum, die Herzspitze bei mittlerer Respirationslage vorne im 5. Interostalraum in der Medioclavicularlinie.

Zur Beurteilung des Herzens ist die Untersuchung der Herzklappenfunktion notwendig. Die vier Klappen bilden die **Ventilebene**. Entsprechend dem Verlauf der Herzachse steht sie schräg im Körper. Feststellbar und von praktischer Bedeutung ist die *Projektion der Klappen auf die vordere Rumpfwand* (Abb. 12–22, Tabelle 12–5).

### Auskultationsstellen

Die Stellen, an denen die „Herztöne“ optimal zu hören sind, stimmen nicht mit der anatomischen Lage der Klappen überein, denn die Geräusche, die bei der Klappentätigkeit auftreten, werden durch den Blutstrom innerhalb des Herzens fortgeleitet. Die Auskultationsstellen sind in Abb. 12–22 rot punktiert.

An der vorderen Rumpfwand ist im 5. Interostalraum 1 cm medial der Medioclavicularlinie der *Herzspitzenstoß* zu tasten. Er ist aber nicht identisch mit der Herzspitze, die vom linken Ventrikel gebildet wird, sondern wird verursacht durch den Anprall des Endes des rechten Ventrikels.



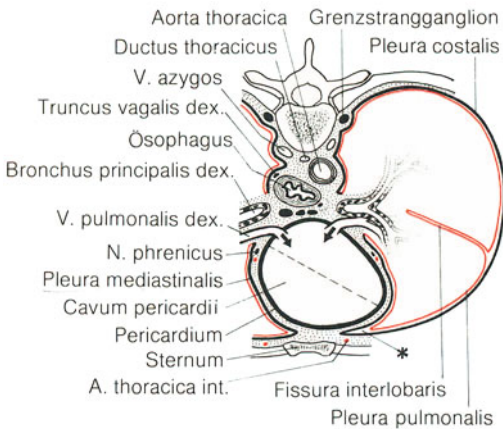
**Abb. 12–22.** Topographischer Bezug des Herzens und der großen Gefäßstämme (*dünne Linien*) zur vorderen Thoraxwand in mittlerer Respirationslage. Beachte die Klappenstellung. Auskultationsstellen *rot punktiert*. Die *rot punktierte Linie* begrenzt das Feld der absoluten Herzdämpfung

## C. Mediastinum, Mittelfell

**Definition.** Mediastinum („Was in der Mitte steht“; deshalb auch Mittelfell) heißt das zwischen den beiden Pleurahöhlen gelegene Gebiet. In ihm liegen das Herz, Leitungsbahnen und Rohrleitungen als Verbindungen zwischen Hals und Bauchraum.

### Begrenzung und Einteilung

Das Mediastinum spannt sich zwischen Wirbelsäule und vorderer Brustwand aus. Caudal ist es durch das Zwerchfell, cranial durch die obere Thoraxapertur begrenzt. Diese Grenze ist nur topographisch, denn das Bindegewebe des Mediastinums geht kontinuierlich in das des Halses



**Abb. 12–23.** Schematisierter Horizontalschnitt durch das Mediastinum. Herz entfernt. Rot Pleura pulmonalis; Lungenparenchym nicht gezeichnet. Zwischen den beiden Hauptbronchien vor dem Ösophagus Lymphknoten; seitlich des Wirbelkörpers links hinter der Aorta die V. hemiazygos. Pfeile Strömungsrichtung in den Vv. pulmonales. Gestrichelte Linie Herzachse. Vor dem N. phrenicus die A. pericardiacophrenica. \* Recessus costomediastinalis

über. Entzündungen in den Bindegewebsräumen des Halses können deshalb ungehindert in das Mediastinum übertreten. Den seitlichen Abschluß bildet die Pleura mediastinalis (Abb. 12–23). Nach Übereinkunft unterscheidet man am Mittelfellraum einen *vorderen* und einen *hinteren Anteil*. Als Grenze wird die Hinterwand der Trachea angenommen. Ferner unterscheidet man aus topographisch-klinischen Gründen im vorderen Anteil ein *oberes* und *unteres Mediastinum*. Die Grenze liegt in Höhe der Bifurcatio tracheae.

Die Lage der **Bifurcatio tracheae** ist ein wichtiger Bezugspunkt. Es ist zu merken:

*Die Bifurcatio tracheae projiziert sich im Stehen hinten auf den 4. Brustwirbel (Interspinallinie), vorne auf die Verbindungslinie zwischen linker und rechter 3. Rippe.*

Die Besprechung der Organe im Mediastinum erfolgt stratigraphisch-topographisch in der Folge von ventral nach dorsal (Abb. 12–23). Nach Wegnahme des Sternums liegt das **vordere Mediastinum** frei. Es enthält im oberen Abschnitt:

### I. Thymus, Bries

Beim Jugendlichen liegen die beiden meist nicht scharf voneinander abgrenzbaren Lappen (Lobi) direkt hinter dem Manubrium sterni in einem Raum zwischen den beiden Pleurasäcken, *Tri-*

*gonum thymicum* (Abb. 12–8), vor dem Herzbeutel, auf der Aorta ascendens und der V. brachiocephalica. Bei Neugeborenen ist der Thymus relativ groß (15 g schwer), nimmt bis zur Pubertät noch an Gewicht zu (bis 40 g) und reicht dann über die Incisura jugularis hinaus unter der *Lamina praetrachealis* bis zur Schilddrüse. Nach der Pubertät bildet sich der Thymus zurück. Das lymphoepitheliale (lymphoreticuläre) Gewebe wird zunehmend durch Fettgewebe bis auf kleine Reste ersetzt. Es entsteht der Thymusfettkörper oder Thymusrestkörper des Erwachsenen.

**Gefäßversorgung.** Rr. thymici aus der A. thoracica interna und aus der A. thyroidea inferior.

**Entwicklung** S. 363, **Funktion** S. 155

### Feinbau (Abb. 12–24)

Das Grundgewebe ist wie bei allen lymphatischen Organen ein zelliges Reticulum, das stellenweise seinen epithelialen Charakter (Herkunft aus dem Entoderm) bewahrt hat. In seinen Maschenräumen liegen die Lymphocyten.

### Histologisches Bild

Der Thymus wird von einer zarten Kapsel umgeben. Im Kindesalter ist die Läppchengliederung noch sehr auffällig. Den Grundstock bildet die lymphocytenarme Markzone, die sich dreidimensional verzweigt. Auf den Verzweigungen sitzt kappenartig die Rinde. Für die Involution des Organes ist der Abbau der Rinde charakteristisch. An ihre Stelle tritt Fettgewebe. Besondere Kennzeichen des Thymus sind die Hassall-Körperchen (Abb. 12–24). Diese kugeligen Gebilde aus konzentrisch zusammengelagerten Epithelzellen finden sich ausschließlich im Mark. Sie erreichen oft eine beträchtliche Größe und enthalten im Innern Material zugrundegegangener Zellen (Zelldetritus). Über die Funktion der Lymphocyten, *Thymocyten*, S. 155.

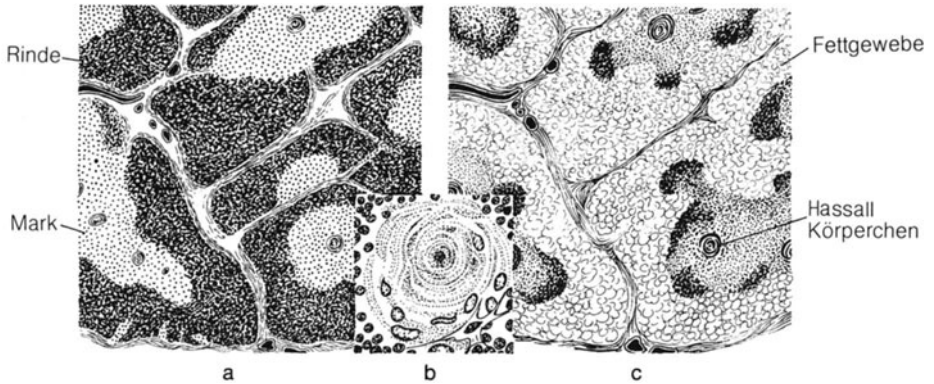
## II. Gefäße

Zur Orientierung über die einzelnen Gefäße und ihre Lagebeziehungen vgl. Abb. 12–22, 12–23, 12–27.

### 1. Vv. brachiocephalicae und V. cava superior, obere Hohlvene

Die *Vv. brachiocephalicae* entstehen auf beiden Seiten durch Vereinigung der V. jugularis interna mit der V. subclavia. Die Vereinigungsstelle bildet den *Venenwinkel*, *Angulus venosus*. Die





**Abb. 12–24a–c.** Feinbau des Thymus. **a** Beim *Neugeborenen*; **c** Beim *Erwachsenen* mit Reduktion vor allem der Rindenzone (*dunkel*) und Ersatz durch Fettgewe-

be; **b** Hassall-Körperchen bei stärkerer Vergrößerung; *dunkel* Thymocyten

V. brachiocephalica sinistra ist länger, verläuft schräg hinter dem Manubrium sterni, nimmt den Plexus thyroideus impar über die V. thyroidea inferior und die V. thoracica interna auf und mündet im Bereich des 1. Interostalraumes in die V. brachiocephalica dextra. Aus der Vereinigung der beiden geht die *V. cava superior* (Abb. 12–27) hervor. Das 4–5 cm lange Gefäß projiziert sich in seinem weiteren Verlauf auf den rechten Sternalrand. Vor Eintritt in den Herzbeutel nimmt die V. cava superior die V. azygos auf und mündet dann in den rechten Vorhof des Herzens.

Beide Gefäße sind herznahe Venen ohne Klappen. Der Blutstrom unterliegt der Saugwirkung des Herzens, die Wand der V. cava superior dem Unterdruck im Pleuraraum.

#### Übersicht über Herkunft des Blutes der V. cava superior

*V. jugularis interna* aus dem Kopf,  
*V. subclavia* aus der oberen Extremität,  
*V. thoracica interna* aus der vorderen Brustwand (Interostalräume),  
*V. azygos* aus dem Mediastinum und der hinteren und seitlichen Rumpfwand (Interostalräume).

#### 2. Aorta ascendens und Arcus aortae, Aortenbogen

Die Aorta ascendens (Abb. 12–27d), die mit dem *Bulbus aortae* zentral aus dem Herzen austritt, liegt fast bis zum Beginn des Bogens innerhalb des Herzbeutels. Der Scheitel des Arcus aortae reicht bis in Höhe des 2. Brustwirbels. Unter dem schräg gestellten Bogen liegt der linke

Hauptbronchus. In ihrem weiteren Verlauf gelangt die Aorta in das hintere Mediastinum. Sie wird dann Aorta descendens genannt.

#### Äste

- Aus der Aorta ascendens entspringen noch innerhalb des Bulbus dicht über den Aortenklappen die *Aa. coronariae* (S. 445).
- Aus dem Aortenbogen zweigen ab in der Reihenfolge von rechts vorne nach links hinten (Abb. 12–27d):
  - der *Truncus brachiocephalicus*. Er ist ca. 3 cm lang, verläuft zunächst hinter der gleichnamigen Vene und teilt sich in die *A. subclavia dextra* und *A. carotis communis dextra*,
  - die *A. carotis communis sinistra*,
  - die *A. subclavia sinistra*,
  - in seltenen Fällen entspringt zwischen Truncus brachiocephalicus und *A. carotis communis sinistra* die *A. thyroidea ima*.

#### 3. Truncus pulmonalis und Aa. pulmonales

Der Truncus pulmonalis geht aus dem rechten Ventrikel hervor. Unter dem Aortenbogen, wenig unterhalb der Bifurcatio tracheae, teilt er sich in die beiden Aa. pulmonales. Die *A. pulmonalis dextra* besitzt wegen der größeren Kapazität der rechten Lunge ein weiteres Lumen. Sie setzt die Verlaufsrichtung des Truncus fort und erreicht hinter der Aorta ascendens und hinter der V. cava superior den Lungenhilus. Die *A. pulmonalis sinistra* ist kürzer, ihr Lumen enger (Abb. 12–27b).

Das *Lig. arteriosum* (Abb. 12–15) ist ein bindegewebiger Strang zwischen der linken Lungen-

arterie und der konkaven Seite des Arcus aortae (Herkunft und Bedeutung S. 439).

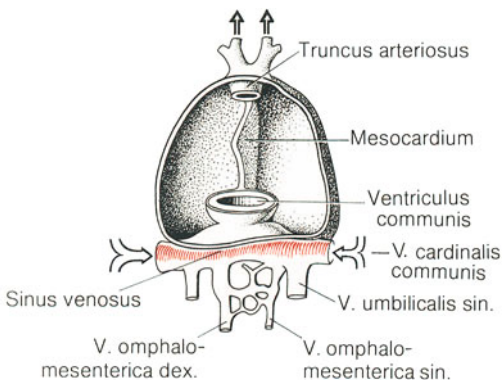
**Klinischer Hinweis.** Lungenembolien treten wegen des typischen Verlaufes der A. pulmonalis dextra häufiger rechts auf.

#### 4. Vv. pulmonales

Das in der Lunge mit O<sub>2</sub> angereicherte Blut wird über die Vv. pulmonales wieder zum Herzen gebracht. Meist verlassen auf jeder Seite zwei Gefäße den Lungenhilus und treten in das Mediastinum ein. Sie gelangen nach Durchtritt durch das Perikard zum linken Vorhof (Abb. 12–27, 12–15).

### III. Perikard, Herzbeutel

Der Herzbeutel birgt das Herz. Es liegt, nur an seinem Gefäßstiel aufgehängt, in der serösen Herzbeutelhöhle. Grundsätzlich stimmen auch hier die Serosaverhältnisse mit den auf S. 419 dargelegten überein: es werden ein viscerales Blatt und ein parietales Blatt des Perikard unterschieden. Zwischen den beiden Blättern befindet sich ein mit seröser Flüssigkeit gefüllter Spalt-raum, *Cavitas pericardialis*. Nach innen hin wird die *Cavitas pericardialis* von einer Serosa (S. 419) ausgekleidet, **Pericardium serosum**. Der Teil der Serosa, der das Herz und die im Herzbeutel verlaufenden Gefäßabschnitte bedeckt, ist



**Abb. 12–25.** Embryonaler Herzbeutel. Herz am Mesocardium abgeschnitten. Unten Porta venosa (Sinus venosus). Oben Porta arteriosa (Truncus arteriosus). Pfeile Strömungsrichtung (vgl. mit Abb. 12–12 – Portae unterteilt – und Abb. 12–27b: Zustand beim Erwachsenen). Rot schraffiert Anteil des Sinus venosus im Septum transversum. V. umbilicalis dextra in Rückbildung (nicht bezeichnet). Zwischen den Vv. omphalomesentericae bildet sich das Capillarnetz der Leber-sinoide aus

die *Lamina visceralis* (auch als *Epikard* bezeichnet), der Teil, der dem parietalen Blatt anliegt, die *Lamina parietalis*. Als **Pericardium fibrosum** wird der bindegewebige Anteil des Herzbeutels bezeichnet. Im parietalen Blatt besteht er aus straffen, scherengitterartig angeordneten Kollagenfasern, im visceralen Blatt aus wenig lockerem Bindegewebe.

Der Übergang vom visceralen auf das parietale Blatt erfolgt auf der Oberfläche der großen Gefäße (Abb. 12–27b). Zum Verständnis der Serosaverhältnisse an der Umschlagsstelle verhilft die Kenntnis der Entwicklung des Perikards (Abb. 12–25): Die aus dem Truncus arteriosus durch Septierung entstandenen Gefäße Aorta und Truncus pulmonalis werden gemeinsam umschlossen. Sie bilden die Porta arteriosa des Herzbeutels. Die aus dem Sinus venosus (im weitesten Sinn) hervorgegangenen Gefäße werden gleichfalls gemeinsam umschlossen. Sie bilden die Porta venosa. Infolge des Wachstums des Herzens rücken beide Pforten zusammen, so daß zwischen ihnen nur ein schmaler Durchgang, der *Sinus transversus pericardii* bleibt. Hier lag das Mesocardium, das sich während der Ausgestaltung des Herzens zurückbildete. Als Sinus obliquus pericardii wird der zwischen den Vv. pulmonales gelegene Raum bezeichnet.

Der Übergang vom visceralen zum parietalen Blatt schiebt sich beim Erwachsenen auf der Aorta bis zum Anfang des Arcus und auf dem Truncus pulmonalis und der V. cava superior mindestens 1 cm weit vor. Die Basis pericardii ist mit dem Centrum tendineum des Zwerchfells an ihrer vorderen Zirkumferenz und an der Durchtrittspforte für die V. cava inferior verwachsen. Straffe Faserzüge befestigen es an der Rückseite des Sternums (Ligg. sternopericardica).

**Funktionelle Bedeutung.** Die spiegelglatten Serosaüberzüge ermöglichen ein reibungsloses Gleiten des Herzens bei seinen Pulsationen. Mit Ausnahme der Gefäßabgänge und der Sinus liegt der Herzbeutel direkt der Herzoberfläche an. Die Widerstandsfähigkeit des Stratum fibrosum verhindert eine zu starke Ausdehnung bei der Diastole, wie sie eintritt, wenn der Herzbeutel operativ eröffnet wird. Er ist im Mediastinum durch die großen Gefäßstämme und über die *Membrana bronchopericardica* am Zwerchfell verankert. Die Retraktionskraft der Lunge spannt das Perikard.

**Innervation:** R. pericardiacus n. phrenici (s. u.).

**Gefäßversorgung.** A. pericardiacophrenica aus der A. thoracica interna.

**Klinischer Hinweis.** Bei einer Entzündung (Perikarditis) können Verwachsungen entstehen, die die Herzfunktion hemmen. Punktion eines Ergusses im 5. Interkostalraum links dicht neben dem Sternum unter Beachtung der Pleuragrenzen. Bei einer Stichverletzung des Herzens z. B. füllt das austretende Blut den Perikardialraum auf. Das Herz wird komprimiert: weitere Diastolen sind unmöglich. Man bezeichnet diesen Zustand als *Herztamponade*.

#### IV. N. phrenicus, Zwerchfellnerv

Der Zwerchfellnerv (Abb. 12–27) entspringt als gemischter Nerv aus dem Plexus cervicalis, im wesentlichen aus C 4. Nach seiner Verlaufsstrecke im Halsbereich (S. 398) gelangt er zwischen A. und V. subclavia in die obere Thoraxapertur, zieht am Vorderrand der Pleurakuppel vorbei in das Mediastinum. Zwischen Perikard und Pleura mediastinalis gelegen, folgt der rechte N. phrenicus der V. cava superior, dann der rechten Herzkontur, der linke N. phrenicus der linken Herzkontur. Dieser erreicht das Zwerchfell meist etwas weiter ventral als der rechte. Ihre Endverzweigungen lassen sich bis zur Zwerchfellunterseite verfolgen.

Er versorgt *motorisch* die Zwerchfellmuskulatur, *sensibel* die Pleura mediastinalis und diaphragmatica, das Perikard und den Peritonealüberzug des Zwerchfells. Er soll auch den Peritonealüberzug von Leber und Gallenblase versorgen.

Der N. phrenicus wird auf seiner thorakalen Verlaufsstrecke von der *A. pericardiacophrenica* (aus der *A. thoracica interna*) begleitet.

**Klinischer Hinweis.** Reizung des N. phrenicus ruft den Schluckauf (Singultus) hervor. Krankhafte Prozesse im Bereich des sensiblen Versorgungsgebietes äußern sich in Schmerzen, die oft in die Schulter ausstrahlen.

#### V. Trachea, Luftröhre

**Bau und Funktion** S. 422

**Einteilung.** Die *Pars cervicalis tracheae* reicht vom 6./7. Halswirbel bis zur Apertura thoracis superior. Die *Pars thoracica* von hier bis zur Bifurcatio tracheae. In der Ansicht von der Seite (Röntgenbild) zeigt sich, daß die Längsachse der Trachea caudalwärts sich immer mehr von der vorderen Thoraxwand entfernt, also schräg nach hinten gerichtet ist. Der Aortenbogen zieht links an ihr vorbei (Abb. 12–27) und drängt sie etwas nach rechts. Die Pulsationen der Aorta sind im Bronchoskop an dieser Stelle sichtbar. Vorne wird die Trachea vom Truncus brachiocephalicus

gekreuzt. In der Rinne zwischen Trachea und Ösophagus zieht der N. laryngeus recurrens nach oben. Nodi lymphatici tracheales begleiten die Trachea. Größere Lymphknotenpakete liegen im Bifurkationswinkel, Nodi lymphatici tracheobronchiales superiores und inferiores (Abb. 12–27). Projektion der Bifurcatio tracheae s. Einteilung des Mediastinums, S. 447.

**Gefäßversorgung.** Rr. tracheales aus der A. thyroidea inferior.

**Innervation.** Rr. tracheales aus dem N. laryngeus recurrens und aus dem Brustgrenzstrang.

**Klinischer Hinweis.** Die Stellung der beiden Bronchien bringt es mit sich, daß Fremdkörper häufiger in den rechten Bronchus und damit in die rechte Lunge gelangen. Dies trifft auch für die Häufigkeit der Bronchopneumonie (S. 429) zu.

#### VI. Ösophagus, Speiseröhre

Durch Wegnahme der Organe des vorderen Mediastinums und der Trachea wird das **hintere Mediastinum** eröffnet. Es enthält den Ösophagus.

##### 1. Ösophagusabschnitte

Der Ösophagus ist ein ca. 25 cm langer Muskelschlauch, der den Pharynx mit dem Magen verbindet. Wenn auch der obere Abschnitt im Halsbereich und der untere im Bauchraum liegen, wird hier der Ösophagus als vorderster Abschnitt des Verdauungsrohres im Zusammenhang besprochen. Man unterscheidet drei Abschnitte (Abb. 12–27).

##### Pars cervicalis

Sie beginnt mit dem Ösophagusmund hinter dem Ringknorpel in Höhe des 6. oder 7. Halswirbels. Sie ist an der Ringknorpelplatte befestigt. Ihre Muskulatur setzt sich in die der Pars laryngea pharyngis [Hypopharynx] fort. Mit der Halswirbelsäule ist die Pars cervicalis durch sehr lockeres Bindegewebe verschieblich verbunden [Spatium retropharyngeum]. Direkt vor ihr liegt die Trachea. Nach Eintritt in die obere Thoraxapertur beginnt die

##### Pars thoracica

Sie ist mit ca. 16 cm der längste Abschnitt. Nach Eintritt in das Mediastinum liegt sie in einem geringen Abstand vor der Brustwirbelsäule hinter der Trachea, weicht in Höhe der Bifurcatio nach

links aus und entfernt sich von der Wirbelsäule in gleichem Maße, wie sich die Aorta hinter den Ösophagus schiebt. Im Hiatus oesophageus beträgt der Abstand bereits 4 cm. Der untere Abschnitt der Pars thoracica wölbt die dorsale Wand des Herzbeutels etwas vor und hat dort enge Lagebeziehung zum linken Vorhof des Herzens. Dieser Abschnitt des Ösophagus ist dem Unterdruck im Pleuraraum ausgesetzt; sein Lumen ist deshalb offen.

**Pars abdominalis**

Im Hiatus oesophageus tritt in Höhe vom 11. oder 12. Brustwirbel der Ösophagus mit den beiden Vagusästen (Trunci vagales Abb. 12–27 e) in den Bauchraum ein. Je nach Körperlage und Funktion ist die Strecke nur 1–4 cm lang. Die Muskulatur des Zwerchfells (Pars lumbalis) legt sich in einer Schlinge (Hälfte der Achteertour) um das Rohr. Durch Kontraktion der Muskulatur bei tiefer Einatmung kann hier für kurze Zeit der Ösophagus verschlossen werden. Außerdem muß er im Hiatus wegen der Formveränderungen des Zwerchfells bei den Atembewegungen verschieblich eingebaut sein. Pleura- und Peritonealüberzug gehen abdichtend auf die Oberfläche des Ösophagus über (Abb. 12–27). Der unterste Abschnitt der Pars abdominalis ist, wenn nicht Speisen transportiert werden, geschlossen. Dieser Abschnitt liegt als einziger intraperitoneal.

**Engen**

– Die engste und am wenigsten erweiterungsfähige Stelle (*1. Enge*, 13 mm im Durchmesser) liegt hinter der Cartilago cricoidea. Sie wird bedingt durch den Tonus der Ringmuskulatur

im Ösophagusmund und der Pars cricopharyngea des *M. constrictor pharyngis inferior*. Die Öffnung ist ein quergestellter Spalt.

- Die *2. Enge*, auch Aortenenge, liegt in Höhe vom 4. Brustwirbel. Sie wird hervorgerufen durch den Aortenbogen, der mit dem Bronchus sinister den Ösophagus komprimiert.
- Die *3. Enge* im Hiatus oesophageus ist auf den Tonus der Muskulatur des Ösophagus zurückzuführen. Hier verlaufen die schraubig angeordneten Muskelzüge sehr steil. Die Längsspannung führt zum Verschuß („Wringverschluß“). Zur vollständigen Abdichtung dienen außerdem Venenpolster. Sie bestehen aus zahlreichen Venenplexus.

**Allgemeiner Wandbau des Verdauungsrohres**

Dem gesamten Verdauungskanal liegt ein einheitlicher Wandbau zugrunde, der von Abschnitt zu Abschnitt modifiziert ist (Tabelle 12–6), je nachdem ob die Sekretion, die Resorption oder nur der Transport im Vordergrund stehen.

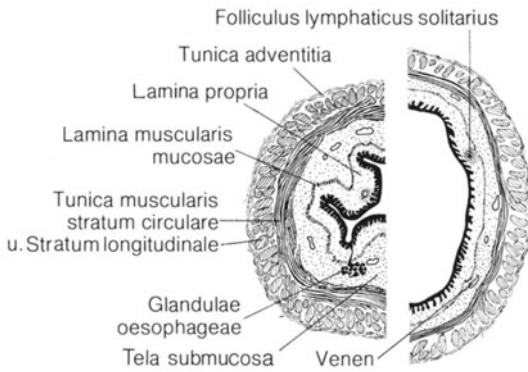
Allen Abschnitten ist gemeinsam, daß der Inhalt transportiert wird. Hierzu und zur Durchmischung dienen die lumenverengenden Kontraktionswellen, die mit einer Verkürzung des Rohres einhergehen. Man nennt diese Tätigkeit der Muskulatur *Peristaltik*. Die Schichtenfolge wird in Tabelle 12–6 von innen nach außen aufgeführt (Abb. 12–26).

**Innervation des Verdauungsrohres**

Das vegetative Nervensystem bildet Ganglien, die untereinander verbunden sind. Das eine Geflecht, der *Plexus myentericus* (Auerbach-Plexus) breitet sich flächenhaft in der Bindegewebslamel-

**Tabelle 12–6.** Schichtenfolge des Verdauungsrohres von innen nach außen

<b>Tunica mucosa</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– <i>Lamina epithelialis mucosae</i> (indifferent, resorbierend oder sezernierend)</li> <li>– <i>Lamina propria mucosae</i>, eine Bindegewebschicht</li> <li>– <i>Lamina muscularis mucosae</i>, eine zirkulärschraubig angeordnete Schicht glatter Muskulatur zur Feinanpassung an den Inhalt</li> </ul>
<b>Tela submucosa</b>	Eine locker gebaute Bindegewebsverschiebeschicht, die Blutgefäße und Nervengeflechte enthält.
<b>Tunica muscularis</b>	<p>Dient der Motorik, aus zwei Schichten aufgebaut:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– ringförmig verlaufende innere Schicht: <i>Stratum circulare</i></li> <li>– in Bündeln längs verlaufende äußere Schicht: <i>Stratum longitudinale</i>. Zwischen beiden eine Bindegewebslamelle mit Nervengeflecht</li> </ul>
<b>Tunica adventitia</b> <b>Tunica serosa</b>	Bindegewebe zum Einbau oder Serosaüberzug mit subserösem Bindegewebe an frei in der Bauchhöhle liegenden Abschnitten



**Abb. 12–26.** Wandbau des Ösophagus in kontrahiertem (*links*) und dilatiertem Zustand (*rechts*). Beachte den Ausgleich durch die Tela submucosa. *Schwarz* Lamina epithelialis (nicht bezeichnet)

le zwischen Ring- und Längsmuskellage aus und dient ihrer Innervation. Das andere Geflecht liegt in der Tela submucosa. Es wird deshalb *Plexus submucosus* (Meißner-Plexus) genannt. Es innerviert Drüsen und die Lamina muscularis mucosae. Die Plexus wirken als Reflexapparat zur Koordination der Motorik.

### Feinbau des Ösophagus

Die Speiseröhre ist ein Transportschlauch, der beim Schlucken mechanisch beansprucht wird und deshalb mit einem mehrschichtigen unverhornten Plattenepithel ausgekleidet ist.

Die innere Oberfläche des Schlauches muß gleitfähig gehalten werden. Muköse Drüsen der Lamina propria erzeugen den notwendigen Schleimüberzug. Das Schleimhautrelief paßt sich beim Schlucken dem Inhalt an, indem die Lamina muscularis mucosae ihren Tonus entsprechend einstellt.

Die Veränderungen des Lumens während des Transportes durch Enger- und Weiterstellen führt zu einer Scherwirkung zwischen der Tunica mucosa und muscularis (Abb. 12–26). Als ausgleichende Verschiebeschicht ist die Tela submucosa zwischengeschaltet. Die Bissen werden aktiv in den Magen befördert, indem sich die ringförmig-schraubig angeordnete Muskulatur, das *Stratum circulare*, in wellenförmigem Ablauf kontrahiert.

Die Längsspannung und die abschnittsweise Verkürzung des Rohres ist an die Tonusänderungen des *Stratum longitudinale* gebunden.

Der Übergang von der Pharynxmuskulatur in die Muskulatur des Verdauungsrohres liegt im mittleren Drittel des Ösophagus.

Die oberen  $\frac{2}{3}$  bestehen aus quergestreifter Muskulatur; sie kontrahieren sich schnell.

Das untere Drittel besteht aus glatter Muskulatur; es kontrahiert sich langsam. Beide Muskelgewebsarten kommen in der Übergangszone nebeneinander vor.

Die über den Ösophagus hinweglaufende Peristaltik darf nicht behindert werden. Sie ist durch das lockere Bindegewebe der Adventitia uneingeschränkt möglich.

Am Übergang zur Cardia des Magens sind die beiden mit verschiedenen Funktionen betrauten Epithelarten scharf voneinander abgesetzt. Einsprengsel von Magenschleimhaut in den untersten Abschnitt des Ösophagus sind häufig.

**Funktioneller und praktischer Hinweis.** Beim Schlucken öffnet sich der spaltförmige Ösophagusmund für ungefähr 1 s und läßt den Bissen passieren. Er wird durch die Peristaltik in ca. 3 s in den Magen befördert. Flüssigkeiten werden in den Magen gespritzt. Die Steuerung dieses Abschnittes des Schluckaktes erfolgt reflektorisch (Schluckzentrum).

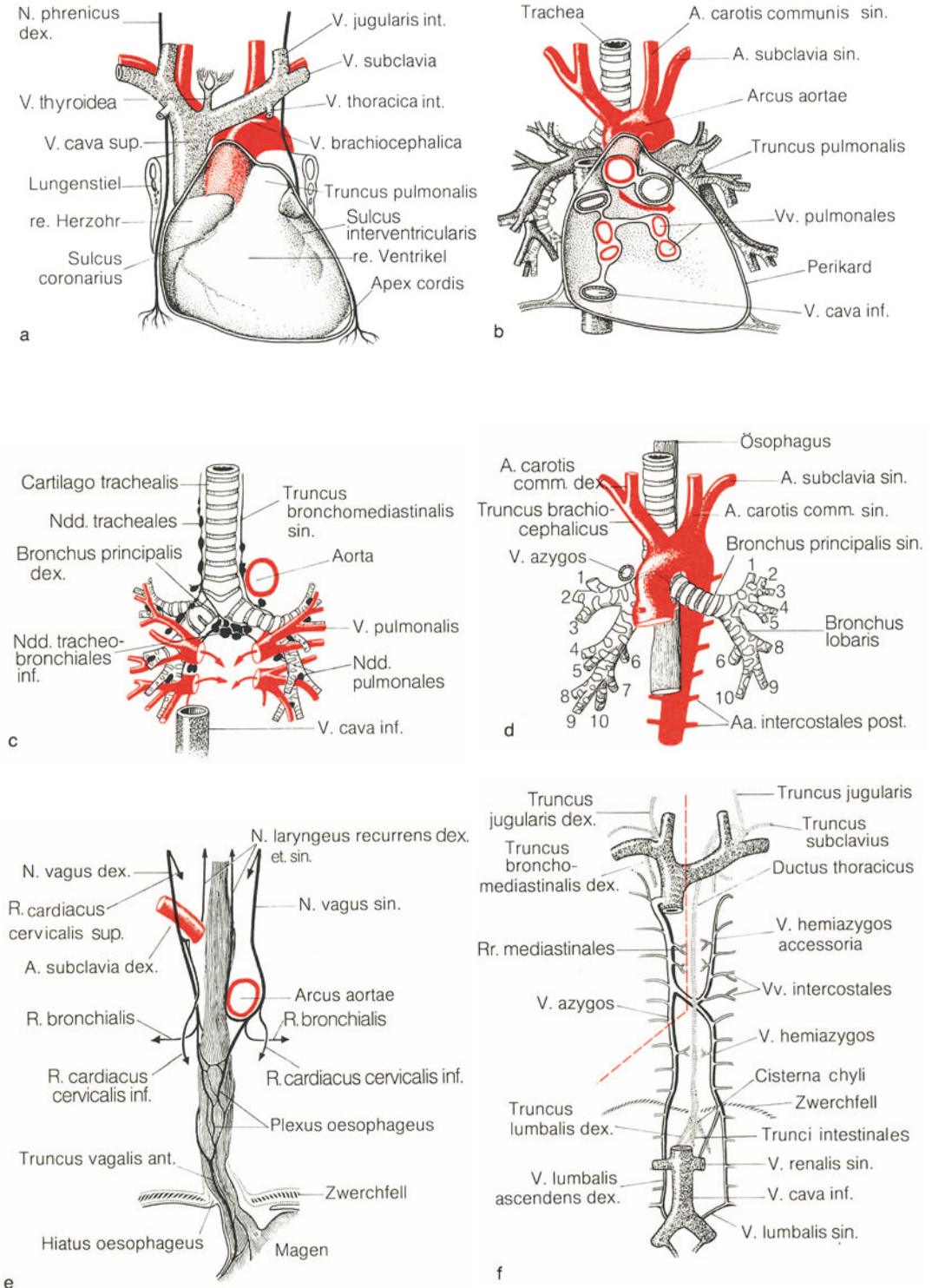
Die Konstruktion des cardianahen Verschlusses beruht auf der Anordnung der Muskulatur. Steht der Ösophagus, wie in der Ruhe, nur unter Längsspannung, so wird das Lumen verschlossen gehalten. Verkürzt sich beim Schluckakt dieser Abschnitt durch Kontraktion der längsorientierten Muskulatur, dann öffnet sich das Lumen.

**Gefäßversorgung.** Die Gefäßversorgung der *Pars cervicalis* erfolgt aus der A. thyroidea inferior und aus der A. subclavia, die Versorgung der *Pars thoracica* aus vier bis fünf Rr. oesophagei der Aorta descendens und die Versorgung der *Pars abdominalis* aus der A. phrenica inferior und A. gastrica sinistra. Das venöse Blut fließt durch die V. azygos und die V. hemiazygos ab.

**Innervation.** Die Steuerung der Peristaltik und die Innervation der Gll. oesophageae erfolgt durch das vegetative Nervensystem. Der N. vagus beschleunigt, der Truncus sympathicus hemmt die Peristaltik. Die Fasern aus dem Plexus oesophageus werden offenbar im Plexus myentericus und submucosus auf ein nächstes Neuron geschaltet, das die Muskulatur innerviert und für den koordinierten Ablauf der Peristaltik verantwortlich ist.

**Klinischer Hinweis.** An den Engen des Ösophagus treten Verätzungen gravierend in Erscheinung. Fremdkörper können sich hier einspießen. Sie werden von der Lamina muscularis mucosae in die Passagerichtung gedreht und können mit dem nächsten Bissen in den Magen transportiert werden. Verschluckte Nadeln sind auf diese Weise durch das gesamte Verdauungsrohr transportiert und wieder ausgeschieden worden. Außerdem sind die Engen Prädilektionsstellen für Carcinome. Bei





**Abb. 12–27 a–f.** Schichtweise Darstellung der Organe, Gefäße und Leitungsbahnen des Mediastinums und ihre Lagebeziehungen. In **e u. f** sind die Zusammenhänge auch mit den Nachbarregionen wiedergegeben. **a** Vorderes Mediastinum. Herzbeutel eröffnet; Lunge am

Lungenstiel abgetrennt; Zwerchfell nicht gezeichnet. *Rot punktiert* der vom visceralen Blatt überzogene Abschnitt der Aorta ascendens; **b** Das Herz wurde an seinem Gefäßstiel abgeschnitten, um Einblick in die Hinterwand des Herzbeutels zu geben. *Roter Pfeil* liegt im

Pfortaderstauung erweitern sich oft die Venenplexus des Ösophagus zu „Ösophagusvaricen“. Die Strecke von den Schneidezähnen bis zum Ösophagusende/Cardia beträgt 40 cm. Danach tritt die Sonde z. B. bei einer diagnostischen Entnahme von Magensaft in den Magen ein. Verliert das Bindegewebe zum Einbau des Ösophagus im Hiatus oesophageus seine notwendige Festigkeit, dann können verschiedene Formen von Ösophagushernien resultieren, d. h. der Magen wird infolge der Längsspannung des Ösophagus eine Strecke weit in das Mediastinum hineingezogen. Eine Erweiterung des linken Vorhofes äußert sich oft durch Druck auf den Ösophagus als Schluckbeschwerden. Die enge nachbarliche Lage beider Organe ermöglicht die Ableitung eines EKG durch den Ösophagus.

## VII. N. vagus, N. X

Er tritt nach seiner cervicalen Verlaufsstrecke zwischen A. subclavia und V. brachiocephalica in das Mediastinum ein, schließt sich dem Ösophagus an (Abb. 12–27) und bildet in der Tunica adventitia oesophagei ein Geflecht, in dem es zu einem Austausch von Fasern der linken und rechten Seite kommt. Aus dem *Plexus oesophageus* gehen die beiden *Trunci vagales* hervor. Sie folgen dem Ösophagus durch den Hiatus. Infolge der Magendrehung und der dadurch bedingten Torquierung des Ösophagus liegt der *Truncus vagalis posterior* (meist rechter Vagus genannt)



### Abb. 12–27 a–f (Fortsetzung)

Sinus transversus pericardii. V. cava sup. nur als Stumpf, V. brachiocephalica entfernt. Dargestellt sind nach Entfernung des Lungengewebes die großen Stämme der Bronchien und Pulmonalarterien. Zwerchfell im Frontalschnitt um den Durchtritt der V. cava inf. zu zeigen; c Herzbeutel, V. cava sup. und A. pulmonalis sind entfernt, um die Trachea mit großen Bronchien einschließlich der wichtigsten Lymphknoten und die Lungenvenen zu zeigen; d Lagebeziehung zwischen Aorta, Trachea mit Bronchien und Ösophagus. Eingezeichnet sind die bronchopulmonalen Segmente; rechts 1–3 für den Oberlappen, 4 und 5 für den Mittellappen, 6–10 für den Unterlappen. Links 1–5 für den Oberlappen, 6–10 für den Unterlappen. Aus dem Bulbus aortae entspringen die beiden Stümpfe der Coronararterien; e Nach Wegnahme der Trachea verlaufen im hinteren Mediastinum der Ösophagus und der N. vagus mit seinen Ästen. Zur übersichtlicheren Darstellung wurden im cranialen Bereich die beiden Vagusäste nach lateral gezogen; f Nach Wegnahme des Ösophagus stellen sich der Ductus thoracicus mit Zuflüssen, die V. azygos und V. hemiazygos dar. Die Abflüsse und Anastomosen der Venen zur unteren und oberen Hohlvene sind eingetragen. Rot gestrichelte Linie Grenze des Zuflussbereiches des Ductus thoracicus (*links*) und des Ductus lymphaticus dexter (*rechts*)

weiter dorsal als der *Truncus vagalis anterior* (linker Vagus). Im mediastinalen Abschnitt zweigen folgende Äste ab:

- *N. laryngeus inferior*. Er wird wegen seines besonderen Verlaufes (S. 362), der nur aus der Entwicklung zu erklären ist, auch *N. laryngeus recurrens* genannt. Der linke *N. laryngeus recurrens* biegt nach dorsal unten um den Aortenbogen lateral vom Lig. arteriosum, der rechte um die A. subclavia dextra. Beide ziehen dann in der Rinne zwischen Trachea und Ösophagus zum Kehlkopf.
- *Rr. cardiaci cervicales inferiores*. Sie bilden mit den *Rr. cardiaci cervicales superiores* und Verzweigungen des Sympathicus den Plexus cardiacus (*superficialis* und *profundus*).
- *Rr. tracheales und bronchiales*. Sie bilden in der Wand der Bronchien und der Trachea gemeinsam mit Endverzweigungen des *Truncus sympathicus* den Plexus pulmonalis.
- *Rr. oesophagei* zur Versorgung der Muskulatur und Drüsen des Ösophagus.

Zur Funktion der einzelnen Äste vgl. Gehirnnerven S. 358.

## VIII. Ductus thoracicus, Milchbrustgang

Der Ductus thoracicus (Abb. 12–27f u. Abb. 6–10, S. 145) entsteht durch Vereinigung der beiden *Trunci lumbales* mit den *Trunci intestinales* etwas unterhalb des Hiatus aorticus (in Höhe von Th 12, L 1 oder L 2). Die Vereinigungsstelle ist bisweilen zur *Cisterna chyli* erweitert. Gemeinsam mit der Aorta durchsetzt er das Zwerchfell. Rechts von ihr und hinter dem Ösophagus gelegen zieht er über die Intercostalarterien hinweg, nimmt aus den Intercostalräumen kleine Lymphgefäße auf und verläßt gemeinsam mit der A. carotis communis sinistra die obere Thoraxapertur. Nach einer kurzen, bogenförmig gekrümmten Verlaufsstrecke über der Pleurakuppel vereinigt er sich mit dem *Truncus bronchomediastinalis sinister*, *Truncus jugularis sinister* und *Truncus subclavius sinister*. Er mündet dann hinter der Clavicula von hinten in den linken Venenwinkel. Kurz vor der Mündung gelegene Klappen verhindern den Rückfluß venösen Blutes in den Ductus thoracicus.

Der kurze Stamm des *Ductus lymphaticus dexter* entsteht durch die Vereinigung der *Trunci* der rechten oberen Körperhälfte. Er mündet in den rechten Angulus venosus (Tabelle 12–7).

**Tabelle 12–7.** Herkunft und Zuflüsse der Lymphe

Untere Extremitäten, äußeres Genitale, Beckenwand und Beckeneingeweide	Truncus lumbalis sin. et dext.	
Baucheingeweide	Truncus intestinalis	
Obere linke Extremität, linke seitliche Brustwand, linke Mammahälfte	Truncus subclavius sin.	Ductus thoracicus
Li. vordere Brustwand, Mamma mediale Hälfte	Truncus parasternalis sin.	
Linke Hälfte des Kopfes und der Halseingeweide	Truncus jugularis sin.	
Linke Lunge, Trachea, Organe des linken hinteren Mediastinums	Truncus bronchomediastinalis sin.	
Organe des li. vorderen Mediastinums	Truncus mediastinalis ant. sin.	
Obere rechte Extremität mit seitlicher Brustwand, rechte Mammahälfte	Truncus subclavius dext.	
Re. vordere Brustwand, Mamma mediale Hälfte	Truncus parasternalis dext.	
Rechte Hälfte des Kopfes und der Halseingeweide	Truncus jugularis dext.	Ductus lymphaticus dext.
Rechte Lunge, Trachea, Organe des rechten hinteren Mediastinums	Truncus bronchomediastinalis dext.	
Organe des rechten vorderen Mediastinums	Truncus mediastinalis ant. dext.	

**Feinbau.** Der histologische Bau des Ductus thoracicus ähnelt dem der großen Venen.

**Funktionelle Bedeutung und klinischer Hinweis.** Der Ductus thoracicus und der Ductus lymphaticus dexter sind die einzigen großen Lymphgefäßstämme, durch die die Lymphe wieder dem Blut zugeführt wird. Ihre Aufgabe ist nur im Zusammenhang mit dem Lymphgefäßsystem und dem lymphatischen Apparat (S. 151) zu verstehen. Der Transport der Lymphe erfolgt durch die in die Wand eingebaute Muskulatur; die Strömungsrichtung wird durch die Klappenstellung bestimmt. Die Bezeichnung Milchbrustgang rührt davon her, daß nach Fettresorption im Darm die Chylomikronen, die aus den intestinalen Lymphgefäßen über den Truncus intestinalis antransportiert werden, dem Inhalt des Ductus eine milchige Färbung verleihen. In den lymphatischen Organen freigesetzte Lymphocyten gelangen auf dem gleichen Weg in den Blutkreislauf, ebenso Eitererreger oder Tumorzellen, sobald sie die Barriere der Lymphknoten durchbrochen haben.

## IX. Lymphknoten (Abb. 12–27, 12–1)

Die *Nodi lymphatici parasternales*, die aus dem medialen Abschnitt der Mamma Zuflüsse bekommen, liegen in einer Kette hintereinander. Die Lymphe wird durch den Truncus parasternalis abgeleitet. Ansammlungen von Lymphknoten finden sich entlang allen großen Gefäßen wie V. cava superior, Aorta, V. brachiocephalica. Die *Nodi lymphatici tracheales* liegen an der Grenze

zwischen vorderem und hinterem Mediastinum zu beiden Seiten der Trachea. Sie erhalten Zuflüsse aus den *Nodi lymphatici bronchopulmonales und tracheobronchiales* (Abb. 12–27c). Der Abfluß der Lymphe aus der Lunge erfolgt über die Trunci bronchomediastinales. Im hinteren Mediastinum liegen Lymphknoten zu beiden Seiten der Wirbelsäule.

## X. V. azygos und V. hemiazygos

Die beiden Venenstämme liegen auf der Vorderseitenfläche der Brustwirbelsäule (Abb. 12–23, 12–27f). Durch eine, manchmal zwei Anastomosen, die in Höhe des 7., 8. oder 9. Brustwirbels liegen, wird das Blut aus der links vor der Wirbelsäule verlaufenden V. hemiazygos in die V. azygos geleitet. Sie zieht als Hauptstamm rechts der Wirbelsäule nach oben, biegt dann nach vorne über den Bronchus principalis dexter und mündet in die V. cava superior.

### Äste und Zuflüsse

- *Vv. mediastinales* sind venöse Abflüsse aus den Organen des Mediastinums. Einzelnen bezeichnet werden, da von praktischer Bedeutung: *Vv. oesophageae* und *Vv. bronchiales*.
- *Vv. intercostales posteriores*. Venen, die aus den Zwischenrippengefäßen das Blut sammeln. Sie nehmen auch die *Rr. spinales* auf.

- Zuflüsse aus den Plexus venosi vertebrales internus et externus.
- Zuflüsse, die entwicklungsgeschichtlich zum Gefäßstamm gehören, allgemein aber mit besonderen Namen versehen werden.
- *V. hemiazygos accessoria*. Sie sammelt das Blut aus den Vv. intercostales 1–5 der linken Seite und mündet meist direkt in die *V. hemiazygos*.
- *V. lumbalis ascendens sinistra und dextra*. Sie nehmen Blut aus den Venen des Retroperitonealraumes auf, treten dann durch das Crus mediale des Zwerchfells und setzen sich in die *V. azygos/hemiazygos fort*.

**Klinischer Hinweis.** Die Anstomosen der beiden Venen mit der *V. cava inferior* und *superior* spielen als Umgehungskreisläufe bei der Verlegung oder Einengung der *V. portae* (Lebererkrankungen) eine wichtige Rolle (Portocavale Anastomosen, Abb. 13–27, S. 485).

## XI. Truncus sympathicus, Grenzstrang

Die zehn bis zwölf Ganglien im Brustbereich liegen auf den Rippenköpfchen zu beiden Seiten der Wirbelsäule in der Fascia endothoracica unter der Pleura (Abb. 12–23). Rr. interganglionares verbinden sie in der Längsrichtung, Rr. communicantes mit den Spinalnerven. Die Rr. viscerales versorgen die Thorakalorgane Trachea, Lunge, Ösophagus, Herz und beteiligen sich am Aufbau der Plexus (Abb. 7–9, 7–11).

Zu den Baueingeweidenzweigen ziehen:

*N. splanchnicus major*. Seine präganglionären Fasern zweigen vom Brustganglion 5–9 ab, ziehen mit der *V. azygos* bzw. *hemiazygos* durchs Zwerchfell und werden im Ganglion coeliacum und mesentericum superius auf die postganglionäre Strecke synaptisch geschaltet. Schmerzen der Eingeweide werden afferent im *N. splanchnicus* geleitet.

*N. splanchnicus minor*. Er zweigt vom Brustganglion 10 und 11 ab und zieht gleichfalls zu den prävertebralen Ganglien. Gleiche Funktion wie der *N. splanchnicus major*.

*Plexus aorticus*. Er wird als Geflecht in der Adventitia der Aorta abdominalis von Endverzweigungen des Sympathicus und des parasympathischen *N. vagus* gebildet.

Das *Ganglion cervicothoracicum* (Ganglion stellatum) liegt auf dem Köpfchen der 1. Rippe hinter der Pleurakuppel zwischen *A. vertebralis* und *A. carotis communis*. Es entsteht durch Verschmelzung des 1. Brustganglion mit dem unteren Halsganglion.

**Klinischer Hinweis.** Blockade des Ganglion stellatum wird auf verschiedene Weise vorgenommen. Welche man auch immer wählt, stets breitet sich das Anaestheticum im lockeren Bindegewebe aus und umspült die Nervenzellen. Gelungene Stellatumblockade äußert sich im Auftreten des Hornerschen Syndroms (S. 612).

## XII. Aorta thoracica

Als Fortsetzung des Arcus aortae liegt die Aorta thoracica (Abb. 12–27) im oberen Brustbereich zuerst seitlich der Wirbelsäule, gelangt in ihrem weiteren Verlauf immer mehr auf die Ventralseite, indem sie sich hinter den Ösophagus schiebt. Sie hat außerdem enge Lagebeziehungen zum Ductus thoracicus und zur linken Lunge.

### Äste der Aorta thoracica

– **Paarige parietale.** Zehn *Aa. intercostales posteriores* geben je einen *R. dorsalis* zur autochthonen Rückenmuskulatur und einen *R. spinalis* zum Rückenmark ab. Die rechten Intercostalarterien ziehen über die Wirbelsäule hinweg. Die dorsalen Intercostalarterien beider Seiten anastomosieren mit den entsprechenden *Aa. intercostales anteriores* (Abb. 9–15).

*Aa. phrenicae superiores*. Sie versorgen die Oberseite der Pars lumbalis des Zwerchfells.

– **Unpaare viscerales.** *Rr. mediastinales* versorgen die Organe des Mediastinums. Besonders hervorgehoben werden *Rr. oesophagei*, *Rr. pericardiaci* und die *Rr. bronchiales* (nutritiver Kreislauf der Lunge S. 426).

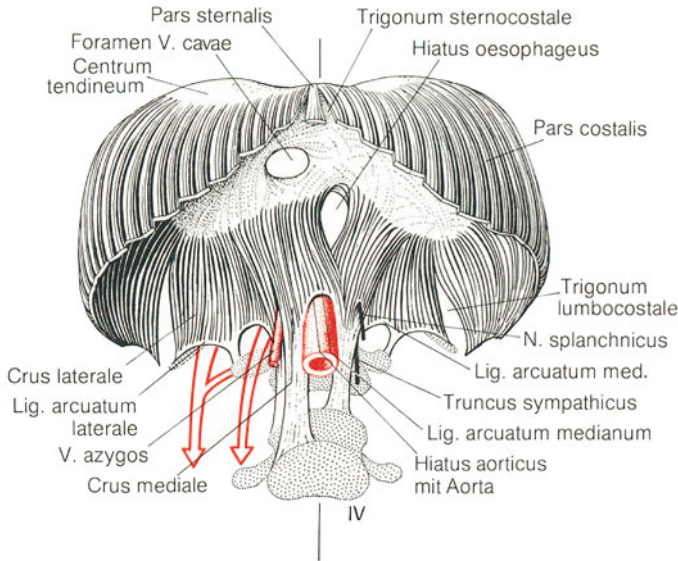
Nach dem Durchtritt durch den Hiatus aorticus heißt die Aorta descendens Aorta abdominalis (S. 500).

**Klinischer Hinweis.** Als Spätfolge der Syphilis kommt es bisweilen entlang der Vasa vasorum zu Zerstörungen der elastischen Membranen. Die Wand hält dem Blutdruck nicht mehr stand, es resultiert eine Ausbuchtung (Aneurysma). Bei einem geringfügigen Anlaß kann sie rupturieren. Die Aortensklerose ist eine Erkrankung der Intima, bei der primär Cholesterin im subendothelialen Bindegewebe abgelagert wird.

## D. Diaphragma, Zwerchfell

Das Zwerchfell bildet die kuppelförmige muskulös-sehnige Trennwand zwischen Brust- und Bauchraum. Es ist der wichtigste Atemmuskel.

Das Zwerchfell ist eine Besonderheit der Säugetiere. In der Phylogenese entwickelt es sich, wie die Innervation beweist, aus Muskelmaterial, das aus den



**Abb. 12–28.** Zwerchfell in der Ansicht von vorne. Der Pfeil unter dem *Lig. arcuatum lat. dex.* bezeichnet die Verlaufsrichtung des *M. quadratus lumborum*, der Pfeil unter dem *Lig. arcuatum medianum dex.* die Verlaufsrichtung des *M. psoas*

3.–5. Cervicalsomiten stammt. Es erfuhr samt Herz einen Descensus und heftete sich an der Grenze von Brust- und Bauchhöhle an (Entwicklung S. 418).

### Zwerchfellanteile

Entsprechend den Ursprüngen an der unteren Thoraxapertur unterscheidet man folgende Anteile des Zwerchfells (Abb. 12–28):

- **Pars sternalis.** Sie entspringt an der Rückseite des Processus xiphoideus und der Rectusscheide.
- **Pars costalis.** Sie entspringt auf beiden Seiten zackenförmig von den Knorpeln der sechs untersten Rippen alternierend mit den Zacken des *M. transversus abdominis*.
- **Pars lumbalis.** Sie besteht aus einem rechten und linken Anteil. Jeder entspringt sehnig mit einem *Crus mediale* in Höhe des 1.–4. (links 1.–3.) Lendenwirbels am *Lig. longitudinale anterius*. Die Muskelfasern des *Crus mediale dextrum* und *sinistrum* steigen steil auf und biegen in typischer Weise oft unter Überkreuzung um Aorta und Ösophagus, bevor sie das zentrale Sehnenfeld erreichen.

Das *Crus laterale* entspringt seitlich an den ersten beiden Lendenwirbelkörpern und an zwei arkadenförmigen Sehnenstreifen. Sie sind Verstärkungen der Muskelfascien. Der mittlere Bogen, *Lig. arcuatum mediale*, überspannt den *M. psoas* und reicht bis zum Processus costarius des 2. Lendenwirbels. Von hier zieht der seitliche Bogen, *Lig. arcuatum laterale*, über den *M. quadratus lumborum* zur 12. Rippe. Die beiden Bögen werden auch Psoas- und

Quadratusarkade oder Hallersche Bögen genannt.

- Zwischen Pars sternalis und costalis bleibt ein von Bindegewebe ausgefülltes muskelfreies dreieckiges Feld, *Trigonum sternocostale* [Larrey'sche Spalte]. Ein ähnliches Feld unterschiedlicher Ausdehnung, *Trigonum lumbocostale* [Bochdaleksches Dreieck], schiebt sich zwischen Pars costalis und lumbalis.

Die Muskelfasern des Zwerchfells ziehen bogenförmig nach oben und strahlen konvergierend in das *Centrum tendineum* ein.

### Gestalt

Sie wird durch den Rahmen der unteren Thoraxapertur bestimmt. Der Scheitel der Konkavität mit dem *Centrum tendineum* ist etwas nach vorne verschoben, die Ausdehnung des Gewölbes in dorsoventraler Richtung geringer als in transversaler. Durch den *Herzsattel* wird eine rechte und eine linke (meist etwas niedrigere) *Zwerchfellkuppel* (Abb. 12–10, 12–22) gebildet.

### Öffnungen und Durchtrittsstellen

Gefäße, Leitungsbahnen und Organverbindungen, die aus dem Mediastinum in den abdominalen Bereich übertreten, müssen das Zwerchfell durchsetzen. Sie benützen folgende Stellen:

- Die *V. cava inferior* zieht gemeinsam mit dem *R. phrenicoabdominalis* des rechten *N. phrenicus* durch das *Centrum tendineum*. Im *Foramen v. cavae* ist das Gefäß so eingebaut, daß es nicht kollabieren kann (Saugwirkung des Herzens!).



- Die Aorta descendens benützt gemeinsam mit dem Ductus thoracicus den *Hiatus aorticus*, der von den beiden Crura medialis gebildet wird. Er liegt in Höhe des 1. Lendenwirbels. Um den Hiatus legt sich ein verstärkender Kollagenfaserbogen, *Lig. arcuatum medianum*, damit das Gefäß bei der Zwerchfellkontraktion nicht eingeengt wird.
- Ösophagus und Trunci vagales (auch der R. abdominalis des linken N. phrenicus) ziehen durch den *Hiatus oesophageus*. Er liegt cranioventral vom Aortenschlitz und wird vor allem von Crus mediale dextrum (Abb. 12–28) gebildet. Bei tiefster Inspiration kann durch Muskelkontraktion der Ösophagus komprimiert werden.
- V. azygos, V. hemiazygos und die Nn. splanchnici durchbohren den *medialen Zwerchfellschenkel*.
- Der Grenzstrang des Sympathicus tritt auf beiden Seiten *zwischen medialem und lateralem Schenkel* in den abdominalen Bereich über.
- Die A. epigastrica superior (Endast der A. thoracica interna, S. 215, 398) verläuft ventral der M. transversus thoracis, tritt durch das Zwerchfell und gelangt auf die Rückseite der M. rectus abdominis.

#### Innervation

N. phrenicus und Nebenphrenici (S. 397). Die Rr. phrenicoabdominales führen sensible Fasern. Sie gelangen zum Peritoneum der Organe des Oberbauchraumes.

#### Gefäßversorgung

Arteriell aus der A. thoracica interna über die A. pericardiacophrenica und A. musculophrenica. Hinzu kommen kleine Äste direkt aus der Aorta, die Aa. phrenicae. Der mediale Endast der A. thoracica interna heißt nach dem Durchtritt durch das Trigonum sternocostale A. epigastrica superior.

#### Funktionelle und topographische Bezüge

Die Kontraktion der muskulären Anteile führt zu einer Abflachung der Kuppeln und damit zu einer Vergrößerung des Pleuraraumes (Atemmechanik S. 431). Im Stehen wirkt das Gewicht der Eingeweide gleichsinnig. Bei Erschlaffung der Muskulatur setzt die Retraktionskraft der Lunge ein: das Zwerchfell wird jetzt nach oben gezogen. Es steht zeitlebens im Spiel dieser Kräfte. Die Bauchpresse drückt den Eingeweidezylinder nach oben, drängt die Zwerchfellkuppeln in den Pleuraraum und trägt damit zu einer verstärkten Expiration bei. Wird nach tiefer Inspiration durch Glottisschluß der „Atem angehalten“,

dann dienen die mit Luft gefüllten Lungen bei Einsatz der Bauchpresse als Widerlager und die Druckerhöhung im Bauchraum wirkt auf die Hohlorgane, z. B. zur Entleerung. Unter der rechten Zwerchfellkuppel ist die Leber eingefügt und mit der Area nuda dorsal am Zwerchfell befestigt. Auf der rechten Kuppel liegt der Lobus inferior der rechten Lunge. An die Unterseite der linken Zwerchfellkuppel stößt hinter dem linken Leberlappen der Magenfundus und die Milz. Aufgelagert ist der Lobus inferior der linken Lunge. Auf dem Herzsattel liegt das Herz. Das Pericardium fibrosum ist (Abb. 12–27b) mit dem Centrum tendineum eine Strecke weit verwachsen. Ober- und Unterseite des Zwerchfells sind mit dem parietalen Blatt der Serosa der jeweiligen Körperhöhlen überzogen. Im Trigonum lumbocostale erreicht die Niere das Diaphragma (Abb. 13–59, S. 514).

*In mittlerer Respirationslage im Stehen projiziert sich die rechte Zwerchfellkuppel (Abb. 12–22, S. 447) in der Medioclavicularlinie auf den 4. Intercostalraum. Die linke Zwerchfellkuppel steht in der Regel um 1/2 Intercostalraum tiefer.*

#### Abweichungen

Von dieser Angabe weicht die Stellung des Zwerchfells bei der Leiche ab, da infolge des Wegfalls des Muskeltonus die Retraktionskraft der Lunge wirksam wird und bei der üblichen Fixation in Rückenlage das Gewicht der Organe die Kuppel verformt. Es steht in Höhe der 4. Rippe.

Abweichungen sind auch in Abhängigkeit von der Konstitution, vom Alter (beim Kleinkind 3., beim Greis 5. Intercostalraum), vom Geschlecht (bei Frauen tiefer), von der Körperlage (im Liegen höher als im Stehen) und von der Füllung der Baueingeweide (Gravidität, Meteorismus) zu registrieren.

Auffällig ändert sich der Zwerchfellstand bei der Atmung. Auf den obigen Normalwert bezogen, steht die rechte Zwerchfellkuppel

- bei tiefster Inspiration in Höhe der 7. Rippe (= 10. Brustwirbel)
- bei tiefster Expiration in Höhe der 4. Rippe (= 8. Brustwirbel).

Die Verschiebung beläuft sich also auf 6–7 cm. Bei tiefster Inspiration hat die Hebung des Thorax (S. 431) und das Tiefertreten des Herzsattels zur Folge, daß der vordere Abschnitt des Zwerchfells nach unten umschlägt (Abb. 12–10, S. 432) und die Pulsationen des Herzens im Epigastrium zu tasten sind.

**Klinischer Hinweis.** Eine Verbindung zwischen Brust- und Bauchhöhle bleibt bestehen, wenn der Hiatus

pleuroperitonealis nicht verschlossen wird. Die muskelschwachen Stellen des Zwerchfells sind Orte geringeren Widerstandes. Die physiologische Erhöhung des intraabdominellen Druckes kann bei einer Veranlagung zur Bildung von Hernien (innere Brüche) führen, d. h. die Baueingeweide treten in den Brustraum über. Prädilektionsstellen sind der Hiatus oesophageus und das Trigonum lumbocostale. Auch Abscesse können hier durchbrechen. Vermehrte Luftansammlung im

Magen drängt die linke Zwerchfellkuppel nach oben und „drückt aufs Herz“. Lähmung des Zwerchfells (z. B. bei Kinderlähmung) führt meist zum Tod, wenn nicht eine künstliche Beatmung angewandt wird. Eine Erkrankung der Leber und Gallenblase äußert sich oft in Schmerzen, die in die *rechte* Schulter ausstrahlen, da das Peritoneum dieser Organe vom R. abdominalis des rechten Zwerchfellnerven versorgt wird.