

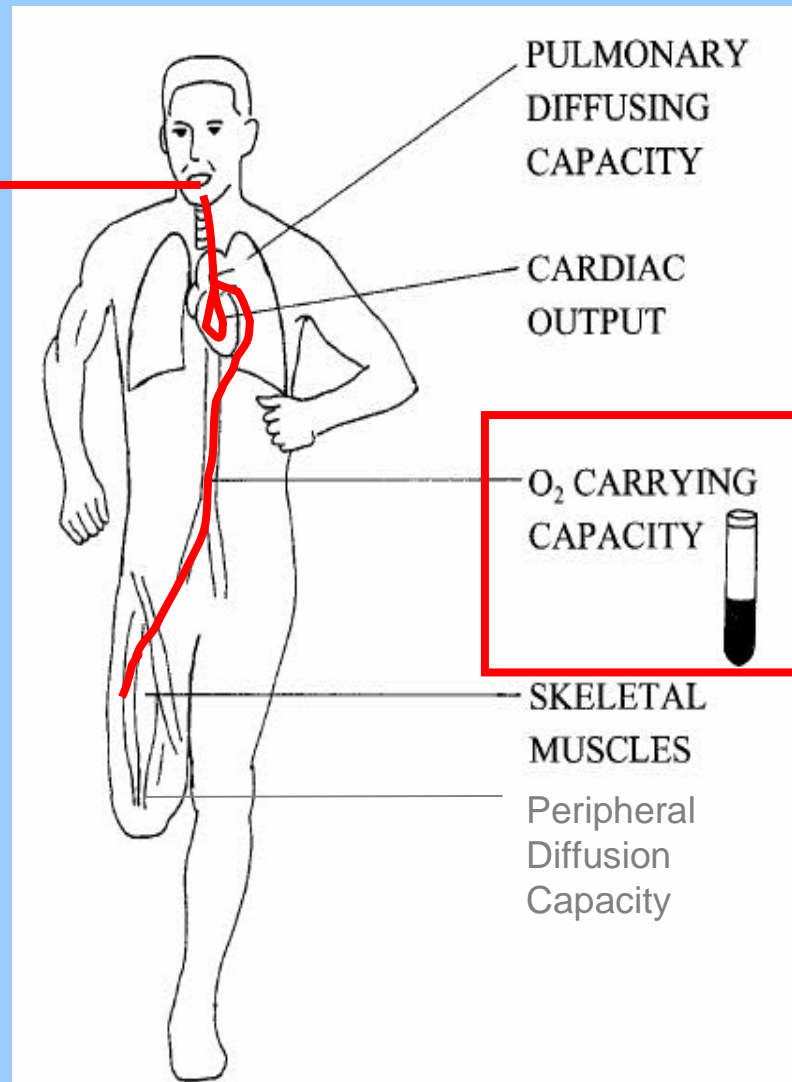
Blut, Blutgerinnung, Immunsystem und Sport

Andreas Schmid

Medizinische Universitätsklinik Freiburg

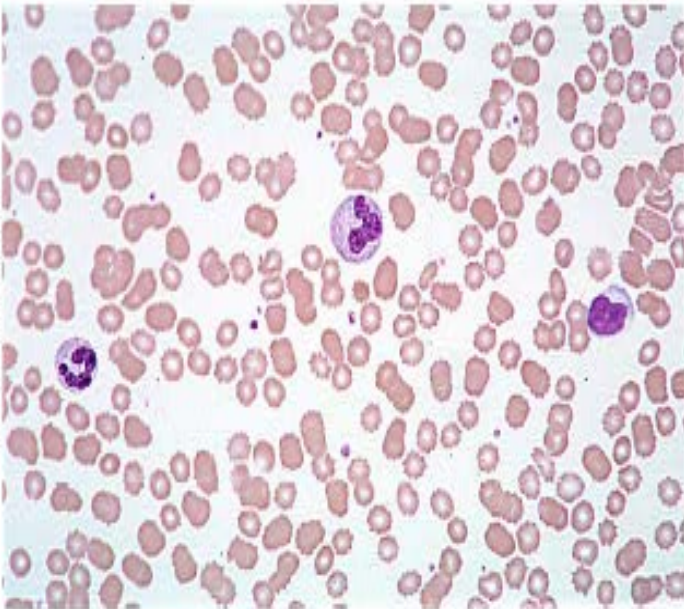
Abt. Präventive und Rehabilitative Sportmedizin

Determinanten der maximalen Sauerstoffaufnahme

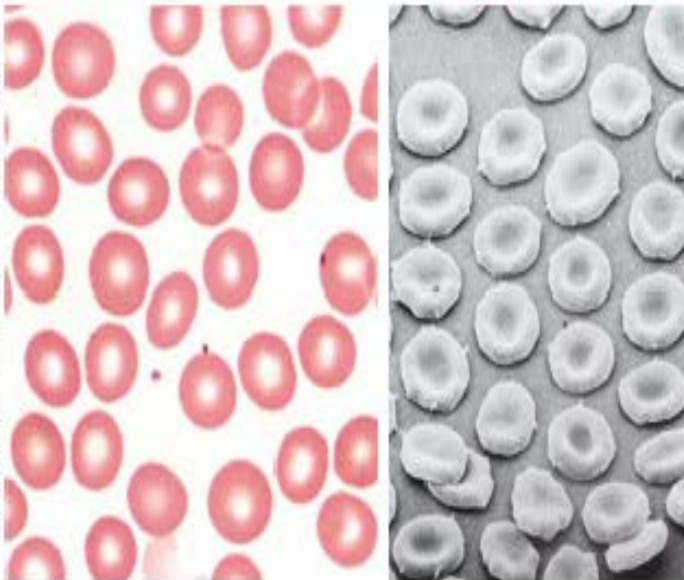


Astrand, P.-O. and K. Rodahl. *Textbook of Work Physiology*. New York: McGraw-Hill, 1970,

(Jay-Doc_Histoweb)



(Wheater's Functional Histology)



- Blut ist eine *nicht durchsichtige Flüssigkeit*, mit einer etwas höheren Viskosität als die von Wasser.
- Arteriell (oxygeniertes) Blut hat eine hellrote Farbe, venöses (deoxygeniertes) Blut ist dunkelrot.
- Die *zirkulierende Blutmenge* beträgt etwa *60 ml/kg Körpergewicht*, (d.h. ca. 4,5 l bei einem 75 kg schweren Menschen).
- Blut besteht aus:
 1. den *korpuskulären Anteilen* (Zellen und zellähnliche Bestandteile) und
 2. dem *Blutplasma* (klare, leicht gelbliche Flüssigkeit, bestehend aus Wasser, Elektrolyten, kleinmolekulare organische Substanzen und Proteinen).

Erythrozyten
Leukozyten
Lymphozyten,
Granulozyten,
Monozyten
Thrombozyten

Blut – Funktion in Klinik und Sport:



Blut – Funktionen

1. Transportaufgaben
 - Antransport von Sauerstoff und Nährstoffen.
 - Abtransport von Kohlendioxid und anderen Stoffwechselprodukten (zur Ausscheidung in Lunge, Niere oder Leber).
2. Kommunikationsaufgaben
 - als Transportmedium für Hormone.
3. Abwehraufgaben
 - Bereitstellung von Leukozyten, Immunglobuline und andere Plasmakomponenten für den gesamten Organismus.
4. Wärmeregulation
 - über verschieden starke Durchblutung der Gewebe/Organe, vor allem der Haut.
5. Schutz vor Blutverlust
 - Hämostase (Blutgerinnung).
6. Pufferfunktion (Konstanthaltung des pH-Wertes)

Hämatokrit:

Prozentualer Anteil der zellulären (korpuskulären) Bestandteile am Gesamtblutvolumen

- ❑ Das Blutplasma besitzt einen Volumenanteil von 51-54%.
- ❑ Die korpuskulären Bestandteile besitzen einen Volumenanteil von im Mittel bei Frauen 41%, bei Männern 46% (*Hämatokrit*).
- ❑ Da Erythrozyten ca. 99 Vol-% der korpuskulären Bestandteile ausmachen, wird der Hämatokrit fast ausschließlich durch deren Menge (Zahl und Größe) bestimmt.
- ❑ Die Leukozyten und Thrombozyten treten dabei quantitativ in den Hintergrund.

Blut – Erythrozyten (rote Blutzellen)

	Männer	Frauen
Hämoglobin-Konzentration (g/l Blut)	140-180	120-160
Hämatokrit (%)	46 (40-54)	41 (37-47)
Erythrozytenzahl ($10^{12}/l$ Blut bzw. $10^6/\mu l$ Blut)	5,4 (4,6-5,9)	4,8 (4,0-5,5)

Klinische Chemie und Hämatologie

Erythrozyten im peripheren Blut

Konzentration → m: $4,4 - 5,9 \times 10^{12}/L$
→ w: $3,8 - 5,2 \times 10^{12}/L$

Funktion:

Sauerstofftransport

Halbwertszeit:

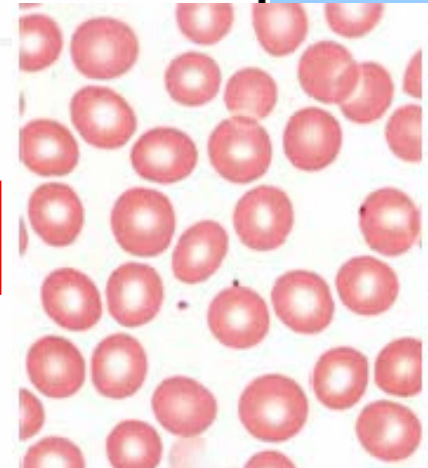
120 Tage

Größe:

$7,8 \times 2,6 \mu m$

Elimination:

Makrophagen in Milz, Leber und Knochenmark



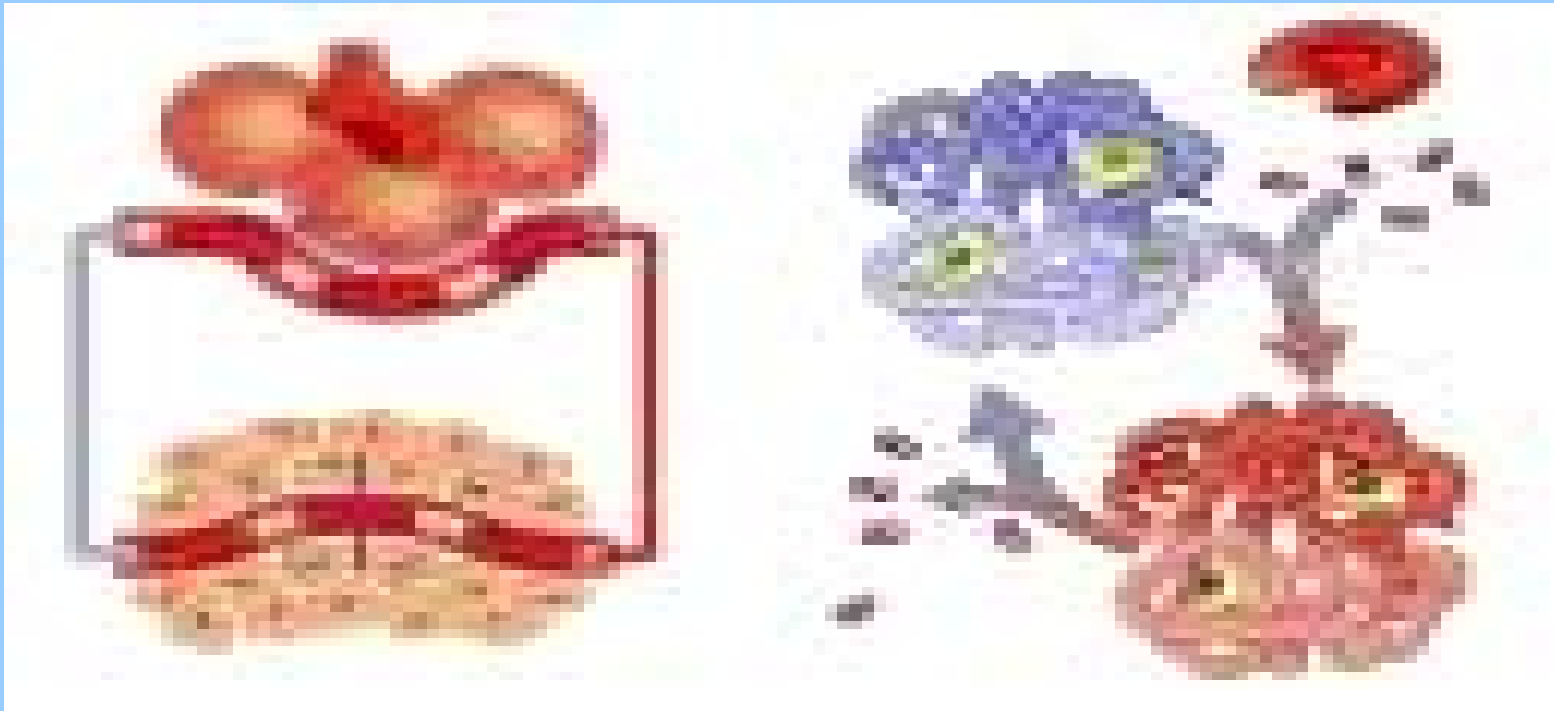
Hämoglobin:

Roter Blutfarbstoff im Erythrozyt:

- Molekül aus Eiweiß (**Globin**) und eisenhaltigem Farbstoff **Hämochromogen**
- an das Hämochromogen wird Sauerstoff locker angelagert (**Oxygenierung**)
- Neubildung von 160 Millionen Erythrozyten/min



Blut – Sauerstoffkapazität:



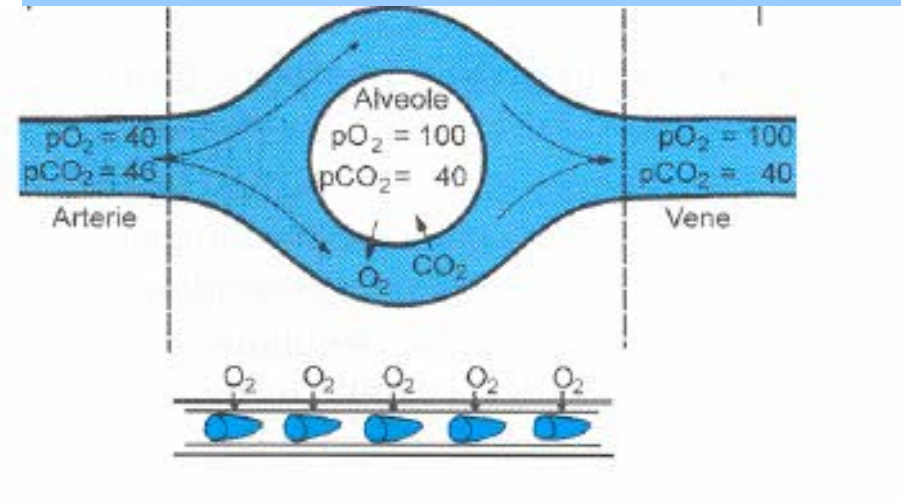
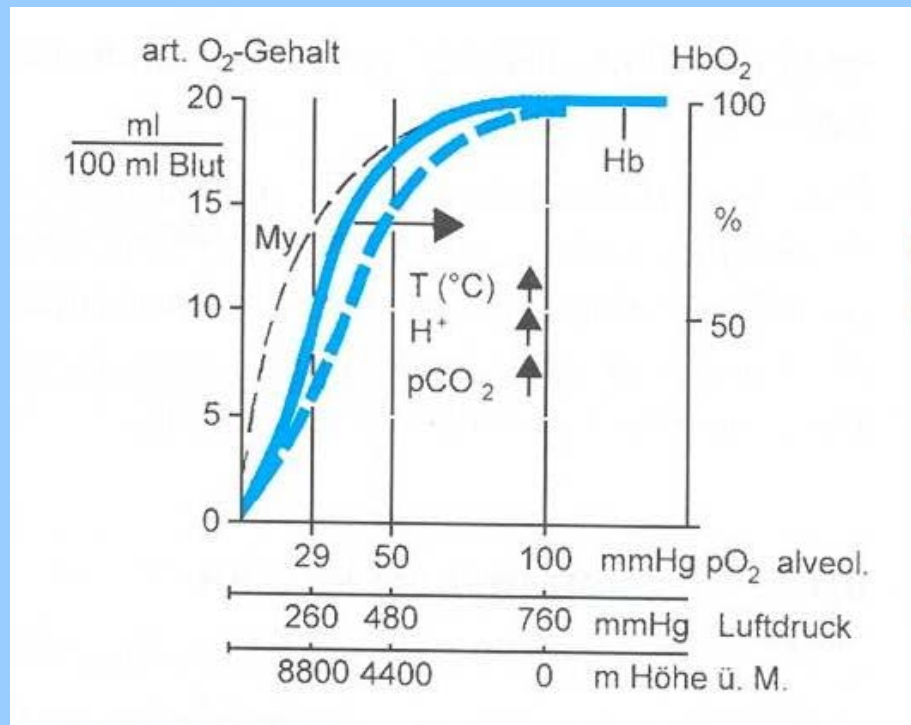
Erythrozyten-Oberfläche: Halbes Fußballfeld!

Blut – Sauerstoffkapazität:

Sauerstoff wird im Blut transportiert

- physikalisch im Blutplasma gelöst (0,3 ml O₂ / 100 ml Blut)
- in Erythrozyten in oxygeniertem Hämoglobin (20 ml O₂ / 100 ml Blut)
 - **Sauerstoffkapazität** ist die Menge an Sauerstoff, die an Hämoglobin angelagert transportiert werden kann
 - **Sauerstoffsättigung** ist der prozentuale Anteil der momentanen Menge an Sauerstoff von der Sauerstoffkapazität

Blut – O₂-Bindungskurve:



- **Sauerstoffsättigung** ist v.a. Abhängig vom Sauerstoff-Partialdruck
- die O₂-Bindungskurve weist einen **S-förmigen Verlauf** auf

Blut – CO₂-Kapazität:

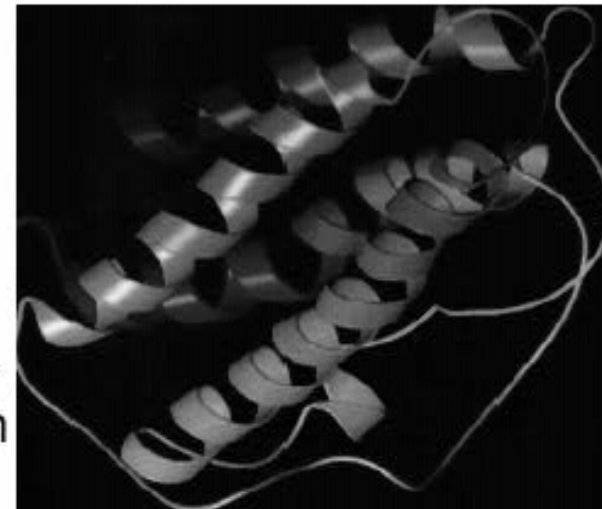
Kohlendioxid wird im Blut transportiert

- **physikalisch** im Blutplasma gelöst (2,5 ml CO₂ / 100 ml Blut)
- in Erythrozyten in oxygeniertem Hämoglobin (3 ml CO₂ / 100 ml Blut)
- als **Bicarbonat (HCO₃⁻)** im Erythrozyt und Plasma (44 ml /100 ml Blut)

Blut - Regulation: Erythropoietin (EPO)

Die Erythropoese wird durch den Wachstumsfaktor Erythropoietin (EPO) reguliert

EPO ist ein Glykoprotein von 165 Aminosäuren mit vier komplexen Kohlenhydratliganden

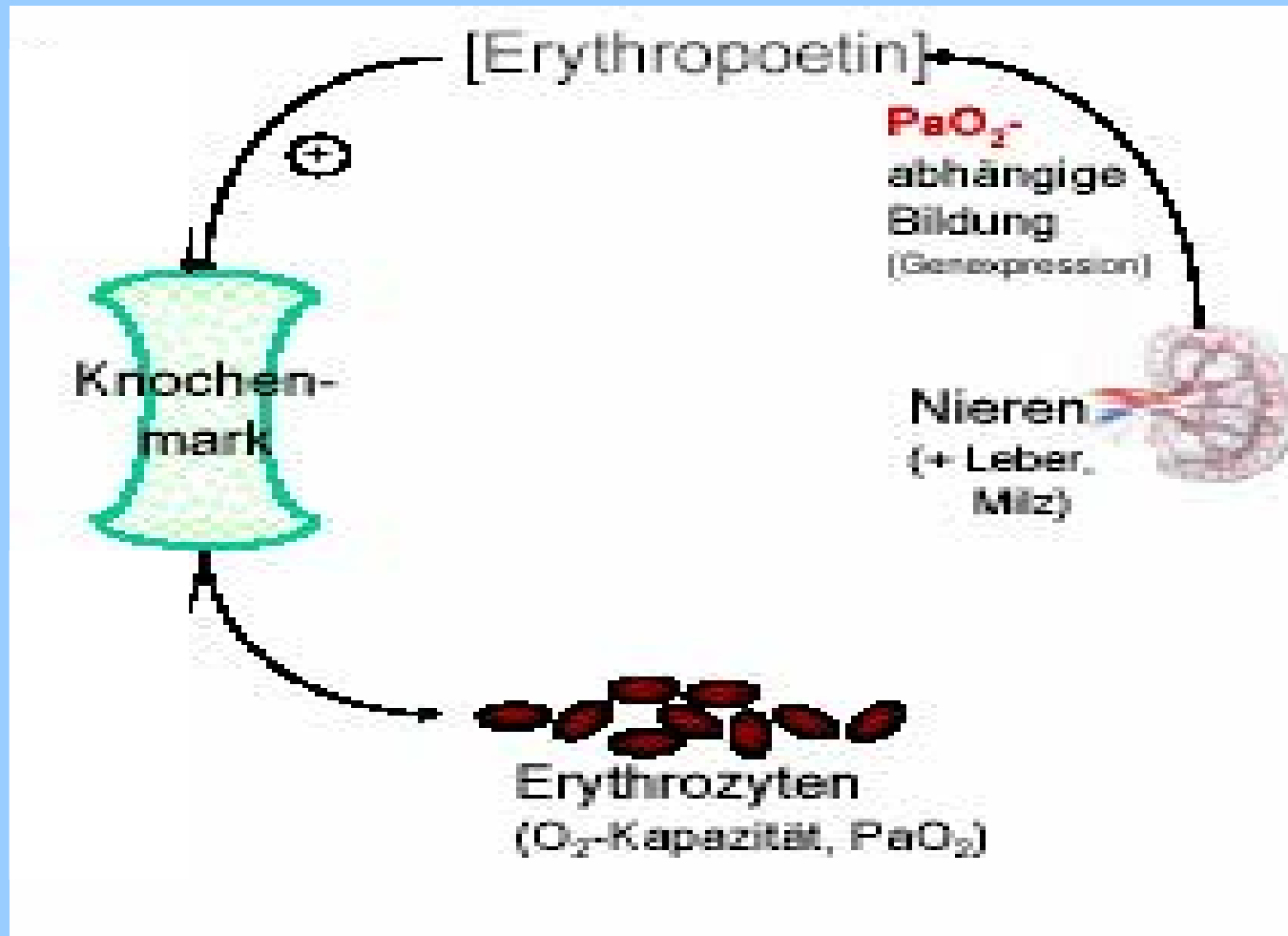


Plasmakonzentration: 5 - 30 mU/ml

Halbwertszeit: 2 Stunden

Blut - Regulation: Erythropoietin (EPO)

EPO-feedback



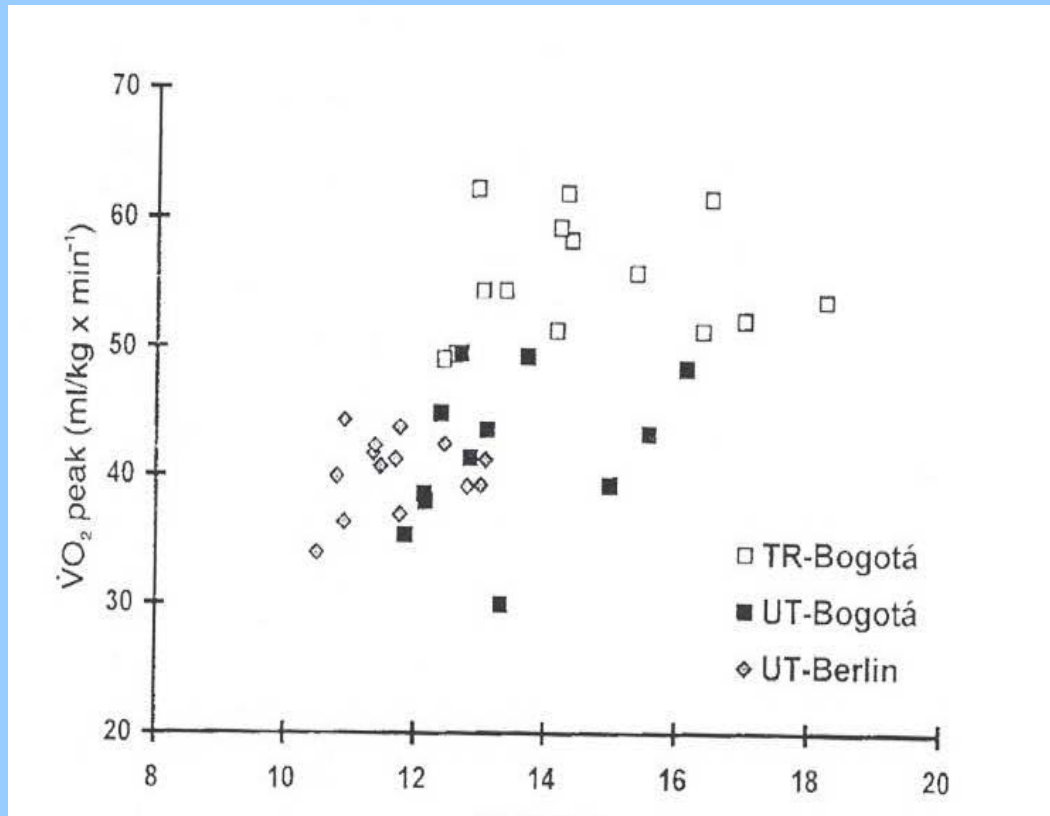
Blut - Blutplasma

Plasmaproteine:

- 60 -65 g / l Blut
- können die Gefäßwand nicht (kaum) passieren
- erzeugt den **kolloidosmotischen Druck**
- “wasseranziehende Kraft”, wirkt dem Filtrationsdruck entgegen

Blut – Sport:

Ausdauer-Leistungsfähigkeit korreliert mit



Hämoglobin (g/kg)

Blut – Sport:

Ausdauer-Leistungsfähigkeit korreliert mit

- Gesamt-Blutvolumen
- Gesamt-Erythrozytenvolumens
- Gesamt-Hämoglobinmasse

z.B. Hämoglobin 160 g/l

Blutvolumen 7 l

Gesamt-Hämoglobinmasse ?



Blut – Sport:

Ausdauer-Leistungsfähigkeit korreliert mit

- Gesamt-Blutvolumen
- Gesamt-Erythrozytenvolumens
- Gesamt-Hämoglobinmasse

z.B. Hämoglobin 160 g/l

Blutvolumen 7 l

Gesamt-Hämoglobinmasse 1120 g



Blut – Sport:

Akute Veränderungen

?



Blut – Sport:

Akute Veränderungen

- Abnahme des Gesamt-Blutvolumens
 - Dehydratation
 - höherer Filtrationsdruck
 - höherer kolloidosmotischer Druck im Gewebe
- Hämatokrit steigt



Blut – Sport:

Chronische Veränderungen durch Ausdauersport

TABLE 2. Hematological variables in 747 male athletes of various sporting categories and disciplines and in 104 untrained control subjects (mean \pm SD).

	<i>N</i>	RBC ($10^6 \cdot \mu\text{L}^{-1}$)	Hb ($\text{g} \cdot \text{dL}^{-1}$)	Hct (%)
<i>Normal range</i>		4.2–6.3	12–18	37–54
Athletes	747	5.33 ± 0.43^2	15.9 ± 1.1	47.1 ± 3.6
Sedentaries	104	5.24 ± 0.35^1	15.9 ± 1.0	46.9 ± 3.1
Endurance	426	5.25 ± 0.47^5	15.8 ± 1.1^5	46.6 ± 4.0^5
Mixed	118	5.37 ± 0.36^5	15.9 ± 1.0^5	47.6 ± 3.1
Power	203	$5.48 \pm 0.34^{3,4}$	$16.3 \pm 0.9^{3,4}$	48.1 ± 2.9^3
Runners	144	5.25 ± 0.4	15.9 ± 1.1	47.0 ± 3.3
Cyclists	272	5.26 ± 0.5	15.7 ± 1.1	46.5 ± 4.3

Significantly different from: ¹ Athletes; ² Sedentaries; ³ Endurance; ⁴ Mixed; ⁵ Power.

Blut – Sport:

Chronische Veränderungen durch Ausdauersport

	Untrainierte	Ausdauertrainierte
Blutvolumen	≈ 76 ml/kg	≈ 95 ml/kg (+ 25%)
Plasmavolumen	≈ 43 ml/kg	≈ 55 ml/kg (+ 28%)
Zellvolumen	≈ 34 ml/kg	≈ 40 ml/kg (+ 18%)
Hämatokrit	45%	42%

Blut – Sport:

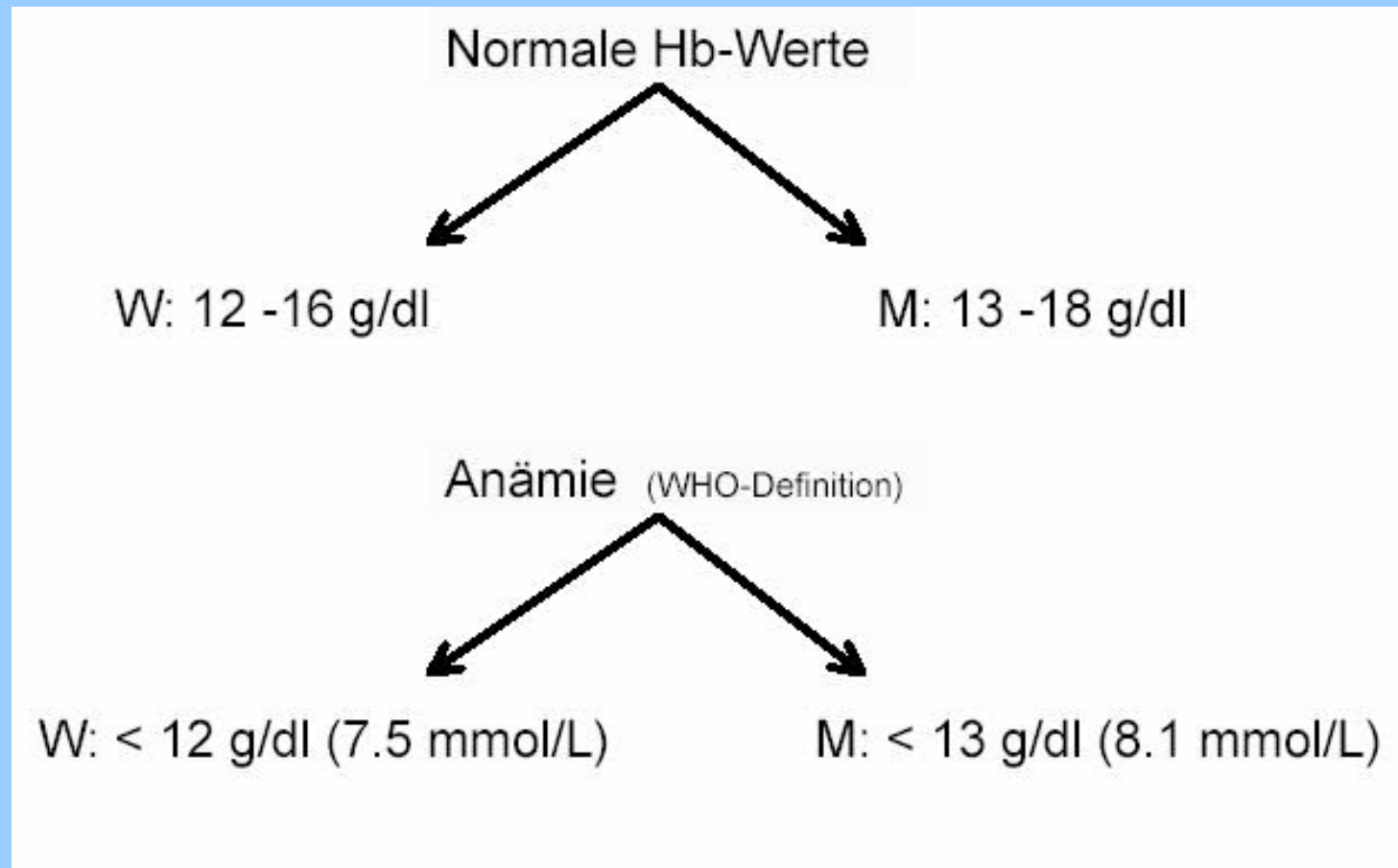
Chronische Veränderungen durch Ausdauersport

- Stimulierung der Erythropoese
 - Zunahme des Erythrozytenvolumens
 - Zunahme der Hämoglobinmasse
- Zunahme des Blutvolumens
- Abnahme des Hämatokrits

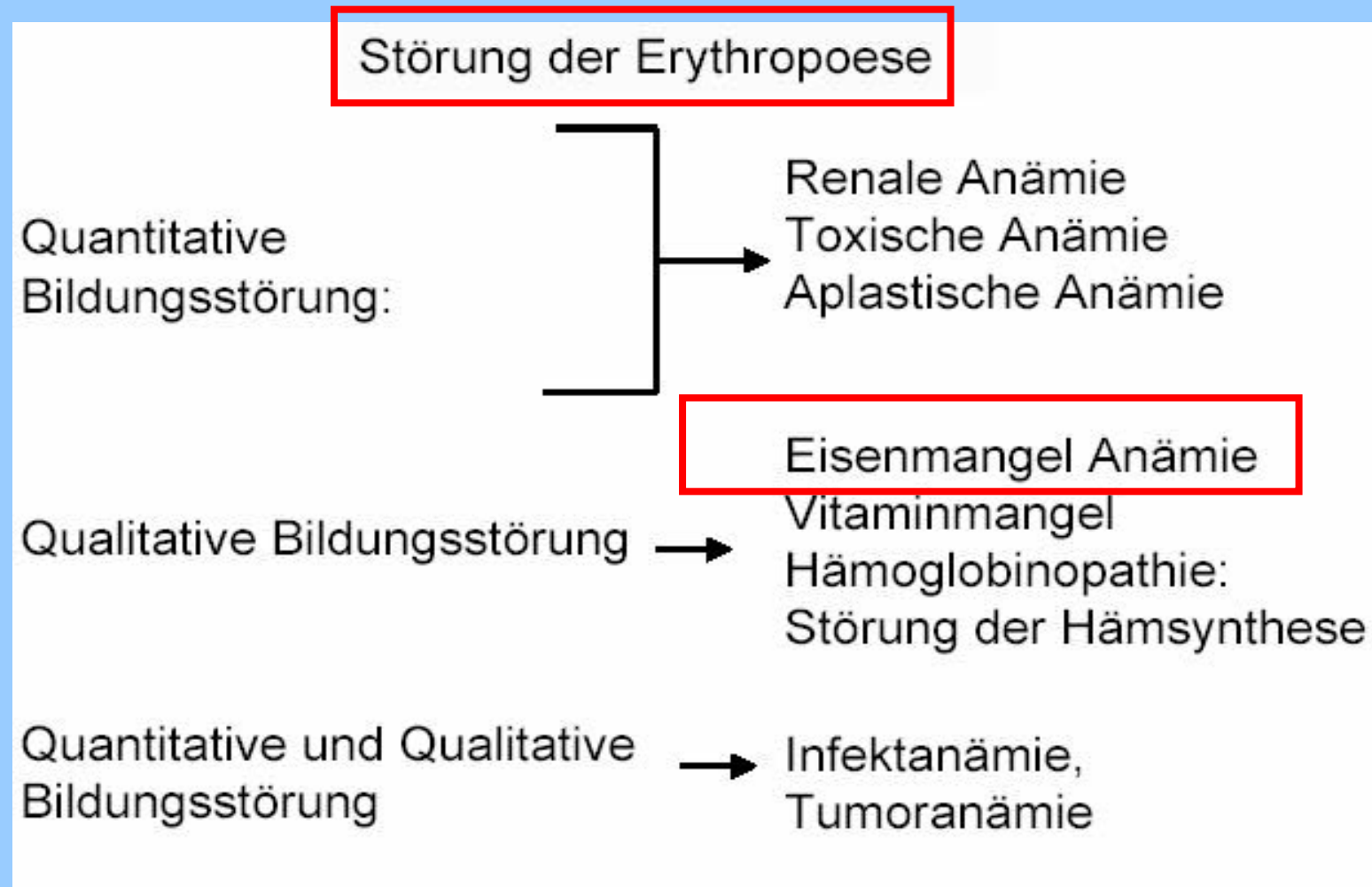
(relativ größere Zunahme des Blutplasmas im Verhältnis zum Erythrozytenvolumen)

Anämie:

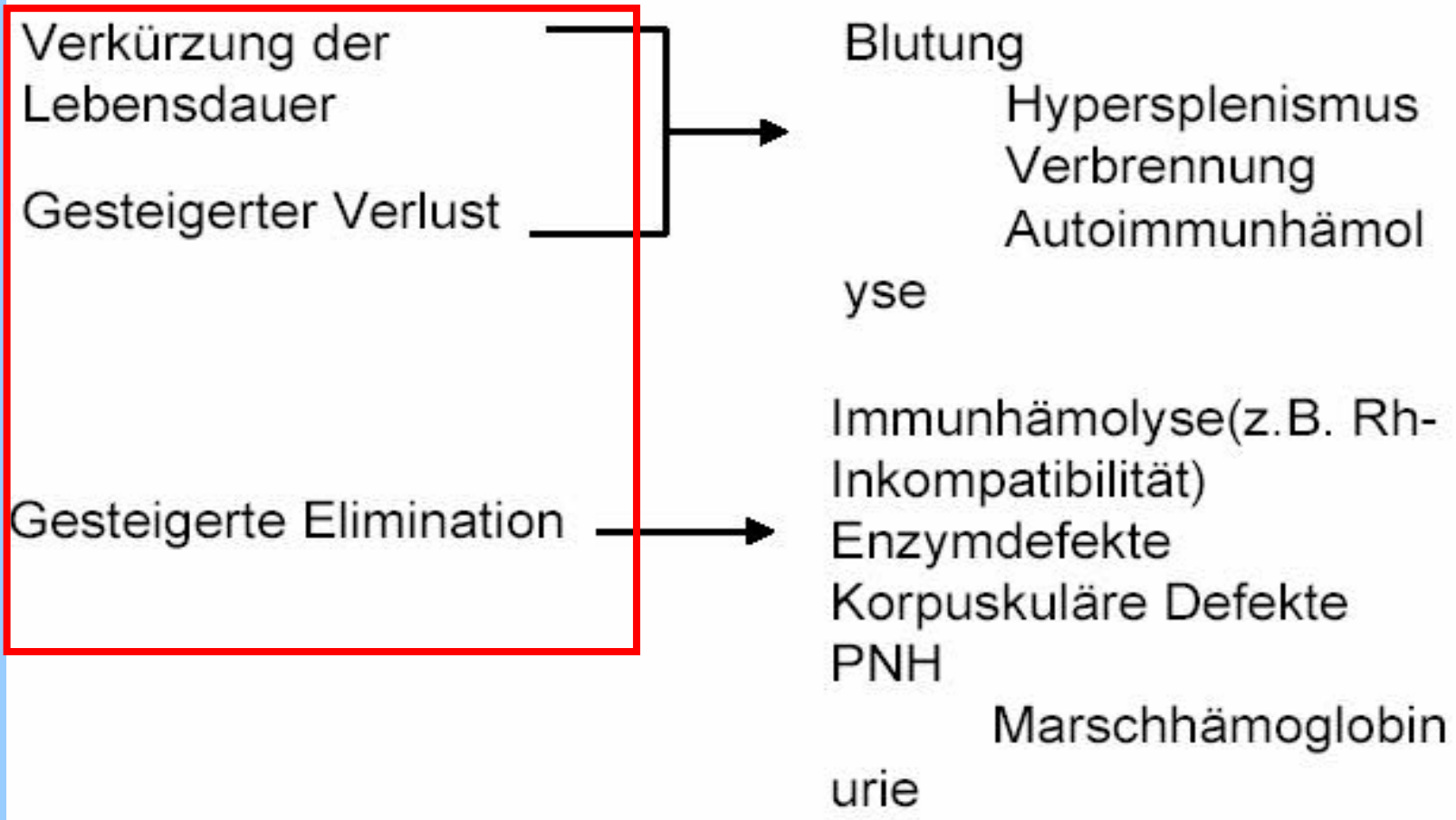
Erniedrigung der **Hämoglobinkonzentration** unter die Norm



Anämie - Ursachen:



Anämie - Ursachen:



Eisenmangelanämie - Sport:

Eisenmangel ist die weltweit häufigste Ursache von Anämien

- **intravasale Hämolyse** (Lauf, Sprung) und dadurch verkürzte Lebenszeit (z.B. Langstreckenläuferinnen)



Eisenmangelanämie - Sport:

Eisenmangel ist die weltweit häufigste Ursache von Anämien

- vermehrter Bedarf (z.B. größere Hämoglobinmasse)



Eisenmangelanämie - Sport:

Eisenmangel ist die weltweit häufigste Ursache von Anämien

- vermehrte Ausscheidung (z.B. Schweiß)



Eisenmangelanämie - Sport:

Eisenmangel ist die weltweit häufigste Ursache von Anämien

- **intravasale Hämolyse** (Lauf, Sprung) und dadurch verkürzte Lebenszeit (z.B. Langstreckenläuferinnen)
- **vermehrter Bedarf** (z.B. größere Hämoglobinmasse)
- **vermehrte Ausscheidung** (z.B. Schweiß)

Diagnostik: **Ferritin** korreliert mit den Körpereisenspeicher

Blutgerinnung

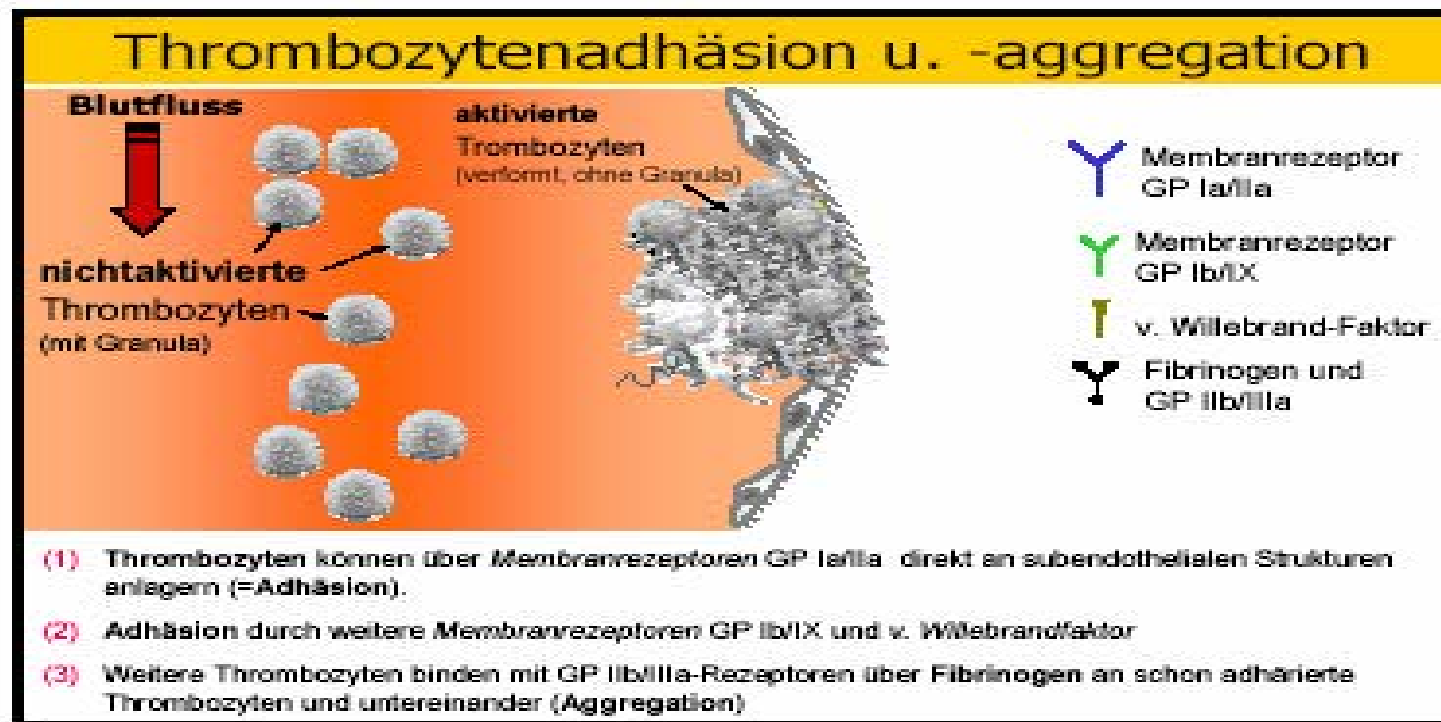
Hämostase (Blutstillung)



Blutgerinnung

primäre Hämostase (Blutstillung)

Vasokonstriktion +



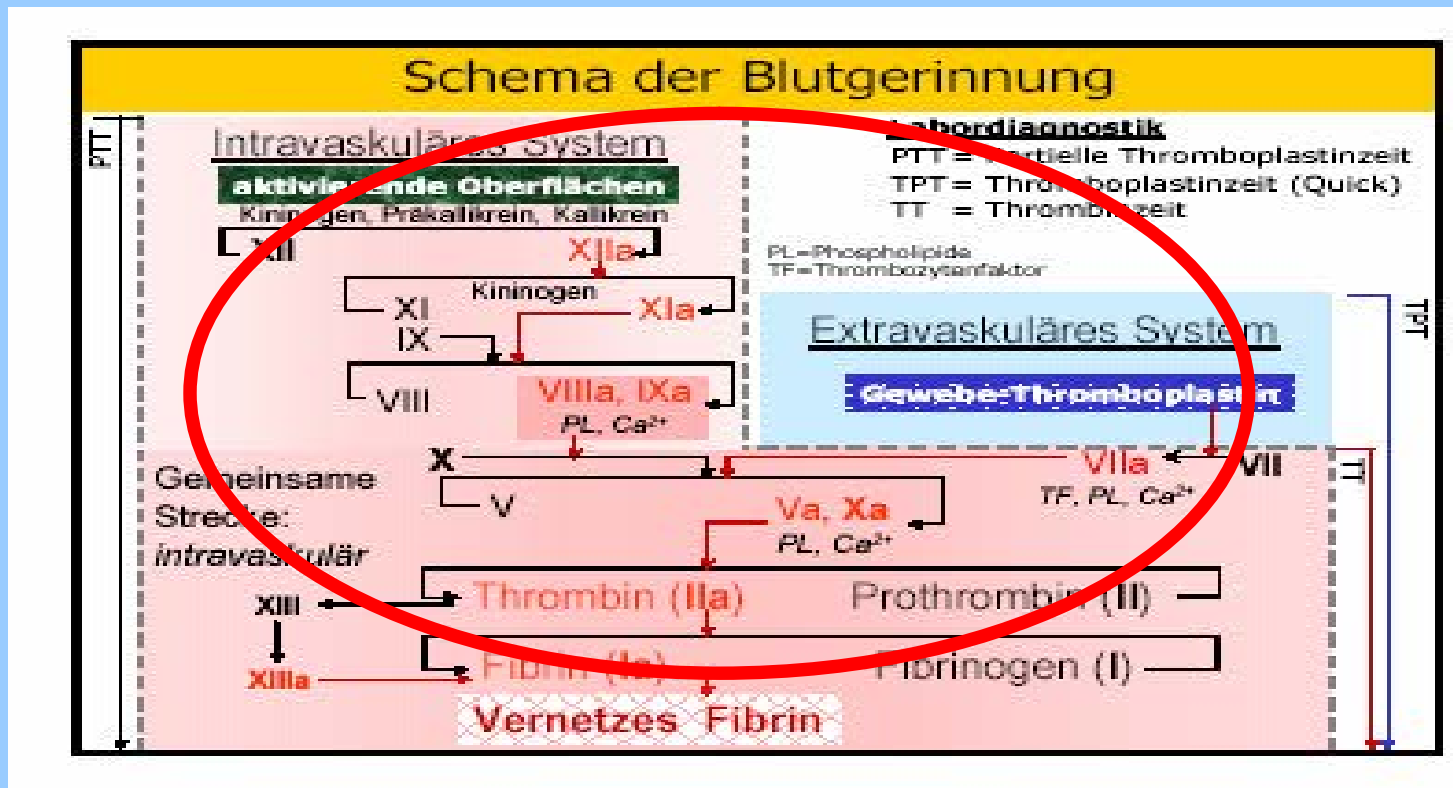
Blut – Thrombozyten



Petechien bei Morbus WERLHOFF (idiopathische thrombozytopenische Purpura)

Blutgerinnung

sekundäre Hämostase (Blutstillung)



Aktivierung der Gerinnungsfaktoren führt über Thrombin zu vernetztem Fibrin (endgültige Blutstillung)

Koagulopathie (Blutgerinnungsstörung)

Fehlen/Verminderung der Gerinnungsfaktoren

- **angeboren:** Hämophilie A – Faktor VIII

Hämophilie B – Faktor IX

X-chromosomal vererbt

Großflächige Blutungen, Muskel- und Gelenkblutung

- **erworben:** Vitamin K-abhängige Synthese in der Leber

Thrombophilie (vermehrte Blutgerinnung)



Thrombophilie (vermehrte Blutgerinnung)

▣ Es gibt *endogene anti-koagulatorische Faktoren* wie Antithrombin-III, Protein C und S. Heparin entfaltet seine Wirkung z.B. durch Aktivierung von AT-III.

- Mangel an AT-III, Protein C oder Protein S
- angeborene **APC-Resistenz des Faktor V**
Faktor V-Leiden

Ursache: Verminderte APC-Kofaktorfunktion
des Faktor V

Immunsystem und Sport

- Hauptaufgabe des Immunsystems

Unterscheidung KÖRPEREIGEN-KÖRPERFREMD



- KÖRPEREIGEN ð Akzeptanz
- KÖRPERFREMD ð Abwehr

Immunsystem und Sport

- **Primäre Abwehr**

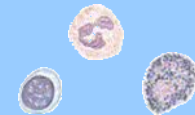
Unspezifische natürliche Barrieren um den Eintritt von Schädlingen in den Organismus zu verhindern

Beispiel: Haut und Mukosa

- **Sekundäre Abwehr**

Angeborene unspezifische Immunabwehr als lokale Antwort gegen pathogene Keime nachdem sie eingedrungen sind.

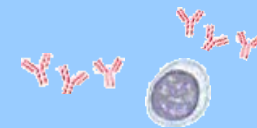
Beispiel: Fieber, weisse Blutzellen, Entzündungsreaktion



- **Tertiäre Abwehr**

Antigen-spezifische Immunantwort gegen Organismen, die die primäre und sekundäre Abwehr überwunden haben.

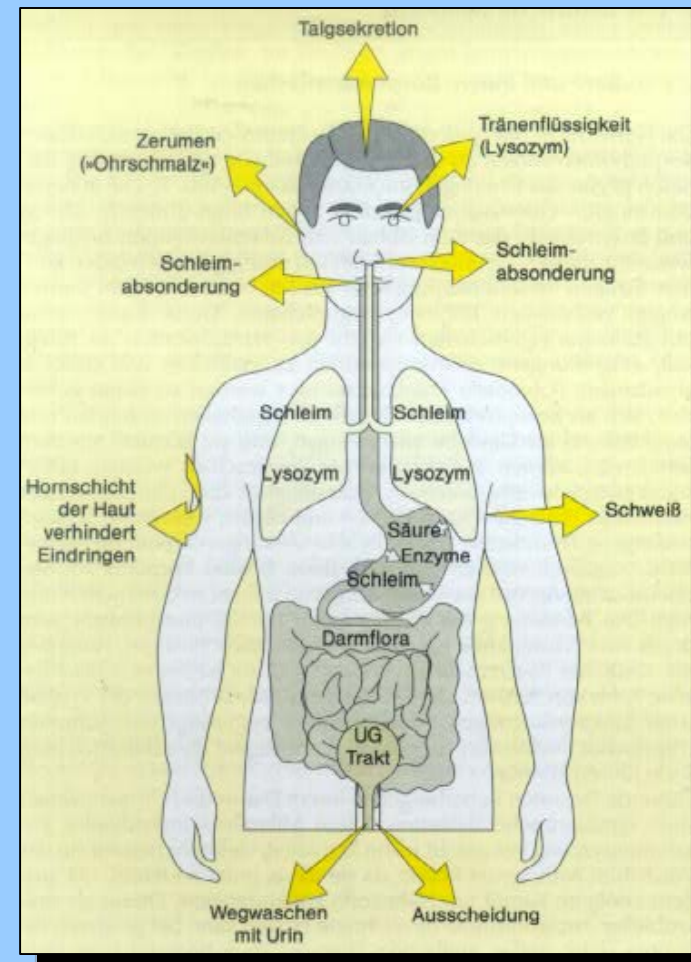
Beispiel: Antikörper und Lymphozyten.



Immunsystem und Sport

Primäre Abwehr

- Tränenapparat
- Speichel
- Schleim
- Schweiss
- Magensaft
- Nasenhaare
- Zilien
- Husten und Niesen
- Urinieren
- Epiglottis

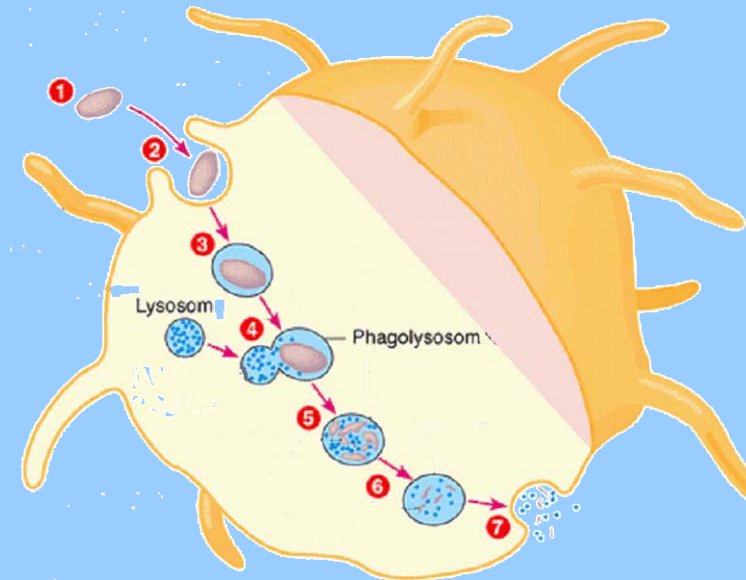
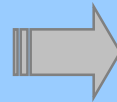
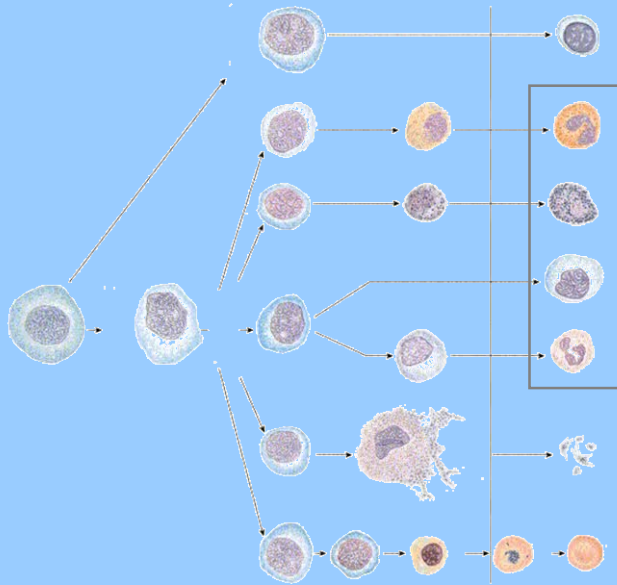
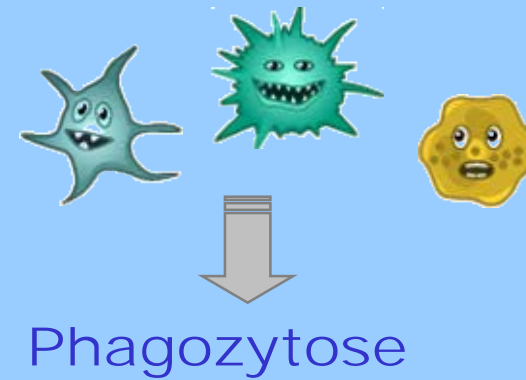


Immunsystem und Sport

Sekundäre Abwehr

Phagozytose

durch Leukozyten und
Monozyten



Immunsystem und Sport

Sekundäre Abwehr

Phagozytose

Entzündung

Signalstoffe/ Zytokine

Rubor - Rötung

Dolor - Schmerz

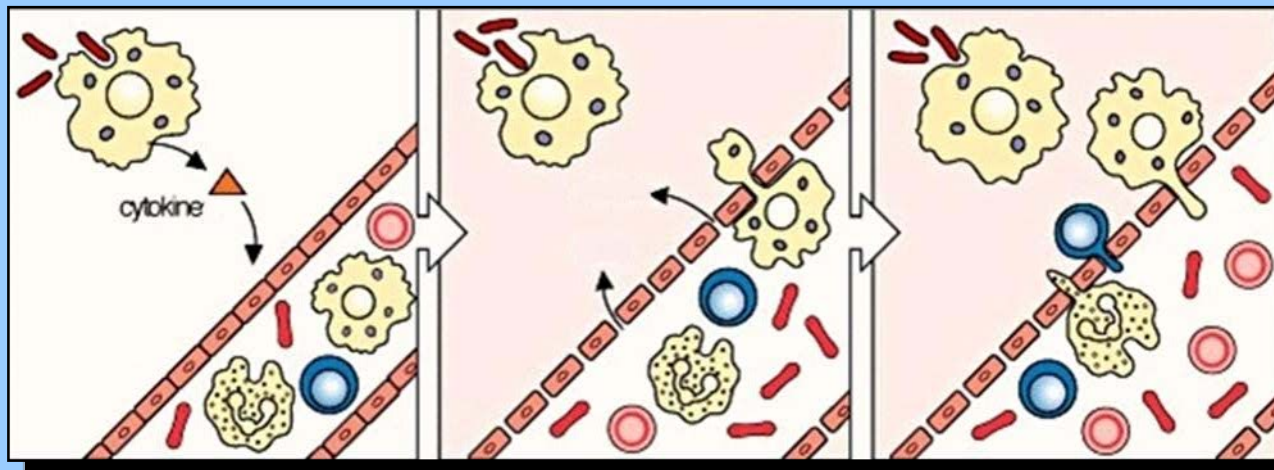
Calor - Wärme , Fieber

Turgor - Schwellung

Functio laesa - Verlust der Funktion



Entzündung

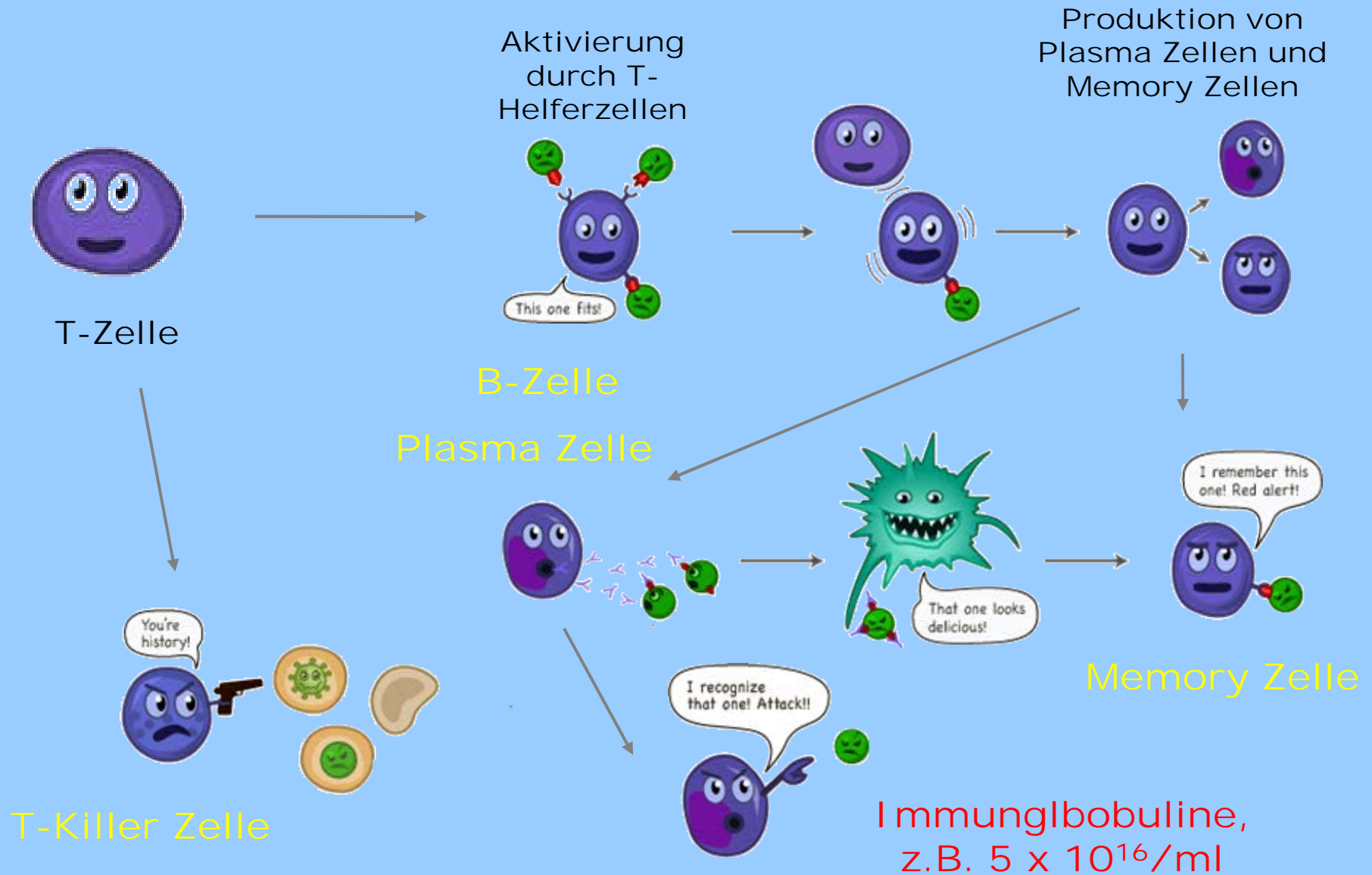


TNF- α , IL-1, IL-6
(Acute Phase Reaktion)

NK Zellen
Makrophagen

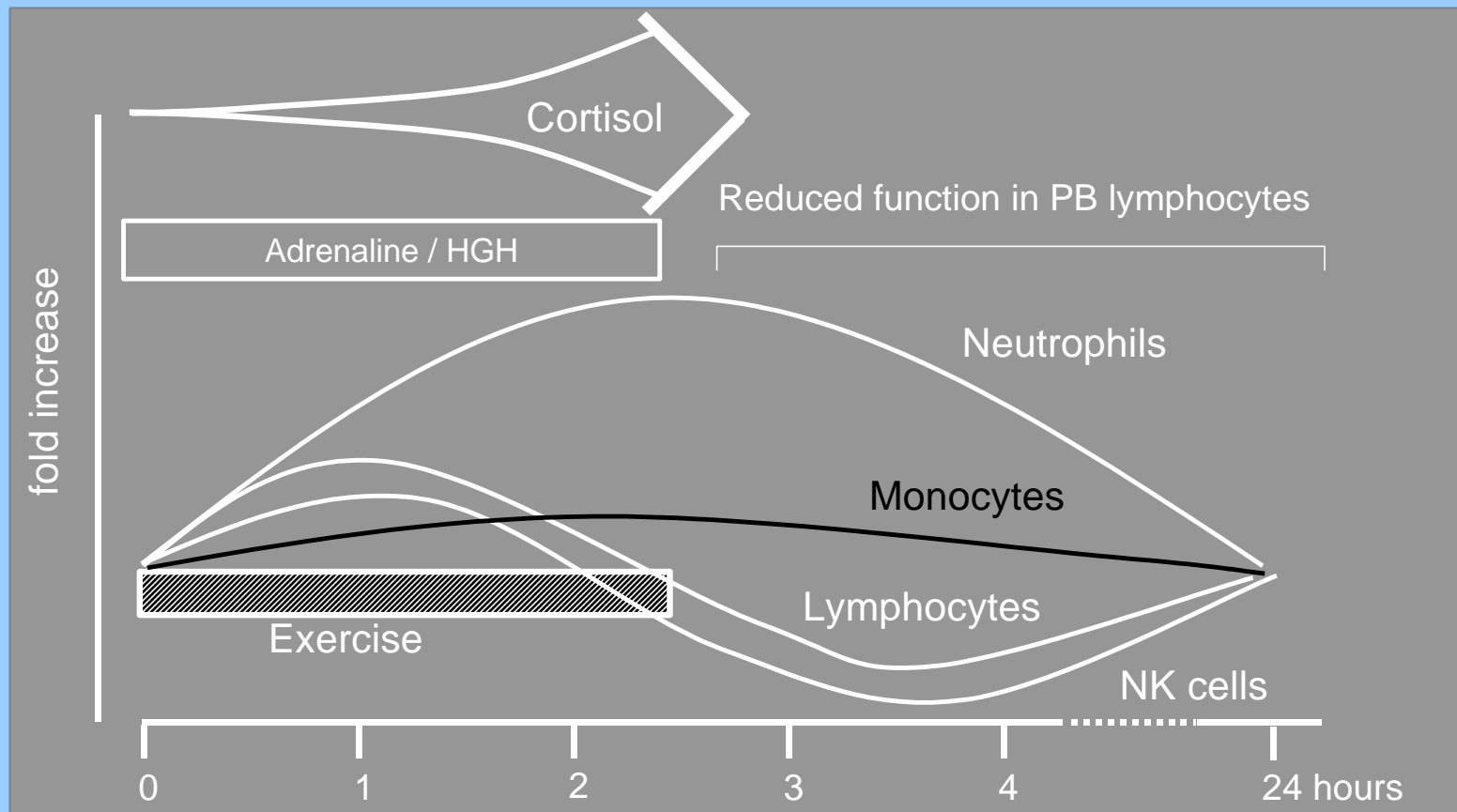
Immunsystem und Sport

Tertiäre Abwehr



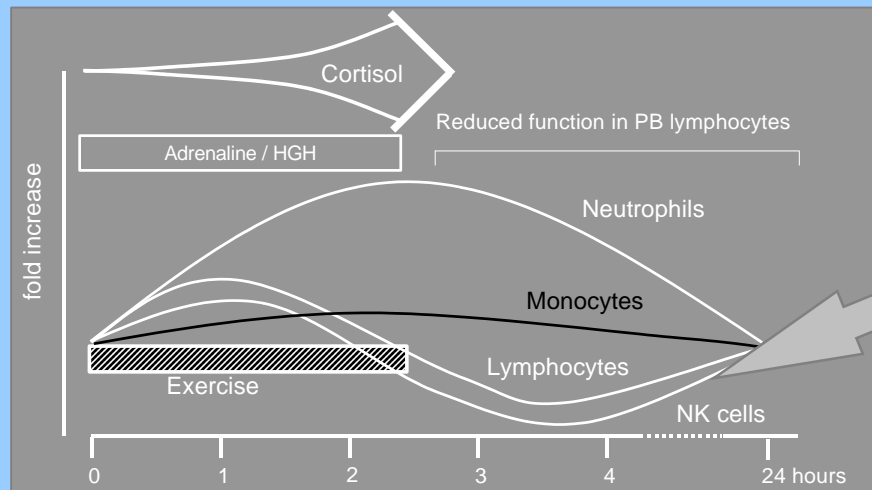
Immunsystem und Sport

Akute Belastungsreaktion



Immunsystem und Sport

Akute Belastungsreaktion



**OPEN WINDOW
THEORIE**

Transiente Verminderung v.a. der zellulären Abwehr
unmittelbar intensivem nach Sport => Keiminvasion.

Immunsystem und Sport

Akute Belastungsreaktion

Vorrübergehende Immunschwäche nach erschöpfender Belastung

Infekte der oberen Atemwege

(% von Läufern mit IOAW nach Marathon Belastung)

	Läufer	Kontrollgruppe	Faktor
Peters & Bateman 82	33.3	15.3	2.2
Peters et al. 90	28.7	12.9	2.2
Nieman et al. 90	12.9	2.2	5.9 (Winter)
Peters et al. 93	68	45	1.5 (Vitamin C)
Nieman et al. 93	3		(Sommer)
Peters et al. 96	40.4		(Vitamin C)
Castell et al. 96	51		(Glutamin)

Immunsystem und Sport

Chronische Adaptation

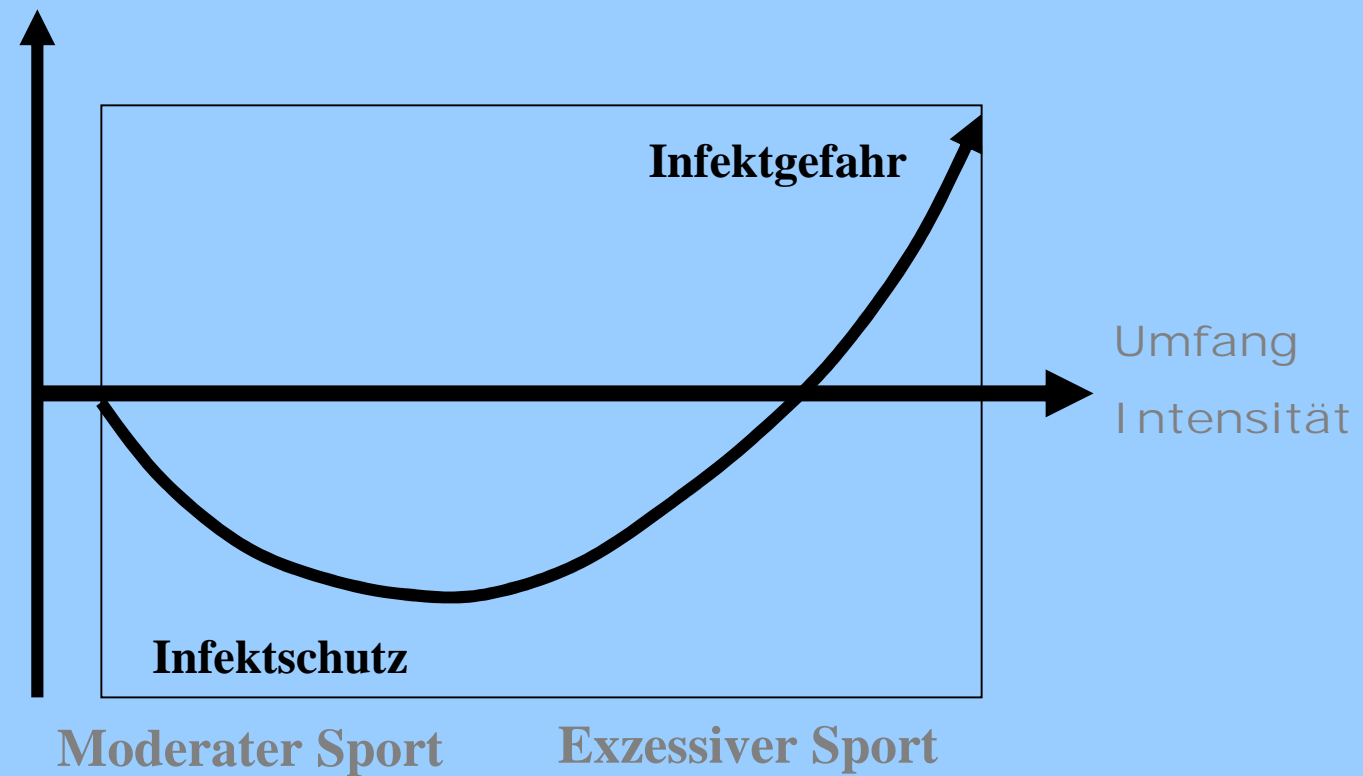
	Moderater Sport*	Intensiver Sport
Neutrophilen Funktion/ Burst	↑	↓
Killerzellaktivität	↑	↓
T Zell Prolif., Zytok., Perforin		↓
B Zell IgA		↓
Zytokine im Serum		↓

* Moderater Sport: Im Bereich der aeroben Schwelle, 3-4 h / Woche.

Immunsystem und Sport

Chronische Adaptation

Immunkompetenz bei Sportlern



Immunsystem und Sport

Zusammenfassung

- Exzessiver Sport führt zu einer vorübergehenden Immunsuppression („open window“)
- Nach einer extremen Belastung (Marathon) treten vermehrte Infekte auf
- Moderater Sport unterstützt das Immunsystem
- Durch eine gesunde Lebensweise (Stress, Ernährung, Schlaf) sowie vorausschauende Trainingsplanung kann man die Infektwahrscheinlichkeit vermindern