

Telekolleg Biologie 7 Das Immunsystem

Roland Heynkes, 2.5.2008

eine Fernseh-Dokumentation als Selbstlernmaterial

Das Telekolleg der Bundesländer Bayern, Brandenburg und Rheinland-Pfalz zeigt zum Fach [Biologie](#) im Fernsehen eine Sendung über das [Immunsystem](#). Dabei handelt es sich um eine erst 2006 produzierte Vorlesung für Lernende, die berufsbegleitend die Mittlere Reife oder Fachhochschulreife anstreben. Auch wenn ich nicht jeder ihrer Aussagen zustimmen kann und einiges für erklärungsbedürftig halte, präsentiert die Schauspielerin Julia Fischer diese Vorlesung verständlich und humorvoll und veranschaulicht den [Stoff](#) durch zahlreiche Animationen. Umfang und Geschwindigkeit der [Stoff](#)vermittlung dürften den meisten Schülern erst nach einer ausführlichen Behandlung des Themas im Unterricht zumutbar sein, aber zur Wiederholung eignet sich die Präsentation sehr gut. An einigen Stellen ergänze ich meine Zusammenfassung des Films zum besseren Verständnis um zusätzliche Erläuterungen.

Der bayerische Rundfunk stellt zu seinem Telekolleg [Biologie](#) 7 Das [Immunsystem](#) eine [Internetseite mit Videos und weiteren Informationen](#) zur Verfügung:

<http://www.br.de/telekolleg/faecher/biologie/biologie-07-immunsystem100.html>

Lymphsystem und Organe des Immunsystems

Mit einer fluoreszierenden Flüssigkeit wurde schon in den 50er Jahren gezeigt, dass sich der Nasenschleim eines erkälteten Gastes im Verlauf einer Party fast überall im ganzen Raum und auf allen Anwesenden verteilt. Trotzdem sind wir nicht ständig krank, weil uns unsere Haut und unser [Immunsystem](#) schützen. Letzteres wird gebraucht, wenn durch [natürliche Körperöffnungen](#) oder nach Verletzungen [Krankheitserreger](#) in unsere [Körper](#) gelangen. An unserem [Immunsystem](#) beteiligen sich die [Organe Knochenmark, Milz, Thymus](#) und die [Lymphknoten](#). Außerdem besteht es aus verschiedenen Arten sogenannter weißer [Blutkörperchen](#), die in Wirklichkeit farblos sind. Das [Lymphsystem](#) entwässert die [Gewebe](#), durchfließt die [Lymphknoten](#) und transportiert das Gewebewasser in die linke Schlüsselbeinvene des [Blutkreislaufs](#). Die [Lymphknoten](#) enthalten besonders viele weiße [Blutkörperchen](#) und sind deshalb Zentren der [Krankheitsabwehr](#). Die bekanntesten [Lymphknoten](#) an einer wichtigen [Körperöffnung](#) sind die Mandeln. Sie schwellen an, wenn unser [Immunsystem](#) gegen Atemwegs-[Infektionen](#) kämpft.

Blutstammzellen und Differenzierung

Während rote [Blutkörperchen \(Erythrozyten\)](#) [Sauerstoff](#) zu den [Zellen](#) sowie [Kohlenstoffdioxid](#) zur [Lunge](#) transportieren und [Blutplättchen \(Thrombozyten\)](#) bei Verletzungen das [Blut](#) gerinnen lassen, bilden weiße [Blutkörperchen \(Leukozyten\)](#) das [Immunsystem](#). Alle [Blutzellen](#) stammen von den selben [Blutstammzellen](#) ab, die man hauptsächlich im [Knochenmark](#) findet. In ihm reifen die meisten [Blutzellen](#) heran und es scheint bevorzugte Orte ([Nischen](#)) zu enthalten, an denen [Stammzellen](#) [Stammzellen](#) bleiben können. Bei jeder [Zellteilung](#) kann nur eine der beiden [Tochterzellen](#) [Blutstammzelle](#) bleiben. Die andere muss sich ein wenig stärker spezialisieren und wird zu einer untergeordneten oder noch stärker [determinierten Stammzelle](#), aus der nicht mehr alle Arten von [Blutkörperchen](#) werden können. [Lymphatische Stammzellen](#) produzieren nur noch [Lymphozyten](#), während die [Tochterzellen myeloischer Stammzellen](#) noch zu allen anderen [Blutzellen differenzieren](#) können. Irgendwann ist die [Differenzierung](#) soweit fortgeschritten, dass eine der beiden [Tochterzellen](#) einer

determinierten Stammzelle keine Stammzelle mehr werden kann, sondern nur noch eine Vorläuferzelle. Vorläuferzellen haben nur noch eine bestimmte Höchstzahl weiterer Zellteilungen vor sich und bei jeder Zellteilung entstehen zwei Tochterzellen, die sich weiter differenzieren müssen. Am Ende stehen voll differenzierte und damit auch voll funktionsfähige Blutzellen, die mit Ausnahme sogenannter Gedächtniszellen eine relativ kurze Lebensdauer haben.

Zellen des Immunsystems

Die kleinen runden Lymphozyten haben große, runde Zellkerne. Aus Leukozyten mit gelappten Zellkernen entwickeln sich Histamin produzierende rundliche Mastzellen, sternförmige dendritische Zellen oder Makrophagen, die ihre Form verändern können. Bei Lymphozyten unterscheidet man zwischen B- und T-Lymphozyten, wobei T-Lymphozyten entweder T-Helferzellen oder T-Killerzellen sein können. T-Helferzellen suchen und binden mit speziellen Rezeptoren Antigene auf den MHC-2-Präsentiertellern von Makrophagen, dendritischen Zellen oder B-Zellen. T-Killerzellen hingegen können mit fremden Antigenen nur dann etwas anfangen, wenn sie auf den MHC-1-Präsentiertellern normaler Körperzellen präsentiert werden. Jede T-Zelle konstruiert sich nach dem Zufallsprinzip ganz individuell aus Gen-Bausteinen ein einmaliges Gen für einen T-Zell-Rezeptor, mit dem sie jeweils ein Antigen binden kann. Erkennt der Rezeptor zufällig ein Antigen des eigenen Körpers, dann wird die T-Zelle normalerweise im Thymus eliminiert. Geschieht das versehentlich nicht, dann bleiben solche potentiell gefährlichen T-Zellen inaktiv oder tolerant, solange ihnen nicht von dendritischen Zellen genau passende Antigene präsentiert werden. T-Helferzellen können Botenstoffe auszusenden, während T-Killerzellen ein Zellgift ausstoßen können. Aus allen Lymphozyten können nach einer überstandenen Infektion Gedächtniszellen werden. Sie sind dafür verantwortlich, dass wir einige Krankheiten nur einmal bekommen. Erkennen nämlich diese Gedächtniszellen einen alten Bekannten unter den Krankheitserregern wieder, dann bekämpfen sie ihn ohne Verzögerung sofort massiv und lassen die Krankheit gar nicht erst ausbrechen. Ganz allgemein stärken lässt sich das Immunsystem durch leichten Sport, Saunabesuche und Wechselduschen oder durch pflanzliche Wirkstoffe.

angeborenes und spezifisches Immunsystem

Die erste Verteidigungsfront bildet das sogenannte angeborene oder unspezifische Immunsystem. Zu ihm gehören Makrophagen und dendritische Zellen, die aus dem Blut in die engen Räume zwischen den Zellen eines Gewebes einwandern und unspezifisch jeden Krankheitserreger umfließen und auffressen. Man kann Makrophagen und dendritische Zellen zu den Fresszellen und zu den Antigen-präsentierenden Zellen zählen, weil beide Krankheitserreger fressen, zerlegen und auf ihren MHC-2-Präsentiertellern zeigen. Dendritische Zellen fressen allerdings nur wenige Krankheitserreger, sondern überlassen die Hauptarbeit als Fresser an der Front den Makrophagen. Bakterien teilen sich unter optimalen Bedingungen alle 20 Minuten. Deshalb könnten aus einem Bakterium in nur 4 Stunden 4096 und in 8 Stunden fast 17 Millionen werden. So kann es passieren, dass sich Krankheitserreger schneller vermehren, als die Fresszellen fressen können. Dann benötigen wir zusätzlich die sogenannte erworbene Immunabwehr, die 3-4 Tage nach Beginn einer Infektion bereit ist. Um diese zweite Verteidigungslinie des erworbenen oder spezifischen Immunsystems zu aktivieren, präsentieren die dendritischen Zellen vor allem fremde Antigene auf MHC-2-Präsentiertellern und wandern dazu aus infizierten Geweben in die Lymphknoten, um dort Lymphozyten mit genau zum jeweiligen Antigen passenden Rezeptoren zu suchen. T-Helferzellen mit passenden Rezeptoren werden durch das präsentierte Antigen im Lymphknoten aktiviert, teilen sich vielfach und wandern angezogen von Botenstoffen der fressenden Makrophagen zum infizierten Gewebe.

Dort dringen sie zusammen mit [B-Lymphozyten](#) und Lymphflüssigkeit in das betroffene [Gewebe](#) ein, welches dadurch anschwillt.

B-Zellen und Antikörper

Im Verlauf seiner [Differenzierung](#) bastelt sich jeder [B-Lymphozyt \(B-Zelle\)](#) nach dem Zufallsprinzip ganz [individuell](#) einen einzigartigen Bauplan für einen [Antikörper](#). Nach diesem Bauplan produziert jede [B-Zelle](#) anschließend [Antikörper](#) und zeigt diese auf ihrer Zelloberfläche. Mit diesen [Antikörpern](#) kann jede [B-Zelle](#) ein anderes [Antigen](#) ganz [spezifisch](#) binden. Die [Antikörper](#) werden also nicht als Reaktion auf ein [Antigen](#) nach Bedarf speziell konstruiert, sondern einfach in möglichst großer Vielfalt. Dabei entstehen auch gegen den eigenen [Körper](#) gerichtete [Antikörper](#). Die entsprechenden [B-Zellen](#) sind [potentiell](#) gefährlich. Allerdings werden [B-Zellen](#) normalerweise nicht ohne Aktivierung durch eine passende [T-Helferzelle](#) aktiv. Wenn aber zufällig ein [Antikörper](#) auf der Oberfläche einer [B-Zelle](#) genau zu einem [Antigen](#) auf einem vorbei kommenden [Krankheitserreger](#) passt, dann werden mit dem [Antikörper](#) das [Antigen](#) und der daran hängende [Krankheitserreger](#) in die [B-Zelle](#) hinein gezogen. Im Inneren der [B-Zelle](#) wird der [Krankheitserreger](#) zerlegt. Auf den [MHC-2-Präsentierern](#) werden aber nicht einfach sämtliche Bruchstücke präsentiert, sondern nur die von den [Antikörpern](#) geangelteten [Antigene](#). Bindet eine aktivierte [T-Helferzelle](#) mit einem genau zum von der [B-Zelle](#) präsentierten [Antigen](#) passenden [T-Zell-Rezeptor](#) an das [Antigen](#) auf dem [Präsentierer](#), dann wird die [B-Zelle](#) aktiviert und teilt sich vielfach. Die [Tochterzellen](#) reifen zu sogenannten [Plasmazellen](#) heran, von denen jede etwa 2000 [Antikörper](#) pro Sekunde in die [Umgebung](#) abgibt. Diese [Antikörper](#) markieren, verklumpen oder töten dann den [Krankheitserreger](#) mit dem [Antigen](#). Töten können die [Antikörper](#) allerdings nicht allein, sondern mit Hilfe des Komplementsystems, dessen [Proteine](#) sich an der Oberfläche von [Bakterien](#) anheften und diese geradezu durchlöchern.

Autoimmunkrankheiten

Ein Beispiel für [Autoimmunkrankheiten](#) ist Typ-1-[Diabetes](#). Die [Insulin](#) produzierenden β -Zellen des [Pankreas](#) werden von [T-Killerzellen](#) getötet, die von [T-Helferzellen](#) aktiviert wurden. Es gibt erbliche Neigungen, auf diese Weise [Diabetes](#) zu entwickeln, oft geschieht das aber nach einer [viralen Infektion](#) der [Bauchspeicheldrüse](#). Warum das so ist, weiß man noch nicht.

Mastzellen sollen bei der Abwehr von Parasiten helfen.

Die mit [Makrophagen](#) und [dendritischen Zellen](#) verwandten [Mastzellen](#) patrouillieren unter den obersten Zellschichten von Haut und Schleimhäuten, um eindringende [Parasiten](#) zu bekämpfen. Auf ihren Oberflächen tragen [Mastzellen](#) [Antikörper](#). Sobald fremde [Enzyme](#) oder [Parasiten](#) von diesen [Antikörpern](#) gebunden werden, schütten die [Mastzellen](#) ein Gemisch von Giftstoffen aus, unter denen auch Histamin ist. Die [Mastzellen](#) vergiften allerdings nicht nur die [Parasiten](#), sondern auch die [Zellen](#) des umliegenden [Gewebes](#). Histamin bewirkt eine Kontraktion der benachbarten [Muskulatur](#) und verengt die [Blutgefäße](#), deren Wände gleichzeitig weniger dicht werden. Dies erleichtert zusätzlichen weißen [Blutkörperchen](#) das Eindringen in das [infizierte Gewebe](#), während noch nicht vergifteten [Parasiten](#) der Weg in den [Körper](#) versperrt wird.

Allergien

Eine andere Fehlfunktion des [Immunsystems](#) ist die [Allergie](#), unter der in wohlhabenden Staaten viele Menschen leiden. [Allergien](#) entstehen, wenn harmlose Fremdstoffe von speziellen [Antikörpern](#) gebunden werden, die anschließend an [Mastzellen](#) binden und diese gegen das gebundene [Antigen](#) sensibilisieren. Kommt das gleiche [Antigen](#) später noch einmal mit den [Antikörpern](#) auf einer [Mastzelle](#) in Kontakt, dann schüttet diese Gifte aus, um den vermeintlichen [Krankheitserreger](#) zu bekämpfen. Geschädigt wird dann aber nur eigenes [Gewebe](#). Bei Allergikern kann die Darmschleimhaut allergisch auf bestimmte [Nahrungsmittel](#) reagieren oder Milbenkot und [Blüten-Pollen](#) an den Nasenschleimhäuten führen zu Hausstaub-[Allergien](#) bzw. Heuschnupfen. Besonders gefährlich sind [Allergien](#) gegen [Medikamente](#) oder [Insektenstiche](#), aber auch harmlosere [Allergien](#) können sich zu Astma weiter entwickeln. [Nahrungsmittel-Allergien](#) können ausheilen, wenn man "einfach" einige Jahre auf das [Allergene Nahrungsmittel](#) meidet. Auf [Haustiere](#) können Menschen mit entsprechenden [Allergien](#) verzichten. Das Einatmen von [Pollen](#) und Hausstaub lässt sich aber nicht völlig vermeiden. Gegen solche [Allergien](#) hilft nur eine Hyposensibilisierung, die in 9 von 10 Fällen erfolgreich ist. Dabei spritzt man über längere Zeiträume immer höhere [Konzentrationen](#) des [Allergens](#), bis sich das [Immunsystem](#) daran gewöhnt hat.

HIV und AIDS

Das spätestens 1959 im Kongo von einem Schimpansen auf einen Menschen übertragene SI-[Virus](#) bringt seinen [Bauplan](#) in [Makrophagen](#) und [T-Helferzellen](#) und baut sich in die [DNA](#) der [Zellen](#) ein. Darin kann es sich über viele Jahre völlig ruhig verstecken. Wird es aus noch unbekanntem Gründen wieder aktiv und zwingt die [Zelle](#) zur Massenproduktion von neuen HI-[Viren](#), dann präsentieren die [Zellen](#) die [Virus-Proteine](#) als körperfremde [Antigene](#) auf ihren [MHC-1-Präsentiertellern](#) und werden dadurch zu Angriffszielen der [T-Killerzellen](#), die ihrerseits durch [dendritische Zellen](#) aktiviert wurden. Aktivierte [T-Killerzellen](#) teilen sich bis zu 16 mal (Aus einer aktivierten [T-Killerzelle](#) können fast 33.000 werden.) und können so sehr viele [infizierte Körperzellen](#) gleichzeitig töten. Kurzfristig wird dadurch die [Vermehrung](#) der HI-[Viren](#) behindert, aber langfristig verliert das [Immunsystem](#) mit den [T-Helferzellen](#) eine wichtige Steuerung. Wenn ohne Behandlung nach durchschnittlich 10 Jahren die [Konzentration](#) der [T-Helferzellen](#) im [Blut](#) von 1200 auf unter 200 pro μl sinkt, dann erkrankt der Mensch an AIDS und sein [Immunsystem](#) ist so schwach, dass er an normalerweise harmlosen [Infektionskrankheiten](#) stirbt. Ein typisches Beispiel dafür ist der bei AIDS-Kranken häufige Karposi-Hautkrebs, der von normalerweise relativ harmlosen Herpes-[Viren](#) verursacht wird. Übertragen wird HIV durch [Blut](#), Muttermilch und Sexualkontakte. Aufgrund einer sehr hohen [Mutationsrate](#) wird das HI-[Virus](#) schnell immun gegen [Medikamente](#), die das [virale Hüllprotein](#) zum Andocken blockieren. Ein anderes [Medikament](#) blockiert den Einbau des HIV-[Bauplans](#) in die menschliche [DNA](#), verhindert aber nicht die HIV-[Vermehrung](#). Die heutige Kombinationstherapie war offenbar noch nicht bekannt, als die Sendung produziert wurde.