

## 5. Das Blut- und Lymphsystem

Beim Erwachsenen beträgt die in Herz und Gefäßen zirkulierende Blutmenge etwa 8% des Körpergewichtes.

Die Funktionen des Blutes kann man vereinfacht angeben als:

Transport von Nährstoffen, Abbauprodukten, Gasen, Hormonen;

Pufferfunktion (ausarbeiten lassen !! 1!!) Wärmeregulation

Wundverschluss (Gerinnung ermöglicht Abdichtung von Gefäßverletzungen)

Immunabwehr (nicht nur im Blutgefäßsystem, sondern auch im Lymphsystem!)

Neben dem Blutgefäßsystem durchzieht den Körper ein davon unabhängiges System von Lymphgefäßen. Es funktioniert in enger im Rahmen der Immunabwehr in Kooperation mit den Blutgefäßen. Im Lymphsystem ereignen sich entscheidende Differenzierungsprozesse der Leukozyten die zu einer effizienten Immunantwort notwendig sind ( → geschwollene Lymphknoten bei Infektionen). Aus den Geweben kommende Leukozyten werden über das Lymphsystem wieder in den Blutkreislauf eingeschleust.

### 5.1. Die Blutbildung / Blutzellendifferenzierung

Bei einem Erwachsenen müssen pro Sekunde etwa 2 Millionen Blutkörperchen neu gebildet werden. Durch die Hämatopoese entstehen pluripotente Stammzellen, aus denen während nachfolgender Teilungs- und Differenzierungsschritte jene 5 Zelltypen entstehen, die im Blut vorkommen: Erythrocyten, Granulozyten, Lymphozyten, Monozyten und Thrombozyten



#### 5.1.1. Das Knochenmark

Rotes, blutbildendes Knochenmark findet sich beim Erwachsenen in den meisten Knochen, die kurz, flach oder unregelmäßig geformt sind, außerdem in den körpernahen Epiphysen der Röhrenknochen von Oberarm und Oberschenkel (siehe Graphik). Die Markhöhlen der übrigen Knochen sind nur beim Kind mit rotem Mark gefüllt, das jedoch im Verlauf der Kindheit nach und nach in gelbes, fetthaltiges Knochenmark (Fettmark) umgewandelt wird.

### 5.2. Histologie des Blutes

Daß Blut ist nicht nur „ein besonderer Saft“ ,wie schon Goethe meinte, sondern eigentlich ein Gewebe mit einer Vielfalt von Zellen, die in einem flüssigen Medium, dem Plasma suspendiert sind.

Mit bloßem Auge betrachtet erscheint es wie eine homogene Flüssigkeit, ist aber ein kompliziertes Gemisch verschiedenster Bestandteile. Diese Zusammensetzung kann sich ändern und hängt stark von Gesundheit/Krankheit ab ( → Blutbild). Da Blut ändert praktisch bei jeder Krankheit seine Zusammensetzung, da es bei der Überwindung von Krankheiten grundsätzlich mitbeteiligt ist gehören Blutbefunde zu den wichtigsten Laboruntersuchungen in der Medizin.

Blut dient hauptsächlich der Beförderung von Gasen, Nährstoffen, Stoffwechselprodukten, Zellen und Hormonen durch den ganzen Körper.

Bei Menschen beträgt die in Herz und Gefäßen zirkulierende Blutmenge etwa 8% des Körpergewichtes. Das sind bei einem 70 kg schweren Erwachsenen also etwa 5

- 6 Liter. Durch das weitverzweigte Netz der Blutgefäße erreicht das Blut jeden Winkel des Körpers.

Zentrifugiert man Blut, so trennt es sich in zwei Phasen auf:

# in die festen Bestandteile in Pellet, Blutkörperchen, die ca. 40 - 45% des Gesamtblutvolumens ausmachen; und

# in die flüssige Fraktion, Blutplasma („Blutwasser“) genannt, mit ca. 55 - 60% des Blutvolumens. Oft spricht man, wenn von der flüssigen Blutfraktion die Rede ist, auch von (Blut-) Serum, was das um die Gerinnungsfaktoren (vor allem Fibrinogen) reduzierte Blutplasma bezeichnet (Merkhilfe: Plasma = Serum plus Faktoren). Das Serum entsteht als flüssiger Überstand, wenn man Blut in einem Röhrchen gerinnen läßt. → Plasmaspende (Baxter, etc)

### 5.2.1. Das Blutplasma

Man bezeichnet als Plasma den zellfreien Anteil des Blutes (nach der Gerinnung ist der Überstand das Serum). Es handelt sich um eine klare gelbliche Flüssigkeit, die einen etwa 8%igen Proteinanteil besitzt und etwa 2% kleinmolekulare Substanzen enthält (Zucker, Vitamine, Peptide, Harnstoff, Harnsäure, Stoffwechselprodukte, Salze, etc.).

Im Plasma befinden sich etwa 100 verschiedene Proteine gelöst, die 5 Gruppen zugeordnet werden:

40g/L Albumin

Die Albumine machen die Hauptmasse der Plasmaproteine aus. Sie binden schwerlösliche Stoffwechselprodukte, wie die Fettsäuren, und dienen so als Transportproteine. Darüber hinaus besitzen sie hohe Affinitäten für kleinere Moleküle was sie zu interessanten Forschungsobjekten in der Pharmazie macht (drug delivery / Wirkstoffoptimierung in Richtung HSA-Bindungsfähigkeit).

$\alpha$ 1-Globulin und  $\alpha$ 2-Globulin, (Prothrombin, Profibrinolyse, Transcortin, Haptoglobin [Transport von Hämoglobin aus lysierten Erys], Caeruloplasmin [ $1\text{Fe}^{2+}$  Oxidation],  $\alpha$ -Lipoprotein HDL.

$\beta$ -Globulin Transferrin, Plasminogen [Fibrinolyse] , Komplementfaktor C'3, Lecithin-Cholesterol-Acyl-Transferase,  $\beta$ -Lipoprotein [LDL], Fibrinogen

$\gamma$ -Globulin Antikörper

Die 4 Globulingruppen enthalten sehr unterschiedliche Proteine, als Globuline wurden sie nur wegen ihrer Löslichkeitseigenschaften definiert (in verdünnten Neutralsalzlösungen gut löslich, in reinem Wasser unlöslich, fällbar durch niedrige Konzentrationen von  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ .

Die Globuline sind eine vielfältige Gruppe von Proteinen. Zu ihnen gehören die Antikörper des Immunsystems (siehe unten) und Transportproteine für Lipide (HDL, VLDL, LDL ) und manche Schwermetallionen. Fibrinogen ist ein lösliches Protein, welches bei der Blutgerinnung zu dem unlöslichen Protein *Fibrin* polymerisiert. Im allgemeinen sind die molekularen Bestandteile des Plasmas nicht durch Licht- oder Elektronenmikroskopie darzustellen.

Die restlichen Bestandteile des Plasmas sind im wesentlichen anorganischer Salze.

Das Plasma steht in einem ständigen Austausch mit der extrazellulären Flüssigkeit aller Körpergewebe. Zusammen sind die Plasmaproteine für den kolloidosmotischen Druck im Kreislaufsystem verantwortlich. Dieser hilft den Flüssigkeitsaustausch zwischen Plasma und extrazellulärer Flüssigkeit zu steuern.

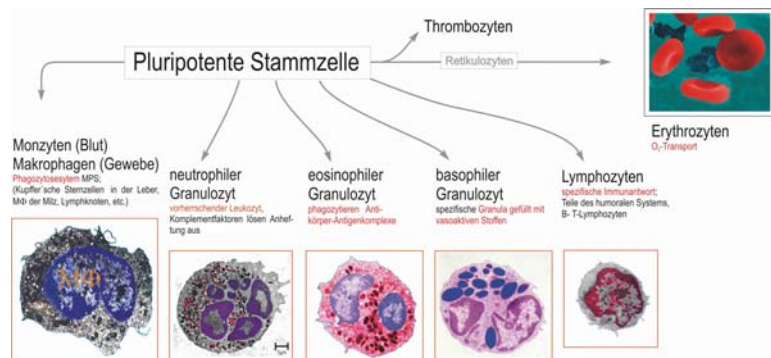
Etwa 0,5% des durch die Kapillaren fließenden Blutes werden durch den lokalen Überdruck von 1,5mm Hg aus den Kapillarwänden Arterien-seitig in den interstitiellen Raum filtriert (20 Liter / Tag). Das Druckverhältnis kehrt sich im venösen Teil um, weil der Blutdruck in den Venen geringer ist und der ins Innere des Gefäßes gerichtete kolloidosmotische Druck ein Rückfließen aus dem interstitiellen Raum ermöglicht (18 Liter / Tag, venöses Blut ist dickflüssiger). Netto ergibt sich ein Fluß von 2 Litern Plasma aus den Kapillaren. Sie werden über das Lymphsystem gesammelt und über rechten bzw. linken Venenwinkel wieder in die Blutbahn geleitet.

### 5.2.2. Die Blutzellen:

Die Blutzellen (Blutkörperchen) sind in drei Funktionsgruppen einzuteilen

- # rote Blutzellen (Erythrozyten),
- # weiße Blutzellen (Leukozyten) und
- # Blutplättchen (Thrombozyten).

Die Erythrozyten dienen in erster Linie dem Transport von Sauerstoff und CO<sub>2</sub>. Die Leukozyten sind ein wichtiger Teil des Abwehr- und Immunsystems. Die Thrombozyten sind ein lebensnotwendiges Glied des Blutgerinnungsmechanismus. Alle Blutzellen oder deren Abkömmlinge werden im Knochenmark gebildet (*Hämozytopoese*). Erythrozyten und Thrombozyten erfüllen ihre Aufgabe ausschließlich in den Blutgefäßen, die Leukozyten hingegen vorwiegend außerhalb der Blutgefäße in den Geweben. Die Leukozyten des strömenden Blutes sind also lediglich auf der „Reise“ zwischen verschiedenen Arbeitsstätten.



### 5.2.2. Erythrocyten

$30 \times 10^{12}$  Erythrozyten im Erwachsenen ergeben als Band nebeneinander gelegt einen Faden der fünfmal um den Äquator reicht!

Die „roten Blutkörperchen“ sind Teller-förmig, besitzen keinen Zellkern (mehr) und haben eine Lebensdauer im Blut von ca. 120 Tagen. Sie werden schließlich in der Milz abgebaut.

In den Sinusknoten der Milz, in der Leber und im Knochenmark werden diese Bruchstücke phagozytiert, wobei Globin und Häm aufgetrennt werden. Beim weiteren Abbau von Häm wird Eisen wiedergewonnen, das Häm über Bilirubin zu Urobilinogen abgebaut und ausgeschieden (Bei einer Störung der Bilirubinausscheidung z.B. durch Lebererkrankungen kommt es durch den Bilirubinüberschuß zur Gelbsucht).

Im roten Blutbefund wichtige Routine-Daten sind: Hämoglobinkonzentration, Erythrozytenzahl, und Hämatokrit (Senkung).

Die Entwicklung eines roten Blutkörperchens (Erythropoese) beginnt bei einer Stammzelle im Knochenmark, die sich zu einem Proerythroblasten differenziert. Die Expression von Hämoglobin beginnt, Eisen wird aufgenommen und es entsteht in der Folge der Erythroblast. Bevor diese Zelle das Knochenmark verläßt verliert sie ihren Zellkern und wird zum Retikulozyten, die man im Blut an einer Netz-artigen Struktur

(Rete=Netz, Retina=Netzhaut im Auge) die wahrscheinlich noch Reste des Kerns enthält, erkennt. Sobald auch diese Reste verschwunden sind ist spricht man vom Erythrozyten. Wie alle Zellen des Körpers tragen auch sie bestimmte Proteine an ihrer Oberfläche, die zu den Blutgruppenantigenen gehören und für Verträglichkeit oder Unverträglichkeit von Blutspenden verantwortlich sind (verträglich sind Spenden von Fremdblut nur dann, wenn das Immunsystem des Empfängers nicht reagiert; wenn sich die Oberflächenproteine also ähneln).

Neben O<sub>2</sub> kann der Erythrozyt auch Glucose aufnehmen und transportieren, das Protein, das für diese Aufnahme als Kanal dient (Glucosetransporter Glut-1, erleichtert Diffusion) befindet sich normalerweise im Inneren des Erythrozyten, wird aber an die Aussenseite gestülpt falls Insulin ausgeschüttet wurde.

### 5.2.3. Thrombozyten

Die Blutplättchen sind 1-4µm groß, besitzen keinen Zellkern, verweilen 1-2 Wochen im Blutstrom und werden danach in Milz und Leber wieder abgebaut.

Wird ein Gefäß verletzt, so lagern sich im Rahmen der primären Hämostase Thrombozyten an den Bindegewebsfasern und Wundrändern an, wodurch bei kleineren Verletzungen nach 1-3 Minuten die Blättchenaggregation einen Thrombozytenpfropf gebildet hat. Um diesen Pfropf spinnt sich ein Netz aus Fibrin. (→ siehe Blutgerinnung)

### Die Blutgerinnung

Drei voneinander unabhängige aber im Lauf der Enzymkaskade miteinander verbundene Systeme können die Blutgerinnung auslösen:

#### 1) primäre Hämostase, Thrombozytensystem

Thrombozyten werden durch unphysiologische Oberflächen, Kollagenfasern die mit dem Gefäßlumen in Verbindung stehen oder durch Stoffe die aus lysierten Zellen freigesetzt werden (Serotonin und Catecholamine) veranlaßt, an der verletzten Stelle zu binden und ein Aggregat zu bilden. Durch diese Aggregatbildung werden Mittlerstoffe freigesetzt: Thromboxan A<sub>2</sub> führt zur Vasokonstriktion, verschiedene Phospholipide bewirken eine lokale Anreicherung der plasmatischen Gerinnungsenzyme. Der Plättchenfaktor 3 (Phospholipid PF<sub>3</sub>) wirkt aktivierend auf die Prozesse der sekundären Hämostase, die zu einem, durch Fibrin stabilisierten, Wundverschluß führt.

2) und 3) Die sekundäre Hämostase kann von 2 unterschiedlichen Seiten her aktiviert werden: extrinsisch durch Faktoren die aus zerstörtem Gewebe freigesetzt werden oder intrinsisch durch Stoffe, die sich in der Blutbahn befinden wie z.B. das Kallikrein-Kinin-System (ein System von Plasmaproteinen und Proteinasen, dessen Komponenten die Wirkungsweise oder Aktivität mancher Blutfaktoren beeinflusst).

### 5.2.4. Monozyten

Mit 12-20µm Durchmesser sind sie die größten Zellen im Blut. Sie besitzen einen hufeisenförmigen oder gelappten Zellkern, verweilen nur 1-2 Tage in der Blutbahn und wandern danach in verschiedene Organe aus, wo sie zu gewebespezifischen Makrophagen differenzieren (z.B. Kupffer'sche Sternzellen in der Leber).

Sie vermögen Mikroorganismen zu phagozytieren und sind wichtige Antigen präsentierende Zellen.

### 5.2.5. Granulozyten (polymorphkernige Granulozyten)

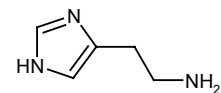
in dieser Familie gibt es nach ihrer Färbbarkeit durch saure bzw. basische Farbstoffe 3 Typen: eosinophile, neutrophile und basophile Granulozyten.

Im Blutbild wichtig sind ihre jeweilige Anzahl, da sie für unterschiedliche Aufgaben benötigt werden, und das Aussehen ihres Zellkernes, an dem man das Alter der Zellen abschätzen kann (je älter, desto stärker segmentiert ist der Kern).

Ihre Aufgabe ist die Phagozytose von Fremdkörpern, Bakterien, Parasiten, die in Zusammenarbeit mit dem Komplementsystem (Markierung und Lyse von Fremdkörpern durch spezielle Proteinkaskade) die unspezifische Immunantwort ermöglicht. Der tägliche Umsatz beträgt etwa 1.63 Mrd. Zellen pro kg Körpergewicht. 1/30 der Granulozytenmasse befindet sich im Blut, eine ebenso große Menge befindet sich im interstitiellen Raum ausserhalb der Kapillaren. Im Falle einer Infektion wird mobilisiert, wobei auch unreife Granulozyten freigegeben werden.

Vor allem neutrophile Granulozyten (50-60% der Gesamt Leukozyten) übernehmen die zelluläre Immunabwehr; die eosinophilen Granulozyten (5% der Leukozyten) treten vermehrt bei Allergie und Parasitenbefall auf.

Basophile Granulozyten (maximal 2%) sind reich an Histaminverbindungen, sie siedeln sich als Mastzellen im interstitiellen Raum an und sind wie die Eosinophilen an Reaktionen vom Soforttyp beteiligt. Ihre Wirkungsweise beruht auf der Freisetzung der in den Granula enthaltenen Stoffe, die die zelluläre Immunantwort durch eine Reihe von Folgereaktionen ankurbeln (Mediatoren, Anheftungsmoleküle etc.)



### 5.2.6. Lymphozyten

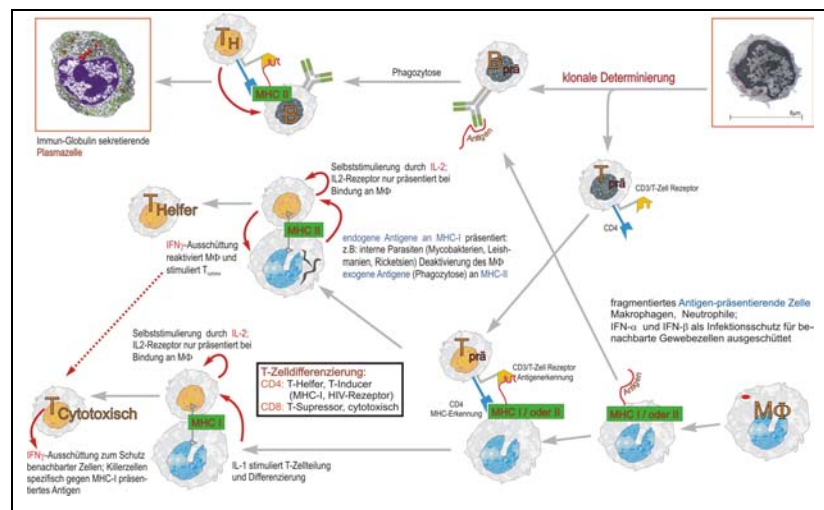
Man unterteilt in B- und T-Lymphozyten, die sich durch ihre Aufgaben während der spezifischen Immunantwort unterscheiden. Sie werden histologisch unter anderem durch ihre Oberflächenmarker (cluster determinanten CD.. ) charakterisiert.

1) T-Lymphozyten werden im Thymus auf ein bestimmtes Antigen geprägt.

Es gibt Untergruppen von T-Helfer-Zellen (T4-Marker) zur Stimulation von B-Zellen zu Antikörper sezernierenden Plasmazellen, T-Suppressor-Zellen (T8-Marker), die überschießende Immunantworten verhindern und zytotoxische T-Zellen (ebenfalls T8-Marker).

2) B-Lymphozyten

Antigenspezifität im Knochenmark geprägt. Unspezifische B-Zellen, Plasmazellen und nach der Ausheilung der Infektion Gedächtniszellen.



### 5.2.7. Die Blutgruppen

An der Zelloberfläche der jeder Körperzelle, vorallem aber auf den Erythrozyten befinden sich Proteine, die bestimmte immunologische Eigenschaften, ein typisches Antigenmuster tragen:

1901 entdeckte Karl Landsteiner dieses ABO System, in dem jede Blutprobe eingeordnet werden kann. Die Blutgruppenmerkmale werden nach den Mendel'schen Regeln vererbt. Bei Unverträglichkeit zwischen Empfänger und Spender kommt es wegen der Antigenerkennung zur Agglutination.



Die Prägung auf Antigene der fremden Blutgruppen ist auch ohne Antigenkontakt vorhanden, Im Unterschied dazu werden gegen Rhesus Antigene erst nach Kontakt Antikörper gebildet (daher Rhesusverträglichkeit zwischen Mutter und Kind erst nach der ersten Geburt relevant).

### 5.2.8. Die Blutbildung / Blutzellendifferenzierung

Bei einem Erwachsenen müssen pro Sekunde etwa 2 Millionen Blutkörperchen neu gebildet werden. Durch die Hämatopoese im Knochenmark entstehen aus *plunpotenten Stammzellen* während mehrerer Teilungs- und Differenzierungsschritte jene 5 Zelltypen, die im Blut vorkommen:

Erythrocyten Granulozyten Lymphozyten Monozyten und Thrombozyten

Erythropoese:

Während Proerythroblasten Hämoglobin synthetisieren und Eisen aufnehmen wandeln sie sich in Erythroblasten um, die noch einen normal geformten Zellkern besitzen. Bevor die neu differenzierte Zelle das Knochenmark verläßt geht der Zellkern verloren; als Übergangsstadium findet man Retikulozyten, die noch eine netzartige Struktur im Cytoplasma zeigen (vermutlich DNA und RNA-Reste des Zellkerns ?). Nach einigen Tagen verschwindet dieses Merkmal, der Erythrozyt hat seine typische tellerförmige 7µm große Gestalt.

Durch Sauerstoffmangel angeregt wird von der Niere das Hormon Erythropoetin ausgeschüttet, das direkt im Knochenmark die Erythropoese stimuliert.

Leukopoese:

Als Vorläuferzellen entstehen zunächst:

Monblasten → Monozyten,

Lymphoblasten → Lymphozyten (wobei B- und T-Lymphozyten an unterschiedlichen Orten ihre endgültige Prägung bekommen)

Myeloblasten → Promyelozyten → Granulozyten

Thrombozytopoese:

Megakaryoblasten entwickeln sich zu Megakaryozyten, Riesenzellen des Knochenmarks (30-100 µm !), die aus Zytoplasmaabschnürung scheibenförmige Thrombozyten mit einem Durchmesser von 2-3,5 µm bilden.

### 5.3. Das lymphatische System

Für eine wirksame zelluläre und spezifische Immunantwort müssen eine Reihe von zellulären Reaktionen eng miteinander abgestimmt werden.

Um kurz zu rekapitulieren:

1. Das Antigen muß an Antigen präsentierenden Zellen binden und eventuell von ihnen aufgearbeitet werden (Monozyten, Makrophagen, etc, MHC-Bindung)
  2. Das Antigen muß von T- und B-Zellen erkannt werden.
  3. in der Folge müssen T-Helfer-Zellen B-Zellen und Vorläufer von cytotoxischen T-Zellen stimulieren.
  4. Es sind Mechanismen zur Proliferation von Effektorzellen nötig.
  5. Gedächtniszellen für eine sekundäre Immunantwort müssen gebildet werden.
  6. Die Immunantwort muß so reguliert werden, daß ein Überschießen verhindert wird (Allergie, Autoimmunerkrankungen wie MS, Muskelschwund, etc.)
- All diese Reaktionen sind *in vitro* nur bedingt reproduzierbar und wenn dann bestenfalls in Einzelschritten.

Die konzertierte Aktion einer Immunantwort findet in den komplizierten Strukturen des sekundären Lymphgewebes statt:

Lymphknoten, Milz, MALT entlang der Atemwege (Mandeln), dem Magen-Darm-Trakt (Peyersche-Plaques und Appendix) und dem Urogenitalsystem.

Die sekundären Lymphgewebe werden von Zellen reticulärer Herkunft (Bindegewebe) besiedelt sowie von Makrophagen und Lymphozyten, wobei letztere sich erst nach intensiver Prägung in Knochenmark und Thymus zu immunkompetenten B- bzw. T-Zellen differenzieren.

Die Kommunikation zwischen den einzelnen Teilen des lymphatischen Systems wird durch zirkulierende Lymphozyten aufrecht erhalten, die aus dem Blut in die Lymphknoten und lymphatischen Organe auswandern und über Lymphgefäße wieder zurück in das Blut gelangen.

Diese Wanderung ermöglicht es Antigen spezifischen Zellen an den Ort einer Infektion vorzudringen.

Man kann diesen Prozeß beobachten, wenn man die Anzahl an Lymphozyten für ein bestimmtes Antigen vor und nach einer Exposition (z.B. Haut ) im Blut bestimmt. Innerhalb von 24 Stunden verschwinden die Antigen-reaktiven Zellen aus dem Blutkreislauf und tauchen erst nach einigen Tagen, nachdem am Ort der Infektion die Proliferation von Antigen reaktiven Zellen eingesetzt hat, wieder in der Blutbahn auf.

#### 5.3.1. Die Lymphbahnen und Lymphknoten:

Im Körper eines Erwachsenen werden pro Tag etwa 2 l Lymphe gebildet davon stammen etwa 10% vom Blutplasma, das in den interstitiellen Raum filtriert wurde. Die Lymphe ähnelt in der Zusammensetzung jener des Blutplasmas, sie enthält jedoch um etwa 60% weniger Protein. Die Lymphe wird von den Lymphkapillaren gesammelt, die zu den Lymphknoten führen. Die Lymphe verbleibt recht lange in den Lymphbahnen, wobei die Passage durch die Lymphknoten dazu dient, die Lymphe von Fremdstoffen (z.B. auch Staubteilchen), Zelltrümmern oder Krankheitserregern zu reinigen.

Die Lymphknoten werden von einer Bindegewebskapsel eingeschlossen, die Fortsätze ins Innere ausbildet (Trabekel). Man kann histologisch zwischen einer innen gelegenen Markzone und einer Rindenzone unterscheiden. In der Rindenzone liegen Lymphozyten in kugelförmigen Verdichtungscentren, den Rindenfollikeln.

In beiden Bereichen befinden sich Hohlräume (Sinus), die durch schlanke Fortsätze von Retikulumzellen aufgespannt werden. In diesem Netz haften Lymphozyten und Makrophagen, die Lymphflüssigkeit kann an ihnen vorbeifließen. An der konkaven Seite des bohnenförmigen Lymphknotens tritt die Lymphe schließlich in ein größeres Lymphgefäß.

#### 5.3.2. Die Milz

Die Milz wiegt etwa 150g deren folgende Funktionen als gesichert gelten:

- # Identifizierung und Abbau von überalterten Blutzellen
- # Speicherung von Thrombozyten
- # Abfangen und Abbau von kleineren Thromben
- # Blutbildung beim Fötus

Die Funktionen der Milz können teilweise von anderen lymphatischen Organen übernommen werden, daher ist ihr Verlust nicht lebensbedrohend.

Morphologisch unterscheidet man ein ausgedehntes dunkelrotes Gewebe (rote Pulpa) in das stecknadelkopfgroße helle Bereiche eingestreut sind (weiße Pulpa).

Die rote Pulpe besteht aus großen Bluträumen (Sinus) und einem Bindegewebsnetz, in das viele rote und weiße Blutkörperchen eingelagert sind.

Die weiße Pulpa setzt sich aus lymphatischem Gewebe zusammen, das sich entlang der arteriellen Gefäße erstreckt und in das kugelförmige Lymphfollikel eingelagert sind (analog zu Lymphknoten, Rindenfollikel?).

### 5.3.3. Der Thymus

Seine größte Ausdehnung besitzt der Thymus bei Kindern und Jugendlichen, ab der Pubertät bildet er sich kontinuierlich zurück.

Seine Hauptaufgabe liegt in der Prägung von T-Zellen und in der Freisetzung von Hormonen (Thymosin, Thymusfaktoren, Thymopoetin), die die Reifung von Immunzellen in den Lymphfollikeln steuern, Autoimmunerkrankungen unterdrücken können und eine wichtige Rolle bei der Transplantatabstoßung haben.

### 5.4. Antigene

Thymus-abhängige Antigene müssen über MHC präsentiert werden, die Stimulation von B-Zellen erfolgt mit Hilfe von T-Zellen (Helfer).

Thymus-unabhängige Antigene (z.B. Lipopolysaccharide mit sich wiederholenden antigenen Determinanten) vermögen Oberflächen-Immunglobuline zu vernetzen (hpts. Ig-M) und ohne T-Zell Beteiligung eine Proliferation spezifischer B-Zellen auszulösen.