

7

Kreislauf- und Gefäßsystem

7.1 Blutgefäßsystem

7.1.1 Aufgaben

Blutgefäße bilden die Wege, auf denen das Blut durch den Körper strömt. Sie sind die Voraussetzung dafür, dass das Blut jedes Organ erreicht und von dort wieder zurück zum Herzen transportiert wird. Die Blutgefäße bilden also ein geschlossenes System und werden in ihrer Gesamtheit auch als Blutgefäßsystem bezeichnet. Im Organ selbst sorgen sehr kleine Blutgefäße (Kapillaren) für die **Versorgung des Gewebes** mit Sauerstoff und anderen Stoffen und transportieren dort entstehende Substanzen (z. B. Kohlendioxid, Stoffwechselprodukte, Hormone) aus dem Gewebe ab. Da normalerweise kein Blut aus den Blutgefäßen austritt, stellen sie außerdem sicher, dass das Gesamtblutvolumen erhalten bleibt. Zusammen mit dem Herzen, das die treibende Kraft des Blutstroms ist (Kap. 6), bilden die Blutgefäße das **Herz-Kreislauf-System** mit Körper- und Lungenkreislauf (► Abb. 7.1).

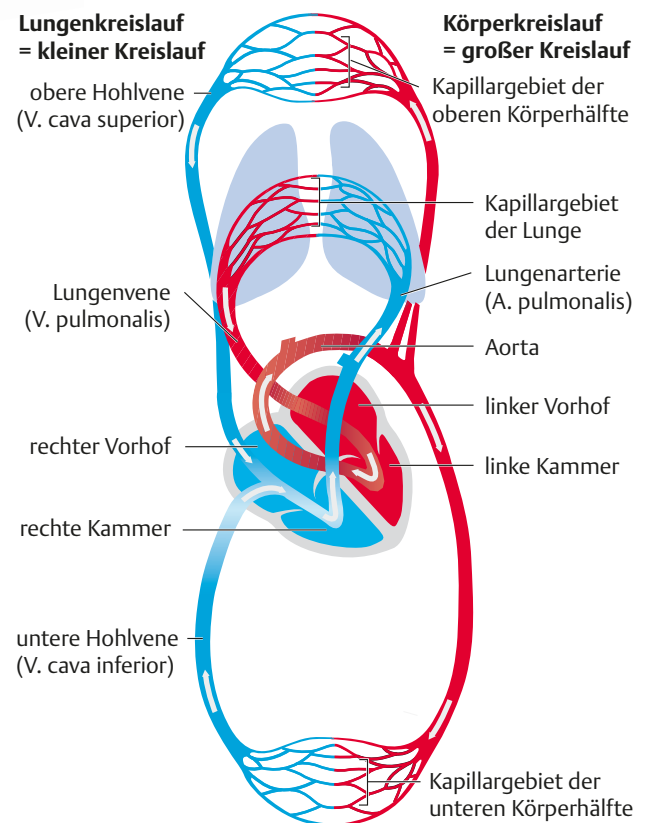
7.1.2 Blutgefäßarten

Grundsätzlich werden mit **Arterien** und **Venen** zwei Gefäßarten unterschieden.

!Merke Arterien und Venen

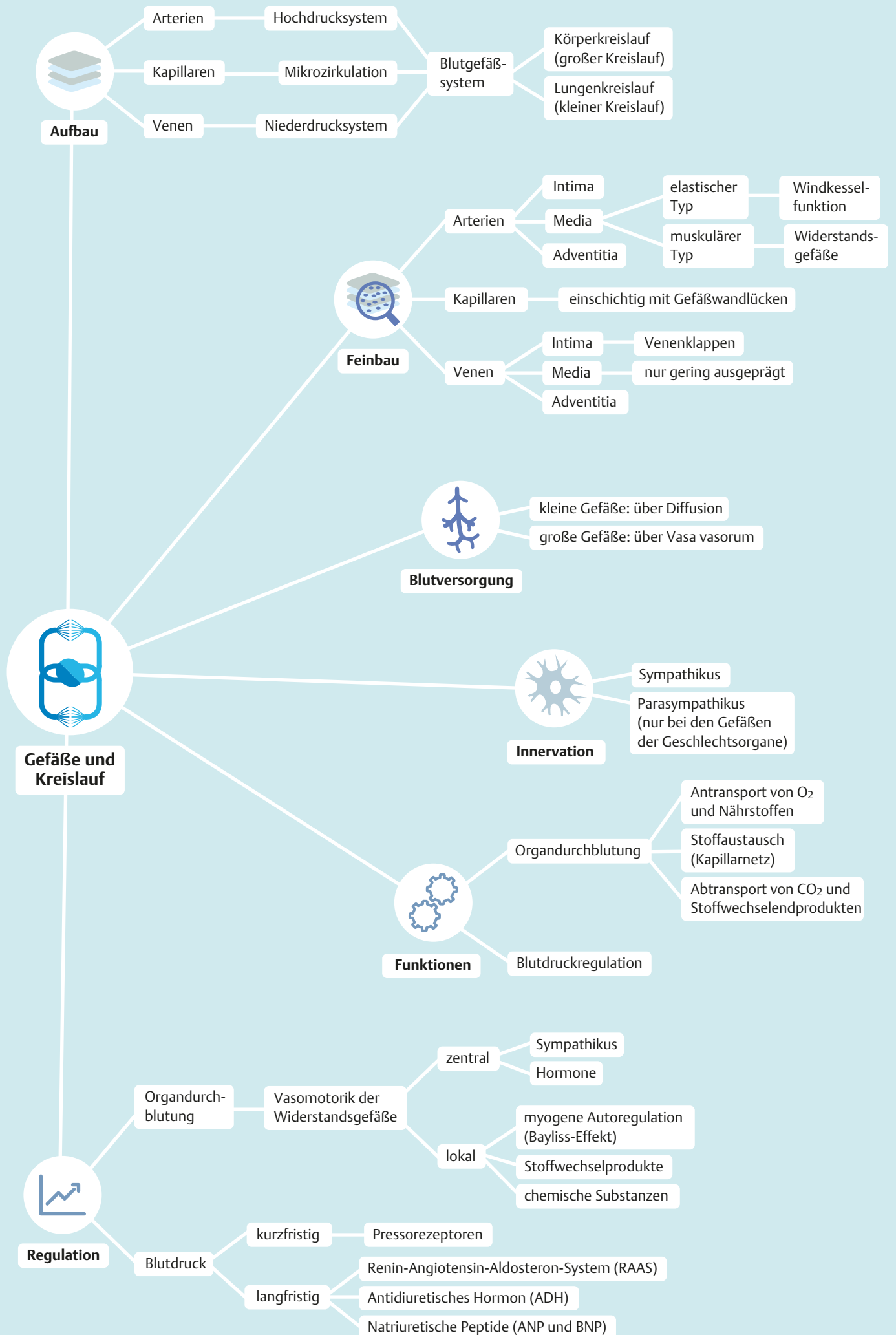
Arterien führen Blut vom Herzen weg. **Venen** führen Blut zum Herzen hin.

Abb. 7.1 Körperkreislauf und Lungenkreislauf.



Gefäße, die sauerstoffreiches Blut führen, sind rot gezeichnet, Gefäße, die sauerstoffarmes Blut führen, blau. Die Pfeile geben die Richtung des Blutflusses an. Die Darstellung ist vereinfacht, gezeigt werden nur die großen Gefäße. Zu Details s. ► Abb. 7.11.

Aus: Aumüller G et al.: Duale Reihe Anatomie. Thieme 2017.



Die **Kapillaren** bilden den Übergang von den arteriellen zu den venösen Blutgefäßen. Verbindungen zwischen 2 Gefäßen werden als **Anastomosen** bezeichnet.

Arterien

In den Arterien des **Lungenkreislaufs**, die das Blut vom Herzen zur Lunge transportieren, ist das Blut **dunkelrot**, weil es sauerstoffarm ist. In den Arterien des **Körperkreislaufs**, die das Blut vom Herzen zu den Organen führen, ist das Blut von **hellroter** Farbe, weil es sauerstoffreich ist.

Die Arterien verzweigen sich in ihrem Verlauf, wobei der Gefäßdurchmesser immer weiter abnimmt. Sehr kleine Arterien mit einem Durchmesser von etwa 40–100 µm werden als **Arteriolen** bezeichnet. Sie gehen schließlich in die Kapillaren über.

Die Arterien des Körperkreislaufs bilden zusammen mit dem kontrahierten linken Ventrikel das sog. **Hochdrucksystem** (► Abb. 7.2). Der Name rührt daher, dass dort mit durchschnittlich ca. **100 mmHg** ein wesentlich höherer Druck herrscht als im Niederdrucksystem (s.u.). Dieser Druck ist notwendig, damit das Blut auch weiter vom Herzen entfernte Organe erreichen kann. Er wird auch als **arterieller Blutdruck** (S.154) bezeichnet. Im Hochdrucksystem befinden sich etwa 15 % der Gesamtblutmenge des Körpers.

Venen

In den Venen des **Lungenkreislaufs**, die das Blut von der Lunge zurück zum Herzen transportieren, fließt sauerstoffreiches und deshalb **hellrotes** Blut. In den Venen des **Körperkreislaufs**, die das Blut von den Organen zurück zum Herzen leiten, ist das Blut sauerstoffarm und daher **dunkelrot**.

Venen mit einem geringen Durchmesser (ca. 40–100 µm) bezeichnet man als **Venolen**. Sie gehen aus den Kapillaren hervor. Durch Vereinigung mit anderen Venolen nimmt ihr Durchmesser in Richtung Herz zu, bis sie schließlich in die größeren Venen münden.

Alle Venen, die arteriellen und die venösen Blutgefäße des Lungenkreislaufs, das rechte Herz, der linke Vorhof und während der Diastole auch der linke Ventrikel gehören zusammen mit den Kapillaren zum sog. **Niederdrucksystem** (► Abb. 7.2). Dort herrscht ein mittlerer Druck von **<20 mmHg**. Das Niederdrucksystem enthält 85 % der Gesamtblutmenge.

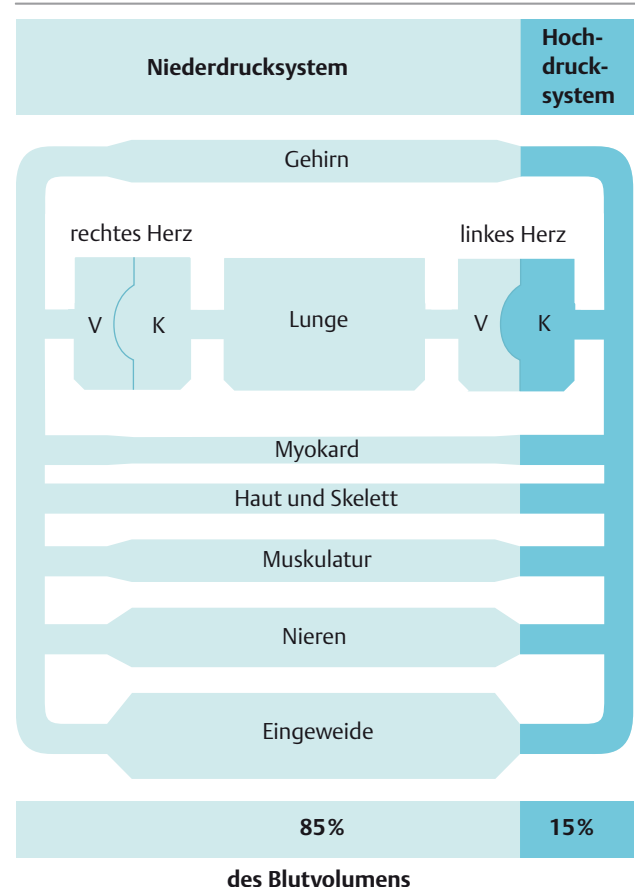
Kapillaren

Die Kapillaren bilden ein Netz aus sehr kleinen Gefäßen. Sie schließen sich im Blutverlauf an die Arteriolen an und gehen in die Venolen über (► Abb. 7.3). Die dem Kapillarnetz vorgeschalteten Arteriolen, das Kapillarnetz und die darauffolgenden Venolen werden auch unter dem Begriff **terminale Strombahn** zusammengefasst. Dort, wo die Kapillaren aus den Arteriolen hervorgehen, liegen ihrer Wand Muskelzellen an. Sie bilden den **präkapillaren Sphinkter**, der bei der Regulation des Blutflusses in das Kapillarnetz eine Rolle spielt.

Der Durchmesser der Kapillaren bleibt über deren gesamten Verlauf weitestgehend unverändert, und ihre Wand ist so dünn (s.u.), dass kleine Moleküle hindurchdiffundieren können. So können Nährstoffe und Atemgase das Gewebe erreichen bzw. aus dem Gewebe aufgenommen werden. Dieser Prozess wird auch als **Mikrozirkulation** (S.144) bezeichnet.

Die Anzahl der Kapillaren ist in den verschiedenen Organen unterschiedlich. Ein dichtes Kapillarnetz weisen z.B. die Lunge, die Leber und die Muskulatur auf, während die Seh-

Abb. 7.2 Hoch- und Niederdrucksystem.



85 % des Blutvolumens zirkulieren im Niederdrucksystem und somit in Venen und Lungenkreislauf, 15 % im Hochdrucksystem und somit in Arterien. V = Vorhof, K = Kammer. Aus: Behrends JC et al.: *Duale Reihe Physiologie*. Thieme 2016.

nen und Bänder nur wenig kapillarisiert sind. Die Linse und die Hornhaut des Auges sowie Knorpel sind frei von Kapillaren.

! Merke Kapillaren

Prinzipiell gilt: Je geringer die Stoffwechselaktivität und der Sauerstoffbedarf eines Organs oder eines Gewebes sind, desto geringer ist die Zahl der Kapillaren.

Bei der Blutversorgung der Leber und der Hypophyse sind 2 Kapillargebiete hintereinandergeschaltet (► Abb. 7.3 und ► Abb. 7.11). Da das Gefäß, das die beiden Kapillargebiete verbindet, als **Pfortader** bezeichnet wird, spricht man von einem **Pfortadersystem**.

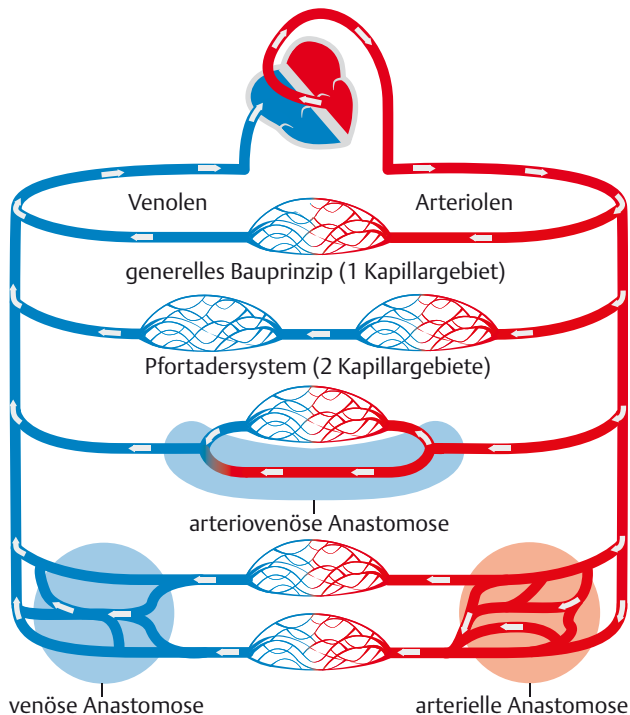
Gefäßanastomosen und Kollateralgefäße

Anastomosen

Zwischen Gefäßen können Verbindungen bestehen, sog. **Anastomosen**. Über diese Gefäßkurzschlüsse kann das Blut von dem einen in das andere Gefäß umgeleitet werden, wodurch ein **Umgehungskreislauf** entsteht. Es gibt 3 Arten von Gefäßanastomosen (► Abb. 7.3):

Arterielle Anastomosen • Sie verbinden 2 Arterien miteinander. Arterielle Anastomosen werden vor allem dann wichtig, wenn das Gefäß nach dem Abgang der Anastomose verschlossen ist. Das Blut kann dann den Weg über die Anastomose in das andere Gefäß nehmen.

Abb. 7.3 Kapillargebiete und Anastomosen.



Die Arteriolen verzweigen sich in zahlreiche kleine Äste, die sich dann wieder zu Venolen vereinen. Am so entstehenden Kapillarnetz findet der Austausch von Atemgasen und Nährstoffen mit dem umliegenden Gewebe statt. In einem Pfortadersystem sind 2 Kapillargebiete hintereinandergeschaltet. Anastomosen verbinden 2 Gefäße miteinander. Die arteriovenösen Anastomosen ermöglichen eine Umgehung des Kapillargebietes. Aus: Aumüller G et al.: Duale Reihe Anatomie. Thieme 2017.

Venöse Anastomosen • Sie verbinden 2 Venen miteinander. Wichtige venöse Anastomosen, sog. portokavale Anastomosen (S.228), kommen im Bauchraum vor und verbinden dort das Pfortadersystem der Leber mit dem Hohlvenensystem.

Arteriovenöse Anastomosen • Sie verbinden eine Arterie mit einer Vene und verlaufen parallel zum Kapillarnetz. Ihre Weite kann durch ihre stark entwickelte Muskelschicht reguliert werden. Ist das Gefäßlumen weit und der präkapillare Sphinkter kontrahiert, strömt viel Blut durch die Anastomose und nur wenig Blut durch das entsprechende Kapillarnetz. Verengt sich die arteriovenöse Anastomose, ist es umgekehrt: Der Blutfluss durch das Kapillarnetz steigt, derjenige durch die Anastomose nimmt ab. Dieser Mechanismus spielt bei der Regulation der Organdurchblutung eine Rolle.

Kollateralgefäße

Bei Kollateralgefäßen handelt es sich um Seitenäste von Arterien. Sie laufen parallel zu ihrem Hauptgefäß und ziehen zu demselben Versorgungsgebiet. Im Gegensatz zu den arteriellen Anastomosen münden sie nicht in eine andere Arterie ein, sondern verbinden sich wieder mit dem Gefäß, von dem sie abzweigt sind. Damit bildet sich ein **Parallelkreislauf**.

Bei einem arteriellen Gefäßverschluss ist das Ausmaß des Organschadens u. a. abhängig davon, wie viele Kollateralgefäße im betroffenen Bereich vorhanden sind. Sind viele ausgeprägt, ist die Blutversorgung auch bei Ausfall einer Arterie meist noch ausreichend, bei nur wenigen Kollateralgefäßen hat der Verschluss einer Arterie schwerwiegendere Folgen.

Sind zahlreiche Kollateralgefäße angelegt, die sich stark verzweigen und untereinander Anastomosen bilden, entsteht ein Gefäßnetz (**Rete**).

Arterien, die weder Anastomosen noch Kollateralen besitzen, werden als **Endarterien** bezeichnet.

Patho Anastomosen

Als Anastomose werden nicht nur natürliche Verbindungen zwischen Gefäßen oder Nerven bezeichnet. Bei einigen Erkrankungen werden solche Kurzschlussverbindungen operativ hergestellt – und zwar nicht nur zwischen Gefäßen, sondern auch zwischen Organen. Ein Beispiel hierfür ist die Anastomose zwischen Speiseröhre und Dünndarm nach der Entfernung des Magens.



WISSEN TO GO

Arterien, Venen und Kapillaren

In den Blutgefäßen fließt das Blut vom Herzen durch die Organe und wieder zurück zum Herzen. Die Blutgefäße bilden zusammen mit dem Herzen das **Herz-Kreislauf-System**.

Die **Arterien** leiten das Blut vom Herzen weg. In den Arterien des Körperkreislaufs fließt sauerstoffreiches, in den Arterien des Lungenkreislaufs sauerstoffarmes Blut. Die Arterien des Körperkreislaufs zählen zum **Hochdrucksystem**, in ihnen herrscht ein Blutdruck von durchschnittlich **100 mmHg**.

Die **Venen** transportieren das Blut zum Herzen zurück. In den Venen des Körperkreislaufs fließt sauerstoffarmes, in den Venen des Lungenkreislaufs sauerstoffreiches Blut. Die Venen zählen zum **Niederdrucksystem**, in ihnen herrscht ein Blutdruck von **<20 mmHg**.

Die **Kapillaren** verbinden das arterielle mit dem venösen Blutsystem. Im Bereich der Kapillaren findet der **Stoffaustausch** mit dem Gewebe statt.

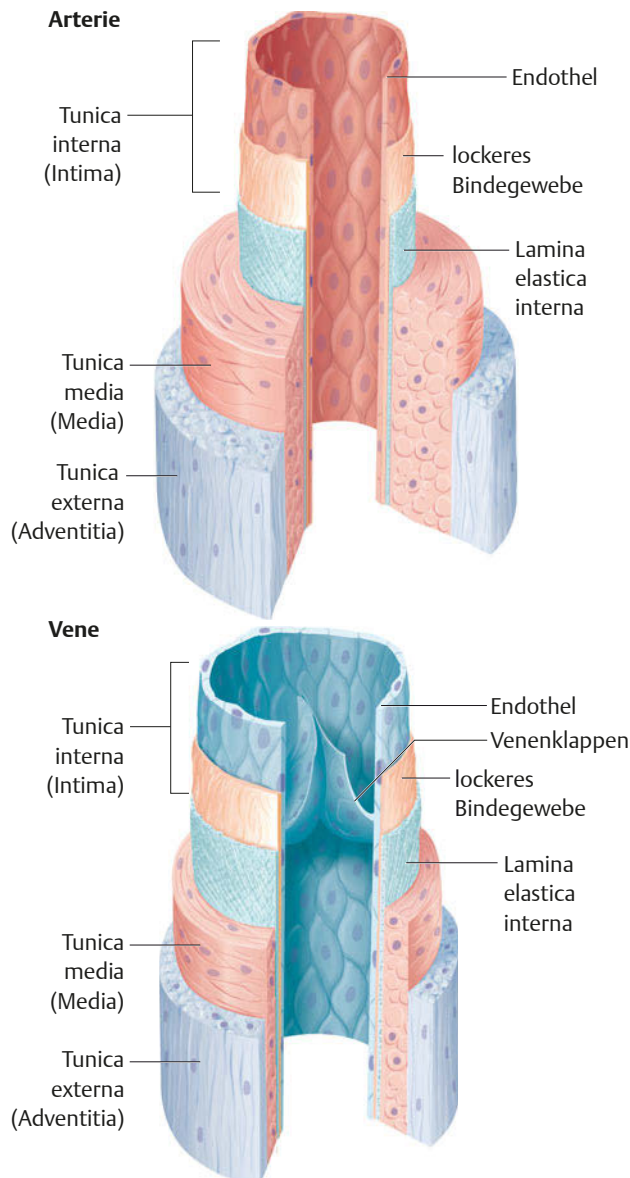
Anastomosen verbinden 2 Gefäße miteinander und bilden einen Umgehungskreislauf. **Kollateralgefäße** münden wieder in ihre Ursprungsarterie und bilden einen Parallelkreislauf.

7.1.3 Feinbau

Die Wand der meisten Blutgefäße besteht aus 3 Schichten (► Abb. 7.4). Von innen nach außen sind dies:

- **Tunica interna:** Sie besteht, je nach Gefäß, aus 2 oder 3 Lagen. Das Endothel, ein einschichtiges Plattenepithel (S.94), kleidet das Gefäß innen aus und steht in Kontakt mit dem Blut. Darauf folgt eine Schicht mit lockerem Bindegewebe (S.99). Die Tunica interna wird häufig auch als **Intima** bezeichnet.
- **Tunica media:** Sie besteht aus einer mehr oder weniger stark ausgeprägten Schicht aus ringförmig angeordneter, glatter Muskulatur. Bei einigen Arterien sind auch elastische Fasern enthalten. Diese Schicht wird häufig kurz **Media** genannt. Bei Arterien und bei manchen Venen befindet sich zwischen der Intima und der Media noch eine zusätzliche Lage mit elastischen Fasern (Lamina elastica interna), die formal allerdings zur Intima gezählt wird. Sie ist bei muskelreichen Arterien besonders stark ausgeprägt.
- **Tunica externa:** Die Außenschicht der Gefäße besteht ebenfalls aus lockerem Bindegewebe. Häufig wird für diese Schicht auch der Name **Adventitia** verwendet.

Abb. 7.4 Aufbau der Gefäßwand.



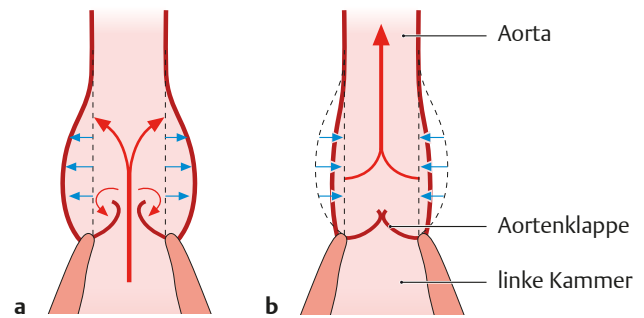
Die Muskelschicht (Tunica media) ist bei Arterien stärker ausgeprägt als bei Venen. Die Lamina elastica interna ist nicht bei allen Venen vorhanden. Aus: Aumüller G et al.: Duale Reihe Anatomie. Thieme 2017.

Je nachdem, ob das Gefäß einem hohen oder niedrigen Druck standhalten muss und ob es sich um ein arterielles oder venöses Gefäß handelt, sind die einzelnen Schichten mehr oder weniger deutlich ausgeprägt.

Patho Aortendisektion

Kommt es zu einem **Einriss des Endothels**, kann Blut direkt in die Media eindringen. Besonders in der Aorta, in der ein hoher Druck herrscht, bahnt sich das Blut dann einen Weg innerhalb der Gefäßwand und trennt die einzelnen Schichten voneinander. Man spricht in diesem Fall von einer Aortendisektion. Diese Veränderung der Hauptschlagader ist als sehr gefährlich einzustufen, da immer die Gefahr besteht, dass die Gefäßwand reißt und der Patient in die Brust- oder die Bauchhöhle verblutet.

Abb. 7.5 Windkesselfunktion der Aorta.



- a** Die elastische Wand der Aorta wird durch das Blutvolumen gedehnt (blaue Pfeile), das während der Austreibungsphase (Systole) vom linken Ventrikel ausgeworfen wird (rote Pfeile). Dadurch nimmt die Aorta einen Teil des Herzschlagvolumens auf.
- b** Während der folgenden Füllungsphase (Diastole) zieht sich die Wand der Aorta wieder zusammen (blaue Pfeile) und befördert so das gespeicherte Blut mit Verzögerung in den großen Kreislauf (roter Pfeil). Dadurch werden Blutdruckspitzen gemildert, und die Blutströmung wird gleichmäßiger.

Aus: Behrends JC et al.: Duale Reihe Physiologie. Thieme 2016.

Wandbau der Arterien

Da die Arterien einem großen Druck standhalten müssen, sind ihre **Wände relativ dick**. Die Gefäßwand der Hauptschlagader zum Beispiel kann 3–5 mm stark sein. Je kleiner der Durchmesser der Arterie ist, desto dünner wird allerdings auch ihre Wand. Mit der Entfernung der Arterie vom Herzen verändert sich aber nicht nur die Wanddicke, sondern auch die Zusammensetzung der **Tunica media**.

Arterien vom elastischen Typ

Bei herznahen Arterien wie der Aorta oder den Lungenarterien enthält die Tunica media viele elastische Fasern, man spricht daher auch von Arterien vom **elastischen Typ**. Die elastische Wand der herznahen Arterien sorgt über den **Windkesselleffekt** dafür, dass das Blut relativ gleichmäßig durch das Gefäßsystem fließt, obwohl es vom Herzen stoßweise gepumpt wird. Dieser Mechanismus funktioniert so (► Abb. 7.5):

Das während der Systole von der linken Kammer ausgeworfene Blutvolumen bewirkt, dass die elastische Wand der Aorta hinter der Aortenklappe gedehnt wird. Es wird also nicht das gesamte ausgeworfene Blut sofort weitertransportiert, sondern ein Teil verbleibt in diesem erweiterten Gefäßabschnitt. Während der Diastole zieht sich die Gefäßwand langsam wieder zusammen, wodurch nun auch das zuvor im erweiterten Abschnitt gespeicherte Blut in Richtung Peripherie transportiert wird (zurück ins Herz kann es wegen der verschlossenen Aortenklappe nicht). Wäre die Wand der Aorta nicht elastisch, würde das Blut nur während der Systole fließen und während der Diastole stillstehen. Außerdem würde während der Systole ein höherer Druck in der Aorta herrschen, da das gesamte ausgeworfene Blut sofort weitertransportiert werden und damit eine größere Blutsäule bewegt werden müsste. Dieser Zusammenhang ist zu beobachten, wenn die Elastizität der Gefäßwand im Alter abnimmt: In der Systole kommt zu einem schnelleren Blutdruckanstieg und -abfall.

Wenn sich die Gefäßwand in einem Abschnitt zusammenzieht und dadurch das Blut weitertransportiert, nimmt das Blutvolumen im anschließenden Gefäßabschnitt zu. Dessen

Gefäßwand dehnt sich, zieht sich wieder zusammen und transportiert so das Blut in den nächsten Abschnitt, wo sich wieder die Gefäßwand dehnt usw. Diese Abfolge von Dehnung und Zusammenziehen pflanzt sich entlang der Gefäßwand fort. Es entsteht eine **Druckpulsquelle**, die sich über das gesamte arterielle Gefäßsystem ausbreitet.

Blitzlicht Pflege Puls

An Stellen, an denen größere Arterien dicht unter der Haut liegen (z. B. Handgelenk, Hals oder Leiste), ist diese Druckpulsquelle der Gefäßwand als **Puls** (S. 146) tastbar.

Arterien vom muskulären Typ

Je weiter die Arterien vom Herzen entfernt liegen, desto stärker nimmt der Anteil der elastischen Fasern ab und die relative Dicke der Muskelschicht zu. Bei diesen Gefäßen spricht man von Arterien vom **muskulären Typ**. Durch die ausgeprägte Muskelschicht sind sie in der Lage, sich zu verengen und damit den Widerstand für den Blutfluss zu erhöhen. Sie werden daher auch als **Widerstandsgefäße** bezeichnet. Ihre Funktion ist es, die Durchblutung der von ihnen versorgten Organe zu steigern oder zu drosseln.

Wandbau der Venen

Viele Venen verlaufen parallel zu den entsprechenden Arterien, weshalb häufig auch von **Begleitvenen** die Rede ist. Dabei entspricht ihr Umfang meist demjenigen der Arterien, die sie begleiten. Da der Blutdruck in den Venen wesentlich geringer ist als in den Arterien, sind ihre **Wände** im Verhältnis zu denen der Arterien **relativ dünn**. Eine dünnere Wand bei gleichem Umfang bedeutet, dass der vom Gefäß umschlossene Hohlraum (Gefäßlumen) bei den Venen größer ist als bei den entsprechenden Arterien. Dies trägt dazu bei, dass sich der Großteil des Gesamtblutvolumens im Niederdrucksystem befindet (► Abb. 7.2). Venen werden deshalb auch als **Kapazitätsgefäße** bezeichnet.

Von den Schichten der Gefäßwand ist vor allem die Muskelschicht weniger ausgeprägt (► Abb. 7.4), am deutlichsten ist sie noch in den Beinvenen vorhanden. Der Wandbau der **sehr kleinen Venolen**, die sich direkt an das Kapillarsystem anschließen, gleicht eher dem der Kapillaren (s. u.).

Venenklappen

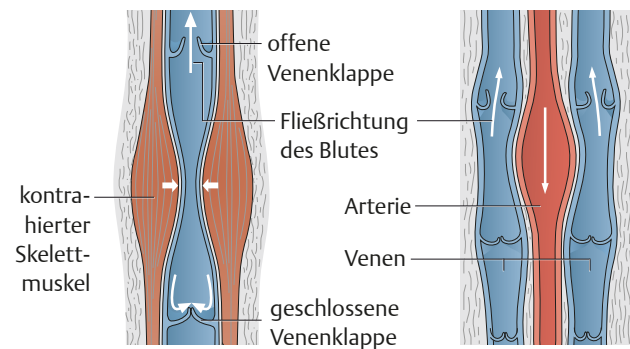
Eine Besonderheit der Venenwand stellen die **Venenklappen** dar (► Abb. 7.4 und ► Abb. 7.6), die von der Tunica interna (Intima) gebildet werden. Sie sind vor allem in mittelgroßen und kleinen Venen vorhanden und verhindern den Rückfluss des Blutes in Richtung Kapillaren. In den Venen der unteren Körperhälfte sind sie besonders zahlreich, da hier das venöse Blut gegen die Schwerkraft zurück zum Herzen fließen muss. Die Halsvenen besitzen dagegen keine Venenklappen. Die Venenklappen funktionieren nach demselben Prinzip wie die Taschenklappen des Herzens (S. 126): Fließt das Blut im Gefäß in der gewünschten Richtung (bei Venen also herzwärts), öffnen sich die Klappen; will das Blut zurückschließen, schließen sie.

Venöser Rückfluss

Folgende Mechanismen ermöglichen, dass das venöse Blut überhaupt in Richtung Herz fließt:

Die **arteriovenöse Kopplung** beruht auf der unmittelbaren Nähe der Venen zu den Arterien. Wie oben beschrieben, breitet sich beim Weitertransport des arteriellen Blutes eine

Abb. 7.6 Venöser Rückfluss.



Druckpulsquelle über die Arterienwand aus. Dadurch wird die Vene zusammengedrückt und das in ihr befindliche Blut in Richtung Herz gedrückt (► Abb. 7.6). Ein Transport in die andere Richtung wird durch die Venenklappen verhindert. Bei der **Muskelpumpe** (links) wird die Vene durch die umliegende Skelettmuskulatur komprimiert, bei der **arteriovenösen Kopplung** (rechts) durch den Druckpuls der Arterie, die sie begleitet. Aus: Schünke M, Schulte E, Schumacher U: Prometheus LernAtlas der Anatomie. Illustrationen von Voll M und Wesker K. 5. Aufl. Stuttgart: Thieme; 2018.

Druckpulsquelle über die Arterienwand aus. Dadurch wird die Vene zusammengedrückt und das in ihr befindliche Blut in Richtung Herz gedrückt (► Abb. 7.6). Ein Transport in die andere Richtung wird durch die Venenklappen verhindert.

Nach einem ähnlichen Prinzip arbeitet die **Muskelpumpe**, die vorwiegend in den Beinen Bedeutung hat. Hier werden die Venen durch die Bewegung der Beinmuskulatur zusammengedrückt (► Abb. 7.6).

Der Blutfluss in der oberen und der unteren Hohlvene wird unterstützt durch:

- die **Sogwirkung des rechten Vorhofs** in der Austreibungsphase des Herzzyklus (S. 131) und
- den **Unterdruck**, der während der Einatmung im Thorax entsteht.

Wandbau der Kapillaren

Eine Sonderstellung bezüglich des Wandbaus nehmen die Kapillaren ein. Damit sie in den Organen den Gas- und Stoffaustausch mit dem Gewebe ermöglichen können, muss ihre Gefäßwand möglichst dünn sein. Daher weist die Gefäßwand der Kapillaren **keine Dreischichtigkeit** auf, sondern besteht nur aus einer **sehr dünnen Endothelzellschicht** und ist teilweise von **Perizyten** locker ummantelt. Bei Perizyten handelt es sich um Bindegewebszellen, die in der Lage sind, sich zusammenzuziehen. Die Endothelzellschicht weist kleine Lücken auf, die den Übertritt von Stoffen aus dem Blut ins Gewebe bzw. andersherum ermöglichen. Je nachdem, wie diese Lücken ausgeprägt sind, unterscheidet man 3 Kapillartypen:

Kontinuierlicher Typ • Die Wand dieser Kapillaren weist nur schmale Spalten **zwischen** den Endothelzellen auf (**Interzellularspalten**). Es können daher ausschließlich sehr kleine Moleküle ins Gewebe übertreten, z. B. Wasser, Elektrolyte, Glukose oder Harnstoff. Kapillaren vom kontinuierlichen Typ findet man vor allem in Skelett- und Herzmuskel, Lunge, Haut, Fett- und Bindegewebe. Die Kapillaren des Gehirns nehmen hier eine Sonderstellung ein: Ihr Endothel ist auch für kleine Moleküle nahezu undurchlässig, weshalb man von der **Blut-Hirn-Schranke** (S. 486) spricht. Hier sorgen spezielle Carrier-Proteine (S. 76) für den Stoffaustausch.

Fenestrierter Typ • Bei diesen Kapillaren verlaufen porenähnliche Strukturen, sog. Fenestrationsen, **durch** die Endothelzellen. Sie werden von der Plasmamembran ausgekleidet. Die Poren können von den gleichen Teilchen passiert werden wie die Interzellularspalten, allerdings in wesentlich größeren Mengen. Deshalb kommen Kapillaren vom fenestrierten Typ überwiegend in Organen vor, in denen der Austausch von Flüssigkeit eine große Rolle spielt (Niere, Drüsen und Dünndarm).

Diskontinuierlicher Typ • Das Endothel dieses Kapillartyps weist **große Lücken** auf, durch die auch Zellen oder größere Moleküle, wie z. B. Proteine, hindurchtreten können. Kapillaren vom diskontinuierlichen Typ findet man vor allem in der Leber, der Milz und im Knochenmark.

7.1.4 Mikrozirkulation

Der **Stoffaustausch** an den Kapillaren erfolgt größtenteils durch **Diffusion** (S.45). Wo und in welchem Ausmaß er stattfindet, ist abhängig davon, ob der Stoff fett- oder wasserlöslich ist:

- **fettlösliche Stoffe:** Sie können frei durch die Zellmembran diffundieren und sind nicht auf Lücken im Endothel angewiesen. Ihr Austausch ist deshalb an allen Kapillaren (auch an der Blut-Hirn-Schranke) möglich. Er ist von der Durchblutung und vom Konzentrationsunterschied, der für den jeweiligen Stoff zwischen dem Kapillarrinneren und dem umliegenden Gewebe herrscht, abhängig. Zu den fettlöslichen Stoffen zählen z. B. Sauerstoff, Kohlendioxid, Alkohol und Narkosegase.
- **wasserlösliche Stoffe:** Sie gelangen hauptsächlich durch die Endothellücken aus den Kapillaren ins Gewebe (oder umgekehrt). Ihr Austausch ist deshalb abhängig vom Kapillartyp und von der Teilchengröße. Zu den wasserlöslichen Stoffen gehören z. B. Ionen, Glukose oder Proteine.

Für den **Flüssigkeitsaustausch** spielen neben der Diffusion auch der hydrostatische und der kolloidosmotische Druck (S.47) eine wichtige Rolle:

- **hydrostatischer Druck:** Hierunter versteht man den Druck, der durch eine Flüssigkeit hervorgerufen wird. Der hydrostatische Druck in den Kapillaren ist abhängig vom Blutdruck und kann durch die Vasomotorik (S.152) beeinflusst werden: Bei Weitstellung der dem Kapillarnetz vorgeschalteten Arteriole steigt er, bei Engstellung sinkt er.
- **kolloidosmotischer Druck:** Er wird in den Kapillaren durch Proteine erzeugt, die zu groß sind, als dass sie durch die Gefäßwand ins Gewebe übertreten könnten.

Im Anfangsabschnitt der Kapillare beträgt der hydrostatische Druck etwa 30 mmHg, im Gewebe dagegen liegt er bei nur etwa 5 mmHg. Dieser Druckunterschied würde bedeuten, dass Wasser aus der Kapillare ins Gewebe gepresst würde. Dem hydrostatischen Druck entgegengerichtet ist allerdings der kolloidosmotische Druck: Die Proteinkonzentration im Gewebe ist außer in der Leber und im Darm sehr gering, in der Kapillare dagegen relativ hoch. Dies hätte zur Folge, dass Wasser – dem Konzentrationsunterschied folgend – aus dem Gewebe in die Kapillare strömt. Da am **Anfang der Kapillare** aber der hydrostatische Druck höher ist als der kolloidosmotische Druck, tritt Wasser aus dem Gefäß ins Gewebe über. Dieser Vorgang wird auch **Filtration** genannt.

Am **venösen Schenkel** des Kapillarnetzes kehren sich die Druckverhältnisse um: Während der kolloidosmotische Druck unverändert bleibt, ist der hydrostatische Druck in der Kapillare auf ca. 15 mmHg gesunken. Damit überwiegt der kolloidosmotische Druck und Wasser strömt zurück in die Kapillare. Dieser Prozess wird als **Reabsorption** bezeichnet. Etwa **90%** der im arteriellen Schenkel des Kapillarnetzes ausgetretenen Flüssigkeit werden durch die Reabsorption wieder von den Blutkapillaren aufgenommen (► Abb. 7.17). Die restlichen 10% verbleiben als **Lymphflüssigkeit** im Zwischenzellraum des jeweiligen Organs.

Patho Ödeme

Bei einigen Erkrankungen kann es vorkommen, dass das Gleichgewicht zwischen Filtration und Reabsorption gestört ist: Es tritt mehr Wasser aus den Kapillaren aus, als durch Reabsorption und Lymphabfluss wieder abtransportiert werden kann. Das Wasser lagert sich ins Gewebe ein, wodurch **Ödeme** entstehen. Ursachen für die Ödembildung können z. B. sein:

- **Rechtsherzinsuffizienz:** Durch eine Funktionsminderung des rechten Herzens staut sich das Blut im venösen System. Dadurch steigt der hydrostatische Druck im Kapillargebiet an, und es wird mehr Wasser filtriert und weniger reabsorbiert.
- **Eiweißmangel:** Bei Mangelernährung oder einer Leberschädigung enthält das Blut weniger Proteine. Dadurch sinkt der kolloidosmotische Druck. Auch hier wird mehr Wasser filtriert und weniger wiederaufgenommen.
- **Entzündungen:** Sie können dazu führen, dass das Kapillarendothel auch für größere Proteine durchlässig wird. Diese treten dann ins Gewebe über, wodurch der kolloidosmotische Druck abnimmt.



WISSEN TO GO

Bau der Gefäßwand

Die Wand größerer Gefäße besteht aus **3 Schichten**: der innen liegenden **Intima** (Endothel und Bindegewebe), der **Media** (Muskelzellen und elastische Fasern) als mittlere Schicht und der außen liegenden **Adventitia** (Bindegewebe).

Die Wände der **herznahen Arterien** sind dick und elastisch. Sie gewährleisten durch ihre **Windkesselfunktion** den gleichmäßigen Blutfluss im Körper. Die **herzfernen Arterien** können durch ihre dicke Schicht aus glatten Muskelzellen die Weite ihres Lumens verändern (**Widerstandsgefäße**). Der Blutfluss in den Arterien wird vom Herzen angetrieben.

Die Wand der **Venen** ist dünner als die der Arterien. Ihre **Muskelschicht** ist eher **gering** ausgeprägt, dafür besitzen sie **Venenklappen**, die ein Zurückfließen des Blutes verhindern. Der Blutfluss in den Venen wird dadurch erzeugt, dass die Vene kurz zusammengedrückt wird. Dies geschieht entweder durch eine direkte neben der Vene verlaufende Arterie (**arteriovenöse Kopplung**) oder bei Bewegungen durch die Skelettmuskulatur (**Muskelpumpe**).

Die Wand der **Kapillaren** ist einschichtig und weist Poren auf. Durch diese Gefäßwandlücken können die Moleküle beim Nährstoff- und Atemgasaustausch aus der oder in die Kapillare gelangen. Verantwortlich hierfür sind neben der Diffusion der hydrostatische und der kolloidosmotische Druck.

7.1.5 Gefäßversorgung und Innervation

Die Ernährung **kleiner Blutgefäße** wird durch das Blut sichergestellt, das in diesen Gefäßen fließt. Da ihre Wand dünn ist, können aus dem Blut diffundierende Stoffe alle Zellen der Gefäßwand erreichen.

Für das Gewebe der **großen Blutgefäße** ist diese Diffusion dagegen nicht ausreichend, da die Gefäßwand zu dick ist. Sie benötigen daher eine eigene Gefäßversorgung. Diese findet sich vor allem in der Tunica externa und besteht aus kleinsten Arteriolen und Venolen. Sie werden „Gefäße der Gefäße“ (Vasa vasorum) genannt.

Innerviert werden die Blutgefäße hauptsächlich durch den **Sympathikus** (S.500), der sie – abhängig von der Art der ausgebildeten Rezeptoren – entweder eng oder weit stellt. Der Parasympathikus scheint nur bei der Steuerung der Blutgefäße der Geschlechtsorgane eine Rolle zu spielen.



WISSEN TO GO

Versorgung und Innervation der Gefäße

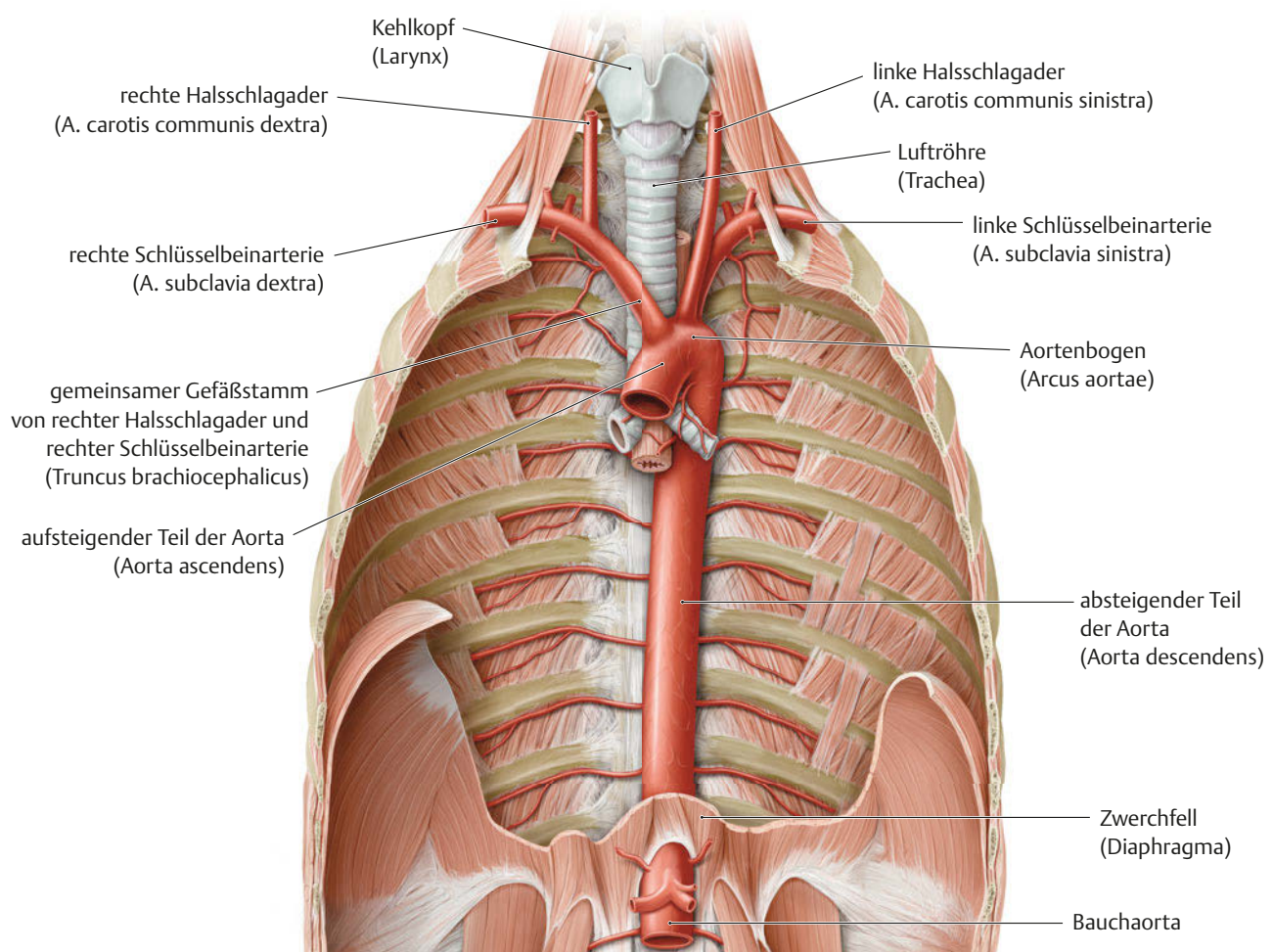
Die Versorgung der Wand größerer Gefäße wird über kleinste Arterien und Venen sichergestellt, die in der Adventitia der Gefäße verlaufen. Hauptverantwortlich für die Regulation der Gefäßweite ist der **Sympathikus**. Kleine Gefäßwände werden über Diffusion versorgt.

7.1.6 Große Arterien des Körperkreislaufs

Damit alle Organe und Gewebe mit Sauerstoff versorgt werden, sind die Arterien zahlreich und stark verzweigt.

Im folgenden Abschnitt erhalten Sie einen Überblick über die wichtigsten Arterien des Körperkreislaufs (► Abb. 7.8). Die Gefäße des Lungenkreislaufs werden beim Aufbau der Lunge (S.178) ausführlich besprochen.

Abb. 7.7 Brustaorta mit ihren wichtigsten Abgängen.



Die Brustaorta besteht aus einem aufsteigenden Teil (Aorta ascendens), dem Aortenbogen (Arcus aortae) und einem absteigenden Teil (Aorta descendens). Mit ihrem Durchtritt durch das Zwerchfell geht sie in die Bauchaorta über. Aus: Schünke M, Schulte E, Schumacher U: Prometheus LernAtlas der Anatomie. Illustrationen von Voll M und Wesker K. 5. Aufl. Stuttgart: Thieme; 2018.

Hauptschlagader (Aorta)

Die **Hauptschlagader (Aorta)** entspringt direkt aus der linken Herzkammer. Sie ist das größte arterielle Gefäß im menschlichen Körper. Von ihr stammen letztlich alle Arterien des Körpers ab. Vom Herzen ausgehend zieht sie im Brustkorb zunächst in Richtung Kopf (aufsteigender Teil, **Aorta ascendens**), um dann nach ca. 6 cm einen Bogen zu bilden (**Aortenbogen**, Arcus aortae) und in Richtung der Beine zu verlaufen (absteigender Teil, **Aorta descendens**). Ihr Verlauf ähnelt damit einem Spazierstock (► Abb. 7.7). Auf ihrem Weg in den Bauchraum muss die Aorta durch das Zwerchfell (Diaphragma) ziehen, das die Brusthöhle von der Bauchhöhle trennt. Hierzu nutzt sie eine kleine Lücke (Hiatus aorticus) im Zwerchfell. Oberhalb des Zwerchfells wird der absteigende Teil der Aorta **Brustaorta** (Aorta thoracica), unterhalb des Zwerchfells **Bauchtaorta** (Aorta abdominalis) genannt.

Abgänge der Brustaorta

Bereits auf der kurzen Strecke bis zum Übergang zur absteigenden Aorta liegen einige bedeutende Arterienabgänge:

Die **Herzkranzarterien** (S. 128) zweigen aus der **Aorta ascendens** unmittelbar nach deren Ursprung aus dem linken Ventrikel ab. Dieser Bereich wird auch **Aortensinus** genannt.

Am Beginn des **Aortenbogens** (► Abb. 7.7) entlässt die Aorta zunächst einen Gefäßstamm (**Truncus brachiocephalicus**), der sich kurz darauf in die rechte Halsschlagader (**A. carotis communis dextra**) und die rechte Schlüsselbeinarterie (**A. subclavia dextra**) teilt. Anders verhält es sich bei der linken Halsschlagader (**A. carotis communis sinistra**) und der linken Schlüsselbeinarterie (**A. subclavia sinistra**): Sie gehen ohne gemeinsamen Gefäßstamm jeweils direkt aus dem Aortenbogen hervor (► Abb. 7.7).

Die **A. subclavia** zieht beiderseits weiter in Richtung Arm und Hand, wobei sie mehrere kleine Äste abgibt (► Abb. 7.8). Während ihres Verlaufs ändert sie ihren Namen: Im Bereich der Achsel heißt sie **A. axillaris** (Achselarterie), im Bereich des Armes dann **A. brachialis** (Oberarmarterie). Kurz nach dem Ellenbogengelenk teilt sich die A. brachialis in 2 Äste. Diese sind nach dem Unterarmknochen benannt, dem sie am nächsten liegen:

- **A. radialis**: Die Speichenarterie liegt daumennah an der Speiche (Radius).
- **A. ulnaris**: Die Ellenarterie liegt daumenfern nahe der Elle (Ulna).

Die rechte und die linke **A. carotis communis** teilen sich in Höhe des 4. Halswirbels in jeweils 2 Äste: die A. carotis interna und die A. carotis externa. Die Teilungsstelle wird als **Karotisgabel** (Karotisbifurkation oder Bifurcatio carotidis) bezeichnet. Die **A. carotis externa** gibt im Halsbereich verschiedene Äste ab, die zusammen mit denen der A. subclavia die Strukturen im Halsbereich (Muskeln, Organe) versorgen. Die **A. carotis interna** zieht – ohne Äste abzugeben – durch den Hals in Richtung Kopf.

Neben diesen Hauptgefäßen entlässt die Brustaorta noch kleinere Arterien, die u.a. zur Speiseröhre und zur Zwischenrippenmuskulatur ziehen.

Abgänge der Bauchtaorta

Die Abgänge der Bauchtaorta versorgen die Bauch- und Beckeneingeweide. Knapp unterhalb des Zwerchfells entspringt als großer Gefäßstamm der **Truncus coeliacus**

(„Bauchhöhlenstamm“, ► Abb. 7.8 und ► Abb. 9.18). Er teilt sich nach wenigen Zentimetern in 3 Gefäße auf:

- die linke Magenarterie (A. gastrica sinistra),
- die Milzarterie (A. splenica) und
- die gemeinsame Leberarterie (A. hepatica communis).

Unterhalb des Truncus coeliacus gibt die Bauchtaorta zunächst die **A. mesenterica superior** ab und im weiteren Verlauf die **A. mesenterica inferior**.

Zwischen den beiden Mesenterialarterien entspringen als kräftige paarige Gefäße die rechte und die linke **Nierenarterie** (A. renalis). Kleinere paarige Arterien ziehen zu den Nebennieren und den Eierstöcken bzw. Hoden.

Knapp unterhalb des Bauchnabels teilt sich die Bauchtaorta dann in die rechte und die linke große Beckenarterie (**A. iliaca communis dextra** und **A. iliaca communis sinistra**) (► Abb. 7.8). Diese verzweigen sich kurz oberhalb der Leiste in einen äußeren (A. iliaca externa) und einen inneren Ast (A. iliaca interna), der zu den Beckenorganen zieht. Der äußere Ast verläuft über die Leiste als Oberschenkelarterie (**A. femoralis**) weiter zum Bein und in Richtung Fuß. Genauso wie die Armerarterie gibt auch die A. femoralis im Verlauf mehrere kleinere Äste ab und wechselt ihren Namen: Im Kniebereich heißt sie A. poplitea. Sie teilt sich unterhalb des Gelenkes in 2 Äste, die vordere und die hintere Schienbeinarterie (A. tibialis anterior und A. tibialis posterior).

Blitzlicht Pflege Pulsmessung

Einige der oben genannten Arterien können verwendet werden, um den **Puls** zu fühlen:

- **A. radialis**: Sie kann am Handgelenk getastet werden.
- **A. carotis communis**: Die Halsschlagader findet man wenige Zentimeter seitlich des Kehlkopfs. Da ein Griff an den Hals vom Patienten als unangenehm und bedrohlich empfunden werden kann, ist die Methode besonders für bewusste Patienten geeignet.
- **A. femoralis**: Die Leistenarterie wird auch Beinschlagader genannt. In der Leistengegend ist sie gut zu tasten, allerdings dringt man dabei in den Intimbereich des Patienten ein. Deshalb eignet sich diese Methode nicht zur standardmäßigen Pulskontrolle und hat eher diagnostische Bedeutung für den Arzt (z. B. um eine arterielle Verschlusskrankheit zu erkennen).

Die Pulsmessung kann wichtige Erkenntnisse über die **Kreislaufsituation** des Patienten geben: Man kann feststellen, ob das Herz zu langsam (**Bradykardie**) oder zu schnell (**Tachykardie**) schlägt, und mit einiger Erfahrung auch den Blutdruck abschätzen: Lässt sich der Puls gut und kräftig tasten, liegt der obere Wert des Blutdrucks (systolisch) vermutlich über 60 mmHg. Dieser Kniff kann hilfreich sein, um grob abzuschätzen, ob der Patient einen Kreislaufchock erlitten hat. Er ersetzt aber nicht die Blutdruckmessung!

ACHTUNG

Bei der Pulsmessung an der **Halsschlagader** dürfen keine massierenden Bewegungen gemacht werden, weil sich hier Rezeptoren (S. 154) befinden, die an der Regulation des Blutdrucks beteiligt sind. Außerdem sollte **nicht an beiden Seiten gleichzeitig** getastet werden, da dadurch der Blutstrom zum Gehirn unterbrochen werden kann. Aber auch beim einseitigen Tasten ist v.a. bei älteren Patienten Vorsicht geboten: Sie können unter **arteriosklerotischen Veränderungen** der Halsgefäße leiden. Durch zu festes Drücken können sich Teile der Wandablagerungen (Plaques) lösen und mit dem Blutstrom in Richtung Gehirn geschwemmt werden. Verschließen sie dort ein Gefäß, ist ein Schlaganfall die Folge.



WISSEN TO GO

Große Arterien

Die **Hauptschlagader (Aorta)** besteht aus einem aufsteigenden Teil, dem Aortenbogen und einem absteigenden Teil, der durch das Zwerchfell zieht.

Oberhalb des Zwerchfells wird sie als **Brustaorta** bezeichnet. Deren wichtigste Abgänge sind die Herzkranzgefäße zum Herzmuskel, die Halsschlagader (A. carotis) zum Kopf und die Schlüsselbeinarterie (A. subclavia) zum Arm.

Unterhalb des Zwerchfells wird sie als **Bauchaorta** bezeichnet. Sie teilt sich auf in die linke und die rechte große Beckenarterie (A. iliaca communis), die über ihre Äste die Organe des Beckens (A. iliaca interna) und die Beine (A. femoralis) mit Blut versorgen.

Der Verlauf der wichtigsten Arterien ist in ► **Abb. 7.8** dargestellt.

7.1.7 Große Venen des Körperkreislaufs

Die meisten Venen verlaufen als Begleitvenen parallel zu den entsprechenden Arterien (s.o.). Ins Herz zurück gelangt das Blut entweder über die obere oder die untere Hohlvene, die getrennt in den rechten Vorhof münden.

Im folgenden Abschnitt erhalten Sie einen Überblick über die wichtigsten Venen des Körperkreislaufs (► **Abb. 7.9**).

Obere Hohlvene (V. cava superior)

Die obere Hohlvene (V. cava superior) leitet in erster Linie das venöse Blut der Arme und des Kopfes zum Herzen (► **Abb. 7.9**). Sie entsteht aus dem Zusammenfluss der linken und der rechten V. brachiocephalica (s.u.).

Das tief verlaufende Venensystem des Arms entspricht mit der V. radialis, der V. ulnaris, der V. brachialis, der V. axillaris und der **V. subclavia** auf beiden Seiten den arteriellen Gefäßen.

Zusätzlich sind am Arm 2 Venen ausgebildet, die oberflächlicher – also dichter unter der Haut – und ohne entsprechende Arterie verlaufen (► **Abb. 7.10**):

- **V. cephalica:** Sie entsteht aus den Venen des Handrückens, zieht über die Oberseite des Unterarms und am Oberarm am Bizeps (S.434) entlang. Im Bereich der Achsel mündet sie in die V. axillaris.
- **V. basilica:** Auch sie entsteht vorwiegend aus den Venen des Handrückens, verläuft dann aber an der Innenseite von Unter- und Oberarm, um dann in die V. brachialis zu münden.

In der Ellenbeuge sind beide Venen in der Regel über eine kurze Vene (**V. mediana cubiti**) miteinander verbunden.

Blitzlicht Pflege Blutentnahme

Die **V. mediana cubiti** ist in der Ellenbeuge gut zu sehen (► **Abb. 13.17a**), besonders dann, wenn man das Blut am Oberarm staut. Sie wird häufig zur **Blutentnahme** und für **intravenöse Injektionen** genutzt.

Die Vene, die der Halsschlagader (A. carotis) entspricht, ist die **Drosselvene (V. jugularis)**. Auch sie besitzt mit der V. jugularis externa und der V. jugularis interna 2 Äste. Während

aber bei der Arterie beide Äste etwa gleich dick sind, ist die V. jugularis externa nur dünn ausgebildet. Sie mündet direkt in die V. subclavia, ohne ein gemeinsames Gefäß mit der V. jugularis interna zu bilden. Die **V. jugularis interna** ist die **Hauptvene** am Hals. Sie vereinigt sich mit der V. subclavia, wodurch die **V. brachiocephalica** entsteht. Die linke und die rechte V. brachiocephalica verbinden sich schließlich zur **V. cava superior**, die in den rechten Vorhof mündet.

Patho Venenstauung

Ist die **V. jugularis interna** beim stehenden Patienten **sichtbar**, ist das ein Hinweis darauf, dass sich das Blut vor dem rechten Herzen staut. Ursache einer solchen Stauung ist eine **Rechtsherzinsuffizienz**. Im Liegen ist die Drosselvene auch bei Gesunden sichtbar.

Blitzlicht Pflege ZVK

Die **V. jugularis interna** wird auch verwendet, wenn größere Flüssigkeitsmengen intravenös verabreicht werden sollen. Über kleinere Venen, wie z.B. die V. mediana cubiti, würde dies wegen des geringen Gefäßdurchmessers zu lange dauern. Bei einem venösen Zugang über die V. jugularis interna spricht man von einem **zentralen Venenkatheter**.

Über die V. azygos und die V. hemiazygos erhält die V. cava superior auch Blut aus der Bauchregion. Die **V. azygos** kommt nur auf der rechten Seite vor. Sie geht aus Venen des Bauchraums hervor, die durch das Zwerchfell ziehen und Blut der Bauchwand führen (Vv. lumbales). Die V. azygos verläuft rechts neben der Wirbelsäule, bevor sie etwa auf Höhe des 4. Brustwirbels in die V. cava superior mündet. Die **V. hemiazygos** ist ihre Entsprechung auf der linken Seite. Sie zieht auf Höhe des 8. Brustwirbels auf die rechte Seite und mündet in die V. azygos.

Untere Hohlvene (V. cava inferior)

Die untere Hohlvene (V. cava inferior) kann man als das venöse Gegenstück der Aorta descendens betrachten (► **Abb. 7.9**). Sie sammelt das venöse Blut aus den Körperbereichen, die unterhalb des Herzens liegen.

Die beiden Schienbeinvenen (V. tibialis anterior und V. tibialis posterior) verlaufen als Begleitvenen der entsprechenden Arterien. Sie vereinigen sich zur V. poplitea, die dann oberhalb des Knies als **V. femoralis** in Richtung Leiste zieht. Zusätzlich sind am Bein 2 größere Venen ausgebildet, die eher oberflächlich verlaufen und zu denen keine entsprechende Arterie existiert:

- **V. saphena parva:** Sie zieht vom äußeren Fußrand aus an der Rückseite des Unterschenkels entlang und mündet in die V. poplitea.
- **V. saphena magna:** Sie entsteht aus den Venen des Fußrückens und zieht vom Knöchel aus an der Innenseite des Beins nach oben. Dort vereinigt sie sich mit der V. femoralis.

Patho Krampfadern

Die V. saphena magna und V. saphena parva können sackartig erweitert sein. Wegen ihres oberflächlichen Verlaufs sind sie dann häufig als stark geschlängelte, bläuliche Strukturen am Bein sichtbar. Im Volksmund spricht man dabei von **Krampfadern**, medizinisch von **Varikosis** oder von **Varizen**. Da sie Beschwerden wie z.B. ein Spannungsgefühl, Schmerzen oder Ödeme verursachen können, ist eine operative Entfernung häufig sinnvoll.