



# Ratgeber angeborene Herzfehler bei Kindern

Ulrike Blum  
Hans Meyer  
Philipp Beerbaum

 Springer

## **Ratgeber angeborene Herzfehler bei Kindern**

Ulrike Blum  
Hans Meyer  
Philipp Beerbaum

# Ratgeber angeborene Herzfehler bei Kindern

Mit 182 Abbildungen

 Springer

**Ulrike Blum**  
Ronneburg

**Hans Meyer**  
Kleinmachnow

**Philipp Beerbaum**  
Päd. Kardiologie u. Intensivmedizin  
Medizinische Hochschule Hannover  
Hannover

Ergänzendes Material finden Sie unter ► <http://extras.springer.com/> Bitte im entsprechenden Feld die ISBN eingeben.

ISBN 978-3-662-47877-6

ISBN 978-3-662-47878-3 (eBook)

DOI 10.1007/978-3-662-47878-3

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über ► <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

### **Springer Medizin**

© Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2016

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die nicht ausdrücklich vom Urheberrechtsgesetz zugelassen ist, bedarf der vorherigen Zustimmung des Verlags. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Bearbeitungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

Der Verlag, die Autoren und die Herausgeber gehen davon aus, dass die Angaben und Informationen in diesem Werk zum Zeitpunkt der Veröffentlichung vollständig und korrekt sind. Weder der Verlag noch die Autoren oder die Herausgeber übernehmen, ausdrücklich oder implizit, Gewähr für den Inhalt des Werkes, etwaige Fehler oder Äußerungen.

Zeichnerinnen: Teresa Habild, Trier / Christine Goerigk, Ludwigshafen

Umschlaggestaltung: deblik Berlin

Fotonachweis Umschlag: © ideabug / iStock

Satz: Crest Premedia Solutions (P) Ltd., Pune, India

Gedruckt auf säurefreiem und chlorfrei gebleichtem Papier

Springer-Verlag ist Teil der Fachverlagsgruppe Springer Science+Business Media  
([www.springer.com](http://www.springer.com))

## Warum dieses Buch hilft

---

Die Geburt eines Kindes ist ein großartiges und aufregendes Ereignis und wenn sie vorbei ist, sind alle glücklich und bewundern den neuen kleinen Erdenbürger. Dennoch, bei hundert Geburten kommt es statistisch gesehen leider einmal vor, dass sich das Herz des Kindes nicht richtig ausgeformt hat. Der Arzt überbringt den Eltern die Nachricht, und ein großer Schreck befällt sie. Wenn dieser etwas abgeklungen ist, entstehen viele Fragen:

- Was stimmt nicht?
- Ist in der Schwangerschaft etwas falsch gelaufen?
- Wie wirkt sich die Fehlbildung aus?
- Wie erkennt man sie?
- Wie behandelt man sie, und welches Ergebnis bringt die Behandlung?
- Wie gefährlich ist die Behandlung, kann mein Kind dabei auch sterben?
- Wie werden körperliche Belastbarkeit und Lebensqualität nach der Behandlung sein?
- Kann das Kind später als Erwachsener einen Beruf ergreifen und, wenn ja, welchen?
- Und wenn es ein Mädchen ist: Kann sie später einmal selber Kinder bekommen?
- Kann mein Kind nicht so lange leben wie andere Menschen?

Das vorliegende Buch soll Eltern und anderen Angehörigen helfen, diese wichtigen Fragen überhaupt erst zu stellen, und wird sie und noch viele andere beantworten. Es ist völlig normal, dass die Eltern vor lauter Aufregung kaum gute Fragen stellen können. Wenn die Antworten kommen, ist es schwer, zuzuhören, die vielen Informationen zu sortieren und zu bewerten. Und dann gibt es auch keine guten Antworten.

Meistens können nämlich gute Antworten sehr zur Beruhigung beitragen und helfen, die richtigen Entscheidungen zu treffen, um das Ausmaß und die Folgen des Herzfehlers herausfinden und behandeln zu können. Genau aus diesem Grund sind in diesem Buch die wichtigsten Fragen und Antworten zusammengestellt, die Ihnen als besorgte Eltern eine richtige und überlegte Herangehensweise an das Problem ermöglichen.

### ■ Was Sie über das Herz wissen sollten

Vielfach fehlt ein genaueres Wissen um das Herz bei Nichtmediziner, denn ein gutes und leistungsfähiges Herz bemerkt der Mensch selbst nicht. Das Herz läuft das ganze Leben, und viele könnten nicht genau angeben, wo es im Körper sitzt.

Wenn das neue Baby einen angeborenen Herzfehler hat, müssen viele junge Eltern im Schnellgang lernen, wie das Herz aufgebaut ist, wie seine Bauteile funktionieren und was es leistet. In dieser Situation ist es wichtig, zu wissen, wie sich die Fehlbildung auswirkt und wie man sie beheben kann.

Alles beginnt erst einmal mit dem Wissen um das gesunde Herz. Und dann geht es darum, wie der Arzt das Herz untersucht, welche Geräte er dazu benutzen muss, ob eine Herzkatheterbehandlung ausreicht oder ob sogar eine Herzoperation stattfinden muss. Und schließlich bleibt die Frage, ob das Herz nach einer solchen »Herzreparatur« überhaupt so gesund wie ein normale Herz sein kann, ob eine gute Lebensqualität zu erwarten ist oder größere Einschränkungen auf das Kind zukommen.

All das müssen Eltern wissen, damit ihre Seelen ruhiger werden und sie mit Mut und Sachverstand gemeinsam mit dem Ärzteteam ihre Verantwortung für den neuen Erdenbürger wahrnehmen können.

#### ■ **Wie ist der Ratgeber aufgebaut**

Anhand typischer und logisch aufeinander aufbauender Fragen und Antworten vermittelt Ihnen dieses Buch in vier großen Kapitel alle notwendigen und relevanten Informationen, und richtet sich an alle, die die Fürsorge für Kinder mit angeborenen Herzfehlern innehaben.

Zunächst geht es in ► Kapitel 1 um das gesunde Herz, dessen Aufbau und Funktionen wir mit vielen Illustrationen erklären, um später den Herzfehler begreifbar zu machen. Im 2. Kapitel stehen die verschiedenen Herzuntersuchungen im Mittelpunkt – mit allen Fragen, die Eltern und Kinder dazu haben könnten. Alle Themen rund um die Herzoperation und die Herzkathetertherapie sind im 3. Kapitel besprochen. Im ► Kapitel 4 erklären wir Ihnen die Herzfehler genauer, die besonders häufig auftreten.

Im Serviceteil am Ende des Buches finden Sie hilfreiche Informationen, z. B. zum wichtigen Thema der Begleitung kranker Kinder von der Kinder- in die Erwachsenenmedizin, der Transition: Was passiert, wenn das Kind mit angeborenem Herzfehler erwachsen wird? (► Anhang A1). Ein kleiner Höhepunkt des Buches sind die Cartoons in ► Anhang A2, in denen die Herzfehler und ihre Auswirkungen in Bildserien veranschaulicht sind.

Wer es besonders genau wissen will und medizinische Details nicht scheut, ist eingeladen, unsere Online-Material einzusehen: Auf dem Portal des Springer-Verlags stehen einige zusätzliche Texte zum Download bereit, die noch mehr Hintergrundwissen zur Vertiefung enthalten (► e-Online-Material, [extras.springer.com](https://extras.springer.com)). Nach Eingabe der ISBN haben Sie freien Zugang zu den Materialien.

Das Buch entstand auf Basis unserer langjährigen Arbeit als Kinderkardiologen bzw. Kinderherzchirurgen, in der wir gelernt haben, die schwierigen Fragen zum Kinderherzen zu beantworten. Unser großes Anliegen ist es, für unsere Patienten und deren Angehörigen die für sie so wichtige Aufklärung und Hilfestellung auf diesem Wege zum Nachschlagen für zuhause zur Verfügung zu stellen.

## Danksagung

---

Unser herzlicher Dank gilt an dieser Stelle all den Menschen, die uns bei der Entstehung des Buches behilflich waren. Insbesondere danken wir Prof. Dr. H. C. Kallfelz, Prof. Dr. Dr. R. Körfer, Prof. Dr. M. Peuster, Prof. Dr. Dr. D. Reinhardt, Prof. Dr. D. Schranz sowie Frau M. Hogendoorn für die vielen Anregungen und wertvollen Hinweise zur Verbesserung des Buches. Sie trugen dazu bei, das Buch anschaulich zu machen. Claudia Weißhäupl, Monika Klöß und Heidrun Kruse-Krebs danken wir für die Bearbeitung der Texte; Frau Teresa Habild für die besonders gelungenen Grafiken. Frau Dr. Christine Lerche und Frau Claudia Bauer vom Springer-Verlag sowie der Lektorin Frau Dipl.-Biol. Stefanie Teichert danken wir für die hervorragende Zusammenarbeit bei Planung, Lektorat und Druck des Buches.

Die Verfasser

## Die Autoren

---



### ■ Prof. Dr. med. Ulrike Blum

Thorax- und Kardiovaskularchirurgin mit Spezialisierung in der Kinderherzchirurgie, ehemalige Direktorin des Herzzentrums Coswig. Studium der Medizin in Frankfurt am Main und Würzburg. Promotion 1972. Facharztausbildung in der Chirurgie, Gefäßchirurgie, Thorax- und Kardiovaskularchirurgie in Frankfurt. 1990 Habilitation an der Universität Frankfurt, Professur seit 1996 an der Universität Erlangen/Nürnberg. Schwerpunktmäßige Operation von Kinderherzfehlern an der Universität Erlangen/Nürnberg, im Kinderherzzentrum in St. Augustin, im National Cardiac Center in Jakarta, Indonesien, in der Airlangga-University in Surabaya, Indonesien, und in der Universiti Sains Malaysia in Kota Bharu, Malaysia.



### ■ Prof. em. Dr. med. Hans Meyer

Ehemaliger Direktor der Kinderherzzentrums und Instituts für Kernspintomographie des Herz- und Diabeteszentrums NRW, Universitätsklinik der Ruhr-Universität-Bochum. Studium der Medizin in Freiburg und Düsseldorf. Promotion 1972. Ausbildung zum Kinderarzt mit Schwerpunkt Kinderkardiologie in der Universitätskinderklinik Düsseldorf. 1981 Habilitation an der Heinrich Heine Universität. Universitätsprofessor 1991 bis 2006 der Ruhr-Universität Bochum. Klinische und wissenschaftliche Schwerpunkte: Nichtinvasive Diagnostik angeborener Herzfehler, Herzkatheterinterventionen, Magnetresonananz, Nuklearmedizin in der Kernforschungsanlage Jülich, dem Universitätsklinikum Düsseldorf, der Ruhr-Universität Bochum und im Herz- und Diabeteszentrum NRW.



### ■ Prof. Dr. med. Philipp Beerbaum

Jahrgang 1962, Univ.-Prof. Dr. med. Nach Medizinstudium, Promotion und Facharztzeit in Köln Ausbildung als Intensivmediziner und Kinderkardiologe im Herz- und Diabeteszentrum NRW (Bad Oeynhausen), dort Oberarzt und Habilitation an der Ruhr-Universität Bochum. Ab 2006 für 5 Jahre in London (UK) als Consultant Paediatric Cardiologist im Evelina Children's Hospital und Senior Lecturer in Paediatric Cardiovascular Sciences im Department of Imaging Sciences & Biomedical Engineering am King's College London; anschließend Radboud Universiteit, Nijmegen. Seit 2012 Direktor der Klinik für Pädiatrische Kardiologie und Intensivmedizin an der Medizinischen Hochschule Hannover.

# Inhaltsverzeichnis

1	<b>Das gesunde Herz</b> .....	1
	<i>Ulrike Blum, Hans Meyer, Philipp Beerbaum</i>	
1.1	<b>Welche Aufgabe haben Herz und Lunge?</b> .....	2
1.2	<b>Wo befindet sich das Herz, und wie ist es aufgebaut?</b> .....	5
1.3	<b>Was leistet ein Herz?</b> .....	8
1.4	<b>Wodurch wird ein Herz überfordert?</b> .....	8
1.5	<b>Welche Organe können durch Herzfehler geschädigt werden?</b> .....	11
2	<b>Die Untersuchung des Kindes und seines Herzens</b> .....	13
	<i>Ulrike Blum, Hans Meyer, Philipp Beerbaum</i>	
2.1	<b>Wonach fragt der Arzt? Wie wird das Kind untersucht?</b> .....	14
2.2	<b>Welche Herzuntersuchungen gibt es?</b> .....	15
2.2.1	Abhören mit dem Stethoskop.....	15
2.2.2	Pulsoxymetrie – Sauerstoffsättigung im Blut.....	16
2.2.3	Elektrokardiografie (EKG).....	17
2.2.4	Röntgenuntersuchung des Brustkorbs.....	17
2.2.5	Ultraschall – Echokardiografie.....	19
2.2.6	Magnetresonanztomografie (MRT).....	20
2.2.7	Herzkatheteruntersuchung.....	24
2.2.8	Andere Untersuchungen – Computertomografie (CT) mit Kontrastmittel.....	26
3	<b>Herzoperation und Herzkatheterintervention</b> .....	29
	<i>Ulrike Blum, Hans Meyer, Philipp Beerbaum</i>	
3.1	<b>Allgemeine Fragen zur Herzoperation</b> .....	30
3.2	<b>Allgemeine Fragen zur Herzkatheterintervention</b> .....	41
3.3	<b>Ist das Herz nach der Herzoperation oder Intervention so gesund wie das normale Herz?</b> .....	47
4	<b>Häufige Herzfehler</b> .....	51
	<i>Ulrike Blum, Hans Meyer, Philipp Beerbaum</i>	
4.1	<b>Kammerseptumdefekt (Ventrikelseptumdefekt, VSD)</b> .....	52
4.2	<b>Atrioventrikularkanal (AV-Kanal, Endokardkissendefekt, AVSD)</b> .....	67
4.3	<b>Persistierender Ductus arteriosus Botalli (Ductus Botalli apertus, PDA)</b> .....	83
4.4	<b>Vorhofseptumdefekt (Atriumseptumdefekt, ASD)</b> .....	96
4.5	<b>Fallot'sche Tetralogie (Tetralogy of Fallot, TOF)</b> .....	112
4.6	<b>Transposition der großen Arterien (TGA)</b> .....	128
4.7	<b>Pulmonalstenose (PS)</b> .....	144
4.8	<b>Aortenstenose (AS, AoS, AoVs)</b> .....	160
4.9	<b>Hypoplastisches Linksherzsyndrom (HLHS)</b> .....	174
4.10	<b>Aortenisthmusstenose (Koarktation der Aorta, CoA, Ista)</b> .....	189

## **Serviceteil**

<b>A Anhang</b> .....	208
<b>Literaturverzeichnis</b> .....	216
<b>Stichwortverzeichnis</b> .....	218

# Das gesunde Herz

*Ulrike Blum, Hans Meyer, Philipp Beerbaum*

- 1.1 Welche Aufgabe haben Herz und Lunge? – 2
- 1.2 Wo befindet sich das Herz, und wie ist es aufgebaut? – 5
- 1.3 Was leistet ein Herz? – 8
- 1.4 Wodurch wird ein Herz überfordert? – 8
- 1.5 Welche Organe können durch Herzfehler geschädigt werden? – 11

Das Herz ist eine biologische Pumpe, die sauerstoffarmes Blut aus dem Körperkreislauf zur Lunge und sauerstoffreiches Blut aus dem Lungenkreislauf in den Körper befördert

Blut dient als Transportmittel für den lebenswichtigen Sauerstoff

## 1.1 Welche Aufgabe haben Herz und Lunge?

Das Herz ist eine biologische Pumpe und bewegt das Blut durch unsere Adern. Die Adern in unserem Körper sind so angeordnet, dass das Blut erst durch die Lunge fließt und anschließend durch den Rest des Körpers mit allen weiteren Organen. Das Herz holt sich ausgeschöpftes Blut (ca. 70 % Sauerstoff) aus dem Körperkreislauf und pumpt es zur Aufarbeitung in den Lungenkreislauf hinein. Dann holt es sich das aufgearbeitete Blut (ca. 98 % Sauerstoff) aus dem Lungenkreislauf zurück und pumpt es wieder in den Körperkreislauf – 60–80 Mal in der Minute.

Der Lungenkreislauf und der Körperkreislauf sind demnach hintereinander geschaltet. Das erklärt, weshalb bei einem gesunden Menschen das Herz in beide Kreisläufe exakt die gleiche Blutmenge hineinpumpt, obwohl die Lunge ein kleines Organ ist verglichen mit dem Rest des Körpers (■ Abb. 1.1). Die Kreisläufe sind voneinander abhängig. Wenn ein Kreislauf nicht funktioniert, kann auch der andere nicht funktionieren. Ist z. B. der Blutfluss im Lungenkreislauf behindert, fließt zwangsläufig auch zum Körperkreislauf nur wenig Blut. Die Pumpleistung des Herzens lässt sich anhand des ► Herzzeitvolumens, ► Herzminutenvolumens und ► Herzindex darstellen.

### Begriffe und Abkürzungen aus Herzkatheterberichten

**Herzzeitvolumen (HZV)** – Herzzeitvolumen = Schlagvolumen × Herzfrequenz (Liter pro Minute, l/min). Das Schlagvolumen ist die Blutmenge, die eine Herzkammer in der Phase des Zusammenziehens des Herzmuskels (Bezeichnung: Systole) in den Kreislauf pumpt. Beim Erwachsenen sind dies ca. 70–80 Milliliter (ml). Die Herzfrequenz entspricht der Anzahl der Herzschläge pro Minute. Das Herzzeitvolumen ist also ein Maß für die Pumpfunktion des Herzens, der Herzauswurfleistung, und beträgt bei Erwachsenen ca. 5 l/min.

**Herzminutenvolumen (HMV)** – Blutfluss im Systemkreislauf pro Minute (l/min). Den Blutfluss misst man z. B. während der Herzkatheteruntersuchung (► Abschn. 2.2.7).

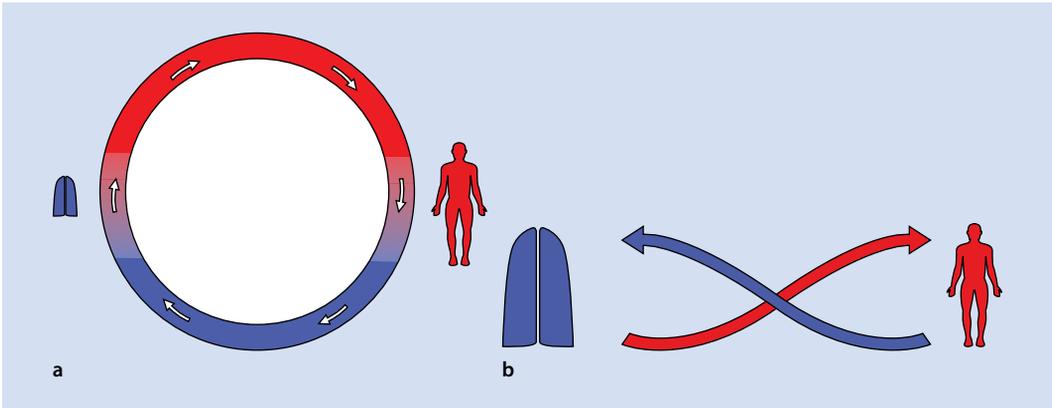
**Herzindex (Cardiac Index)** – Das Herzminutenvolumen (l/min) wird auf die Körperoberfläche (KOF) in Quadratmetern (m<sup>2</sup>) bezogen und als Q (Index) angegeben. Normalwerte reichen von 3,5–5,5 l/min/m<sup>2</sup> KOF, unterer Normalwert: 2,5 l/min/m<sup>2</sup> KOF.

Blut ist das Transportmittel für Material, das die Zellen des Körpers für ihre Arbeit brauchen, und für Abfallstoffe, die sie nicht mehr benötigen. Gänzlich unentbehrlich ist der Sauerstoff. Ohne Sauerstoff sterben die Hirnzellen bereits nach ca. 3 Minuten ab, Herzmuskelzellen nach ca. 20 Minuten und Zellen der Nieren nach ca. 30 Minuten. Auf seinem Weg durch die Lunge nimmt das Blut mit den roten Blutkörperchen den lebenswichtigen Sauerstoff auf und gibt gleichzeitig Kohlendioxid in die Ausatemluft ab. Kohlendioxid ist der Hauptabfallstoff, den die Körperzellen bei ihrer Arbeit produzieren. Auf seinem Weg durch die Körperorgane gibt das Blut dann den Sauerstoff wieder ans Gewebe ab und wird mit Kohlendioxid beladen.

### Blutmenge und Messwerte

**Blutmenge** – Man schätzt, dass der Mensch ca. 80 Milliliter (ml) Blut pro Kilogramm (kg) Körpergewicht hat. Ein 70 kg schwerer Mann hätte demnach ca. 4,9 Liter eigenes

## 1.1 • Welche Aufgabe haben Herz und Lunge?



■ **Abb. 1.1 a, b.** **a** Schaltung der Kreisläufe: Lungen- und Körperkreislauf sind hintereinander geschaltet und werden mit gleichen Blutmengen durchflossen. **b** Kreislaufdiagramm beim gesunden Menschen: Sauerstoffarmes Blut (blau) fließt vom Körperkreislauf (Mensch) zur Lunge. Sauerstoffreiches Blut (rot) fließt aus dem Lungenkreislauf zum Körperkreislauf zurück. Weil Lungen- und Körperkreislauf mit gleichen Blutmengen durchströmt werden, sind die Blutpfeile gleich dick, Mensch und Lunge sind gleich groß.

Blut, ein 3 kg schweres neugeborenes Kind ca. 240 ml und ein 500 g leichtes, unreifes Frühgeborenes ca. 40 ml.

**Organdurchblutung unter Ruhebedingungen** – Das Herzzeitvolumen verteilt sich unter Ruhebedingungen wie folgt im Körperkreislauf: Gehirn 15 %, Herz 5 %, Niere 20 %, Verdauungstrakt 23 %, Muskel 15 %, Leber 7 %, Haut 6 %, Rest 9 %.

**Hirndurchblutung** – Die Hirndurchblutung beträgt normalerweise 50 ml/min pro 100 Gramm (g) Organgewicht. Das Hirngewicht beim Erwachsenen beträgt ca. 1.500 g. Das Hirn verbraucht ca. 20 % des Sauerstoffs im Körper. Den größten Teil des Sauerstoffs benötigt die graue Hirnsubstanz und gilt damit auch als besonders empfindlich für Sauerstoffmangel. Bei Denkleistungen (Rechenaufgaben, Schachspiel) steigt der Sauerstoffbedarf der grauen Hirnsubstanz an. Größter Bedarf besteht bei einem Krampfanfall.

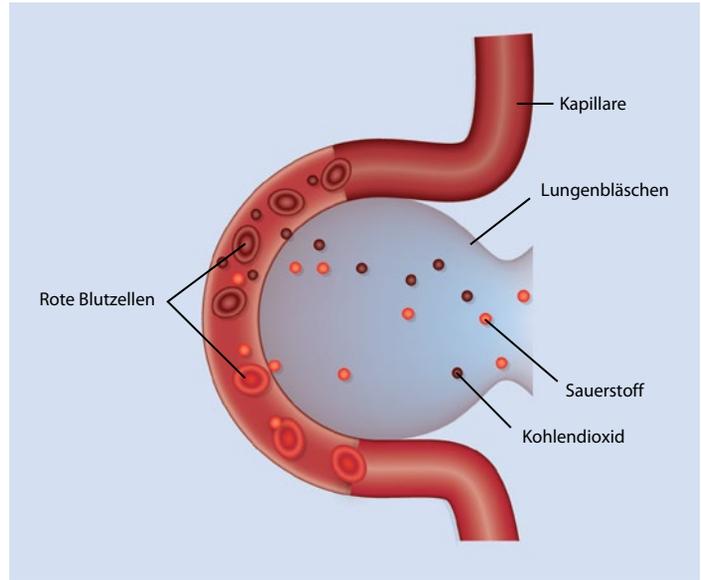
**Nierendurchblutung** – Die Nieren sind stark durchblutet mit ca. 330 ml/min pro 100 g Organgewicht. Das Gewicht beider Nieren liegt ca. bei 300 g. Sie verbrauchen insgesamt 10 % des Sauerstoffs im Körper (25 ml Sauerstoff/Minute).

**Haut und Muskulatur** – Die Hautdurchblutung liegt bei 1 ml/min pro 100 g Haut. Steigt die Temperatur an, z. B. durch Bewegung oder durch Erhöhung der Außentemperatur, erweitern sich die Blutgefäße in der Haut und der Blutfluss kann um das 200-Fache ansteigen. In Ruhe ist die Skelettmuskulatur ebenso wenig durchblutet wie die Haut. Allerdings steigert sich der Blutfluss bei körperlicher Belastung in der Muskulatur wesentlich mehr. Durch Blutflusssteigerungen in Haut und Muskulatur geht dem Systemkreislauf Blut verloren. Unter Umständen kann es sogar zu einer Minderdurchblutung anderer Organe kommen (Beispiel: Ohnmacht bei heißen Außentemperaturen, Herzinfarkt beim Joggen).

### ■ **Wie arbeitet das Blut in der Lunge?**

Das Lungengewebe besteht aus kleinsten Luftpokämmern (Bläschen) mit einer hauchdünnen Wand. Die Wand ist undurchlässig für Flüssigkeit und Blutzellen. Nur Bestandteile der Luft können frei durch die Wand hindurchtreten. Um die Bläschen herum zieht ein feines Netzwerk von Adern, in die das Herz ausgeschöpftes Blut aus dem Körperkreis-

Die roten Blutkörperchen sorgen für den Gasaustausch in den Lungenbläschen und geben Kohlendioxid ab, um sich gleich darauf wieder mit Sauerstoff zu beladen



■ **Abb. 1.2** Gasaustausch in den Lungenbläschen

lauf hineingepumpt hat (■ Abb. 1.2). Beim Vorbeifließen holen sich die roten Blutkörperchen Sauerstoff aus den Luftkammern und werfen das Kohlendioxid hinein. Der sogenannte Gasaustausch geschieht in Bruchteilen von Sekunden. Das in der Lunge aufbereitete Blut fließt dann voll beladen mit Sauerstoff und mit wenig Kohlendioxid zum Herzen zurück. Das Blut ist bis zu 98 % mit Sauerstoff gesättigt.

#### ■ **Wie arbeitet das Blut im Körper?**

Nachdem das Blut weiter in den Körperkreislauf gepumpt wurde, verteilt es sich über feinste Äderchen zwischen den Körperzellen. Die Körperzellen holen sich Sauerstoff ab und werfen ihren Abfall, das Kohlendioxid, ins Blut hinein. Die roten Blutkörperchen nehmen es auf und fließen so beladen in das Herz zurück. Das Herz pumpt das Blut weiter in den Lungenkreislauf. Beim Eintreffen in der Lunge ist es nur noch mit rund 70 % Sauerstoff gesättigt.

#### ■ **Wie erneuert die Lunge die Luft in den Luftkammern?**

Die Lunge erneuert die Luft in ihren Luftkammerchen durch Ein- und Ausatmen. Beim Einatmen nehmen wir Luft mit einem Sauerstoffgehalt von 21 % und (nahezu) frei von Kohlendioxid in die Luftkammern auf. Die verbrauchte Luft, die weniger Sauerstoff, aber dafür Kohlendioxid enthält, atmen wir aus, sie entweicht so aus den Kammern.

#### **Hintergrundwissen: Wichtige Messgrößen**

**Daten beim Erwachsenen:** Das Herz pumpt 60–80 Mal pro Minute venöses Blut in die Lungenarterien (Pulmonalarterie) hinein. Pro Herzschlag sind das ca. 70 ml, d. h. insgesamt 4,2–5,6 Liter pro Minute. Die Fläche, die dem Blut zur Aufarbeitung

Über die Atmung stellt der Körper die Zufuhr von Sauerstoff und das Abatmen von Kohlendioxid sicher

## 1.2 • Wo befindet sich das Herz, und wie ist es aufgebaut?

zur Verfügung steht, ist groß. Beim Erwachsenen erreicht sie ca. 80 m<sup>2</sup>, ist also vergleichbar mit der Fläche einer 3- bis 4-Zimmer-Wohnung.

Der **Gasaustausch** erfolgt in Bruchteilen von Sekunden, ca. 0,3 Millisekunden (ms). Die Lunge erneuert die Luft 12–15 Mal pro Minute und füllt die Alveolen bei jedem Atemzug mit einem halben Liter Luft. Zum Gasaustausch stehen dem Blut demnach jede Minute 6–7,5 Liter frische Luft mit einem Sauerstoffgehalt von 1,2–1,5 Litern zur Verfügung. Unter Ruhebedingungen verbraucht der Körper in der Minute 250 Milliliter Sauerstoff und gibt 200 Milliliter Kohlendioxid ab. Für einen erhöhten Sauerstoffbedarf des Körpers haben Herz und Lunge ausreichende Reserven.

Die Körperzellen holen sich nur so viel Sauerstoff aus dem Blut, wie sie zum jeweiligen Zeitpunkt brauchen. In Ruhe (wenn man schläft) sind das etwa 30 %, bei der Arbeit einzelner Organe ist es mehr. Im Blut befinden sich daher noch ca. 70 % des Sauerstoffs, wenn es nach Passage durch den Körperkreislauf wieder in der Lunge ankommt.

**Sauerstoffsättigungswerte in Herz und Anschlussadern:** Obere und untere Hohlvene (Vena cava superior und inferior): 70 % bzw. 76 %. Rechter Vorhof, rechter Ventrikel und Lungenarterie (gemischt venös): 72 %. Lungenvenen, linker Vorhof, linker Ventrikel und Aorta: 95 %. Die Sauerstoffsättigung der oberen Hohlvene ist aufgrund des hohen Sauerstoffverbrauchs im Gehirn geringer als in der unteren.

## 1.2 Wo befindet sich das Herz, und wie ist es aufgebaut?

Das Herz befindet sich zwischen den beiden Lungenflügeln im Brustkasten, etwas links von der Mitte. Von vorne schützen es das Brustbein und die Rippen vor Verletzungen (■ Abb. 1.3).

Wenn man das Herz auseinanderfalten und -drehen könnte, bliebe ein Doppelschlauch übrig (■ Abb. 1.4 a), in dessen Inneren Blut fließt und dessen Wand aus einer Muskelschicht besteht. Wenn sich die Muskulatur der Schlauchwand zusammenzieht, wird Blut aus dem Inneren des Schlauchs herausgepresst, d. h., der Schlauch pumpt. Wenn sich die Muskulatur wieder ausdehnt, nimmt der Schlauch Blut auf.

Der rechte Schlauch stellt die rechte Herzseite dar, die das verbrauchte Körpervenenblut der Lunge zuleitet. Der linke Schlauch bekommt dann das frische, sauerstoffreiche Blut zurück aus der Lunge und leitet es den Organen im Körperkreislauf zu.

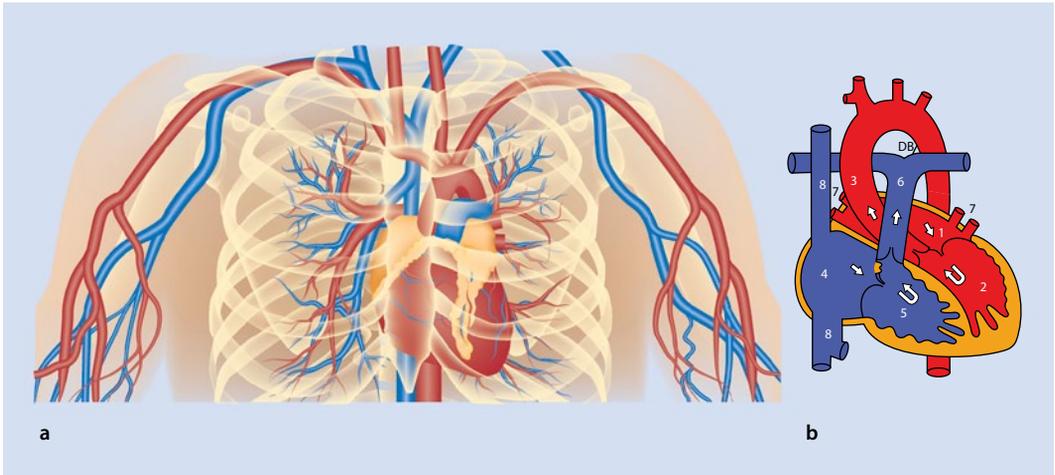
Eine Richtung erhält der Blutstrom dabei durch die Herzklappen, die als Ventile in Verlauf dieses Doppelschlauchs eingebunden sind. Sie sorgen dafür, dass das Blut nur in eine Richtung fließen kann.

### Herzfunktion

**Erregungsleitungssystem des Herzens** – Im Herzen gibt es ein sogenanntes Erregungsleitungssystem. Leitungsbahnen, ähnlich wie Stromleitungen, ziehen durch das Herz. Durch diese Leitungsbahnen fließt ein schwacher (bioelektrischer) Strom. Der Stromfluss beginnt im Vorhof. Er löst das Zusammenziehen der Herzwandmuskulatur im Vorhof aus (der Vorhof pumpt). Sobald die Erregung den Vorhof verlassen hat, dehnt sich dort der Herzschauch wieder aus (der Vorhof füllt sich). Anschließend trifft der Stromfluss auf die Herzkammer und die Kammermuskulatur zieht sich zusammen (die Kammer pumpt). Nach Abklingen der Erregung dehnt sich die Kammermuskulatur wieder aus. Dann beginnt der Stromfluss von Neuem.

### Lage des Herzens

### Das Herz im vereinfachten Modell als Doppelschlauch



▣ **Abb. 1.3 a, b.** **a** Lage des Herzens im Brustkorb. **b** Das Innere des Herzens. Sauerstoffreiches Blut (rot) fließt aus den Lungenvenen (7) durch den linken Vorhof (1) und die linke Herzkammer (2) in die Körperschlagader (Aorta, 3). Sauerstoffarmes Blut fließt aus 2 Körpervenen (Hohlvenen, 8) durch den rechten Vorhof (4) und die rechte Herzkammer (5) in die Lungenschlagader (Pulmonalarterie, 6). DB ist der verschlossene Ductus arteriosus Botalli. Die Pfeile zeigen die Fließrichtung des Blutes an.

In der rechten Herzseite, genauer dem rechten Vorhof, sammelt sich das verbrauchte, sauerstoffarme Blut

Über die linke Herzseite gelangt das sauerstoffreiche Blut aus der Lunge in den Körperkreislauf

Gesteuert über das Erregungsleitungssystem pumpen die Herzvorhöfe und die Herzkammern zeitversetzt

In der ▣ Abb. 1.5 ist die Organisation des Doppelschlauchs als Herz schematisch dargestellt.

Die rechte Herzseite besteht aus einer Sammelstelle für das ankommende verbrauchte Blut (rechter Vorhof) und der darauf folgenden Pumpkammer. Hier lässt sich gut die Position und Bedeutung der Herzklappen verdeutlichen.

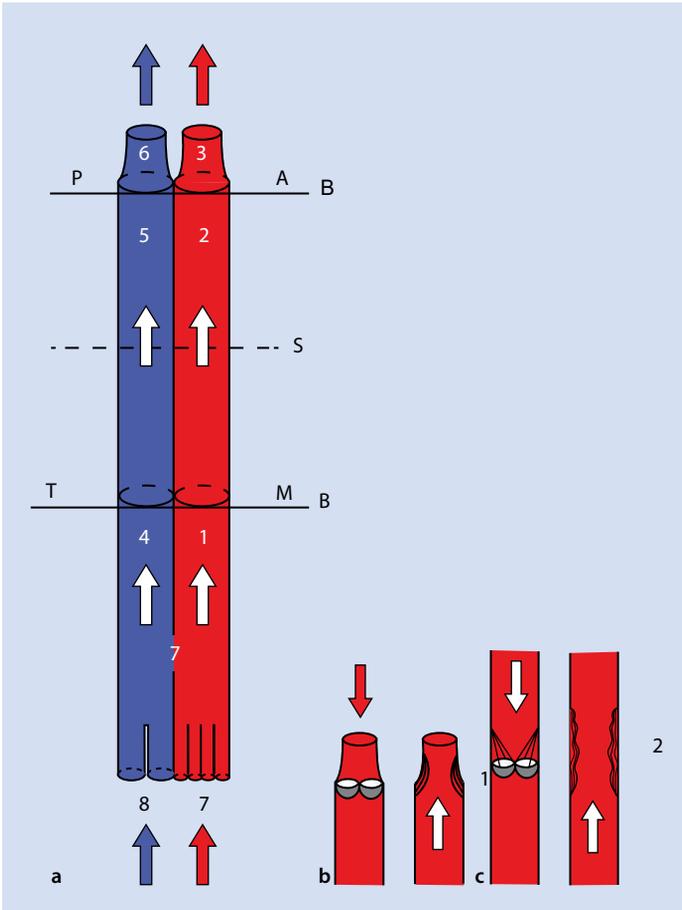
Die rechte Pumpkammer (rechter Ventrikel) hat eine Einlassklappe (Trikuspidalklappe) und eine Auslassklappe (Pulmonalklappe), die den Blutrückstrom verhindern und so den Vorwärtsfluss durch die Lunge zum linken Herzen hin sicherstellen.

Die linke Herzseite hat analog ebenso eine Sammelstelle für das frische Blut aus der Lunge, den linken Vorhof, und anschließend eine Pumpkammer, den linken Ventrikel. Dieser linke Ventrikel ist der eigentliche Hauptmotor der Herzpumpe, der die weitaus größte Arbeitslast trägt.

Seine Einlassklappe nennt man Mitralklappe, sie verhindert den Rückstrom in den linken Vorhof, wenn sich die linke Kammer pumpend zusammenzieht. Die Auslassklappe nennt man Aortenklappe; analog zum rechten Herzen besteht ihre Aufgabe darin, den Rückstrom des von der Pumpkammer ausgeworfenen Blutes zu verhindern und damit den Abstrom zu den Organen des Körperkreislaufs sicherzustellen.

In Wirklichkeit sieht das Herz recht kompliziert aus, weil es als Doppelschlauchsystem nicht gestreckt, sondern mehrfach verdreht angeordnet ist. Dies erfolgt aus guten Gründen bereits in der Embryonalentwicklung des Herzens, denn in dieser Form funktioniert das Herz als Pumpe am effektivsten! Das Herz faltet sich während seiner

## 1.2 • Wo befindet sich das Herz, und wie ist es aufgebaut?

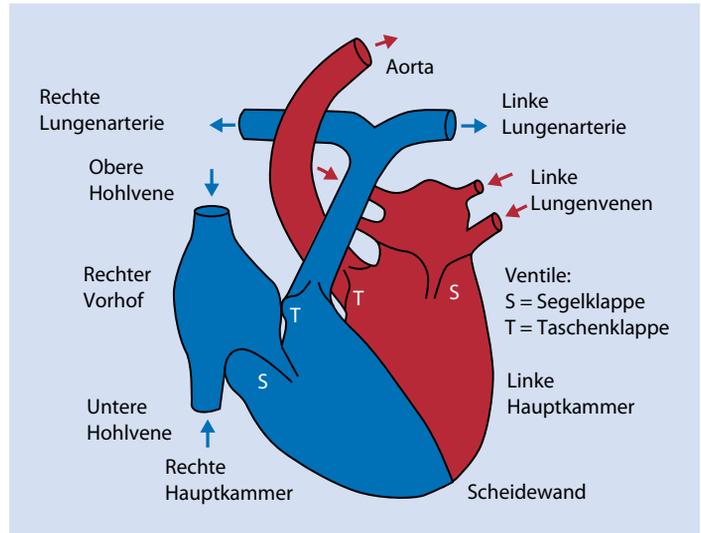


▣ **Abb. 1.4 a–c.** a Auseinander gefalteter Herzschauch: Hohlvenen (8), Lungenvenen (7), rechter Vorhof (4), linker Vorhof (1), Tricuspidalklappe (T), Mitralklappe (M), Herzbasis (B), Herzspitze (S), rechte Kammer (5), linke Kammer (2), Pulmonalklappe (P), Aortenklappe (A), Pulmonalarterie (6), Aorta (3). b Geschlossenes und offenes Ventil am Auslass der Herzkammern (Aortenklappe, Pulmonalklappe). c Geschlossenes und offenes Mittelventil zwischen Vorhof und Herzkammer (Mitralklappe, Trikuspidalklappe)

Entwicklung so zusammen, dass es im sogenannten Herzbeutel zum Liegen kommt. Dabei macht es Drehungen (▣ Abb. 1.6).

Die folgende Form des Herzens ist das, was der Herzchirurg vor sich sieht, und soll deshalb zum besseren Verständnis etwas näher erläutert werden. Die ▣ Abb. 1.7 erlaubt dabei verschiedene Blickwinkel, um die Lagebeziehungen der Herzhöhlen und Gefäße zueinander nachzuvollziehen.

In der ▣ Abb. 1.8 sieht man, auf welche Weise die vier Herzklappen in einer Ebene innerhalb des gewundenen Herzdoppelschlauchs angeordnet sind. Sie liegen in der sogenannten Herzbasis.



■ **Abb. 1.5** Herzschema mit rechtem (blau) und linkem Herzen (rot). Die rechte wie linke Herzseite bestehen jeweils aus einem Vorhof »Sammelstelle« und einer Pumpkammer. In der rechten und linken Pumpkammer verhindern jeweils eine Einlass- und Auslassklappe den Blutrückstrom und geben damit als Ventile der Pumpaktivität der beiden Herzkammern ihre Richtung vor

Das Herz hält eine enorme Arbeitsbelastung Jahrzehnte lang durch, ohne dass es eine Ruhepause benötigt

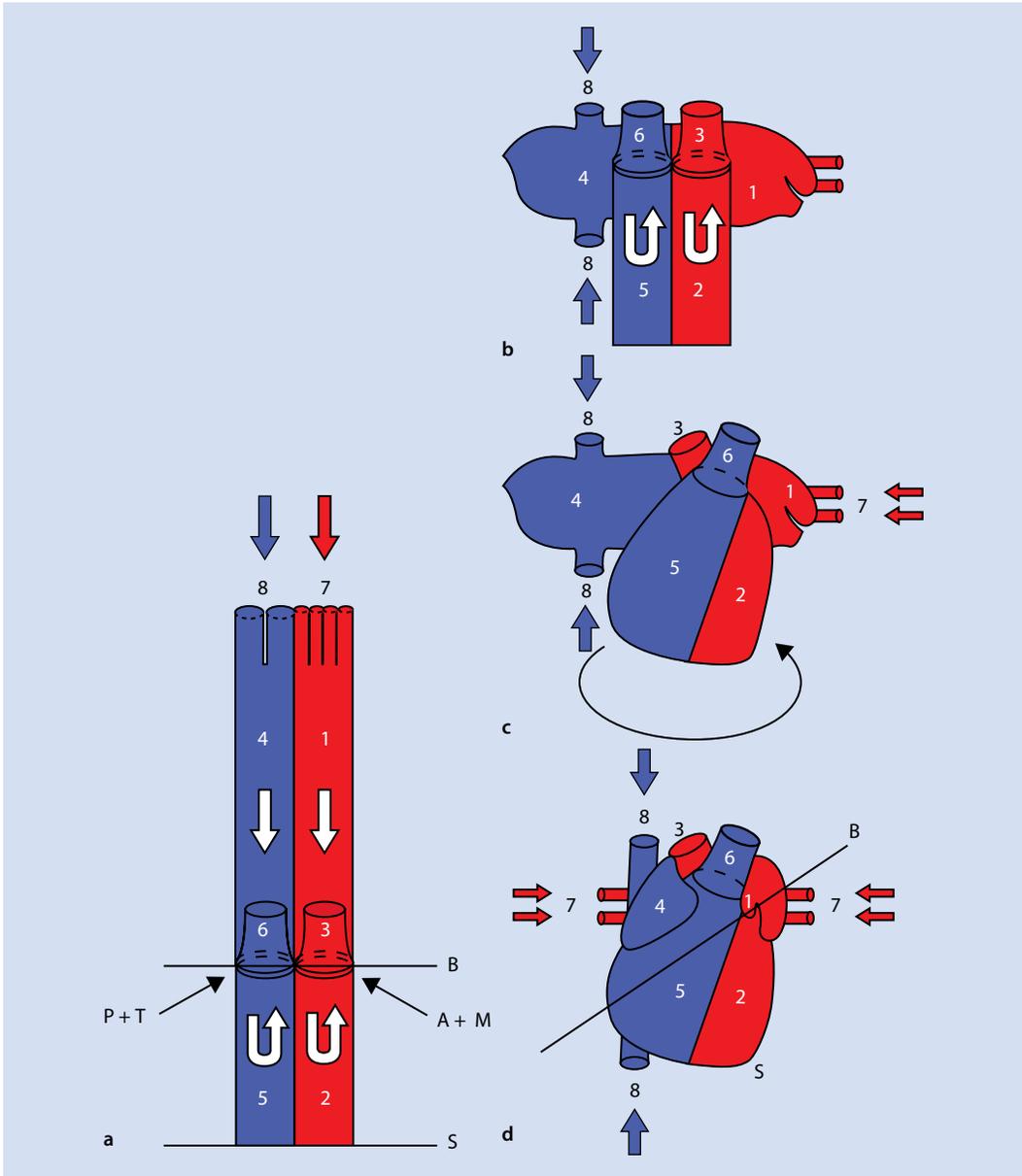
### 1.3 Was leistet ein Herz?

Beim Erwachsenen pumpt das Herz am Tag etwa 7.000–10.000 Liter Blut durch den Körper und im Jahr ca. 2,5 Millionen Liter. Nach 80 Jahren hat es mindestens 200 Millionen Liter gepumpt. Die tatsächliche Leistung ist noch weit höher, da sich diese Rechnung auf den ruhenden Körper bezieht. Bei Anstrengungen kann das Herz 3–5 Mal mehr Blut pumpen. Am meisten arbeitet die linke Herzkammer, die die größte Kraft zum Pumpen aufwenden muss.

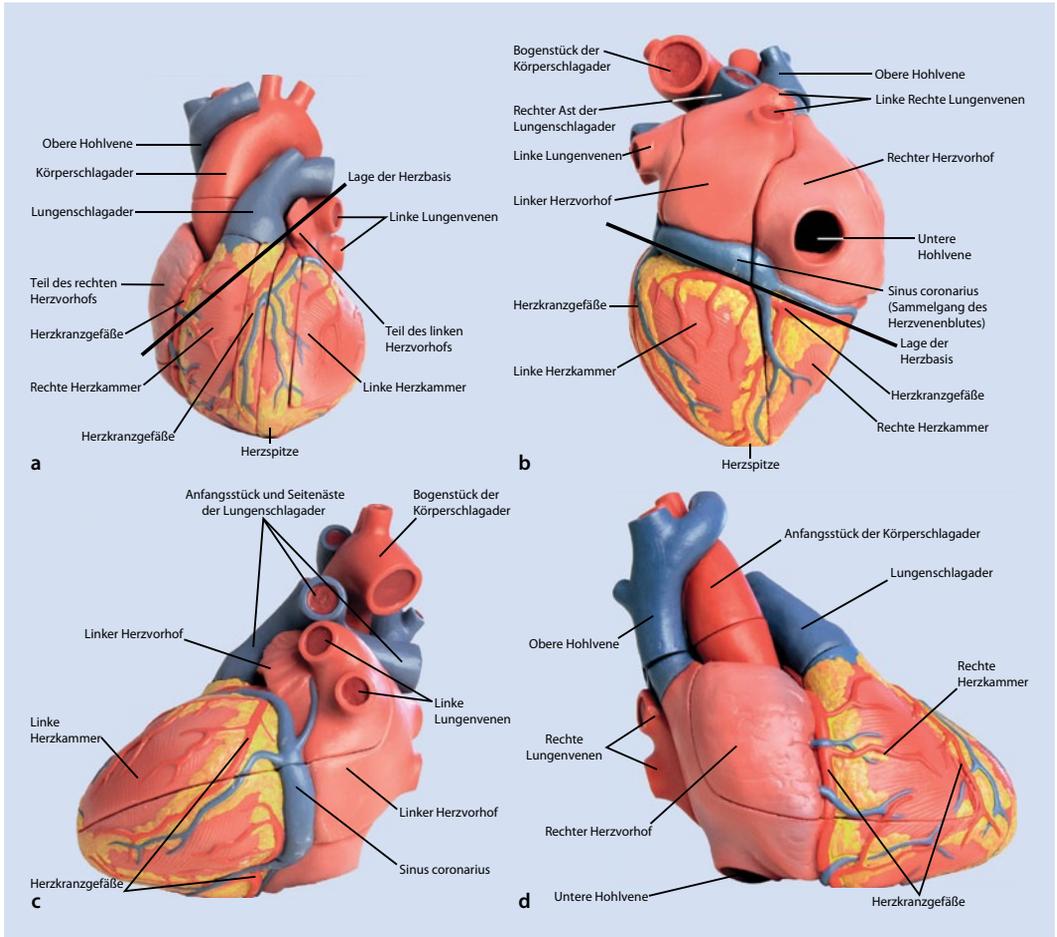
### 1.4 Wodurch wird ein Herz überfordert?

Das Herz wird überfordert, wenn

- es zu viel Blut aufnehmen muss,
- der Rhythmus der Herzschläge zu schnell/zu langsam ist,
- es mit zu viel Kraft gegen einen hohen Widerstand »anpumpen« muss,
- die Klappenventile undicht sind, d. h., das Herz die gleiche Arbeit wiederholt durchführen muss,
- die Arbeit von Vorhöfen und Pumpkammern durch Herzrhythmusstörungen schlecht abgestimmt ist (z. B. die Kammern Blut ansaugen wollen, ohne dass die Vorhöfe ausreichend gefüllt sind),
- die Muskulatur des Herzens zu wenig Sauerstoff und Nährstoffe bekommt, d. h., wenn die Herzmuskeldurchblutung gestört ist.



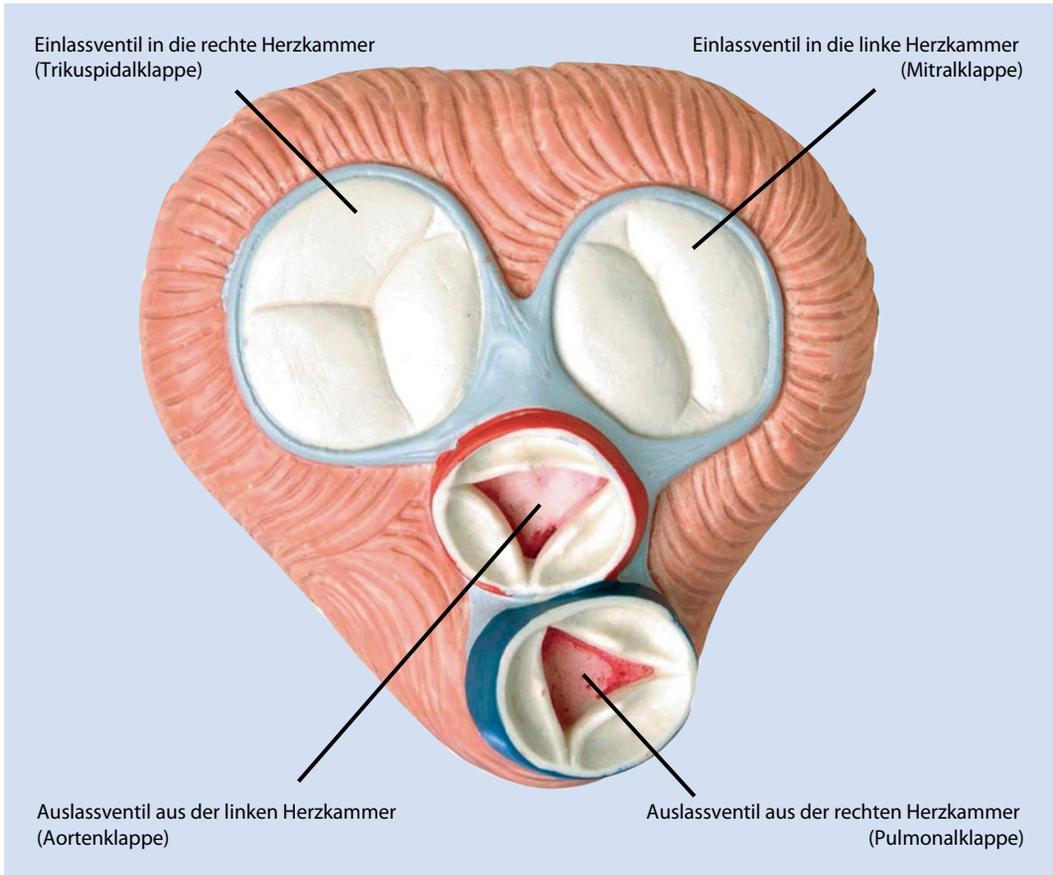
■ **Abb. 1.6 a–d.** a Wir legen den langen Doppelschlauch gedanklich wieder so zusammen, dass ein Herz entsteht. Den Schlauch falten wir zunächst in der Mitte des Kammerabschnittes (S) zusammen und klappen den unteren Abschnitt, den Vorhof, nach hinten oben. Dann ist der Schlauch schon deutlich kürzer. Die Ein- und Auslassventile der Kammer liegen nach der Faltung auf einer Ebene, Herzbasis (B) genannt. Die Knickstelle (S) wird zur Herzspitze. b Anschließend stauchen wir die Vorhöfe hinter dem Herzen etwas zusammen. Sie liegt dann in Höhe der Oberkante der Kammern und dem Anfangsteil der Körper- und Lungenschlagader. Dann ist der Schlauch noch kürzer. c Die zusammengefalteten Herzkammern drehen wir jetzt gegen den oberen Teil des Herzens, woraufhin sie nicht nebeneinander liegen, sondern schräg vor- und hintereinander. Die Knickstelle der Herzkammern, der unterste Punkt des Herzens, sieht nach der Drehung spitz aus (Herzspitze). Zusätzlich drehen wir die Arterien am Auslass der Kammern, sodass sie sich umeinander winden. Rechts und links der Arterien gibt es jetzt wieder etwas Platz für die Vorhöfe. d Die Spitze kippen wir noch um 40° nach vorne, und dann passt das Herz in den Herzbeutel. Seine Form entspricht dem des Herzmodells in ■ **Abb. 1.7a**



**Abb. 1.7 a–d.** a Vorderansicht des Herzens (nach dem Öffnen des vorderen Brustkorbs). b Ansicht des Herzens von hinten und unten (das Herz ist aus dem Brustkorb herausgenommen). c Linke Seite des Herzens (nach dem Öffnen des linken Brustkorbs). d Rechte Seite des Herzens (nach dem Öffnen des rechten Brustkorbs)

Ist das Herz andauernd überfordert, sinken die körperliche Belastbarkeit und Lebenserwartung durch »Verschleiß« des Herzens

Die körperliche Belastbarkeit des Kindes nimmt ab, weil das Herz seine Pumpleistung nicht steigern kann, um den Körper bei Mehrbedarf mit Sauerstoff zu versorgen. Die Lebenserwartung des Kindes verringert sich, weil das Organ Herz durch Mehrbelastung vorzeitig »verschleißt«. Daneben ist die Lebensqualität gemindert durch körperliche Schwäche, Luftnot und zahlreiche Folgen des Durchblutungs- oder Sauerstoffmangels der Körperorgane.



■ **Abb. 1.8** Herzbasis (die beiden Vorhöfe, die Körperschlagader und die Lungenschlagader sind vom Herz abgetrennt worden). Oben ist der zum Rücken hin gewandte Teil der Basis, unten der zum Brustbein hin gewandte Teil der Basis zu sehen

## 1.5 Welche Organe können durch Herzfehler geschädigt werden?

Das Herz selbst, die Lunge und Körperorgane können einen Schaden erleiden. Wenn Herzkammern zu viel Blut aufnehmen müssen, überdehnt sich ihre Muskelwand. Müssen sie gegen einen unnatürlich hohen Widerstand anpumpen, vermehrt sich ihre Wandmuskulatur und die Versorgung der Muskelzellen mit Sauerstoff wird knapp. In beiden Fällen kommt es zu einer Pumpschwäche der Herzkammern.

Wenn die Vorhöfe zu viel Blut aufnehmen müssen und ihre Wand überdehnt, schädigt dies das Erregungsleitungssystem mit der Folge von **Herzrhythmusstörungen**.

Eine Schädigung der Herzkammern führt zur Pumpschwäche, eine Schädigung der Vorhöfe zu Herzrhythmusstörungen



■ **Abb. 1.9** Trommelschlegelfinger mit Uhrglasnägeln. Überschießendes Knochenwachstum der Finger- und Zehenendglieder mit Verformung der Nägel bei Blausucht durch einen Herzfehler. Aus: Mutius E, Gappa M, Eber E, Frey U (2014) Pädiatrische Pneumologie. 3. Aufl. Springer, Berlin-Heidelberg-New York

Durch zu hohen Blutdruck und in der Folge Schäden der Lungenadern entsteht die Eisenmenger-Reaktion

Sauerstoffmangel führt zur bläulichen Verfärbung der Haut, der Zyanose

Pumpt das Herz mit zu großem Druck Blut in die Lunge, nehmen die Lungenadern Schaden, d. h., die Wand der zarten Adern verdickt und verhärtet sich. Die Lungenadern lassen zuletzt nur noch wenig Blut durch den Lungenkreislauf hindurchfließen. Der Widerstand im Lungenkreislauf steigt an, messbar in einer Herzkatheteruntersuchung als Wood-Einheiten (WE). Die Erkrankung heißt **Eisenmenger-Reaktion**.

Wenn fehlgebildete Herzen fälschlicherweise sauerstoffarmes Blut in den Körperkreislauf pumpen – anstatt zur Lunge –, leiden die Organe unter chronischem Sauerstoffmangel. An der Haut erkennt man eine bläuliche Verfärbung, die Blausucht (Bezeichnung: **Zyanose**).

Herzfehler mit Blausucht können aufgrund der Sauerstoffunterversorgung weitere körperliche Veränderungen nach sich ziehen wie Trommelschlegelfinger (■ Abb. 1.9). Fehlbildungsbedingt vergrößerte Herzen können einen vorgewölbten Brustkorb, den sogenannten Herz buckel hervorrufen.

# Die Untersuchung des Kindes und seines Herzens

*Ulrike Blum, Hans Meyer, Philipp Beerbaum*

- 2.1 Wonach fragt der Arzt? Wie wird das Kind untersucht? – 14**
- 2.2 Welche Herzuntersuchungen gibt es? – 15**
  - 2.2.1 Abhören mit dem Stethoskop – 15
  - 2.2.2 Pulsoxymetrie – Sauerstoffsättigung im Blut – 16
  - 2.2.3 Elektrokardiografie (EKG) – 17
  - 2.2.4 Röntgenuntersuchung des Brustkorbs – 17
  - 2.2.5 Ultraschall – Echokardiografie – 19
  - 2.2.6 Magnetresonanztomografie (MRT) – 20
  - 2.2.7 Herzkatheteruntersuchung – 24
  - 2.2.8 Andere Untersuchungen – Computertomografie (CT) mit Kontrastmittel – 26