

Grundlagen der Immunologie

(Zahnmedizin)

1. Vorlesung

Einführung, Aufbau des Immunsystems
(angeborene-, erworbene- und natürliche
Immunität).

Dr. Ferenc Boldizsár

Einführung in das Fach 1.

- Bitte folgen Sie unsere Website: **www.immbio.hu** während dem ganzen Semester für up-to-date Informationen über unserem Unterricht.
- Die Leistungskontrolle während des Semesters werden online mit Hilfe von **www.medtraining.eu Website** durchgeführt. Am Anfang des Semesters alle Studenten werden mit Neptunkod in „**medtraining.eu**" System automatisch registriert. Nach Aktivierung können Sie in diese Plattform die wöchentlichen Teste während die Vorlesung absolvieren.

Improved Medical Education in Basic Sciences for Better Medical Practicing



Improved Medical Education in Basic Sciences for Better Medical Practicing
HUHR/1601/4.1.1/0009
Interreg V-A Hungary-Croatia
Co-operation Programme 2014-2020

Disclaimer: "This webpage has been produced with the financial assistance of the European Union. The content of the webpage is the sole responsibility of „University of Pécs Medical School“ and of „Faculty of Medicine, University of Osijek) and can under no circumstances be regarded as reflecting the position of the European Union and/or the Managing Authority."



Available courses

[Grundlagen der Immunologie 2021](#)

Login Name: neptunkod
Password: neptunkod

Einführung in das Fach 2.

- **2 Vorlesungen / Woche** (eigene Notizen zu machen!) Namensliste wird jede Woche durchgeführt. **Maximum 3 Abwesenheiten werden erlaubt!**
- **Vorlesungstest:** Schnelle Tests zu Beginn jede Vorlesung (während den ersten 10 Minuten) über die **Vorlesung der vorherigen Woche** (2 randomisierte Testfrage auf „**medtraining.eu**“), insgesamt 12 Tests für ein Maximum von 24 Punkten. **Zur Anerkennung des Semesters sind mindestens 12 Punkte (50%) notwendig.** Erzielt man in den Tests mehr als 12 Punkte, so werden die überschüssigen Punkte zu dem Prüfungsergebnis addiert.
- **Online Testprüfung:** von den Vorlesungsmaterialien. Bewertung: minimum Stufe: 66%; 2: 66-71%, 3: 72- 77%, 4: 78-83%, 5: 84%
- **Website:** www.immbio.hu

Universität Pécs (Fünfkirchen), Medizinische Fakultät, Institut für Immunologie und Biotechnologie



Direktor:
Prof. Dr. Timea Berki



Adresse:
**7624, Pécs,
Szigeti út 12.;
Tel.: 06-72-536-
288; Fax.: 06-72-
536-289**



Dr. Ferenc
Boldizsár



Dr. Péter
Engelmann

Empfohlene Literatur

www.immbio.hu

Georg A. Holländer: **Immunologie – Grundlagen für Klinik und Praxis**
(Elsevier 2006)

Christine Schütt, Barbara Bröker:
Grundwissen Immunologie
(Spektrum 2006)

Anna Erdei, János Gergely:
Immunbiologie in Bildern (Medicina
2005)



Kartoniert, Paperback
2006
IX, 291 S. m. 75 farb. Abb.
27 cm
ISBN: 978-3-437-21301-4

Einführung in das Fach 3.

- Warum ist es wichtig die Immunologie zu lernen?
 - Das Immunsystem ist auf die eine oder andere Art in fast allen menschlichen pathologischen Zuständen und Vorgängen involviert.
 - Viele Labordiagnostiken basieren auf immunologischen Methoden. (mehr später)
 - Eine zunehmende Zahl an Krankheiten können durch manipulation des Immunsystems behandelt werden. (mehr später)
 - Autoimmune Krankheiten betreffen 7-8% der Bevölkerung. Sie sind chronisch und im allgemeinen nicht heilbar, können aber häufig effektiv behandelt werden. (mehr später)
 - Die Zahl der Patienten mit einem kompromittierten Immunsystem hat in letzter Zeit zugenommen. (Durch therapeutische Immunsuppression und HIV, mehr später)
 - Laien haben auch starke Meinungen bezüglich Immunologie. → Medien neigen dazu medizinische Fakten mit Quacksalberei und Pseudowissenschaft zu vermischen.

**First Case of Diphtheria in Spain Since 1986
After Parents Shun Vaccination**

TIME

Nachrichten vom Juni 2015

Unserer Denkansatz

- Moleküle
- Zellen
- Geweben
- Funktionen

Wir beschäftigen uns erhöht mit Bereiche die von zahnmedizinische Sichtpunkt besonders signifikant sind.

Grundbegriffe

- **IMMUNIS,- e** (*Julius Caesar*) = “frei sein von etwas”. Wenn man im alten Rom von z.B. Steuern, Gesetzen oder Krankheiten befreit war, sagte man immunis.
- **IMMUNITÄT:** Unanfälligkeit gegenüber einer Krankheit;
- **IMMUNOLOGIE:**
 - junge Wissenschaft
 - Forschungsgebiet der theoretischen und angewandten Biologie
 - analysiert die Einheiten, die für Selbst- und Nichtselbsterkennung (1), die Beseitigung der Eindringlinge (2) und den Schutz des Körpers (3) verantwortlich sind.
 - Die Immunologie ist ein Querschnittsfach, d.h. sie spielt in allen klinischen Fachdisziplinen eine Rolle: von der **Dermatologie** bis zur **Neurologie**, von der **Impfprophylaxe** bis zur **Stammzelltransplantation**

Definition von „Antigen“

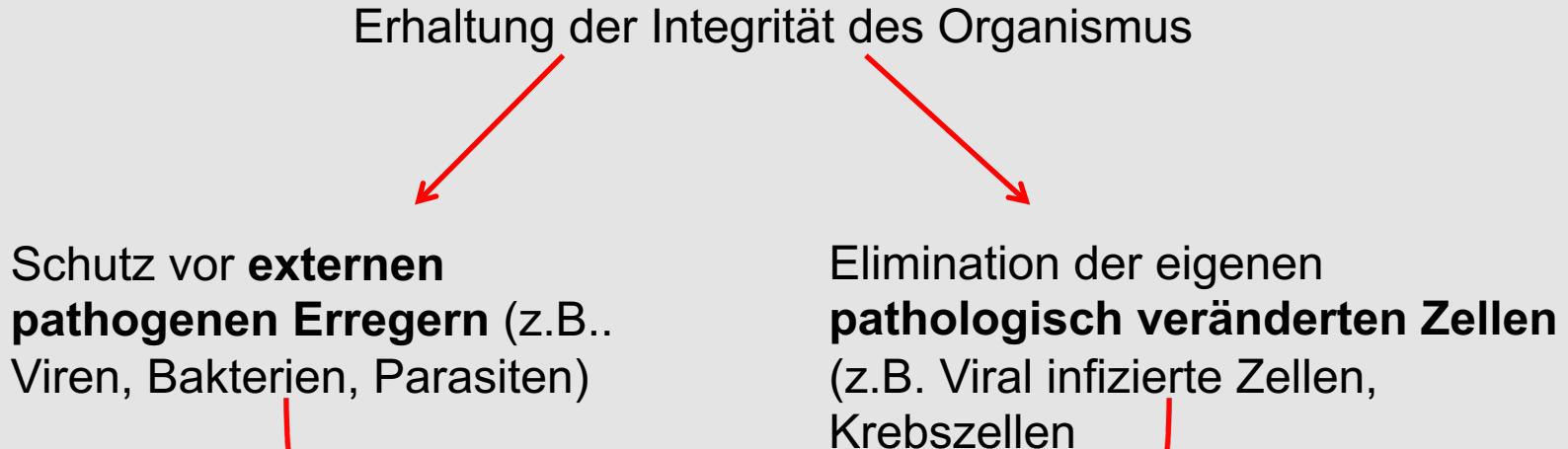
Detre (Deutsch) László (1874-1939):

ANTIBODY GENERATOR: ein Stoff der löst Antikörperproduktion aus (1899)

Modern Definition: ein Stoff der von T- oder B Zellrezeptoren erkannt wird und löst eine aktiv Immunantwort oder Toleranz aus entsprechend dem Immungenetische Hintergrund von dem Wirtorganismus (MHC-Haplotyp).

Hauptaufgabe des Immunsystems

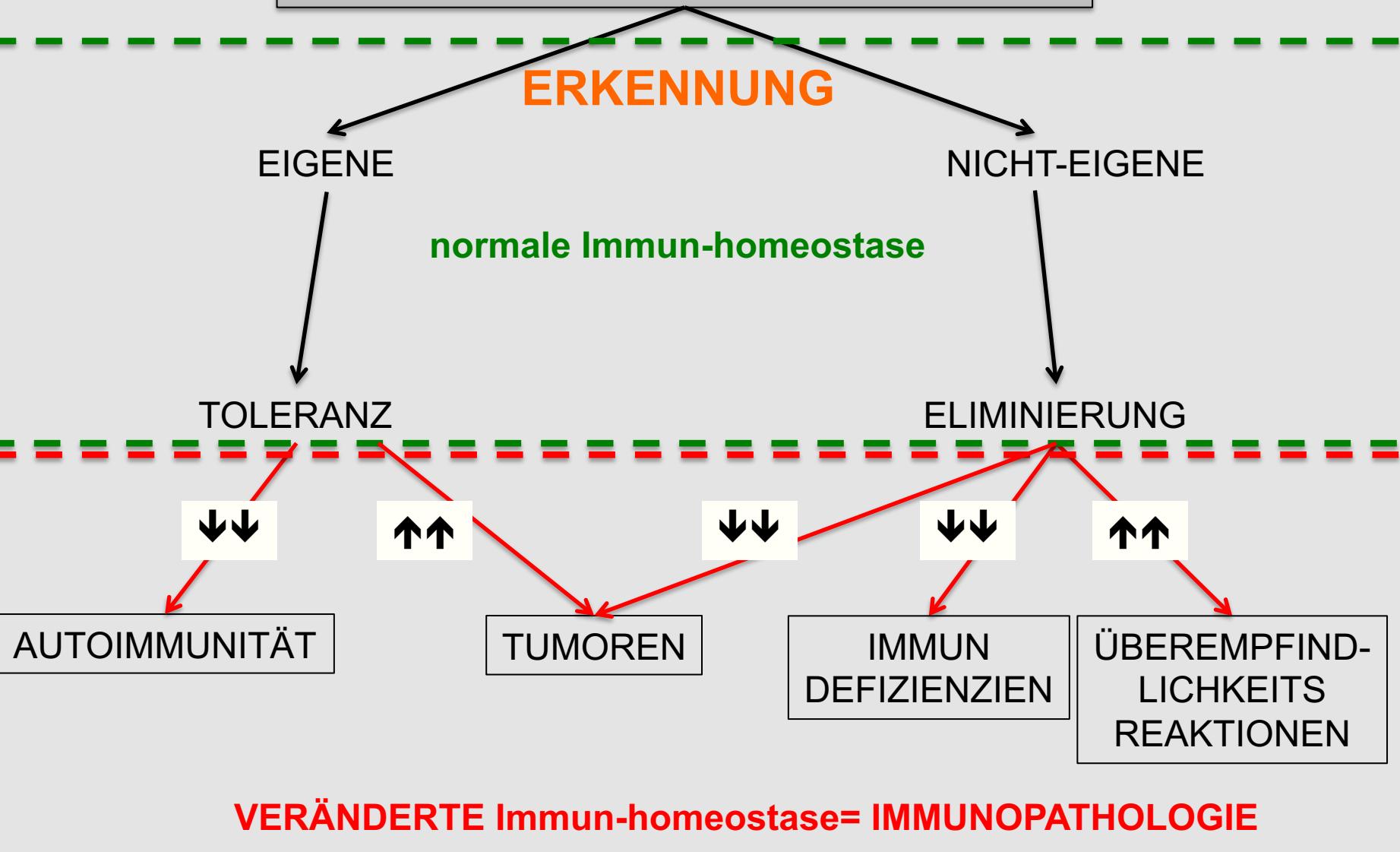
Das Immunsystem ist eine strukturelle und funktionelle Netzwerk.



Erkennung und Unterscheidung von normale **organismuseigenen Strukturen** und veränderte eigene- oder fremde Strukturen.

IMMUNANTWORT
(entweder aggressiv oder immunologische Toleranz)

Immunsystem



Aufbau des Immunsystems



Angeborene

- Nicht antigenspezifisch
- Keine immunologische Gedächtniss
- Schnell
- Lineare Verstärkerung

Erworbene (adaptiv)



- Antigenspezifisch
- Immunologische Gedächtniss
- Aktiviert sich nach Latenzzeit
- Exponentielle Verstärkerung

Natürliche

Angeborene-ähnliche Immunität mit adaptive Eigenschaften.



Angeborene Immunität

- ◆ Mustererkennungsrezeptoren
(Pattern recognition receptors (PRR))
- ◆ Patogen-assoziierte molekuläre Muster (Pathogen associated molecular patterns (PAMP))
- ◆ Erste Abwehrlinie
- ◆ Niedrige Zahl von molekulär-unterschiedliche Rezeptoren und hoche Zahl von erkannte molekuläre Muster
- ◆ Haupt molekuläre Komponenten: antibakterielle Peptide, Komplementfaktoren und ihre Rezeptoren, Hitzeschockproteine, Fc Rezeptoren, Entzündliche Zytokine, Wachstumsfaktoren, Histamin
- ◆ Haupt zelluläre Komponenten: Makrofagen, Monozyten, NK Zellen, Granulozyten, Mastzellen



Erworrene (adaptív) Immunität

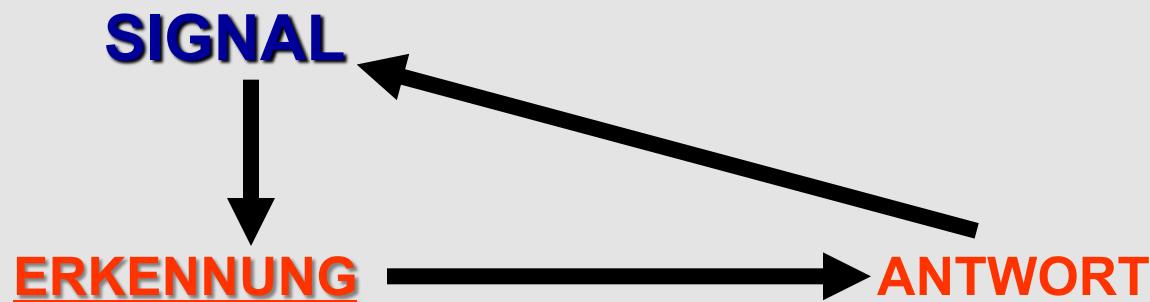
- ◆ Antigenrezeptoren (BCR, TCR)
- ◆ Epitopspezifität
- ◆ Adaptív Immunantwort
- ◆ Hoche Zahl von molekulär unterschiedliche Rezeptoren und hoche Zahl von erkannte Antigene
- ◆ Haupt molekuläre Komponenten: Antikörper, MHC, T- und B Zellrezeptoren, Lymphatische Zytokine
- ◆ Haupt zelluläre Komponenten: T Zellen ($\alpha\beta$), B Zellen, Antigepräsentierende Zellen



Natürliche Immunität

- ◆ Antigenerkennungsrezeptoren (BCR, TCR) mit begrenzte Spezifität
- ◆ Mustererkennungsprofil
- ◆ Angeborene-ähnliche Immunantwort
- ◆ Limitierte Zahl von Antigenrezeptoren und hohe Zahl von erkannte Antigene
 - ◆ Haupt molekuläre Komponenten: iNKT, iγδT, MAIT, IEL, CD5+ B1 sejtek
 - ◆ Haupt zelluläre Komponenten: natürliche (auto)antikörper

Theoretische Schema des angeborenen Immunsystems



Theoretische Schema des erwobenen Immunsystems



Grundlagen der Immunologie

(Zahnmedizin)

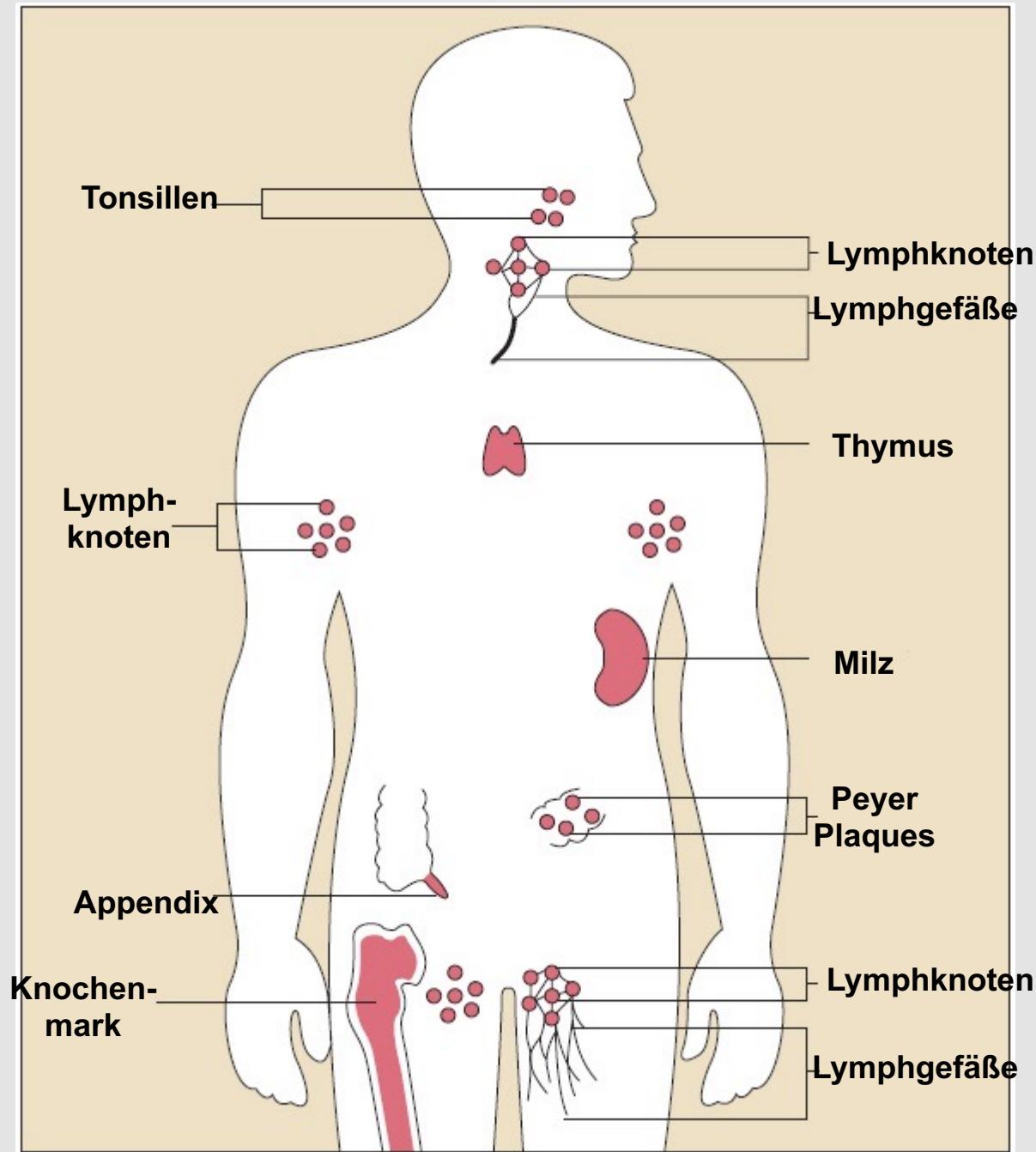
2. Vorlesung

Entwicklung und Struktur von den Zellen und
Geweben des Immunsystems

Dr. Ferenc Boldizsár

Organe des Immunsystems

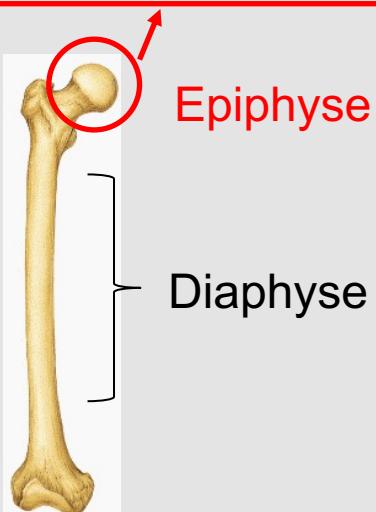
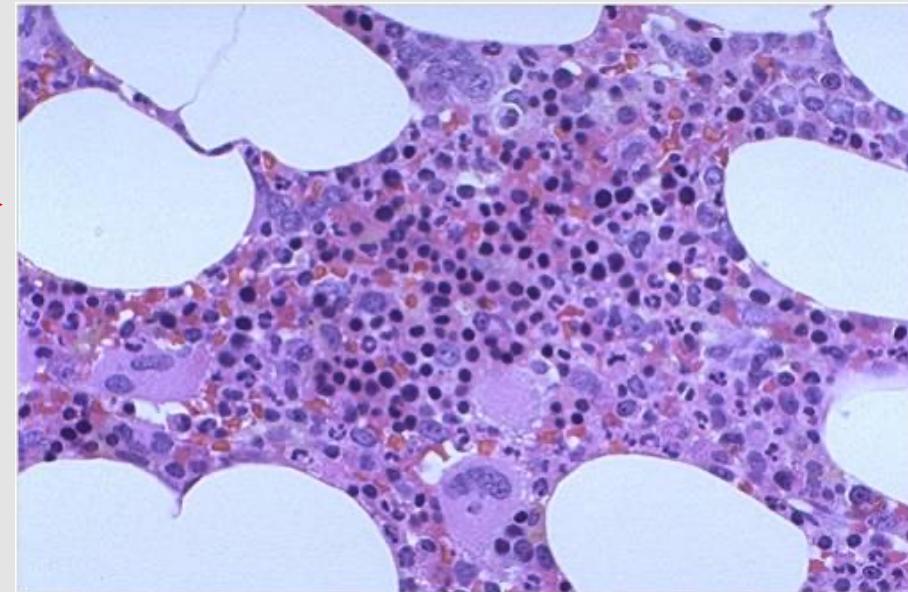
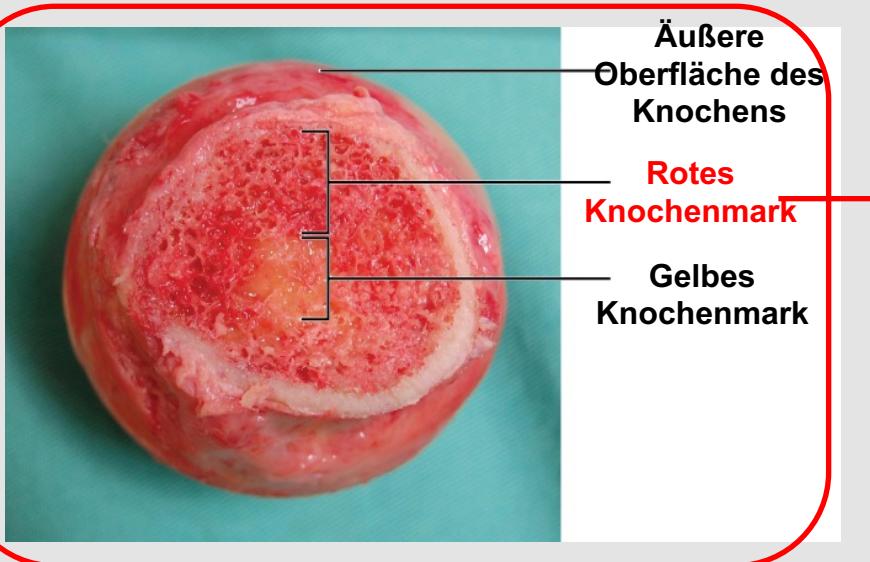
- Das Immunsystem besteht aus einem **Netzwerk** von Zellen und Organen. (Der gesamte Körper muss vor Erregern geschützt werden.)
- Lymphoide Organe:
 - Primäre (für die Produktion von Immunzellen)
 - **Knochenmark, Thymus**, embryonische Leber (+Bursa Fabricii in Vögeln [Nomenklatur: „B“ Lymphozyten stammen von der Bursa und „T“ Zellen vom Thymus^[1.]])
 - Sekundär (Ort der Antigenerkennung und Immunantwort)
 - **Lymphknoten, Milz, MALT** (mucosa-assoziiertes lymphatic tissue), **SALT** (skin-associated lymphatic tissue)
 - Tertiär (pathologisch, normalerweise bei chronischer Entzündung)
 - Z.B. ektopische (=an einer abnormalen Stelle) Lymphfollikel



Knochenmark (medulla ossium)

- Spongiöses Gewebe im Knocheninneren das 4-5% des Gesamtkörpergewichts in Erwachsenen ausmacht. ($\approx 2,6$ kg)^[2.]
- Rotes Knochenmark (medulla ossium rubra):
 - Befindet sich in **kurzen und flachen Knochen** (Sternum, Rippen, Schlüsselbein, Becken, Wirbel und Schädel) und in der **Epiphyse der langen Knochen** (z.B. Femur)
 - Funktion: Produziert Zellen des Blutes (Hämatopoese) → allein 10^{11} neue Neutrophile Granulozyten täglich^[3.] (Der menschliche Körper besteht aus ca. $3,7 \times 10^{13}$ Zellen)^[4.]
- Gelbes Knochenmark (medulla ossium flava):
 - Befindet sich in der **Diaphyse der langen Knochen**
 - Besteht aus Adipozyten, kann sich aber bei Bedarf in rotes Knochenmark umwandeln (z.B. nach Blutverlust)

Struktur des roten Knochenmarks



- Spongiöses Knochengewebe mit Sinusoiden, Räume sind mit Zellen verschiedener Abstammungen die sich der Hämatopoese unterziehen (siehe später), Stromazellen und Adipozyten gefüllt [2.]
- Reife und unreife/naive B-Zellen verlassen das Knochenmark, während T-Zellen die im Knochenmark produziert werden zu unreif sind, und im Thymus weiter reifen müssen.
- **Reif:** Können Antigen erkennen
- **Naiv:** sind noch nicht auf Antigene getroffen.

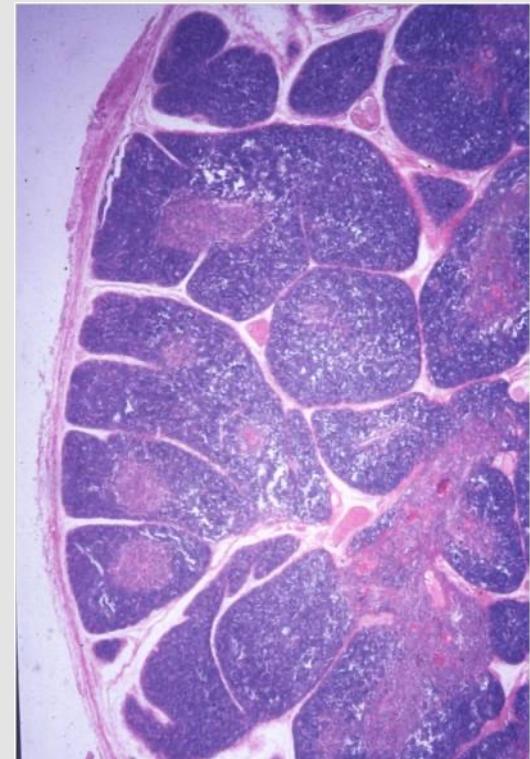
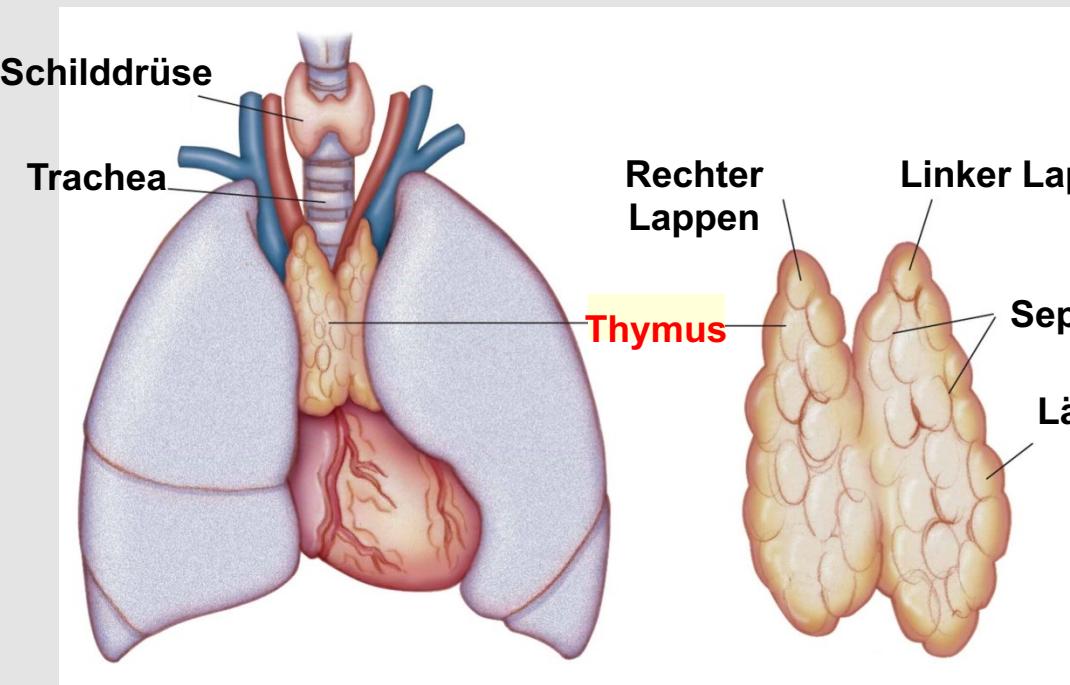
Klinische Bedeutung des Knochenmarks

- Knochenmarksbiopsien oder –aspiration für histologische und zytologische Beurteilung bei hämatologischen Krankheiten (z.B. Leukämie, aplastische Anämie, etc.)
 - Probenentnahme von: **Crista Iliaca** oder **Sternum**^[5.]
- Sammeln hämatopoetische Stammzellen (HSC) für die Durchführung einer Knochenmarks-transplantation
 - Üblicherweise aus peripherem Blut nach einer Zellmobilisierung gesammelt. [6.]



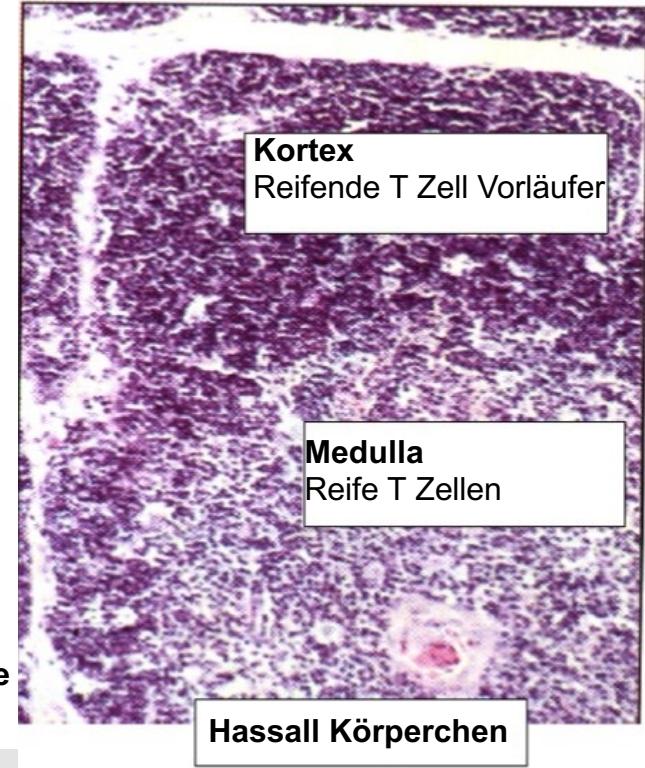
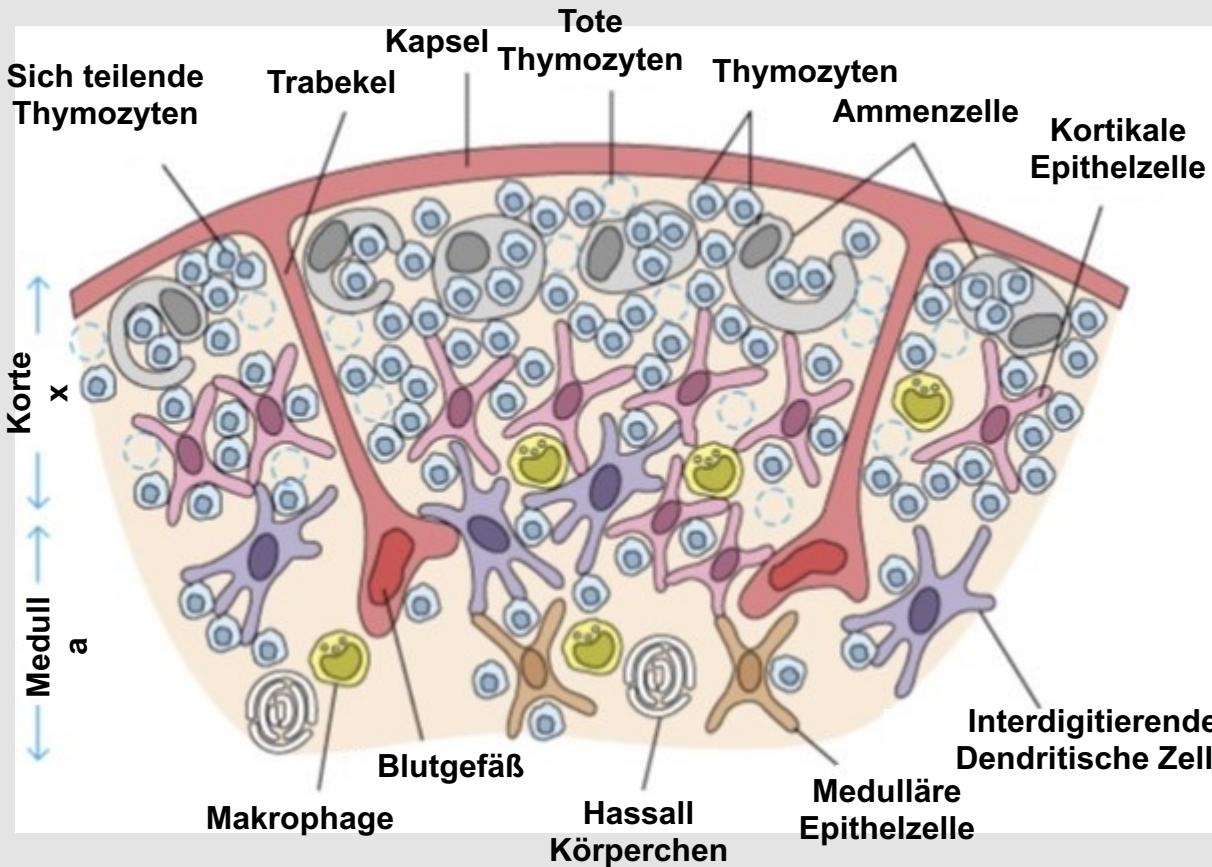
Thymus

- Ein lobulierte Organ dass sich im oberen Mediastinum befindet, es ist der **primäre Ort der T-Zell Reifung**.
- Besteht aus **2 Lappen** die in weitere **Läppchen** durch Bindegewebssepten geteilt sind. Die innere Schicht von Läppchen wird **Medulla** genannt, die



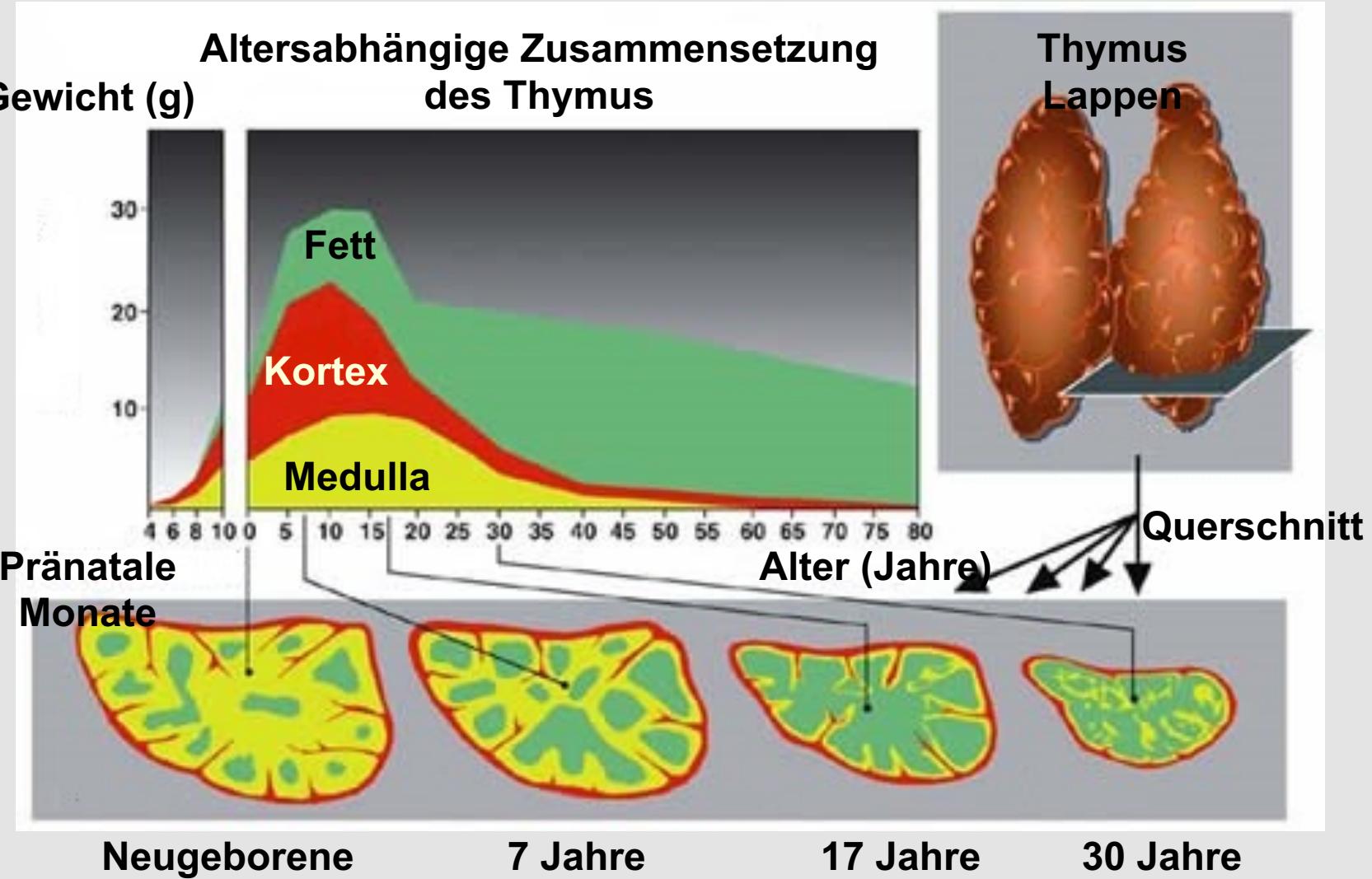
Thymus (H&E Färbung): die periphere basophile Schicht ist die Kortex. Die inner medulla erscheint eosinophiler da sie weniger Nuklei enthält.

Histologie des Thymus



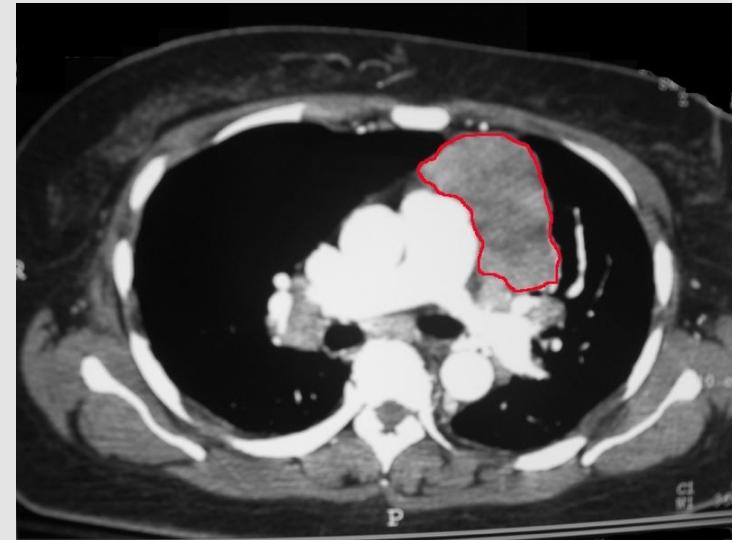
- T Zell Vorläufer (=unreife Zellen) die vom Knochenmark produziert werden betreten den Thymus durch Blutgefäße → **Reifung** (siehe später) → Reife und naive T Zellen verlassen den Thymus und treten in den Blutkreislauf ein
- **Hauptzellbestandteile des Thymus:** T Zellen (Thymozyten), Thymusepithelzellen, Dendritische Zellen, Makrophagen, Epitheloretikuläre Zellen^[7]

Involution des Thymus



Klinische Bedeutung des Thymus

- **Kongenital Fehlbildungen** (z.B. ektopischer Thymus oder Thymusaplasie [=Fehlen des Thymus] z.B. bei dem DiGeorge Syndrom → **Immundefizienz**)
- **Tumore** (Thymom, Thymus Karzinom)^[8.]
 - Kann mit Autoimmunkrankheiten wie Myasthenia Gravis assoziiert sein (mehr dazu später)
 - Kann naheliegende Strukturen komprimieren (z.B. Superior Vena Cava Syndrom, Dysphagie: mehr dazu in dem Klinischen Teil des Studiums)



Thorax CT Angiographie (das Färbemittel befindet sich in den Blutgefäßen): Die rote Linie markiert eine thorakale Raum-förderung die später bei einer histologischen Untersuchung als Thymom identifiziert wurde.

Lymphknoten (nodus lymphaticus)

- Agiert als **Filter der Lymphe**: Lymphflüssigkeit die den Knoten durch afferente Lymphgefäßre erreicht wird für **Pathogene** und **Tumorzellen gefiltert**. (Es ist eins der Organe wo die adaptiven Immunzellen erstmals auf Antigene treffen können.)
- Das ist der Ort wo Antigene die in das Lymphsystem eintreten von den adaptiven Immunzellen **erkannt** werden gefolgt von **Zellproliferation** und – **differenzierung**.
- **Wichtige Klinische Bedeutung**: Infektionserreger und Tumorzellen können sich über das Lymphsystem ausbreiten.

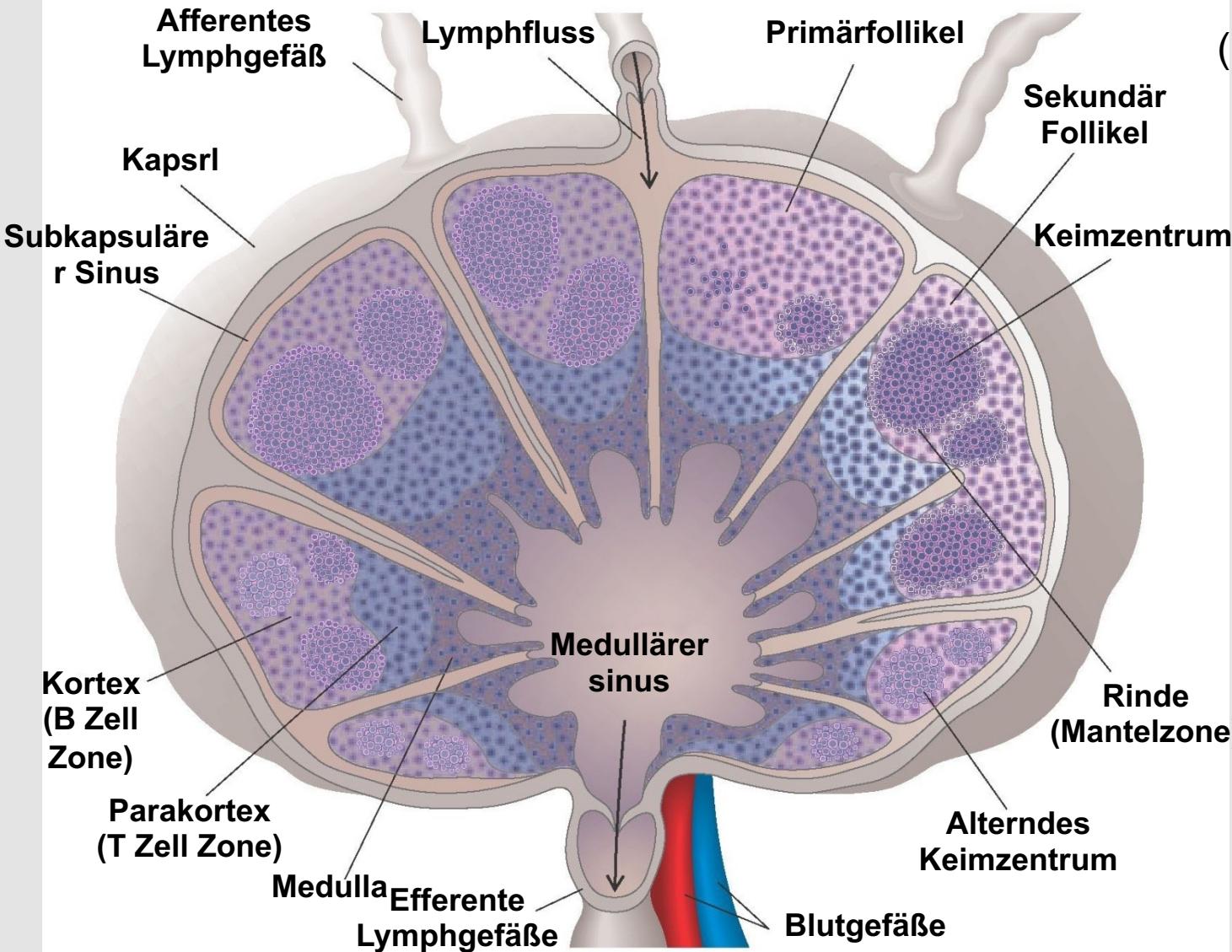


Retroperitoneale Lymphadenomegalie (=vergrößerte Lymphknoten) können im CT Bild gesehen werden. Pfeile markieren die vergrößerten Knoten.

Struktur der Lymphknoten 1.

- Verfügt über eine äußere fibröse Kapsel von der Trabekel in das Organinnere strahlen.
- Äußerste bis innerste Lagen: **Kortex**, **Parakortex** und die **Medulla**.
- Afferente Lymphgefäß treten durch die konvexe Oberfläche ein; Die efferenten Lymph- und Blutgefäße befinden sich im Hilum.
- Retikuläres Bindegewebe bildet das Gerüst der Lymphknoten.
- Eintrittsorte der Immunzellen:
 - Aus dem Blut: **Hochendothiale Venole** (HEV)
 - Aus dem Lymphsystem: afferente Lymphgefäß
- Zelluläre Zonen:[^{9.}]
 - Kortex: **B Zellen** sind in **Follikeln** organisiert, Zellen die ein Antigen erkennen proliferieren und bilden ein Keimzentrum.
 - Parakortex: **T Zellen** und **Dendritische Zellen** diffus verteilt
 - Medulla: vor allem Antikörper produzierende **Plasmazellen**.

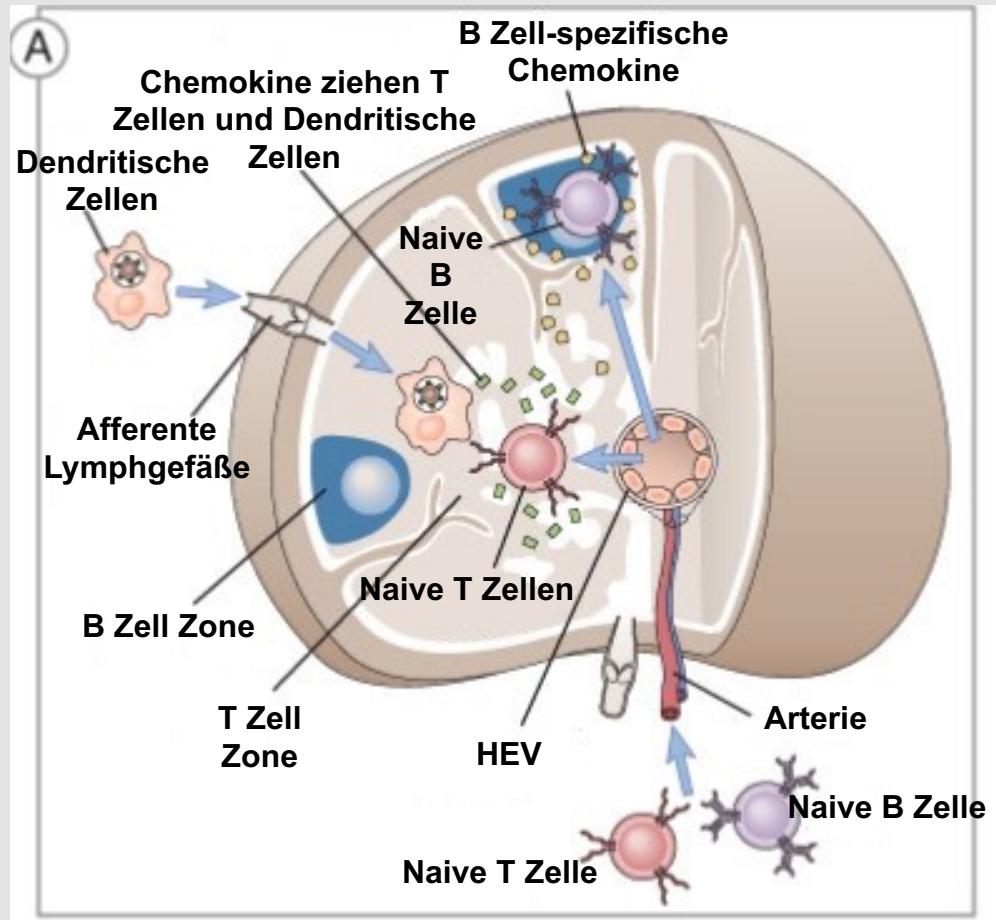
Struktur der Lymphknoten 2.



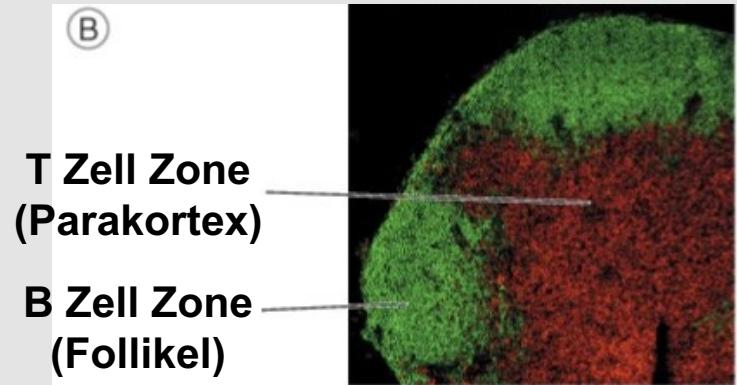
Weg der Lymphe
(mit Endothelzellen bedeckt):

1. Afferentes Lymphgefäß
2. Subkapsulärer Sinus
3. Kortikaler Sinus
4. Parakortikaler Sinus
5. Medullärer Sinus
6. Efferentes Lymphgefäß

Struktur der Lymphknoten 3.

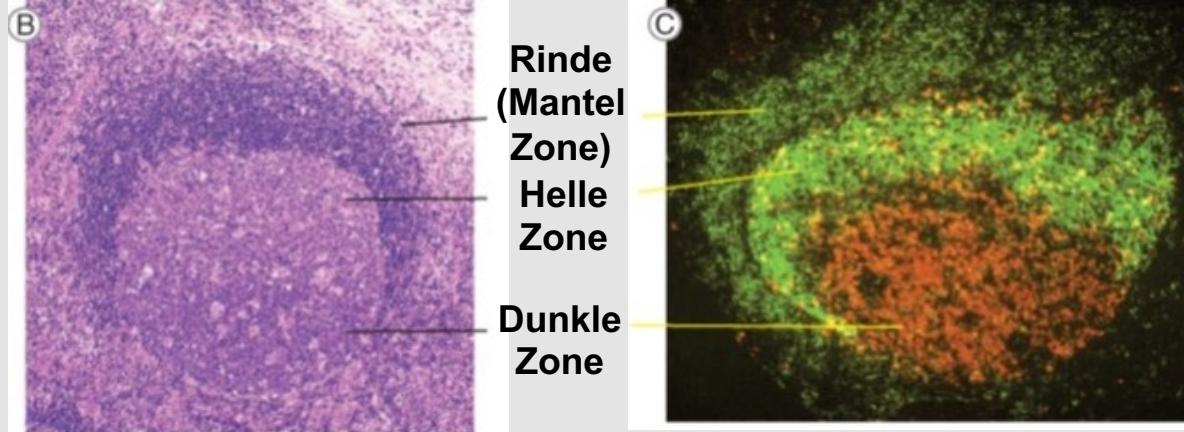
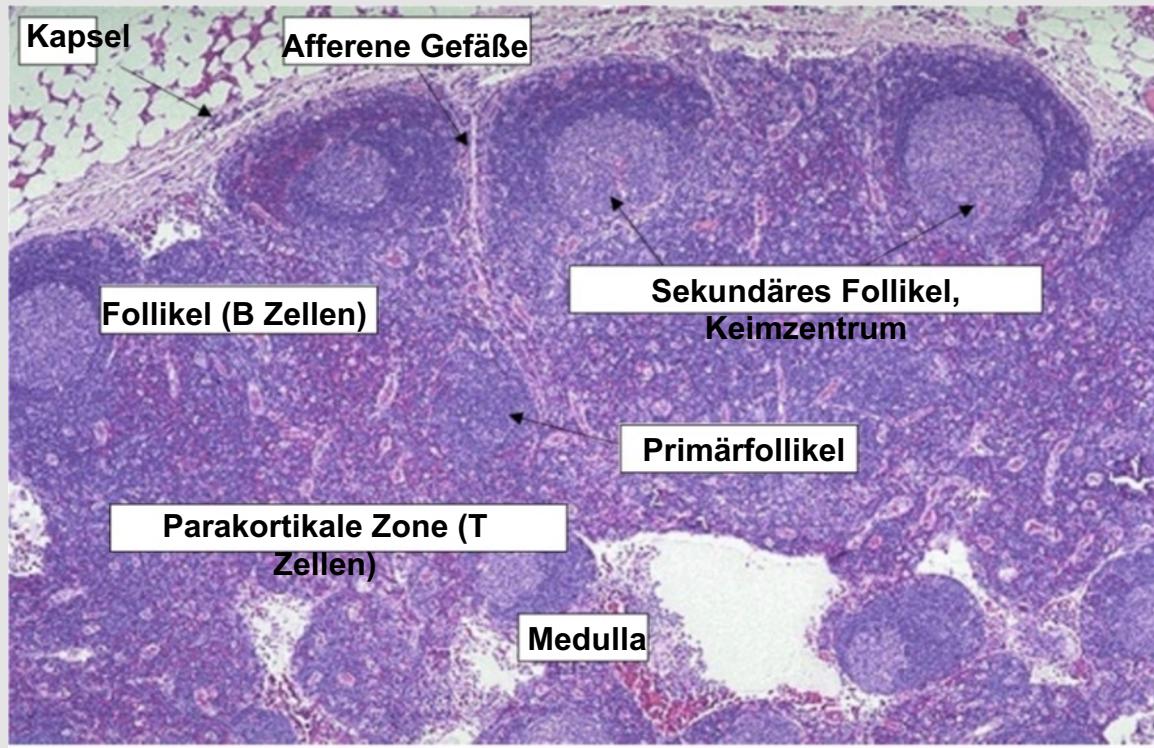


Die Zellorganisation wird durch **Chemokine** (später in den Vorlesungen behandelt)



Immunfluoreszenzmikroskopie
(siehe später)

Lymphfollikel (folliculus lymphaticus)



Hauptzellbestandteile:

B Zellen, Makrophagen, Follikuläre-T-Helferzellen, Follikuläre Dendritische Zellen (FDC)

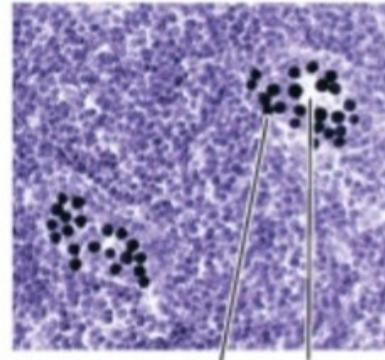
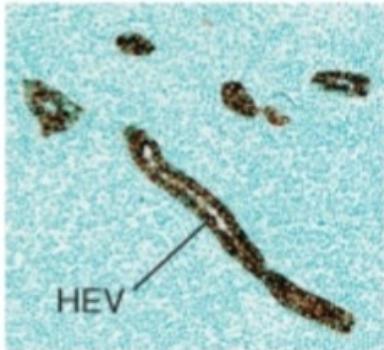
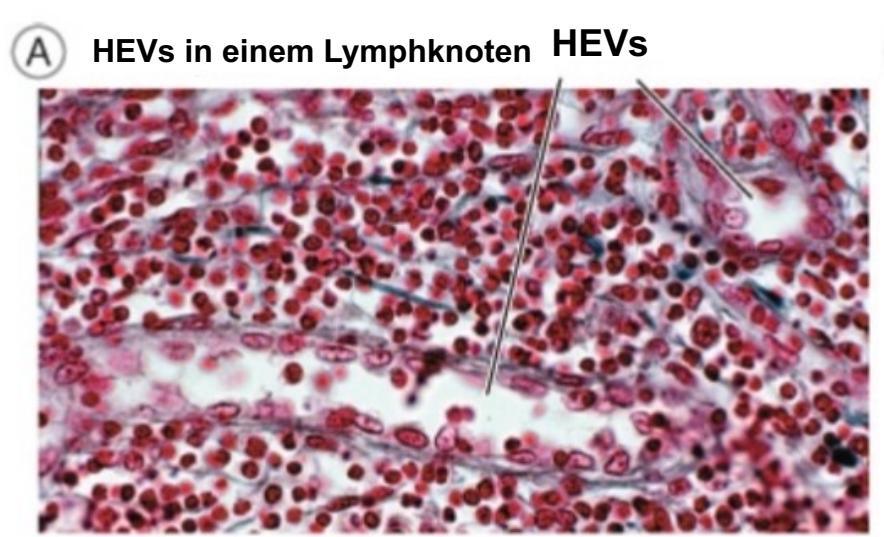
1. Primärfollikel:

Naive B Zellen die noch auf kein Antigen getroffen sind

2. Sekundäres Follikel (Keimzentrum):^[9.]

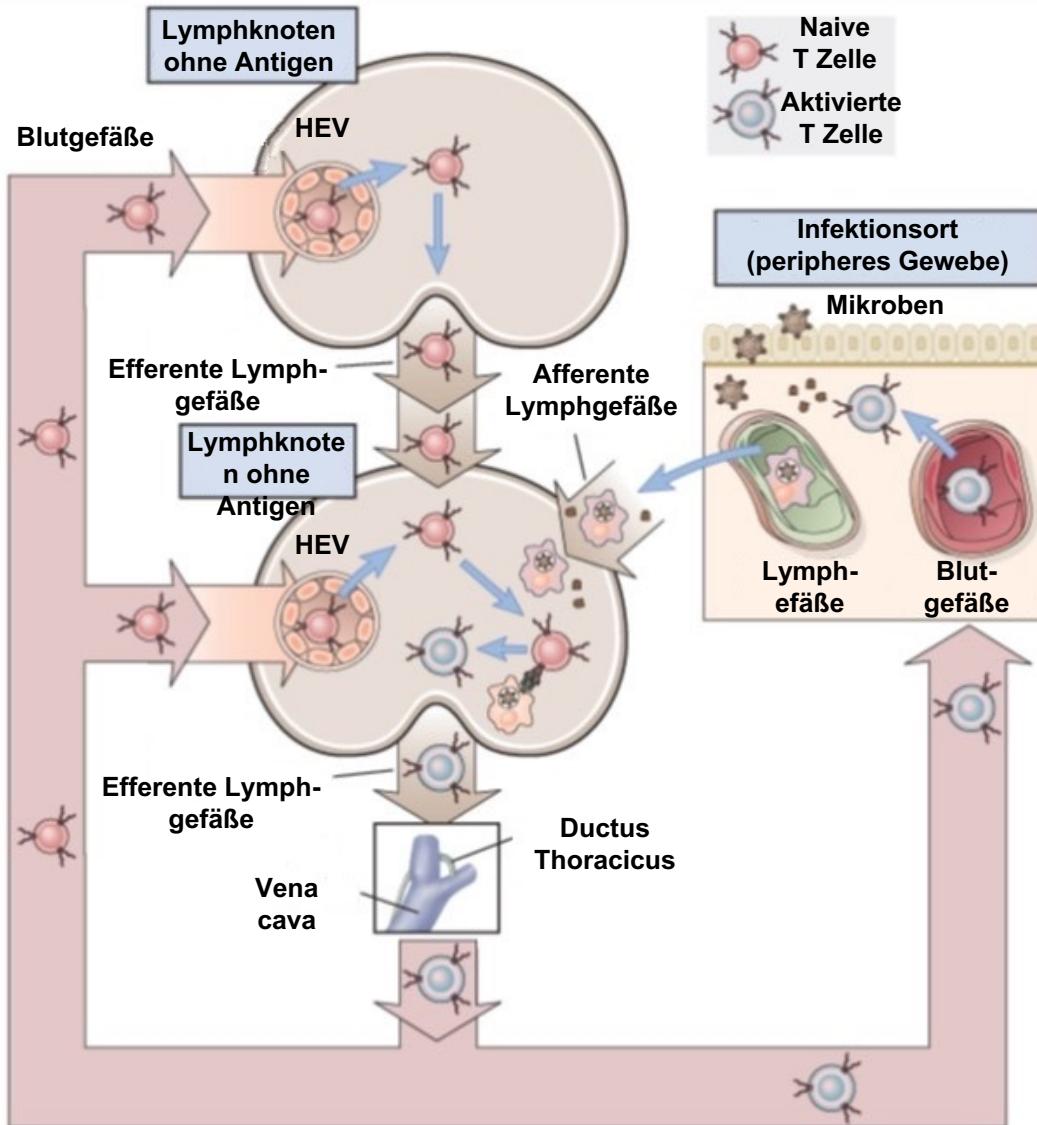
- Dunkle Zone: **Zentroblasten** (proliferierende B Zellen)
- Helle Zone: **Zentrozyten** (B Zellen die sich antigenabhängiger Reifung unterziehen, siehe später)
- Rinde: transiente B Zellen (=auf Durchreise)

Hochendotheliale Venolen (HEV)



- Lymphozyten nutzen HEVs um in Lymphorgane einzutreten (durch L-Selektin, mehr dazu später)
- Kann in allen sekundären Lymph-organen gefunden werden (z.B. Lymphknoten, Tonsillen, Peyersche Plaques), **AUßER DER MILZ^[10.]**

Filtrierung der Lymphe durch LKs 1.

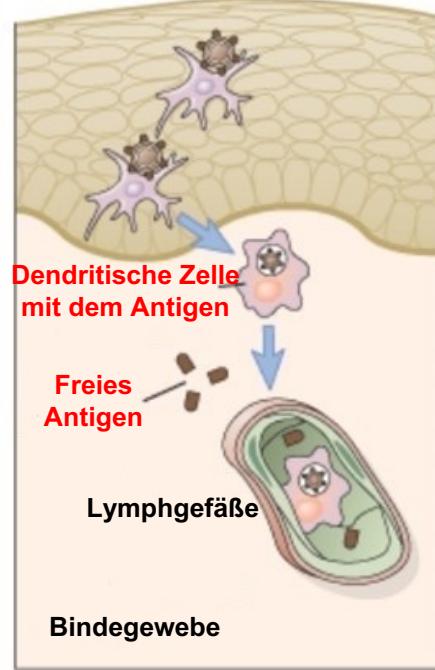
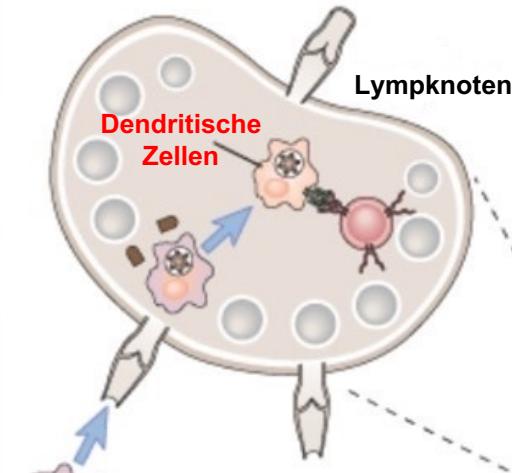


1. Infektion in der Peripherie
2. Das selbe Antigen kann die Lymphegefäße auf verschiedene Wege betreten:
 - **Nativ gebundenes Antigen** (z.B. lebendes Bakterium)
 - **Nativ lösliche Form** (z.B. Proteine toter Bakterien)
 - **Verarbeitete Form: Dendritische Zellen** phagozytieren das Antigen und **präsentieren es** als ein Peptid den **T-Helferzellen**
3. Lymphozyten treten in die Lymphknoten entweder durch die **afferenten Lymphgefäß(e)** oder die **HEVs** ein und treffen auf die Antigene (mehr Details in den Vorlesungen)

ANTIGEN-
PRÄSENTATION UND
T ZELL ANTWORT

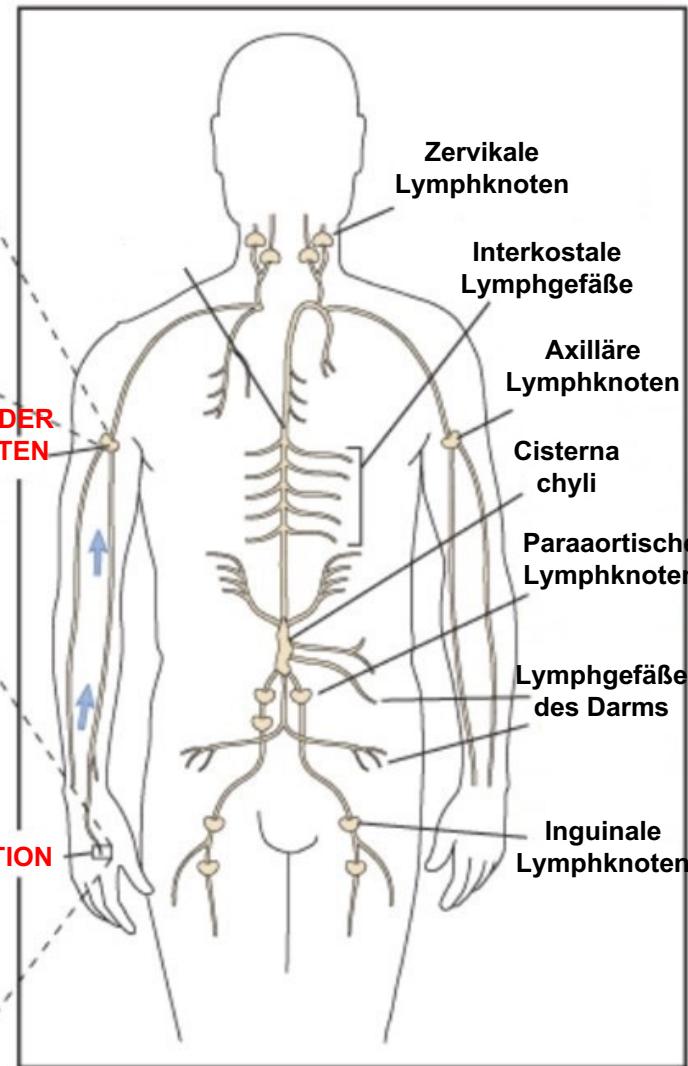


ANTIGENFANG UND
-TRANSPORT



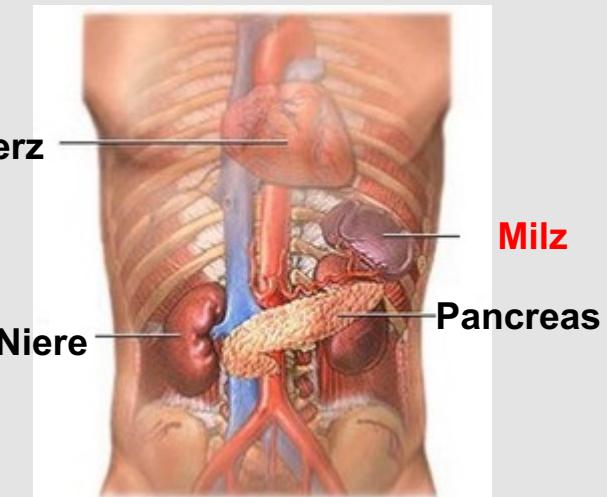
DRÄNIERENDER LYMPHKNOTEN

INFEKTION



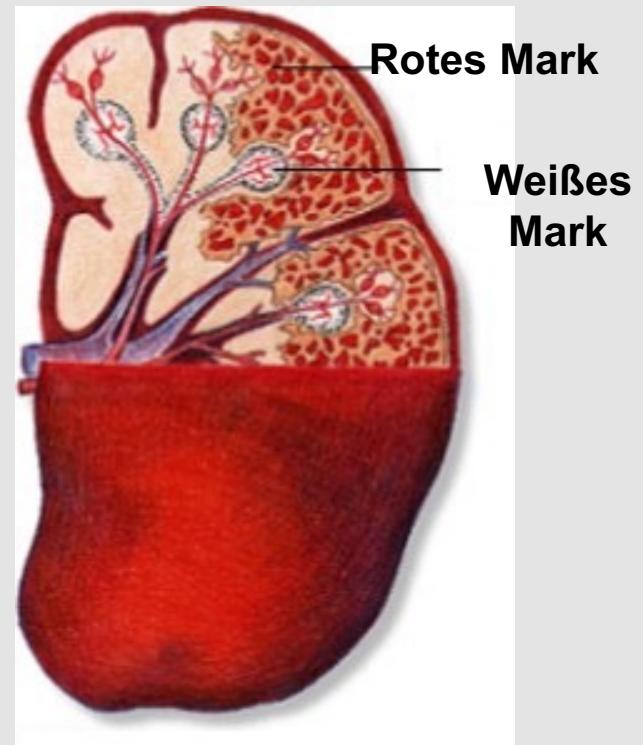
Milz (Lien oder Splen)

- In der linken hypochondrischen Region des Abdomens lokalisiert, wiegt ca. 150-200 gramm.
- Funktionen:
 - Immunologisch: **Filtert** die Pathogene im **Blut**
 - Hämoglobinmetabolismus: Elimination alter Erythrozyten durch die retikuloendothelialen Zellen → Bildung des Bilirubins
 - Ort der Hämatopoese im Embryo, wie auch in der Leber (kann Erythrozyten auch in Erwachsenen präzidieren bei pathologischen Zuständen)
 - Dient als Lager für Rote Blutkörperchen und Plättchen (im Menschen weniger wichtig)

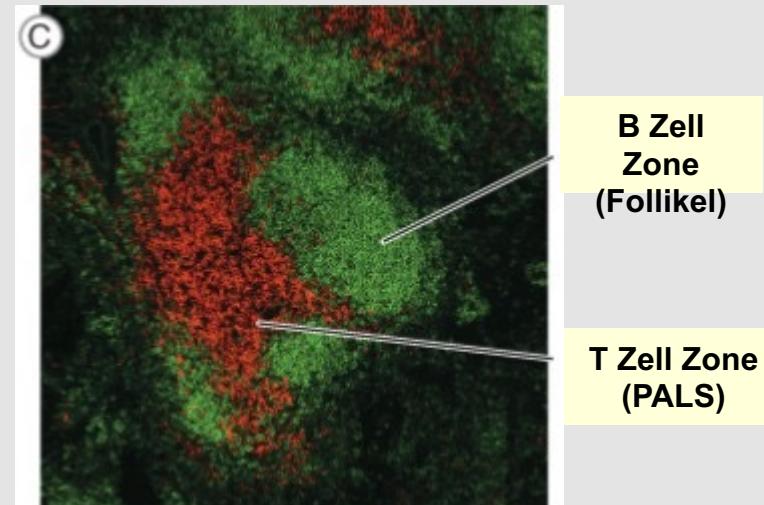
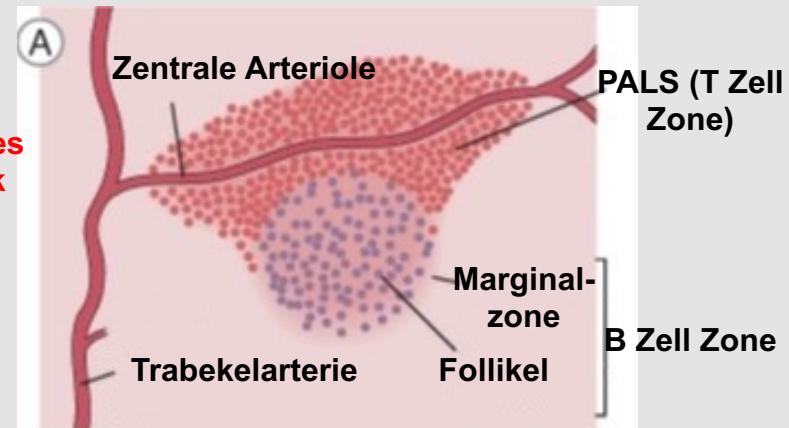
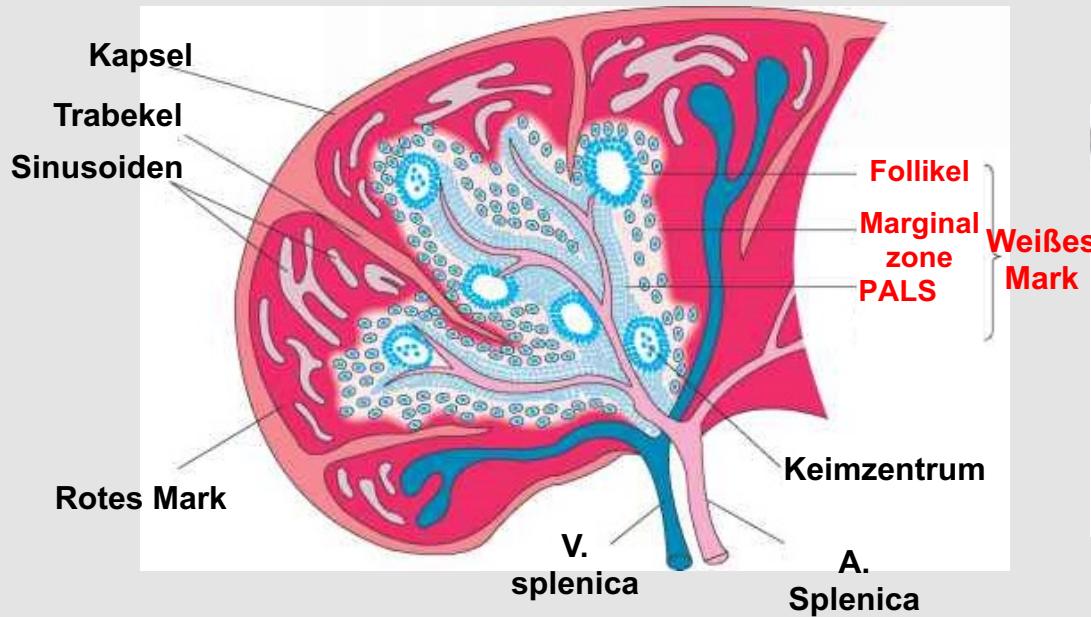


Struktur der Milz 1.

- Hat eine Bindegewebeskapsel und Trabekel.
- **KEINE** afferente Lymphgefäß und HEVs.
- Gewebearchitektur:^[11.]
 - **Rotes Mark:** Blutgefüllte Sinusoiden mit offenem Blutkreislauf: haben ein retikuläres Gerüst das vor allem mit Erythrozyten, Makrophagen, Plasmazellen und retikuläre Fibrozyten.
 - **Weißes Mark: Lymphgewebe**
 - **PALS** (periarteriolare lymphatische Scheide):
T Zellen, Dendritische Zellen
 - **Follikel** (Malpighi Körperchen): **B Zellen und Folliculäre Dendritische Zellen (FDC)**
 - **Marginalzone:** special, **marginalzonen B Zellen (MZB, mehr später) und MZ Makrophagen**



Struktur der Milz 2.



Klinische Bedeutung der Milz

- Splenomegalie (=vergrößerte Milz):
Kann verschiedenen Ursachen haben, wie:
Hämatologisch-Maligne Erkrankungen,
Hypersplenismus (z.B. Hämolytische Anämie), erhöhter portalvenöser Druck (bei Zirrhose), Infektionen (Mononukleose, Malaria), Speicherkrankheiten [12.]
- Milzruptur (ruptura lienis):
Verursacht durch Träume oder einer zugrundeliegenden Pathologie, hat ein hohes Risiko der intra-abdominellen Blutung
- Splenektomie (=chirurgische Entfernung der Milz):
Erhöhte Anfälligkeit gegenüber Bakterien mit Polysaccharidkapsel (mehr dazu später) [13.]



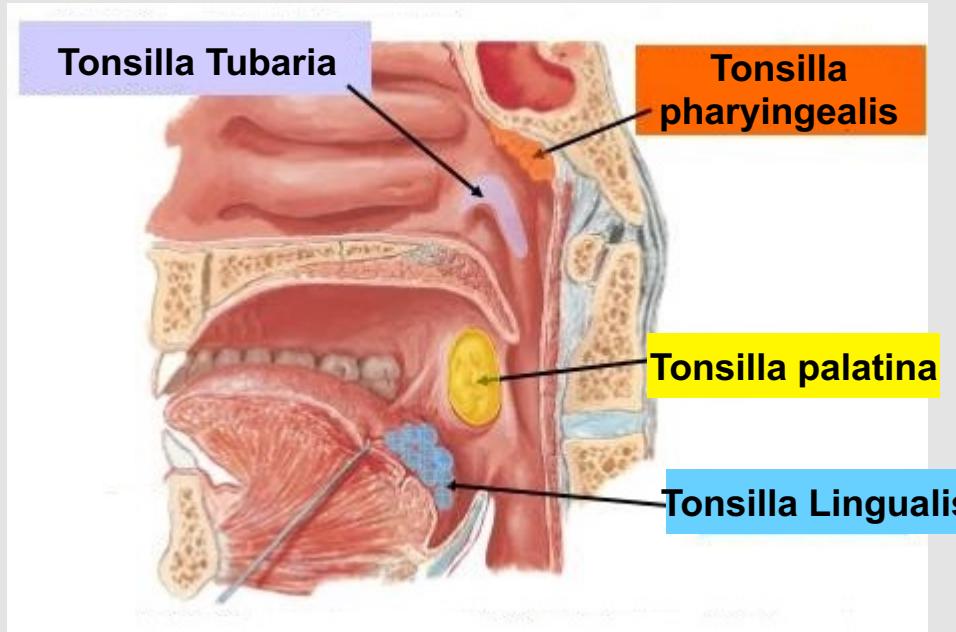
CT scan of a patient with chronic lymphocytic leukemia (CLL) showing massive splenomegaly.

MALT (mucosa-associated lymphoid tissue)

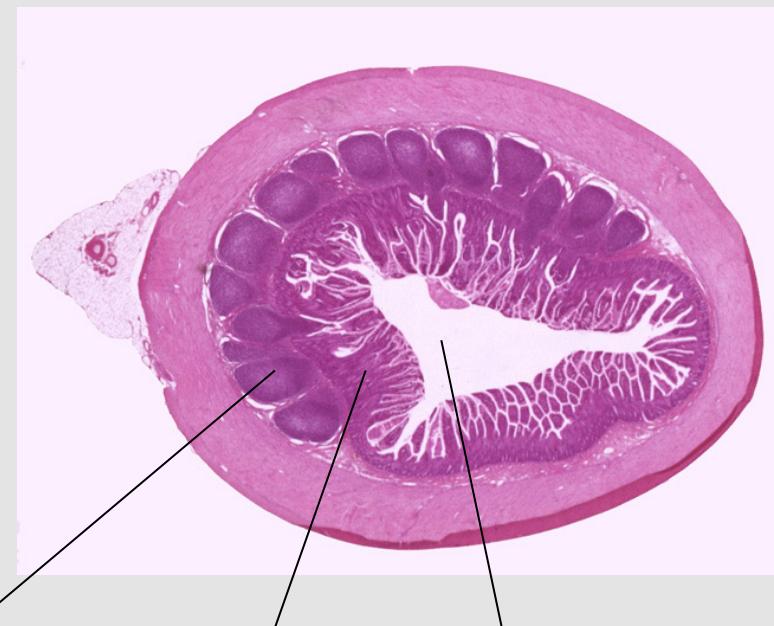
- Mukosa = **riesige Oberfläche** über die Erreger den Körper betreten können!
- MALT = **Das größte Lymphgewebe.**
- MALT: kann anhand der Lokalisation weiter klassifiziert werden:[14.]
 - GALT (gut-associated lymphoid tissue)
 - BALT (bronchus-associated lymphoid tissue)
 - NALT (nasopharynx-associated lymphoid tissue)
- Organisiertes MALT (Ort der Antigen Erkennung):
 - **Lymphzellen von organisierten Strukturen** wie Follikeln (z.B. Tonsillen des Waldeyersche Rings, Peyersche Plaques, Kryptopatches, isolierte Follikel (siehe die Vorlesungen))
- Diffuses MALT (hat Effektorfunktionen):
 - **Diffus verstreute Lymphozyten** in der Epithelschicht und der Lamina Propria der Schleimhäute (IEL=Intraepitheliale Lymphozyten)

Organisiertes MALT

Waldeyersche Ring (Tonsillen):



Peyersche Plaques im Ileum
(H&E, Querschnitt):

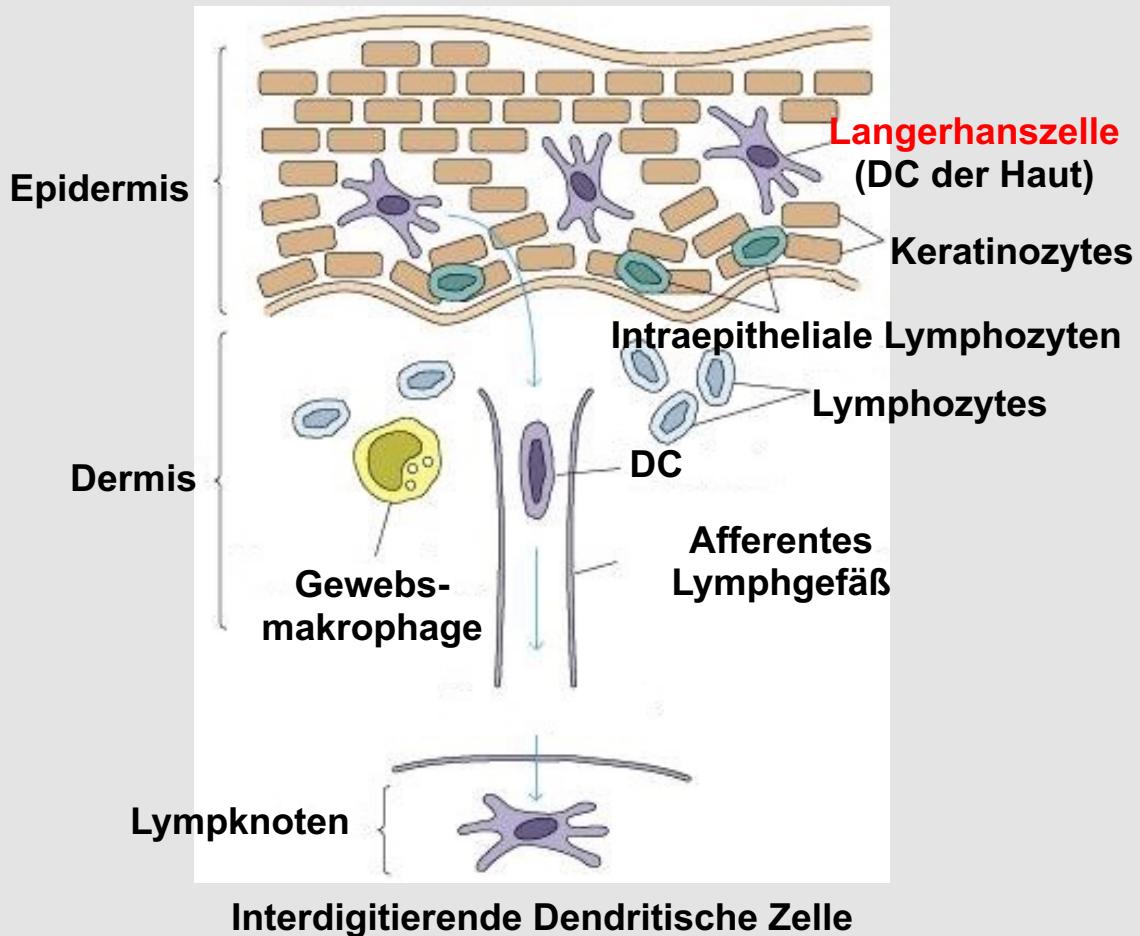


Die Gewebsarchitektur sowohl der Tonsillen als auch der Peyerschen Plaques ähnelt der der Lymphknoten (Follikel mit B-Zellen, getrennte T-Zell Zonen, HEVs), aber im Gegensatz zu Lymphknoten **haben sie keine Bindegewebeskapsel**.

SALT (skin-associated lymphoid tissue)

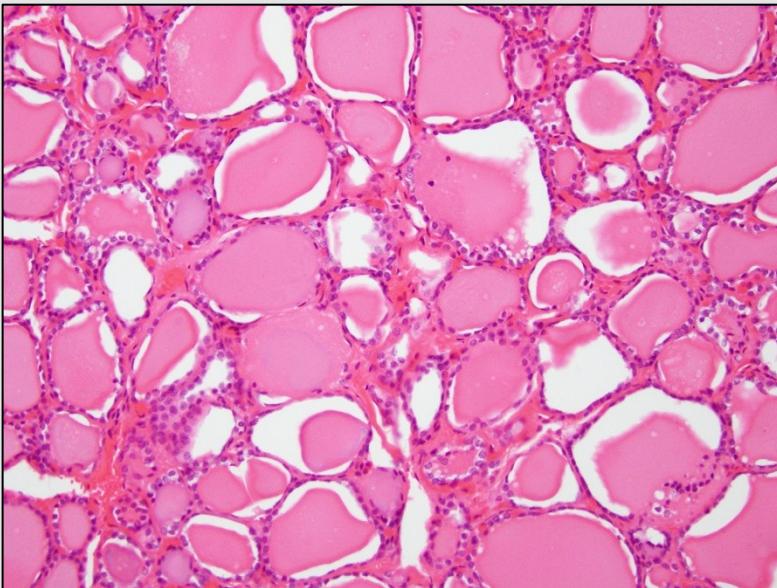
Langerhanszellen fangen das Antigen in der Epidermis ein, verarbeiten es dann und wandern in den abfließenden Lymphknoten durch die Lymphgefäß. Im Lymphknoten präsentieren sie das verarbeitete Antigen den Helfer-T-Zellen.[15.]

Mehrere Zelltypen beteiligen sich an der immunologischen Abwehr der Haut. (z.B. Keratinozyten, Makrophagen, $\gamma\delta$ -T-Zellen, mehr dazu später)

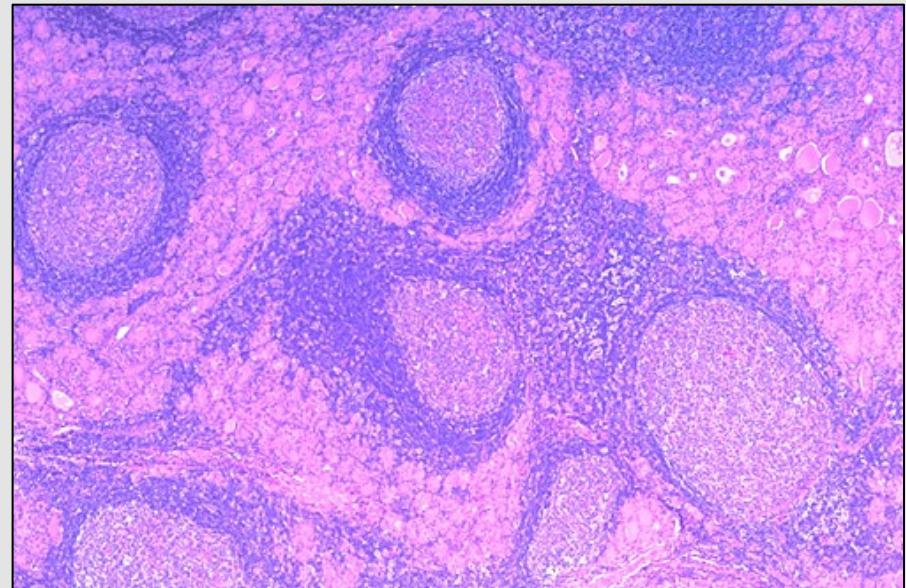


Beispiel für tertiäre Lymphgewebe

PATHOLOGISCH!



Gesundes
Schilddrüsengewebe
(mittlere Vergrößerung)

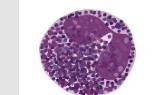


Ektopische Lymphfollikel in der
Thyroidea bei Hashimoto Thyreoiditis
(geringe Vergrößerung)

Zellen des angeborenen und erworbenen Immunsystems

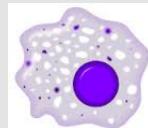
Angeboren:

1. Granulozyten:



Neutrophile, eosinophile, basophile

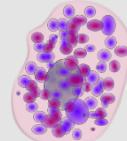
2. Monozyten (Blut), Makrophagen (Gewebe)



3. Dendritische Zelle (DC), Follikuläre Dendritische Zelle (FDC)



4. Mastzelle

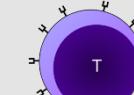


5. NK Zelle (natural killer)



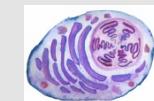
Adaptiv:

T Zelle



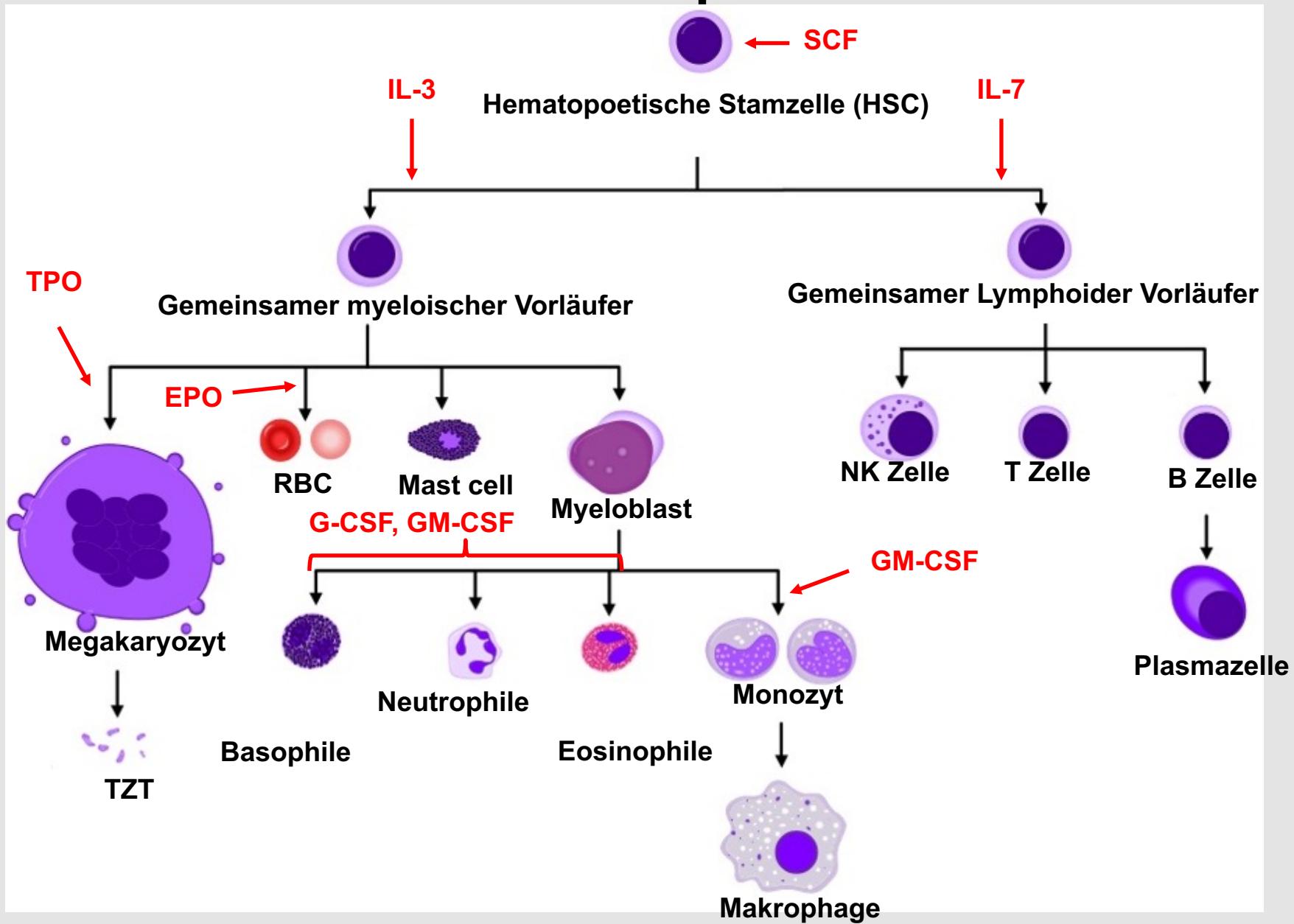
Zytotoxisch

Helper



Plasmazelle

Hämatopoese



CD Marker



CD3



T Zelle



CD19



B Zelle



CD3



CD4

Bestimmte Zellen (z.B. Lymphozyten) können nicht immer aufgrund ihrer Morphologie unterschieden werden.

Verschiedene Zellen können mit Hilfe von Molekülen die sie auf der Zelloberfläche oder im Zytoplasma exprimieren identifiziert und unterschieden werden.

IMMUNPHÄNOTYP: Das charakteristische molekulare Muster eines Zelltyps wird durch die Benutzung von Antikörpern bestimmt.

Solche Oberflächenmoleküle erhielten eine standardisierte Nomenklatur:

CD = **Cluster of differentiation**, Benutzung: CD + Nummer, e.g.: CD1, CD2, CD3, CD4, etc...

Die Struktur und Funktion der CD Marker variiert.

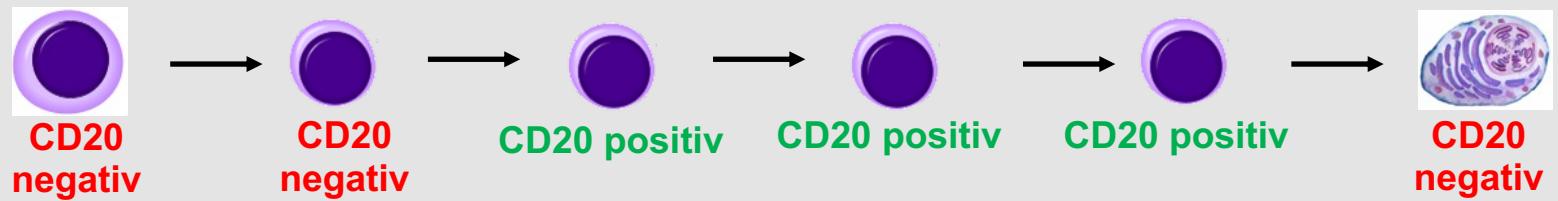
Beispiel für Immunphänotyp:

CD3+/CD4+/CD8- → Helper T Zelle

Arten von CD Markern

- **Abstammungsmarker (lineage):** Moleküle die exklusiv auf Zellen einer bestimmten Abstammung exprimiert werden
 - Z.B.: CD3 → auf allen T Zellen
 - Z.B.: CD19 → auf allen B Zellen
- **Reifungsmarker:** Der Immunphänotyp kann in verschiedenen Reifungsstadien unterschiedlich sein. Bestimmte Moleküle werden, unter anderem, nur auf unreifen Zellen, andere auf reifen Zellen und wieder andere nur bei voll Funktionsfähigen Zellen exprimiert.

- Z.B.: CD20 (Ist gleichzeitig ein Abstammungsmarker der B Zellen da es auf kleinen anderen Zellen gefunden werden kann)

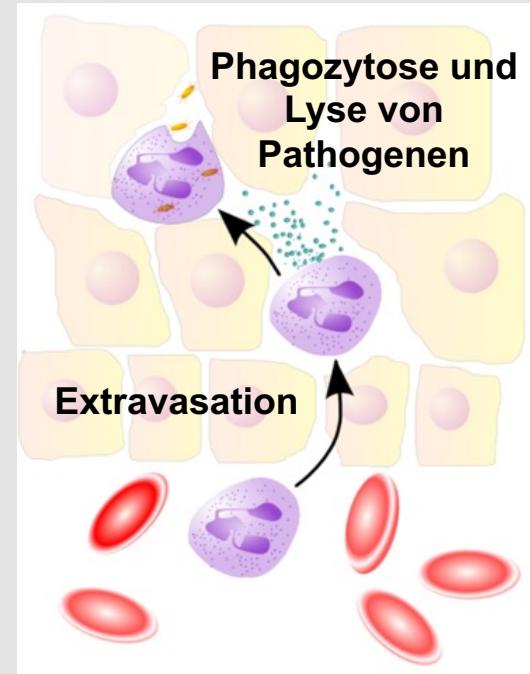
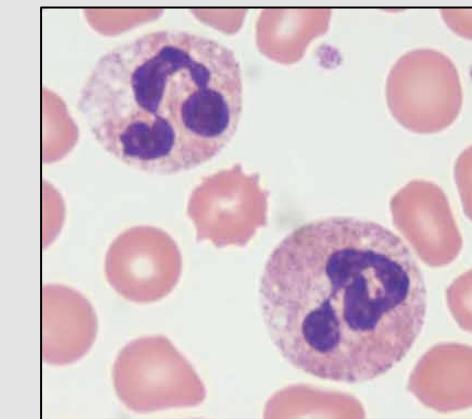


- **Aktivierungsmarker:** Moleküle die von aktivierten Zellen exprimiert werden, während sie bei ruhenden Zellen entweder vollständig fehlen oder in geringerem Maße exprimiert werden, z.B.:
 - CD25 (Die alpha Kette des Interleukin-2 Rezeptors, IL-2R α , mehr dazu später)
 - CD80 und CD86 (B7-1 und B7-2, sogenannte kostimulator-Moleküle die von Antigen-präsentierenden Zellen exprimiert werden, mehr dazu später)

Neutrophile Granulozyten

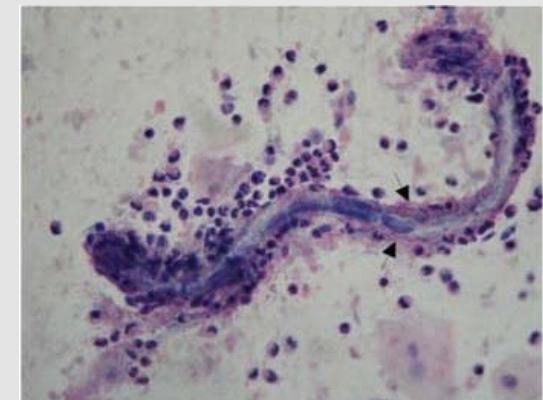
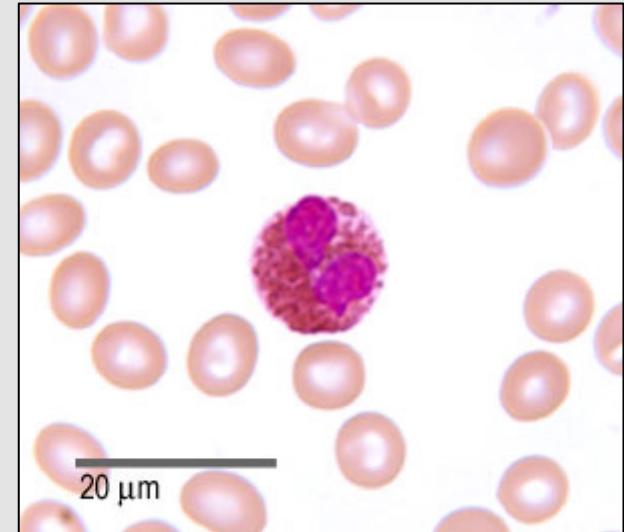
Leukozyten %	55-70
Hauptfunktion:	Elimination von Pathogeens, Entfernung von Gewebetrümmern
Erkennung durch:	PRR (Mustererkennung), Fc Rezeptor , Komplementrezeptor
Inhalt der Granulen:	Verdauungsenzyme
Elimination des Pathogens:	Phagozytose, oxidativer Burst, Degranulation
Produzierte Mediatoren:	Inflammatorische Zytokine
Fc Rezeptor:	Fc γ R (bindet IgG)
Rolle bei Krankheiten:	Entzündungsreaktion

Rot: Nur möglich nach aktivierung der adaptiven Immunität



Eosinophile Granulozyten

Leukozyten %	2-4
Hauptfunktion:	Schutz vor multizellulären Parasiten
Erkennung:	PRR, Fc Rezeptor
Inhalt der Granulen	Toxische Proteine, Enzyme
Elimination des Erregers:	Degranulation
Produzierte Mediatoren:	Prostaglandine, Leukotriene, Inflammatorische Zytokine
Fc Rezeptor:	FcϵR (bindet IgE)
Rolle in Krankheiten:	Allergische Reaktionen

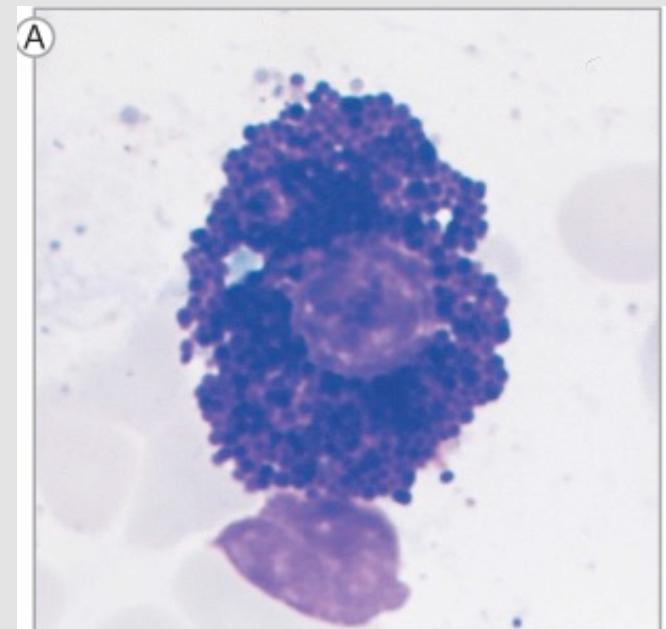
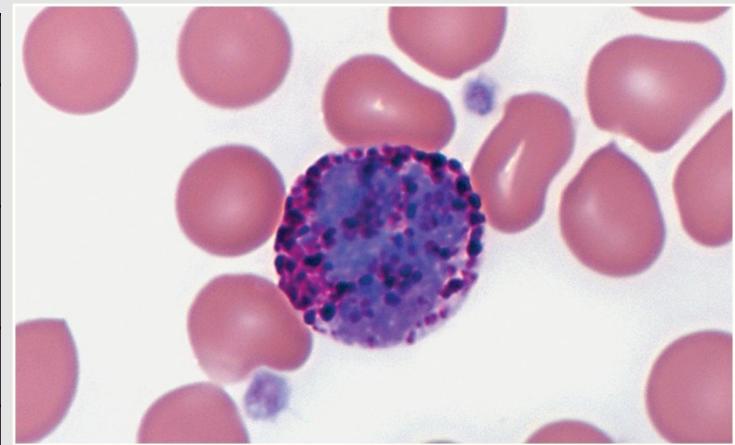


Rot: Nur nach der Aktivierung des adaptiven Immunsystems möglich

Eosinophile umzingeln eine *Strongyloides stercoralis* Larve. (Sputum eines Falles von parasitischer Pneumonie)

Basophile Granulozyten

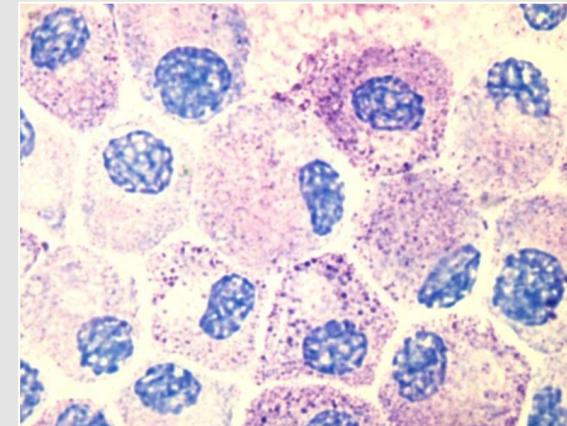
Leukozyten %	0-1
Hauptfunktion:	Schutz vor Multizellularen Parasiten
Erkennung:	PRR, Fc Rezeptor
Inhalt der Granulen:	Histamin, Heparin
Elimination des Erregers:	Degranulation
Produzierte Mediatoren:	Zytokine (z.B. IL-4), Leukotrienes
Fc Rezeptor:	FcϵR (bindet IgE)
Rolle in Krankheiten:	Allergische Reaktionen



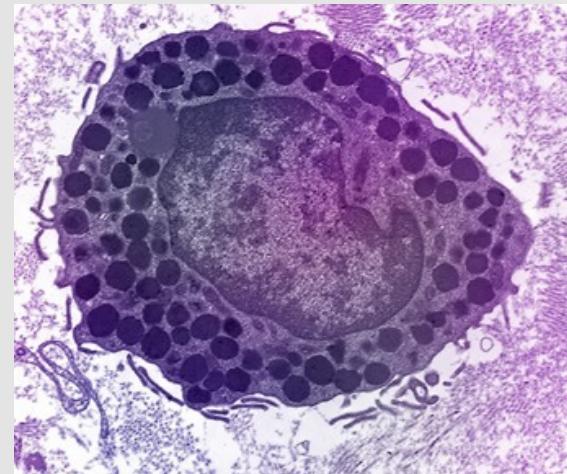
**Rot: Nur nach der Aktivierung des adaptiven
Immunsystems möglich**

Mastzellen (mastozyten)

Auffindbar im:	Gewebe
Hauptfunktion:	Schutz vor multizellulären Parasiten
Erkennung:	PRR, Fc receptor
Inhalt der Granulen:	Histamin, Heparin, Enzyme
Elimination des Erregers:	Degranulation
Produzierte Mediatoren:	Zytokine, Leukotriene
Fc Rezeptor:	FcϵR (bindet IgE)
Rolle in Krankheiten:	Allergische Reaktionen



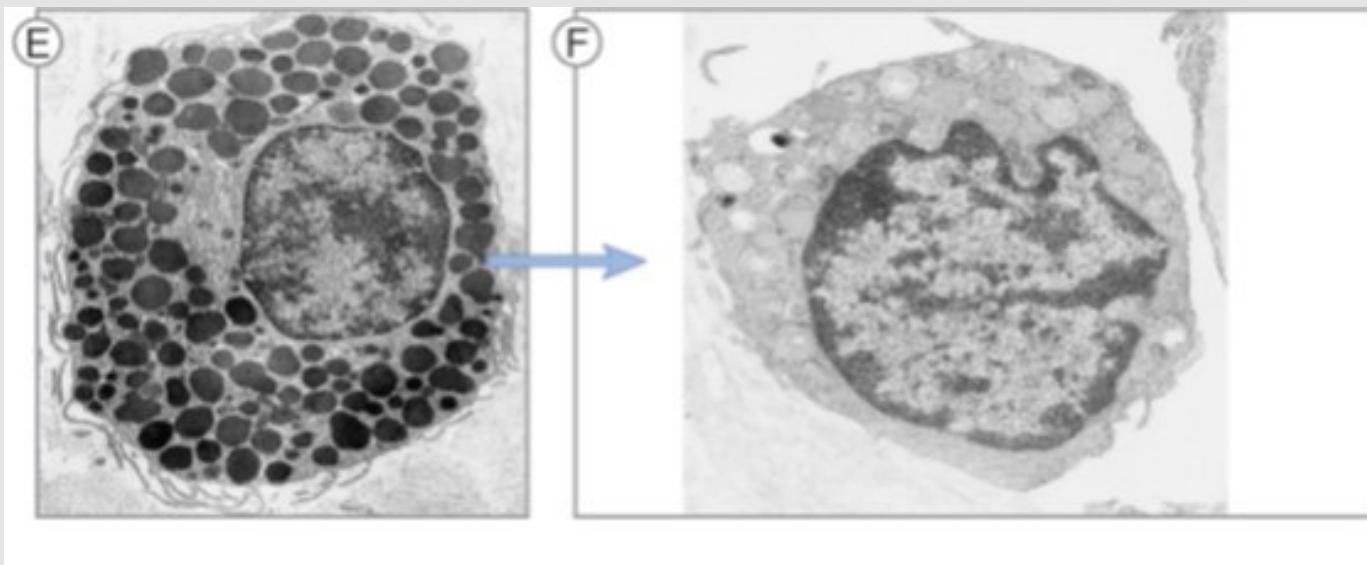
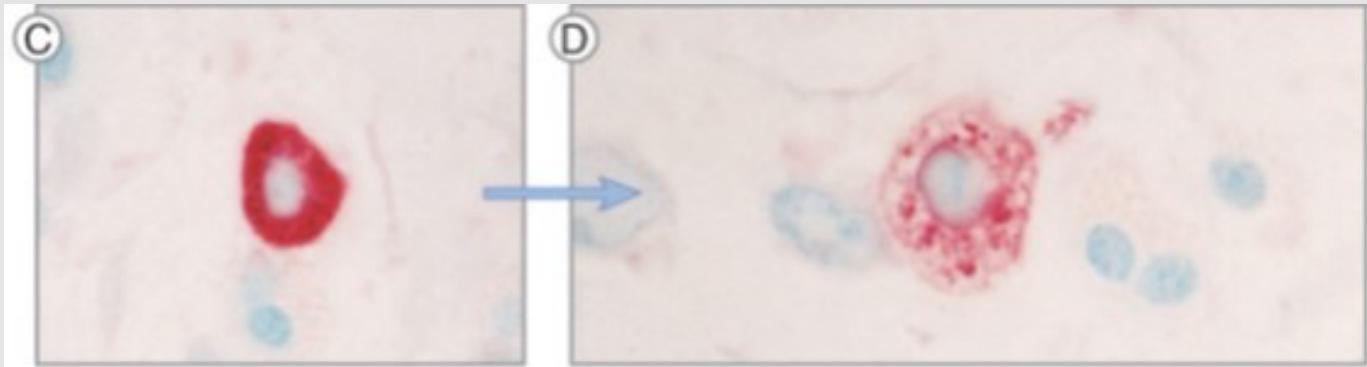
Mastzellkultur
(Toluidinblau Färbung)



Rot: Nur nach der Aktivierung des adaptiven Immunsystems möglich

Mastzelle (Elektronenmikroskopie)

Schnelle Degranulation einer Mastzelle

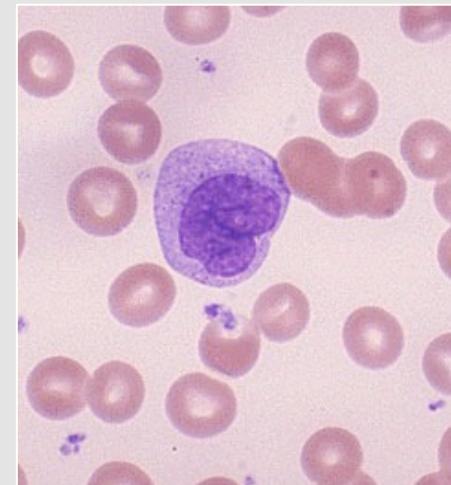


Monozyten, Makrophagen

Leukozyten %:	2-8
Hauptfunktionen:	Phagozytose, Antigen Präsentation, Zytokinproduktion,
Ort der Antigenpräsentation:	Lokal, im Gewebe
Erkennung:	PRR, Fc Rezeptor, Komplementrezeptor
Elimination des Erregers:	Phagozytose, oxidativer Burst
Produzierte Mediatoren:	Zytokine
Fc Rezeptor:	FcγR (bindet IgG)
Rolle in Krankheiten:	Typ IV. Hypersensibilität



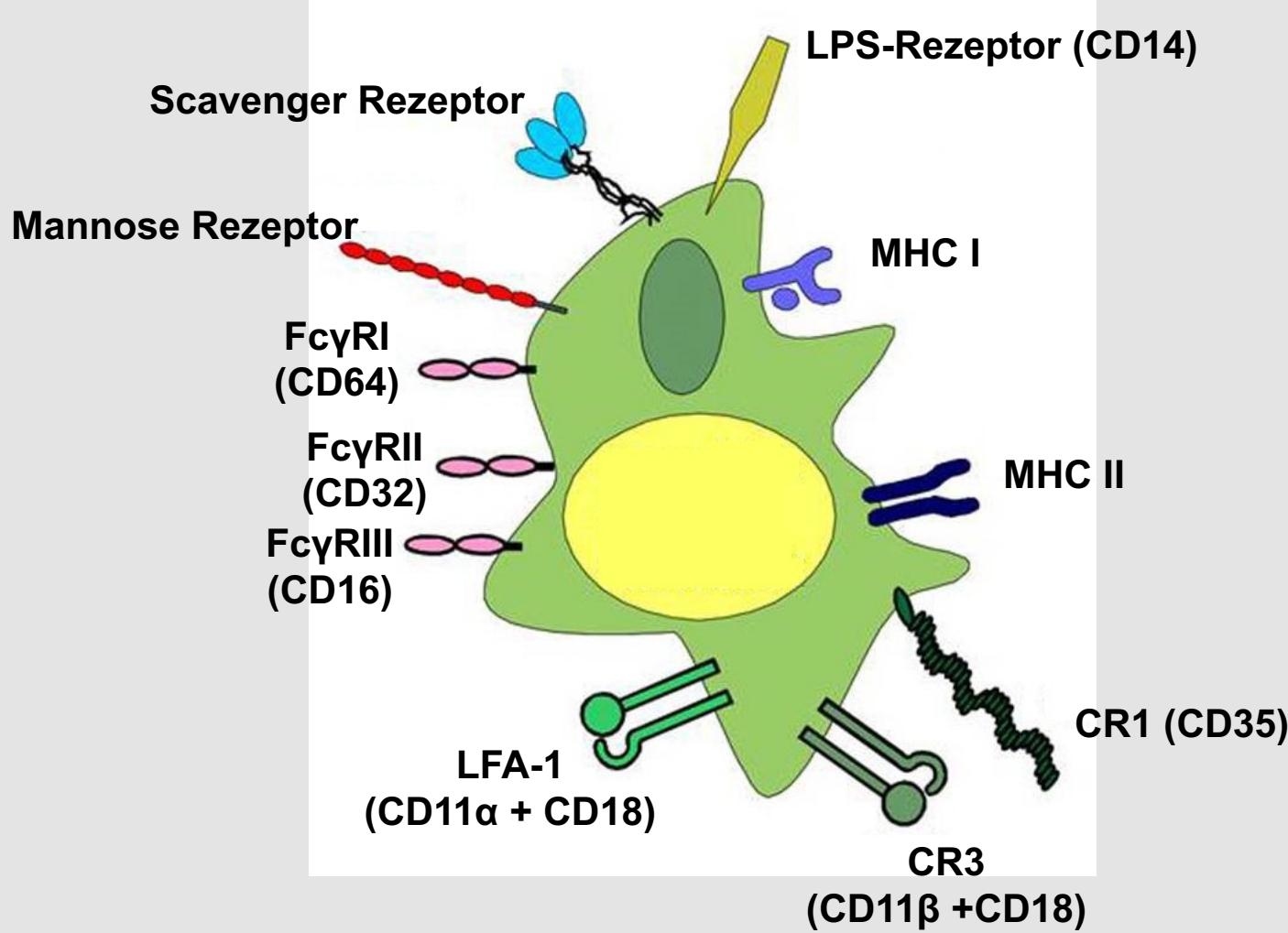
Eine Makrophage phagozytiert ein Bakterium (SEM Bild)



Rot: Nur nach der Aktivierung des adaptiven Immunsystems möglich

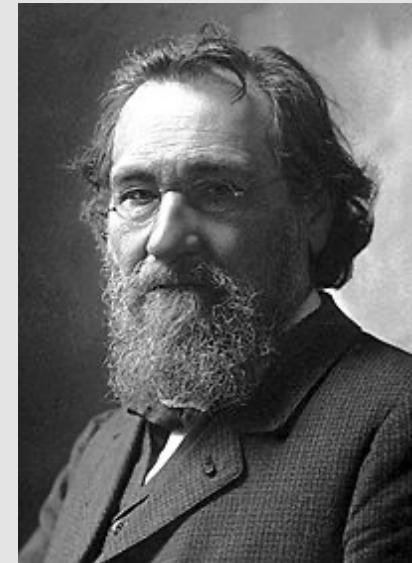
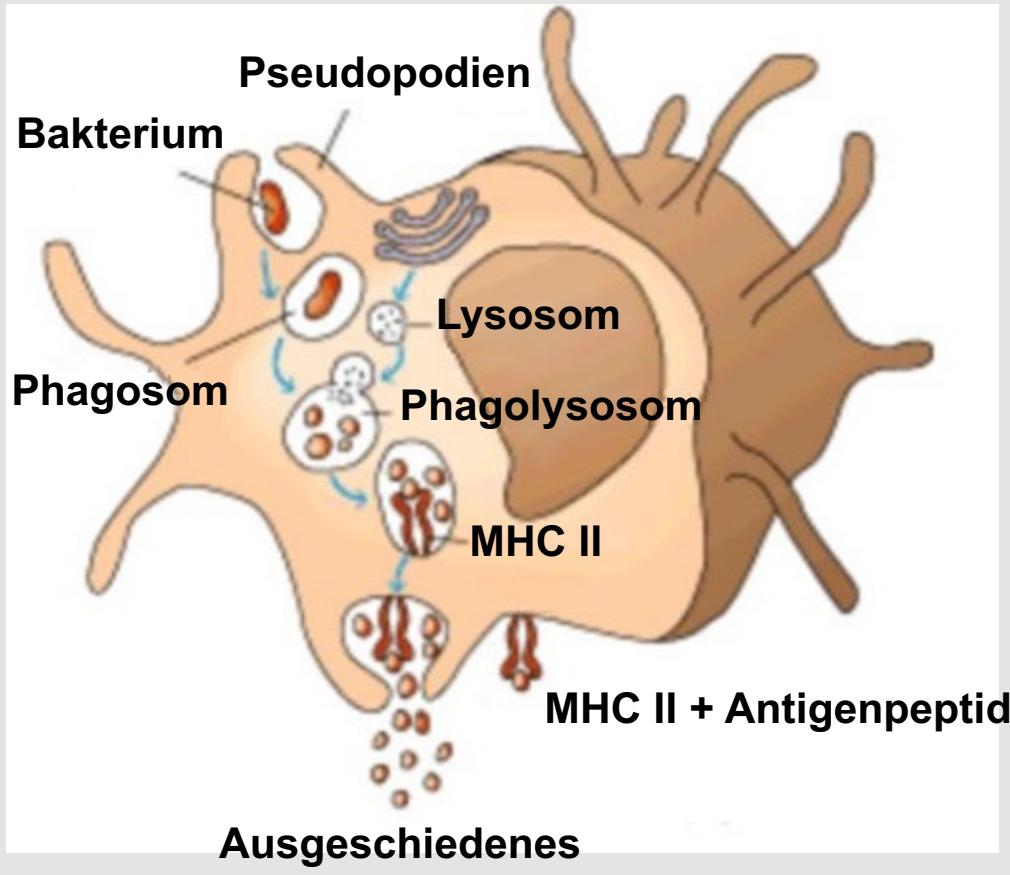
Monozyt im Blutausstrich

Oberflächenmoleküle von Makrophagen



Phagozytose

Phagozytose und Antigenpräsentation durch Markophagen



Ilya Ilyich Mechnikov der Makrophagen und das Phänomen der Phagozytose entdeckte.

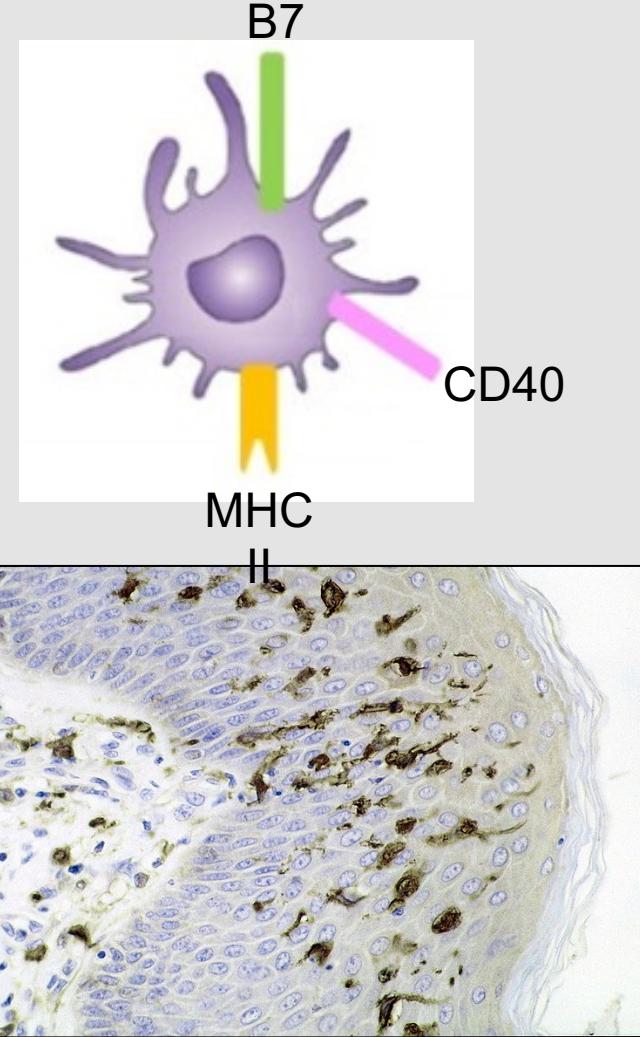


Erhielt 19078 den Nobelpreis für Physiologie und Medizin zusammen mit Paul Ehrlich als "Anerkennung ihrer Arbeit über Immunität".

Dendritische Zelle (DC)

Auffindbar im:	Gewebe
Hauptfunktion:	Antigenpräsentation
Ort der Antigenpräsentation:	In den sekundären Lymphorganen
Erkennung:	PRR, Fc Rezeptor
Produzierte Mediatoren:	Zytokine
Fc Rezeptor:	FcγR (bindet IgG)
Rolle in Krankheiten:	Autoimmunität, HIV Infektionen

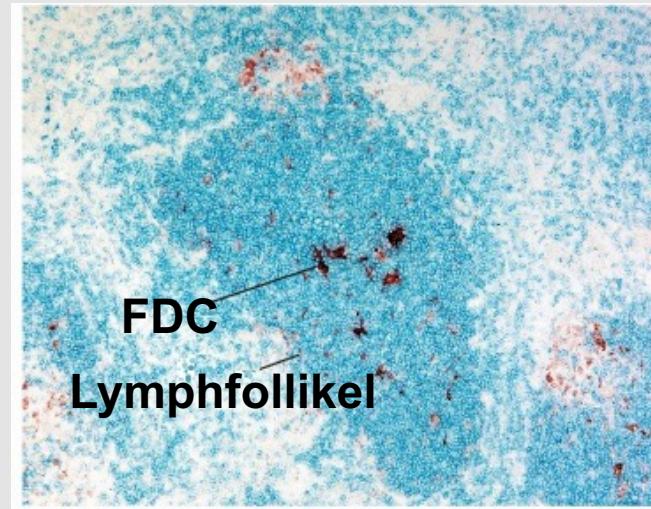
Rot: Nur nach der Aktivierung des adaptiven Immunsystems möglich



Dendritische Zellen (Langerhans Zellen) in der Haut eines mit *Mycobacterium ulcerans* infizierten Patienten. (Immunhistochemie)

Follikuläre Dendritische Zelle (FDC)

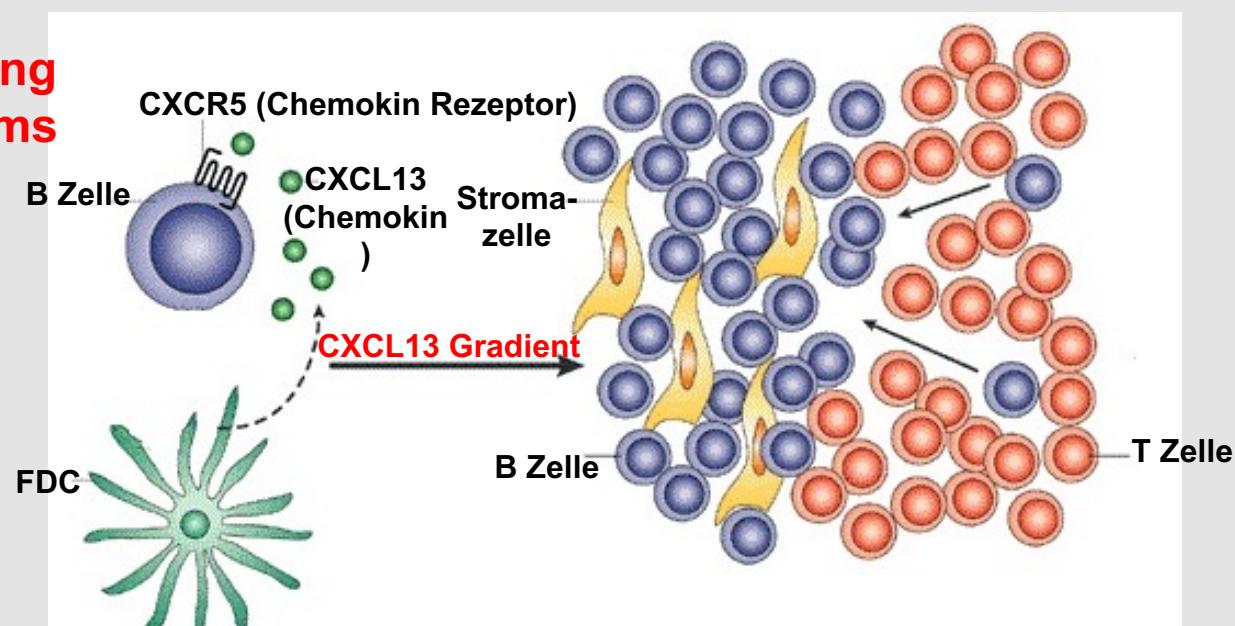
Auffindbar in:	Lymphfollikel
Hauptfunktion:	Bildung von Follikeln, Antigen im Follikel für B Zellen behalten
Erkennung:	Fc Rezeptor, Komplement Rezeptor
Produzierte Mediatoren:	Zytokine
Fc Rezeptor:	FcγR (bindet IgG)



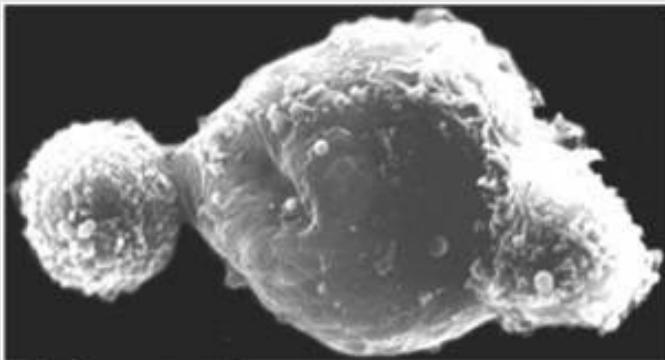
Rot: Nur nach der Aktivierung des adaptiven Immunsystems möglich

Iccosome:

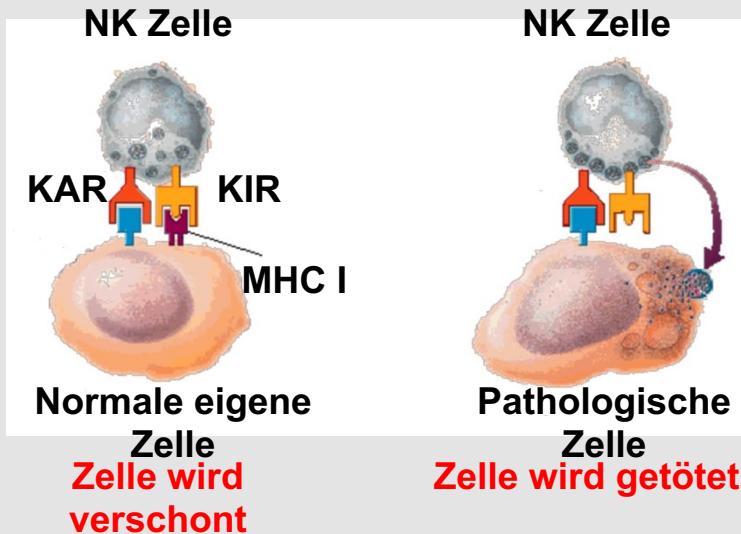
- Antigen
- Antikörper + Fc Rezeptor
- Komplement + Komplement Rezeptor



Natürliche Killer Zellen (NK cells)



Zwei NK Zellen töten eine Krebszelle.
(SEM Bild)



Blut Lymphzellen %:	≈ 10
Hauptfunktionen:	Töten von, mit intrazellulären Erregern infizierten, Zellen, Töten von Krebszellen
Erkennen:	KAR → Töten des Ziels KIR → Ziel verschonen Fc Rezeptor, Komplement Rezeptor
Zytotoxizität:	Fas-FasL, Perforin, Granzyme
Produzierte Mediatoren:	Zytokine
Fc Rezeptor:	FcγR (bindet IgG)
Characteristische Marker:	CD56

Rot: Nur nach der Aktivierung des adaptiven Immunsystems möglich

Lymphozyten

Leukozyten %:	25-40*
Hauptfunktion:	ADAPTIVE IMMUNITÄT
Erkennung:	Antigen-spezifische Rezeptoren (TCR, BCR)

* Inklusive NK Zellen



B Zelle
(CD19+)



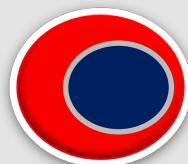
Antikörper
Produktion



Zytotoxische T Zelle
(CD8+)



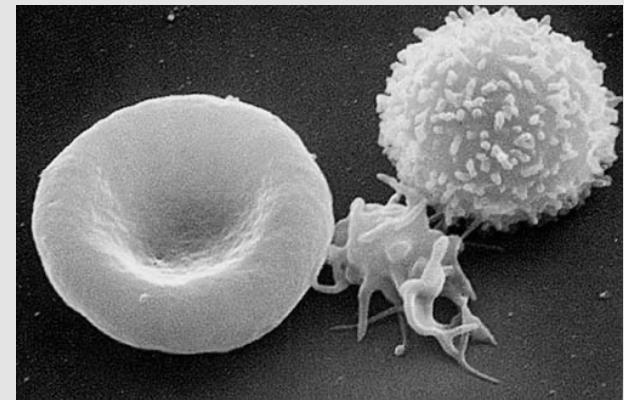
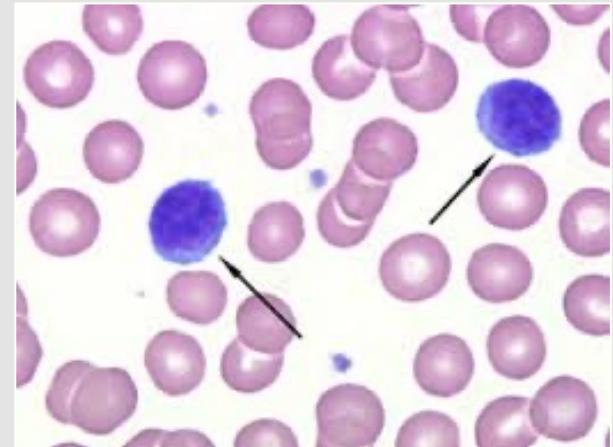
Direktes töten von
Zielzellen (infiziert
oder tumorös)



Helper T Zelle
(CD4+)



Regulation der
Immunantwort

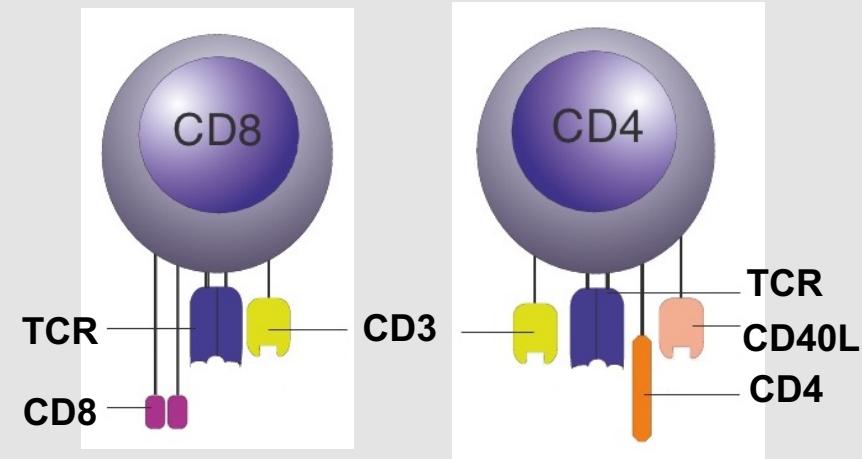
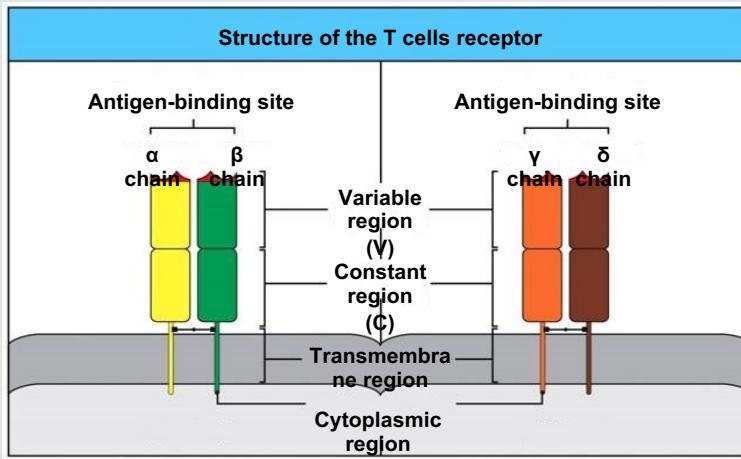


Ein Erythrozyt, ein Plättchen
und ein Lymphozyt
(SEM image)

Alle der oben genannten sind ANTIGEN-SPEZIFISCH!

T Zellen

Hauptfunktion:	Antigenespezifische Tötung von Zielzellen (CD8+), Regulation von Immunantwort mit Zytokine (CD4+)
Erkennung:	MHC, antigenspezifische TCR
Mögliche TCR Typen:	$\alpha\beta$ und $\gamma\delta$
Produzierte Mediatoren:	Zytokine
Haupttypen von $\alpha\beta$ T Zellen:	CD4+ Helper CD8+ Zytotoxische
Stammort:	Knochenmark, Thymus
Karakteristische marker:	CD3 (formiert Komplex mit TCR)



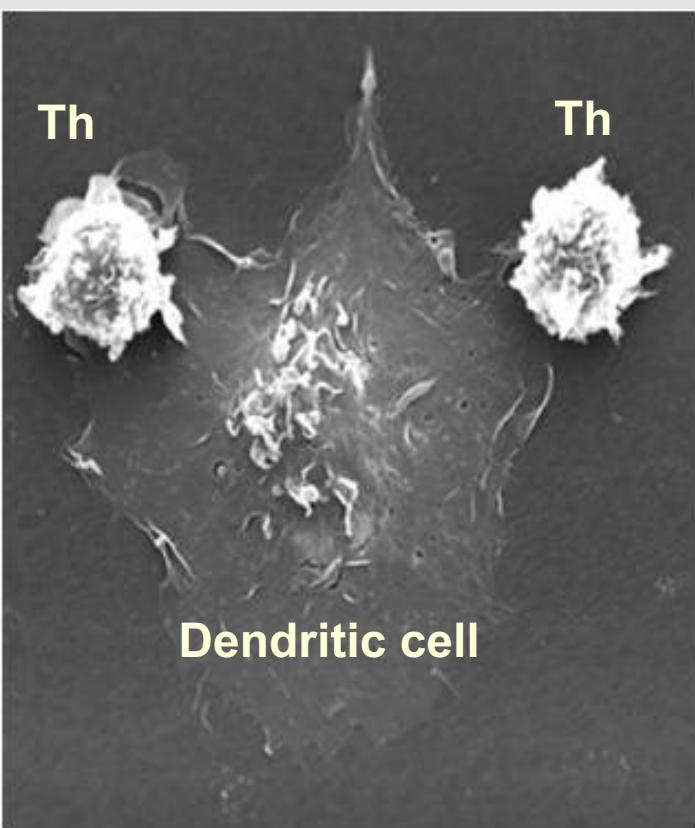
Zytotoxische T Zellen (Tc oder CTL)

Blut T Zellen:	1/3
Hauptfunktion:	Effektorzelle der zellulären Immunität
Erkennung:	Durch MHC I, Antigen-specificischer TCR
Zielzellen zur Tötung:	Infiziert mit IZ Erregern, Krebs, Fremde- (Transplantation!)
Erkannte Antigene:	Endogene (aus dem Zytoplasma der Zielzelle)
Zytotoxicität:	Fas-FasL, Perforin, Granzyme
Immunphänotyp:	CD3+/CD8+/CD4-



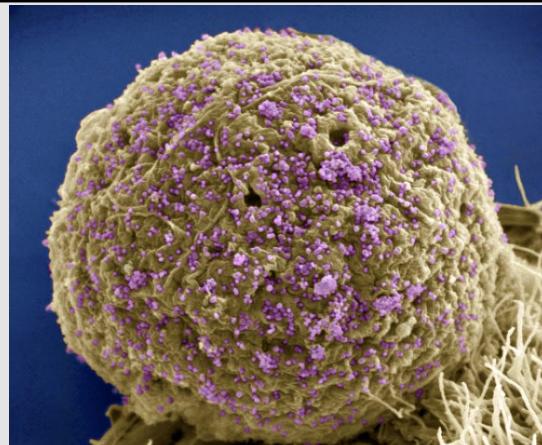
Eine zytotoxische T Zelle tötet eine Krebszelle.
(SEM Bild)

Helper T Zelle (Th)



Zwei Helfer T Zellen angeheftet
an einer Dendritischen Zelle.
(SEM Bild)

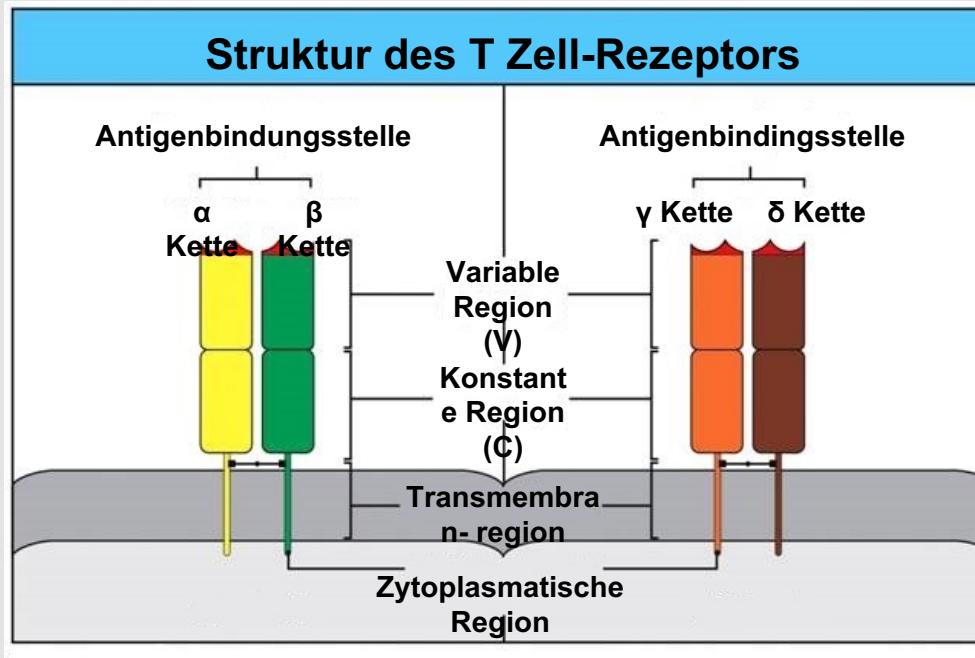
Blood T Zellen:	1/3
Hauptfunktion:	Regulation der Immunantwort
Erkennung:	Durch MHC II, antigen-specifische TCR
Erkannte Antigene:	Exogene (abgebaut in Phagolysosomen)
Immunphänotyp:	CD3+/CD4+/CD8-
Rolle in Krankheiten:	Autoimmunität, HIV Infektion



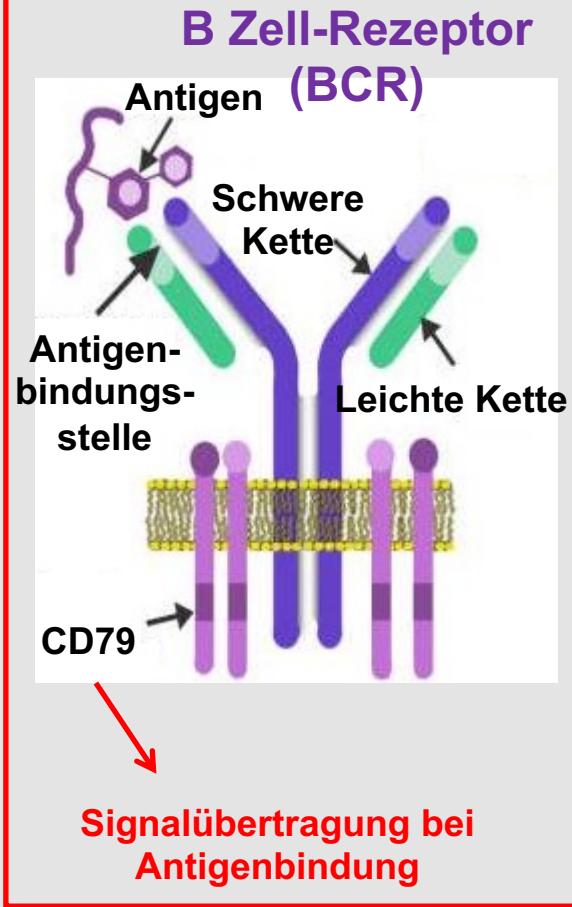
Gelb-braun: Th Zelle
Lila: **HIV** Virionen
(SEM Bild)

$\gamma\delta$ T Zellen

- Sie exprimieren TCRs die aus γ - und δ -Ketten bestehen.
- Sie sind “**innate-like lymphocytes**” (ähneln also ILCs), sind aber nicht so gut charakterisiert wie $\alpha\beta$ T cells.^[17.]
- Man findet sie vor allem in der **Haut** und der **Mukosa**; normalerweise als Intraepitheliale Lymphozyten (IEL). Sie können in geringen Zahlen im peripheren Blut gefunden werden.
- Sie nehmen an den frühen Phasen der Immunantwort gegen invasive Erreger teil.
- Die Antigenerkennung ist **MHC-abhängig**.
- Sie erkennen vor allem **Lipidantigene**



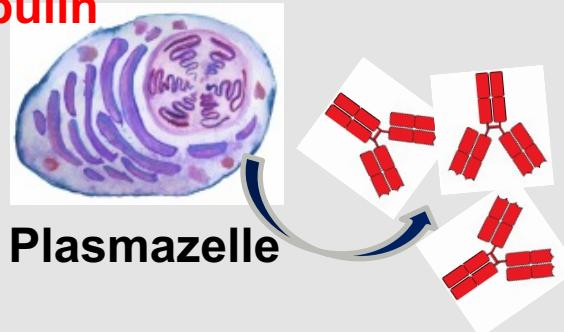
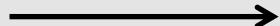
B Zellen



Blut Lymphzellen %:	10-15
Hauptfunktionen:	Antikörper Produktion, Antigenpräsentation
Erkennung:	Native Antigene durch antigen-spezifischem BCR
Haupttypen:	B1 und B2
Bildungsort:	Knochenmark
Charakteristische Marker:	CD19 (bildet ein Komplex mit dem BCR)



**BCR = Oberflächen
Immunoglobulin**



**Antikörper gegen das
selbe Antigen das vom
BCR erkannt wird
(sekretiertes
Immunoglobulin)**

Danke für die Aufmerksamkeit!

