

### **Kapitel 08.10: Blut und Blutgruppen**



Blutprobe nach der Zentrifugation.  
Am Boden sieht man die festen Bestandteile.

**Inhalt**

Kapitel 08.10: Blut und Blutgruppen.....	1
Inhalt.....	2
Das Blut - Kurierdienst des Körpers.....	3
a) Die Aufgaben des Blutes.....	3
b) Zentrifugation von Blut.....	3
c) Die genaue Zusammensetzung des Blutes.....	4
Übersicht über die Blutbestandteile.....	4
Blutspenden rettet Leben!.....	5
Das Blutbild.....	6
Blutgerinnung (= Hämostase).....	7
Blutplasma.....	8
Ionen im Blutplasma.....	8
Die roten Blutkörperchen (=Erythrozyten) und ihre Zellmembran.....	9
Rote Blutkörperchen.....	9
Berechnung der Oberfläche.....	10
Weiße Blutkörperchen (= Leukozyten).....	11
Übersicht über die Typen der weißen Blutkörperchen.....	12
Thrombozyten (Blutplättchen).....	13
Grafiken von Blutkörperchen.....	13
Feste Blutbestandteile in der Übersicht.....	14
Bildung der Blutkörperchen.....	15
Das AB0-System und der Rhesusfaktor (Blutgruppen des Menschen).....	16
Die Geschichte der Bluttransfusion.....	17
Was ist das AB0-System?.....	18
Blutgruppenvererbung: AB0-System.....	19
Wie kommt die eigentliche Unverträglichkeit zustande?.....	20
Blutgruppenvererbung.....	21
Übersicht über die Merkmale der roten BK der entsprechenden Blutgruppen.....	22
Der Rhesusfaktor.....	23
Bedeutung des Rhesusfaktors.....	23
Beispiel: Gefährdung eines Kindes in der Schwangerschaft.....	23
Abhilfe gegen die Rhesusunverträglichkeit:.....	24
Blutgruppenverteilung in Bayern.....	24
Fragen zur Wiederholung.....	25

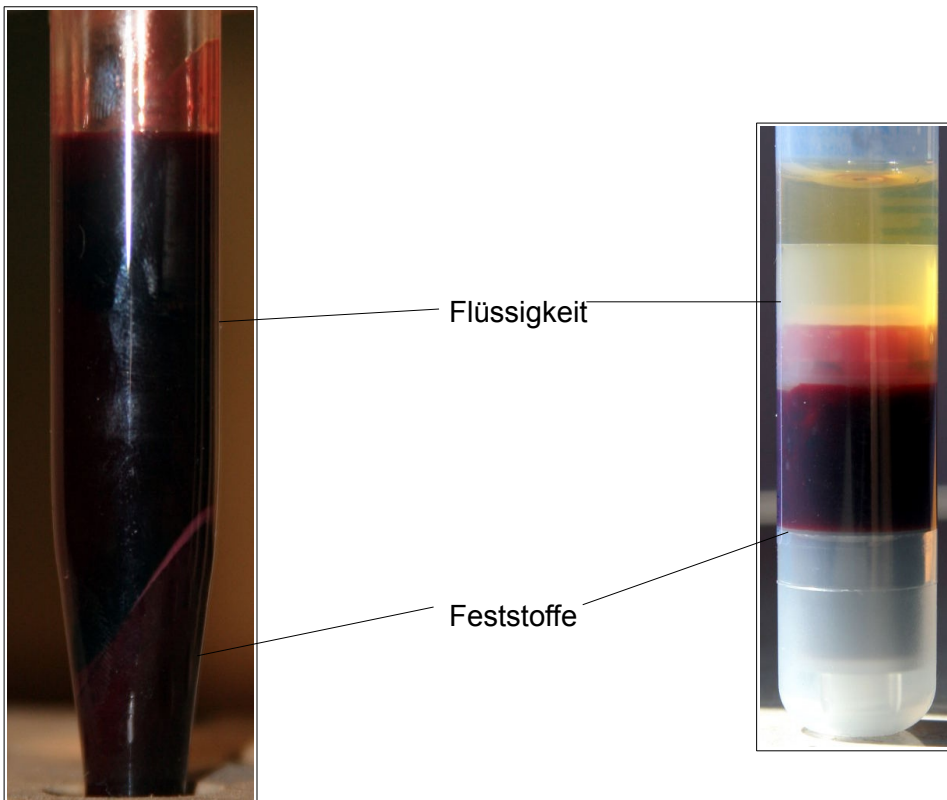
## Das Blut - Kurierdienst des Körpers

### **a) Die Aufgaben des Blutes**

- Transport von Nährstoffen (vom Darm zu den Organen)
- Transport von Sauerstoff (von der Lunge zu den Organen, Gehirn und Muskeln)
- Wassertransport durch den ganzen Körper
- Abtransport von Kohlenstoffdioxid (v.a. aus den Muskel- und Gehirnzellen)
- Wundverschluss
- Abwehr von Krankheitserregern

### **b) Zentrifugation von Blut**

Möchte man etwas über die Zusammensetzung von Blut erfahren, so kann man eine Probe einige Zeit stehen lassen, oder sie gleich zentrifugieren. Dabei wird eine Probe sehr schnell im Kreis gedreht (mit mehreren tausend Umdrehungen Pro Minute) - schwere Bestandteile setzen sich dabei unten im Probenglas ab.

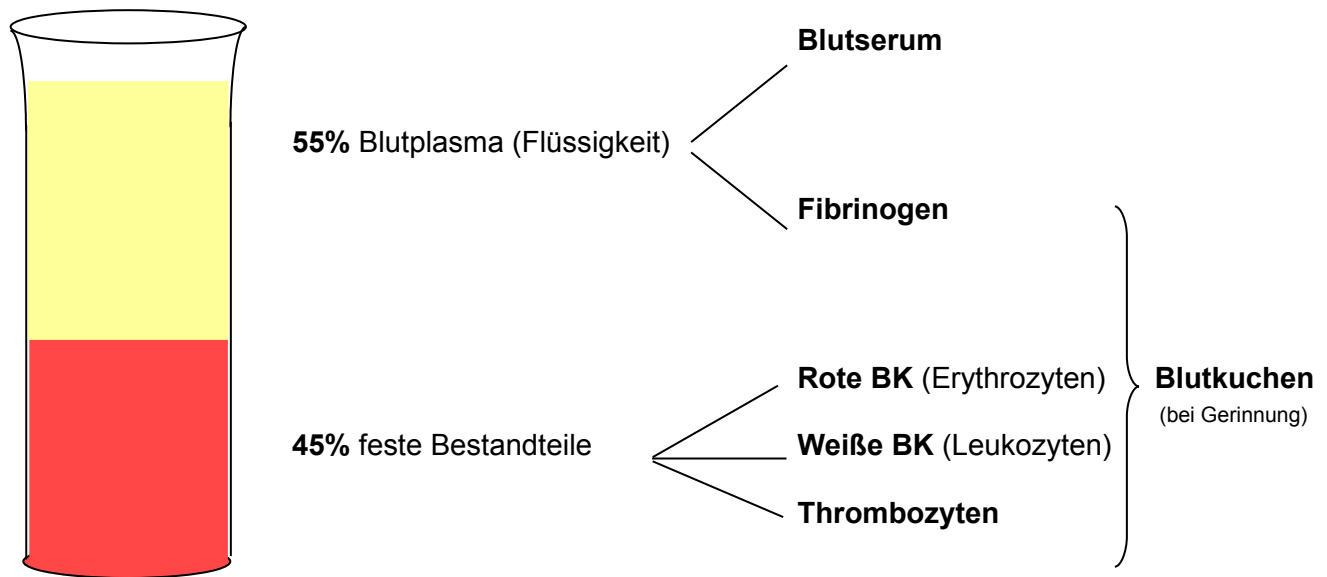


**Zentrifugation (Dauer: 2 min)**

**Hochgeschwindigkeitszentrifugation  
im Krankenhaus (Dauer: 20min)**

Man erkennt bei beiden Proben, dass der untere Teil dunkler ist. Er enthält die Feststoffe. Besonders fallen dabei die zahlreichen roten Blutkörperchen auf. Darüber befindet sich das flüssige Blutplasma.

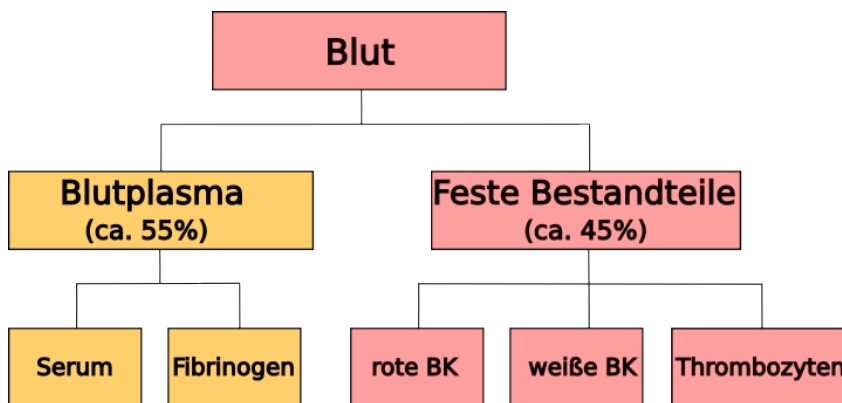
**c) Die genaue Zusammensetzung des Blutes**



**Im Plasma sind enthalten:**

- 90% Wasser
- 10% im Blut aufgelöste Nährstoffe, Mineralsalze, Vitamine, Eiweiße (sowie Fette, Hormone, Abwehrstoffe, Fibrinogen)
- Abfallprodukte des Stoffwechsels

**Übersicht über die Blutbestandteile**

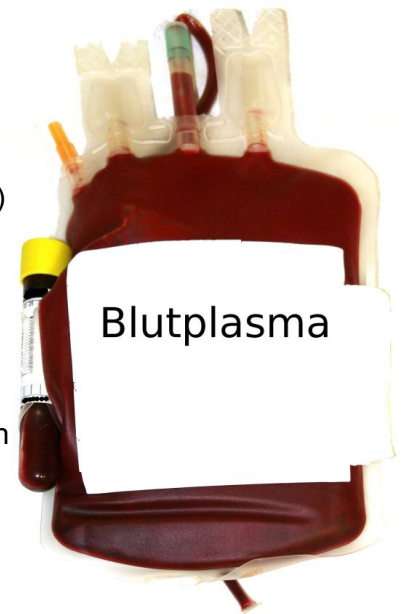


### **Blutspenden rettet Leben!**

Blutspenden sind für Krankenhäuser und „Erste Hilfe-Dienste“ ein sehr wichtiger Bestandteil. Dieses Blut wird für Unfallopfer und schwere Operationen benötigt. Es rettet menschliches Leben.

Beim Spenden, was ungefähr 10-20 Minuten dauert, gibt man über die Vene und eine dünne Nadel ca. 0,5l Blut ab, welches in einen Transportbeutel gelangt. Zusammen mit einem Antigerinnungsstoff ist es dann lange (gekühlt) haltbar.

Damit das Blut auch zum Empfänger passt, muss vor dem Spenden die Blutgruppe des Spenders bestimmt werden. Dies kann durch einen kleinen Tropfen Blut geschehen, welcher z.B. am Finger entnommen wird.



Da Blut in Deutschland in sehr großen Mengen gebraucht wird, gibt es von vielen Organisationen (als kleinen Anreiz) einen kostenlosen Blutcheck und eine finanzielle Aufwandsentschädigung (15-25 Euro).

Das entnommene Blut wird im Körper schnell neu gebildet. Der Körper ist also nicht in Gefahr. Allerdings sollte man etwas mehr trinken und am gleichen Tag nicht zu viel Sport treiben.


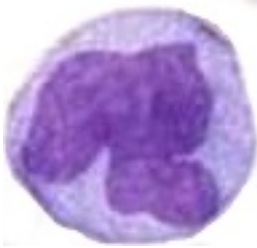
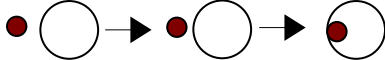

#### **Zusatzinformationen:**

<https://de.wikipedia.org/wiki/Blutspende>

### Das Blutbild

Wenn man einen Tropfen Blut mal unter dem Mikroskop betrachtet (lohnt sich aber erst im Grunde ab 350 - 400 facher Vergrößerung) kann man verschiedene Zelltypen beobachten.

Tipp: Mit Methylblau (oder Methylviolett) können die Zellkerne der weißen BK gefärbt werden.

	<b>Aussehen</b>	<b>Anzahl &amp; Größe</b>	<b>Aufgaben/ Besonderheiten</b>
<b>Rote BK</b>	Kernlose Zellen, rot 	5000 000 000/ mm <sup>3</sup> Ø 7µm	- enthalten den Blutfarbstoff Hämoglobin, dieser bindet O <sub>2</sub> / CO <sub>2</sub> - nur ca. 100 Tage Lebensdauer - Sie können sich nicht selbst vermehren und müssen aus Zellkernmangel produziert werden (z.B. vom Knochenmark). - Seltsames am Rande: beim Joggen werden sie zertreten
<b>Weiße BK</b>	kernhaltige Zellen, veränderbare Form 	6000/ mm <sup>3</sup> Ø 7-20 µm	- können sich aktiv fortbewegen - nur ca. 5% befinden sich im Blut, ca. 95% sind im Gewebe zu finden - Aufgabe: Immunabwehr - sie fressen Fresszellen z.B. Erreger und Fremdkörperchen auf (=Phagocytose).  <b>Kleine Skizze der Phagocytose:</b>   Erklärung: das weiße BK nähert sich einem Fremdkörper (rot) und nimmt ihn in sich auf.
<b>Thrombozyten</b>	Zellstückchen 	30 000/ mm <sup>3</sup> Ø 1,5-3 µm	- Ihr Aufgabe ist der schnelle Verschluss von Wunden. Sie dichten sozusagen den Körper bei Verletzungen von innen her ab. Dazu wandeln sie gelöstes Fibrinogen (ein Eiweiß) in unlösliches (und festes) Fibrin um, welches mit den Thrombozyten und Ca <sup>2+</sup> -Ionen ein dichtes Geflecht bildet => Wundverschluss  - setzen Gerinnungsfaktoren frei - zu viele Thrombozyten können eine Thrombose verursachen! - Bluter haben zu wenige Thrombozyten. Ein Wundverschluss ist kaum möglich!

Quelle Bild weißes BK: public domain by wikicommonsuser Rasbak & CS99; <https://commons.wikimedia.org/wiki/Image:PBMonozyt.jpg>

**Zusatzinformationen:**

<https://de.wikipedia.org/wiki/Blutbild>

<https://de.wikipedia.org/wiki/Thrombozyt>

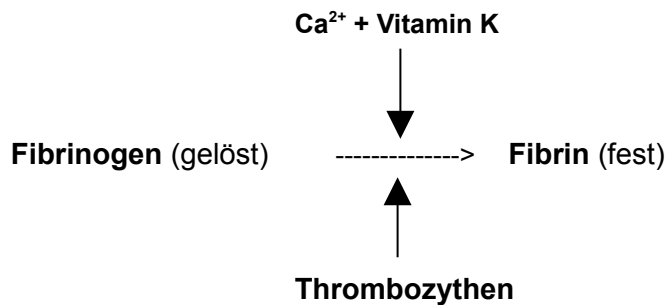
### **Blutgerinnung (= Hämostase)**

Wird ein Blutgefäß verletzt, muss die Blutungen schnell zum Stillstand kommen, da sonst die Gefahr von großem Blutverlust besteht. Der Körper kann solche Wunden, solange sie nicht zu groß sind schnell wieder verschließen. Nach dem Verschluss beginnt dann ein Verheilen der Wunde, wobei neues Gewebe durch Zellteilung der noch intakten (umliegenden) Zellen gebildet wird. Diesen zweiten (sich anschließenden) Vorgang nennt man Wundheilung.

Die Blutgerinnung beginnt mit dem Anlagern von Blutplättchen (=Thrombozyten). Sie „verstopfen“ das „Leck“. Sie werden nun nach und nach durch Eiweißfäden aus Fibrin fest zusammengefügt, so dass der zuerst lose Verschluss immer fester wird. Der entstehende Pfropf wird auch Schorf oder (v.a. In Bayern) Grind genannt.

Das Fibrin darf, solange keine Wunden vorhanden sind nicht im Blut vorhanden sein. Es könnte sonst Blutkörperchen verklumpen und somit zu einer Verstopfung der Blutgefäße und lebensbedrohlichen Zuständen führen.

Im Blut befindet sich deshalb nur eine „Vorform“, das sogenannte Fibrinogen. Durch Calciumionen, Vitamin K und einen Aktivator der Thrombozyten wird es in Fibrin umgewandelt.



Zur Lagerung von Blut, (ohne Gerinnung) wird einfach das freie Calcium gebunden, sodass es nicht an der Gerinnung teilnehmen kann. Dazu gibt es sogenannte „Calcium-Komplexbildnern“. Na<sup>+</sup>-Citrat ist ein solcher Komplexbilder.

#### **Zusatzinformationen:**

<https://de.wikipedia.org/wiki/Blutgerinnung>

Gerinnung im Detail:

[https://de.wikipedia.org/wiki/Bild:Coagulation\\_deutsch.png](https://de.wikipedia.org/wiki/Bild:Coagulation_deutsch.png)

[https://commons.wikimedia.org/wiki/Image:Coagulation\\_full.svg](https://commons.wikimedia.org/wiki/Image:Coagulation_full.svg)

## **Blutplasma**

Der flüssige Teil des Blutes, ohne Feststoffe wie Blutkörperchen wird als Blutplasma bezeichnet. Da die roten Blutkörperchen fehlen, ist es also nicht rot, sondern eher gelblich. Diese Färbung ist auf die enthaltenen Stoffe zurückzuführen. Es sind v.a. Zucker, andere Kohlenhydrate, Eiweiße, Fette, und Cholesterin.

Sein Anteil liegt bei ca. 55% des Blutes. Man kann es in unterteilen in Blutserum und Gerinnungsfaktoren. Blutplasma wird zur Blutspende eingesetzt.

### **Ionen im Blutplasma**

Na<sup>+</sup> ca. 136 bis 146 mmol/l

K<sup>+</sup> ca. 3,8 bis 5,2 mmol/l

Ca<sup>2+</sup> ca. 2,3 bis 2,7 mmol/l

Mg<sup>2+</sup> ca. 0,8 bis 1,2 mmol/l

Cl<sup>-</sup> ca. 96 bis 106 mmol/l

HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> ca. 24 bis 28 mmol/l

PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> ca. 1,0 bis 1,4 mmol/l

mmol = Millimol (1/1000 mol)

### **Zusatzinformationen:**

<https://de.wikipedia.org/wiki/Blutplasma>



## Die roten Blutkörperchen (=Erythrozyten) und ihre Zellmembran

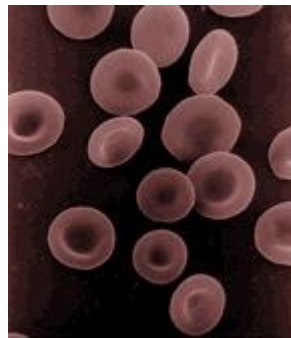
Die roten Blutkörperchen (Erythrozyten, Singular der Erythrozyt) sind runde, scheibenförmige Zellen im Blut. Sie erscheinen unter dem Mikroskop als ungefähr gleich große, blasse, runde Scheiben, die in der Mitte von beiden Seiten leicht eingedellt sind (bikonkave Form). Der Durchmesser eines roten Blutkörperchens beträgt etwa acht Mikrometer. Reife menschliche Erythrozyten besitzen - im Unterschied zu den roten Blutkörperchen von Vögeln und Reptilien - keinen Zellkern. Dieser ist in den aktiven Vorstufen, den Retikulozyten, jedoch noch vorhanden. Auch junge Erythrozyten können noch Reste von Kernmaterial, Chromatin, enthalten, das im Verlauf des Alterungsprozesses verschwindet.

Quelle: Wikipedia: <https://de.wikipedia.org/wiki/Erythrozyten>

### Rote Blutkörperchen

Die roten Blutkörperchen werden auch Erythrozyten genannt (nach dem griechischen Wort „erythros“ für „rot“ und kytos für „hohl“ oder „Zelle“). Dieser Name kommt durch das Vorhandensein des roten Farbstoffes Hämoglobin in ihrem Inneren.

Sie sind die häufigsten Zellen im Blut von Wirbeltieren. Ihre wichtigste Aufgabe ist der Transport der Atemgase wie z.B. Sauerstoff.



rote Blutkörperchen

Quelle Bild: Public Domain by wikicommonsuser Sundar & United States Department of Health and Human Services - thank you;  
<https://commons.wikimedia.org/wiki/Image:Redbloodcells.jpg>

### **Menschliche rote Blutkörperchen haben:**

- einen Durchmesser  $\emptyset$  von etwa  $0,0075\text{mm} = 75\mu\text{m}$  ( $1\mu\text{m} = 10^{-3}\text{mm}$ )
- eine Dicke von ca.  $0,002\text{mm}$  am Rand und  $0,001\text{mm}$  im Zentrum
- Anzahl  $5 \cdot 10^9 / \text{mm}^3$  Blut
- Pro Milliliter Blut findet man ca. 4,5–5,5 Milliarden rote Blutkörperchen!
- Ihre Gesamtanzahl beträgt bei einem Erwachsenen ca. 25 Billion rote Blutkörperchen (Je nach Größe und Gewicht: ca. 24-30 Billionen.).
- Ihre durchschnittliche Lebensdauer beträgt nur etwa 100-120 Tage.
- => der Körper muss ständig neue rote BK bilden.  
(ca. 200 Milliarden/Tag = etwa 2 Millionen/Sekunde - das entspricht ca. 1% pro Tag!)
- enthalten den Blutfarbstoff „Hämoglobin“, welcher  $\text{O}_2$  &  $\text{CO}_2$  bindet. Auf diese Weise werden die beiden Gase durch den Körper zu den Orten der Zellatmung transportiert.
- Auch CO bindet an Hämoglobin, allerdings 100mal besser und fester als  $\text{O}_2$  => beim Einatmen von CO wird die Bindung blockiert => man erstickt.
- Erythrozyten haben eine Lebensdauer von ca. 100-120 Tagen.
- Sie werden im Knochenmark gebildet.
- Sie können sich wegen des Zellkernmangels nicht mitotisch teilen.
- Abbau v.a. in Leber und Milz => Der Körper erneuert davon täglich ca. ein Prozent (=250 Milliarden), was 2.500.000 in jeder Sekunde entspricht.

**=> die Gesamtoberfläche aller Blutkörperchen beträgt ca. 4000–4500 m<sup>2</sup>.**

Rote Blutkörperchen sind für den Sauerstofftransport im Körper von Wirbeltieren verantwortlich. Sie nehmen in den Lungenkapillaren Sauerstoff auf und transportieren ihn zurück zum Herzen und dann in den großen Körperkreislauf bis in die arteriellen Kapillaren der Gewebe und Organe, von wo der Sauerstoff an die Zellen wieder abgegeben wird.

In den roten Blutkörperchen befindet sich Hämoglobin. Es ist für die Aufnahme (im Grunde eine Oxidation) und den Transport des Sauerstoffs verantwortlich. Hämoglobin hat eine rote Farbe, sodass Blut rot ist!<sup>1</sup>.

Sehr wichtig für die Funktion der Erythrozyten ist ihre starke Verformbarkeit, die es ihnen erlaubt, auch kleinste Kapillaren zu durchqueren. Ihre bikonkave Form ermöglicht es ihnen, eine größere Menge an Sauerstoff aufzunehmen. Durch den engen Kontakt zwischen Erythrozyten und Wandgewebe (Endothel) der Gefäße ist der Gasaustausch in den Kapillaren besonders effektiv.

- Ein reifer Erythrozyt hat das Aussehen einer winzigen bikonkaven Kreisscheibe mit einem Durchmesser von 8  $\mu\text{m}$  und einer Dicke von 2  $\mu\text{m}$ .
- Die Blutkörperchen der Säugetiere haben keinen Zellkern. Sie können sich also nicht selbst vermehren. Dies übernehmen deswegen Knochenmark und Milz.
- Im Inneren der roten Blutkörperchen befindet sich Zellplasma mit einem flüssigen und einem festen Anteil.  
Der flüssige Anteil besteht v.a. aus 34% Hämoglobin und 65% Wasser (sowie einem Rest aus Proteinen und Lipiden)
- Das rote Blutkörperchen ist von einer Zellmembran umschlossen, die aus (festen) **Lipoproteiden** und **Glukoproteiden** aufgebaut ist. Ihre Dicke beträgt 0,005- 0,012 $\mu\text{m}$ .
- Die gesamte Erythrozyten-Oberfläche beim Menschen beläuft sich auf rund 3.000-4000 $\text{m}^2$  (halbes Fußballfeld).

### **Berechnung der Oberfläche**

**Annahme:** Die „eingedellten“ Blutkörperchen haben die Oberfläche einer Kugel (vergleiche mit einem luftleeren Fußball.).

Formel (Kugeloberfläche):  $O = 4 \cdot \pi \cdot r^2$

Durchmesser eines Blutkörperchens:  $d = 8 \mu\text{m} = 0,008 \text{mm}$

=> Radius:  $r = d/2 = 0,008 \text{mm} : 2 = 0,004 \text{mm}$

Oberfläche (eines Blutkörperchens):  $O = 4 \cdot 3,1415 \cdot (0,004 \text{mm})^2$   
 $= 12,56 \cdot 0,000016 \text{mm}^2$   
 $= \underline{\underline{0,00020 \text{mm}^2}}$

Oberfläche (aller Blutkörperchen):  $O = 0,0002 \text{mm}^2 \cdot 25\,000\,000\,000\,000 \text{ BK}$   
 $= 5\,000\,000\,000 \text{mm}^2$   
 $= \underline{\underline{5\,000 \text{m}^2}}$

(das entspricht ca. einem halben Fußballfeld)

### **Zusatzinformationen:**

<https://de.wikipedia.org/wiki/Erythrozyt>

[https://en.wikipedia.org/wiki/Red\\_blood\\_cell](https://en.wikipedia.org/wiki/Red_blood_cell)

<sup>1</sup> Das Zentralatom ist im inneren des Hämoglobins ein Fe-Atom - bei Sauerstoffaufnahme wird es sozusagen oxidiert, was die rote Farbe auslöst (vergl. Rost)

### **Weißer Blutkörperchen (= Leukozyten)**

Weißer Blutkörperchen findet man im ganzen Körper, also nicht nur in den Blutgefäßen. Sie enthalten keinen roten Farbstoff und scheinen nicht rot! (Griech: leukos = weiß). Sie haben einen Zellkern und sind zur Teilung fähig. Es gibt viele verschiedene Typen von weißen Blutkörperchen. Allen gemeinsam ist, dass sie für das Immunsystem arbeiten. Sie stellen einen wichtigen Teil unserer eigentlich spezifischen und unspezifischen Immunabwehr dar.

Man unterscheidet sie grob in mehrere Gruppen, die wichtigsten sind Lymphozyten und Granulozyten. Die Gruppen können weiter unterteilt werden.

#### **Zusatzinformationen:**

[https://de.wikipedia.org/wiki/Wei%C3%9Fes\\_Blutk%C3%B6rperchen](https://de.wikipedia.org/wiki/Wei%C3%9Fes_Blutk%C3%B6rperchen)

[https://en.wikipedia.org/wiki/White\\_blood\\_cell](https://en.wikipedia.org/wiki/White_blood_cell) (viele Grafiken!)

<https://de.wikipedia.org/wiki/Leukozyt> auch Grafiken vorhanden

Sehr gutes Bild: <https://de.wikipedia.org/wiki/Bild:NeutrophilerAktion.png>

### Übersicht über die Typen der weißen Blutkörperchen

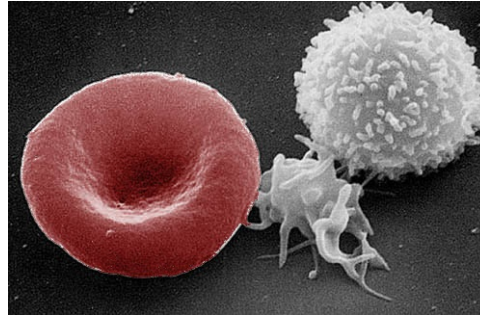
<b>Lymphozyten</b>	
- B-Lymphozyten	Präsentieren Erkennungsmerkmale der Erreger (=Antigene) und sorgen so für die Kommunikation innerhalb des Immunsystems. Sind sie einmal durch Antigene aktiviert, können sie sich zu Plasmazellen (bilden die Antikörper!) oder zu Gedächtniszellen umwandeln. <a href="https://de.wikipedia.org/wiki/B-Lymphozyt">https://de.wikipedia.org/wiki/B-Lymphozyt</a>
- T-Lymphozyten	Es gibt mehrere Typen: <b>T4-Helferzellen:</b> Sie können ebenfalls die Information der körperfremden Stoffe (Antigene) weitergeben, aber nur, wenn ihnen diese „präsentiert wird“. Sie sind damit die klassischen „Koordinatoren“ der Immunabwehr.  <b>T-Gedächtniszellen:</b> Diese speichern Erregerinformationen und verhindern so bei vielen Krankheiten ein erneutes Ausbrechen.  T-Killerzellen: Diese Zellen erkennen abnormale Zellen, wie Tumorzellen und virusinfizierte Zellen und töten diese ab.  <a href="https://de.wikipedia.org/wiki/T-Lymphozyt">https://de.wikipedia.org/wiki/T-Lymphozyt</a>
- Killerzellen (natürliche Killerzellen)	Sie haben die gleiche Aufgabe wie die T-Killerzellen, allerdings haben sie einen anderen Ursprung. <a href="https://de.wikipedia.org/wiki/NK-Zelle">https://de.wikipedia.org/wiki/NK-Zelle</a>
<b>Monozyten</b>	Sie sind Vorläufer der Makrophagen.
- Makrophagen	(=Fresszellen), fressen alle dem Körper unbekannte Zellen im Körper auf! Dabei sterben sie oft ab und bilden so den Eiter.
<b>Dendritische Zellen</b>	Diese Zellen sind ebenfalls Bestandteile der Kommunikationskette der weißen Blutkörperchen bei der Immunabwehr. <a href="https://de.wikipedia.org/wiki/Dendritische_Zelle">https://de.wikipedia.org/wiki/Dendritische_Zelle</a>
<b>Mastzellen</b>	Setzen nach Kontakt mit Erregern Eiweiße (Histamine) frei, welche u.a. die Blutgefäße weiten und so auch die Durchlässigkeit der Blutgefäße beeinflussen. Bei Allergikern sind sie sehr aktiv!
<b>Granulozyten</b>	
- neutrophile Granulozyten	Sie sind mit einem Anteil von 50-65% die häufigsten weißen Blutkörperchen. Sie dienen der Identifizierung und Zerstörung von Bakterien und Viren. <a href="https://de.wikipedia.org/wiki/Neutrophiler_Granulozyt">https://de.wikipedia.org/wiki/Neutrophiler_Granulozyt</a>
- eosinophile Granulozyten	Sind ebenfalls an der Immunabwehr beteiligt. Sie sind leicht rötlich gefärbt. (Griech: Eos = Morgenröte) <a href="https://de.wikipedia.org/wiki/Eosinophiler_Granulozyt">https://de.wikipedia.org/wiki/Eosinophiler_Granulozyt</a>
- basophile Granulozyten	Sind ebenfalls an der Immunabwehr beteiligt. Sie enthalten viel Histamin und Heparin, zwei für die Abwehrreaktion wichtige Eiweiße. <a href="https://de.wikipedia.org/wiki/Basophiler_Granulozyt">https://de.wikipedia.org/wiki/Basophiler_Granulozyt</a>

### **Thrombozyten (Blutplättchen)**

Thrombozyten entstehen im Knochenmark. Sie werden auch als Blutplättchen bezeichnet. Ihre Aufgabe ist das Abdichten von frischen Verletzungen der Blutgefäße.

<https://de.wikipedia.org/wiki/Thrombozyt>

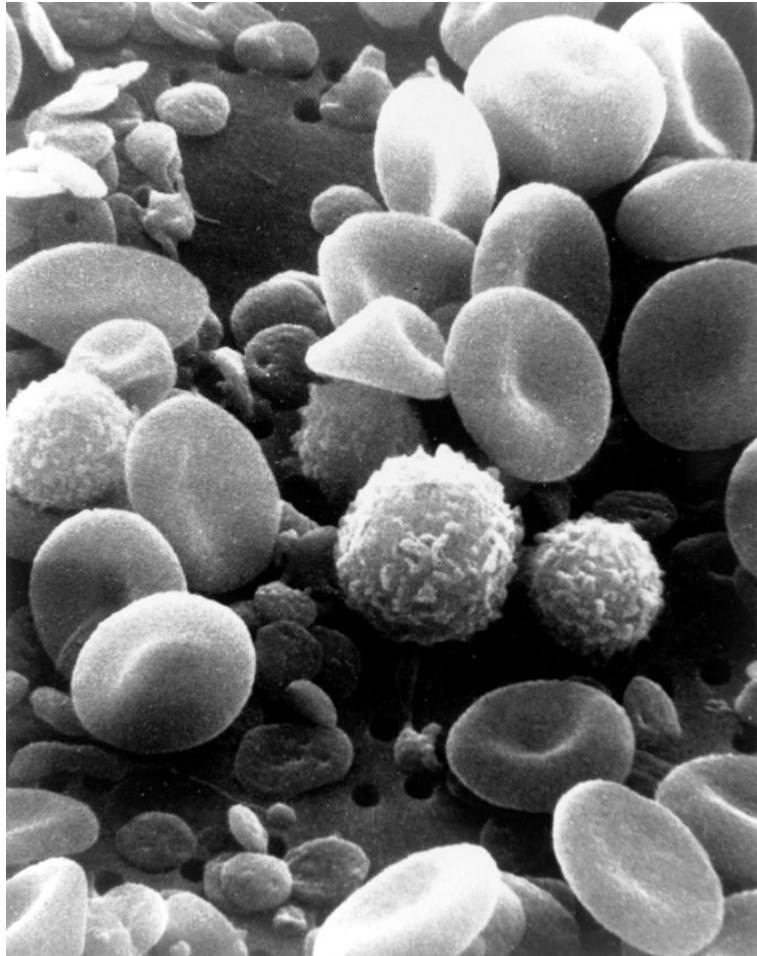
### **Grafiken von Blutkörperchen**



Erythrozyt, Thrombozyt, Leukozyt

Quelle Bild & Text: public domain by Wikicommonsuser E rulez & Electron Microscopy Facility at The National Cancer Institute at Frederick (NCI-Frederick) [https://de.wikipedia.org/wiki/Bild:Red\\_White\\_Blood\\_cells.jpg](https://de.wikipedia.org/wiki/Bild:Red_White_Blood_cells.jpg); Thank you

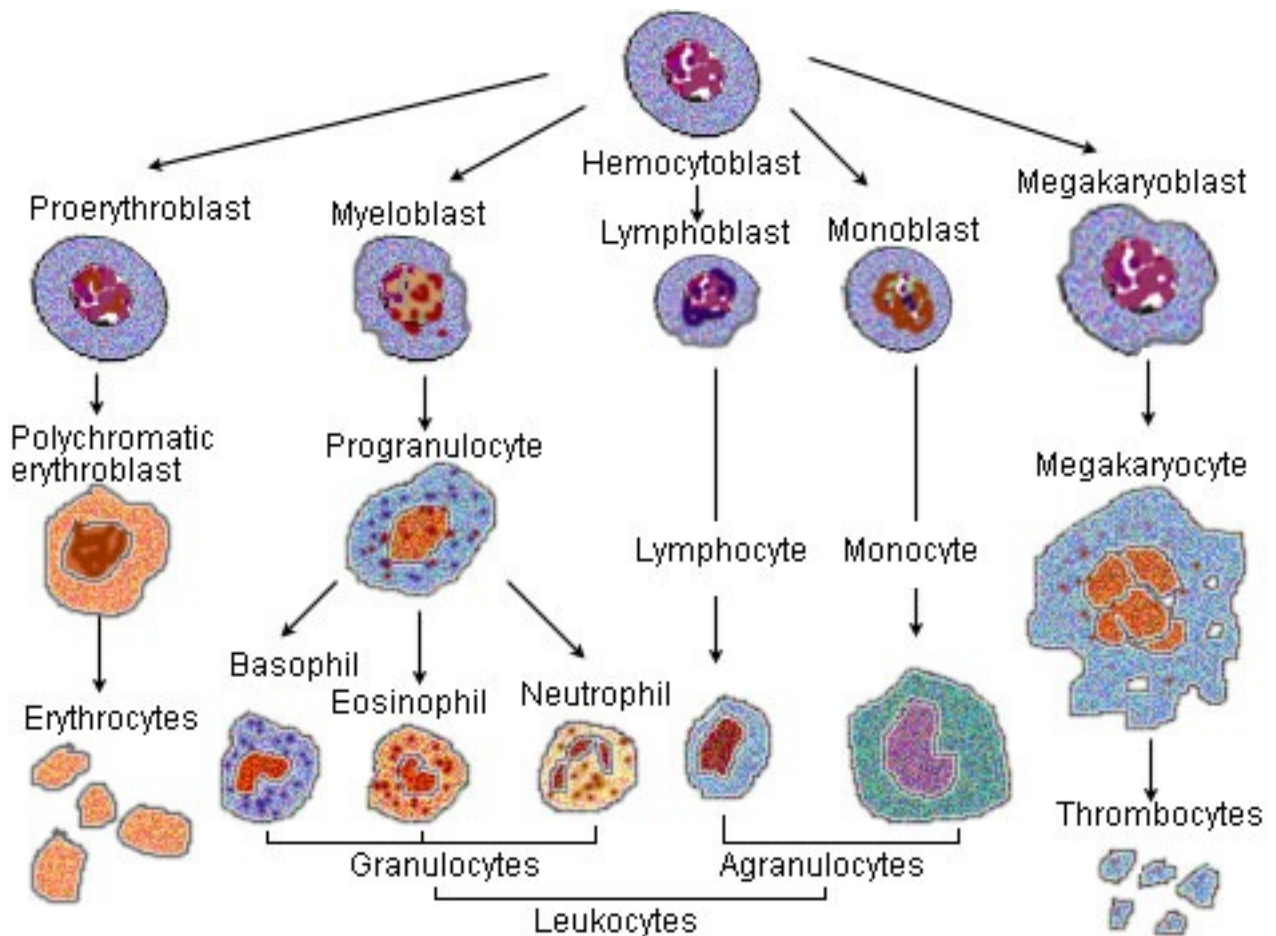
### Feste Blutbestandteile in der Übersicht



Auf diesem Bild erkennt man feste Blutbestandteile, wie sie in unserem Körper vorkommen. Neben roten Blutkörperchen erkennt man viele Typen von weißen Blutkörperchen sowie die kleineren Blutplättchen.

Quelle Bild: public domain by Wikicommonsuser DO11.10 & US National Cancer Institute, Bruce Wetzel, Harry Schaefer  
[https://commons.wikimedia.org/wiki/Image:SEM\\_blood\\_cells.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/Image:SEM_blood_cells.jpg); <https://visualsonline.cancer.gov/details.cfm?imageid=2129>

**Bildung der Blutkörperchen**



Quelle Bild: public domain by wikicommonsuser Arcardian & US Government; [https://en.wikipedia.org/wiki/Image:Illu\\_blood\\_cell\\_lineage.jpg](https://en.wikipedia.org/wiki/Image:Illu_blood_cell_lineage.jpg)  
[https://training.seer.cancer.gov/ss\\_module08\\_lymph\\_leuk/images/illu\\_blood\\_cell\\_lineage.jpg](https://training.seer.cancer.gov/ss_module08_lymph_leuk/images/illu_blood_cell_lineage.jpg)

**Aufgaben:**

1. Das Dopingmittel EPO stimuliert die Umwandlung von Proerythroblasten zu roten Blutkörperchen. Warum ist dieser Effekt v.a. Von Ausdauersportlern gewünscht?

**Zusatzinformationen:**

<https://de.wikipedia.org/wiki/Bild:Haematopoese.png> (GFDL Bild)  
[https://commons.wikimedia.org/wiki/Image:EPO\\_Hämatopoese.png](https://commons.wikimedia.org/wiki/Image:EPO_Hämatopoese.png) (GFDL Bild)  
[https://commons.wikimedia.org/wiki/Image:Drzewko\\_rozwojowe\\_kom%C3%B3rek\\_macierzystych\\_krwi.JPG](https://commons.wikimedia.org/wiki/Image:Drzewko_rozwojowe_kom%C3%B3rek_macierzystych_krwi.JPG)

## **Das AB0-System und der Rhesusfaktor (Blutgruppen des Menschen)**

Bevor Du die folgenden Seiten liest, musst die Kapitel mit den Vererbungsregeln kennen.

### **Erinnere Dich an folgende Begriffe:**

- Dominante Erbanlagen: Merkmal (Gene) sind in der Regel mindestens zweimal pro Lebewesen vorhanden. Sie wurden geerbt von Vater und Mutter. Diese Merkmale können verschiedene Ausprägungen (Allele) haben. Eines ist meist stärker (dominant) und bestimmt so die Ausbildung des Merkmals. Das Zweite ist dann unterlegen (=rezessiv)
- Genotyp: Summe aller Erbanlagen (Gene) eines Organismus
- Phänotyp: Gesamtheit aller Merkmale (=Erscheinungsbild) des Organismus
- Diploid: Jedes Chromosom ist doppelt vorhanden (je eines vom Vater und der Mutter)
- Haploid: Jedes Chromosom ist nur einmal vorhanden.



## Die Geschichte der Bluttransfusion

**1616 Williham Harvey** entdeckt den Blutkreislauf. Seine Idee: Blut kann man transferieren.

**1666 Richard Lower:** Arzt aus Oxford spritze Flüssigkeiten in den Blutkreislauf von Tieren. Im Februar 1666 führte er eine erste Blutübertragung zwischen zwei Hunden durch.

Aber natürlich gab es eine große Zurückhaltung bei Versuchen mit Menschen. Der Aderlass galt zu dieser Zeit nach wie vor als Mittel zur Wahl, um Menschen zu heilen.

**1667 Jean Baptiste Denis**, Arzt aus Montpellier, hatte 1667 einen Patienten, der durch Aderlass viel Blut verloren hatte. Jean Baptiste spendete ihm 0,5 Liter Schafsblut, der Mann überlebte (eigentlich ein Wunder!). Daraufhin gab es große Erwartungen an die Transfusion von Blut. Man vermutete, dass sogar Charaktereigenschaften übertragen werden konnten.

Aber viele folgenden Transfusionen endeten tödlich (fast 2/3 aller Bluttransfusionen endete tödlich!), da man noch nicht die Blutgruppen und vor allem die Regeln der Unverträglichkeit kannte.

Es gab darauf hin viel Widerstand gegen die Transfusionen, darunter auch religiöse Einwände.

Am 17. April 1668 wurde gerichtlich festgelegt, dass Transfusionen eine Genehmigung der medizinischen Fakultät der Universität Paris brauchen. Dann wurde sie zuerst in Frankreich, später in ganz Europa ganz verboten.

Es gab einfach zu viele Bedenken. Neben gesundheitlichen Gründen gab es auch viele religiöse Bedenken, da dem Blut viele Charaktereigenschaften und der „göttlicher Funke des Lebens“ zugeordnet wurden.

Es vergingen daraufhin ca. 150 Jahre ohne Bluttransfusionen!

**1825 erneute Transfusion von James Blundell** mit Erfolg. Aber nur ungefähr jede zweite Transfusion wurde überlebt.

1893 Karl Landsteiner wird Assistent im Institut für Hygiene in Wien.

**1901 erste Versuche von Landsteiner!** Er trennte erstmalig durch Zentrifugation Blutserum von den festen Bestandteilen. Durch diese machte Versuche an 6 Menschen. Er erforschte die beteiligten Faktoren und identifizierte die roten Blutkörperchen als entscheidend.

Dabei half ihm die Entdeckung des Mikroskops! Mit dessen Hilfe konnte man eine Verklumpungsreaktion beim Mischen zweier unverträglicher Blutgruppen beobachtet. Landsteiner vermische also experimentell die Blutseren von Freiwilligen und schaute, wo es zu Verklumpungen kam. Er machte diese Versuche, indem er Suspensionen von roten Blutkörperchen (in Salzwasser) gegen verschiedenen Blutseren vermischte.

Daraufhin stellte Landsteiner Regeln zur Unverträglichkeit der Blutgruppen untereinander auf.

Er fand drei Blutgruppen: A, B, und C (später 0 genannt). Er vermutete aber noch eine weitere Blutgruppe, fand aber keine handfesten Indizien dazu. Seine Assistenten fanden 1902 dann auch noch die Blutgruppe AB, von der Landsteiner bereits vermutete, dass sie existierte.

Die Verklumpungsreaktion nannte er Agglutination. Findet sie im Körper statt, sind schwere Organschäden oder der Tod die Folge.

**1928 wurde einheitliche Bezeichnung beschlossen: A, B, AB, 0**

Landsteiners Ergebnisse wurden zu seiner Zeit nicht mit Interesse aufgenommen. Erst gegen Ende des ersten Weltkriegs wurden seine Erkenntnisse als wichtig erkannt. Der Wert der Transfusionen wurde nun anerkannt. So konnten von nun an auch größere Operationen gewagt werden, die mit großem Blutverlust verbunden sind.

Durch Zugabe von Traubenzucker und Antigerinnungstoffen konnte nun Blut auch haltbar gemacht werden.

1922 ging Landsteiner nach Amerika ans Rockefeller Centre in New York

1930 bekam er den Nobelpreis für Medizin

Allerdings starben gelegentlich immer noch Menschen bei den Transfusionen. Man konnte sich aber nicht genau erklären, woran es lag. Man vermutete einen weiteren Faktor, der unabhängig von den eigentlichen Blutgruppen ist.

**1940 Entdeckung des Rhesusfaktors:** ab 1940 gab es dann Forschungen über diesen weiteren Faktor. Er wurde erstmalig bei Rhesusaffen gefunden, wonach der dann als Rhesusfaktor benannt wurde. Vor allem bei Patienten, die schon eine Transfusion hatten oder bei Frauen, die bereits ein Kind haben, kam es gelegentlich nach Transfusionen zu Todesfällen.

Eine Rhesusgeburt liegt dann vor, wenn die Mutter Rhesusfaktor negativ ist und das Kind Rhesusfaktor positiv ist.

### Was ist das AB0-System?

Das AB0-System in Europa	
Blutgruppe	Verteilung in der Bevölkerung
0	39 %
B	13 %
A	43 %
AB	5 %

Blutgruppenmerkmale	
Blutgruppen	Zuckermolekültyp
0	keine
B	B
A	A
AB	A und B

Immunreaktionen	
Menschen mit der Blutgruppe	Antikörper
0	Anti-A, Anti-B
B	Anti-A
A	Anti-B
AB	keine Antikörper

### Blutgruppenvererbung: AB0-System

Der Österreicher Karl Landsteiner untersuchte 1901 menschliches Blut im Mikroskop und fand die Ursachen für die teilweise auftretende Unverträglichkeit der Blutgruppen untereinander.

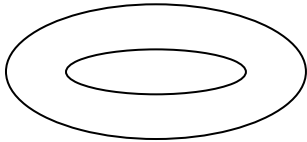
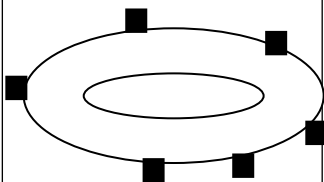
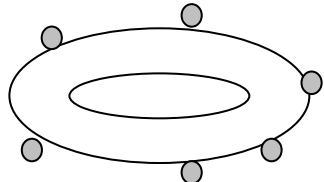
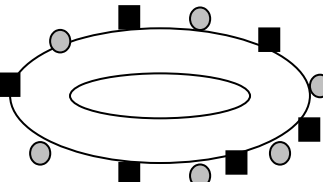
Seine Methode war vergleichsweise simpel. Er trennte zuerst Blutserum von festen Bestandteilen. Das Serum untersuchte er und fand darin oft zwei verschiedene Antikörper (Eiweiße, welche als Produkt der Abwehrreaktion entstehen).

Um eine Einordnung zu erreichen, verglich er verschiedene Bluttypen und teilte sie dann in vier Gruppen ein. Von jeder Gruppe nahm er nun Proben und verglich die teilweise auftretenden

Verklumpungsreaktionen:

- **Blut1** hatte Antikörper gegen das Blut der Probe2.
- **Blut2** hatte Antikörper gegen das Blut der Probe1.
- **Blut3** hatte Antikörper gegen die Proben 1 und 2.
- **Blut4** hatte keine Antikörper.

Nach diesen Beobachtungen kam er zu dem Schluss, dass es vier Gruppen gab, mit aber nur zwei Merkmalen, welche die Antikörperbildung auslösen. Nach den Regeln der Kombinatorik kann es somit also nur die folgenden Möglichkeiten geben:

Blutgruppe 0	Blutgruppe A	Blutgruppe B	Blutgruppe AB
Die roten Blutkörperchen tragen keine Oberflächenproteine des Typs A oder B	Blutgruppe A enthält rote Blutkörperchen, die Oberflächenproteine des Typs A tragen	Blutgruppe B enthält rote Blutkörperchen, welche die Oberflächenproteine des Typs B tragen.	Die roten Blutkörperchen dieser Blutgruppe tragen Oberflächenproteine des Typs A und B.
Der Kontakt mit Blut der Gruppen A, B oder AB löst also die Bildung der entsprechenden Antikörper aus, da diese körperfremd sind. Blut der Blutgruppe 0 besitzt keine der Oberflächeneigenschaften A oder B => Es kann (fast) jedem Menschen gespendet werden, ohne dass eine Immunreaktion ausgelöst wird. => <b>Universalspenderblut</b>	Der Kontakt mit Blut der Blutgruppe B/ AB löst also die Bildung der entsprechenden Antikörper aus.	Der Kontakt mit diesem Blut löst also die Bildung der Antikörper A aus.	Da beide Oberflächen-eiweiße zum eigenen Körper gehören, werden niemals gegen beide Typen Antikörper ausgebildet.  Menschen dieser Blutgruppe können demzufolge Blut jeder Blutgruppe empfangen. => <b>Universalempfänger</b>
			
Antikörper für: A,B	Antikörper für: B	Antikörper für: A	Keine Antikörper
In Europa: ca. 37%	In Europa: 43%	In Europa: 14%	In Europa: 6%

**Karl Landsteiner stellt die vier klassische Blutgruppen (A, B, AB, 0) anhand der Oberflächeneiweiße der roten Blutkörperchen auf.**

**Er entdeckte, dass die Blutgruppen bereits bei der Geburt festgelegt sind und sie nach den Regeln der Mendel'schen Gesetze vererbt werden (entweder Allel A; Allel B oder Allel 0)!**

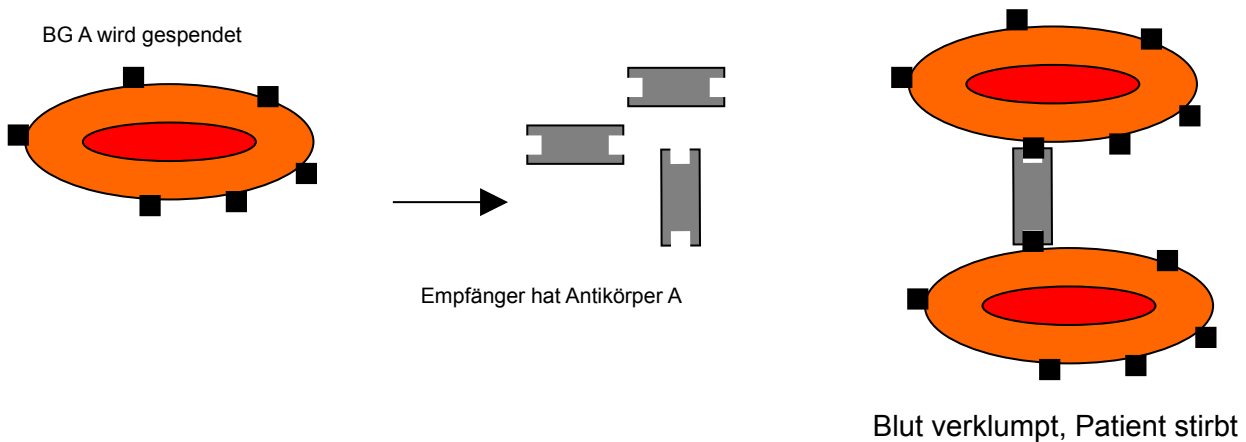
### Wie kommt die eigentliche Unverträglichkeit zustande?

Ein Mensch der Blutgruppe A trägt auf allen Erythrozyten (roten Blutkörperchen) das Oberflächeneiweiß des Typs A - es ist körpereigen. Hat dieser Mensch, z.B. durch einen Schnitt, erstmalig Kontakt mit einer geringen Menge Blut der Blutgruppe B, sorgt das körperfremde Oberflächeneiweiß B für das Ablaufen einer Immunreaktion. Nach kurzer Zeit stehen dem Körper nun (wie bei jedem Fremdstoff) Antikörper zur Verfügung.

Beim erneuten Kontakt mit Blutgruppe B (oder auch AB) löst dieses Oberflächeneiweiß des Typs B (das Antigenen) nun die Antigen-Antikörperreaktion (=Agglutination) aus, bei der alle körperfremden Eiweiße verklumpen und es so innerhalb von Sekunden zum Gefäßverschluss und dem sicheren Tode kommt.

#### Besonderheiten:

- Die Blutgruppen-Antigene sind bei den meisten Menschen bereits ab der Geburt vorhanden. Gründe sind u.a.
  - der Kontakt mit dem Blut der Mutter (während der Geburt), wenn sie eine andere Blutgruppe hat.
  - Besiedelung des Darms mit Darmflora (Escherichia coli: auf Zellwand Antigen A, Antigen B)
  - auch später kann man Kontakt mit den Oberflächeneiweißen haben, ohne das Blutkontakt besteht, da die Antigene auch auf der Oberfläche anderer Körperzellen oder Körperflüssigkeit vorkommen können (Ausscheidungen, Speichel, Spermaflüssigkeit u.a.)
- Die Antikörper treten oft aber erst später auf. (oft schon nach 3-6 Monate nach der Geburt)
- Die prozentuale Verteilung der Blutgruppen ist übrigens auf anderen Kontinenten anders. Dies hat v.a. statistische Ursachen.



**Auf Erythrozyten befinden sich Oberflächenproteine (=Antigene). Kommen sie mit dem Immunsystem eines Menschen mit anderer Blutgruppen zusammen, entstehen in der Regel im Blutserum Antikörper.**

**Die Bildung von Blutgruppenantikörpern erfolgt zwangsläufig und hat nichts mit Vererbung zu tun.**

## Blutgruppenvererbung

Die Blutgruppe ist bereits bei der Geburt festgelegt. Bei der Vererbung von Blutgruppen liegt ein Beispiel für multiple Allelie vor. D.h., das an einem Genort (alternativ) mehrere Allele vorkommen können. Entweder Allel A; Allel B oder Allel 0.

=> Entweder kommen BG A, BG B oder BG 0 kommen zur Ausprägung; BG AB ist ebenfalls möglich

Es gilt:

- Allel A und B sind dominant gegenüber Allel 0
- Allel A und B sind gegeneinander Codominant, (d.h. beide Oberflächenstoffe sind da, keine Mischform)

**Blutgruppe A:** vorliegender Genotyp (AA) oder (A0)  
**Blutgruppe B:** vorliegender Genotyp (BB) oder (B0)  
**Blutgruppe AB:** vorliegender Genotyp (AB) => ein Allel A und ein Allel B  
**Blutgruppe 0:** vorliegender Genotyp (00)

### Es gilt nach Landsteiners System:

- Allel A und B sind dominant gegenüber Allel 0
- Allel A und B sind gegeneinander Codominant, d.h. beide Antigene sind vorhanden, keine Mischform.

**Codominanz: Bei der Blutgruppenvererbung liegt ein Beispiel für Codominanz vor. Zwei Allele kommen gleichwertig zur Ausprägung.**

**D.h. bei der Blutgruppe AB sind die Allele A und B Codominant, d.h. AB hat gleichwertig die Eigenschaften von A und von B.**

### Beispiele:

"0" ,   "A"	→ Kinder (A,0)
"A" ,   "B"	→ Kinder (A,B,AB,0)
"B" ,   "AB"	→ Kinder (A,B,AB)

Heute unterteilt man die Blutgruppe A in die Untertypen A<sub>1</sub> und A<sub>2</sub> (Allel A<sub>1</sub> dominant über A<sub>2</sub>). Folglich sind mehrere Typen von Kombinationen möglich:

- A<sub>1</sub> (A<sub>1</sub>A<sub>1</sub> , A<sub>1</sub>A<sub>2</sub> , A<sub>1</sub>0)
- A<sub>2</sub> (A<sub>2</sub>A<sub>2</sub> , A<sub>2</sub>0)
- A<sub>1</sub>B
- A<sub>2</sub>B

**Die Blutgruppen 0, A, B und AB sind nach dem System von Karl Landsteiner phänotypisch bekannt (dabei lässt sich die Blutgruppe A lässt sich noch in A<sub>1</sub> und A<sub>2</sub> unterteilen).**

### Zusatzinformationen:

<https://de.wikipedia.org/wiki/Landsteiner>

<https://de.wikipedia.org/wiki/Blutgruppe>

[https://en.wikipedia.org/wiki/Blood\\_type](https://en.wikipedia.org/wiki/Blood_type)

**Übersicht über die Merkmale der roten BK der entsprechenden Blutgruppen**

	Blutgruppe A	Blutgruppe B	Blutgruppe AB	Blutgruppe 0
Rote BK				
Antikörper im Blut	 Anti-B	 Anti-A	keiner	 Anti-A und Anti-B
Antigen	 A Antigen	 B Antigen	 A & B Antigen	keines

Quelle Bild: Public domain by Wikicommonsuser InvictaHOG - Thank you!  
[https://en.wikipedia.org/wiki/Image:ABO\\_blood\\_type.svg](https://en.wikipedia.org/wiki/Image:ABO_blood_type.svg)

### Der Rhesusfaktor

11940 entdeckte Karl Landsteiner (1868- 1943) zusammen mit Alexander Solomon Wiener am New Yorker Rockefeller-Institut bei Rhesusaffen ein weiteres Oberflächenprotein auf Erythrozyten. Es wird dominant vererbt. Sie nannten es entsprechend der Affen „Rhesusfaktor“ und gaben dem Allel den Buchstaben „D“.

=> Allel D - das Oberflächenprotein ist vorhanden (rhesus positiv)

=> Allel d - das Oberflächenprotein ist nicht vorhanden (rhesus negativ)

Schon bald fanden sie es auch bei menschlichem Blut:

- 85% rhesuspositiv (Rh<sup>+</sup>) => Genotyp (DD) oder (Dd)
- 15% rhesusnegativ (rh<sup>-</sup>) => Genotyp (dd)

**Nachweis:** mithilfe eines Serum, das Anti-D Antikörpern enthält.

**Der Rhesusfaktor ist ein Protein auf der Oberfläche der Erythrozyten (Allel D), welches von 85% der Mitteleuropäer getragen wird. Es wird dominant vererbt.**

### Bedeutung des Rhesusfaktors

- wichtig bei Bluttransfusion!
- Vaterschaftstests  
Der Vaterschaftsausschluss oder auch -nachweis kann alleine durch die Blutgruppen AB0 zu 17% nachgewiesen werden. Durch Hinzunahme weiterer Blutgruppensysteme ist Nachweis zu 97% möglich. Eine genauere Klärung ist durch eine Untersuchung der Serumproteine oder durch ein genetisches Profil möglich.
- Schwangerschaftsprobleme bei Rhesusunverträglichkeit  
Problem: Mutter (**rh<sup>-</sup>**), Vater (Rh<sup>+</sup>) => Kind (**Rh<sup>+</sup>**, rh<sup>-</sup>)

### Beispiel: Gefährdung eines Kindes in der Schwangerschaft

Rhesus-negative Mütter (etwa 15%) können Antigene gegen Rh<sup>+</sup> Blut des Kindes ausbilden, wenn sie Kontakt mit R<sup>+</sup>-Blut bei der Geburt haben (zu einem Kontakt kann es bei der Geburt kommen, wenn die Plazenta reißt). Es bilden sich Antikörper (Dauer ca. 8 Wochen). Die Mutter ist danach sensibilisiert!

Diese Antikörper gelangen im Falle einer zweiten Schwangerschaft in den Körper des Kindes (da sie sehr klein sind und die Plazenta durchdringen). Dies kann sehr gefährlich werden und hat mehrere Konsequenzen:

- Blutarmut im Kindeskörper, welche zu Wachstums- und Hirnschäden führt.
- Zerstörung der roten Blutkörperchen
- Die Folge ist die Freisetzung von Hämoglobin. Dieses wird vom kindlichen Körper in Bilirubin umgewandelt. Dieser Farbstoff, würde normalerweise von der Leber abgebaut werden. Da diese aber noch nicht funktioniert, lagert er sich im Gehirn und Haut ab.

=> Das Kind kommt mit schwerer Gelbsucht oder schweren geistigen Schäden auf die Welt.

**Gelangen während der Schwangerschaft (bei einem Rhesus positiven Kind und einer Rhesus negativen Mutter) Antikörper gegen die Rhesus-Oberflächenproteine über die Plazenta in den kindlichen Blutkreislauf, führt dies zur Zerstörung der Kindes-Erythrozyten mit Antigen D (=Erythroblastose). Man spricht von Rhesusinkompatibilität.**

**Abhilfe gegen die Rhesusunverträglichkeit:**

- Vermeidung der Sensibilisierung. Der Mutter werden nach der Geburt des Rh<sup>+</sup> Kindes AntiD-Antikörper gespritzt, die die kindlichen Blutkörperchen vernichten, bevor die Mutter darauf reagiert.
- Im Rahmen der Vorsorgeuntersuchung wird das Blut auf Rhesusunverträglichkeit getestet.

=> Das Risiko ist heutzutage gering!

**Zusatzinformationen:**

- Man kennt heute weitere Antigene des Rhesussystems: C und E (Allele C,c und E,e).
- Es gibt eine enge Kopplung der Allele wie z.B. D,c,E.
- Es gibt ca. 50 weitere Blutgruppensysteme (z.B. MN-System, Kell-Faktor).

<https://de.wikipedia.org/wiki/Rhesusfaktor>

<https://de.wikipedia.org/wiki/Rhesus-Inkompatibilität>

**Blutgruppenverteilung in Bayern**

A	pos.	35,09 %
	neg.	6,82 %
0	pos.	34,66 %
	neg.	6,89 %
B	pos.	9,67 %
	neg.	1,86 %
AB	pos.	4,16 %
	neg.	0,85 %



### Fragen zur Wiederholung

1. Nenne Aufbau und Zusammensetzung des Blutes.
2. Erkläre, wie man flüssige von festen Bestandteilen trennen kann.
3. Der Mensch verfügt im Schnitt über 5-6 Liter Blut. Erkläre, warum man problemlos ½ Liter Blut spenden kann. Welche Probleme treten auf, wenn man viel mehr Blut spendet?
4. Benenne und erkläre die Vorgänge, die im Körper nach der Blutspende ablaufen.
5. Erkläre die unterschiedlichen Farben der festen Blutbestandteile und des Blutplasmas.
6. Thrombozyten können auch im Körper verklumpen, besonders, wenn die Gefäße dazu eine Angriffsstelle bieten (wenn sie brüchig oder rau sind). (= Thrombose). Nenne Situationen, in denen das besonders gefährlich ist.
7. Acetylsalicylsäure (Aspirin) verdünnt das Blut. Nenne Folgen.
8. Ärzte nutzen Acetylsalicylsäure als Medikament bei Thrombosen (auch zur Vorbeugung bei Patienten mit genetischer Veranlagung). Wo könnten Sie es noch einsetzen?
9. Die Hormone der Antibabypille verändern die Zusammensetzung des Blutes. Es wird dickflüssiger. Nenne Folgen und Gefahren.
10. Warum wird Patienten nach Herzoperationen immer ein Mittel gegen Blutgerinnung gegeben?
11. Ausdauersportler bereiten sich manchmal auf ihre Wettkämpfe in großen Höhen vor (z.B. Andengebirge). Welchen Vorteil hat dies bei einem darauf folgendem Wettkampf hinsichtlich ihrer sportlichen Leistung?
12. Die Ehefrau hat die Blutgruppe AB, ihr Ehemann 0. Die Familie hat drei Kinder (Blutgruppen der Kinder A; B; AB) und der Mann ist nicht sicher, ob alle drei Kinder seine eigenen sind. Treffe eine Aussage, ob eines der Kinder nicht vom Ehemann ist? Begründe mit einem Kreuzungsschema und der Angabe der Genotypen!
13. Analysiere die Verteilung der Blutgruppen in Mitteleuropa und den USA. Was fällt auf? Kannst Du Erklärungen für die Unterschiede finden?

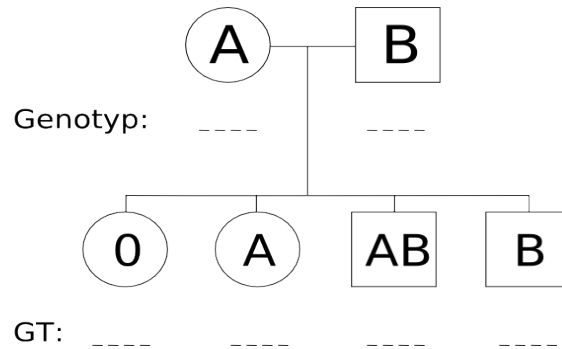
Blutgruppe (=Phänotypen)	Genotypen	Häufigkeit in	
		Mitteleuropa	USA
0	00	40%	45%
A <sub>1</sub> A <sub>2</sub>	A <sub>1</sub> A <sub>1</sub> ; A <sub>1</sub> A <sub>2</sub> ; A <sub>2</sub> A <sub>2</sub> ; A <sub>1</sub> 0; A <sub>2</sub> 0;	43%	41%
B	BB; B0	12%	10%
A <sub>1</sub> B A <sub>2</sub> B	A <sub>1</sub> B A <sub>2</sub> B	5%	4%

14. Der Nachweis der Vaterschaft ist sicherer, wenn man den Rhesusfaktor mit einbezieht. Kann ein Kind einer Rh- Mutter selbst Rh+ sein? Kläre mithilfe des Kreuzungsschemas:

	Vater1		Vater2	
	Rh+	Rh-	Rh+	Rh-
<b>Mutter:</b> Rh-				
Rh-				

15. Wenn Du schon die Regeln der Vererbung nach Mendel kennst, kannst Du bestimmt leicht das folgende Rätsel lösen: Welche Genotypen hatten Vater und Mutter?

- weiblich
- männlich



16. Beschreibe, wie ein Antikörper gebaut sein muss, damit er auf den Rhesusfaktor reagiert.
17. Nenne die häufigste und die seltenste Blutgruppe.
18. Beschreibe die Folge der Durchmischung von Rh+ Blut und Rh- Blut mit Rh+ Antikörpern.
19. Kann ein Elternpaar mit den Blutgruppen A / B ein Kind haben, welches Blutgruppen 0 hat?
20. Bei einer Vaterschaftsklage einer Mutter der Blutgruppe A- kommen zwei Väter in Frage (Vater 1: A+ // Vater 2: AB-). Das Kind hat die Blutgruppe 0-. Wer ist der Vater?