

## 2 Blut und Immunsystem

### 2.1 Aufgaben und Zusammensetzung des Blutes

Das Blut (Häm) dient nicht nur den Atemgasen Sauerstoff und Kohlendioxid als flüssiges Transportmittel aus der Lunge in die Organsysteme und zurück, sondern verteilt auch Wirkstoffe (z. B. Hormone) sowie Nähr- und Abfallstoffe innerhalb des Körpers. Es übernimmt die wichtigen Funktionen der Abwehr und Gerinnung, ist an der Wärmeregulation beteiligt und stellt dem Körper Puffersysteme (S. 536) zur Verfügung.

#### 2.1.1 Blutvolumen und Blutbestandteile im Überblick

##### Blutvolumen

Der menschliche Körper besteht zu etwa

- 41 % aus festen Stoffen und
- 59 % aus Flüssigkeiten (► Abb. 2.1).

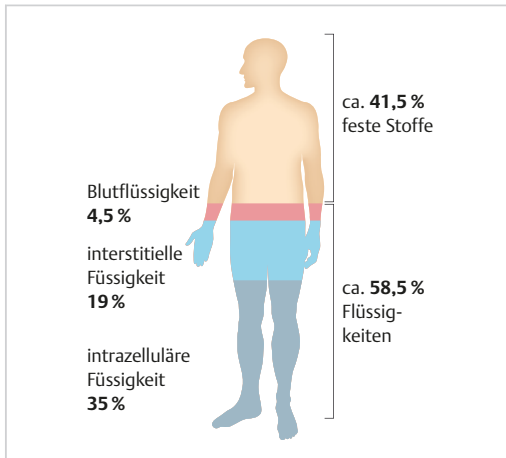


Abb. 2.1 Verteilung der Körperflüssigkeiten.

Ca.  $\frac{2}{3}$  des Körpergewichtes bestehen aus Flüssigkeiten, nur gut  $\frac{1}{3}$  aus festen Stoffen. (Schewior-Popp S, Sitzmann F, Ullrich L, Hrsg. Thiemes Pflege. 15. Auflage. Stuttgart: Thieme; 2020)

In den Arterien, Kapillaren und v. a. den Venen des Erwachsenen zirkulieren zwischen 4,5 und 6 l Blut (ca. 8 % des Körpergewichtes). Die Größe des Blutvolumens hängt dabei nicht nur von der Körperkonstitution und dem Lebensalter ab (ältere Menschen haben ein tendenziell geringeres Blutvolumen), sondern verändert sich auch kurzfristig je nach Flüssigkeits- und Salzaufnahme um bis zu 1,5 l. Das Blut steht mit der extrazellulären Flüssigkeit in den Geweben (interstitielle Flüssigkeit) in Verbindung.

Das gesamte extrazelluläre Flüssigkeitsvolumen, also Blut, Lympfflüssigkeit und interstitielle Flüssigkeit zusammen, beträgt ca. 15 l.

##### Blutbestandteile

###### Zelluläre Bestandteile

Blut ist keine homogene Flüssigkeit. Lässt man durch Zugabe von Natriumzitat ungerinnbar gemachtes Blut (z. B. eine Blutkonserve) einige Stunden stehen, setzen sich am Boden des Behältnisses die schweren zellulären Blutbestandteile ab (► Abb. 2.2). Hierzu gehören:

- Erythrozyten (rote Blutkörperchen)
- Leukozyten (weiße Blutkörperchen)
- Thrombozyten (Blutplättchen)

###### Plasma und Serum

Dieser zellulären Schicht folgt als Überstand eine klare gelbliche Flüssigkeit, das *Blutplasma*. Wenn man dieses Plasma abnimmt und ihm seine gerinnungsaktiven Eiweißstoffe entzieht, erhält man das etwas dünnflüssigere *Serum*. Plasma und Serum enthalten keine Zellen mehr, sondern ausschließlich gelöste Salze, kleinmolekulare organische Substanzen (Zucker, Aminosäuren, Fettsäuren, Harnstoff usw.) und Eiweiße.

##### Merke

**Plasma** ist Blut ohne zelluläre Anteile. **Serum** ist Plasma ohne Gerinnungsfaktoren.



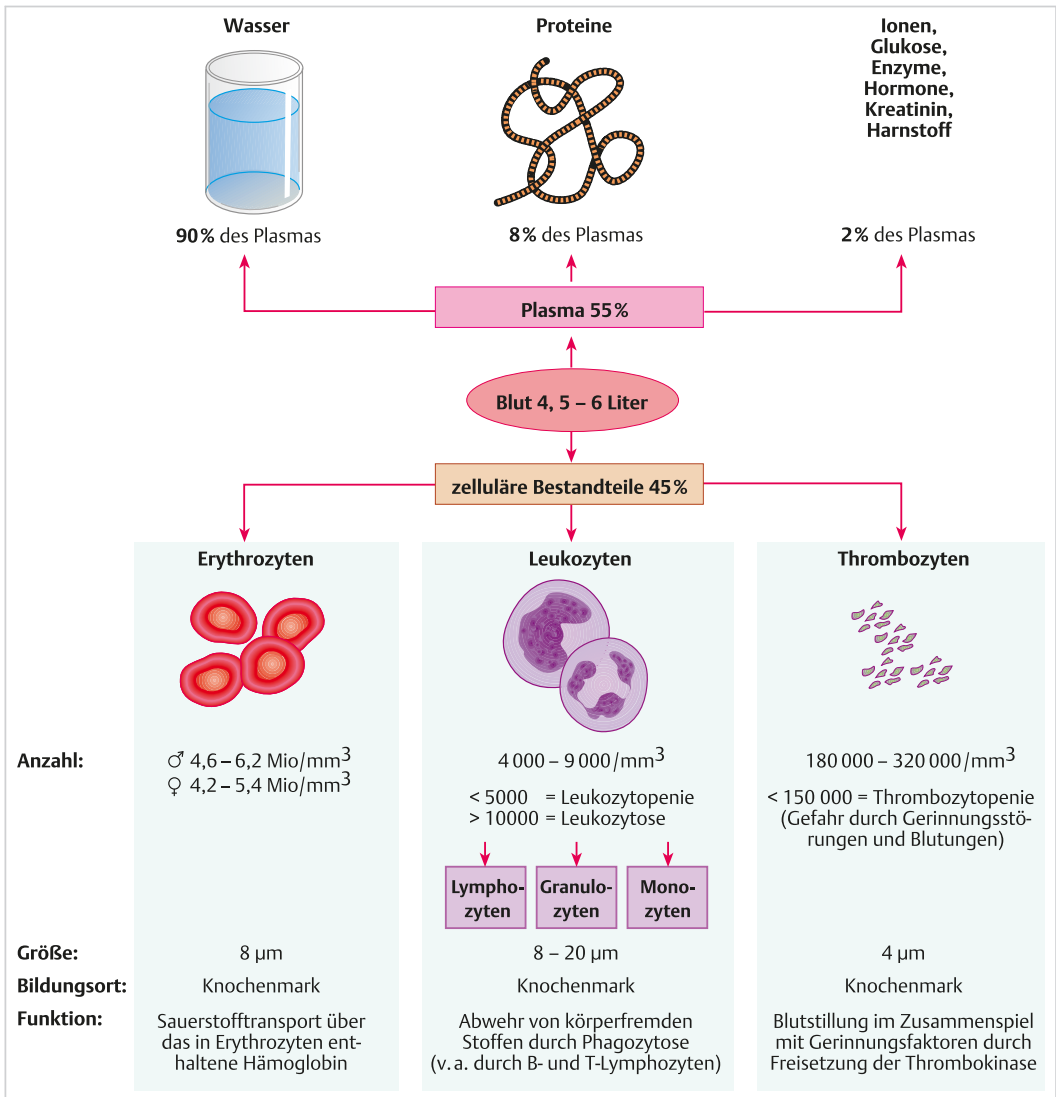


Abb. 2.2 Feste und flüssige Bestandteile des Blutes. Blutzellen machen etwa 45% des Blutvolumens aus (Hämatokritwert, Hkt). Den überwiegenden Anteil bilden die roten Blutkörperchen (Erythrozyten), während Blutplättchen (Thrombozyten) wegen ihres geringen Durchmessers und weiße Blutkörperchen (Leukozyten) wegen ihrer geringen Zahl kaum ins Gewicht fallen. (Schewior-Popp S, Sitzmann F, Ullrich L, Hrsg. Thiemes Pflege. 15. Auflage. Stuttgart: Thieme; 2020)

### Hämatokrit

Der prozentuale Anteil der Blutzellen am gesamten Blutvolumen wird als **Hämatokritwert** (auch Hämatokrit, Hkt oder Hk) bezeichnet. Im Labor bestimmt man den Hämatokritwert durch Zentrifugieren eines blutgefüllten Kapillarröhrchens. Diese Methode dauert nur wenige Minuten. Die zellulären

Bestandteile werden dabei enger zusammengepresst, sodass zwischen den Zellen kaum mehr Plasma verbleibt. Der Hämatokritwert ergibt sich dann aus der Länge der Zellsäule im Vergleich zur gesamten Blutsäule. Da die Erythrozyten den Hauptteil der zellulären Bestandteile ausmachen, ist der Hämatokritwert auch weitgehend Beurteilungskriterium für diese.

Bei Frauen liegt der Hkt bei ca. 40–44%, bei Männern geringfügig höher (43–47%). Diese geschlechtsspezifischen Unterschiede sind hauptsächlich hormonell bedingt. Neugeborene haben einen hohen Hämatokritwert von durchschnittlich 60% (Kleinkinder: Hkt 40%).

**Pflege**



**Hoher Hämatokrit**

Die Zähigkeit (Viskosität) des Blutes hängt wesentlich vom Hämatokritwert ab: Ein zu hoher Hkt (entweder infolge abnormer Blutzellenvermehrung oder durch Verlust von Blutplasma) kann zu einem Blutstau in den Kapillaren und damit zu einem Blutdruckanstieg, sowie zu Thrombosen (Gerinnsel im Gefäßsystem) führen.

Ältere Menschen trinken häufig zu wenig und erleiden dadurch einen Flüssigkeitsmangel (Dehydratation, Exsikkose). Das Blut wird zähflüssig und der Hämatokritwert steigt. Auch durch starkes Schwitzen kann der Körper mehrere Liter Wasser verlieren. Wird ihm nicht wieder ausreichend Flüssigkeit zugeführt, steigt ebenfalls das Thrombose-Risiko.

**Niedriger Hämatokrit**

Ein niedriger Hämatokritwert entsteht z. B. aufgrund einer mangelnden Erythrozytenproduktion, einer Blutverdünnung durch Infusionen oder durch Trinken großer Mengen salzhaltiger Flüssigkeit (Isodrinks). Die Zirkulation wird beschleunigt und die „Umwälzrate“ des Blutes steigt. Durch die beschleunigte Blutpassage wird das Herz mit zusätzlichem Volumen belastet, sodass ein geringer Hkt bei herzkranken Patienten genauso gefährlich ist wie ein zu hoher.

**Merke**



Der **Hämatokritwert** gibt den Anteil der Blutzellen am gesamten Blutvolumen wieder. Seine Aussage bezieht sich dabei weitestgehend auf die Erythrozyten, da sie mehr als 99% der Blutzellen ausmachen. Je höher der Hämatokrit, desto zähflüssiger (visköser) wird das Blut.

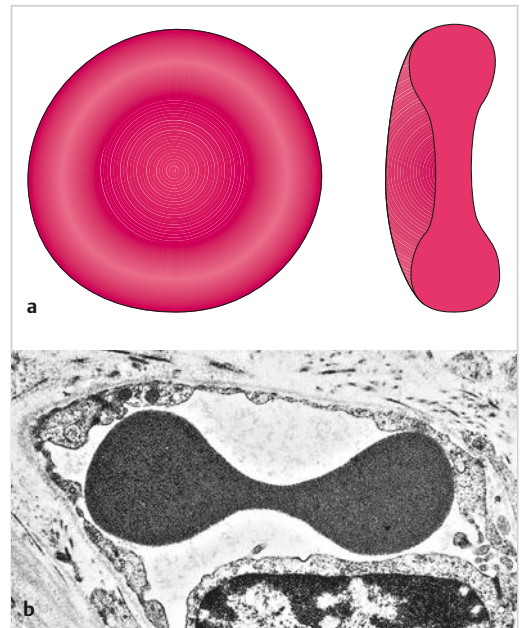
**2.1.2 Erythrozyten**

**Aufgaben**

Die Hauptaufgabe der roten Blutkörperchen (Erythrozyten) ist der Transport von Sauerstoff (O<sub>2</sub>) von der Lunge zu den Körperzellen und von Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>) in umgekehrter Richtung. 1 µl Blut enthält bei der Frau etwa 4,5 Millionen und beim Mann ca. 5 Millionen rote Blutkörperchen.

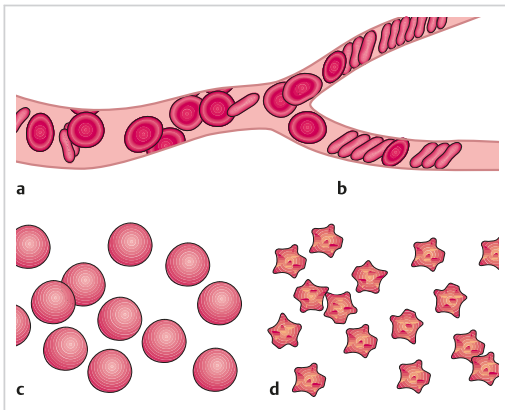
**Form**

Die Erythrozyten (► Abb. 2.3) haben einen Durchmesser von etwa 7 µm. In der Mitte sind sie beidseitig eingedellt und haben so die Form einer doppelt eingedrückten Scheibe. Diese Form gewährleistet eine relativ große Oberfläche bezogen auf das Volumen, was für eine schnelle Be- und Entladung mit Sauerstoff wichtig ist. Aufgrund ihres flexiblen Zytoskeletts sind die Erythrozyten ex-



**Abb. 2.3 Erythrozyten.**

- a** Die roten Blutkörperchen nehmen ohne äußere Einflüsse die Form einer doppelt eingedellten Scheibe an.
- b** Elektronenmikroskopische Aufnahme eines Erythrozyten in einem kleinen Blutgefäß. (Lüllmann-Rauch R, Asan E, Hrsg. Taschenlehrbuch Histologie. 6., vollständig überarbeitete Auflage. Stuttgart: Thieme; 2019)



**Abb. 2.4 Formveränderungen der Erythrozyten.** Erythrozyten liegen in größeren Blutgefäßen weitgehend ungeordnet aneinander (a). In kleineren Gefäßen ordnen sie sich hintereinander in Form sog. Geldrollen an (b). Sinkt die Konzentration an gelösten, osmotisch wirksamen Substanzen im Plasma, dann blähen sie sich zu Kugeln auf (c). Demgegenüber schrumpfen sie in einer Umgebung mit einer hohen Konzentration osmotisch wirksamer Stoffe zu einer sog. Stechapfelform zusammen (d).

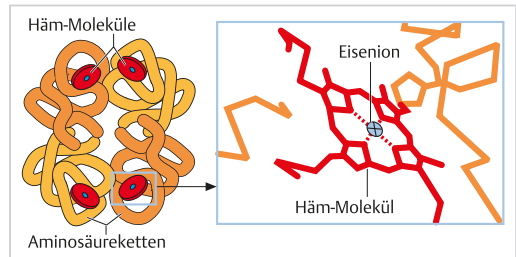
trem gut verformbar (► Abb. 2.4) und können sich auch durch Kapillaren zwingen, deren Durchmesser geringer ist als der Durchmesser der Blutkörperchen selbst. In Arteriolen und Venolen lagern sie sich häufig zu „Geldrollen“ zusammen und passieren als solche im Verband die Gefäße (Vorteil: geringerer Strömungswiderstand).

### Krankheitslehre



#### Formveränderungen

Veränderungen im Aussehen der Erythrozyten geben in vielen Fällen Aufschluss über *erbliche Erkrankungen* oder *Stoffwechselerkrankungen*. So kommen zu große Erythrozyten bei Vitamin-B<sub>12</sub>-Mangel vor, zu kleine bei Eisenmangel. Bei der erblichen Sichelzellanämie sind die roten Blutkörperchen in charakteristischer Weise verformt. Dies reduziert ihre mittlere Lebensdauer erheblich, sodass trotz einer gesteigerten Blutzellbildung zu wenig Transportkapazität für Sauerstoff zur Verfügung steht.



**Abb. 2.5 Hämoglobinmolekül.** Hämoglobin ist ein großes Eiweißmolekül mit einer Quartärstruktur (S. 28) aus 4 Einzelketten (links im Bild). Je 2 Aminosäureketten (Untereinheiten) sind identisch. Im Zentrum jeder Eiweißkette befindet sich ein Häm-Molekül, in dessen Mitte wiederum je ein Eisenion (rechts).

Erythrozyten sind zusammen mit den Blutplättchen (Thrombozyten) die einzigen Körperzellen, die keinen Zellkern mehr besitzen. Sie sind daher nicht mehr in der Lage, sich zu teilen oder neue Proteine zu produzieren.

### Lebensdauer und Abbau

Nachdem ein Erythrozyt von seinem Bildungsort, dem Knochenmark, in die Blutbahn gelangt ist, verbleibt er dort knapp 4 Monate (ca. 120 Tage, ► Tab. 2.1), bevor er – vorwiegend in der Milz – von *Makrophagen* abgebaut wird. Makrophagen sind Fresszellen, die auf *Phagozytose* (besondere Form der Endozytose) spezialisiert sind. Kriterium für die „Ausmusterung“ eines Erythrozyten ist v. a. die Verformbarkeit, die im Laufe seines Lebens abnimmt. Junge Erythrozyten sind dagegen flexibel und passieren die Milz unbeschadet.

Aus dem beim Abbau der Erythrozyten freierwerdenden Hämoglobin wird das wertvolle Eisen abgespalten und wiederverwendet. Die Abbauprodukte der anderen Bestandteile werden über die Leber und die Nieren ausgeschieden.

### Hämoglobin

Der rote Blutfarbstoff, das Hämoglobin (Hb), ist der Hauptbestandteil der Erythrozyten. Das Hämoglobinmolekül ist ein mittelgroßes Eiweißmolekül, das aus 4 (je 2 gleichartigen) Aminosäureketten aufgebaut ist. Jede Aminosäurekette trägt in ihrer Mitte ein sog. *Häm-Molekül* mit einem zentralen Eisenion (► Abb. 2.5). Jedes der 4 Eisenionen eines Hämoglobinmoleküls kann ein Sauerstoffmolekül

(O<sub>2</sub>) locker an sich binden und im Gewebe auch leicht wieder freigeben. Man spricht von einer *oxygenierten* (HbO<sub>2</sub>) und einer *nicht oxygenierten* Form (Hb) des Hämoglobins. Hämoglobin kann im Gegensatz zum Blutplasma sehr große Mengen Sauerstoff binden. Nur durch diese hohe Sauerstoffbindung des Hämoglobins kann das Blut die Organe ausreichend mit O<sub>2</sub> versorgen.

Auch das im Gewebe im Austausch gegen den Sauerstoff abgegebene Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>) wird teilweise an Hämoglobin gebunden zur Lunge gebracht, um dort abatmet zu werden. Der Großteil wird allerdings gelöst im Blutplasma transportiert.

### Krankheitslehre



#### Anämie

Jede *Minderung des Hb-Gehaltes des Blutes unter den Normwert* wird, unabhängig von der Ursache, als Anämie („Blutarmut“) bezeichnet. Durch den verminderten Sauerstofftransport in die Organe kommt es u. a. zu Kurzatmigkeit und einer verminderten Leistungsfähigkeit. Die Patienten sind blass.

Mögliche *Ursachen* sind eine Störung in der Hämoglobinbildung etwa durch Eisenmangel (Eisenmangelanämie). Dabei ist der Hb-Gehalt des einzelnen Erythrozyten erniedrigt, die Anzahl der Erythrozyten selbst unverändert. Allerdings sind die Erythrozyten blass (hypochrom) und meist kleiner.

Starker Blutverlust, eine gestörte Bildung oder verkürzte Lebensdauer von Erythrozyten führt zu einer Anämie durch eine reduzierte Anzahl der roten Blutkörperchen. Der Hb-Gehalt der einzelnen Zelle ist normal (normochrom).

Durch die Menstruation (Monatsblutung) kommt es immer wieder zu einem Verlust an roten Blutkörperchen. Verstärkte oder langandauernde Blutungen können eine medikamentöse Eisengabe notwendig machen, um die benötigte Menge an Eisen für die Neubildung von Erythrozyten bereitzustellen.

### Pflege



#### Pulsoxymeter

Mit einem Pulsoxymeter kann die periphere kapilläre Sauerstoffsättigung des arteriellen Blutes (S<sub>p</sub>O<sub>2</sub> = partielle Sauerstoffsättigung) bestimmt und so eine ausreichende Sauerstoffzufuhr zu den Organen kontrolliert werden. Zudem erfasst das Gerät den Pulsschlag und gibt so einen ersten Anhaltspunkt zur Kreislaufsituation. An der Fingerspitze, einem Zeh, dem Ohr läppchen oder bei Neugeborenen auch an der Ferse wird ein Messclip befestigt und das Ergebnis auf einen Monitor übertragen, meist zusammen mit der Herz- und Atemfrequenz, dem Blutdruck und einem EKG. Die Pulsoxymetrie ist ein wichtiges Hilfsmittel bei der Überwachung frühgeborener Säuglinge und in der allgemeinen Intensiv- und Notfallmedizin.

### Merke



Erythrozyten transportieren – an Hämoglobin gebunden – Sauerstoff und Kohlendioxid zwischen der Lunge und den übrigen Körperorganen hin und her. Im Wesentlichen besteht ein Erythrozyt aus seiner Plasmamembran, ein wenig Zytoskelett und massenhaft Hämoglobin. Erythrozyten besitzen weder einen Zellkern noch Zellorganellen und können sich daher nicht mehr teilen.

## 2.1.3 Leukozyten

### Aufgaben

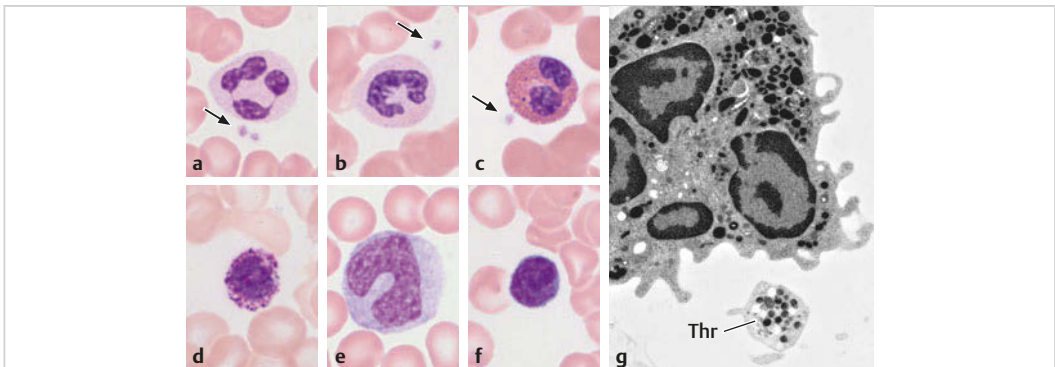
Die weißen Blutkörperchen (Leukozyten) sind die aktiven Elemente der Immunabwehr. Sie kommen sowohl im Blut als auch in der interstitiellen Flüssigkeit, also im Gewebe, vor und können zwischen Blut und Gewebe hin und her wandern. Es werden 3 Gruppen unterschieden, deren Lebensdauer stark variiert (► Tab. 2.1):

- Granulozyten (neutrophile, eosinophile und basophile)
- Lymphozyten
- Monozyten

Tab. 2.1 Lebensdaten einiger Blutzellen.

| Zellart                 | Verweildauer im Blut                  | Lebensdauer im Interstitium      |
|-------------------------|---------------------------------------|----------------------------------|
| Erythrozyt              | 120 Tage                              | –                                |
| Thrombozyt              | 10 Tage, wenn nicht vorher verbraucht | –                                |
| Neutrophiler Granulozyt | <1 Tag                                | 1–2 Tage                         |
| Monozyt                 | Ca. 1 Tag                             | Tage bis Wochen (als Makrophage) |

Tabelle nach Lüllmann-Rauch R, Asan E, Hrsg. Taschenlehrbuch Histologie. 6., vollständig überarbeitete Auflage. Stuttgart: Thieme; 2019



**Abb. 2.6 Blutausstrich.** Die weißen Blutkörperchen sind umgeben von Erythrozyten und Blutplättchen (Thrombozyten, Pfeile) a. neutrophiler Granulozyt (segmentkernig) b. neutrophiler Granulozyt (stabkernig) c. eosinophiler Granulozyt d. basophiler Granulozyt e. Monozyt f. kleiner Lymphozyt g. Elektronenmikroskopische Aufnahme eines neutrophilen segmentkernigen Granulozyten und eines Thrombozyten (Thr). Die Segmente des Zellkerns und die Granula im Zytoplasma sind gut zu erkennen. (Lüllmann-Rauch R, Asan E, Hrsg. Taschenlehrbuch Histologie. 6., vollständig überarbeitete Auflage. Stuttgart: Thieme; 2019)

## Anteile im Blut

Einen Aufschluss über das prozentuale Verhältnis der einzelnen Leukozytenfamilien im Blut zueinander liefert das Differenzialblutbild (S.77). Es dient der Diagnostik von Blutkrankheiten, Infektionen oder Entzündungen. Hier können folgende Leukozyten unterschieden werden (► Abb. 2.6):

- **Neutrophile Granulozyten** (60% aller Leukozyten): Das Zytoplasma der neutrophilen Granulozyten (kurz Neutrophile, 10–12 µm Durchmesser) enthält feine Granula (Körnchen), die sich weder mit sauren noch mit basischen Farbstoffen anfärben lassen. Ihre Kerne sind zunächst stabförmig (jung). Ältere Zellen zeigen, wie die übrigen Granulozyten auch, einen segmentförmigen Kern.
- **Eosinophile Granulozyten** (3%): Die Granula der eosinophilen Granulozyten (Eosinophile, 12 µm Durchmesser) reagieren mit dem sauren Farbstoff Eosin rot.
- **Basophile Granulozyten** (1%): Die basophilen Granulozyten (Basophile, 10 µm Durchmesser) sind etwas kleiner, ihre groben Granula färbt der basische Farbstoff Hämatoxylin blau.
- **Monozyten** (6%): Die bis zu 20 µm großen Monozyten besitzen einen U-förmigen Kern.
- **Lymphozyten** (30%): Lymphozyten sind im Durchmesser 8–10 µm groß. Der große rundliche Kern füllt einen Großteil des Zellkörpers aus und lässt wenig Platz für das Zytoplasma.

## 2.1.4 Thrombozyten

### Aufgaben

Die Thrombozyten sind wesentlich an der Blutgerinnung beteiligt. Sie befinden sich ausschließlich im Blut (► Abb. 2.6). Ihre Lebensdauer beträgt etwa 10 Tage (► Tab. 2.1), wenn sie nicht vorher bei Gerinnungsvorgängen „verbraucht“ werden.

### Form und Anzahl

Thrombozyten sind kernlose Bruchstücke von Knochenmarksriesenzellen (Megakaryozyten). Von diesen großen Zellen (30–60 µm Durchmesser) schnüren sich permanent Zehntausende, von Blutplättchen als unregelmäßig geformte, 1–4 µm große Scheibchen ab, deren Dicke weniger als 1 µm beträgt. Wie die Erythrozyten haben auch die Thrombozyten keinen Zellkern mehr und erscheinen unter dem Mikroskop als Zellfragmente mit einem reichen Einschluss von Granula, die ihre Inhaltsstoffe bei Gerinnungsvorgängen freisetzen. 1 µl Blut enthält 180 000–320 000 Thrombozyten, also ca. 50-mal weniger als Erythrozyten, jedoch immer noch 30-mal mehr als Leukozyten.

#### Krankheitslehre



#### Veränderung der Thrombozytenzahl

Eine Vermehrung der Thrombozytenzahl heißt *Thrombozytose*, eine Verminderung *Thrombozytopenie*. Bei Zahlen unter 50 000 je µl Blut entstehen punktförmige Haut- und Schleimhautblutungen (Petechien) sowie Blutergüsse (Hämatome) im Unterhautgewebe und in der Muskulatur. Sinkt der Wert unter 10000/Mikroliter Blut können lebensgefährliche Blutungen auftreten.

## 2.1.5 Blutplasma

Blutplasma, der zellfreie Anteil des Blutes, enthält 90% Wasser und 10% darin gelöste Stoffe. Diese setzen sich zusammen aus

- Eiweißen (Plasmaproteine),
- Salzen (Elektrolyten) und
- kleinen organischen Substanzen (wie Nahrungs- und Stoffwechselprodukte, Vitamine, Hormone).

## Plasmaproteine

### Einteilung

Das menschliche Blutplasma enthält 70–80 g Eiweiß/l, und ist deshalb viel visköser als Wasser. Die etwa 100 verschiedenen Plasmaproteine – ohne die zur Gerinnung genutzten Proteine heißen sie Serumproteine – werden aufgrund ihrer Größe, Form und Ladungseigenschaften eingeteilt in:

- Albumine
- Globuline ( $\alpha_1$ -,  $\alpha_2$ -,  $\beta$ - und  $\gamma$ -Globuline)

Plasmaproteine sind i. d. R. recht große Moleküle mit einem Molekulargewicht von 69 000 Da (Albumin) bis zu 1,3 Mio. Da ( $\beta$ -Globulin). Mit Ausnahme der  $\gamma$ -Globuline werden Plasmaproteine von der Leber synthetisiert und an das Blut abgegeben. Sie übernehmen zahlreiche Aufgaben und stellen außerdem aufgrund ihrer hohen Konzentration eine schnellverfügbare Eiweißreserve für den Körper dar.

### Aufgaben

Plasmaproteine

- bauen den kolloidosmotischen Druck auf,
- dienen als Transportmittel,
- haben Pufferfunktionen für den pH-Wert,
- sorgen für die humorale Immunantwort,
- ermöglichen die Blutgerinnung.

► **Kolloidosmotischer Druck.** Die beträchtliche Größe der Plasmaproteine macht sie für die meisten Kapillarendothelien unpassierbar, sodass sich ein kolloidosmotischer Druck (S.340) im Gefäßinneren aufbaut. Erst dies ermöglicht eine ausgeglichene Flüssigkeitsbilanz im Kapillargebiet und verhindert, dass Ödeme entstehen. Da Albumin mengenmäßig den stärksten Anteil der Plasmaeiweiße ausmacht, ist es hauptverantwortlich für den kolloidosmotischen Druck.

► **Transportmittel.** Plasmaproteine dienen als Transportmittel für schlecht wasserlösliche oder seltene Wertstoffe. So werden die meisten metallischen Spurenelemente durch spezialisierte Plasmaproteine an ihren Wirkungsort gebracht (Eisen: Transferrin, Kupfer: Coeruloplasmin). Auch viele Vitamine und Hormone besitzen spezialisierte Transportproteine.

Bis zu  $\frac{1}{3}$  der gesamten Globulinfraction dient dem Transport von Neutralfetten und Cholesterin

( $\alpha$ - und  $\beta$ -Lipoproteine), die in freier, wasserunlöslicher Form zu größeren Fetttropfen verschmelzen und die Kapillaren verstopfen würden.

Außerdem binden eine Reihe von Medikamenten und schlecht wasserlöslichen körpereigenen Abfallstoffen unspezifisch an diverse Plasmaeiproteine, besonders an das reichlich vorhandene Albumin. Ein wichtiges Beispiel ist das Abbauprodukt des Hämoglobins, das Bilirubin (S.460).

► **Pufferfunktion, Immunantwort, Blutgerinnung.** Plasmaeiproteine tragen weiterhin dazu bei, den pH-Wert (S.536) des Blutes bei 7,4 konstant zu halten (Pufferfunktion). Mittels der  $\gamma$ -Globuline sorgen sie für die nicht zellvermittelte (humorale) Immunantwort. Schließlich gehören auch die Gerinnungsfaktoren zu den Plasmaeiproteinen und nur mit ihrer Hilfe ist eine reguläre Blutstillung möglich.

### Krankheitslehre



#### Anteilsverschiebung der Plasmaproteine

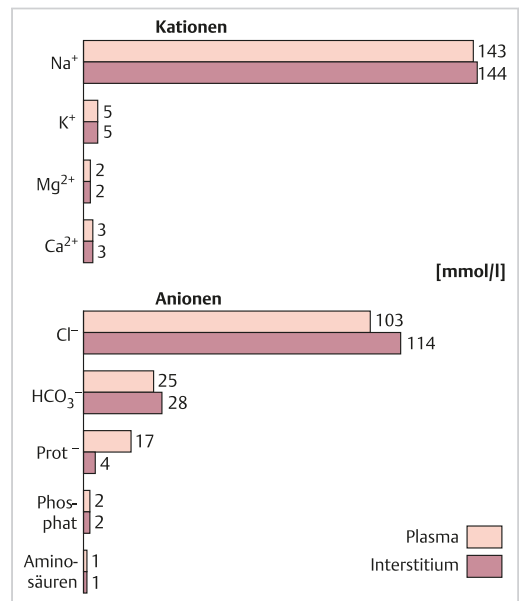
Eine Verschiebung der prozentualen Anteile der Plasmaproteine, z. B. eine Verminderung der Albuminkonzentration bei relativer Vermehrung der  $\gamma$ -Globulinfraction, kann die Folge einer gravierenden Funktionsstörung der Leber sein, also z. B. einer chronischen Virushepatitis oder einer Leberzirrhose.

## Elektrolyte

Die Zusammensetzung der Salze (Elektrolyte) im Blutplasma unterscheidet sich nur geringfügig von der extrazellulären Flüssigkeit im Gewebe (interstielle Flüssigkeit). Ein konstantes Ionenmilieu ist gerade für elektrisch erregbare Gewebe, wie das Nervensystem oder die Muskulatur, lebenswichtig. Daher variiert die Konzentration der Elektrolyte in erheblichem geringeren Umfang als andere Blutwerte.

Im Folgenden sind nur die Mittelwerte für den gesunden Menschen angegeben, da die klinischen Schwankungsbreiten je nach Bestimmungsmethode unterschiedlich ausfallen (► Abb. 2.7).

Wie in der gesamten extrazellulären Flüssigkeit dominieren auch im Plasma  $\text{Na}^+$  (143 mmol/l) und  $\text{Cl}^-$  (103 mmol/l), gefolgt von  $\text{HCO}_3^-$  (Bikarbonat, 25 mmol/l),  $\text{K}^+$  (5 mmol/l),  $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{Mg}^{++}$  und Phosphat (jeweils 2 – 2,5 mmol/l).



**Abb. 2.7 Ionenzusammensetzung der Körperflüssigkeiten.** Da das Blutplasma und die interstielle Flüssigkeit in einem ständigen Austausch miteinander stehen, ist auch ihre Zusammensetzung ähnlich. Die obere Abbildung listet die Kationen – also die positiv geladenen Ionen – auf, die untere die negativ geladenen Anionen. Beachten Sie, dass auch Proteine negative Ladungen tragen (Prot<sup>-</sup>).

### Pflege



#### Bestimmung von Elektrolyten

Die Bestimmung von Elektrolyten gehört zu jeder routinemäßigen Blutuntersuchung. Besondere Bedeutung hat dabei der Kaliumwert, weil eine zu hohe Kaliumkonzentration (Normbereich im Serum 3,6 – 5,4 mmol/l) zum Herzstillstand führen kann. Erhöhte Kaliumwerte sollten immer durch eine 2. unabhängige Blutabnahme überprüft werden, da schon ein zu langes Aufstauen der Vene (> 1 min) die Kaliumkonzentration fälschlicherweise erhöhen kann.

## Organische Substanzen

Außer den Elektrolyten findet sich im Plasma eine Vielzahl kleinmolekularer organischer Substanzen wie Glukose (4–7 mmol/l) und Aminosäuren



(0,2–1 mmol/l) sowie Stoffwechszwischenprodukte und Abfallstoffe (z. B. Harnstoff).

Das Blutplasma ist damit das universelle Transportmittel für sämtliche Stoffwechselprodukte des Körpers, die in mehr als einem einzigen Organ auftreten.

2

### Merke



Das Blutserum besteht aus Wasser, Elektrolyten (Natrium, Chlorid usw.), kleinmolekularen organischen Substanzen (Glukose, Aminosäuren usw.) und Eiweißen (Albumin, Globuline). Das Blutplasma enthält zusätzlich noch die Gerinnungsfaktoren.

## 2.2 Blutstillung, Blutgerinnung und Fibrinolyse

Kleinere Verletzungen wie eine Schramme oder einen Bluterguss bemerken wir oft erst, wenn bereits Schorf oder ein „blauer Fleck“ (Hämatom) entstanden sind.

Wie notwendig eine prompte Blutstillung ist zeigt sich an Menschen deren Gerinnungssystem gestört ist (Hämophilie, Bluter) und die bereits durch kleinere äußere oder innere Verletzungen einen lebensgefährlichen Blutverlust erleiden können.

### 2.2.1 Allgemeine Mechanismen

Die Blutstillung (*Hämostase*) und die Blutgerinnung (oftmals werden beide Vorgänge gemeinsam als Blutgerinnung bezeichnet) laufen in mehreren Schritten ab und sind lebenswichtige, streng regulierte Vorgänge. Bei einer zu starken Gerinnung riskiert der Körper, dass Blut auch an nicht verletzten Stellen gerinnt und als Thrombose den venösen Rückstrom des Blutes zum Herzen blockiert. Daher existieren Mechanismen, die sowohl das Entstehen als auch die Wiederauflösung eines Gerinnsels steuern und beide Prozesse in einem Gleichgewichtszustand halten.

An der Reparatur einer „undichten Stelle“ im Gefäßsystem wirken die *Gefäßwand*, *Thrombozyten* (Blutplättchen) und die *Gerinnungsfaktoren* (Plasmaeiweiße) mit.

Ein weiteres System, die *Fibrinolyse*, sorgt für die Auflösung eines Blutgerinnsels, wenn dieses nicht mehr benötigt wird.

### Krankheitslehre



#### Hämorrhagische Diathese

Eine hämorrhagische Diathese ist eine Gerinnungsstörung mit erhöhter Blutungsneigung. Sie kann sich als leichte Form mit ungefährlichen „blauen Flecken“ (Hämatome) zeigen, aber auch so schwerwiegend sein, dass schon Bagatellverletzungen zu schweren Blutungen führen. Ursächlich sind Fehler im Gerinnungssystem oder in der Funktion der Thrombozyten.

### Krankheitslehre



#### Thrombose und Thromboseprophylaxe

Im Gegensatz zur erhöhten Blutungsneigung besteht bei einer zu starken Gerinnungsbereitschaft die Gefahr der Thrombose. Ein Blutpfropf (Thrombus), der sich an der Innenwand des Gefäßes bildet, verlegt das Gefäß. Am häufigsten tritt dies als tiefe Bein- oder Beckenvenenthrombose (Phlebothrombose) auf. Begünstigt wird eine Thrombose durch Vorschädigung der Gefäßwände (Endothelschäden), eine herabgesetzte Blutströmungsgeschwindigkeit und eine veränderte Zusammensetzung des Blutes. Diese 3 Faktoren werden in der Virchow-Trias zusammengefasst.

Am stärksten gefährdet sind ältere, adipöse, immobile (bettlägerige) Menschen sowie Patienten, die sich z. B. nach einer Operation wenig bewegen dürfen. Es wird eine Thromboseprophylaxe nötig. Hierzu gehören das Tragen von Kompressionsstrümpfen (medizinische Thromboseprophylaxestrümpfe), eine möglichst schnelle Mobilisierung, physiotherapeutische Maßnahmen (z. B. Bettfahrrad) um die Muskelarbeit der Beine zu aktivieren, die Hochlagerung der Beine und die Gabe von Medikamenten, welche die Gerinnungsbereitschaft des Blutes herabsetzen. Dazu zählen niedrige Dosen Heparin, Kumarine oder Thrombozytenaggregationshemmer.

## 2.2.2 Blutstillung (primäre Hämostase)

### Thrombozytenaggregation

Wird ein Gefäß verletzt, dann zieht sich innerhalb von Sekunden die Gefäßwand durch aktive Muskelkontraktion zusammen und verengt so den zu verschließenden Querschnitt (*Gefäßreaktion*). Gleichzeitig wirken lokal aus der Gefäßwand freigesetzte Substanzen auf die Thrombozyten. Diese Stoffe binden sich an spezifische Membranrezeptoren und bringen die Blutplättchen dazu, sich spindel- oder stechapelförmig zu verformen. Dadurch verkeilen sich die Thrombozyten gegeneinander (*Aggregation*) und bilden einen Pfropf, der die Blutung zum Stillstand bringt. Dieser Vorgang wird auch als **primäre Hämostase** bezeichnet (► Abb. 2.8).

Diese Zusammenlagerung kann zunächst noch rückgängig gemacht werden, verfestigt sich aber bald zu einem nicht mehr aufzulösenden Pfropf. Da dieser Pfropf im Wesentlichen aus Blutplättchen („weißen“ Blutzellen) besteht und sich entlang der verletzten Gefäßwand aus der blutenden Wunde „abscheidet“, heißt er auch *weißer Abscheidungsthrombus*.

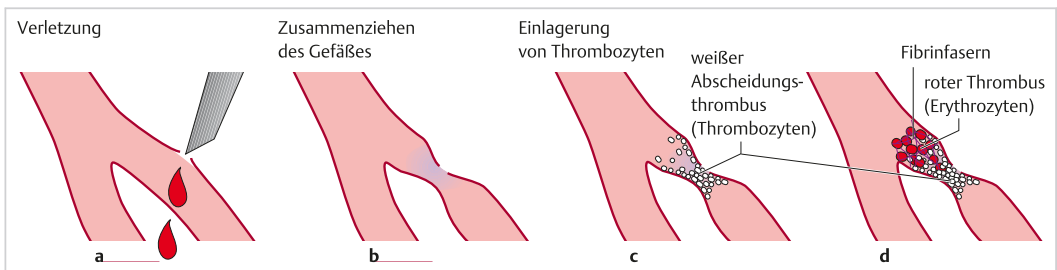
Während der Aggregation geben die Thrombozyten den Inhalt ihrer Vesikel frei. Diese enthalten gefäßaktive Substanzen, die ihrerseits die lokale Verengung des verletzten Blutgefäßes noch verstärken.

## Blutungszeit

Als **Blutungszeit** (BZ) wird die Zeit bezeichnet, die nach einer kleinen, künstlich gesetzten Verletzung bis zum Ende der Blutung vergeht. Sie dauert ca. 2–4 Minuten und gibt orientierende Auskunft über die Thrombozytenfunktion (primäre Hämostase). Zu den heute üblichen klinischen Untersuchungsverfahren zur Überprüfung der Blutungszeit gehören die labortechnische Bestimmung der Thrombozytenzahl und u. a. der Rumpel-Leede-Test, der zusätzlich Informationen über die Stabilität der Gefäßwände gibt.

## 2.2.3 Blutgerinnung (sekundäre Hämostase)

Der Thrombozytenpfropf ist nicht unbegrenzt haltbar. Nach wenigen Minuten lässt die Gefäßverengung im Verletzungsgebiet nach und der Pfropf kann das Gefäß nicht mehr wirksam verschließen. Daher setzt bereits zum Zeitpunkt der Verletzung ein langsamerer Mechanismus, die Blutgerinnung (sekundäre Hämostase), ein. Sie dient dazu, den Thrombozytenpfropf zu stabilisieren und einen endgültigen Gefäßverschluss zu erreichen. Der Gerinnungsfaktor *Fibrinogen* wird über eine Reihe enzymatischer Vorgänge zu stabilen *Fibrinmolekülen* umgebaut, die den Thrombus netzartig umgeben. In diesem Maschenwerk verfangen sich Erythrozyten und geben dem Thrombus nun ein rotes Aussehen (*roter Thrombus*, ► Abb. 2.9). Die Fibrinfäden ziehen sich weiter zusammen, wodurch sich die Wundränder nähern. Einwachsende Bindege-



**Abb. 2.8 Primäre Hämostase nach einer Gefäßverletzung.** Eine blutende Verletzung ist immer mit einem Defekt in der Wand eines Blutgefäßes verbunden (a). Die Gefäßmuskulatur zieht sich im Bereich der Verletzung zusammen und verkleinert damit die blutende Wunde (b). Aus der verletzten Gefäßwand dringen Substanzen in das Gefäß ein, die zum Anlagern von Thrombozyten führen – ein weißer Abscheidungsthrombus (Adhäsionspfropf) entsteht (c). Hinter dem weißen Abscheidungsthrombus stauen sich die Erythrozyten, die später in einem Maschenwerk aus Fibrinfäden gefangen werden. In diesem späten Stadium löst sich der weiße Abscheidungsthrombus bereits wieder auf und die Gefäßverengung lässt nach (d).