

# **Grundlagen der Immunologie**

## **(Zahnmedizin)**

### ***Vorlesung 3.-4.***

Molekuläre Komponenten des Immunsystems.

- 1. Antigenerkennungsmoleküle: Immunglobuline, T-Zell- Rezeptor***
- 2. MHC und Antigenpräsentation***

***Ferenc Boldizsar***

# Immunsystem

## ERKENNUNG

EIGENE

NICHT-EIGENE

normale Immun-homeostase

TOLERANZ

ELIMINIERUNG



AUTOIMMUNITÄT

TUMOREN

IMMUN  
DEFIZIENZEN

ÜBEREMPFIN-  
DLICHKEITS  
REAKTIONEN

VERÄNDERTE Immun-homeostase= IMMUNOPATHOLOGIE

# Aufbau des Immunsystems



## Angeborene

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



## Erworbene (adaptiv)

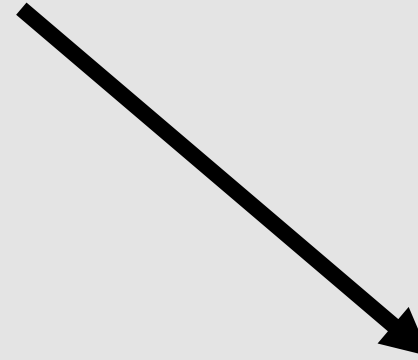
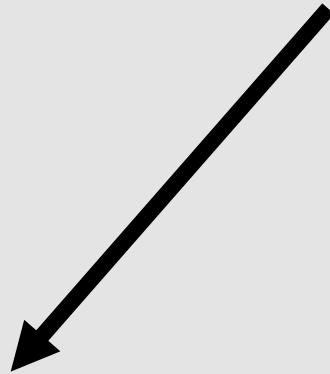
- Antigenspezifisch
- Immunologische Gedächtniss
- Aktiviert sich nach Latenzzeit
- Exponentielle Verstärkerung

## Natürliche

Angeborene-ähnliche Immunität mit adaptive Eigenschaften.



# Immunologische Erkennung (**Rezeptoren**)



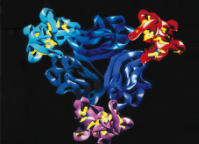
## Angeborene Immunität

gemeinsame mikrobielle  
molekuläre MUSTERN

(„pattern recognition receptors“)

## Adaptive Immunität

Antigenspezifisch (EPITOP)



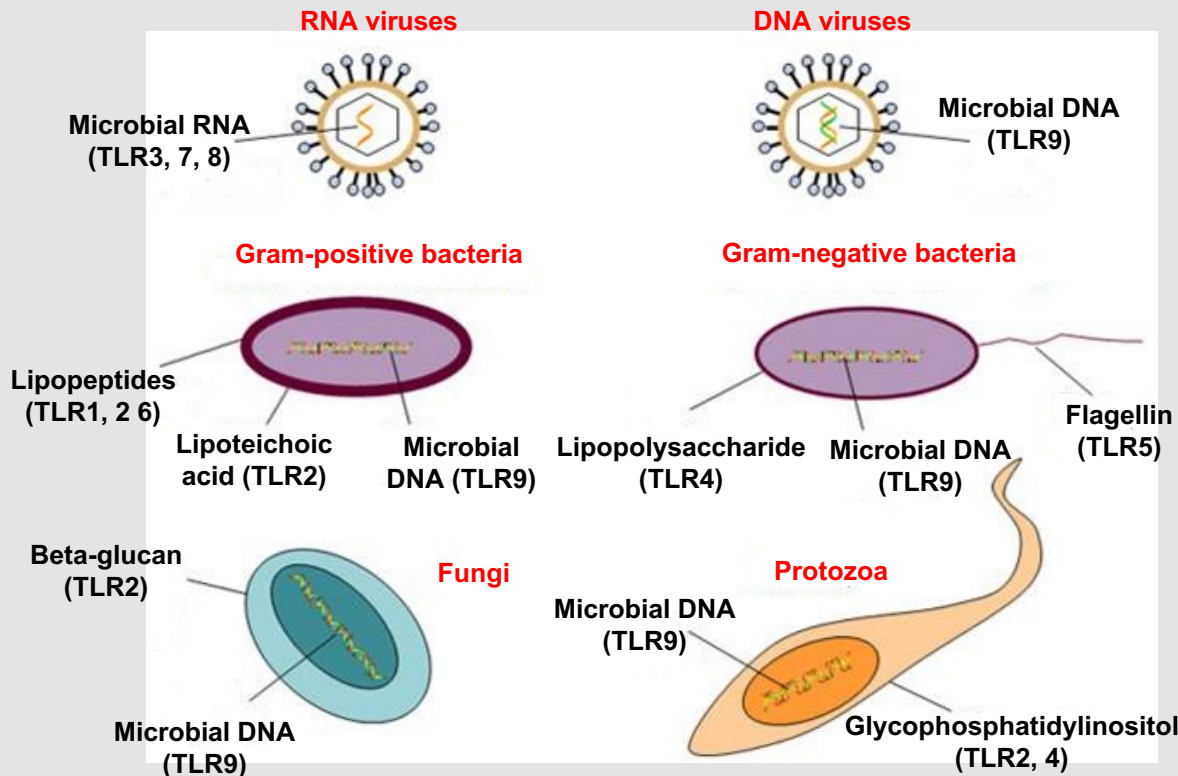
# Erkennungsmoleküle

	Innate immunity	Adaptive immunity
Specificity	<p><b>For pathogen-associated molecular patterns (PAMPS)</b></p> <p>Different microbes</p> <p>Identical mannose receptors</p>	<p><b>For structural details of any molecules (antigens)</b></p> <p>Different microbes</p> <p>Distinct antibody molecules</p>
Receptors	<p><b>Encoded in germline (pattern recognition receptors)</b></p> <p>Toll-like receptor</p> <p>N-formyl methionyl receptor</p> <p>Mannose receptor</p>	<p><b>Encoded by lymphocyte genes produced by somatic recombination</b></p> <p>Ig</p> <p>TCR</p>
Distribution of receptors	<b>Non-clonal</b>	<b>Clonal</b>

Table 4-1

# Mustererkennung

- **PAMP** (pathogen-associated molecular pattern): Moleküle die auf Pathogene oft befunden werden und die von den Zellen des Immunsystems erkannt werden können.



Beispiele von PAMPs:

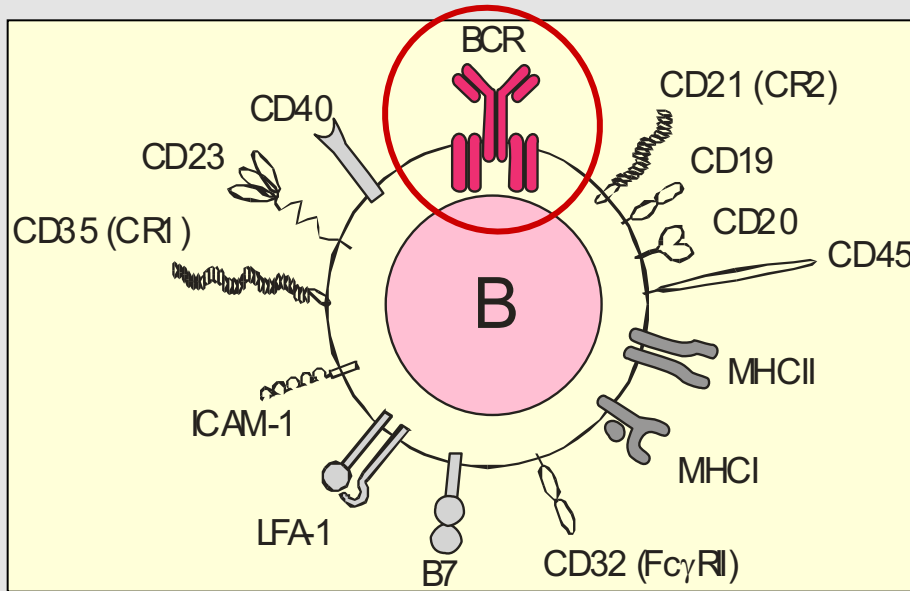
- **LPS (lipopolysaccharide)**
- Beta-glucan
- dsRNA (double stranded RNA)
- CpG-DNA (microbial DNA)
- Flagellin

Beispiele von PRRs:

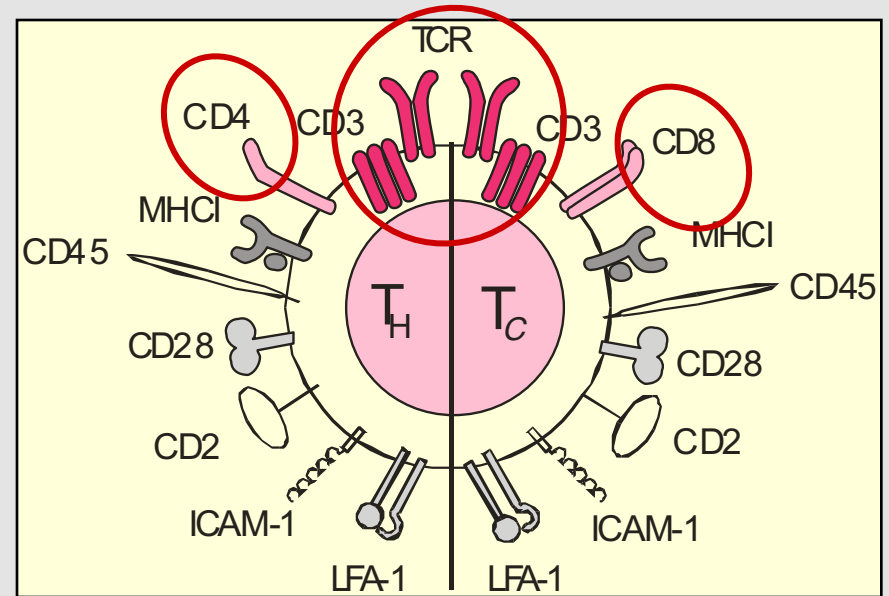
- **LPS-receptor (CD14)**
  - **Mannose-receptor**
  - **Glucan-receptor**
  - **Toll-like receptors (TLR)**
  - **Scavenger receptors**
- These receptors are grouped under **C-lectin-R**.

- **PRR** (Pattern-recognition receptor): Ihre Genen werden nicht rearrangiert; alle angeborenen Immunzellen exprimieren gleiche PRRs durch das ganze Leben.
- Einige Rezeptoren werden an **Zelloberfläche**, anderen **intracellulär** befunden.

# Antigenrezeptoren von Lymphozyten



**BcR= B-Zellrezeptor**

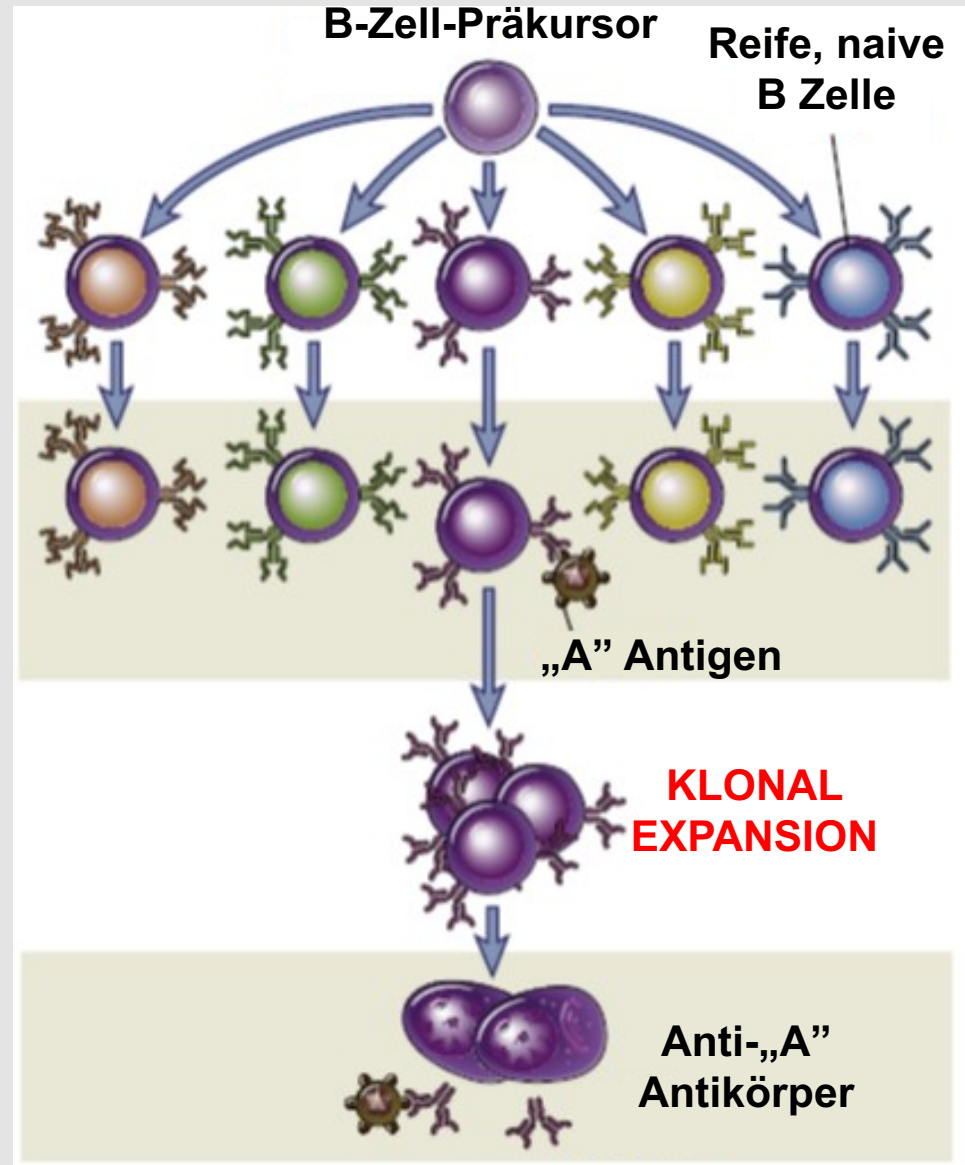


**TcR= T-Zellrezeptor**

BcR und TcR sind **Antigenrezeptoren**, die auf jede individuelle Lymphozyten unterschiedlich sind. Jede einzige Antigenrezeptor erkennt und bindet nur EIN spezifische Antigen (EPITOP)

# Die Klonalselektionstheorie

1. Jede neugebildete Lymphozyt exprimiert einen unikal Antigenbindungsrezeptor.
2. Nur solche Lymphozyten werden aktiviert die erkennen einen Antigen. Diese selektierten Zellen proliferieren und produzieren Klone von sich selbst, wobei jede Tochterzelle den gleichen Antigenerkennungsrezeptor besitzt.
3. Diese Klone differenzieren zu Effektorzellen die an der Immunantwort teilnehmen (z.B. Plasmazellen produzieren Antikörper)





# Medtraining Frage 2

# Erkennungsmoleküle in dem adaptive Immunsystem

Immunoglobuline

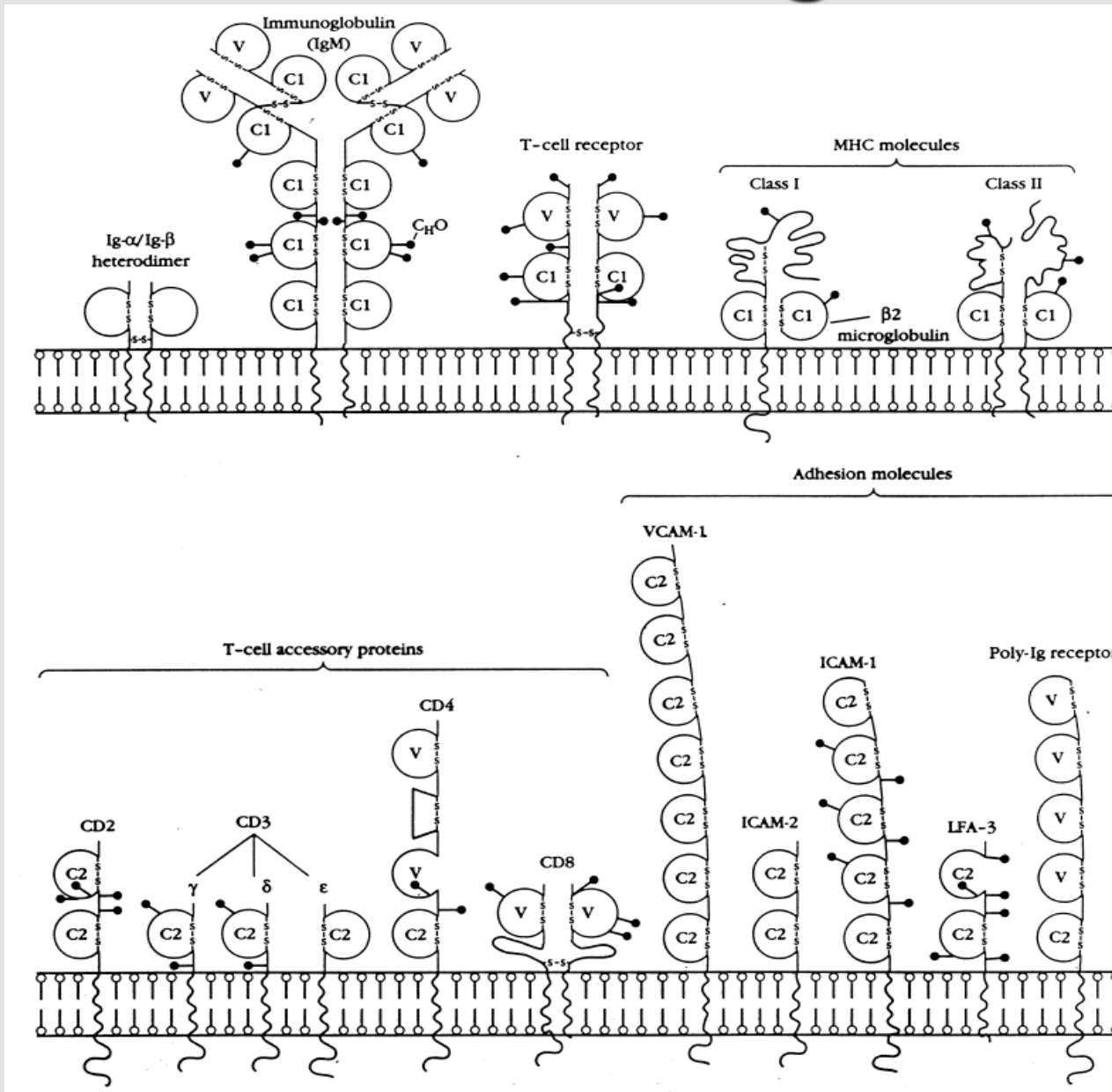
B-Zell-Rezeptoren (BcR)

T-Zell-Rezeptoren (TcR)

MHC Klasse I und II

Spezialisierte Moleküle schaffen Antigenerkennung. Gemeinsame strukturelle Komponenten von diese Moleküle sind evolutionell-konservierte (konstante) Grundlagelemente (gebildet von 110 Aminosäuren domain Elemente) und sie enthalten auch variable, antigenspezifische Teile (Bindungsstelle) für Erkennung und Ligandbindung.

# Immunerkennungsmolekülen



**Antigen  
spezifische  
Erkennungsmolekülen**

**Zusätzliche  
molekülen**

# Antigenerkennung

## **B Zellen**

BcR (Ig)

native

nicht nötig

## **T Zellen**

TcR

denaturierte (präsentierte)

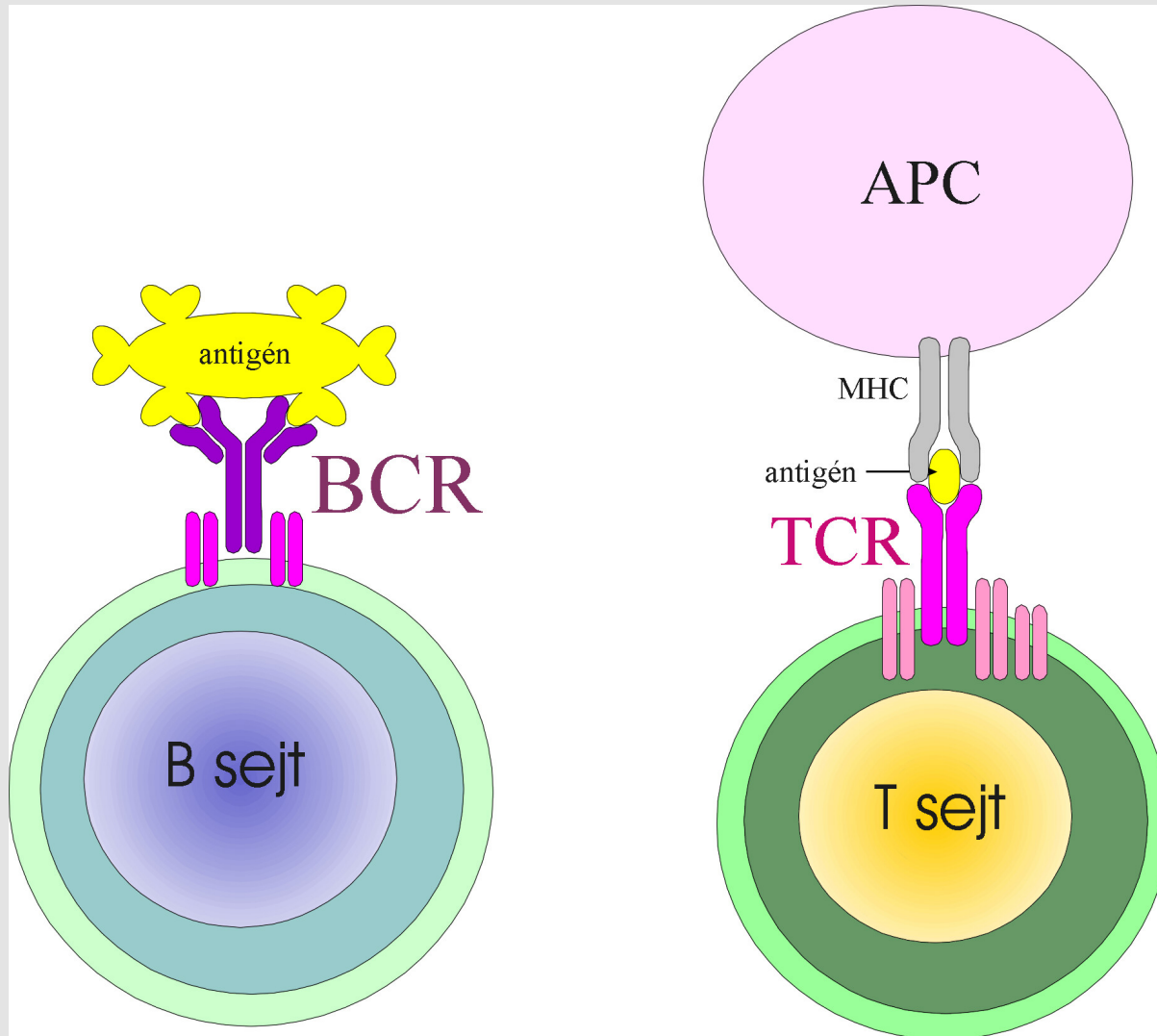
nötig

Rezeptor

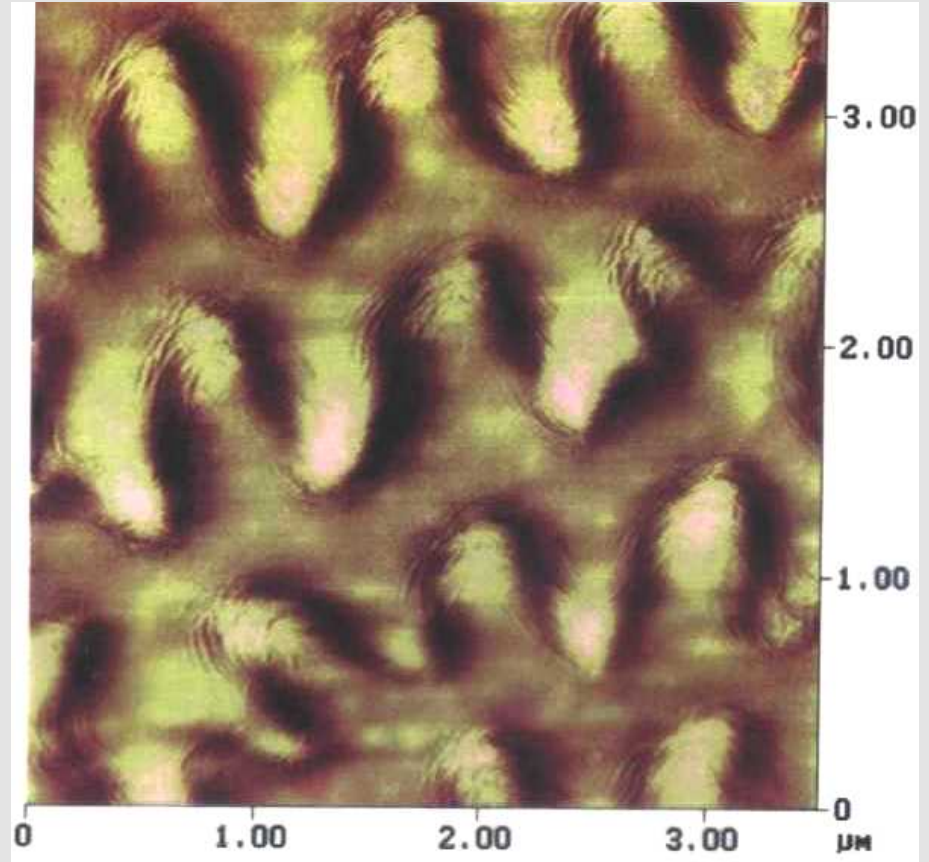
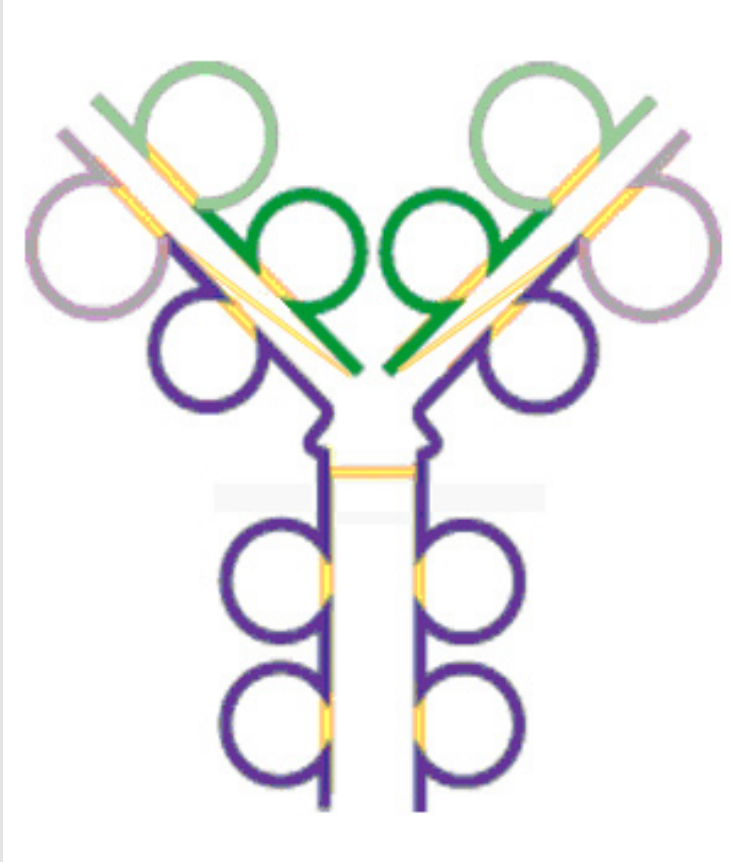
Antigen

APC

# B- und T-Zelle Antigenerkennung

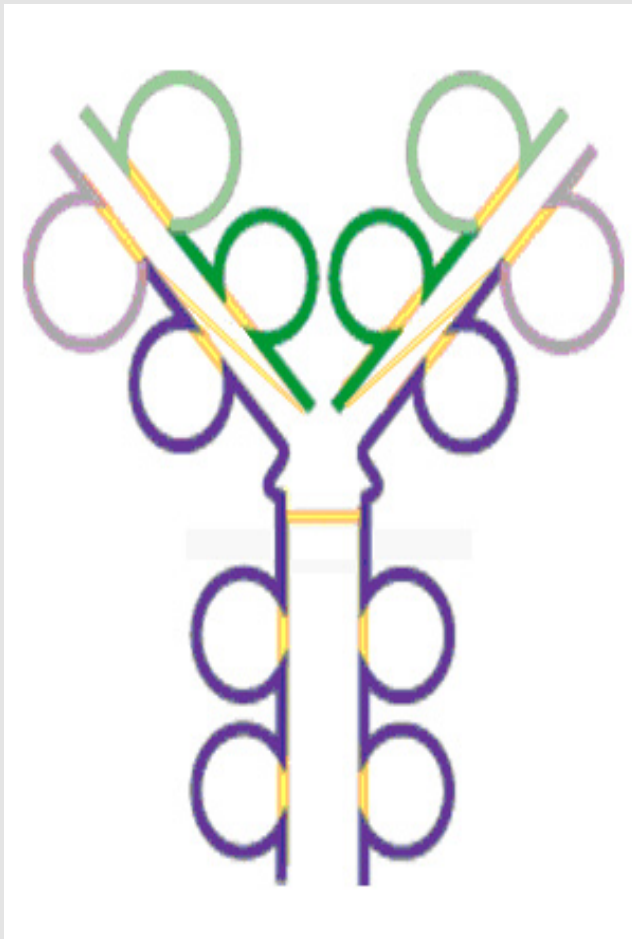


# Domainstruktur



**Konservierte Aminosäuresequenzen gebildet von 110 Aminosäuren die mit einer Disulfidbrücke in eine "Ringform" geschlossen werden.**

# Immunoglobulin Moleküle

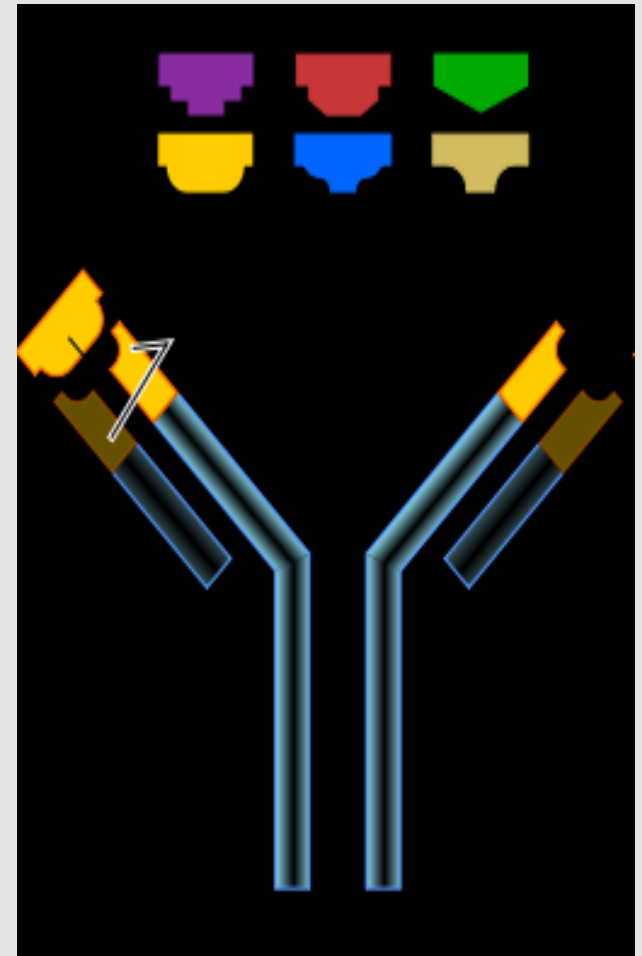


**CDR**  
**Variable**  
**Region**  
**Idiotyp**

**Fab Fragment**

**Constant**  
**Region**  
**Isotyp**

**Fc Fragment**



# Immunglobuline

**Monofunktionelle** Charakter (spezifische Antigenerkennung und Bindung) **bevor** Antigenstimulation. **Fab** abhängige Funktion.

**Polyfunktionelle** Charakter **nach** Antigenstimulation (Signalübertragung, Komplementfixation, Opsonisierung, Immunkomplexformation, FcR Bindung, etc). **Fc** abhängige Funktionen.



# Immunglobulin isotypen

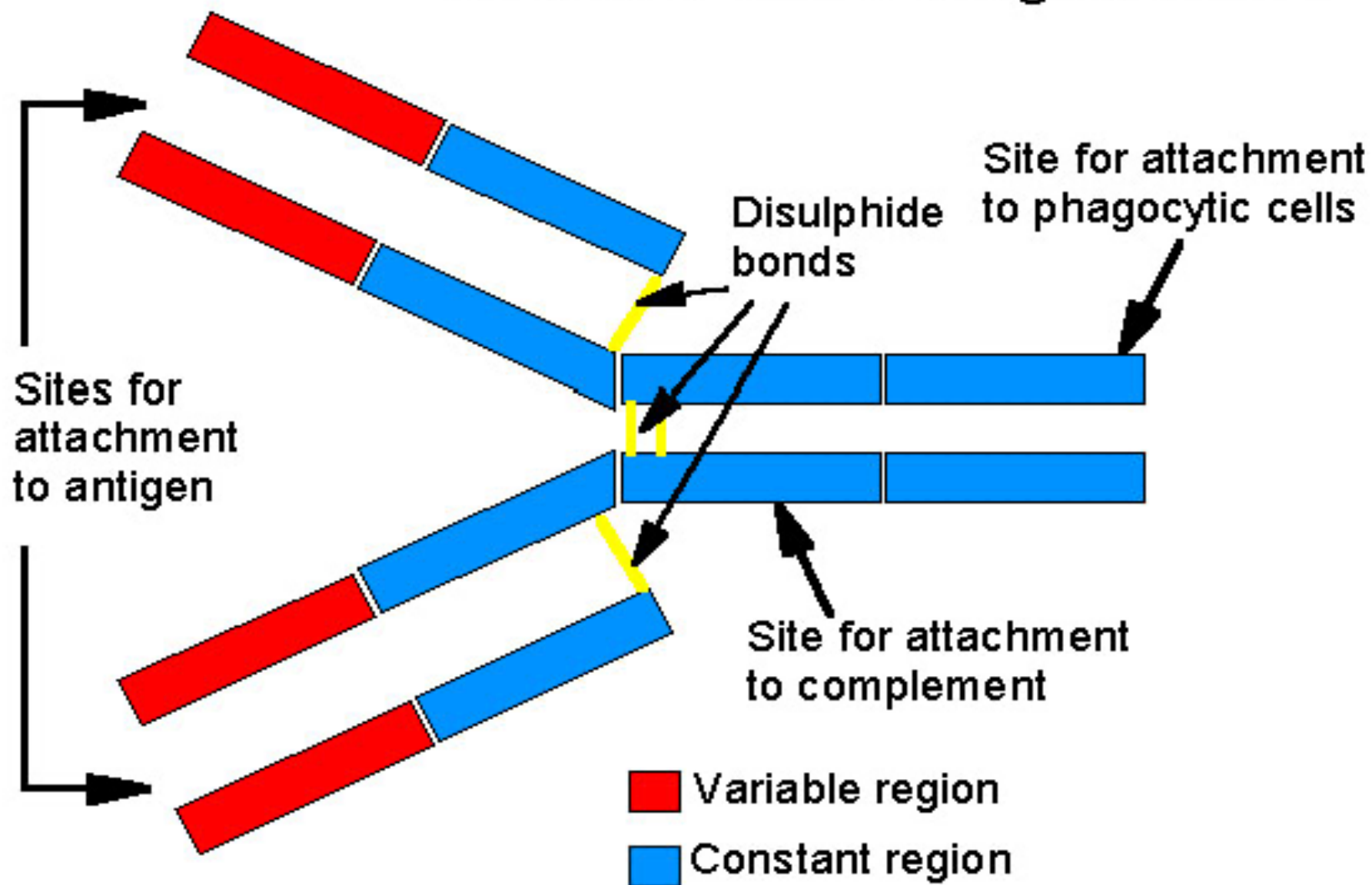
- Auf Grund von den konstanten Domänen von schwere (**H**) und leichte (**L**) Kette.
- **CH isotypen:** heißt Ig Klassen und Subklassen als **IgG, IgM, IgA, IgD** und **IgE**. Alle Klassen werden in normal Serum (außerdem die membranengebundene IgD) als Isotypvarianten befunden.
- **CL** Kette hat nur zwei **Isotypformen:** kappa (**κ**) und lambda (**λ**), die mit alle schwere Kette Isotypen assoziieren können.

<b>Heavy chain</b>	<b>Light chain</b>	<b>Immuno-globulin Class</b>	<b>Immuno-globulin Subclass</b>
$\gamma 1$	$\kappa$ or $\lambda$	IgG	IgG1
$\gamma 2$	$\kappa$ or $\lambda$		IgG2
$\gamma 3$	$\kappa$ or $\lambda$		IgG3
$\gamma 4$	$\kappa$ or $\lambda$		IgG4
$\alpha 1$	$\kappa$ or $\lambda$	IgA	IgA1
$\alpha 2$	$\kappa$ or $\lambda$		IgA2
$\mu$	$\kappa$ or $\lambda$	IgM	
$\delta$	$\kappa$ or $\lambda$	IgD	
$\epsilon$	$\kappa$ or $\lambda$	IgE	

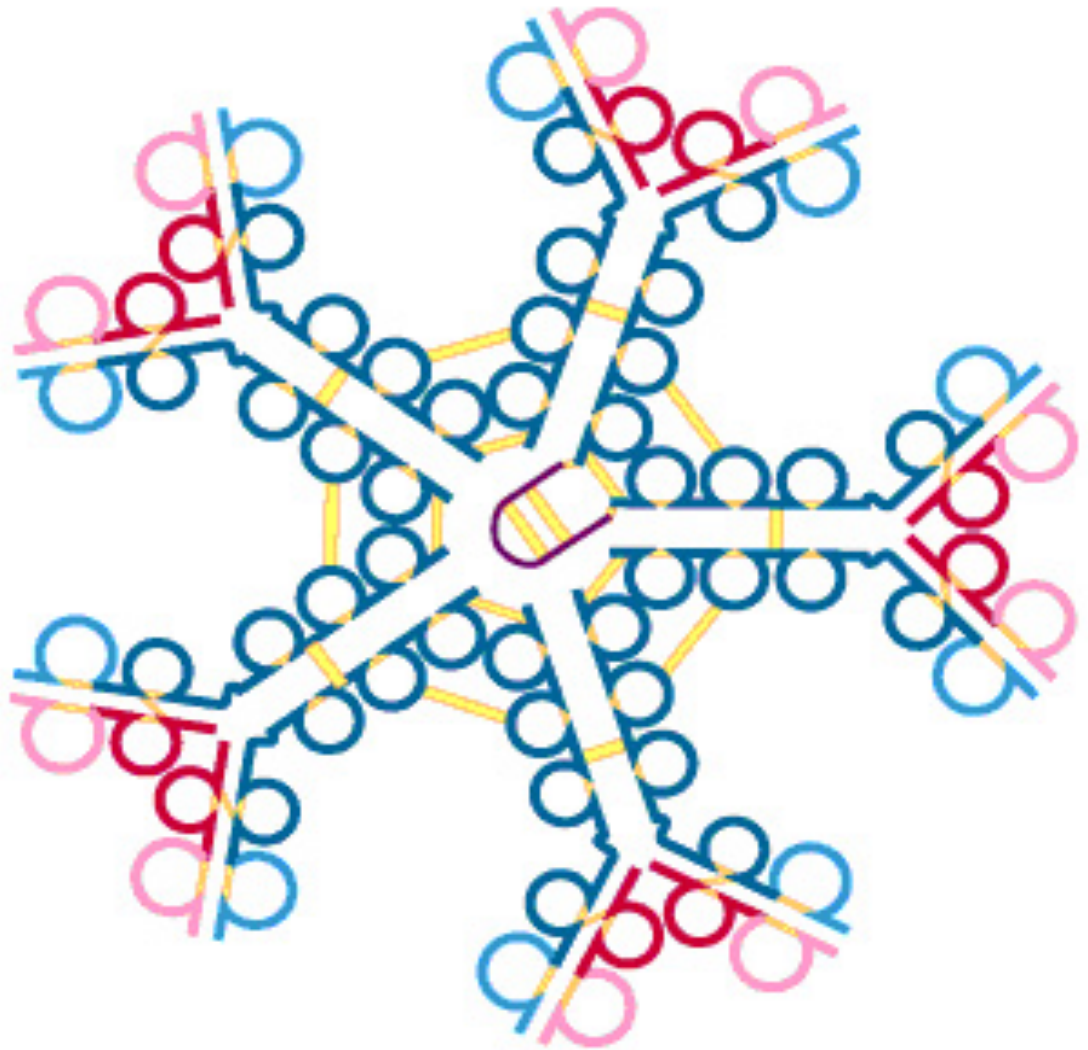
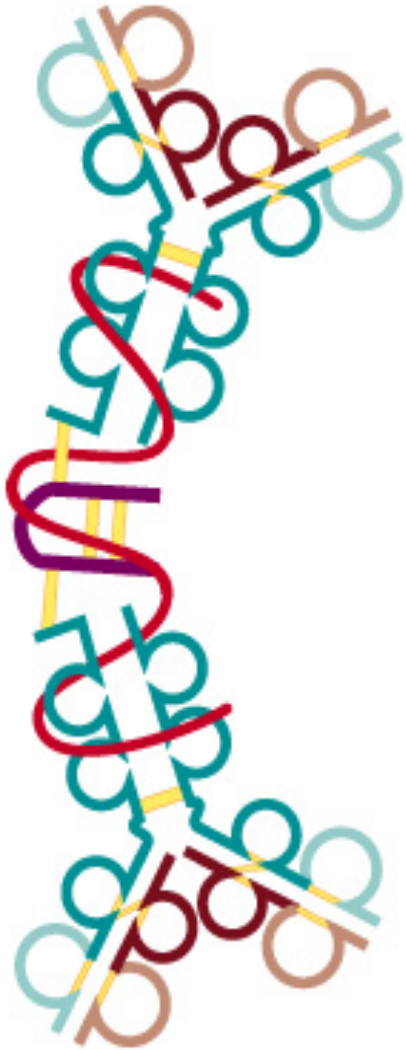
Pronunciation of Greek letters:

$\gamma$  gamma     $\alpha$  alpha     $\mu$  mu     $\delta$  delta  
 $\epsilon$  epsilon     $\kappa$  kappa     $\lambda$  lambda

# Structure of Immunoglobulin G1



# IgA und IgM




# Immunoglobulin E

with name of each domain

Sites for attachment to antigen

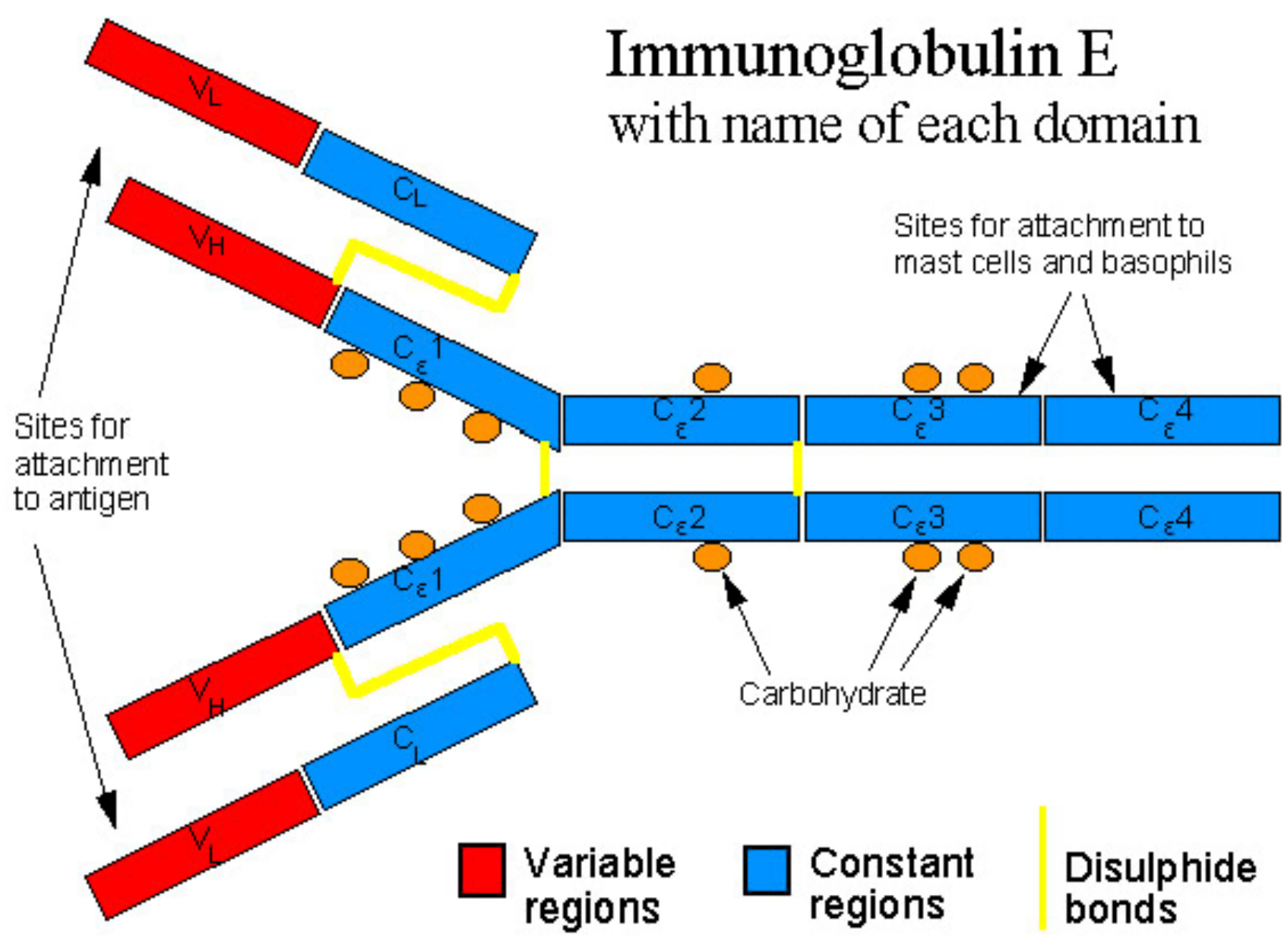
Sites for attachment to mast cells and basophils

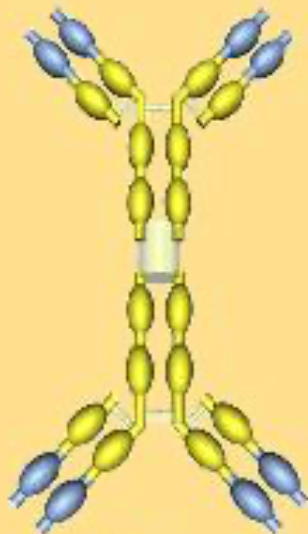
Carbohydrate

 Variable regions

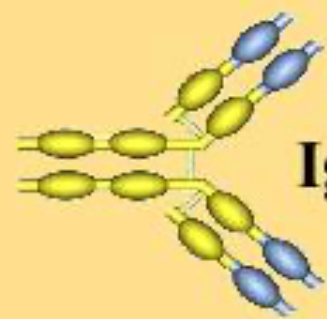
 Constant regions

 Disulphide bonds

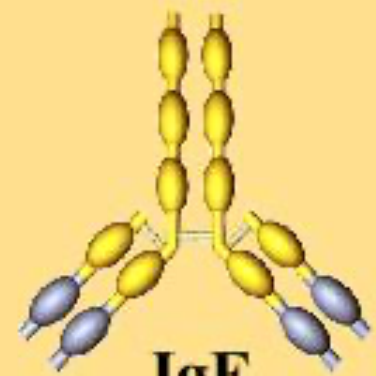




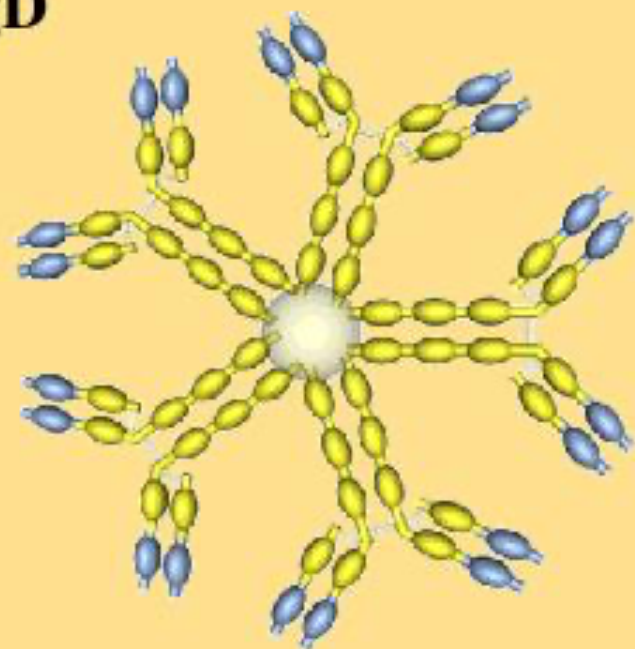
**IgA**



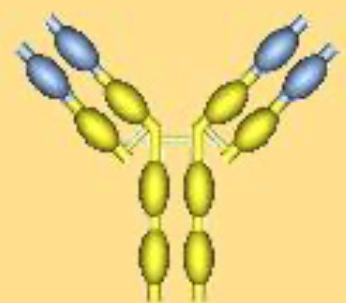
**IgD**



**IgE**

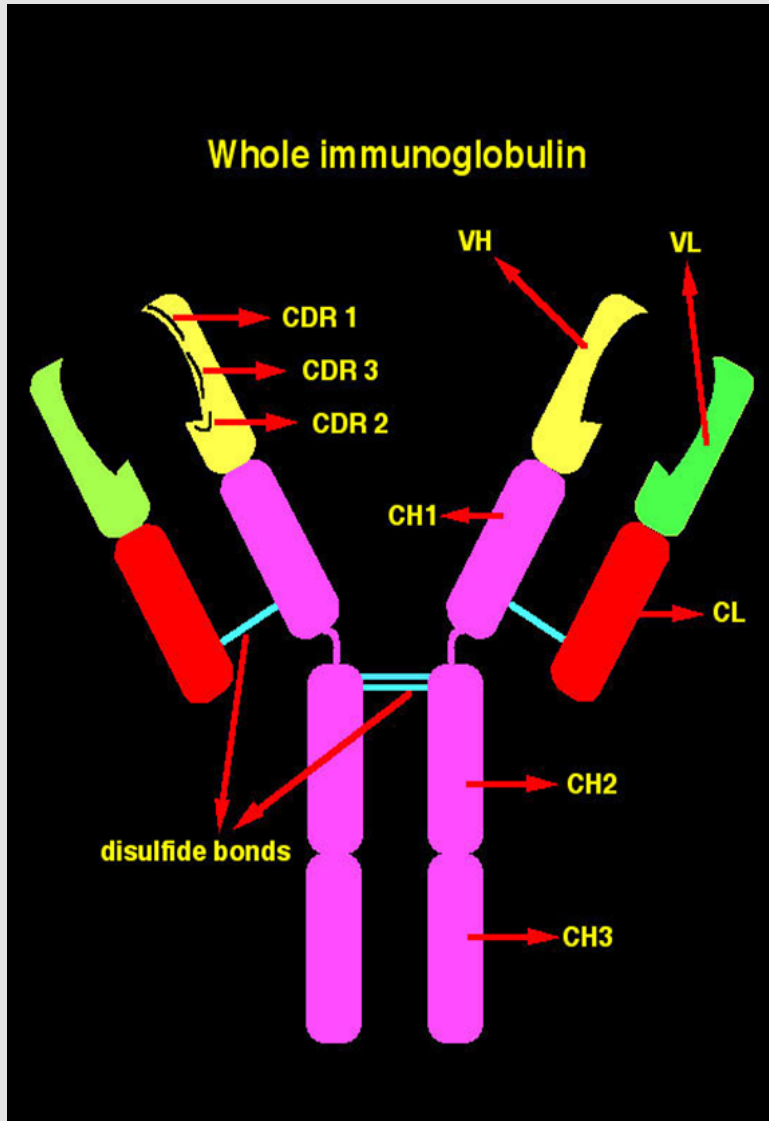


**IgM**



**IgG**

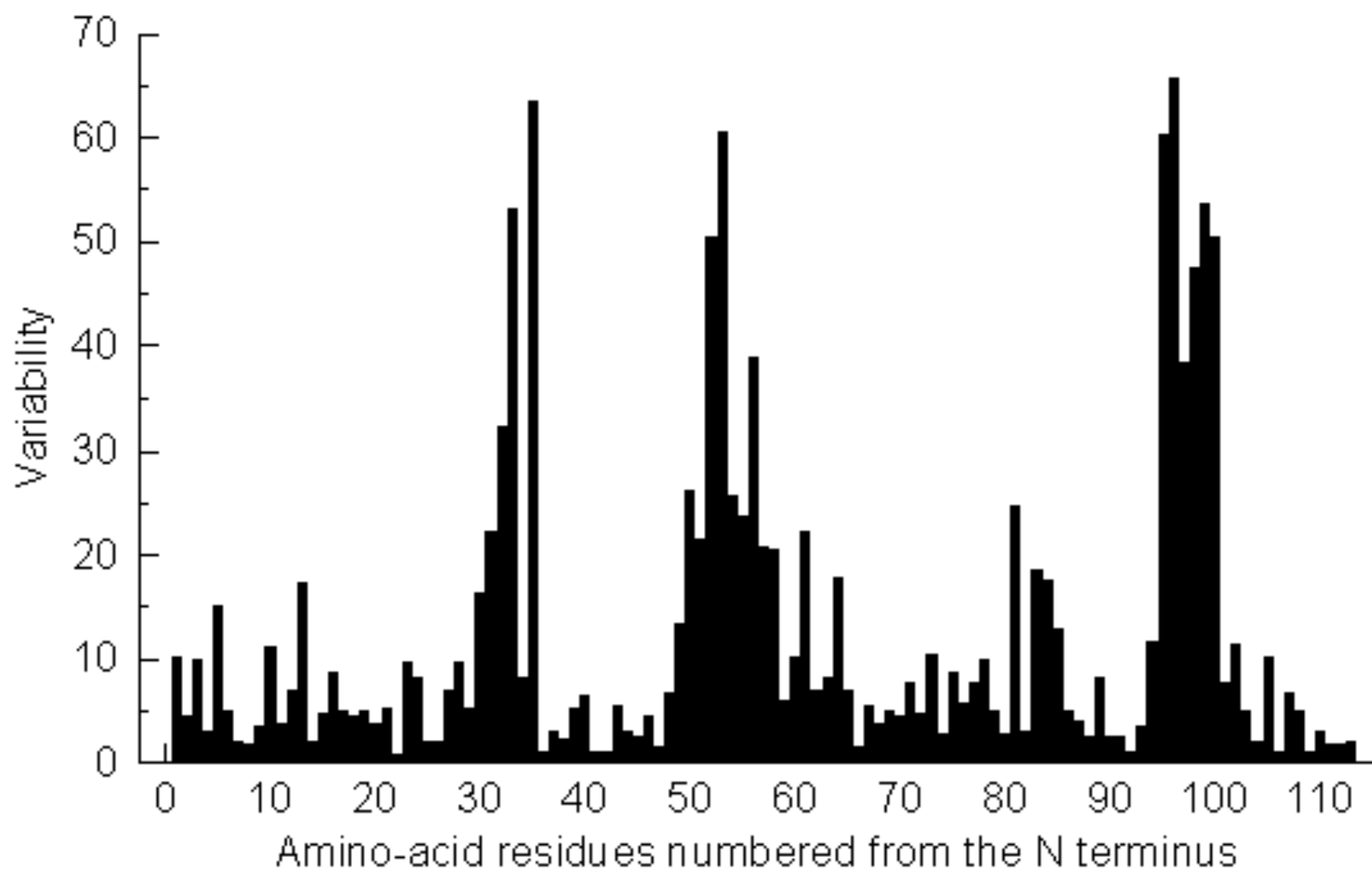
# Immunoglobulin Idiotyp



Individuelle Determinanten **V Regionen**, spezifisch für jede Antikörper.

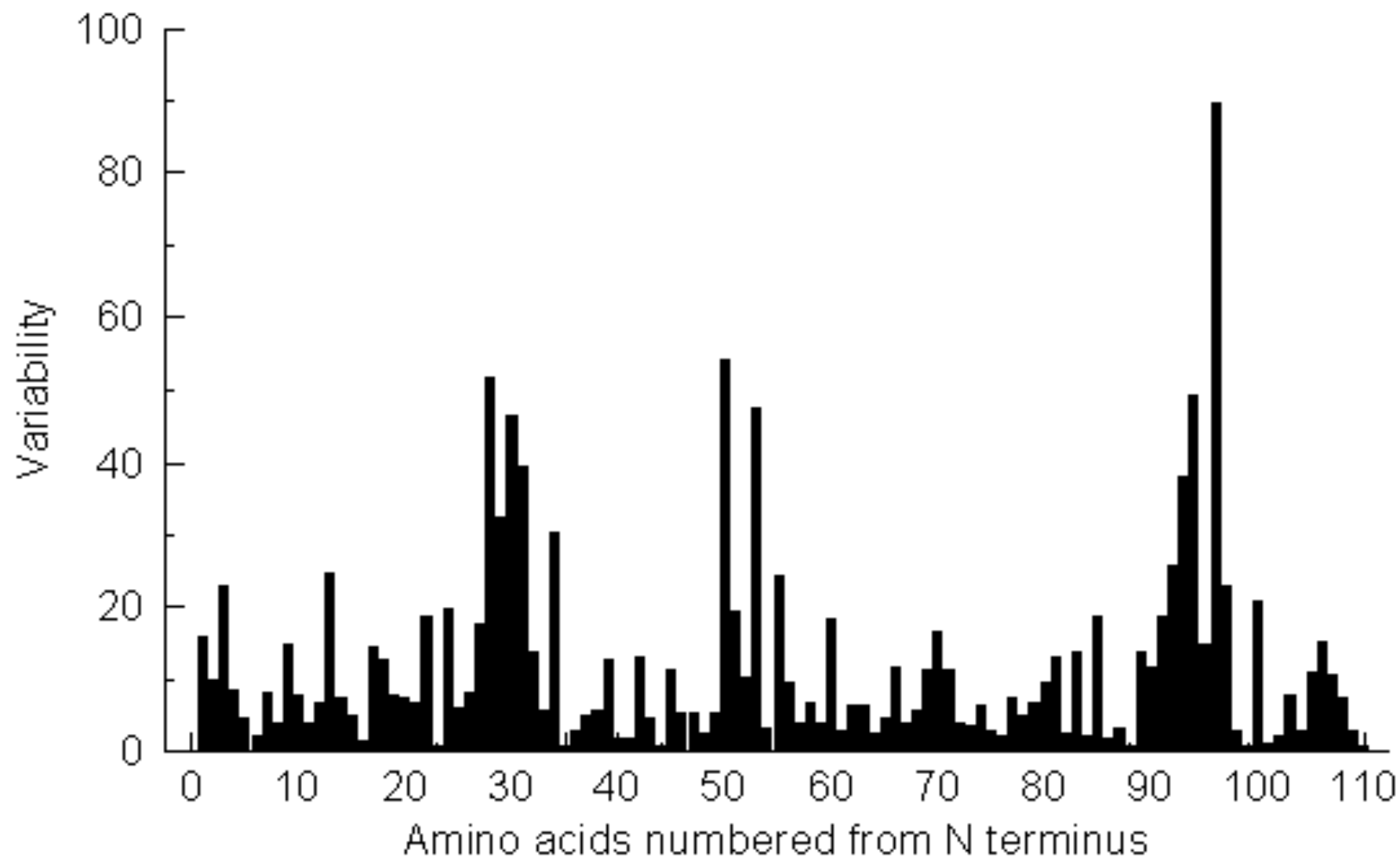
Die N-terminal Ig Domain enthält ein V Region die bildet die **Antigenbindungsstelle**: clustering von 3 hypervariable sequenzen nah zu einander auf beide Ketten - Variation von 3 x 3 verursacht riesige Diversität.

## Variability of amino-acid residues in the variable region of immunoglobulin H chains



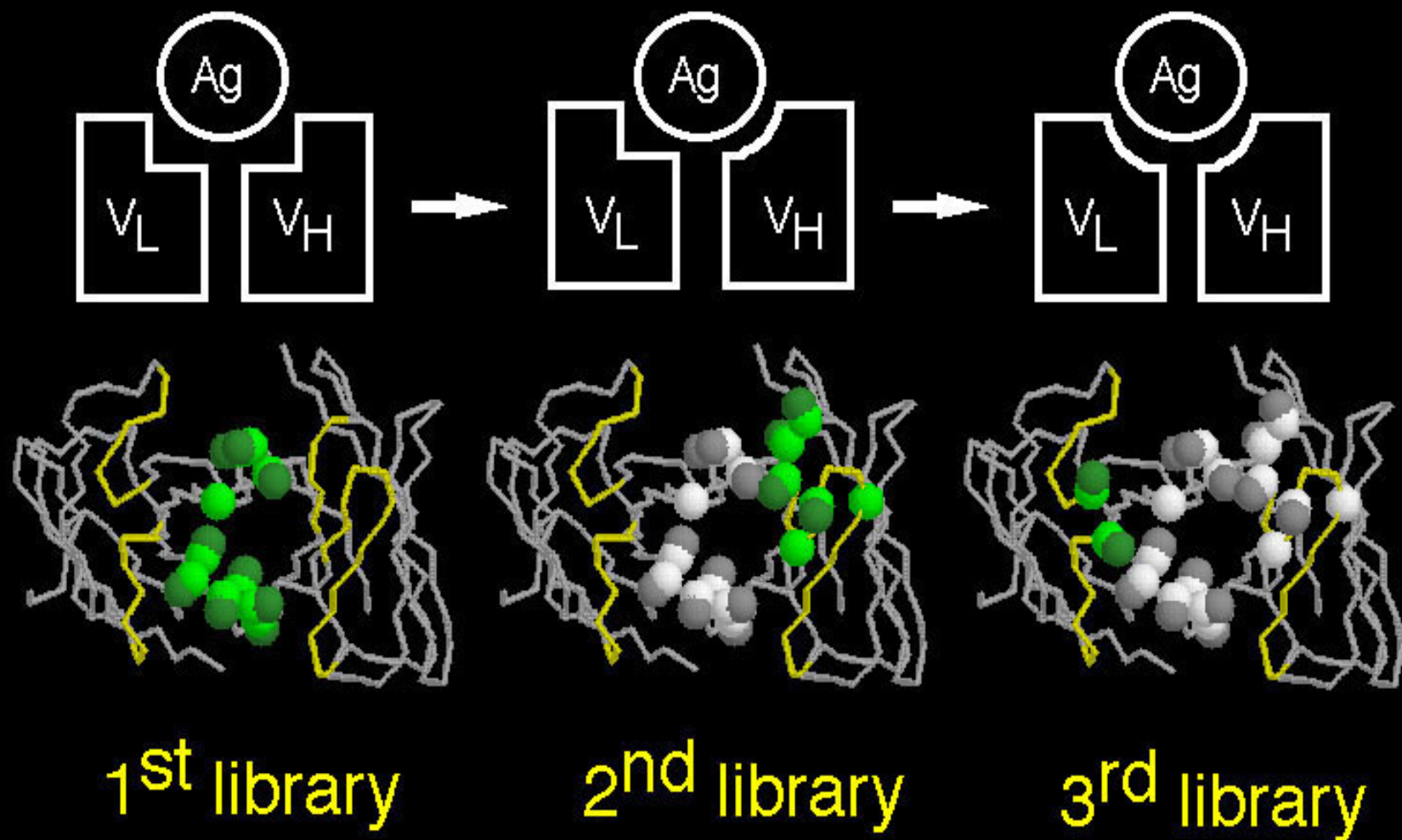


## Variability of amino-acid residues in the variable region of Immunoglobulin L chains



# Antibody affinity maturation

Pini et al. (1998) *J. Biol. Chem.* *273*, 21769-21776



# Medtraining Frage 3

# Antigenerkennung von T Zellen

## “MHC-Restriktion”

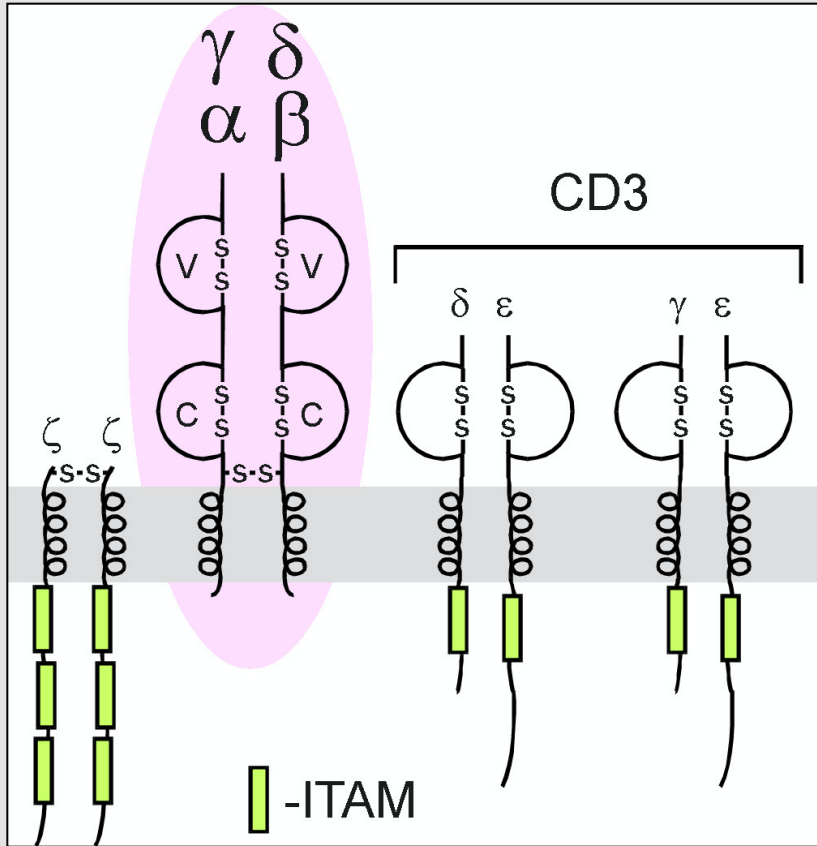
T Zelle erkennen Antigene nur als MHC-Peptidkomplexen die auf körpereigene Zelle erscheinen.

CD8+ (zytotoxische) T-Zelle      MHC I-Peptidkomplex

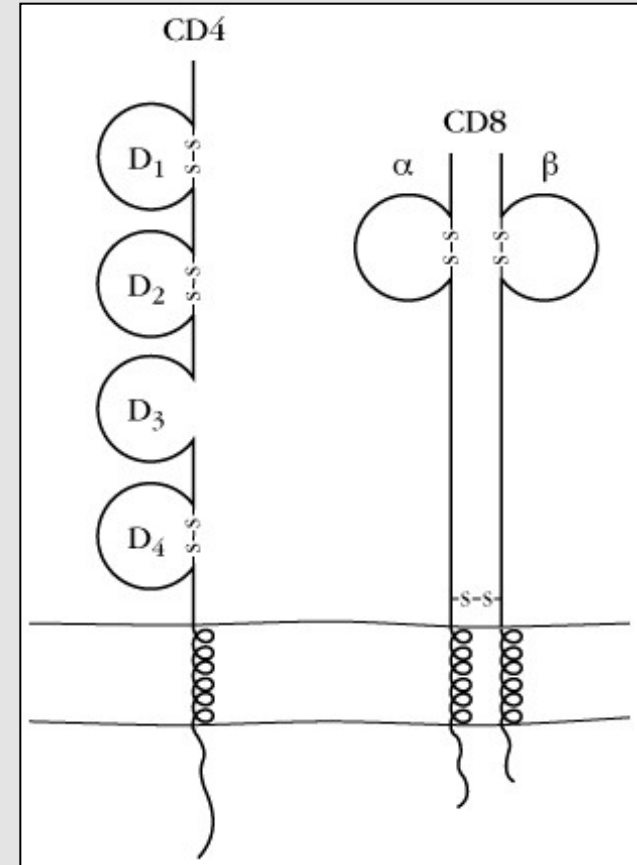
CD4+ (helfer) T-Zelle              MHC II-Peptidkomplex

R. M. Zinkernagel & P. C. Doherty – Nobel Prize für Physiology or Medicine (1996.)

# T Zell Rezeptor Komplex auf reife T Zellen



+

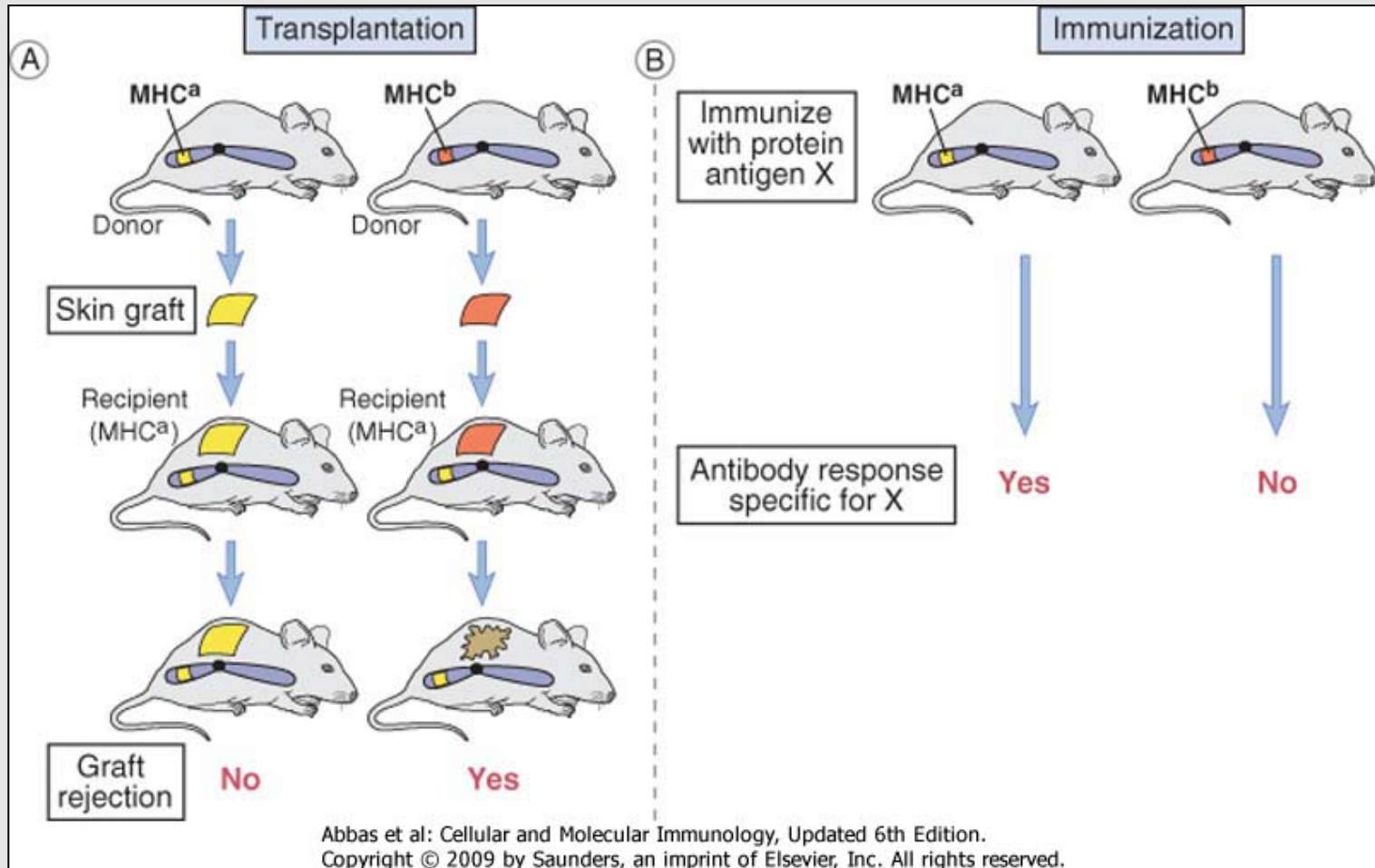


$\alpha\beta$  TcR – CD4+ oder CD8+)  
 $\gamma\delta$  TcR – CD4-CD8-

# Definition

- **MHC=Major Histocompatibility Complex; HLA=Human Leukocyte Antigen**
- Entdeckung: Transplantation Experimente zwischen insgezüchtete Mäusestammen die unterschiedliche MHC Genen exprimieren.
- **Insgezüchtete Mäusestammen:** decken von Geschwisterpaaren für mehr als 20 Generationen → alle Mäuse sind homozygotisch auf alle Genlocen (genetisch identisch = “*syngenisches*”)
- In Fall von polymorphen Genen (zB. MHC) jede insgezüchtete Stamme exprimiert eine einzige Allel von der originelle Population
- Verschiedene isgezüchtete Stamme sind “*allogenisches*” zu einander = sie tragen verschiedene Allelen.

# Entdeckung der **MHC**



Histocompatibility-2 (H-2) locus

Immune response (I<sub>r</sub>) genes

K, D (MHC Klasse I) Genen  
Verantwortlich für Graftabstoßung

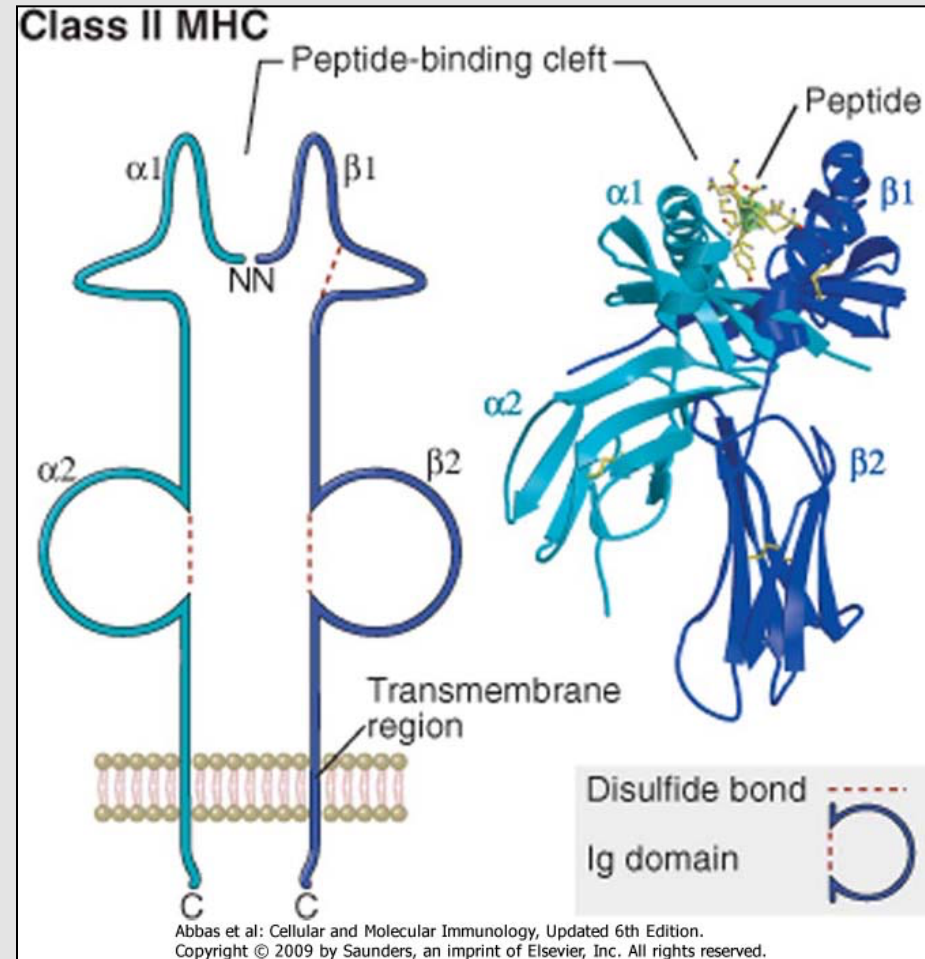
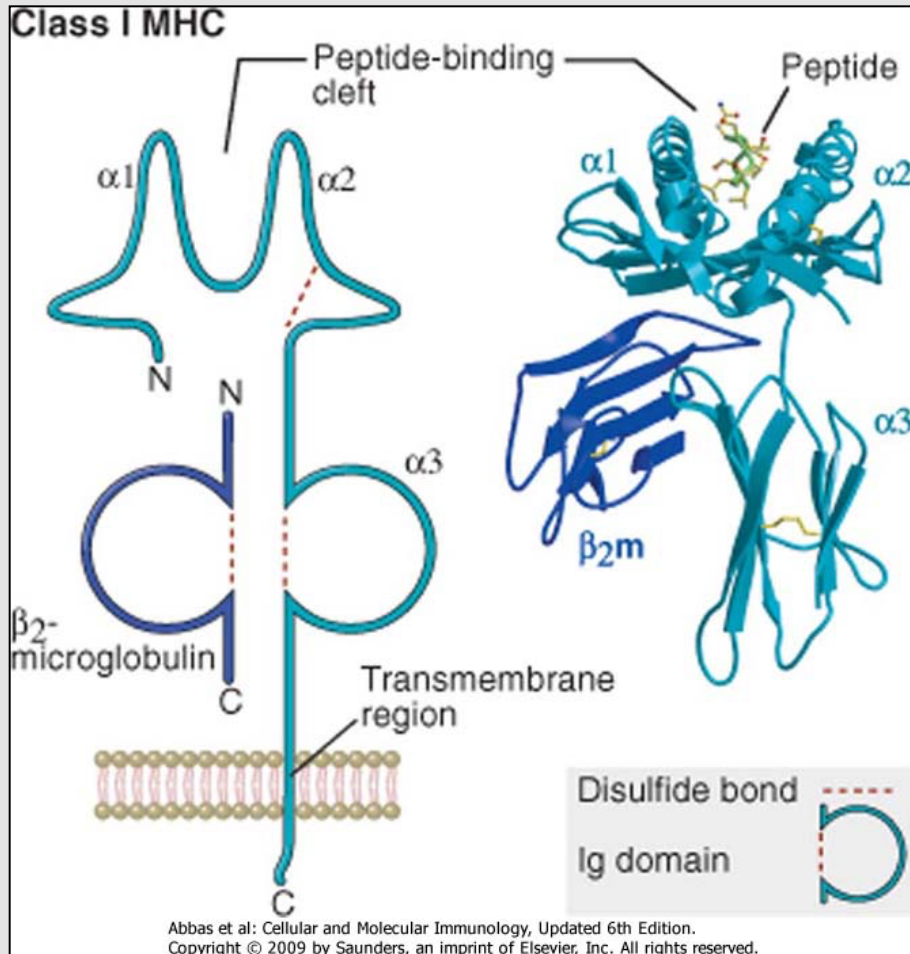
A, E (MHC Klasse II) genes determine  
reactivity to different protein antigens

# Karakteristika der MHC-I und MHC-II Moleküle

Karakteristika	Klasse I MHC	Klasse II MHC
Polypeptidkette	$\alpha$ (44-47 kD) $\beta_2$ -Mikroglobulin (12 kD)	$\alpha$ (32-34 kD) $\beta$ (29-32 kD)
Polimorphe Aminosäure	$\alpha 1$ and $\alpha 2$ Domaine	$\alpha 1$ and $\beta 1$ Domaine
Bindungsort für T Zell Korezeptor	$\alpha 3$ Region bindet CD8	$\beta 2$ Region bindet CD4
Größe der peptide-bindende Tasche	8-11 AA Peptide	10-25 AA Peptide
Nomenklatur		
Menschliche	HLA-A, -B, -C	HLA-DR, -DQ, -DP
Mäusliche	H-2K, H-2D, H-2L	I-A, I-E

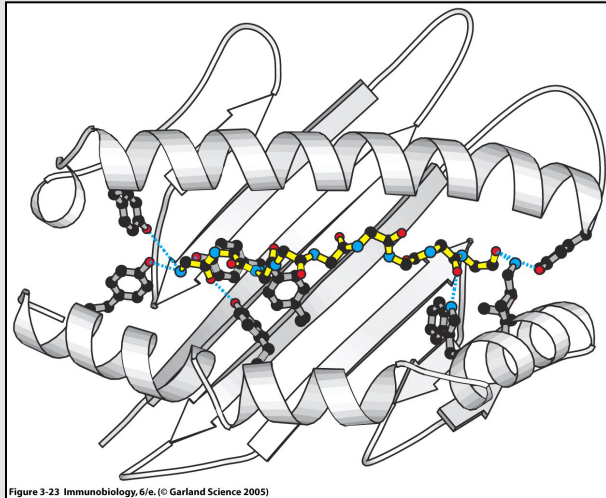


# Die Struktur der MHC-I und MHC-II

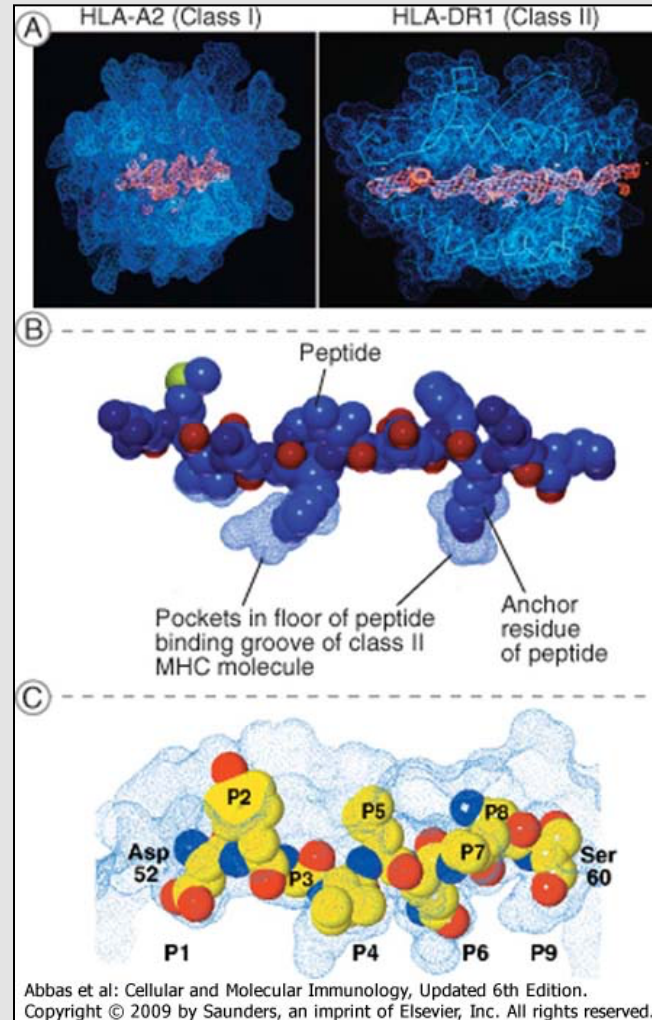
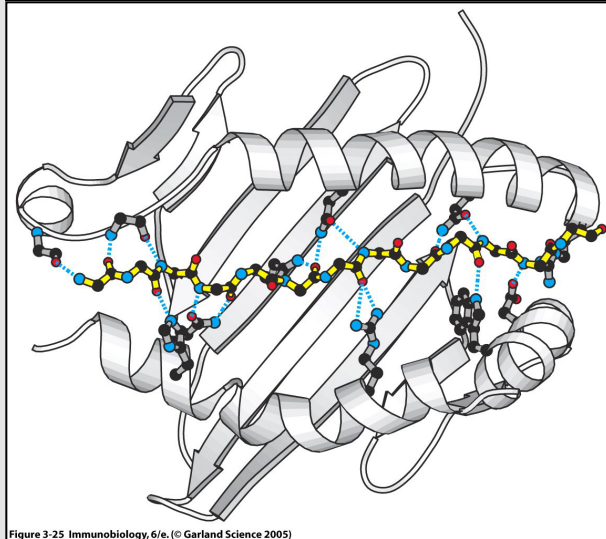


# Peptidbindung der MHC-I und MHC-II

MHC-I

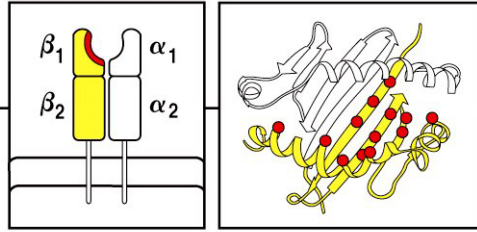
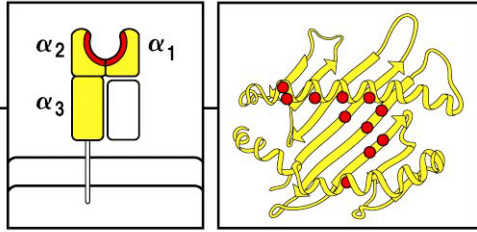


MHC-II



Nicht-kovalent Wechselwirkung zwischen “Anker”-Aminosäure den Peptiden und die kleine Tasche in dem  $\beta$ -sheet Boden des Peptidbindungsspalt.

# Peptidbindung der MHC-I und MHC-II



1 MHC Molekül kann etwa 3-500 unterschiedliche Peptiden binden die enthalten die passende "Anker"-Aminosäure in Schlüsselpositionen

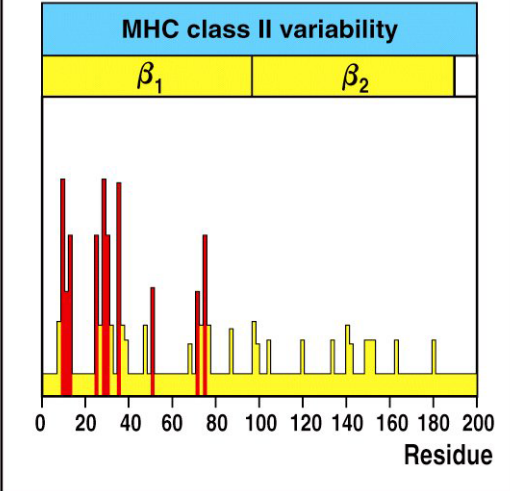
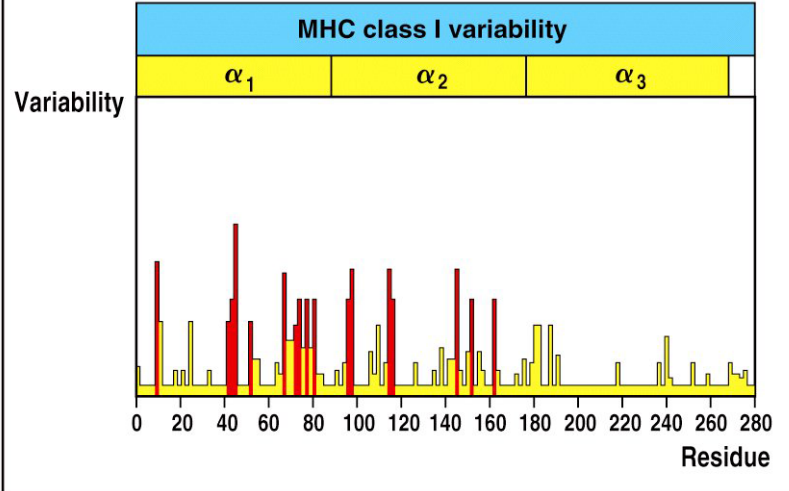
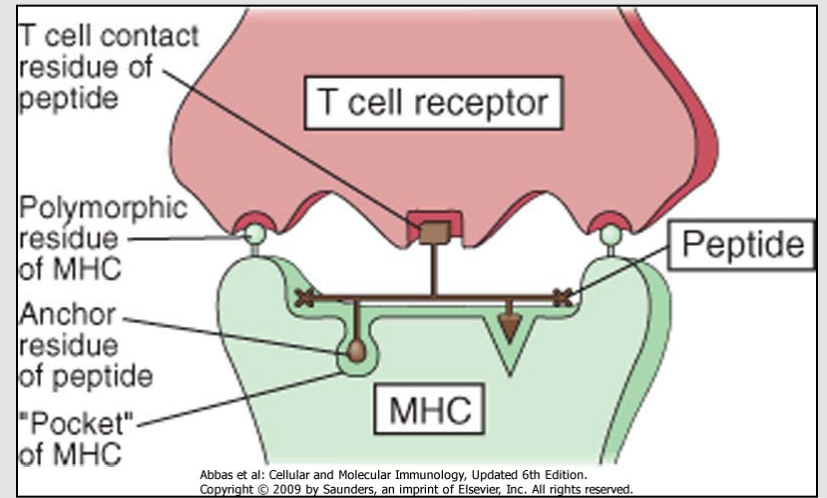


Figure 5-16 Immunobiology, 6/e. (© Garland Science 2005)

Polymorphische Aminosäure den MHC Molekülen lokalisieren um den peptidbindende Spalt sich und sind verantwortlich für **Peptidspezifität** und **TcR-Bindung**.



Abbas et al: Cellular and Molecular Immunology, Updated 6th Edition. Copyright © 2009 by Saunders, an imprint of Elsevier, Inc. All rights reserved.



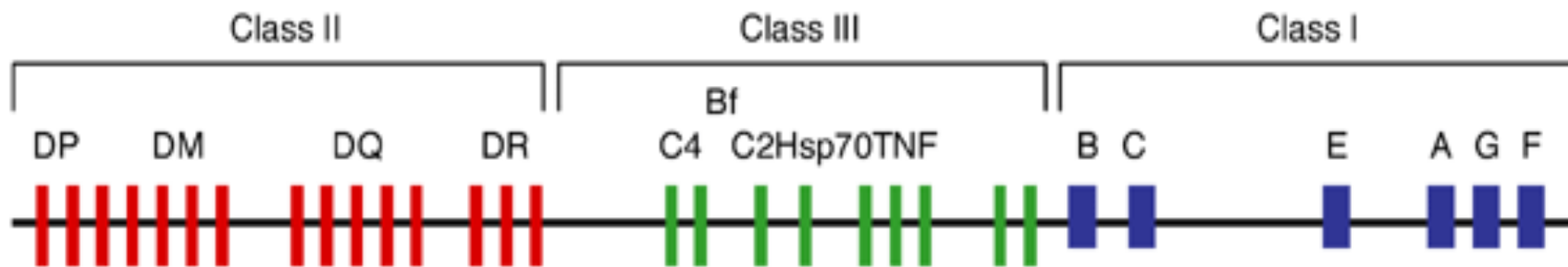
# Medtraining Frage 4

# HLA Mappe

Chromosome 6



HLA region  
6p21.1-21.3



Gene map of the human leukocyte antigen (HLA) region

Expert Reviews in Molecular Medicine ©2003 Cambridge University Press

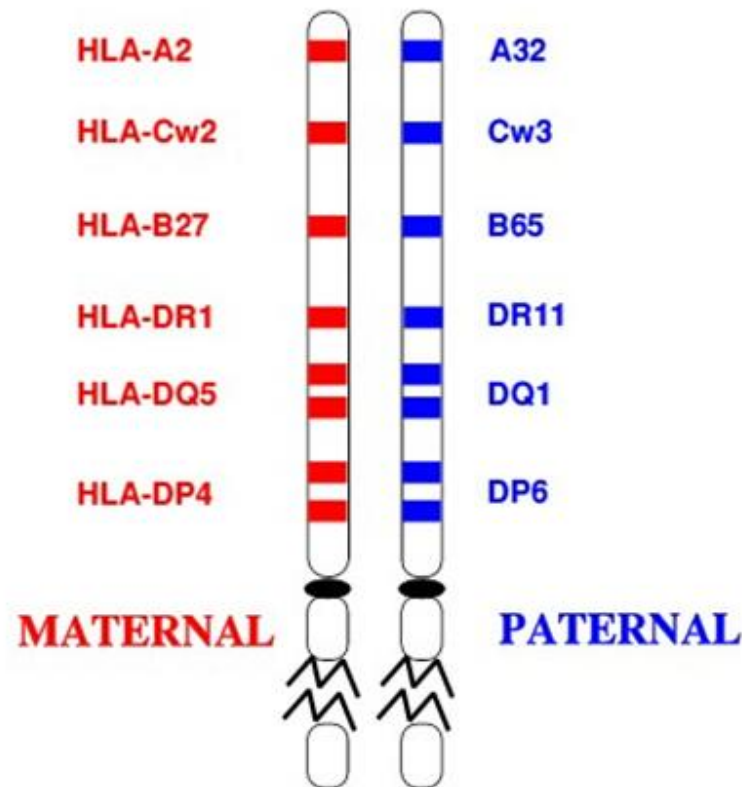
# Genetik der MHC (HLA)

1. **Polygen:** Mehrere Gene kodieren MHC I und MHC II Moleküle. (z.B. HLA-A, B und C Typ I MHCs und DP, DQ und DR Typ II MHCs)
2. **Polymorph:** Es gibt viele verschiedene Allele für jedes Gen in der Bevölkerung, deswegen ist es sehr variabel.
3. **Kodominant:** Beide (mütterliche und väterliche) Allele werden gleichzeitig exprimiert.

**Nomenclature:** eg. HLA-B\*2705= erste 2 Zahl – Hauptallele, letzte 2 Zahl - Suballele. (w=workshop - provisionell)

# Genetik der MHC (HLA)

Most Humans are heterozygous  
at the MHC





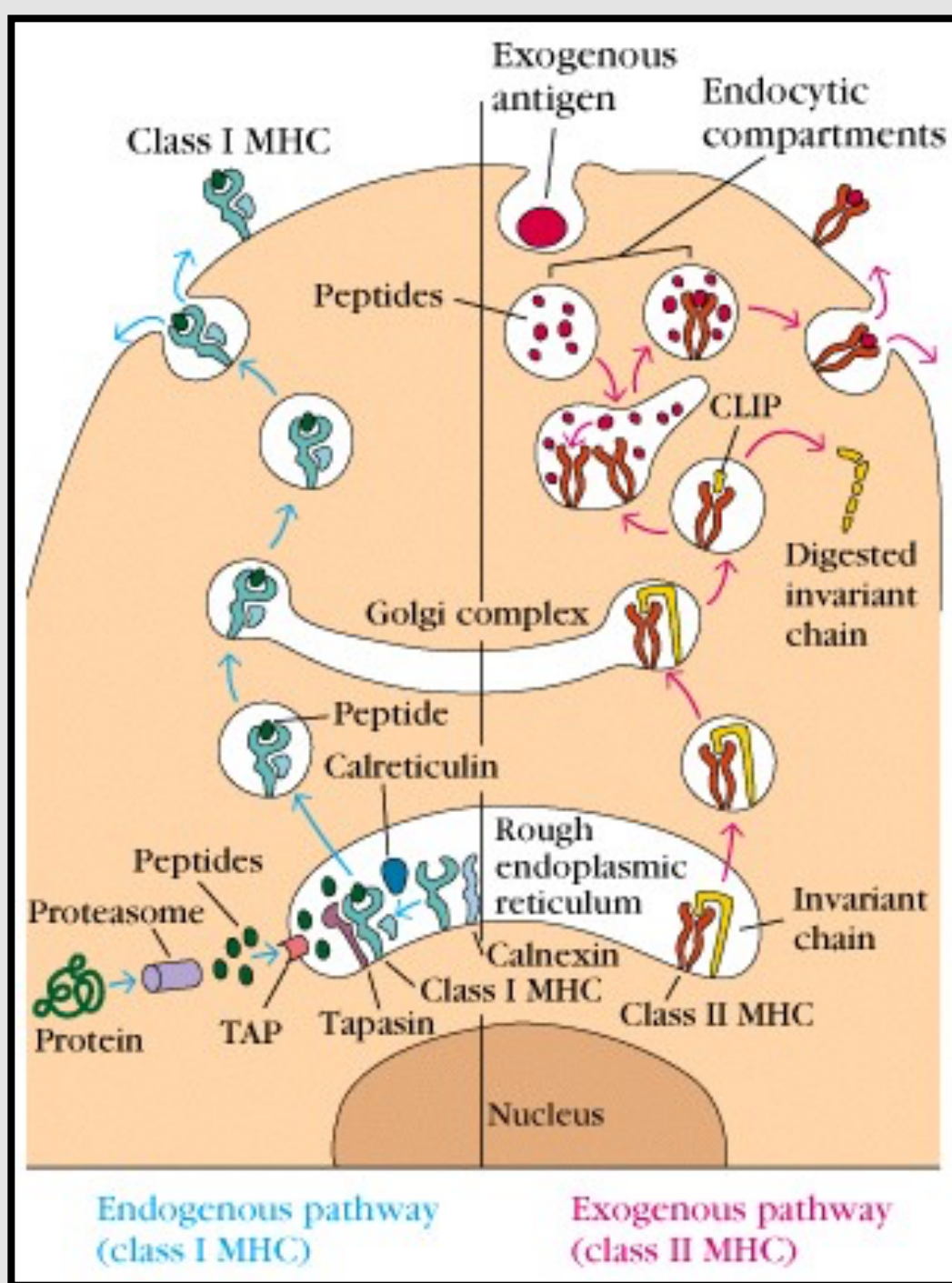
# Expression der MHC I und MHC II

**MHC I**      Alle kernhaltige Zellen + Thrombozyten

**MHC II**  
Zellen      Professionelle Antigenpräsentierende

- Dendritische Zellen
- B Zellen
- Makrophagen
- (Thymisch Epithelzellen)

Fakultative Antigenpräsentierende  
Zellen zB. Entzündliche Epithel



Endogenous pathway  
(class I MHC)

Exogenous pathway  
(class II MHC)

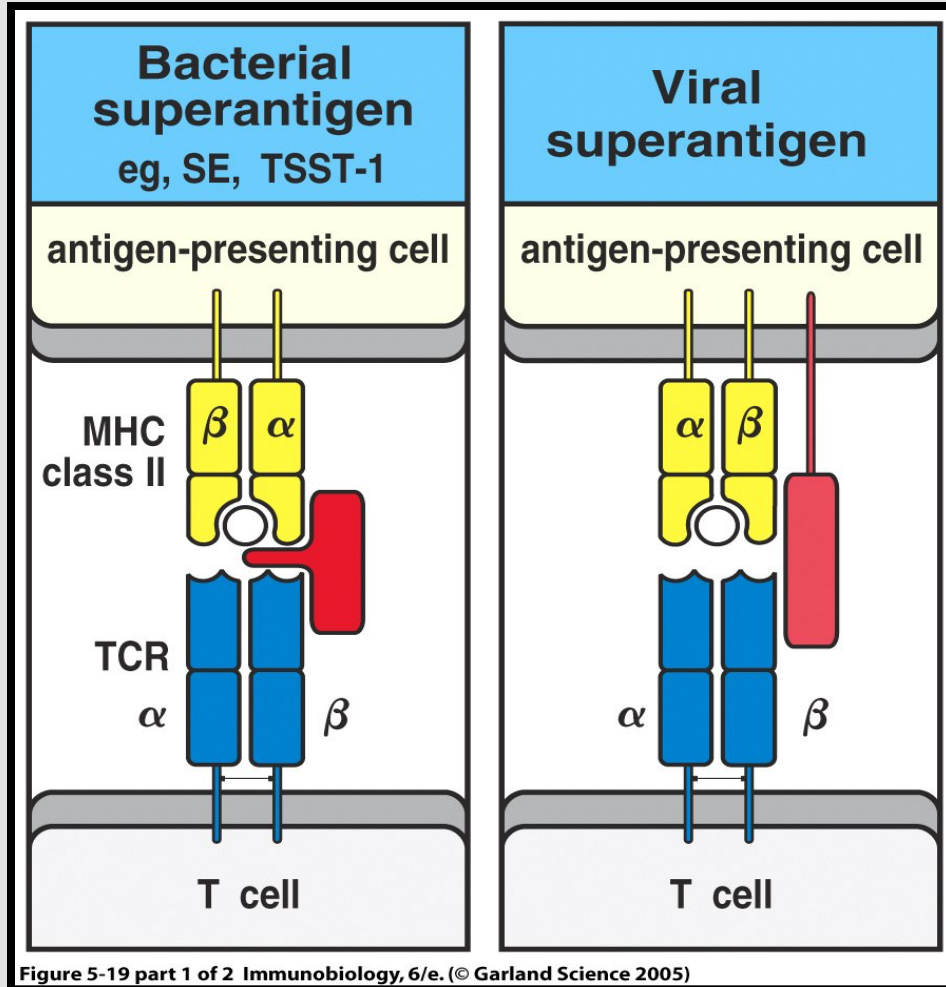
# **Antigenpräsentation auf MHC I**

- 1. Zytosolisch, hauptsächlich normal oder viral/modifizierte Proteine**
- 2. Proteasomal degradation**
- 3. Peptidtransport nach ER (TAP1&2)**
- 4. MHC I Kette produziert in ER auf Ribosomen**
- 5. Chaperonen: calnexin, calreticulin, Erp57**
- 6. Tapasin und TAP1&2**
- 7. MHCI & peptide Bindung in ER**

# Antigenpräsentation auf MHC II

1. **Phagozytierte Proteine: Bakterien, Bakterielle Produkten, internalisierte rezeptorgebundene Peptide, Teile von anderen Zellen**
2. **Endosomale Degradation**
3. **MHCII Kette werden in ER produziert auf Ribosomen**
4. **Invariant Kette**
5. **HLA-DM: MHC II-spezifische Chaperon**
6. **CLIP=class II associated invariant chain peptide**
7. **MHC II & peptide Bindung in Endosomen außerdem ER**

# Superantigene



In vergleich mit normale Antigen-induzierte T-Zell antwort wo 0.001-0.0001% den T Zellen des Körpers warden aktiviert, SAGs (zB, endotoxins) kann etwa 20% von T Zellen gleichzeitig aktivieren was verursacht eine massive Immunantwort (Toxic Shock Syndrome) die für keine Epitope auf Sag spezifisch ist.

T Zellen produzieren Zytokine - systemisch Toxizität („Zytokin tsunami“)

# **Medizinische Bedeutung der MHC**

- **Gewebe/Organtransplantation – Spender und Empfänger müssen eine passende HLA Haplotyp haben**
- **HLA-Assoziation von Krankheiten (“Krankheit Anfälligkeit”) – besondere Krankheiten erscheinen mehr oft in Individuen mit eine spezifische HLA Typ sich.**

# HLA-assoziation einige Krankheiten

Some HLA associated autoimmune diseases

Disease	HLA	Pts <sup>a</sup>	Ctrls <sup>a</sup>	RR <sup>b</sup>
Ankylosing spondylitis	B27	> 95	9	> 150
Subacute thyroiditis	B35	70	14	14
Psoriasis vulgaris	Cw6	87	33	7
Graves disease	DR3	65	27	4
Myasthenia gravis	DR3	50	27	2
Addisons disease	DR3	69	27	5
Rheumatoid arthritis	DR4(some)	81	33	9
Juvenile idiopathic arthritis	DR8	38	7	8
Celiac disease	DQ2 (+DQ8)	92	28	30
Narcolepsy	DQ6(02)	> 95	33	> 40
Multiple sclerosis	DQ6(02)	86	33	12
Type 1 diabetes	DQ8(+)	81	23	14
Type 1 diabetes	DQ6(02)	< 0.01	33	0.02

<sup>a</sup> The figures show antigen frequencies in a Norwegian population.

<sup>b</sup> RR: relative risk; i.e. how many times more frequent the disease is in those having the corresponding HLA molecule compared to those lacking it.

In: E. Thorsby, B.A. Lie: HLA associated genetic predisposition to autoimmune diseases: Genes involved and possible mechanisms. *Transplant Immunology* 14 (2005) 175 – 182.

In: N. Singh, S. Agrawal, A.K. Rastogi Infectious Diseases and Immunity: Special Reference to Major Histocompatibility Complex. *Emerging Infectious Diseases* 3 (1997) 41-49.

Table 2. Association between human leukocyte antigen (HLA) and some infectious diseases

Disease	HLA Association
<i>Bacterial</i>	
Ankylosing spondylitis	B27
Reiter disease	B27
Acute anterior uveitis	B7
<i>Mycobacterial</i>	
Tuberculosis and leprosy (multibacillary forms)	DR2 (DRB1*1501, 1502)
lepomatous leprosy	DR2 and DQ1
paucibacillary tuberculoid	DR3
<i>Viral</i>	
Dengue fever virus	DR15
Human immunodeficiency virus 1	DR13 (DRB1*1301, 1302, 1303)
	DR2 (DRB1*1501)
	DRB1*03011
Hepatitis B virus	DR13
Hepatitis C virus	A2
	DR5
Epstein-Barr virus	B35.01
	A11
	B7
<i>Parasitic</i>	
Malaria	B53
Scabies	A11
Diffuse cutaneous leishmaniasis	A11, B5, B7
Localized cutaneous leishmaniasis	A28, Bw22, DQw8 Bw22, DR11, Qw7 Bw22, Dqw3
Schistosomiasis	B5, DR3
Visceral leishmaniasis	A26

# Medtraining Frage 5



Danke für Ihre Aufmerksamkeit!

