

## Inhaltsverzeichnis

<b>ALLGEMEIN .....</b>	<b>2</b>	<b>PATHOLOGISCHE IMMUNREAKTIONEN .....</b>	<b>14</b>
SCHUTZBARRIEREN DES KÖRPERS .....	2	ALLERGIEN.....	14
DIE ORGANISATION DES IMMUNSYSTEMS.....	2	<i>Allergische Reaktionen vom Typ I (Soforttyp).....</i>	<i>14</i>
<i>Entwicklung aus Stammzellen.....</i>	<i>3</i>	<i>Allergische Reaktionen vom Typ II (zytotoxischer</i>	<i>15</i>
<i>Die Leukozyten.....</i>	<i>3</i>	<i>Typ).....</i>	<i>15</i>
<i>Die Lymphozyten .....</i>	<i>3</i>	<i>Allergische Reaktionen vom Typ III(Immunkomplex-</i>	<i>15</i>
<i>Fremdkörperidentifikation.....</i>	<i>3</i>	<i>Typ).....</i>	<i>15</i>
ANTIGENE UND ANTIKÖRPER .....	4	<i>T-Lymphozyten-vermittelte Überempfindlichkeitsre-</i>	<i>15</i>
<i>Schlüssel-Schloß-Prinzip .....</i>	<i>4</i>	<i>aktionen .....</i>	<i>15</i>
<i>Erreger schützen sich.....</i>	<i>4</i>	DIAGNOSTIK DER ALLERGIEN.....	16
<i>Beseitigung entarteter Zellen.....</i>	<i>4</i>	ATOPIE .....	16
DAS KOMPLEMENTSYSTEM .....	5	AUTOIMMUNERKRANKUNGEN .....	16
DIE FREßZELLEN.....	5	IMMUNSUPPRESSIVE THERAPIE .....	17
DIE MULTIPLIKATION DER IMMUNANTWORT.....	5	<b>INFEKTIONSLEHRE .....</b>	<b>17</b>
<i>Die B-Zellen.....</i>	<i>5</i>	FORMEN VON INFEKTIONSKRANKHEITEN .....	17
DIE B-GEDÄCHTNISZELLEN.....	6	<i>Inapparente und apparente Infektionen.....</i>	<i>17</i>
DIE VIELFALT DER ANTIKÖRPER .....	6	<i>Lokale und generalisierte Infektionen .....</i>	<i>17</i>
DIE T-LYMPHOZYTEN .....	6	<i>Bakteriämie und Sepsis.....</i>	<i>18</i>
<i>Die MHC-Moleküle.....</i>	<i>7</i>	DER ABLAUF EINER INFEKTION .....	18
PROBLEMFALL VIRUSINFEKTION .....	7	ÜBERTRAGUNGSWEGE .....	18
<i>Die zytotoxischen T-Zellen.....</i>	<i>7</i>	DESINFEKTION UND STERILISATION .....	19
<b>DIE BAUSTEINE DES IMMUNSYSTEMS.....</b>	<b>8</b>	<b>BAKTERIELLE INFEKTIONEN.....</b>	<b>19</b>
DIE VIER TEILSYSTEME DER ABWEHR .....	8	INFEKTIONEN DURCH STAPHYLOKOKKEN .....	19
DIE UNSPEZIFISCHE ZELLULÄRE ABWEHR .....	9	INFEKTIONEN DURCH STREPTOKOKKEN .....	20
<i>Phagozytose .....</i>	<i>9</i>	INFEKTIOSE DARMERKRANKUNGEN .....	20
<i>Natürliche Killerzellen.....</i>	<i>9</i>	HARNWEGSINFEKTIONEN .....	20
DIE UNSPEZIFISCHE HUMORALE ABWEHR.....	9	INFEKTIONEN DURCH MYKOBAKTERIEN.....	20
<i>Zytokine.....</i>	<i>10</i>	ANTIBIOTIKA.....	20
<i>Interleukin 2.....</i>	<i>10</i>	<b>VIRALE INFEKTIONEN .....</b>	<b>21</b>
<i>Beta- und Gamma-Interferon.....</i>	<i>10</i>	HERPESVIRUS .....	21
<i>Interleukin 1.....</i>	<i>10</i>	<i>Windpocken und Gürtelrose .....</i>	<i>21</i>
DIE SPEZIFISCHE HUMORALE ABWEHR .....	10	POLIOVIRUS.....	22
<i>B-Lymphozyten .....</i>	<i>10</i>	AIDS.....	22
<i>Antigen-Antikörper-Reaktionen .....</i>	<i>11</i>	<b>PILZINFEKTIONEN .....</b>	<b>23</b>
<i>Antikörperklassen .....</i>	<i>11</i>	<b>PROTOZOENINFEKTIONEN, PARASITOLEN .</b>	<b>24</b>
DIE SPEZIFISCHE ZELLULÄRE ABWEHR .....	12	PROTOZOENINFEKTIONEN.....	24
<i>Die Thymusdrüse .....</i>	<i>12</i>	WURMERKRANKUNGEN .....	24
DIE IMMUNREGULATION .....	13	ERKRANKUNGEN DURCH MILBEN .....	24
<b>IMPFUNGEN .....</b>	<b>13</b>	INSEKTENBEFALL .....	25
AKTIVIMMUNISIERUNG.....	13		
PASSIVIMMUNISIERUNG.....	13		

## Allgemein

Jeden Tag dringen Millionen Bakterien, Viren, Parasiten und Pilze, in unseren Körper ein. Sie leben in der Luft, in Nahrungsmitteln, auf der Haut und auch in den menschlichen Körperhöhlen selbst. Bei vielen dieser Mikroorganismen handelt es sich um **Symbionden**, die wir z.B. bei der Verdauung brauchen.

Die meisten schädlichen Mikroorganismen vernichtet unser Immunsystem, und nur bei wenigen versagt diese Abwehrkraft, so daß es zum Ausbruch einer Infektionskrankheit kommt.

72

### Schutzbarrieren des Körpers

Schon beim Versuch, in den Körper einzudringen, stoßen die Mikroorganismen auf äußere Schutzbarrieren. So töten z.B. Enzyme in Mundspeichel und Tränenflüssigkeit ständig Bakterien ab. Die Schleimhaut der Luftwege fängt eingeatmete Erreger ab und die Magensäure macht Keime aus der Nahrung unschädlich. Auch die vorhandenen, zum Körper gehörigen sogenannten physiologischen Bakterien, also die Symbionden wie etwa die Scheiden- und Dickdarmflora, verhindern das Einnisten ihrer gefährlichen Verwandten.

Gelingt es Keimen dennoch, diese Barrieren zu durchbrechen und in den Körper einzudringen, dann werden sie von weißen Blutkörperchen (*Leukozyten*) attackiert. Funktioniert entweder das Immunsystem nicht einwandfrei oder sind andererseits die Mikroorganismen zu zahlreich bzw. zu **virulent**, dann wird der Ansturm gefährlich, und Infektionen können dann unter Umständen innerhalb weniger Tage zum Tod führen.

Daß wir nach einer durchstandenen Infektionskrankheit wie z.B. den Windpocken meistens kein zweites Mal im Leben daran erkranken, verdanken wir unserem immunologischen Gedächtnis. Es lernt eindringende Mikroorganismen kennen und bekämpft jede neue Infektion mit gezielt dafür synthetisierten Proteinen, den **Antikörpern**. So werden wir gegenüber diesen Mikroorganismen immun (*unempfänglich*).

### Die Organisation des Immunsystems

Unser Immunsystem besteht aus Organen wie **Thymus** und **Milz**, aus Geweben wie dem **Knochenmark**, den **Lymphknoten**, den **Mandeln**, dem **lymphatischen Gewebe des Darms** und aus **ausgewanderten Immunzellen** in fast allen anderen Geweben

Die Organe und Gewebe lassen sich einteilen in

- die **primär-lymphatischen Organe**, in denen die immunaktiven Zellen heranreifen. Hierzu zählen Knochenmark und Thymus, von wo aus verschiedene bewegliche Immunzellen in die Blutbahn, in die Lymphflüssigkeit und in die Gewebe der übrigen Organe ausgesandt werden,
- und die **sekundär-lymphatischen Organe**, die den „Arbeitsplätzen“ der Immunzellen entsprechen. Hierzu zählen Lymphknoten, Milz, Mandeln, die Peyerschen Plaques des Dünndarms und viele weitere, meist auf Schleimhäuten angesiedelte lymphatische Gewebe.

Jedes Organ und jede Abwehrzelle hat dabei spezielle Aufgaben, viele Aufgaben werden aber auch von mehreren Organen bzw. Abwehrzellarten gleichzeitig bearbeitet.

Alles scheint sich gegenseitig zu beeinflussen. Es ist in der Tat so: Das Immunsystem ist neben dem ZNS eines der kompliziertesten und am stärksten vernetzten Organsysteme des Menschen. Die Vielzahl der Bedrohungen in der Entwicklungsgeschichte machte offenbar mehrere verschiedene Teilsysteme der Abwehr erforderlich.

## 6 A

### Entwicklung aus Stammzellen

Man weiß, daß sich die große Zahl der verschiedenen Zelltypen, die an der Immunantwort beteiligt sind, aus einer einzigen **pluripotenten** (*vielkönnenden*) **Stammzelllinie** entwickelt haben. Diese Stammzelle produziert, vereinfacht gesagt, zwei Entwicklungsreihen von Abwehrzellen:

- die **myeloischen** (*dem Knochenmark angehörenden*) Stammzellen, aus denen die Makrophagen, drei Arten von Granulozyten und die Monozyten, ausdifferenzieren, und
- die **lymphatischen** Stammzellen, aus denen die B-Zellen, T-Zellen und natürlichen Killerzellen gebildet werden.

### Die Leukozyten

Wenn die Arterien das Blut durch die wenige Mikrometer weiten Kapillargefäße in die Körpergewebe transportieren, wandert ein Teil des Blutplasmas durch die poröse Kapillarwand in die Zellzwischenräume, das sogenannte *Interstitium*. Zusammen mit dem Blutplasma quetschen sich auch die hochbeweglichen Leukozyten aus den Kapillarspalten ins Gewebe, während die roten Blutkörperchen, die Erythrozyten, die Kapillaren nicht verlassen können. So erreichen die Leukozyten alle Regionen des Körpers.

### Die Lymphozyten

Eine Schlüsselstellung innerhalb des Abwehrsystems nehmen die Lymphozyten ein, eine Untergruppe der Leukozyten. Sie finden sich in besonders hoher Konzentration im lymphatischen System, zu dem man Lymphgefäße, Lymphknoten und lymphatische Organe rechnet. Lymphozyten verlassen nach kurzem Aufenthalt das Interstitium der Gewebe wieder und gelangen mit dem Lymphstrom (**~B- Abb. 14.20**) über winzige Lymphkapillaren in das Geflecht der Lymphgefäße. Dieses Geflecht durchzieht den gesamten Körper ähnlich wie das venöse und das arterielle Gefäßnetz. Die Lymphflüssigkeit passiert auf ihrem Weg zur Einmündung in die großen Venen auch die Lymphknoten. Diese arbeiten wie kleine Filterstationen und bekämpfen jeden Erreger.

### Fremdkörperidentifikation

Alle Zellen des Immunsystems haben eine gemeinsame Aufgabe: Sie müssen fremde Partikel, egal welcher Größe und Herkunft, und auch entartete Tumorzellen, als schädlich erkennen und unschädlich machen. Dazu muß entschieden werden, was fremd ist und was nicht. Diese bei der Vielfalt der eigenen Körperzellen sehr schwierige Aufgabe lösen die Immunorgane auf erstaunlich gute Weise.

Bei **Autoimmunerkrankungen** gelingt das nicht: Hier richten sich die Abwehrzellen fälschlicherweise gegen körpereigenes Gewebe.

## S. 74 U. OBERE HÄLFTE

### Antigene und Antikörper

Im Blut und in der Lympheflüssigkeit agieren nicht nur Lymphozyten, sondern auch kleine **Proteinmoleküle**, die beim Erkennen von Fremdkörpern wichtige Funktionen ausüben.

Diese Antikörper, die man als **Immunglobuline** bezeichnet, haben eine charakteristische Y-förmige Gestalt.

**Antigene** sind die Gegenstücke zu den Antikörpern, also alle Strukturen, z.B. auf der Hülle eines Bakteriums, die von Antikörpern in **Antigen-Antikörper-Reaktionen** erkannt werden können.

Man muß sich vorstellen, daß die Antigene jeweils einen Ausschnitt einer Zelle oder eines Mikroorganismus darstellen. Dabei haben Bakterien oder Viren und auch jede Krebszelle in der Regel mehrere hundert oder sogar tausend Antigene, in denen sie sich von anderen Mikroorganismen oder Körperzellen unterscheiden.

Antikörper sind nun extrem präzise Kontrollorgane, die die Fremdzelle oder den Mikroorganismus, also das Antigen, sobald es ihren gespeicherten Informationen entspricht, erkennen und neutralisieren oder häufig auch direkt zerstören. Dabei kann jeder Antikörper nur *ein* bestimmtes Antigen erkennen.

Ein Antikörper gegen das Masernvirus erkennt nur dieses, ein Bakterium oder ein Schlangengift-Protein entkommt ihm unerkant. Allerdings enthält ein einziger Milliliter Blut bis zu über eine Billion (1 000 000 000 000) Antikörper, was die extreme Spezialisierung der Antikörper wieder ausgleicht.

### Schlüssel-Schloß-Prinzip

Ein Erreger kann nur dann durch einen Antikörper vernichtet werden, wenn der Antikörper genau zu einem Antigen des Erregers paßt. Die Immunologen sprechen vom **Schlüssel-Schloß-Prinzip**. Nur wenn der Schlüssel ins Schloß paßt, kann sich die Tür öffnen, also eine Immunreaktion ablaufen und ein Antigen-Antikörper-Komplex (kurz: **Immunkomplex**) entstehen.

### Erreger schützen sich

Im Laufe der Evolution haben allerdings viele Krankheitserreger Strategien entwickelt, um sich vor dem Zugriff durch Antikörper zu schützen. Viren z.B. tauchen in Körperzellen ein, um sich dort bequem vermehren und so der Immunabwehr entgehen zu können. Andere, etwa die Grippeviren, verändern immer wieder ihre äußeren Strukturen, also ihre Antigenmuster und lassen somit die Abwehr ins Leere laufen.

### Beseitigung entarteter Zellen

Man geht heute davon aus, daß täglich im Körper Zellen entarten und dadurch Ursprungsorte für Tumoren entstehen. Auch diese Zellen werden von Immunzellen erkannt und vernichtet. Nur solche entarteten Zellen, die durch das Kontrollnetz schlüpfen, können Krebsgeschwülste bilden.

## S. 74 U. UNTERE HÄLFTE

### Das Komplementsystem

Wenn ein eingedrungenes Bakterium von einem Antikörper erkannt wird, der exakt auf eines seiner Antigene paßt, so heftet sich der Antikörper an dieses Antigen. Dadurch wäre aber nur ein einziges der ja üblicherweise millionenfach im Körper befindlichen Bakterien identifiziert. Um dieses Bakterium zu zerstören, aber vor allem, um die Bekämpfung der übrigen abertausend Bakterien einzuleiten, werden von diesem Komplex aus Antigen und Antikörper **Komplement-Faktoren** angelockt. Die Komplement-Faktoren gehören zum **Komplementsystem**, einer im Blut und im Interstitium zirkulierenden, aus vielen Protein-komponenten bestehenden Gruppe von Abwehrstoffen und Mediatoren.

Innerhalb der Infektionsabwehr hat das Komplementsystem eine Schlüsselaufgabe:

- Die Komplement-Faktoren schädigen nach ihrer Aktivierung in einem komplexen mehr-schrittigen Prozeß die Zellmembran des Bakteriums und zerstören es dadurch.
- Gleichzeitig locken sie aber zusätzlich Freßzellen und Lymphozyten an, die auf das Signal der aktivierten Komplement-Faktoren hin aktiv werden.

## S. 74 OBEN

### Die Freßzellen

Die angelockten Freßzellen sind stoffwechselaktive Zellen. Sie können Bakterien, Viren, aber auch tote Teilchen wie etwa Rußpartikel nicht nur umschließen, sondern auch gleich verdauen. Diesen Vorgang nennt man **Phagozytose**.

Die Phagozyten bestehen aus zwei Gruppen:

**Makrophagen** (*große Freßzellen*) und **neutrophilen Granulozyten** (*kleine Freßzellen*), die zusammen zwei Drittel der weißen Blutkörperchen ausmachen. Ca. 60 % der Leukozyten im Blut sind neutrophile Granulozyten und ca. 6 % der Leukozyten sind Makrophagen.

Beide Arten der Freßzellen werden durch das Komplementsystem oder durch Antigen-Antikörper-Komplexe zum „Fressen“ aktiviert.

## S. 79

Während das Antigen oben am Antikörper fixiert worden ist, bindet sich die Freßzelle an den Stamm des Y. Dort hat jeder Antikörper eine spezielle Bindestelle für Freßzellen.

## S. 75

### Die Multiplikation der Immunantwort

Einige wenige oder selbst hunderte passender Antikörper würden es wohl kaum schaffen, mit tausenden bis hunderttausenden von Bakterien fertig zu werden, wie sie bei einer durchschnittlichen Infektion in den Körper eindringen. Woher kommt also die plötzlich so große Menge genau der richtigen Antikörper?

Die B-Zellen

Dafür sind die **B-Zellen** verantwortlich. B-Zellen sind eine Untergruppe der Lymphozyten, wobei „B“ = bone marrow (*Knochenmark*) den Ort ihrer Prägung bezeichnet. Als Besonderheit besitzen sie ortsständige, d.h. an der B-Zelloberfläche befestigte Antikörper.

Wird nun ein Antigen nicht nur von einem frei zirkulierenden Antikörper gefangen, sondern von einem Antikörper auf der Oberfläche einer B-Zelle, ist dies ein starker Reiz für diese Zelle: Sie entwickelt sich innerhalb von fünf Tagen zu einer Plasmazelle, die pausenlos nur noch Antikörper produziert, und zwar genau zu dem Antigen passend, das sie stimuliert hat. So können aus einer einzigen Plasmazelle pro Sekunde zweitausend Antikörper freigesetzt werden, die jetzt mit den Bakterien leichtes Spiel haben.

Um die Immunantwort noch effizienter zu machen, produziert das Immunsystem nicht nur einige wenige, sondern Millionen von Plasmazellen gegen das gleiche Antigen.

In jedem Fall dauert es aber mindestens 7 - 10 Tage, bis sich gegen ein neues Antigen genügend Antikörper gebildet haben. Dies ist auch die übliche Zeit, um etwa eine Infektion der oberen Luftwege, z.B. den typischen Schnupfen, auszukurieren.

Wenn Erreger oder Giftstoffe auf eine B-Zelle treffen, haben sie allerdings eine Chance, der massiven Freisetzung hochwirksamer Antikörper zu entgehen: Sie müssen dazu den Körper so schnell überschwemmen, daß das Immunsystem keine Zeit mehr hat, eine effektive Antikörperproduktion aufzubauen. Nach dem Biß einer Kobra-Giftschlange etwa gelangt über deren Giftzähne ein Nervengift in die Blutbahn des Opfers. Hier bleiben nur Minuten, ehe das Gift die Nervenzellen angreift und über Lähmungen zum Tode führt. So schnell kann kein Immunsystem reagieren. Die einzige Überlebenschance des Gebissenen ist ein Gegengift, das aus vorproduzierten Antikörpern besteht, welche meist aus Pferdeblut gewonnen wurden. Diese Art der Antikörperübertragung von einem Individuum zum anderen nennt man **Passivimmunisierung**.

## Die B-Gedächtniszellen

Wenn die Infektion abgeklungen ist, bleiben sogenannte **B-Gedächtniszellen** in einer Art Wartestellung zurück. Diese B-Gedächtniszellen können beim nächsten Angriff des gleichen Erregers sehr viel schneller zu Plasmazellen reifen und Antikörper bereitstellen.

## Die Vielfalt der Antikörper

Wenn unser Immunsystem für jeden Antikörper ein Gen produzieren würde, wären über 10 Millionen Gene erforderlich.

Tatsächlich reichen jedoch wenige hundert Gene für Millionen verschiedener Antikörper aus. Ähnlich wie bei der Proteinbiosynthese aus wenigen Aminosäuren eine praktisch unendliche Vielfalt von Proteinen gebildet werden kann, besteht der Bauplan für Antikörper aus gestückelten Genen, die in B-Zellen nach dem Zufallsprinzip kombiniert werden. Wenn schon beim Lotto aus der Kombination von 6 Zahlen über 13 Millionen Möglichkeiten resultieren, ist leicht vorstellbar, wie viele Kombinationen, also Antikörpermuster aus über 100 Genstücken möglich sind.

S.76

## Die T-Lymphozyten

Die B-Zellen sind nicht ausreichend, um uns zu schützen. Sie sind nur die eine Säule der Immunabwehr.

Die zweite Säule bilden die **T-Lymphozyten**:

- So müssen **T-Helfer-Zellen** die B-Lymphozyten stimulieren, wenn sie zu Plasmazellen reifen sollen.
- Die **T-Suppressor-Zellen** sind die Bremsen des Immunsystems. Beide, T-Helfer und T-Suppressor-Zellen, regulieren die Immunreaktion.
- **Zytotoxische T-Zellen** (älterer Name: T-Killerzellen) können fremde Zellen ohne Antikörperbeteiligung vernichten.

Auch T-Lymphozyten reagieren spezifisch auf ein Antigen. Dazu besitzen sie an ihrer Oberfläche eine Struktur, den **T-Zell-Rezeptor**. T-Zell-Rezeptoren erkennen ein Antigen nicht alleine, sondern nur, wenn es ihnen in einer speziell aufbereiteten Form präsentiert wird.

Als „Antigen-Präsentatoren“ können dabei z.B. *Makrophagen*, *B-Zellen* oder die von den Monozyten abstammenden Immunzellen der Haut, die *Langerhanszellen*, fungieren. Man nennt diese Zellgruppen deshalb auch **antigenpräsentierende Zellen** (APZ).

## Die MHC-Moleküle

Die T-Zellen werden allerdings erst dann aktiv, wenn sie von einer zweiten Gruppe von Molekülen einen „Einsatzbefehl“ bekommen. Diese Erkennungsmoleküle heißen **MHC-Moleküle**. Diese MHC-Moleküle verbinden sich kurzzeitig mit dem Antigen und präsentieren sich dabei den T-Zellen, wodurch diese weitere Kettenreaktionen auslösen.

Die MHC-Moleküle sind nicht auf antigenpräsentierende Zellen beschränkt: Alle kernhaltigen Körperzellen und Blutplättchen haben MHC-Moleküle. All diese Zellen müssen dem Immunsystem ständig diese molekularen Informationen zeigen, um nicht als körperfremd zu gelten und damit versehentlich vernichtet zu werden.

Die MHC-Moleküle kennzeichnen also Zellen als zum Körper gehörig. MHC bedeutet **major histocompatibility complex** (Hauptgewebeverträglichkeitskomplex).

Genau diese MHC-Moleküle erschweren auch Organtransplantationen. Es gibt - abgesehen von eineiigen Zwillingen - nur wenige Menschen, die die gleichen MHC-Muster haben. Das Immunsystem eines Transplantatempfängers bemerkt daher fast immer, daß das Spenderorgan fremd ist, und stößt es ab, wenn nicht *immunsuppressive Medikamente* die Immunantwort dämpfen.

## Problemfall Virusinfektion

Viren besitzen keinen eigenen Proteinsyntheseapparat. Deshalb spritzen sie ihr Erbgut beispielsweise in Leberzellen (*Hepatitisviren*), in Nervenzellen (*Herpesviren*) oder in T-Helferzellen (*AIDS-Viren*) und veranlassen diese so zur Produktion viraler statt körpereigener Eiweißmoleküle.

Mit den bisher besprochenen Immunantworten kann das Immunsystem solche Fremdkörper nicht erkennen.

## Die zytotoxischen T-Zellen

Die Erkennung virusinfizierter Körperzellen gelingt aber dennoch, und zwar mit Hilfe des **MHC I**. Dieses ist zwar nicht für T-Helferzellen, aber für die zytotoxischen T-Zellen (*älterer Name T-Killerzellen*) erkennbar, also eine weitere aktive Zellgruppe im Kampf gegen Fremdkörper.

Zytotoxische T-Zellen werden bei der besonders schwierigen Abwehr von Viren aktiv: Befällt ein Virus eine Körperzelle, ist diese fast immer in der Lage, eine „Alarmflagge“ zu hissen - nämlich das Hüllprotein des Virus außer auf ihrer Zelloberfläche als Antigen zu zeigen. Dazu wird das Virushüllprotein wahrscheinlich zunächst im Zytoplasma der befallenen Zelle zerlegt und, gebunden an ein MHC-Molekül, an der Zellmembran präsentiert.

Die zytotoxischen T-Zellen können nun diese Alarmflagge auf der Zelloberfläche identifizieren, binden sich an die Zellmembran der infizierten Zellen und produzieren Enzyme, die die Zellmembran durchlöchern. So entstehen 10 Nanometer große Löcher, die zum Zelltod der infizierten Zelle samt der in ihr enthaltenen Viruspartikel führt. Dieser Vorgang bezeichnet man als **Lyse** (*Auflösung*).

## ***Die Bausteine des Immunsystems***

### Die vier Teilsysteme der Abwehr

Wenn Krankheitserreger ins Körperinnere eingedrungen sind, beginnen zwei Abwehrsysteme, nämlich die

- **unspezifische Abwehr** und die
- **spezifische Abwehr**

mit der Bekämpfung der Erreger.

An beiden Abwehrmechanismen sind sowohl

- **zelluläre Faktoren**, also immunkompetente Zellen (wie z.B. die weißen Blutkörperchen), als auch
- **humorale Faktoren** (so nennt man die nicht-zellulären Abwehrsubstanzen in den Körperflüssigkeiten)

beteiligt.

Dadurch ergeben sich vier Teilsysteme der Abwehr, die zwar alle miteinander vernetzt sind, aber auch eigenständige Aufgaben erfüllen.

Die unspezifische Abwehr steht von Geburt an gegen alle Antigene zur Verfügung, sie ist jedoch nicht besonders effektiv. Eine Abwehr hochgefährlicher, also **virulenter** Erreger ist nur durch **spezifische**, das heißt gegen ein spezielles Antigen gerichtete, Abwehrmechanismen möglich. Diese immunologischen Prozesse werden erst nach dem Erkennen eines körperfremden Stoffes wirksam, sie müssen also nach der Geburt erst erlernt werden. Hierzu bedarf es für jeden neuen Keim bei der Erstinfektion einer gewissen Zeitspanne von etwa 1 - 3 Wochen, der sogenannten **immunologischen Lücke**.

Spezifische Abwehrvorgänge führen in der Regel zur **Immunität** gegenüber dem Erreger, das heißt erneute Infektionen mit dem gleichen Erreger verlaufen inapparent (*unsichtbar*).

Die Immunität kann Monate, Jahre oder lebenslang bestehen, je nachdem, wie stark ein bestimmter Erreger das immunologische Gedächtnis zu prägen vermag.

## Die unspezifische zelluläre Abwehr

### Phagozytose

Neutrophile Granulozyten und Makrophagen sind in der Lage, Fremdstoffe „aufzufressen“, zu **phagozytieren**. Bei der Phagozytose werden die Fremdstoffe zunächst von Ausstülpungen der Zellen umflossen und schließlich eingeschlossen. Daraufhin wird der Fremdstoff durch Enzyme der Phagozyten abgebaut.

### Natürliche Killerzellen

Die **NK-Zellen** sind große gekörnte Lymphozyten, die in Zusammenarbeit mit dem Komplementsystem vor allem Viruspartikel und Tumorzellen unschädlich machen.

## Die unspezifische humorale Abwehr

Das **Komplementsystem** ist eine im Blut und Interstitium vorhandene, aus vielen Protein-Komponenten bestehende Gruppe von Abwehrstoffen, die

- Fremdeiweiße erkennt
- Freßzellen anlockt
- Bakterienzellwände auflöst.

Damit das Komplementsystem wirken kann, muß es aktiviert werden:

- Entweder durch Antigen-Antikörper-Komplexe, oder
- direkt durch die Fremdstoffe, also Bakterien Viren oder Pilze.

Nach der Aktivierung reagieren die einzelnen Komponenten des Komplementsystems in einer festen Reihenfolge miteinander, wobei die beiden Aktivierungswege in eine gemeinsame Endstrecke mit folgenden Wirkungen einmünden:

- Makrophagen und neutrophile Granulozyten werden angelockt und stimuliert.
- Fremdzellen werden aufgelöst, z.B. durch Zerstörung von Bakterienwänden.
- Zusammenballungen von Antigen- und Antikörpermolekülen, die *Immunkomplexe*, werden nach der Unschädlichmachung des Fremdkörpers wieder aufgelöst.

Insgesamt setzen die Komplementfaktoren dadurch eine **Entzündungsreaktion** in Gang.

## Zytokine

Antikörper und T-Zellen würden nur wenig bewirken, wenn nicht chemische Botenstoffe die Zusammenarbeit zwischen den einzelnen Zellgruppen entscheidend unterstützten.

Man nennt diese Botenstoffe, die im Rahmen einer Antigenreaktion ausgeschieden werden, **Zytokine** („Immunbotenstoffe“, auch *Lymphokine* genannt, wenn sie von Lymphozyten stammen). Zytokine wirken als Botenstoffe zwischen den verschiedenen Abwehrzellen. Sie regulieren insbesondere die Teilung und Aktivität der Lymphozyten.

## Interleukin 2

Früher nahm man an, daß Antigene T-Zellen zur Vermehrung anregen könnten. Heute weiß man, daß dies durch das **Interleukin 2 (IL-2)** vermittelt wird.

Deshalb wird IL-2 mittlerweile zur Tumorthherapie eingesetzt, da man hofft, hierdurch die Immunabwehr gegen Tumoren zu stärken. Zudem regt IL-2 im Blut und im Gehirn die Bildung weiterer Immunbotenstoffe an.

## Beta- und Gamma-Interferon

Interleukin 2 regelt aber nicht nur die Vermehrung der T-Zellen, sondern fördert auch die Produktion von **Gamma-Interferon (IFN  $\gamma$ )**. Dieser Signalstoff aktiviert die natürlichen Killerzellen (NK-Zellen) und Makrophagen und fördert die Ausschüttung virushemmender Proteine. So können virusinfizierte Zellen über die Ausschüttung von Gamma-Interferon gesunde Nachbarzellen vor Viren warnen und deren Abwehrmechanismen anregen.

**Beta-Interferon (IFN  $\beta$ )** ist, zumindest was die Beschleunigung und Intensivierung der Immunantwort anbetrifft, offenbar ein Gegenspieler zu Gamma-Interferon. Es verhindert möglicherweise überschießende Immunreaktionen. Die versuchsweise Gabe von Beta-Interferon bei Multiple-Sklerose-Kranken verlief in den USA ermutigend, das Auftreten von Schüben konnte um ein Drittel gesenkt werden.

## Interleukin 1

**Interleukin 1 (IL-1)** hat gleich eine Reihe von Wirkungen:

- T-Helferzellen und neutrophile Granulozyten werden alarmiert,
- NK-Zellen werden aktiviert; und
- B-Zellen wird die Differenzierung zu Plasmazellen erleichtert.

IL-1 stimuliert im Gehirn die Freisetzung von Stresshormonen. Gleichzeitig macht es müde und fördert den Schlaf, den wir offensichtlich zur Erholung von einer Infektionskrankheit benötigen. Außerdem trägt es mit zur Fieberentstehung bei.

## Die spezifische humorale Abwehr

### B-Lymphozyten

**B-Lymphozyten** werden im Knochenmark geprägt und gelangen über Blut- und Lymphwege in die Lymphfollikel, wo sie sich ansiedeln.

Nach Kontakt mit einem Antigen wandeln sich die B-Lymphozyten unter starker Vermehrung zu Plasmazellen um, die dann in großen Mengen Antikörper produzieren. Ein Teil der B-Lymphozyten überdauert die Infektion als **B-Gedächtniszellen**.

### Antigen-Antikörper-Reaktionen

Der Kontakt mit einem Antigen löst beim Immungesunden nach einer gewissen Zeit regelmäßig eine **Antigen-Antikörper-Reaktion** aus. Durch diese Reaktion verlieren die Antigene meist ihre Gefährlichkeit für den Organismus - sie werden neutralisiert. Die Neutralisierung kann in der Auflösung also **Lyse** oder, z.B. bei Giften, in einem chemischen Umbau bestehen. Oft verklumpen auch Antigen- und Antikörpermoleküle miteinander. Man spricht dann von einer **Agglutination**.

Jeder Antikörper ist dabei ein *maßgeschneidertes Protein*. Der Antikörper gegen das Windpockenvirus wirkt z.B. nicht gegen das Masernvirus. Der Antikörper muß spezifisch den Molekülen der Virusoberfläche entsprechen, um das Virus bekämpfen zu können, wie Schlüssel und Schloß, die exakt zueinander passen müssen.

Aber warum bekommt man trotzdem immer wieder Schnupfen?

Die Gründe, weshalb Schnupfen oder virale Bronchitiden anscheinend beliebig oft wieder auftreten können, sind verschieden:

- Manche Erreger, so z.B. das Grippevirus, verändern ihre Antigenmuster von Jahr zu Jahr. Daher sind bereits produzierte Antikörper nicht in der Lage, die neuen Virustypen zu erkennen und zu bekämpfen.
- Der Langzeitschutz, also die Immunität, ist bei manchen Infektionen sehr gering, da nicht alle Erreger an der Oberfläche stark immunogene (*die Abwehr anregende*) Substanzen wie z.B. Eiweißmoleküle tragen. Außer gegen das Typhusbakterium, das Tuberkulose-Bakterium und den Keuchhustenerreger wird praktisch gegen kein *Bakterium* eine dauernde Immunität gebildet, so wie es bei Viren der Fall ist.
- Lokale Infektionen (also z.B. Hauteiterungen) ohne wesentlichen Blutkontakt der Erreger hinterlassen in der Regel ebenfalls keine Immunität.

### Antikörperklassen

Wie erwähnt, werden Antikörper von spezialisierten B-Lymphozyten, den sog. Plasmazellen, gebildet. Es existieren fünf Klassen von Antikörpern, die sich in Aufbau und Funktion voneinander unterscheiden und sich im Labor mit Hilfe der Elektrophorese voneinander trennen lassen. Jede dieser Klassen wird mit einem Buchstaben bezeichnet. Man spricht von **IgG-, IgA-, IgM-, IgD- und IgE-Antikörpern**.

Das **Immunglobulin G (IgG)** macht mit ungefähr 75% den größten Anteil der Antikörpermenge aus. Trotzdem spielt es bei erstmaligen Infektionen in der Regel zunächst keine Rolle, da es erst mit ca. dreiwöchiger Verzögerung gebildet wird. Bei einer erneuten Infektion entstehen hingegen rasch IgG-Antikörper in hoher Konzentration. Antikörper der Klasse IgG vermögen zudem die Plazenta zu passieren so daß sie auch dem Kind vor und nach der Geburt Infektionsschutz verleihen, der etwa drei Monate anhält.

Etwa 1/6 der Immunglobuline sind **Immunglobuline A (IgA)**. Sie sind auf die Abwehrvorgänge an den Schleimhautoberflächen des Organismus spezialisiert. IgA kommt auch in der Muttermilch vor, so daß das gestillte Neugeborene am Antikörperschutzmantel der Mutter teil hat.

**Immunglobulin M (IgM)** tritt bei Erstkontakt mit einem Erreger am schnellsten auf. Man bezeichnet es deshalb auch als Frühantikörper. Seine Konzentration sinkt aber innerhalb

weniger Wochen wieder auf niedrige Werte ab, wenn die IgG-Produktion voll in Gang gekommen ist.

Dadurch, daß IgM der Antikörper mit der schnellsten Reaktion auf eine Erstinfektion ist, eignet er sich besonders zum **laborchemischen Infektionsnachweis**. Aus dem raschen Anstieg und Wiederabfall der IgM-Konzentration ergeben sich wertvolle Informationen für die Beurteilung einer Infektion:

- Besteht überhaupt eine Infektion mit dem fraglichen Erreger, oder ist die Verdachtsdiagnose falsch?
- Ist die Infektion eine Erstinfektion (IgM steigt an) oder Zweitinfektion (IgM-Konzentration bleibt niedrig)?
- Ist die Akutphase einer Infektion überwunden (IgM fällt wieder ab)?

**Immunglobulin D.** Über das IgD weiß man recht wenig, es hat aber wohl seine Bedeutung in der Aktivierung der B-Lymphozyten. Im Serum ist es nur in äußerst geringen Mengen nachweisbar.

**Immunglobulin E (IgE, auch Reagin genannt)** spielt z.B. bei der Abwehr von Wurminfektionen und bei allergischen Reaktionen vom Soforttyp eine wichtige Rolle.

## Die spezifische zelluläre Abwehr

Die T-Lymphozyten als zweite Teilgruppe der Lymphozyten werden vom Thymus geprägt und zirkulieren in Blut und Lymphe zwischen Milz, Lymphknoten und den zu schützenden Organen, wo sie für die spezifische zelluläre Abwehr verantwortlich sind. Folgende T-Zelltypen sind hieran beteiligt:

**T-Helferzellen** erkennen Antigene auf antigenpräsentierenden Zellen, wozu sie MHC-Moleküle benötigen, und aktivieren (helfen) anschließend Plasmazellen und zytotoxische T-Zellen.

**T-Suppressorzellen** dämpfen und hemmen die Immunantwort und die Zytokinausschüttung.

**T-Gedächtniszellen** sind aus den Helferzellen hervorgegangene langlebige Zellen, die einen Antigenkontakt speichern können. Sie haben die Fähigkeit, bei erneutem Kontakt mit dem gleichen Antigen die Produktion weiterer spezifischer T-Zellen sehr rasch in Gang zu bringen.

Zytotoxische T-Zellen (früher T-Killerzellen genannt) erkennen von Viren befallene Körperzellen und zerstören diese durch Lyse, um das Virus zu vernichten, was leider nicht immer gelingt.

## Die Thymusdrüse

Allem Anschein nach werden die T-Lymphozyten durch die Thymusdrüse geprägt. T-Zellen durchwandern dabei, nachdem sie aus dem Knochenmark gekommen sind, den Thymus und lernen hier die Immuntoleranz gegenüber den im Thymus präsentierten Antigenen des eigenen Organismus, den **Autoantigenen**. Hier bildet sich der T-Zell-Rezeptor in den Helferzellen ebenso wie in den zytotoxischen T-Zellen.

Zellen, die die Toleranz gegen Autoantigene nicht lernen, werden offenbar vernichtet. So verhindert das Immunsystem, daß gegen eigene Körperzellen gerichtete sogenannte *autoaggressive T-Zellen* Schaden anrichten. Bei Autoimmunkrankheiten versagt dieser Mechanismus jedoch offensichtlich.

## Die Immunregulation

Das Immunsystem ist nicht allein im täglichen Kampf gegen Antigene, Fremdkörper und Tumorzellen. Seine Arbeit wird durch Hormone und das Nervensystem unterstützt und reguliert: Sexual- und Stresshormone dämpfen das Immunsystem, Wachstumshormon und Insulin steigern seine Leistungsbereitschaft. Über das Hormonsystem ist auch die Abhängigkeit einer optimalen Immunfunktion vom psychischen Wohlbefinden nachvollziehbar: Wer unter starkem Stress steht, wird leichter krank. Wer vor Lebensfreude strotzt, den wird so leicht kein Virus oder Bakterium schwächen.

Auch zwischen psychischer Konstitution und der Bereitschaft zur Tumorentstehung gibt es Zusammenhänge. Der von *Woody Allen* geprägte Spruch „*Ich kann meinen Ärger nicht ausleben; dies ist eines meiner Probleme. Statt dessen bilde ich einen Tumor aus*“ enthält wohl einen wahren Kern.

Allerdings - das Immunsystem funktioniert auf keinen Fall so übersichtlich, wie es hier der Verständlichkeit halber gelehrt wurde. Dann müßten alle Menschen an einer bestimmten Infektion gleich schwer oder auch gar nicht erkranken. Tatsächlich kommen aber fast alle mit ähnlichen Erregern in Berührung, und trotzdem reagieren die Immunsysteme unterschiedlich.

Einige Gründe hierfür seien genannt:

- Manche Menschen haben offenbar MHC- Moleküle ererbt, die zu schwächeren Immunreaktionen führen als andere.
- Das durch die Arbeit der Thymusdrüse entstehende T-Zell-Repertoire ist bei jedem Menschen verschieden.
- Neben der psychischen Konstitution wirken sich auf die Abwehrkraft auch die Ernährung und mögliche Schädigungen des Immunsystems aus, etwa durch Gifte wie Alkohol oder Nikotin.
- Auch scheint das Funktionieren des Immunsystems von einer ausreichenden Schlafzeit abzuhängen - bei Schlafentzug häufen sich Infektionen, wie jeder weiß.

## ***Impfungen***

### Aktivimmunsierung

Glücklicherweise sind nicht alle Erreger so flexibel wie beispielsweise die Grippeviren. Beim Masernvirus etwa ist ein einmal Erkrankter praktisch für immer vor weiteren Angriffen des Virus geschützt. Das Virus verändert sich nicht, und im Blut kursieren ein Leben lang spezifische Antikörper.

Eine Schutzimpfung, also eine **Aktivimmunsierung**, bewirkt das gleiche: Durch eine künstliche Infektion mit einer kleinen Menge abgetöteter Keime oder speziell gezüchteter, weniger gefährlicher lebender Erreger wird künstlich eine kontrollierte Infektion erzeugt.

Das Immunsystem ergreift die Chance, passende Antikörper und Gedächtniszellen zu bilden, die dann im Falle eines Falles parat stehen, wenn es zur tatsächlichen Infektion kommt.

Die Krankheitserreger werden dann zumeist schnell und inapparent (*ohne äußere Krankheitszeichen*) vernichtet.

Neben den für jeden Menschen und insbesondere jedes Kind empfohlenen Impfungen existieren Impfungen für spezielle berufliche oder reisebedingte Infektionsrisiken.

### Passivimmunsierung

Infiziert sich eine nicht gegen Röteln geimpfte Schwangere, die selbst niemals Röteln hatte und somit über keinen Antikörperschutz verfügt, während der ersten drei Schwanger-

schaftsmonate mit dem Rötelnvirus, dann sind schwere Schäden des Embryos die wahrscheinliche Folge. Um die gefürchtete *Röteln-Embryopathie* zu verhindern, können nun der Schwangeren spezifische Röteln-Antikörper, man sagt auch Röteln-Immunglobuline, injiziert werden. Die Immunglobuline für diese **Passivimmunisierung** werden vom Blut anderer Kranker, die eine Rötelninfektion überstanden haben, gewonnen. Ihr Blut enthält reichlich spezifische Antikörper, das dann zu Konzentraten, den **Immunglobulinen**, verarbeitet werden kann.

Nachteilig - von den hohen Kosten abgesehen - bei Passivimmunisierungen ist jedoch, daß die Schutzwirkung auf ca. ein bis drei Monate beschränkt bleibt, da die zugeführten Antikörper vom Körper allmählich abgebaut werden.

Bei Krankheiten, die weniger durch den Erreger selbst als durch produzierte Toxine gefährlich werden, hat die passive Immunisierung eine große Bedeutung, weil durch das Immunglobulin die im Blut zirkulierenden Toxine unschädlich gemacht werden können. Dies kann bei Fällen von Diphtherie, Tollwut oder bei Tetanusinfektionen (Tetagam<sup>®</sup>) lebensrettend sein.

## S. 80 VORTRAGEN

### ***Pathologische Immunreaktionen***

Der Preis, den der Organismus für seine Fähigkeit zur Abwehr zu zahlen hat, besteht in der Gefahr von Überempfindlichkeitsreaktionen, also **Allergien** und von **Autoimmunreaktionen**.

#### Allergien

Unter Allergie versteht man eine erworbene spezifische Überempfindlichkeit gegenüber bestimmten Antigenen. Überempfindlichkeitsreaktionen werden durch Antigen-Antikörper-Reaktionen oder durch T-Zell-vermittelte Reaktionen ausgelöst, nur sind diese im Gegensatz zur physiologischen Abwehrreaktion **überschießend**, ja unter Umständen sogar lebensbedrohlich.

Die Allergie wird, ebenso wie die Immunität, bei einem frühen Kontakt mit einem Antigen erworben; man spricht hier von Sensibilisierung. Nach einer gewissen Ruhepause von Tagen bis Jahren, in der die Bildung der Antikörper beginnt, kommt es zur Ausbildung der Überempfindlichkeit.

Man kennt vier Typen von allergischen Reaktionen, die sich in der **Zeitspanne** zwischen Allergenexposition und Allergieausbruch sowie im Mechanismus der **Immunantwort** unterscheiden:

1. Allergische Reaktionen vom Typ I (Soforttyp)
2. Allergische Reaktionen vom Typ II (zytotoxischer Typ)
3. Allergische Reaktionen vom Typ III (Immunkomplex-Typ)
4. T-Lymphozyten-vermittelte Überempfindlichkeitsreaktionen

## S. 81 O. OB. HÄLFTE

#### Allergische Reaktionen vom Typ I (Soforttyp)

Bei entsprechender Disposition und Kontakt mit bestimmten Antigenen (z.B. Pollen, Erdbeeren oder Penicillin) reagiert der Organismus mit einer besonders starken Bildung von Immunglobulinen des Typs IgE. Die IgE-Antikörper heften sich an die Oberfläche von Mastzellen oder basophilen Granulozyten, wodurch bei späterem Kontakt mit dem gleichen Antigen eine Immunantwort bis zur Stärke einer anaphylaktischen Reaktion ausgelöst werden kann.

Diese Reaktion wird folgendermaßen eingeleitet: Die aufgenommenen Antigene, also die Allergene, reagieren mit den IgE-Antikörpern, worauf die Mastzellen ihre Inhaltsstoffe, vor allem Histamin, freisetzen. Innerhalb von Sekunden bis Minuten (deshalb der Name Soforttyp!) treten die Symptome der **Anaphylaxie** auf: Jucken, Ödeme, Blutdruckabfall, Konstriktion der Bronchien. Die anaphylaktische Reaktion bleibt in manchen Fällen örtlich begrenzt wie z.B. bei Asthma bronchiale oder Heuschnupfen. Erfolgt sie jedoch generalisiert wie es z.B. nach Injektion von bestimmten Medikamenten oder nach Bienen- bzw. Wespenstichen vorkommen kann, so kann durch die Gefäßweitstellung ein massiver Blutdruckabfall und der daraus resultierende **anaphylaktische Schock** auftreten. Krämpfe der

Der anaphylaktische Schock als stärkste allergische Reaktion geht mit lebensbedrohlichem Blutdruckabfall einher der durch Ausschüttung von Histamin und anderer stark gefäßerweiternder Substanzen im ganzen Gefäßsystem ausgelöst wird.

Die lebensrettende Therapie besteht unter anderem in der Injektion der Nebennierenhormone Adrenalin und Kortisol (s. SEMINAR „NOTFALLMEDIZIN“).

Bronchialmuskulatur sind hierbei als unmittelbare Todesursache von Bedeutung.

### Allergische Reaktionen vom Typ II (zytotoxischer Typ)

Typ-II-Reaktionen werden durch Bindung von IgM- oder IgG-Antikörpern an zellständige Antigene ausgelöst. Es kommt zur Komplement-Aktivierung und schließlich innerhalb von Stunden bis Tagen zur Auflösung der das Antigen tragenden Zellen. Diese zytotoxische Reaktion ist besonders tragisch bei transplantierten Organen, da sie zur Transplantatabstoßung führen kann. Ein weiteres Beispiel sind bestimmte Transfusionszwischenfälle durch Angriff auf die übertragenen Blutzellen.

### S. 81 O. UNT. HÄLFTE

### Allergische Reaktionen vom Typ III (Immunkomplex-Typ)

Unter bestimmten Umständen können Immunkomplexe nach Komplementaktivierung Gewebe schädigen. Warum manche Komplexe aus Antigen und Antikörper solche Reaktionen auslösen, die meisten jedoch nicht, ist unklar.

Die Art der Schädigung hängt davon ab, ob das Antigen oder die Antikörper im Überschuß vorliegen: Bei **Antikörperüberschuß** treten die Symptome lokal auf, z.B. eine Lungenentzündung bei wiederholtem Kontakt mit verschimmeltem Heu oder asthmaartige Anfälle bei Kontakt mit Taubenkot. Bei **Antigenüberschuß** kommt es dagegen zu generalisierten Reaktionen, da sich die Immunkomplexe in die Gefäßwände von gut durchbluteten Organen einlagern. Es resultieren schwere Gefäßentzündungen, z.B. bei Befall der Nierengefäße in Form von Glomerulonephritiden.

### T-Lymphozyten-vermittelte Überempfindlichkeitsreaktionen

Diese, auch **Typ IV-** oder **Spät-Reaktion** genannten Allergiereaktionen werden durch überempfindliche T-Zellen ausgelöst. Diese T-Zellen, die auf ein Allergen sensibilisiert sind, aktivieren - wenn sie mit dem Allergen in Kontakt kommen - z.B. Makrophagen, die dann über das Allergen „herfallen“. Dieser Vorgang dauert ein bis mehrere Tage, deshalb der Name Spättyp.

Kontaktallergien (s.u.) und die in der Tuberkulosedagnostik eingesetzte Tuberkulinreaktion sind Beispiele für diesen Reaktionstyp.

## Diagnostik der Allergien

Vor allem zwei Allergieformen sind sehr häufig:

- Allergien der Haut (**Kontaktallergien**, z.B. gegen Nickel) und
- Allergien der Schleimhäute von Atem- und Speisewegen (**Inhalationsallergien**, z.B. gegen Pollen bzw. Nahrungsmittelallergien, z.B. gegen Nüsse oder Kuhmilch).

Die Kontaktallergien gehören zu den Allergien vom Spättyp (Typ IV), werden also durch T-Zellen vermittelt. Sie lassen sich durch den Lappchentest **auf** der Haut diagnostizieren. Die Reaktion, etwa eine Rötung, Schwellung oder Bläschenbildung kann nach 2 -3 Tagen abgelesen werden.

Allergien der Atemwege und des Verdauungstraktes sind meist IgE-vermittelte Reaktionen, gehören also zu den Allergien vom Soforttyp (Typ I). Man testet sie **in** der Haut (Pricktest oder Intracutantest) oder im Blut (Nachweis spezifischer IgE-Antikörper) Die Reaktion auf den Hauttest, typischerweise eine starke histaminvermittelte Hautschwellung, zeigt sich oft schon nach etwa 15 - 30 Minuten.

## Atopie

Warum manche Menschen Allergien gegen Erdbeeren oder Gräserpollen, andere gegen Tierhaare, Schurwolle oder Bienengift entwickeln, ist letztlich ziemlich unklar. Tatsache jedoch ist, daß die *Bereitschaft* zur Allergieentwicklung vererbt wird - ca. 10-20% der Bevölkerung gehören zur Gruppe der sog. **Atopiker** (*griechisch wörtlich übersetzt „seltsamen Menschen“*). Unter dem Sammelbegriff der Atopie faßt man die Bereitschaft zu folgenden Erkrankungen zusammen:

- das allergische Asthma bronchiale,
- die Urtikaria (Quaddelbildung in der Haut),
- die Neurodermitis (auch Endogenes Ekzem genannt),
- die allergische Konjunktivitis (Bindehautentzündung des Auges) sowie
- der Heuschnupfen (Rhinitis allergica).

Auffallend ist, daß Atopiker im Laufe der Jahre nicht selten mehrere dieser Erkrankungen durchlaufen. So kann ein allergisches Asthma plötzlich verschwinden, dafür bilden sich dann aber z.B. neurodermitische Hautveränderungen aus.

Die Häufigkeit atopischer Krankheitsbilder in der Bevölkerung steigt an. Dabei scheint unser moderner Lebensstil mitverantwortlich zu sein, der uns mit einer Vielzahl früher nicht gekannter Fremdstoffe (z.B. Konservierungsstoffe, Farben, Luftverunreinigungen bis hin zu exotischen Früchten und Aromen) in Kontakt bringt.

## Autoimmunerkrankungen

Die Antikörper des Immunsystems wären aufgrund ihrer Vielfalt prinzipiell in der Lage jeden beliebigen Eiweißkörper zu vernichten. Theoretisch können sich die Antikörper unserer Abwehrzellen also auch gegen den eigenen Körper richten. Im Rahmen der Prägung in Thymus und im Knochenmark werden die gegen den eigenen Körper gerichteten Abwehrzellen jedoch im Normalfall aussortiert so daß nur solche Abwehrzellen in die Blutbahn gelangen, deren Antikörper gegen die Antigene des eigenen Körpers keine Immunantwort bilden; man nennt dies eine **Immuntoleranz**.

Es kommt aber vor, daß im Laufe des Lebens die Immuntoleranz gegen das eine oder andere Körpergewebe verlorenght und der Organismus in der Folge Antikörper, z.B. ge-

gen sein eigenes Schilddrüsengewebe entwickelt. Man spricht hier von **Autoantikörpern**. Die daraus resultierenden Krankheiten sind als Autoimmunkrankheiten bekannt und zeigen je nach beteiligtem Autoantikörper ganz unterschiedliche Symptome. Dazu gehört beispielsweise das akute rheumatische Fieber, bei dem, ausgelöst durch eine an sich harmlose bakterielle Infektion, eine Antikörperbildung gegen das eigene Herz und die eigenen Gelenke beginnt. Auch bei vielen anderen Erkrankungen wird vermutet, daß sie im Grunde Autoimmunkrankheiten sind. Beispiele sind:

- der **Typ-I-Diabetes mellitus**,
- die **chronische Polyarthritis**,
- viele schwere **Bindegewebserkrankungen**,
- die **Myasthenia gravis**, eine Muskelerkrankung, die zu einer abnorm raschen Ermüdbarkeit bestimmter Muskelgruppen führt,
- die **Colitis ulcerosa** und
- **Morbus Basedow**.

## Immunsuppressive Therapie

Autoimmunkrankheiten zeigen oft einen außerordentlich schweren und sogar tödlichen Verlauf. Um dies zu verhindern, werden sie mit Medikamenten behandelt, die das Immunsystem unterdrücken. **Immunsuppressiva**, wie z.B. die Abkömmlinge des Kortisols (Glukokortikoide wie Kortison) oder Zytostatika lindern oft rasch die Krankheitssymptome, allerdings unterdrücken das gesamte Immunsystem, was sich bei längerer Anwendung in schweren Nebenwirkungen wie z.B. starker Infektanfälligkeit bemerkbar machen kann.

**Siehe Tabelle Seite 25**

## **Infektionslehre**

Infektionen sind Krankheiten, die durch Eindringen und Vermehrung von Mikroorganismen im Menschen entstehen. Die 5 bedeutenden Erreger für den Menschen sind die **Bakterien**, die **Viren**, die **Pilze**, die **tierischen Erreger** und die **Protozoen** (Urtierchen).

## Formen von Infektionskrankheiten

### Inapparente und apparente Infektionen

Vielleicht erstaunt es zu erfahren, daß wohl die meisten Infektionen **inapparent** (*nicht in Erscheinung tretend*) verlaufen, das heißt, ohne dem Betroffenen bewußt zu werden. Dabei wird der Erreger vom Wirt, also dem infizierten Menschen nach der Infektion vollständig beseitigt, nämlich durch eine intakte Immunabwehr. Manchmal braucht die Herstellung ausreichender Antikörpermengen einige Zeit, die der Patient dann evtl. als „Unwohlsein“ oder leichtes „Kränkeln“ erlebt.

Schwerere Infektionen verlaufen **apparent**, also mit Fieber oder anderen Krankheitszeichen.

### Lokale und generalisierte Infektionen

Die Infektion kann auf die Eintrittspforte beschränkt bleiben, das wäre eine **lokale Infektion**, oder über Lymphknoten und Lymphbahnen bis ins Blut vordringen, dann wäre es eine **generalisierte Infektion**. Beispiele:

- Typische lokale Infektionen sind Wundinfektionen oder eine Gastroenteritis mit Durchfall, jedoch ohne schwere Beeinträchtigung des Allgemeinbefindens.
- Generalisierte Infektionen sind z.B. Windpocken und die Virushepatitis. Fast alle schwereren Viruserkrankungen verlaufen generalisiert.

## Bakteriämie und Sepsis

Dringen Bakterien nur kurzfristig in die Blutbahn ein, so bezeichnet man das als **Bakteriämie**. Dabei kommt es weder zur Vermehrung der Erreger im Blut noch zur Absiedlung in Organen.

Die **Sepsis** oder Blutvergiftung ist dagegen die den ganzen Körper betreffende Infektion, bei der von einem Herd aus (z.B. Wunde) kontinuierlich oder periodisch Erreger in die Blutbahn gestreut werden. Die Erreger vermehren sich oft auch in der Blutbahn.

Da bei der Sepsis ständig Erreger auch in die inneren Organe gelangen, ist die Gefahr tödlicher Komplikationen groß, insbesondere dann, wenn infektiöse Absiedlungen (septische Metastasen) lebenswichtige Organanteile wie z.B. das Gehirn angreifen.

## Der Ablauf einer Infektion

Jede Infektion verläuft in mehreren Stadien:

1. **Invasionsphase** (Ansteckung). In dieser ersten Phase dringt der Krankheitserreger in den Organismus ein, vermehrt sich dort jedoch zunächst nicht.
2. **Inkubationsphase**. Nach einer mehrstündigen bis mehrtägigen Eingewöhnungsphase beginnt sich der Erreger im Körper zu vermehren. Der Infizierte empfindet jedoch noch keine Beschwerden. Kurz vor dem Auftreten von Fieber und anderen Symptomen findet meist eine Phase „explosionsartiger“ Vermehrung statt.
3. **Krankheitsausbruch**. Je nach Schwere der Infektionskrankheit empfindet der Patient nur eine leichte Beeinträchtigung des Allgemeinbefindens (z. B. Heiserkeit oder leichten Kopfschmerz) oder aber schwerere Symptome (z.B. hohes Fieber bis hin zur Sepsis).
4. **Überwindungsphase**. Wird die Infektion überstanden, so wird in dieser letzten Phase der Erreger aus dem Körper entfernt.
5. **Dauerausscheidung**. Bei einigen Keimen wird die Infektion zwar besiegt, die Erreger können sich jedoch in eine Körperrinne zurückziehen. So können Salmonellen beispielsweise über viele Jahre in der Gallenblase verbleiben. Von dort aus gelangen sie über den Darm immer wieder nach außen und können neue Infektionen bei anderen hervorrufen.

## Übertragungswege

Der wichtigste Übertragungsweg zum Menschen ist die Schmierinfektion, entweder durch Händeschütteln oder durch feuchte Handtücher. Andere Erreger werden durch Tröpfchen (Niesen!) oder Staubinfektion übertragen.

Weitere Übertragungswege sind:

- **orale Infektion** über Nahrungsmittel oder auch Instrumente,
- **parenterale Übertragung** z.B. über Stich mit verunreinigter Kanüle,
- **sexuelle Übertragung**.

## Desinfektion und Sterilisation

Um Infektionen zu verhüten, sind neben dem hygienegerechten Verhalten des Praxispersonals Maßnahmen der Desinfektion und Sterilisation zur Keimvernichtung wichtig.

Als **Desinfektion** (*Keimverminderung*) bezeichnet man die gezielte, nicht aber vollständige Keimvernichtung z.B. auf Händen, auf Hautflächen, die durchstochen oder durchschnitten werden müssen, oder auf Materialoberflächen wie Fußböden oder Medizingeräten.

Bei der **Sterilisation** (*Entkeimung*) dagegen werden grundsätzlich alle Mikroorganismen abgetötet und alle Viren vollständig inaktiviert. Dies erfordert entweder hohe Temperaturen (180°C) evtl. in Kombination mit Druck, Feuchtigkeit oder radioaktiver Strahlung, bzw. aggressive Chemikalien - weshalb nur widerstandsfähige Materialien, wie z.B. medizinische Instrumente, Injektionslösungen oder Leinenwäsche sterilisierbar sind.

### **Sterilisationszeiten:**

- Heißluftsterilisator 180° C, 30 Minuten (zzgl. Aufheizzeit!)
- Autoklav - 1 atü, 120°C, 20 Minuten  
- 2 atü, 134°C, 5 Minuten

Anstatt der Bezeichnung „atü“ findet die Bezeichnung „bar“ häufig Anwendung. Genaugenommen ist auch das nicht mehr zulässig. Die korrekte Bezeichnung für den Druck ist **Pascal** (Pa). 1 bar = 105 Pascal.

Lesen: „Allgem. Richtlinien zur Hygiene, Desinfektion und Sterilisation“ Richter, S. 12.

**6 B**

## ***Bakterielle Infektionen***

Sowohl leichte wie auch schwere Infektionskrankheiten werden oft von Bakterien ausgelöst, z.B. die Tuberkulose, die sehr seltene Pest, fast alle eitrigen Infektionen und einige der Kinderkrankheiten wie Keuchhusten und Scharlach.

**S. 85**

## Infektionen durch Staphylokokken

Diese traubenförmig angeordneten **Kugelbakterien** sind weltweit verbreitete Krankheitserreger. Harmlose Staphylokokkenarten gehören sogar zur normalen Keimflora des Menschen, z.B. *Staphylococcus epidermidis* auf der Haut.

Die gefährlichen Staphylokokkenarten, insbesondere *Staphylococcus aureus* und unter bestimmten Umständen auch die ansonsten harmlosen Staphylokokkenarten rufen viele eitrige Entzündungen wie Abszesse, Furunkel, Wund-, Haut-, Atemwegs- und Katheterinfektionen bis hin zu Sepsis, Osteomyelitis und Meningitis hervor.

Staphylokokken werden in der Regel durch Schmierinfektion übertragen. Staphylokokkeninfektionen können praktisch jedes Organ und jede Körperhöhle befallen. Sie gehören aufgrund ihrer Fähigkeit zur **Resistenzentwicklung gegen Antibiotika** zu den sogenannten Problemkeimen im Krankenhaus.

## Infektionen durch Streptokokken

Streptokokken sind kettenförmig angeordnete Kugelbakterien, die in der Natur weit verbreitet sind. Streptokokken verursachen z.B. den Scharlach, Entzündungen an praktisch allen Orten des Hals-, Nasen- und Ohrenbereiches, aber auch Wundinfektionen, Phlegmonen, annähernd die Hälfte aller Endokarditiden und viele Sepsisfälle.

## Infektiöse Darmerkrankungen

Obwohl die Magensäure viele Mikroorganismen abtötet, sind durch Mikroorganismen verursachte Magen-Darmerkrankungen recht häufig. Zum einen liegt dies an Nahrungsmittelvergiftungen, die von Bakteriensekreten ausgelöst werden, z.B. in Eierspeisen, oft kommt es aber auch zum Eindringen von Bakterien (seltener von Viren) in die Darmschleimhaut und evtl. auch ins Blut. Erwähnt seien hier die Salmonellen, die Shigellen als Erreger der Darmruhr, und auch der Erreger der Cholera.

## Harnwegsinfektionen

Eine Infektion mit **Escherichia coli** ist die häufigste Ursache von Harnwegsinfektionen. Außerdem sind die ebenfalls zu den gramnegativen Stäbchen zählenden Bakterien **Proteus** und **Klebsiella** sowie Enterobacter und die schon erwähnten Staphylokokken wichtige Erreger im Harntrakt. Ursache für Harnwegsinfektionen sind neben Harnstauungen in Harnleitern oder Harnröhre vor allem die Dauerkatheter durch die Bakterien von der Hautoberfläche in den Harntrakt verschleppt werden.

## Infektionen durch Mykobakterien

Der Erreger der Tuberkulose, **Mycobacterium tuberculosis**, wird durch Tröpfcheninfektion übertragen, wobei die Erreger in sehr kleinen Tröpfchen bis in die Alveolen gelangen. Dort werden sie zwar von Makrophagen phagozytiert, können sich aber in diesen wie auch extrazellulär im Lungengewebe weitervermehren. Über die Lymphwege streuen sie dann ins Blut (s. BSG).

## Antibiotika

Bakterien lassen sich oft durch Gaben entsprechender Antibiotika wie z.B. Penicillin abtöten. Allerdings ist nicht jedes Antibiotikum gegenüber jedem Bakterium wirksam, vielmehr tötet jedes Antibiotikum nur ein bestimmtes Spektrum von Bakterien. Und auch wenn ein bestimmtes Antibiotikum von seinem Hersteller als wirksam, z.B. gegen Staphylokokken, vertrieben wird, können im Einzelfall **Resistenzentwicklungen** das Antibiotikum trotzdem nutzlos werden lassen.

Viele Bakterien haben nämlich die Fähigkeit durch Erweiterung oder Änderung ihres Erbgutes Substanzen zu bilden, die das Antibiotikum inaktivieren. Bei jeder unklaren Infektion müssen deshalb die entsprechende Urinprobe, Blutkultur oder der Wundabstrich bebrütet und die gewachsenen Bakterien systematisch auf ihre Empfindlichkeit gegenüber verschiedenen Antibiotika geprüft werden (**Resistenzprüfung**). Eine bereits begonnene Behandlung muß dann unter Umständen entsprechend dem Ergebnis der Resistenzbestimmung auf ein wirksames Antibiotikum umgestellt werden.

6 C

## **Virale Infektionen**

Möglicherweise noch häufiger als von Bakterien werden wir Menschen jedoch von viralen Infektionen befallen. Die meisten Erkältungskrankheiten wie Schnupfen, Grippe, Bronchitiden, gehören genauso hierzu wie die überwiegende Zahl von Leber- oder Hirnhautentzündungen.

Auch die Mehrzahl der Kinderkrankheiten werden von Viren ausgelöst. Bei viralen Infektionen besteht das Problem daß nur in wenigen Fällen wirksame Medikamente (*Virostatika*) zur Verfügung stehen.

Wie bereits erwähnt, haben Viren keinen eigenen Stoffwechsel, da ihnen jede Möglichkeit zur Proteinsynthese fehlt. Sie bestehen nur aus Erbgut und zwar DNA oder RNA und einer meist geometrisch-regelmäßig geformten Virushülle. Dementsprechend werden Viren auch als DNA- oder RNA-Viren klassifiziert. Um sich vermehren zu können, infizieren sie deshalb eine menschliche, tierische oder pflanzliche Wirtszelle, in der sie ihr eigenes Erbgut freisetzen. Dieses Erbgut wird in das Erbgut der Wirtszelle eingebaut und veranlaßt nun deren Proteinsyntheseapparat, tausendfach Viruspartikel zu synthetisieren und zu neuen kompletten Viren zusammenzusetzen.

### Herpesvirus

Alle bedeutsamen Viren der Herpesgruppe haben eine gemeinsame Eigenschaft: Sie können lebenslang in Nervengewebe, in Speicheldrüsen oder Blutzellen persistieren (*überleben*). Dabei bleiben einige Arten im allgemeinen latent, also ohne Krankheitszeichen. Erst bei Abwehrschwäche oder anderen Störungen - ein Sonnenbrand kann schon ausreichen - brechen die Viren aus ihrer Latenz aus, vermehren sich schlagartig und führen zur sichtbaren Erkrankung.

Das **Herpes simplex-Virus Typ I** befällt lokal die Lippen- oder Mundschleimhaut, wobei kleine schmerzhaft Bläschen entstehen, die unter intensivem Juckreiz in 2 - 3 Wochen abheilen. In seltenen Fällen kann es zum Befall des Gehirns in Form einer Herpes-Enzephalitis kommen, die man jedoch heute durch rechtzeitige Gabe des Virostatikums Aciclovir (Zovirax<sup>®</sup>) erfolgreich bekämpfen kann.

Das **Herpes simplex-Virus Typ II** bevorzugt das Genitale, wo es sich entlang der Schamlippen oder des Penis ausbreitet und starken Juckreiz erzeugt.

Windpocken und Gürtelrose

Die Windpocken werden vom **Varizellen-Zostervirus (VZV)** ausgelöst, ebenfalls ein Vertreter der Herpesfamilie. Dabei kommt es an Gesicht und Stamm, weniger an den Extremitäten, zu einem generalisierten knötchen- und bläschenförmigen Hautausschlag, der erst nach mehreren Wochen wieder abklingt. Die Viren verbergen sich dann in Spinalganglien entlang der Wirbelsäule.

Mehrere Jahrzehnte nach der Windpockeninfektion kommt es bei manchen (älteren) Erwachsenen zum Varizellen-Zoster-Rezidiv, diesmal in Form der **Gürtelrose (Herpes Zoster)**. Jetzt wandert das Virus aus den Ganglienzellen aus und verursacht meist einseitige, sehr schmerzhaft entzündungen des vom betroffenen Ganglion versorgten Hautbereiches. Äußerlich kann man den entzündeten Hautbezirk oft an einem gürtelförmigen, von der Wirbelsäule bis zur Bauch- oder Brustmitte ziehenden, rötlichen Ausschlag mit Bläschenbildung erkennen.

## Poliovirus

Dieses sehr häufig vorkommende Virus wird meist durch Schmierinfektionen übertragen und führt in über 99 %, der Fälle zu allenfalls leichten grippeähnlichen Krankheitserscheinungen. Nur sehr selten erreicht das Virus über Blut und Nerven das Rückenmark und das Großhirn und verursacht durch Zerstörung von Motoneuronen, die für die Skelettmuskulatur zuständig sind, bleibende Lähmungen an den Extremitäten, die der Krankheit ihren Schrecken und Namen gegeben haben. Seit Einführung der Schutzimpfung in der Mitte der 60er Jahre ist die Kinderlähmung sehr selten geworden. Immer wieder aber treten Neuinfektionen bei Nicht-Geimpften auf (s. SEMINAR „BSG“).

## AIDS

Das **erworbene Immundefektsyndrom (Acquired Immune Deficiency Syndrome)** ist eine 1981 erstmals beschriebene Immunschwächekrankheit, die Folge einer Infektion mit dem **Humanen Immundefizienz-Virus (HIV)** ist. Sie breitet sich als Pandemie (*weltweite Infektion*) rasch aus, am schnellsten in Afrika und Asien, wo in einigen Regionen schon bis zu 30% der erwachsenen Männer infiziert sind.

Da das Virus nur in Flüssigkeiten überleben kann, wird die Krankheit ausschließlich durch den Kontakt mit infizierten Körpersekreten weitergegeben. Hohe Viruskonzentrationen findet man in Blut, Sperma und Vaginalsekreten, daher sind das „needle sharing“ Heroin-süchtiger und der ungeschützte Geschlechtsverkehr die Hauptübertragungswege der Krankheit.

Als Folge der Infektion werden die T-Helferzellen zerstört. Hierdurch entwickelt sich eine Abwehrschwäche, die nach einer monate- bis jahrelangen Latenz (symptomlosen Zeit) zu einer starken Anfälligkeit gegenüber sonst ungefährlichen Krankheitserregern führt. In der Folge häufen sich opportunistische Infektionen. Die meisten Patienten sterben schließlich an solchen opportunistischen Infektionen, z.B. des Gehirns oder der Lunge.

Die mit der HIV-Infektion verbundenen Krankheitsbilder werden in vier Stadien unterteilt:

**Stadium I:** Einige Wochen nach der Infektion grippeähnliche Symptome, die bei der Mehrzahl der Infizierten jedoch fehlen

**Stadium II:** Latente Infektion ohne Krankheitssymptome

**Stadium III:** Lymphknotenschwellung an mehreren Körperregionen. Bis einschließlich dieses Stadiums spricht man noch nicht von AIDS.

**Stadium IV:** Nach durchschnittlich zehn Jahren entwickelt sich das AIDS-Vollbild. Zuerst äußert es sich am häufigsten durch eine schleichende, langwierige Lungenentzündung, die durch das ansonsten völlig harmlose Protozoon *Pneumocystis carinii* (PC) ausgelöst wird.

Früher oder später treten bei praktisch allen AIDS-Patienten auch Pilzbesiedlungen der Mundhöhle auf. Rezidivierende, monatelang anhaltende Durchfälle können zu erheblichem Gewichtsverlust führen. Schwerwiegend sind auch die zerstörerischen Effekte des HIV-Virus im ZNS. Es kann sowohl zu Tumoren als auch zu Hirnatrophie mit Persönlichkeitsveränderungen (Demenz) und zu schleichenden Hirnentzündungen kommen.

Obwohl AIDS unheilbar und die HIV-Infektion unumkehrbar ist, sind doch mehrere wirksame Behandlungsstrategien verfügbar. Therapieprinzipien sind:

- durch gesunde Lebensweise unter Vermeidung immunschwächender Faktoren (UV Licht, Streß, konsequente Behandlung anderer Erkrankungen) das Fortschreiten der Krankheit hinauszögern;
- die Vermehrung des Virus im Körper hemmen. Eingesetzt wird zur Zeit vor allem **AZT** (Retrovir<sup>®</sup>). Es hat jedoch gravierende Nebenwirkungen vor allem auf die Blutbildung im Knochenmark. Außerdem scheint das Virus mit der Zeit resistent gegen AZT zu werden, weshalb der frühe Einsatz neuerdings wieder umstritten ist.
- Die opportunistischen Infektionen konsequent und bei Bedarf auch prophylaktisch behandeln. Das gilt vor allem für die PC-Pneumonien und die Mykosen, die beide gut behandelbar sind.
- angemessene psycho-soziale Unterstützung gewährleisten.

Dennoch versterben über 80% der AIDS-Infizierten 6 - 24 Monate nach Erreichen von Stadium IV.

## ***Pilzinfektionen***

Die in Mitteleuropa verbreiteten Pilze vermögen beim Gesunden nur oberflächliche Infektionen, sogenannte **Dermatomykosen** auf Haut oder Schleimhaut hervorzurufen. Diese Haut- und Schleimhautmykosen lassen sich in der Regel leicht durch lokal wirksame Antimykotika behandeln (z.B. Canesten<sup>®</sup> oder Nystatin).

Bei ausgeprägter Abwehrschwäche können manche Pilzarten jedoch ins Blut vordringen und innere Organe wie Lunge, Herz oder Gehirn befallen, sogenannte **Systemmykosen**.

Am häufigsten sind die **Sproßpilze** oder **Hefen**. Diese eiförmigen Pilze sind etwas kleiner als rote Blutkörperchen und vermehren sich durch Aussprossung. Bedeutendster Vertreter unter den Hefen ist **Candida albicans**.

Die sehr häufigen Candida-Infektionen heißen **Soor**. Sie entstehen alle endogen, also von anderen Körperstellen des Patienten ausgehend, und treten stark gehäuft bei Diabetikern auf.

Beispiele sind:

- Der Vaginalsoor der Scheide, besonders häufig während der Schwangerschaft und bei Einnahme der „Pille“ (Östrogene begünstigen Candida-Besiedlung);
- Soor im Windelbereich bei Säuglingen (*Windeldermatitis*),

- Mundsoor mit weißen Mundschleimhautbelägen,
- Speiseröhrensoor.

Neben Sproßpilzen verursachen auch **Fadenpilze** häufig Infektionen beim Menschen, z.B. Fußpilzkrankungen oder Nagelmykosen, die z.B. in Schwimmbädern übertragen werden. Mehr als die Hälfte der erwachsenen Bevölkerung, man spricht von 70%, ist von Hautmykosen in den Zehenzwischenräumen betroffen. Zu ihrer Bekämpfung ist neben einer Antimykotika-Therapie das Trockenhalten der Füße wichtig.

Schimmelpilze, aus denen auch viele Antibiotika, wie z.B. das Penicillin gewonnen werden, sind zwar in der Umwelt außerordentlich weit verbreitet, verursachen jedoch nur bei schwer immungeschwächten Patienten Lungen-, Ohr- oder, wenn der gesamte Organismus betroffen ist, Systemmykosen.

## ***Protozoeninfektionen, Parasitosen***

### Protozoeninfektionen

Die weltweit häufigste Protozoeninfektion ist die Malaria (über 1 Million Todesfälle jährlich). Die Malariaerreger vermehren sich in den roten Blutkörperchen des Menschen, zerstören diese und führen durch Blutarmut und wiederkehrende Fieberanfälle zu einem häufig lebensbedrohlichen Krankheitsbild. Am häufigsten wird der Malariaerreger durch Stiche der Anophelesmücke in den tropischen und subtropischen Regionen Asiens, Afrikas und Amerikas übertragen. Ferntouristen bringen die Infektion in zunehmender Zahl mit nach Europa. Die Erkrankung kann auch noch bis zu zwölf Monaten nach dem Mückenstich ausbrechen (s. SEMINAR „BSG“).

### Wurmerkrankungen

Wurmerkrankungen (**Helminthosen**) sind in der Dritten Welt weit verbreitet und ein Zeichen von ungenügenden hygienischen Lebensbedingungen. In den Industriestaaten kommen nur wenige Wurmartarten gehäuft vor, so z.B. der **Rinderbandwurm (Taenia saginata)**. Er ist, wie auch der verwandte **Schweinebandwurm (Taenia solium)**, weit verbreitet, wobei die Larvenstadien beim Rind oder Schwein, den sogenannten **Zwischenwirten**, die Muskulatur und Organe befallen. Beim Genuß von *rohem Fleisch* befallener Tiere gelangen die Larven in den Darm des Menschen (Endwirt), wo sie zu Würmern von mehreren Metern Länge heranwachsen. Die Eier dieser Würmer werden über den Kot ausgeschieden und vom Rind über fäkalgedüngtes Gras wieder aufgenommen, wo erneut die Larven schlüpfen.

Der Patient bemerkt vom Bandwurmbefall meist nur einen mäßigen Gewichtsverlust und unspezifische Verdauungsstörungen wie z.B. Blähungen oder gelegentliche Durchfälle. Im Gegensatz dazu fungiert bei Infektionen mit **Hundebandwürmern (Echinokokken)** der Mensch als **Zwischenwirt** und ist dabei durch Organbefall mit Ausbildung von zystischen Herden in Leber, Lunge oder ZNS gefährdet.

### Erkrankungen durch Milben

Die meisten der weltweit verbreiteten Milbenarten sind für den Menschen harmlos. Nur eine einzige Milbenart, die **Krätzmilbe (Sarcoptes scabiei)** kann den Menschen befallen

und Eier in Hautgänge ablegen. Die resultierende Hauterkrankung wird wegen des starken Juckreizes im Volksmund als **Krätze** bezeichnet (s. SEMINAR „BSG“). Häufiger jedoch sind Milben auf anderem Wege Ursache von Gesundheitsstörungen: Der Kot der sogenannten Hausstaubmilbe kann für allergische Erscheinungen, wie z.B. Asthmaanfälle oder Hautrötungen, verantwortlich sein.

### Insektenbefall

Die einige Millimeter großen **Kopfläuse (Pediculus capitis)** sind nicht selten in Kindergärten oder Schulen zu finden. Sie werden durch Käämme oder Mützen übertragen. Das Hauptsymptom ist intensiver Juckreiz. Die Eier der Läuse kleben an den Haaren fest und lassen sich mit dem Auge oder einer Lupe leicht erkennen.

**Filzläuse** sind meist im behaarten äußeren Genitale zu finden. Sie werden beim Geschlechtsverkehr übertragen und verursachen ebenfalls Juckreiz sowie, durch das Kratzen bedingt, Hautentzündungen.

<u>Organismus</u>	<u>Merkmal</u>	<u>Beispiele</u>
<b>Bakterien</b>	Zählen zu den Prokaryonten*. Prokaryonten besitzen keine Mitochondrien und keinen festen Zellkern. Das Erbgut liegt lose (z.B. als langer DNS-Faden) im Zytoplasma (dadurch können sie sich aber viel schneller als Eukaryonten vermehren)	Streptokokken, Staphylokokken, Salmonellen, Escherichia coli, Proteus, Klebsiellen. Sonderformen: Rickettsien und Mykoplasmen (extrem klein, nur von dünner Membran umhüllt)
<b>Viren</b>	Kleinste mikrobiologische Erreger. Sie bestehen nur aus Erbinformation (DNA oder RNA), die in einer Hülle verpackt ist. Sie können sich nur in höheren Zellen vermehren und werden deshalb als Sonderform des Lebens bezeichnet	Grippe-, Hepatitis-, AIDS-, Herpes-, Pocken-, Masern-, Mumps-, Rötelnvirus.
<b>Pilze</b>	Pflanzenähnliche Mikroorganismen, die jedoch keine Photosynthese (pflanzliche Energiegewinnung aus	Candida albicans (Hefepilz), Aspergillus (Schimmelpilz)

CO<sub>2</sub>, und Sonnenlicht) durchführen können

**Würmer,  
Insekten**

Als Parasiten wichtige tierische Krankheitserreger

Taenia saginata (Rinderbandw.)  
Taenia solium (Schweinebandwurm)  
Pediculus capitis (Kopflaus)  
Sarcoptes scabiei (Krätzmilbe)

**Protozoen** Tierische Einzeller werden ebenfalls zu den Parasiten gezählt (Urtierchen)

Plasmodien (Erreger der Malaria)  
Trypanosomen (E.d.Schlafkrankheit)  
Trichomonaden, Amöben

*\* Im Gegensatz dazu zählen Tiere, Pflanzen, Pilze und Protozoen zu den **Eukaryonten**. Bei den Zellen der Eukaryonten ist das Erbmaterial, die Chromosomen also, in einem Kern zusammengefaßt, der durch eine Kernmembran vom Zytoplasma getrennt wird.*