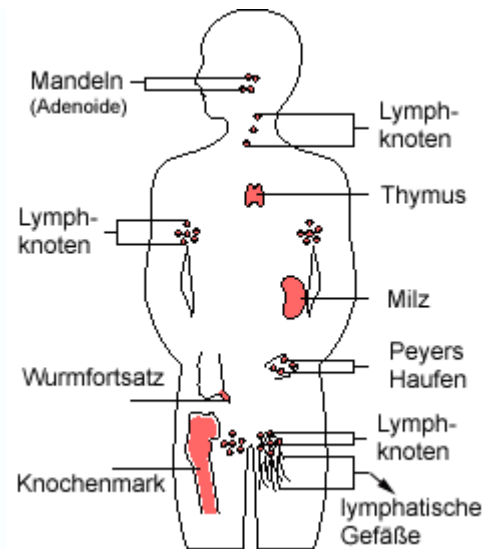


Zum Immunsystem gehören verschiedene Organe, hochspezialisierte Zellen und ein Gefäßsystem, die alle zusammenarbeiten, um den Körper von Infektionen zu befreien.

Rechts sind die verschiedenen oben angeführten Organe dargestellt, die dem Immunsystem angehören. Es sind die **Mandeln**, **Lymphknoten**, die **Thymusdrüse**, die **Milz**, **Peyers Haufen** (nach Johann Konrad Peyer, 1653-1712, Anatom, die *Folliculi lymphatici aggregati* des Dünndarms), der **Wurmfortsatz** und das **Knochenmark**.

Eine zentrale Rolle im Immunsystem spielen die *weißen Blutkörperchen* (**Leukozyten**). Sie werden in bestimmten lymphatischen Organen gebildet, reifen in anderen heran oder werden auf Funktion geprüft. Sie sind es, die in einem kompliziertem Wechselspiel Antigene aufstöbern und vernichten.



Die Organe, die quer über den Körper verteilt sind, nennt man **lymphatische Organe**. Das Wort "Lymph" kommt aus dem Griechischen und heißt *reiner, klarer Strom*. Das oben angeführte Gefäßsystem ist das **Lymphsystem**.

Die einzelnen Teile des Immunsystems findet man in allen Bereichen im Körper, sie besitzen keine Steuerzentrale, sind lernfähig, besitzen ein Gedächtnis und sind gegen sich tolerant.

Man kann die Fähigkeit des Körpers, körperfremde Strukturen (**Antigene**) abzuwehren in 2 Kategorien einteilen:

- **Angeborene Immunität:**
Die angeborene Immunität beruht auf **unspezifischen** Abwehrmechanismen, die sofort oder innerhalb einiger Stunden nach Erscheinen eines Antigens im Körpers wirken. Dazu gehören physikalische Barrieren wie die *Haut, chemische Stoffe im Blut und Immunzellen*, die andere Zellen im Körper bekämpfen. Diese Mechanismen werden durch chemische Eigenschaften des Antigens ausgelöst.
- **Erworbene Immunität:**
Die erworbene Immunität beruht auf der **antigen-spezifischen** Immunantwort und ist weit komplexer wie die angeborene. Das Antigen muss zunächst lokalisiert und erkannt werden. Daraufhin wird eine Armada von Immunzellen produziert, die spezifisch das Antigen bekämpfen können. Als Folge entsteht ebenfalls ein immunologisches Gedächtnis, das künftige Immunantworten gegen das Antigen effizienter macht.

Wie gesagt: alles, was eine Immunantwort hervorruft ist ein Antigen. Der Begriff Antigen hat nichts mit Gen oder Genetik zu tun. Antigene können harmlos wie z. B. ein Graspollen oder gefährlich wie ein HIV-Virus sein. Krankheitserregende Antigene werden Pathogene genannt.

Zu den unspezifischen Abwehr Mechanismen gehören :

- Säuren wie z.B. die Magensäure
- Tränenflüssigkeit, sie enthält das Enzym Lysozym, das den Abbau bakterieller Zellwände katalysiert
- Schleim, er fängt Bakterien ein und wird durch die Flimmerhärchen abtransportiert (Husten, Niesen)
- Körpereigene Mikroflora verdrängt andere fremde Bakterien
- Interferon, es hemmt die virale Vermehrung und lockt natürliche Killerzellen an.
- Komplementsystem, ergänzt die Abwehr der Antikörper

Die Zellen des unspezifischen Immunsystems:

Alle Zellen des Immunsystems werden von Stammzellen gebildet und heißen Leukocyten.

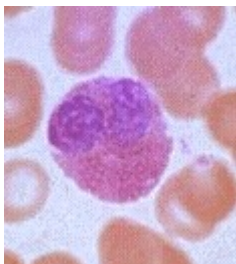
Der einfachste Mechanismus Erreger zu bekämpfen ist sie aufzufressen (phagozytieren). Es gibt 2 Arten von phagozytierenden Zellen:

- a) **Granulocyten** sind kurzlebige Zellen, die viele mit Enzymen gefüllte lysosomen enthalten. Sie zirkulieren im Blut und sind in der Lage, als Reaktion auf eine lokale Invasion von Mikroorganismen in das befallene Gewebe einzuwandern. Es gibt hier 3 Typen:



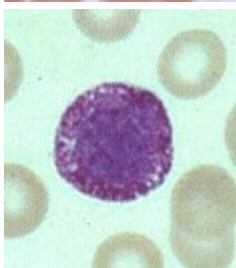
Neutrophile

Neutrophile sind die häufigsten Leukozyten (55-70%) . Sie sind durch gelappte Zellkerne gekennzeichnet. Ihr Cytoplasma enthält 2 Typen von Vesikeln: eine Sorte mit lysosomalen Enzymen und die andere mit Collagenase und Lactoferrin (toxisch für Bakterien und Pilze). Neutrophile werden durch Verletzungen und Infektionen angezogen und phagozytieren im Gewebe Bakterien. Dabei sterben sie.



Eosinophile

Sie machen nur 2-5% der Leukozyten aus. Ihre Vesikel im Zytoplasma enthalten das "major basic protein" (MBP), welches für die meisten parasitischen Larven giftig ist. Eosinophile spielen bei Allergischen Reaktionen und bei der Bekämpfung von Parasiten eine Rolle



Basophile

Basophile machen weniger als 1% der Leukozyten aus, enthalten u.a. Heparin und Histamin. Sie wirken bei der schnellen Immunreaktion gegen externe Antigene bei Asthma, Heuschnupfen usw. mit.

- b) **Makrophagen (Riesenfresszellen)** stammen von im Blut zirkulierenden Vorläuferzellen (Monocyten) ab, halten sich aber vor allem im Gewebe auf. Sie sind langlebiger als Granulocyten, müssen aber erst aktiviert werden.



Monozyten und Makrophagen

Monozyten sind die größten der Leukozyten und machen ca. 5-8% aus. Ihr Zytoplasma enthält viele Lysosomen. Sie können das Blut verlassen und im Gewebe als **Makrophagen** z. B. infektiöse Bakterien und Pilze phagozytieren. Makrophagen scheiden spezielle Stoffe wie Cytokinine und Chemokinine aus, um mit anderen Immunzellen zu kommunizieren. Sie spielen bei Entzündungen und Wundheilung eine Rolle. Sie können von HIV-Viren befallen werden.

Die Phagozytose ist die wichtigste Komponente einer **Entzündung**, die als Reaktion auf eine Gewebeschädigung erfolgt. Folgende drei Schritte werden dabei durchlaufen:

- 1.) Blutzufuhr am Infektionsort wird erhöht.
- 2.) Durchlässigkeit der Blutgefäße für bestimmte Substanzen wird erhöht.
- 3.) Granulocyten und Makrophagen wandern aus dem Blut ins Gewebe ein und fressen die eingedrungenen Antigene.

Eine Begleiterscheinung ist das **Fieber**. Es wird durch Bakterien(toxine)gifte und durch den körpereigenen Stoff Interleukin hervorgerufen und verstellt im Hypothalamus den Sollwert von 37°C.

Natürliche Killerzellen

Raffinierter ist eine weitere Abwehrart. Sie wird z.B. von natürlichen Killerzellen praktiziert. Die **natürlichen Killerzellen** arbeiten unspezifisch und wirken auf Viren. Trifft eine natürliche Killerzelle auf eine von Viren befallene Zelle, so nimmt sie zu dieser Kontakt auf und bindet an einen Rezeptor an deren Zellmembran. Wenn die Killerzelle gebunden hat, erhöht sich in ihr die Konzentration an Calciumionen. Dies wiederum löst die Exocytose von Perforin aus. Perforin ist ein Eiweiß, das wenn es mit Calciumionen in Kontakt kommt seine Struktur ändert. Die Killerzelle pumpt Perforin und Calciumionen in die infizierte Zelle. Dort lagern sich mehrere Perforinmoleküle unter Verbindung mit dem Calciumionen ein und bilden Kanäle in der Zellmembran. Durch diese Kanäle strömt unkontrolliert Wasser und Salz in die Zelle bis diese platzt.

Die Zellen des spezifischen Immunsystems:

Lymphocyten

Die Lymphocyten gehören zur spezifischen Abwehr und werden ebenfalls aus Stammzellen gebildet. Die Stammzellen findet man im Knochenmark. Ein Teil der Lymphocyten besiedelt nach dem Verlassen des Knochenmarks sofort die Milz und die Lymphknoten. Sie heißen **B-Zellen** und spezialisieren sich auf die Herstellung von Antikörpern.

Ein anderer Teil wandert zuerst in die Thymusdrüse und dann in die Milz und Lymphknoten, sie heißen deshalb **T-Zellen**. Die T-Zellen werden in der Thymusdrüse auf spezielle Antigene „abgerichtet“.

Die B-Zellen tragen an ihrer Zelloberfläche Antikörper. Diese Antikörper können ganz bestimmte Antigene (z.B. ein bestimmtes Bakterium) erkennen und binden (Schlüssel-Schloss-Prinzip). Da die B-Zellen ganz spezifisch reagieren gibt es im menschlichen Körper ganz viele verschiedene B-Zellen. Mit der Bindung allein ist die spezifische Abwehr noch nicht zu Ende, sie beginnt hier erst. Nach dem Zusammentreffen teilt sich die B-Zelle und es entsteht ein Klon. Die beiden Klone werden zu Plasmazellen, deren Aufgabe es ist massenhaft freie Antikörper gegen den Eindringling (Antigen) zu bilden (insgesamt dauert dieser Vorgang 5 Tage). Die freien Antikörper stürzen sich auf das Antigen und markieren es so. Makrophagen erkennen die markierten Antigene leichter und fressen sie. Die Erleichterung dieses Vorgangs heißt auch **Opsonisierung**. Die B-Zellen gehören zur so genannten **humoralen Abwehr**, d.h. sie töten die Antigene nicht selber, sondern nur indirekt über die Antikörper. Die Plasmazellen sterben nach einiger Zeit ab. Im Blut verbleiben aber genügend B-Zellen für einen weiteren Angriff, diese B-Zellen heißen auch Gedächtniszellen, da sie sich die Angreifer gemerkt haben. Bei einer neuen Infektion verläuft die Abwehr dann viel schneller.

Deshalb ist eine Impfung gegen bestimmte Antigene sinnvoll. Es werden abgeschwächte (lebend-Impfstoffe→ geringe Konzentration) oder tote Erreger (Tot-Impfstoffe→ hohe Konzentration) gespritzt. Der Körper produziert die passenden B-Zellen. Diese wiederum produzieren Antikörper über Plasmazellen. Es werden Gedächtniszellen gebildet, sodass man einen **aktiven Immunschutz** gegen lebende Erreger besitzt. Bei der **passiven Impfung** verabreicht man monoklonale Antikörper von Hybridomazellen. Hierbei lernt die eigene Immunabwehr nichts und der Schutz hält nur kurz an.

Die T-Zellen teilen sich auf in 2 Arten: T-Helferzellen und T-Killerzellen.

Trifft ein Makrophage auf einen Eindringling so wird dieser phagocytiert. Er wird allerdings nicht völlig verdaut, sondern die Überreste werden nach außen transportiert und haften an einem Rezeptor. Die T-Helferzellen werden in der Thymusdrüse auf ein bestimmtes Antigen trainiert. Trifft nun eine T-Helferzelle auf einen Makrophagen, der gerade einen Eindringling verspeist hat, so präsentiert der Makrophage der T-Helferzelle den Antigenüberrest. Die T-Helferzelle besitzt einen Rezeptor (MHC Protein) der genau zum Antigenüberrest passt. Beide Zellen verbinden sich. Die T-Helferzelle wird durch einen Botenstoff des Makrophagen (Interleukin) aktiviert. Die führt dazu, dass sie selbst einen Stoff produziert: das Interferon. Das Interferon aktiviert die T-Killerzellen (auch: cytotoxische Zellen), welche sich dann ähnlich wie die natürlichen Killerzellen mit den Antigenen verbinden und diese durchlöchern. Außerdem aktivieren die T-Helferzellen ruhende B-Zellen.