

Dokumentation: "Die Reise ins Innere der Zelle"

Roland Heynkes, 9.10.2016

Klausur-ähnliche Aufgaben zur Erarbeitung der Dokumentation: "Die Reise ins Innere der Zelle"

1	Erkläre , wie sich Virus-infizierte Zellen automatisch als solche zu erkennen geben!
2	Entwickle eine Hypothese zur Erklärung der Tatsache, dass man mit Hilfe von Antikörpern verschiedene Zelltypen des Menschen unterscheiden kann!
3	Beschreibe die Rolle der T-Killerzellen bei der Virus-Bekämpfung!
4	Entwickle eine Hypothese zur Erklärung der Tatsache, dass T-Killerzellen auch Krebszellen bekämpfen!
5	Nenne sämtliche (4) Wirkungen der Antikörper im Kampf gegen Viren!
6	Erkläre , wie ein Adenovirus die Barriere der Zellmembran überwindet!
7	Beschreibe die Entstehung, die Tätigkeit und das Ende eines Endosoms bei einer Schnupfen-Infektion!
8	Erkläre , warum das Virus die Fusion "seines" Endosoms mit einem (primären) Lysosom nicht abwarten darf!
9	Nenne das Problem, das jedes aus einem Endosom entkommene Virus hat!
10	Beschreibe , unter welchen Umständen und wodurch ein Virus im Zytoplasma vernichtet werden kann!
11	Erkläre , warum man auch Proteasome als Organellen bezeichnen kann und warum sie wichtig für die Translation sind!
12	Nenne 3 Rollen, die das Zytoskelett spielt!
13	Charakterisiere den Trick, mit dem das Adenovirus aus der Peripherie zum Zellkern kommt und sich dort die Unterstützung der Kernporenarme erschleicht!
14	Erkläre , warum ein Virus mehr als nur ein Motorprotein braucht!
15	Erkläre , warum der Transport von Proteinen zum Golgi-Apparat Energie verbraucht und wie diese bereitgestellt wird!
16	Erkläre , warum man Mitochondrien als Kraftwerke der Zelle bezeichnet!
17	Nenne einen im Film erkennbaren sowie einen weiteren Unterschied zwischen den dicken Chromatinfäden und einem gerade transkribierten Gen!
18	Beschreibe , wie der Bauplan eines Adenovirus aus seiner Hülle in den Zellkern einer infizierten Zelle gelangt!
19	Entwickle eine Hypothese zur Erklärung des aufwändigen Transports von Virus-Proteinen in den Zellkern!
20	Charakterisiere die Strategie, mit der das Adenovirus aus dem Zellkern in den Interzellularräum kommt!
21	Fasse zusammen , wie es steht im Kampf zwischen der Menschheit und ihren viralen Angreifern!
22	(nur für die Jahrgangsstufe 10) Stelle die Aufgabe der Proteasomen dar, entwickle eine Arbeitshypothese zu der Frage, was sie dafür benötigen und leite daraus mögliche Experimente zu ihrer Überprüfung ab!
23	(nur für die Jahrgangsstufe 10) Diskutiere , was für und was gegen die Anerkennung des Proteasoms als Organell spricht!
24	(nur für die Jahrgangsstufe 10) Erkläre , warum die RNA-Polymerase ein Enzym sein muß!
25	(nur für die Jahrgangsstufe 10) Entwickle eine Hypothese zu der Frage, warum eigentlich Aminosäureketten zu Proteinen gefaltet werden müssen!
26	(nur für die Jahrgangsstufe 10) Beschreibe mit möglichst vielen Details die Vorgänge bei der Zerstörung eines Bakteriums durch eine Fresszelle!

Außerhalb von [Zellen](#) können [Viren](#) nicht [leben](#). Sie wissen nichts, wollen nichts und tun nichts. Trotzdem können sie [Zellen](#) erobern und in ihnen die Kontrolle übernehmen. Dabei wirken [Viren](#) nur durch ihre [Baupläne](#) ([DNA](#) oder [RNA](#)) und die Formen ihrer [Proteine](#), denn die Form bestimmt die [Funktion](#) und die [Funktionen viraler Proteine](#) können verschiedene Wirkungen entfalten. Auch wenn ein [Virus](#) nicht lebt, kann eine durch die [Struktur](#) des [Virus](#) festgelegte Abfolge von Wirkungen verschiedener [Proteine](#) eine [Vermehrung](#) des [Virus](#) bewirken. Erst wenn der [Virus-Bauplan](#) von der [Zelle](#) kopiert, gelesen und realisiert wird, kann man von einem neuen einzelligen [Lebewesen](#) sprechen. Dessen Eigenschaften werden durch die Kombination der [Baupläne](#) von [Zelle](#) und [Virus](#) bestimmt. Die [virale DNA](#) kann jahrelang inaktiv bleiben oder sofort sämtliche Aktivitäten auf die [Virus-Vermehrung](#) konzentrieren. [Virale Genome](#) können sich in die [Baupläne](#) ihrer [Wirtszellen](#) integrieren und an deren [Nachkommen](#) weitergegeben werden. Einzelne [virale Gen](#) können sogar die [Evolution](#) einer [Spezies](#) entscheidend voranbringen.

Heute profitiert die [Biologie](#) von den wirtschaftlichen Erfolgen von Filmindustrie und Computerspielentwicklern. Vor allem deren Geld ermöglichte die [Entwicklung](#) der Computerprogramme, mit denen heute realistische Animationen produziert werden, die den Stand biomedizinischer Forschung durch Filme erfahrbar machen. Im öffentlich-rechtlichen und privaten Fernsehen kann man immer häufiger in Medizinsendungen und wissenschaftlichen Dokumentationen Abläufe betrachten, die im Inneren [lebender Organismen](#) oder [Zellen](#) gar nicht gefilmt werden können. Bei YouTube gibt es inzwischen viele Animations-Videos.

Diese Internetseite fasst zusammen, was man immer wieder in der fantastischen Dokumentation: "Die Reise ins Innere der Zelle" bei N24 im Fernsehen und dann jeweils eine Woche lang in der [N24-Mediathek](#) sehen kann. Im World Wide Web findet man aber auch ständig abrufbare Versionen (z.B.: [hier](#) und [hier](#)). Eine etwas längere und meines Erachtens etwas besser übersetzte Version [zeigt mehrfach auch Servus-TV](#). Zu diesem Selbstlern-Hypertext habe ich ein ["Arbeitsblatt" mit Aufgaben](#) erstellt.

[Zellen](#) sind die kleinsten Einheiten des [Lebens](#), ohne die keine aktiven [Lebensvorgänge](#) möglich sind. Aber obwohl Hunderte bis einige Tausend von ihnen nebeneinander auf einen Stecknadelkopf passen, enthält jede von ihnen einen Mikrokosmos von unvorstellbarer [Komplexität](#) mit etwa einer Milliarde winziger Biomachines. Deshalb ist es ein großes Geschenk für jeden an [Zellen](#) Interessierten, dass heute der neueste Stand der [Zellbiologie](#) durch ausgezeichnete Computeranimationen visualisiert wird. Solch einen Film (Die Reise ins Innere der Zelle) sendete N24 und stellte ihn in seiner Mediathek zur Verfügung, sodass wir ihn uns in Kursen der Jahrgangsstufen 9 und 10 ansehen konnten. Es geht in dem hier zusammen gefassten Film um die [Strukturen](#) einer [Zelle](#), die einen [Viren](#)-Angriff abzuwehren versuchen oder vom [Virus](#) mißbraucht und schließlich zerstört werden. Und es geht um die unglaublich raffinierten Mechanismen, mit denen die winzigen Schnupfen-[Viren](#) (Adenoviren) der mehrstufigen Abwehr des Menschen oft tagelang alles abverlangen. Zwar sind die Kommentare nicht alle korrekt, aber die Bilder und Filmsequenzen sind phantastisch und lassen jedes gedruckte Lehrbuch alt aussehen.

Nach einer neueren Abschätzung ([Ron Sender, Shai Fuchs und Ron Milo - Revised Estimates for the Number of Human and Bacteria Cells in the Body. PLoS Biol 2016, 14\(8\): e1002533](#)) besteht unser Körper aus schätzungsweise 30 Billionen (3×10^{13}) [Zellen](#), die mit ihren Nachbarzellen ständig kommunizieren. Den [Killerzellen](#) des [Immunsystems](#) präsentiert jede [Zelle](#) auf [MHC-1-Präsentiertellern](#) Bruchstücke ([Peptide](#)) aller [Proteine](#), die sie gerade produziert. Dazu werden die [Peptide](#) auf den [Präsentiertellern](#) in [Vesikeln](#) zur Zelloberfläche transportiert und durch Verschmelzung des [Vesikels](#) mit der [Zellmembran](#) auf die Außenseite der Zelloberfläche gebracht. Wird eine [Zelle](#) von einem [Virus](#) zur [Produktion viraler Proteine](#) gezwungen, dann finden [T-Killerzellen](#) mit ihren langen Tentakeln auf den [Präsentiertellern](#) [Eiweißbruchstücke](#), die in gesunden menschlichen [Zellen](#) nichts zu suchen haben. In solchen Fällen geben [Killerzellen](#) den [infizierten Zellen](#) den Befehl zur Selbstzerstörung ([Apoptose](#)).

Zwischen den meist mit einander verbundenen [Zellen](#) [patrouillieren](#) Y-förmige [Antikörper](#), von denen jeder mit jedem seiner beiden Arme eine ganz bestimmte körperfremde Oberflächenstruktur binden kann. Hat unser [Immunsystem](#) einen speziellen [Krankheitserreger](#) schon einmal besiegt, dann produziert es bei einem erneuten Angriff sofort [spezifisch](#) gegen ihn gerichtete [Antikörper](#). Die [Antikörper](#) können mit jedem Arm ein [Virus](#) binden und diese so verklumpen. Sie können [Viren](#) auch einfach als

bevorzugte [Beute](#) der großen [Fresszellen](#) markieren und die Antennen blockieren, mit denen sich Adenoviren Einlass in Schleimhautzellen verschaffen. Ohne diese nachgemachten Schlüssel können die [Viren](#) die [Zellmembran](#) nicht durchdringen. Leider können [Antikörper](#) selten alle [Virus](#)-Antennen blockieren. Nobody is perfect und nichts gelingt immer zu 100%.

Fast immer werden einige nicht blockierte Schlüssel von einem passenden Schloss in Form eines [Rezeptors](#) gefunden, der das [Virus](#) automatisch in die [Zelle](#) hinein zieht. Zu diesem Zweck beult sich die [Zellmembran](#) nach innen ein und bildet um das [Virus](#) herum ein Bläschen, welches sich von der [Zellmembran](#) abschnürt und in die [Zelle](#) hinein transportiert wird ([Endozytose](#)). Man nennt dieses Bläschen [Vesikel](#) oder genauer [Endosom](#). Man sieht, wie dreiarmlige, großen Greiffüßen ähnelnde [Clathrin-Proteine](#) diese Abschnürung von der [Zellmembran](#) bewirken und sich anschließend vom [Endosom](#) wieder lösen.

Die [Endosomen](#) verschmelzen miteinander und pumpen [Protonen](#) in das Innere der [Endosomen](#). Dadurch wird es im Inneren der [Endosomen](#) sauer. Das löst die Antennen von den eingefangenen [Adenoviren](#). Später [fusionieren](#) die [Endosomen](#) mit [Verdauungsenzyme](#) enthaltenden [Lysosomen](#) zu [Endolysosomen](#), die der [Verdauung](#) all ihrer Inhalte dienen. Doch dazu lassen es die [Viren](#) nicht kommen. Denn das Abfallen der [Virus](#)-Antennen setzt ein [Protein](#) frei, welches die Wände des [Endosoms](#) angreift und sprengt.

Die deutschsprachige Fassung von Servus-TV zeigt eine in der N24-Version fehlende Sequenz nach fast 18 Minuten. Darin wird erklärt, dass auf einem [Virus](#) gebundene [Antikörper](#) die Freisetzung der Befreiungs-[Proteine](#) und damit auch die Befreiung des [Virus](#) aus dem [Endosom](#) verhindern könnten.

Nach knapp 20 Minuten erwähnt eine weitere nur bei Servus-TV enthaltene Szene die [Endosymbiontentheorie](#).

Ohne Antennen, aber immer noch mit [intakter Virushülle](#) treiben die [Viren](#) nun knapp unterhalb der [Zellmembran](#) ohne eigenen Antrieb herum und können so noch keinen Schaden anrichten. Sie können sogar vernichtet werden.

In unseren [Zellen](#) bilden [Proteine](#) ein [Zytoskelett](#), das ihnen eine Form gibt, so wie Zeltstangen einem Zelt. Gleichzeitig dient es unzähligen Motorproteinen (Transportproteinen) als dreidimensionales Netzwerk von Transportwegen. Während der [Kernteilungen](#) zieht ein [Spindelapparat](#) genannter Teil des [Zellskeletts](#) die [Chromosomen](#) auseinander, aber in diesem Film kommt es wegen eines [Viren](#)-Angriffs nicht dazu. Immerhin sieht man als Vertreter einer weiteren wichtigen Klasse von [Proteinen](#) einige der unzähligen [Enzyme](#), die fast alle [chemischen Reaktionen](#) in einer [Zelle](#) [katalysieren](#).

Ausgerechnet zelleigene Motorproteine binden manche hilflos umher treibende [Viren](#) und übernehmen mit mehr als 100 Schritten pro Sekunde deren Transport in Richtung [Zellkern](#). Dazu kommt es, weil Hüllproteine des [Virus](#) zelleigene Andockstellen der Motorproteine imitieren. Allerdings können sich diese Transporte*iwei*ße nur in eine Richtung bewegen. Stoßen sie auf ein Hindernis, dann bindet zusätzlich eine weitere Art von Motorproteinen und zieht das [Virus](#) ein Stückchen zurück. Anschließend wird es seitlich auf die andere Seite des Transportweges bewegt und kann danach oft ungehindert seinen Weg fortsetzen.

Hat allerdings das [Virus](#) auf seiner Oberfläche irgendwo einen [Antikörper](#) gebunden, dann kann dieser von speziellen Verteidigungs-[Proteinen](#) entdeckt und markiert werden. Diese Markierung leitet die Zerstörung des [Virus](#) durch ein [Proteasom](#) ein. Eindrucksvoll wird gezeigt, wie tunnelförmige [Proteasome](#) defekte oder unerwünschte und als solche markierte [Proteine](#) oder sogar ganze [Viren](#) in einzelne [Aminosäuren](#) zerlegen.

Von den vielen [Organellen](#) [eukaryotischer Zellen](#) sieht man zunächst die [Mitochondrien](#) als Kraftwerke der [Zelle](#), in deren innerer [Membran](#) von außen nach innen fließende [Protonen](#) winzige Turbinen antreiben. Diese drehen sich mit 1000 Umdrehungen pro Minute und ihre [Bewegungsenergie](#) wird für die [Produktion](#) von [ATP](#) genutzt. [ATP-Moleküle](#) dienen als [universelle](#) mobile [Energielieferanten](#) für unzählige Prozesse in der [Zelle](#).

Unten umgeben vom zugunsten der Übersichtlichkeit überwiegend entfernten [Endoplasmatischen Retikulum](#) sieht man den [Zellkern](#) und in diesem die [DNA](#) als Trägerin des [Bauplans](#) der [Zelle](#). Sie ist zunächst nicht leicht als solche zu erkennen, denn sie wird in ihrer 30 [nm](#) dicken Form der [Chromatinfasern](#) gezeigt. In einem gerade [transkribierten](#) Bereich ist die unverpackte [DNA-Doppelhelix](#) zu

sehen, auf der eine [RNA-Polymerase](#) entlang fährt und eine [RNA-Kopie synthetisiert](#). Deren Verarbeitung zu [mRNA](#) wird nicht gezeigt, aber man sieht die [mRNA](#) durch eine [Kernpore](#) den [Zellkern](#) verlassen und wie sie im [Zytoplasma](#) von einem freien [Ribosom](#) abgelesen wird.

In der [Kernhülle](#) gibt es [Kernporen](#) mit langen Greifarmen, die [Ribosomen](#)-Untereinheiten und andere nützliche Dinge in den [Zellkern](#) hinein ziehen. Das tun sie aber nur, wenn die zu transportierenden Teile eine Erkennungsstruktur auf ihren Oberflächen tragen. Adenoviren imitieren auch diese Erkennungsstruktur, aber sie sind zu groß, um die [Kernporen](#) passieren zu können. Leider kommen wieder seine überlisteten Motorproteine dem [Virus](#) zu Hilfe. Während die Fangarme der [Kernpore](#) an ihm ziehen, zerren die Motorproteine in die andere Richtung, um das vermeintliche Hindernis zu umgehen. Dadurch wird die [Virushülle](#) zerrissen und der [Virus-Bauplan](#) kann ungehindert durch die [Kernpore](#) in den [Zellkern](#) gelangen.

Die [Strukturen](#) ihrer [Proteine](#) bringen [Viren](#) zum [Zellkern](#).

- [Zellmembranen](#) wirken als Barrieren gegen [Viren](#).
- Es vermehren sich nur [Viren](#) mit nicht durch [Antikörper](#) blockierten Hüllproteinen, die wie Schlüssel in Schlösser an [Rezeptoren](#) andocken, die durch [Endozytose](#) eine Aufnahme des [Virus](#) in die [Zelle](#) bewirken.
- Als Resultat der [Endozytose](#) stecken aufgenommene [Viren](#) in [Vesikeln](#), die dann zu [Endosomen](#) verschmelzen.
- In ihren [Endosomen](#) lockern [Zellen](#) die [Tertiärstrukturen](#) von [Proteinen](#) auf, indem sie mit Hilfe winziger Pumpen das Innere des [Endosoms](#) ansäuern.
- Dann verschmelzen mit [Verdauungsenzymen](#) gefüllte [Lysosomen](#) mit den [Endosomen](#) zu [Endolysosomen](#) und die [Verdauungsenzyme](#) zerlegen die aufgelockerten [Proteine](#) in [Peptide](#).
- Manche [Viren](#) entkommen jedoch mit Hilfe von [Proteinen](#), welche die [Membranen](#) von [Endosomen](#) zerstören.
- Im [Zytoplasma](#) der [Zelle](#) werden [Viren](#) dadurch aufgehalten, dass sie sich nicht selber bewegen können.
- [Viren](#) können jedoch zum [Zellkern](#) transportiert werden, wenn sie über Hüllproteine verfügen, deren Oberflächen genau zu den Andockstellen über das [Zytoskelett](#) zum [Zellkern](#) laufender Motorproteine passen.
- [Viren](#) können durch Hindernisse gestoppt werden, wenn sie nur an eine [Sorte](#) von Motorproteinen andocken können.
- Im Vorteil sind [Viren](#) mit mehr als einer Andockoberfläche für Motorproteine, wenn diese in unterschiedliche Richtungen laufen und Hindernisse umgehen können.
- Wenn sich [Antikörper](#) vor dem Eintritt in die [Zelle](#) fest mit [Virus-Proteinen](#) verbunden haben, können in der [Zelle](#) spezielle Verteidigungs-Proteine die Stiele der [Antikörper](#) markieren und ihrerseits weitere [Proteine](#) binden. Diese [Protein-Komplexe](#) können zufällig vorbei kommende tunnelförmige [Proteasome](#) aktivieren, die dann das [Virus](#) in sich hineinziehen und in seine Grundbausteine ([Aminosäuren](#) und [Nukleotide](#)) zerlegen.
- Das nächste Hindernis für unzerstörte [Viren](#) ist die [Zellkernhülle](#), deren [Kernporen](#) zu eng für [Viren](#) sind.
- [Evolutionär](#) gut angepasste [Viren](#) besitzen auf mindestens einem ihrer Hüllproteine eine Andockstelle für die [Kernporen](#)-Tentakeln, die eigentlich nur Nützliches in der [Zellkern](#) ziehen sollen. Gleichzeitiges Ziehen von Tentakeln und Motorproteinen kann die [Virushülle](#) zerreißen und den [Virus-Bauplan](#) ([DNA](#) oder [RNA](#)) freisetzen.
- Mit viel "Glück" könnte nun das [Virus](#)-Erbgut zufällig in den [Zellkern](#) diffundieren.
- Möglicherweise klebt aber auch die [virale Nukleinsäure](#) ([Virus-Chromosom](#)) an dem [Protein](#), welches von einer Tentakel in den [Zellkern](#) gebracht wird.
- Im [Zellkern](#) ist das [Virus](#) an seinem Zielort, denn hier können sein [Bauplan](#) vervielfältigt und seine [Gene](#) als Rezepte für [virale Proteine](#) kopiert werden.

Im Zellkern sieht man am Promotor einer Virus-DNA eine RNA-Polymerase und unmittelbar hinter ihr einen ganzen Komplex von Transkriptionsfaktoren zur Aktivierung der Polymerase. Dieser Komplex schickt die RNA-Polymerase los. Sie liest die Virus-DNA ab und produziert eine mRNA, die durch eine Kernpore hinaus in das Cytoplasma gebracht wird. Dort scheinen zumindest bestimmte mRNAs große Ringe zu bilden. Auf jeden Fall wird die mRNA von zwei sich ergänzenden Ribosomen-Untereinheiten gebunden, und ihre Botschaft wird wiederholt übersetzt (Translation) in zahlreiche Aminosäureketten. Man sieht, wie eine Aminosäurekette zu einem fertigen Virus-Protein gefaltet wird. Meistens sind dabei sogenannte Chaperon-Proteine behilflich, aber die im Film an der Aminosäurekette zu sehenden Makromoleküle sind viel kleiner als Chaperone und daher für mich leider noch nicht identifizierbar.

Jedenfalls werden die frisch synthetisierten Virus-Proteine in den Zellkern transportiert, wo sie sich selbst zu leeren Virushüllen zusammensetzen. Einige Virus-Proteine scheinen nun die Transkription zellulärer Gene zu unterdrücken und damit alle Ressourcen der Zelle auf die Produktion neuer Viren zu konzentrieren. Im Film wird es zwar nicht gezeigt, aber natürlich wird im Zellkern auch die Virus-DNA vervielfältigt. Die Kopien werden zu den Virushüllen transportiert und in diese hinein gepresst.

Um aus der langsam sterbenden Zelle hinaus zu kommen, wird nun ein Virus-Gen für ein Sabotage-Protein aktiv, das die Auflösung des Zytoskeletts und damit den Zusammenbruch der Zellform bewirkt. Ein zweites Sabotage-Protein des Adenovirus gräbt sich in die Membranen der Kernhülle und zerlegt sie. Nicht einmal 2 Tage nach der Infektion zerfällt jetzt auch die Zellmembran und die fertigen Viren überschwemmen den Raum zwischen den Nachbarzellen. Eine Schlacht hat damit das Virus gewonnen, aber gleichzeitig läuft normalerweise seine Zeit im infizierten Menschen langsam ab, weil dessen Immunsystem an der Produktion neuer, perfekt passender Antikörper arbeitet, die dem Virus kaum eine Chance lassen. Außerdem versammeln sich um die sterbenden Schleimhautzellen durch verstärkte Durchblutung und angelockt durch T-Helferzellen viele Fresszellen, um möglichst viele Viren zu fressen. Und um den Viren keine neuen Wirtszellen zu geben, opfern sich sogar benachbarte gesunde Zellen. Bis zu seinem Sieg über das Virus hat allerdings der Mensch bereits unzählige Viren durch Niesen und Husten auf weitere Menschen übertragen, sodass es in den Kriegen zwischen Menschen und Viren selten endgültige Sieger gibt. Beide passen sich permanent aneinander an und für das Virus ist es das Beste, wenn es den Menschen nicht zu krank macht.

Diese Dokumentation bestätigt und verdeutlicht wichtige Prinzipien der Biologie:

- Lebewesen bauen Strukturen ab, die sie länger nicht benutzt haben.
- Lebewesen verstärken oder vermehren Strukturen, die sie intensiv benutzen bzw. trainieren.
- Alle Strukturen in und auf Lebewesen haben Funktionen, für die ihre Formen durch die Evolution optimiert wurden.

Meine Lösungsvorschläge zu den Klausur-ähnlichen Aufgaben sind teilweise länger und ausführlicher, als ich sie von Lernenden erwarten würde, damit sie möglichst verständlich sind.

1	<p>Erkläre, wie sich <u>Virus-infizierte Zellen</u> automatisch als solche zu erkennen geben!</p>
	<p>Den <u>Killerzellen</u> des <u>Immunsystems</u> präsentiert jede <u>Zelle</u> auf <u>MHC-1-Präsentiertellern</u> Bruchstücke aller <u>Proteine</u>, die sie gerade produziert. Dazu werden die <u>Peptide</u> auf den <u>Präsentiertellern</u> in <u>Vesikeln</u> zur Zelloberfläche transportiert und durch Verschmelzung des <u>Vesikels</u> mit der <u>Zellmembran</u> auf die Außenseite der Zelloberfläche gebracht.</p>
2	<p>Entwickle eine Hypothese zur Erklärung der Tatsache, dass man mit Hilfe von <u>Antikörpern</u> verschiedene <u>Zelltypen</u> des Menschen unterscheiden kann!</p>
	<p>Von den <u>Proteinen</u>, die eine <u>Zelle</u> produziert, legt sie Bruchstücke (<u>Peptide</u>) einer Stichprobe (einer relativ kleinen zufälligen Auswahl) auf ihre <u>Präsentierteller</u> und präsentiert (zeigt) sie außen auf ihrer Oberfläche. Man <u>Antikörper</u> herstellen, die jeweils nur eines dieser vielen unterschiedlichen <u>Peptide</u> binden. Weil manche <u>Eiweiße</u> und damit auch ihre Bruchstücke (<u>Peptide</u>) nur in bestimmten <u>Zelltypen</u> vorkommen, markieren solche <u>Peptide</u> bindende <u>Antikörper</u> auch nur bestimmte <u>Zelltypen</u>.</p>
3	<p>Beschreibe die Rolle der <u>T-Killerzellen</u> bei der <u>Virus-Bekämpfung</u>!</p>
	<p>Wird eine <u>Zelle</u> von einem <u>Virus</u> zur Produktion <u>viraler Proteine</u> gezwungen, dann finden <u>T-Killerzellen</u> mit ihren langen Tentakeln auf den <u>Präsentiertellern</u> <u>Eiweiß</u>bruchstücke, die in gesunden menschlichen <u>Zellen</u> nichts zu suchen haben. In solchen Fällen geben <u>Killerzellen</u> den infizierten <u>Zellen</u> den Befehl zur Selbstzerstörung (<u>Apoptose</u>).</p>
4	<p>Entwickle eine Hypothese zur Erklärung der Tatsache, dass <u>T-Killerzellen</u> auch <u>Krebszellen</u> bekämpfen!</p>
	<p><u>T-Killerzellen</u> können auch Krebszellen bekämpfen, weil Krebszellen ähnlich wie <u>Virus-infizierte Zellen</u> <u>Proteine</u> produzieren, die es in normalen <u>Körperzellen</u> nicht gibt.</p>
5	<p>Nenne sämtliche (4) Wirkungen der <u>Antikörper</u> im Kampf gegen <u>Viren</u>!</p>
	<p><u>Antikörper</u> können:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. <u>Krankheitserreger</u> miteinander vernetzen und verklumpen, indem sie mit ihren beiden Armen je zwei <u>Viren</u> binden, 2. <u>Viren</u> auch einfach als bevorzugte <u>Beute</u> der großen <u>Fresszellen</u> markieren, 3. Oberflächenstrukturen blockieren, die ein <u>Virus</u> zum Eindringen in <u>Zellen</u> benötigt, 4. durch Bindung auf der Oberfläche eines <u>Virus</u> bewirken, dass dieses <u>Virus</u> von speziellen Verteidigungs-<u>Proteinen</u> entdeckt und für die Zerstörung durch ein <u>Proteasom</u> markiert wird.
6	<p>Erkläre, wie ein <u>Adenovirus</u> die <u>Barriere der Zellmembran</u> überwindet!</p>
	<p>Die Antennen des Adenovirus funktionieren wie Schlüssel, die genau in <u>Rezeptoren</u> passen, die wie Schlösser wirken und dafür sorgen, dass die <u>Zelle</u> das <u>Virus</u> durch <u>Endozytose</u> durch die <u>Zellmembran</u> bringt.</p>
7	<p>Beschreibe die Entstehung, die Tätigkeit und das Ende eines <u>Endosoms</u> bei einer <u>Schnupfen-Infektion</u>!</p>
	<p><u>Endosome</u> werden gebildet, wenn spezielle <u>Rezeptoren</u> etwas gebunden haben, was tatsächlich oder vermeintlich in der <u>Zelle</u> gebraucht wird. Dann binden auf der Zellinnenseite dreiarmlige, großen Greiffüßen ähnelnde <u>Clathrin-Proteine</u> an die <u>Zellmembran</u>. Sie bewirken, dass sich die <u>Zellmembran</u> immer stärker nach innen einbeult, bis sich schließlich ein Bläschen abschnürt. Man nennt den Vorgang <u>Endozytose</u> und das Bläschen <u>Vesikel</u> oder genauer <u>Endosom</u>. <u>Endosomen</u> können miteinander verschmelzen und <u>Protonen</u> in ihr Inneres pumpen. Später <u>fusionieren</u> sie mit <u>Verdauungsenzyme</u> enthaltenden <u>Lysosomen</u> zu Endolysosomen, die der Verdauung all ihrer Inhalte dienen.</p>
8	<p>Erkläre, warum das <u>Virus</u> die <u>Fusion</u> "seines" <u>Endosoms</u> mit einem (primären) <u>Lysosom</u> nicht abwarten darf!</p>

	Nach einer Vereinigung des Endosoms mit einem Lysosom würde ein Virus durch Säure und Verdauungsenzyme zerstört.
9	Nenne das Problem, das jedes aus einem Endosom entkommene Virus hat!
	Viren können sich nicht selbst durch die Zelle bewegen, weil sie keinen Antrieb besitzen.
10	Beschreibe , unter welchen Umständen und wodurch ein Virus im Zytoplasma vernichtet werden kann!
	Hat ein Virus auf seiner Oberfläche irgendwo einen Antikörper gebunden, dann kann dieser von speziellen Verteidigungs- Proteinen entdeckt und markiert werden. Diese Markierung leitet die Zerstörung des Virus durch ein Proteasom ein. Eindrucksvoll wird gezeigt, wie tunnelförmige Proteasome defekte oder unerwünschte und als solche markierte Proteine oder sogar ganze Viren in einzelne Aminosäuren zerlegen.
11	Erkläre , warum man auch Proteasome als Organellen bezeichnen kann und warum sind sie wichtig für die Translation sind!
	Weniger wichtig als der Besitz einer eigenen Membran ist für die Definition des Organells , dass es eine vom Rest der Zelle abgegrenzte strukturelle und funktionelle Einheit ist. Obwohl es keine Membran besitzt, sind die potentiell gefährlichen Verdauungsenzyme durch die Tunnelform im Inneren des Proteasoms vom Cytoplasma abgegrenzt.
12	Nenne 3 Rollen , die das Zytoskelett spielt!
	In unseren Zellen bilden Proteine ein Zytoskelett , das ihnen eine Form gibt, so wie Zeltstangen einem Zelt. Gleichzeitig dient es unzähligen Motorproteinen (Transportproteinen) als dreidimensionales Netzwerk von Transportwegen. Während der Kernteilungen zieht ein Spindelapparat genannter Teil des Zellskeletts die Chromosomen auseinander.
13	Charakterisiere den Trick, mit dem das Adenovirus aus der Peripherie zum Zellkern kommt und sich dort die Unterstützung der Kernporenarme erschleicht!
	Das Adenovirus imitiert zellinterne Bindungsstellen für die Motorproteine und die Kernporenarme .
14	Erkläre , warum ein Virus mehr als nur ein Motorprotein braucht!
	Motorproteine können nur in eine Richtung laufen. Für Ausweichmanöver werden deshalb zwei Motorproteine benötigt.
15	Erkläre , warum der Transport von Proteinen zum Golgi-Apparat Energie verbraucht und wie diese bereitgestellt wird!
	Zum Golgi-Apparat werden Proteine in Vesikeln transportiert, die vom endoplasmatischen Retikulum abgeschnürt und von Motorproteinen über das Cytoskelett gezogen werden. Dabei verbraucht jeder Schritt der Motorproteine ATP , das in den Mitochondrien produziert und in die Zelle abgegeben wird.
16	Erkläre , warum man Mitochondrien als Kraftwerke der Zelle bezeichnet!
	Wie technische Kraftwerke wandeln auch die Mitochondrien eine Energieform - die chemische Energie unserer Nährstoffbausteine - in eine für die Zelle universell nutzbare Energieform um, nämlich die chemische Energie des ATP-Moleküls .
17	Nenne einen im Film erkennbaren sowie einen weiteren Unterschied zwischen den dicken Chromatinfäden und einem gerade transkribierten Gen !
	Im Film konnte man sehen, dass ein gerade transkribiertes Gen viel dünner war als die Chromatinfäden . Man konnte bei ihm auch die typische Strickleiterform erkennen. Im Gegensatz dazu war die DNA in den 30 nm dicken Chromatinfäden verpackt. Sie ist um die Histon-Proteine gewickelt und zusätzlich mehrfach verdrillt.
18	Beschreibe , wie der Bauplan eines Adenovirus aus seiner Virushülle in den Zellkern einer infizierten Zelle gelangt!
	Der Bauplan eines Adenovirus gelangt aus seiner Virushülle in den Zellkern einer infizierten Zelle , indem Motorproteine und die Tentakeln einer Kernpore die Virushülle zerreißen.
19	Entwickle eine Hypothese zur Erklärung des aufwändigen Transports von Virus-Proteinen

	in den Zellkern!
	Die Virus-DNA kann vermutlich nur im Zellkern vervielfacht werden, weil es nur dort DNA-Polymerasen für die DNA-Replikation , also die Verdopplung des Bauplans vor einer Zellteilung gibt. Deshalb findet die DNA wohl schneller und leichter ihre leeren Virushüllen , wenn die im Zellkern und nicht im vollgestopften Zytoplasma warten. Sicher gibt es außerdem im Zellkern viel weniger Proteine als im Zytoplasma , sodass sich die Hüllproteine viel leichter zu Virushüllen zusammenfinden. Denkbar wäre zudem, dass es im Zytoplasma Enzyme geben könnte, die fremde DNA zerstören.
20	Charakterisiere die Strategie, mit der das Adenovirus aus dem Zellkern in den Interzellularraum kommt!
	Das Adenovirus benutzt Sabotage- Proteine , um die Zellkernhülle und das Zytoskelett zu zerlegen, sodass die ganze Zelle zerfällt und die neuen Viren nicht mehr zurückhalten kann.
21	Fasse zusammen, wie es steht im Kampf zwischen der Menschheit und ihren viralen Angreifern!
	Viren und Menschen können einzelne Schlachten gewinnen, aber insgesamt gibt es zwischen beiden keinen Sieger. Beide Seiten passen sich immer besser aneinander an.
22	(nur für die Jahrgangsstufe 10) Stelle die Aufgabe der Proteasome dar, entwickle eine Arbeitshypothese zu der Frage, was sie dafür benötigen und leite daraus mögliche Experimente zu ihrer Überprüfung ab!
	Proteasome zerlegen defekte oder nicht mehr benötigte Proteine in einzelne Aminosäuren . Dafür müssen sie im Inneren Enzyme haben. Daher sollten sich für Enzym typische Abhängigkeiten der Aktivität von der Temperatur , dem pH-Wert , dem Salzgehalt und anderen Parametern beobachten lassen. Möglicherweise lässt nach einer Auflösung von Proteasomen bei einem seiner Proteine eine Protease -Aktivität nachweisen.
23	(nur für die Jahrgangsstufe 10) Diskutiere, was für und was gegen die Anerkennung des Proteasoms als Organell spricht!
	Für eine Anerkennung des Proteasoms als Organell spricht seine besondere Aufgabe. Es ist eine funktionelle Einheit. Andererseits verlangt eine von vielen Biologen akzeptierte Definition , dass ein Organell durch eine Membran vom Rest der Zelle getrennt sein muss. Davon könnte man aber in diesem Fall absehen, weil das Proteasom auch ohne Membran durch seine Tunnelform vom Zytoplasma abgeschirmt ist. Außerdem ist die Definition der Organellen ohnehin nicht unumstritten.
24	(nur für die Jahrgangsstufe 10) Erkläre, warum die RNA-Polymerase ein Enzym sein muß!
	Die RNA-Polymerase muss ein Enzym sein, weil sie die Polymerisation der Nukleotide zu einer RNA katalysiert.
25	(nur für die Jahrgangsstufe 10) Entwickle eine Hypothese zu der Frage, warum eigentlich Aminosäureketten zu Proteinen gefaltet werden müssen!
	Wären die Aminosäureketten in Proteinen nicht gefaltet, dann wäre ihre Form beliebig und veränderlich. So könnten sie keine spezifischen Aufgaben erfüllen.
26	(nur für die Jahrgangsstufe 10) Beschreibe mit möglichst vielen Details die Vorgänge bei der Zerstörung eines Bakteriums durch eine Fresszelle!
	Fresszellen ziehen Bakterien durch Endozytose in sich hinein. Nachdem das Bakterium von einem Rezeptor gebunden wurde, beult sich die Zellmembran mit dem Bakterium nach innen, bis sich ein Vesikel mit dem Bakterium abschnürt. Mit mindestens einem anderen Vesikel verschmilzt es zu einem Endosom , indem es durch Pumpen immer saurer wird. Die Verschmelzung mit einem Lysosom bringt Verdauungsenzyme in das Endosom , das man nun sekundäres Lysosom nennt. Nur sehr wenige Bakterien können diese Kombination aus Säure und Verdauungsenzymen überstehen.