

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsangabe

Das Blut des Menschen

1. Die Zusammensetzung des menschlichen Blutes
2. Die Bildung des menschlichen Blutes
3. Die Aufgaben des menschlichen Blutes
4. Die Blutgruppen
5. Das AB0-System
6. Das Rhesus-System

Literaturverzeichnis

Inhaltsangabe

Das Thema "Blut" weckt zwiespältige Reaktionen.

Während Blut als "Lebenssaft" mit geradezu magischen Eigenschaften ausgestattet scheint, schüren Schlagzeilen von verseuchten Plasmaprodukten und den dunklen Geschäften mit Spenderblut nicht selten Angst. Der lebensrettenden Bluttransfusion am Unfallort steht die potentielle Übertragung heimtückischer Krankheitserreger gegenüber, der mühsamen Werbung für das Blutspenden die Warnung vor einem leichtfertigen Umgang mit dieser Flüssigkeit, die uns als Stofftransporteur und Abwehrorgan doch so unschätzbare Dienste leistet.

Das Blut ist das Transportmittel, das auf den Wegen des Kreislaufs Stoffe transportiert. Transportiert werden: Nahrungsstoffe und deren verschiedene Abbauprodukte, Wirkstoffe (Vitamine, Hormone, Enzyme), Abwehrstoffe (z.B. Antikörper), Gase (Sauerstoff, Kohlendioxid und Stickstoff) und Wärme. Außer dieser Transporteigenschaft, die es mit allen Organfunktionen verknüpft, kann man als Eigenfunktion die Blutgerinnung, die Pufferung und teilweise die Abwehrfunktion bezeichnen.

Um seine Transportaufgaben erfüllen zu können, hat das Blut eine Reihe physikalischer und chemischer Eigenschaften.

Das Blutvolumen muß in einer optimalen Beziehung zum Fassungsvermögen des Kreislaufsystems stehen. Abweichungen von der Norm äußern sich in unphysiologischer Belastung des Herzens und eventuell in Versorgungsmängeln der Gewebe. Eine der wichtigsten Aufgaben des Blutes ist der Transport der Atemgase O₂ und CO₂. Deshalb ist auch der Rote Blutfarbstoff ein großer Bestandteil des Blutes.

Andere Aufgaben sind die Abwehrfunktion und der Gerinnungsfaktor des Blutes.

Alle anderen Substanzen, organische oder anorganische Verbindungen, machen zusammen nur noch ca. 2% des Blutes aus, sind deshalb aber nicht weniger wichtig.

Auf den nun folgenden Seiten habe ich mich genauer mit der Zusammensetzung und den einzelnen Funktionen des Blutes auseinandergesetzt.

Das Blut des Menschen

1. Die Zusammensetzung des menschlichen Blutes

Bei erwachsenen Menschen beträgt die gesamte Blutmenge etwa 5-6 l. Man spricht hier von dem **Blutvolumen**, das etwa 6-8 % des Körpergewichts ausmacht. 1 l Blut enthält beim Mann 0,46 l und bei der Frau 0,41 l Blutkörperchen. Im Vergleich zur Lymphe (etwa 10 l) und zur intrazellulären Flüssigkeit (etwa 30 l) ist dies verhältnismäßig wenig.

Das Blut des Menschen setzt sich zum einen aus dem flüssigen **Blutplasma**, das etwa 55% des menschlichen Blutes ausmacht, und zum anderen aus den schwimmenden festen Bestandteilen, den **Blutkörperchen**, die etwa 45% des menschlichen Blutes betragen, zusammen.

Abb. 1: Die Zusammensetzung des menschlichen Blutes

Das **Blutplasma** ist eine gelbliche, wässrige Lösung von Proteinen, Kohlenhydraten, Lipiden und Mineralsalzen, die nach einer fettreichen Mahlzeit auch trüb werden kann. Auch Antikörper sind darin enthalten.

Plasma besteht zu 90% aus Wasser und zu 10% aus darin gelösten Stoffen.

Das häufigste Plasmaprotein ist das **Albumin**. Es hat diverse Transportfunktionen und bindet eine Vielzahl von Stoffen, wie etwa Anionen und Stoffwechselprodukte (unter anderem Bilirubin). Das Blutplasma sorgt für die Aufrechterhaltung des **osmotischen Drucks** in den Kapillaren, indem es verhindert, daß zu viel Wasser aus der Blutbahn ins Gewebe übertritt.

Als **Blutserum** wird der flüssige Anteil des Blutplasmas ohne Fibrinogen bezeichnet. Blutserum entsteht, durch Stehenlassen des Blutes in einem Röhrchen, indem sich die roten Blutkörperchen und das Fibrin am Boden absetzen und das Serum als hellgelb gefärbte Flüssigkeit im oberen Teil des Röhrchen stehen bleibt.

Die **roten Blutkörperchen** (Erythrozyten) erscheinen uns unter dem Mikroskop als rote, kreisrunde Scheibchen, die beidseitig in der Mitte eingebuchtet sind und einen wulstigen Rand haben.

Sie werden im **Knochenmark**, aus kernhaltigen Vorstufen gebildet. Während ihrer Bildung haben sie noch einen Zellkern, der aber später zugrunde geht.

Der Mensch besitzt in einem mm^3 Blut etwa 5 Mio. Erythrozyten.

Ihre **Lebensdauer** beträgt etwa 100 bis 120 Tage.

In der Milz und in der Leber übernehmen schließlich die **Makrophagen**, eine Klasse von Leukozyten, die verschiedene Aufräumarbeiten im Körper ausführen, den Abbau der Erythrozyten.

Die tägliche Neubildung von Erythrozyten beträgt 1%.

Abb. 2: Rote Blutkörperchen

Das menschliche Blut enthält etwa 750g **Hämoglobin**. Das Hämoglobin ist eine eisenhaltige Substanz, mit der bemerkenswerten Fähigkeit, Sauerstoff anzulagern, festzuhalten und auch wieder abzugeben. 1g Hämoglobin kann 1,34 ml O_2 binden. **Hämoglobin** ist für die **Rotfärbung des Blutes** verantwortlich.

Die wesentlichen **Aufgaben der Erythrozyten** ist der **Transport von Sauerstoff** (O_2) und **Kohlenstoffdioxid** (CO_2) zwischen Lunge und Gewebe. Beim Mann beträgt dies 160g/l und bei der Frau 145g/l Blut.

Weißer Blutkörperchen (Leukozyten) besitzen im Gegensatz zu den roten Blutkörperchen einen Zellkern und keine feste Form. Leukozyten sind amöboid beweglich, d. h. sie können unter Veränderung ihrer Zellgestalt kriechen, dabei Bakterien, Zelltrümmer usw. umschließen und anschließend chemisch abbauen.

Ihr **Bildungsort** sind die **Lymphdrüsen** und das **Knochenmark**.

Weißer Blutkörperchen können die Adern verlassen und in die angrenzenden Gewebe einwandern. Durch radioaktive Markierung der Leukozyten konnte man feststellen, daß nur etwa 5% der sich im Körper befindlichen Leukozyten im strömenden Blut aufhalten.

Abb. 3: Weiße Blutkörperchen

Diese Feststellung ist durch die verschiedenen Funktionen der Leukozyten zu begründen, denn manche von ihnen sind am Abbau der Gewebe beteiligt, bzw. phagozytieren eingedrungene Fremdkörper und die anderen bilden Antikörper gegen körperfremde Stoffe.

Die wesentlichen **Aufgaben der Leukozyten**, sind zum einen die **Abwehr** von krankheitserregenden Mikroorganismen wie z. B. Bakterien, Viren und Parasiten und zum anderen **schützen** sie den Organismus vor (toten) Stoffen.

"Leukozyt" ist ein Sammelbegriff für eine ganze Reihe so verschiedener Zellen, wie z. B. Granulozyten, Monocyten (Makrophagen), Lymphozyten, Plasmazellen und Megakaryocyten. Jeder Zelltyp hat seine spezifische Aufgabe. Die beiden häufigsten Leukozyten bei Erwachsenen sind die **Granulozyten** und die **Lymphozyten**.

Granulozyten haben diesen Namen, weil sie viele Körnchen oder Granula enthalten. Sie ähneln in ihrer Gestalt den Amöben. Amöben sind Einzeller der Klasse der Wurzelfüßer und haben einen unregelmäßig geformten Zellkern. Granulozyten werden passiv mit dem Blutstrom mitgeführt, jedoch ist es ihnen auch möglich mit Hilfe von Pseudopodien (Scheinfüßchen) an den Gefäßwänden entlangzukriechen, dabei ihre eigentliche Form zu verändern und sogar durch die Gefäßwand ins Gewebe einzudringen.

Lymphozyten sind runde Zellen mit großem, etwas eingedelltem Zellkern und gelegentlich auftretenden Granula im Cytoplasma.

Ihre **Lebensdauer** erstreckt sich von wenigen Tagen bis hin zu mehreren Jahren.

Man unterscheidet zwei Klassen von **Lymphozyten**. Zum einen die **T-Lymphozyten** und zum anderen die **B-Lymphozyten**.

Die **T-Lymphozyten** sind Zellen die während ihrer Reifung aus den lymphoiden Stammzellen des Knochenmarks der Kontrolle des Thymus unterliegen. Der Thymus ist ein Organ das sich im oberen Teil des Brustbeins befindet.

Das Blut des Kindes enthält mehr T-Zellen als ein Erwachsener, da der Körper im Kindesalter seine Abwehrmechanismen gegen Krankheitserreger aufbaut.

Hauptaufgabe der T-Lymphozyten ist das **Erkennen von Infektionen** im Innern von Zellen. Durch ihr präzises Ziel erkennen sie schon minimalste Abweichungen im Gewebe. Die **B-Lymphozyten** werden vom Knochenmark und vom Gewebe beeinflusst. Bei Kontakt mit Antigenen entwickeln sie sich weiter zu antikörperproduzierenden Plasmazellen. Antigene lösen die Bildung von Antikörpern aus. Die von den Plasmazellen gebildeten Antikörper binden sich dann an ihr spezifisches Antigen. Somit wird der "Eindringling" markiert und kann nach Ausbildung eines sogenannten Immunkomplexes von **Monocyten/Makrophagen** erkannt und vernichtet werden.

Monocyten sind im Gewebe, Blut und Knochenmark anzutreffen. Sie nehmen Bakterien in sich auf und vernichten sie. Deshalb werden sie auch Makrophagen ("große Fresser") genannt.

Makrophagen und **Granulozyten** sind imstande, alle Winkel des Körpers zu erreichen. So ist es ihnen möglich Bakterien, die über kleine Haut- oder Schleimhautverletzungen in den Körper gelangen, bereits an der Eintrittsstelle zu bekämpfen.

Die Blutzellen sammeln sich dort an und geben bestimmte Signalsubstanzen ab, die weitere Granulozyten anlocken und aktivieren. Besteht ein Mangel an weißen Blutzellen, so besteht die Gefahr, daß sich eine Infektion über den ganzen Körper ausbreitet.

Abb. 4: Makrophage beim "Verzehr"

von Bakterien

Die **Blutplättchen** (Thrombozyten) sind eigentlich gar keine richtigen Zellen, sondern kleine Bruchstücke von Knochenmarkszellen, sogenannte **Megakaryozyten**.

Sie entstehen durch den Zerfall von Knochenmarkszellen.

Thrombozyten haben eine komplexe Struktur. Sie sind farblos, scheiben- bis spindelförmig, sehr klein (0,5-2,5 μm) und haben keinen Zellkern. Die Zellmembran umgibt das Cytoplasma (Zellflüssigkeit), in dem Granula ("Körnchen"), Mikrotubuli (Zellskelettbestandteile) und verschiedene Substanzen, darunter ADP (Adenosindiphosphat), enthalten sind.

Abb. 5: Thrombozyten

Ist eine Gefäßwand verletzt, so können sich Thrombozyten an der Wunde zusammenballen und einen Pfropf bilden. Dieses "Zusammenballen" geschieht wie folgt: Ein Protein des Bindegewebes, das Kollagen, gerät in Kontakt mit dem Blut und die Thrombozyten heften sich an. Es kommt zum vorläufigen **Wundverschluss**. Besteht ein Thrombozytenmangel, so kann der Wundverschluss nicht so leicht von statten gehen. Es besteht ein erhöhtes Blutungsrisiko, da eine Gerinnung nicht oder nur sehr langsam einsetzt.

Die **Lebensdauer** der Thrombozyten bzw. die Zeit in der sie funktionstüchtig sind beträgt nur einige wenige Tage.

Etwa 60-70% der Thrombozyten befinden sich im zirkulierenden Blut und der Rest ist in der Milz vertreten.

Außerdem in den Thrombozyten enthalten sind Enzyme. Sie wirken wesentlich an der **Blutgerinnung** mit, zerfallen jedoch rasch, wenn sie die Blutgefäße verlassen.

2. Die Bildung des menschlichen Blutes

Die **Blutzellen** bilden sich beim Erwachsenen im **Knochenmark**; im Fötus sind weitere wichtige Bildungsorte die **Leber** und die **Milz**. Während im Kindesalter die Blutbildung noch im Mark sämtlicher Knochen stattfindet, hat das Mark der meisten Röhrenknochen bis zum Alter von etwa zwanzig Jahren diese Funktion verloren. Es hat sich zu inaktivem **gelbem Knochenmark** umgewandelt, dessen Färbung von seinem Fettgehalt herrührt.

Das aktive **rote Knochenmark** kommt beim Erwachsenen in den platten und kleinen Knochen vor, etwa im Schädel, Becken und Brustbein, in den Rippen und Wirbeln sowie in den oberen Enden der Oberschenkel- und Oberarmknochen. Nur wenn dieses rote Knochenmark zerstört ist oder sich in fibröses (bindegewebsartiges) Gewebe verändert hat, verlagert sich die Produktion der Blutzellen manchmal wieder in die fötalen Bildungsstätten Milz und Leber.

Das Knochenmark in seiner Gesamtheit ist eines der aktivsten und größten Organe unseres Körpers. Es produziert täglich etwa 200 Milliarden rote Blutkörperchen (Erythrocyten) und 150 Milliarden weiße Blutkörperchen (Leukocyten). Zu diesem Zweck enthält es spezielle kleine, runde Zellen, die sogenannten Stammzellen, die auch im Blut vorhanden sind und sich schnell teilen können.

Ihre **Funktion** ist noch nicht festgelegt: Sie sind pluripotent. Konkret heißt das, daß sie die Fähigkeit besitzen, sich über verschiedene Zwischenstufen oder Vorläuferzellen zu jedem beliebigen Blutzelltyp zu entwickeln. Mit jedem Reifungsschritt wird dabei die ursprüngliche Breite der Entwicklungsmöglichkeiten immer weiter eingeschränkt: Aus der letzten Vorläuferzelle einer eingeschlagenen Entwicklungskette kann schließlich nur noch ein einziger Blutzelltyp hervorgehen.

Das **Entwicklungsrepertoire** der **Stammzellen** ist sehr umfangreich. Sie entwickeln sich nicht einfach zu roten und weißen Blutkörperchen, sondern zu insgesamt mindestens

siebzehn verschiedenen **Zellklassen**. Eine davon sind die Erythrocyten, die anderen umfassen verschiedene Formen von Leukocyten, darunter beispielsweise bestimmte knochenabbauende Zellen oder die Mastzellen, die an allergischen Reaktionen wie Asthma beteiligt sind.

Vielfältige **Regulationsmechanismen** überwachen diese komplexen Reifungsvorgänge bei der Blutbildung (Hämatopoese). Sie sorgen dafür, daß von dem Blutzelltyp, an dem der größte Bedarf besteht, auch am meisten produziert wird und daß die Mengen der verschiedenen Blutzellen konstant bleiben. Wesentlich beteiligt sind dabei sogenannte hämatopoetische Wachstumsfaktoren, regulierende Proteine, die zumeist an anderen Stellen im Körper produziert werden.

Auch bestimmte Bindegewebszellen des Knochenmarks, die Stützzelle, erfüllen bei diesem Prozeß eine wichtige Aufgabe. Die hämatopoetischen Wachstumsfaktoren stimulieren das Wachstum der blutbildenden Zellen im Knochenmark und regulieren Anzahl und Teilungsaktivität der Knochenmarkszellen selbst. Einige dieser Faktoren steuern außerdem die Aktivität der reifen Leukocyten und spielen damit bei der Infektionsabwehr eine Rolle.

3. Die Aufgaben des menschlichen Blutes

Das menschliche Blut hat viele Aufgaben. Zwei dieser vielen Aufgaben ist der **Sauerstoff-** und **Kohlenstoffdioxidtransport**. Man spricht hier auch von einem Gastransport im Blut.

Beim **Sauerstofftransport** wird der Sauerstoff über die Atemorgane aus der Luft bzw. aus dem Wasser aufgenommen und an das Blut weitergegeben. Da die Löslichkeit des Sauerstoffs im Blutplasma äußerst gering ist und nicht für die Versorgung der Gewebe ausreicht, bindet sich der Sauerstoff an Hämoglobin.

Hämoglobin ist der rote Blutfarbstoff der Erythrozyten und ein zusammengesetztes Protein. Es besteht aus einem Eiweißanteil, dem **Globin**, und einem Porphyrinring, dem **Häm**. Hämoglobin kann O₂ locker reversibel an sich binden.

Das Hämoglobin-Molekül besteht aus vier Polypeptidketten mit je einer Häm-Gruppe und das Zentrum bildet ein Eisen-(II)-Ion, an das komplexartig und ohne Änderung der Ionenladung ein Sauerstoff-Molekül gebunden werden kann. Einem Hämoglobin-Molekül ist es möglich vier Sauerstoff-Moleküle zu transportieren, jedoch ist das Bindungsvermögen der Sauerstoffkonzentration von der Umgebung abhängig

Die Atmungsorgane haben eine hohe Sauerstoffkonzentration, deshalb wird Hämoglobin an Sauerstoff gebunden und dadurch der rote Blutfarbstoff gesättigt. In sauerstoffarmen Körpergeweben herrscht ein geringeres Bindungsvermögen; folglich spaltet Hämoglobin Sauerstoff leicht ab.

Das besondere Bindungsverhalten des Hämoglobins ist durch seinen Aufbau zu erklären. Bindet sich ein Sauerstoff-Molekül an die erste Hämoglobin-Gruppe, so erfährt das gesamte Molekül eine räumliche Veränderung. Somit wird weiteren Sauerstoff-Molekülen der Zutritt erleichtert.

Eine Ursache der Sauerstoffabgabe des Hämoglobins, ist die vorliegende niedrige Sauerstoffkonzentration in den Körpergeweben.

Die **Muskelzellen** haben hingegen ein besonders hohes Bindungsvermögen für Sauerstoff. Sie besitzen **Myoglobin**, einen roten Farbstoff, der ein Sauerstoffspeicher ist und bei Bedarf den Sauerstoff auf Enzyme der Atmungskette überträgt.

Der **Kohlenstoffdioxidtransport** im Blut erfolgt zu 10% in physikalischer Lösung. Etwa 30% der CO₂-Moleküle sind an Hämoglobin angelagert, allerdings an anderen Stellen als die O₂-Moleküle.

Ungefähr 60% reagieren mit Wasser unter Bildung von Kohlensäure.

Die Erzeugung von Kohlensäure erfolgt fast ausschließlich innerhalb der Roten Blutkörperchen. Diese enthalten das Enzym Carboanhydrase, das die Reaktion stark beschleunigt. Kohlensäure liegt dissoziiert in H⁺- und HCO₃⁻-Ionen vor. Ein großer Teil der HCO₃⁻-Ionen diffundiert (im Austausch gegen Cl⁻-Ionen) ins Blutplasma. H⁺-Ionen werden von verschiedenen Puffern des Blutes abgefangen. Dadurch wird eine Übersäuerung des Blutes verhindert.

Auch das Hämoglobin bindet einen Teil der H⁺-Ionen, wobei allerdings sein O₂-Bindungsvermögen sinkt. Daher fördert das aus den Geweben ins Blut einströmende Kohlenstoffdioxid die Sauerstofffreisetzung.

In den Lungen laufen die genannten Reaktionen in umgekehrter Richtung ab. Die CO₂-Konzentration des Blutplasmas steigt, und Kohlenstoffdioxid diffundiert in die Lungenluft.

Zu den weiteren **Aufgaben des Blutes** gehört der **Transport von Stoffwechselprodukten, Vitaminen, Nährstoffen und Elektrolyten**.

Die Nährstoffe transportiert das Blut zu den verbrauchenden Zellen, z. B. in die Körpergewebe.

Die **Abfallprodukte des Zellstoffwechsels** schafft das Blut zu den Ausscheidungsorganen.

Auch für die **Körperwärme** ist das Blut verantwortlich. Das Blut bringt die Wärme des Körpers an die Körperoberfläche, wo sie dann abgegeben wird. So dient das Blut dem Körper als Heizung oder Kühlung.

Außerdem transportiert das Blut **Hormone**, die der **Steuerung des Organismus** dienen. Man nennt dies auch die **Signalübermittlung des Körpers**.

Auch zu den Aufgaben des Blutes, gehören die **Herstellung von Abwehrstoffen** gegen Infektionserreger und die **Abwehr** gegen sonstige körperfremde Stoffe.

Weiterhin gehört die **Bildung von Gerinnungsstoffen** zu den Aufgaben des Blutes.

Die Pufferung zählt auch zu den vielen Aufgaben des Blutes. Im menschlichen Blut sorgt der Puffer für einen bestimmten pH-Wert (**Der pH-Wert des menschlichen Blutes liegt bei 7,4. Minimalste Abweichungen sind tödlich!**).

Die Menschen benötigen zirkulierende Körperflüssigkeiten wie das Blut immer dann, wenn der Stofftransport durch reine Diffusion, also durch die Eigenbewegung der Teilchen, nicht schnell genug erfolgen kann.

4. Die Blutgruppen

Mit der Entdeckung des **AB0-Blutgruppensystems** durch *Landsteiner* im Jahre 1900 begann die Entwicklung des heute so umfangreichen Gebietes der **Blutgruppenserologie**.

Die einzelnen Blutgruppen besitzen verschiedene Blutgruppeneigenschaften (**Antigene**). Die **Blutgruppeneigenschaften** sind genegebundene Merkmale, die nach den **Mendel'schen Gesetzen** vererbt werden. Jedes Blutgruppensystem ist mit seinen Genen auf einem bestimmten Chromosomenpaar lokalisiert. Jedes Merkmal innerhalb eines Systems ist Ausdruck eines einzigen Gens. Bekanntlich sind auf den Chromosomen die Gene in bestimmter Weise angeordnet. Gene gleichen Genortes auf einem Chromosomenpaar nennt man Allele (**allele Gene**). Auf einem Chromosom benachbart angeordnete Gene

nennt man **gekoppelte Gene**. Innerhalb der Blutgruppensysteme sind gekoppelte und allele Gene jeweils einem System zugehörig.

Entsprechend dem paarweisen **Vorkommen** der Chromosomen und ihrer Gene - jeweils ein Chromosom stammt vom Vater, das zugehörige andere Chromosom von der Mutter - finden sich entweder zwei gleiche (allele) Gene am selben korrespondierenden Genort des Chromosomenpaares, wie z. B. reinerbig 00 oder zwei ungleiche (allele) Gene, wie z. B. mischerbig A0.

Bei der Kombination, dem Erbbild (**Genotyp**) 00, ist das Erscheinungsbild (**Phänotyp**) 0. Beim Genotyp A0 ist der Phänotyp A, da A über 0 dominant ist. Dominant sind innerhalb des AB0-Systems die Gene A und B. Alle Blutgruppenmerkmale werden kombinant vererbt.

Die **Verteilung der Blutgruppen** innerhalb der Menschheit ist bei einzelnen Rassen und Völkergruppen verschieden und damit eine Voraussetzung für ihre Anwendbarkeit in der anthropologischen Forschung. So fehlt z. B. bei reinrassigen südamerikanischen Indianern das Merkmal A und B. Das Merkmal Rh findet sich bei Chinesen und Japanern äußerst selten, bei reinrassigen Indonesiern und Australiern überhaupt nicht. Besonders gehäuft kommt es dagegen bei den Wallisern der Schweizer Gebirgstäler und bei den Basken vor. Die gesetzmäßige Vererbung der **Blutgruppeneigenschaften** hat ferner ein breites Anwendungsfeld in der Genetik und nicht zuletzt auch in der forensischen (gerichtlichen) Medizin - Klärung der **Identität eines Individuums** oder **Fragen nach der Elternschaft** - erschlossen. Mit Hilfe aller derzeit bekannter Blutgruppensysteme kann heute mit einer 90%-igen Sicherheit die Vaterschaft einer in Frage kommenden Person ausgeschlossen werden.

Beim AB0-System läßt sich die Blutgruppe ohne weiters aus Blutflecken bestimmen, wobei bei anderen Blutgruppensystemen ein Bestimmen aus eingetrockneten Blutflecken nicht immer mit Sicherheit erfaßt wird.

Von forensischer Bedeutung ist aber außerdem die Tatsache, daß insbesondere die Blutgruppensubstanzen, d. h. die Antigene des AB0-Systems von ca. 80% aller Menschen in Sekreten (Speichel, Magensaft, Sperma, Schweiß) ausgeschieden werden und sich noch in Spuren in Sekretflecken nachweisen lassen. Diese Ausscheidereigenschaft ist ein eigenständiges gengebundenes Merkmal und wird dominant vererbt.

Praktisch verwertbares klinisches Interesse haben fast ausschließlich das **AB0-** und das **Rh-System**. Es erstreckt sich hauptsächlich auf Blutübertragungen und die Entstehung des durch Isoantikörperbildung ausgelösten **Krankheitsbildes** des fetalen Erythroblastosen.

5. Das AB0-System

Die **Blutgruppensubstanzen** A und B sind Antigene, die an die Erythrozytenmembran gebunden sind. Im Blutserum eines Menschen der Blutgruppe A (Träger des Antigen A oder der Blutgruppensubstanz A) finden sich agglutinierende komplette Antikörper gegen die Blutgruppensubstanz B (Agglutinin β oder Anti-B).

Im Blutserum eines Menschen der Blutgruppe B (Träger des B-Antigen oder der Blutgruppensubstanz B) finden sich Antikörper gegen die Blutgruppensubstanz A (Agglutinin α oder Anti-A).

Im AB0-System kommen also zwei Blutgruppenantigene A und B sowie zwei Blutgruppenantikörper, Agglutinine α und β vor. Dabei sind vier verschiedene Kombinationen möglich, so daß sich vier Blutgruppen im AB0-System, eine A-, B-, AB und 0-Gruppe unterscheiden lassen.

Die Gruppe A besitzt die erythrozytengebundene Blutgruppensubstanz A, das Antigen A, im Serum den Antikörper β oder Anti-B.

Die Blutgruppe B besitzt die erythrozytengebundene Blutgruppensubstanz B, das Antigen B, im Serum den Antikörper α oder Anti-A.

In der Blutgruppe AB finden sich beide Antigene A und B, im Serum hingegen weder Agglutinin α , noch Agglutinin β .

Die Blutgruppe 0 besitzt umgekehrt weder das Antigen bzw. die Blutgruppensubstanz A oder B, im Serum aber beide Agglutinine α und β , die Antikörper Anti-A und Anti-B.

Auf diesen serologischen Voraussetzungen beruht die **Blutgruppenbestimmung des AB0-Systems** mit spezifisch gegen Blutkörperchen gerichteten staatlich geprüften Testserien.

Blutgruppenbestimmung

Für die Blutgruppenbestimmung werden mehrere Objektträger mit Testseren A (Anti-B), B (Anti-A) und 0 (Anti-A/Anti-B) benötigt.

Es werden 5-7 ml Blut von einem Probanden entnommen und nach dem Gerinnen zentrifugiert. Anschließend wird das vom Blutkuchen abgetrennte Serum in ein leeres Röhrchen pipettiert. Einige Blutkörperchen werden in ein zweites leeres Röhrchen gebracht, woraus man mit physiologischer Kochsalzlösung eine etwa 5%ige Blutkörperchensuspension herstellt.

Auf die Glasplatte bringt man dann je einen Tropfen A-, B- und 0-Testserum. Diesem Testserumtropfen wird je ein Tropfen von der etwa 5%igen Blutkörperchenaufschwemmung hinzugefügt und mit einem Glasstab gut verrührt.

Die Glasplatte wird leicht geschaukelt, damit die Blutkörperchensuspension und die Testserumtropfen sich gut vermischen können. Nach 10 Minuten Stehen bei Zimmertemperatur wird die Platte nochmals leicht geschaukelt. Sofern es zu einer Reaktion gekommen ist, erkennt man mikroskopisch eine deutliche Zusammenballung der Erythrozyten, während unbeeinflusste Blutkörperchen homogen suspendiert bleiben.

Zur Kontrolle ist es zweckmäßig, im Gegenversuch die Serumeigenschaften des Probanden mit A- und B-Testblutkörperchen zu bestimmen:

Dazu wird auf einem Objektträger je ein Tropfen einer 5%igen A- und B-Testkörperchensuspension mit je einem Tropfen des Probandenserums gut verrührt. Nach einer Reaktionsdauer von etwa 10 Minuten kann das Ergebnis abgelesen werden.

Das **Vorkommen der Blutgruppenantigene** des AB0-Systems beschränkt sich interessanterweise nicht nur auf die roten Blutkörperchen, sondern findet sich weit über den ganzen Körper verteilt. Außer in Leukozyten, Thrombozyten, Epithelzellen und wie bereits erwähnt in den Körperflüssigkeiten findet man die spezifischen Blutgruppenantigene darüberhinaus auch im Pflanzenreich.

6. Das Rhesus-System

Neben dem AB0-System gibt es noch weitere Blutgruppensysteme.

Das **Rhesus-System** verdankt seinen Namen der **Blutgruppensubstanz D**, die zuerst beim Rhesusaffen entdeckt wurde. Aber auch fast 85% der deutschen Bevölkerung besitzen diese Substanz.

Menschen mit dem Antigen D, auch (Rh^+) genannt, werden als **Rhesus-positiv** bezeichnet. Sie zeigen den Genotyp DD oder Dd auf.

Rhesus-negativem Blut (Rh^-) liegt entsprechend der Genotyp dd zugrunde.

Dieses Blut enthält normalerweise keine Antikörper gegen die Substanz D.

Ihre **Bildung** wird aber induziert, wenn man Rh-positives Blut auf Rh-negatives Blut überträgt. Wird dann später erneut Rhesus-positives Blut übertragen, kann es zu einer Antikörper-Reaktion kommen.

Das Antigen D spielt nicht nur bei **Blutübertragungen** eine Rolle, es kann auch bei **Schwangerschaft und Geburt** von Bedeutung sein:

Noch heute sterben Neugeborene aufgrund einer **Rhesus-Unverträglichkeit** zwischen dem Blut der Mutter und dem des Kindes. Diese Situation ist gegeben, wenn die Mutter Rhesus-negativ, das Kind aber Rhesus-positiv ist.

Der Blutkreislauf des Fetus ist von dem der Mutter getrennt. Dennoch können Blutkörperchen mit dem Antigen D durch schadhafte Stellen der Placenta in das Blut der Mutter übertreten. Dies geschieht vor allem während der Geburt, hat aber für dieses Neugeborene keine Auswirkungen.

Im mütterlichen Blut induziert das eingedrungene fetale Blut mit Antigen D die Bildung entsprechender Antikörper, wobei dieser Vorgang sich über mehrere Monate hinziehen kann.

Bei erneuter Schwangerschaft der Rhesus-negativen Frau gehen dann Antikörper gegen das Antigen D in den Fetus über. Ist dieser wieder Rhesus-positiv, kommt es dort als Folge der Antigen-Antikörper-Reaktion zur Zerstörung von Roten Blutkörperchen.

Die Folgen einer Rhesus-Erythroblastose (Blutkörperchenzerstörung) können meist bis zur Geburt durch eine erhöhte Produktion von Roten Blutkörperchen aufgefangen werden. Das Neugeborene ist dagegen stark gefährdet. Es leidet an einer Anämie (Blutarmut), die zur mangelhaften Sauerstoffversorgung führt.

Weiterhin setzt der Blutzerfall große Mengen Hämoglobin frei, die zu der Verbindung Bilirubin abgebaut werden.

Während der Schwangerschaft werden die anfallenden Bilirubin-Mengen in den mütterlichen Kreislauf eingeschleust und über die Leber der Mutter ausgeschieden.

Die Leber des Neugeborenen jedoch kann das Überangebot an Bilirubin nicht bewältigen. Im kindlichen Organismus reichert sich dieses giftige Abbauprodukt an, was z. B. an einer Gelbfärbung der Haut kenntlich wird. Schwerwiegender sind die Hirnschäden, die durch das Einlagern von Bilirubin in Nervenzellen eintreten. Häufig stirbt das Kind nach der Geburt.

Die Rhesus-Unverträglichkeit ist ein anschauliches Beispiel dafür, wie wichtig Kenntnisse über Vererbungsvorgänge beim Menschen sind. Wird eine *Rhesus-Risiko-Schwangerschaft* rechtzeitig erkannt, so können wirksame Gegenmaßnahmen eingeleitet werden.

Eine solche **Maßnahme** ist z.B. ein totaler **Blutaustausch** kurz nach der Geburt des Kindes.

Weit verbreitet ist heute eine vorbeugende Behandlung, die die Antigen-Antikörper-Reaktion unterbindet.

7. Die Gerinnung des menschlichen Blutes

Wenn aus einem verletzten Blutgefäß Blut austritt, reagiert der menschliche Körper mit dem Schutzmechanismus, der **Blutgerinnung** (Hämostase), d. h. das flüssige Blut wird zu einem halbfesten gallertartigen Pfropf, welcher die Wunde verschließt und so den menschlichen Körper vor übermäßigem Blutverlust schützt.

Unter dem Mikroskop sieht man, daß dieser Pfropf aus einem dicht gesponnenen Netz aus dem Eiweiß Fibrin und darin eingelagerten Blutkörperchen besteht. Dieses Netz erschwert auch dem Serum den Austritt aus der Wunde. So kann sich eine zusam-

menhängende Kruste, der Wundschorf, bilden, unter dessen Schutz sich dann die Wunde durch Neubildung von Zellen wieder verschließt.

Die Blutgerinnung ist ein komplizierter, mehrstufiger Prozeß, in dem viele enzymatisch wirkende Blutfaktoren beteiligt sind. Sie setzt ein, wenn in einem verletztem Blutgefäß, die Zellen der Wandschicht, die sonst lückenlos von Epithelzellen bedeckt sind, mit dem zirkulierenden Blut in Berührung kommen. Die Zellen sondern spezielle Proteine ab, die als **Blutgerinnungsfaktoren** bezeichnet werden.

Weiterhin lagern sich an die Wundstelle Blutplättchen an, die miteinander verkleben und einen Plättchenfaktor abgeben.

Die **Plättchen- und Gerinnungsfaktoren** bauen in Gegenwart von Calcium-Ionen aus dem im Blutplasma gelösten Eiweißstoff **Prothrombin** das Enzym **Thrombin** auf.

Thrombin hat eine sehr hohe Gerinnungsaktivität und nimmt somit eine Art Schlüsselstellung im Gerinnungsgeschehen ein. Schon geringe Thrombinspuren sind in der Lage, den weiteren Gerinnungsablauf zu katalysieren. Die aus 10 ml Blut aktivierbare Menge Thrombin würde genügen, um das gesamte Blut eines Erwachsenen in Sekunden zum Gerinnen zu bringen.

Das Thrombin aktiviert das Fibrinogen, indem es aus diesem Molekül zwei Peptide abspaltet. Am Ende vieler komplizierter Gerinnungsreaktionen wird die im Blutplasma gelöste Vorstufe, das **Fibrinogen**, durch Kettenbildung zu **Fibrin** umgesetzt, welches die wichtige Aufgabe des Wundverschlusses hat.

Abb. 8: Fibrinfasern umschlingen Blutkörperchen

Literaturverzeichnis

1. Titel: Blut-
Von der Magie zur Wissenschaft
Autor: P.F.W. Strengers, W.G. van Ahen u.a.
Verlag: Spektrum
2. Titel: Blut-
Physiologie des Menschen
Autor: W. Kaboth und H. Begemann
Verlag: Urban und Schwarzenberg
3. Titel: Biologie Linder
Autor: Linder
Verlag: Metzler
4. Titel: Biologie heute S II
Autor: Wolfgang Miram und Karl-Heinz Scharf
Verlag: Schroedel Schulbuchverlag
5. Titel: Lehrbuch der Physiologie
Autor: Wolf D. Keidel
Verlag: Georg Thieme Verlag
6. Titel: GEO - Das neue Bild der Erde
Heft Nr. 11/ November 1997
Die Entdeckungsreise durch den Strom des Lebens - Blut
7. Titel: Taschenatlas der Physiologie
Autor: S. Silbernagl, A. Despopoulos
Verlag: Georg Thieme Verlag
8. Titel: Taschenatlas der Genetik

Autor: Eberhard Passarge
Verlag: Georg Thieme Verlag
9. Titel: Lexikon der Biologie
Verlag: Herder