

Licht im dunklen Wald

1. Dunkle Bäume, dichtes Unterholz

Impfung, Immunsystem, Antikörper, mRNA, Erbsubstanz...

Empfinden Sie das alles so als wenn Sie vor einem dunklen Wald, oder noch schlimmer, mittendrin stehen, sich etwas hilflos fühlen und nur noch einen Gedanken haben: *Schnell raus hier!*

Aber haben Sie nicht auch schon erlebt, dass selbst der dichteste Wald bei hellem Sonnenlicht schön und einladend wirken kann?

Ich möchte versuchen, für Sie die Sonne in den „Wald“ scheinen zu lassen.

2. Die Bäume

Die Hauptmasse unserer Wälder besteht eigentlich nur aus einem kleinen Sortiment von Baumarten.

Ebenso bestehen Lebewesen zum größten Teil aus wenigen Stoffen (Molekülararten). In unserem „Wald“ wachsen zwei Molekülararten: Proteine* (Eiweißstoffe) und Nucleinsäuren*. Fangen wir mit der letzten „Baumart“ an:

*: alle mit * versehenen Fachbegriffe finden Sie in Erklärungen am Ende des Artikels

2.1. Nucleinsäuren

Stellen Sie sich vor, Sie würden als Außerirdischer mit einem Erkundungssatelliten unsere Erde umkreisen mit der Aufgabe, erste Informationen über diesen fremden Planeten zu bekommen. Sie würden, wie wir das auf Mond oder Mars tun, mit ferngesteuerten Drohnen Materialproben sammeln und dabei auch in die Gebäude auf der Erde eindringen. Bei der Analyse der Proben würden Sie unter vielen anderen Stoffen auch ein eigenartiges Material identifizieren, das zwei Stoffe enthält: Zellstoff (den auch alle gesammelten Pflanzenproben enthalten) und Ruß. Was Ihnen auffällt, ist die Tatsache, dass dieses Material immer aus Gebäuden stammt, an denen „Bibliothek“ steht. Da Sie nicht wissen wozu er dient, würden Sie in vielleicht „Bibliostoff“ taufen und weiter nichts damit unternehmen.

Dass es sich dabei um Papier mit Druckerschwärze handelt und was „Bibliotheken“ sind, können Sie ja nicht ahnen. So erging es dem Schweizer Biochemiker Friedrich Miescher, als er 1869 aus weißen Blutkörperchen den Stoff „Nuclein“ isolierte. Den Namen wählte er, weil die Substanz in den Zellkernen vorkam: das lateinische Wort *nucleus* 'Nusskern' wurde auf den Zellkern übertragen. Ebenso wenig, wie Sie sich vorstellen können, welche immense Bedeutung der Ruß haben könnte, trauten auch die Biochemiker dem „Nuclein“, das nur aus sechs verschiedenen Bausteinen besteht, keine Bedeutung zu. Es dauerte 75 Jahre, bis es als Träger der Erbinformation identifiziert wurde. Nach einem der Bausteine, der Desoxyribose taufte man sie „Desoxyribonucleinsäure“, kurz „DNA*“ („A“ von engl. *acid* 'Säure'). Lassen Sie sich von dem Namen nicht schrecken, er ist für das Verständnis der Zusammenhänge unerheblich. Wichtig für unseren „Wald“ ist nur, dass Sie nur im Zellkern vorkommt. Die Zellen bewahren die DNA hier- abgeschottet gegen den Rest des Zellinhaltes, dem - Zellplasma, - in einem Tresor, den Chromosomen, auf. Auf ihre Rolle für die Geschehnisse in unseren Zellen kommen wir bei der Besprechung der zweiten wichtigen „Baumart“, den Proteinen. Vorweg nur kurz das Wichtigste: DNA ist die Substanz, in der unser Erbgut gespeichert ist.

2.2. Eiweißstoffe (Proteine)

Wenn Sie durch unseren „Zellwald“ stolpern, stoßen Sie mit großer Wahrscheinlichkeit ständig gegen „Proteinbäume“. Es ist sicher einer der ganz großen Tricks des Lebens auf unserer Erde, mit einem Universalwerkstoff zu arbeiten. Verglichen mit einem Staat, bauen sich Zellen Grenzzäune samt Kontrollposten, Häuser, Postbriefe und -pakete, Polizisten, Müllwerker und, und, und... Die große Vielfalt der Funktionen wird dadurch erreicht, dass aus einem Sortiment von nur 20 verschiedenen Bausteinen Ketten von mehreren Hundert Bausteinen gebaut werden, die raffiniert gefaltete Molekülgestalten ergeben. Da alle nach einem gleichen Muster, einer Kette, gebastelt sind, braucht die Zelle auch nur eine Art von „Strickmaschinen“, die alle Gestalten bauen können.

Hier kommen wir auf die DNA aus dem vorherigen Kapitel zurück: die „Strickmuster“ sind in unserem Erbgut gespeichert. Stellen Sie sich eine elektrische Strickmaschine vor, die mit 20 verschiedenen Garnen unterschiedlichster Art, vom feinsten Silberfaden bis zum dicken Hanfseil, gefüttert wird. Sie wird Ihnen alles - vom Babyjäckchen bis zum Feuerwehrschutzanzug - stricken. Sie müssen es ihr nur „sagen“: früher dienten dazu Lochstreifen, heute natürlich digitale Steuerungsprogramme. Doch wie kommen die Strickmuster aus dem Tresor Zellkern zu den Strickmaschinen im Zellplasma? Damit sind wir bei der dritten Baumart, der „mRNA“.

2.3. mRNA

„mRNA“ steht für messenger- Ribonukleinsäure. Für den Namen gilt das Gleiche wie für „Desoxyribonukleinsäure“: nehmen Sie es als Namen hin. Ziehen Sie aus dem gemeinsamen „NA“ in den Namen der DNA und RNA keine voreiligen Schlüsse: nur weil sie beide chemisch zur gleichen Stoffgruppe gehören, haben sie mehr Unterschiede als Gemeinsamkeiten.

Nun zur spannenden Wissenschaftsgeschichte:

Welche molekularen Strukturen in dem „Nuklein“ verborgen sind, klärte der deutsche Mediziner und Biochemiker Albrecht Kossel (1853 - 1927) auf, der in Berlin und später in Heidelberg arbeitete (und auf dem Heidelberger Bergfriedhof begraben liegt). In den Jahren 1883-1994 entdeckte er die „Nucleinbasen“ Guanin, Adenin, Cytosin und Thymin, die wir heute als die „Buchstaben“ der DNA kennen. Für diese entscheidende Aufklärungsarbeit wurde er 1910 mit dem Nobelpreis für Physiologie oder Medizin ausgezeichnet.

Ein weiteres Puzzlesteinchen fügte 1909 Phoebus Levene (1869 - 1940) hinzu. Er arbeitete am Rockefeller Institut in New York und stand mit Kossel in enger Verbindung. Levene klärte auf, wie die molekularen Bausteine der Nukleinsäuren (Zucker, Phosphat und Basen*) miteinander verknüpft sind. Nachdem er diesen Aufbau zunächst für die RNA (mit dem Zucker Ribose) entdeckt hatte, wies er 1929 die Existenz der DNA (mit dem Zucker Desoxyribose) nach.

Nun ging es um die Frage nach den Funktionen, die die beiden Molekülararten in der Zelle spielen. Vom ersten Meilenstein haben Sie sicher schon gehört: der Aufklärung des Doppelhelix-Aufbaues der DNA durch Watson und Crick im Jahr 1953. Damit war zwar geklärt, in welcher chemischen Molekülstruktur unsere Erbinformationen gespeichert sind: in der Abfolge chemischer „Buchstaben“, den von Kossel entdeckten Basen, ist die Information für die Herstellung von Proteinen aufgeschrieben. Die entscheidende Frage aber blieb offen: Wie steuert die Erbinformation das Geschehen in der Zelle?

Die Entdeckung spezieller Zellbestandteile, der so genannten „Ribosomen“ machte 1953 den Anfang zur Beantwortung dieser Frage. Schon wenige Jahre später (1959) konnte ein amerikanisches Forscherteam nachweisen, dass in ihnen die Synthese von Proteinen abläuft, die „Eiweißstrickmaschinen“ waren damit identifiziert. Wie aber wird die Synthese gesteuert, was sind die „Lochstreifen“? Wie oft in der Forschung kam der Durchbruch dadurch, dass frühere, unverstandene Ergebnisse durch neue Erkenntnisse plötzlich verständlich werden.

Zunächst hatten französische Forscher in Bakterien ein neues Stück DNA eingebaut. Danach beobachteten sie, dass die Bakterien sofort die Synthese eines Eiweißmoleküls starteten, das sie zuvor nicht herstellen konnten. Sie postulierten daraus, dass ein „Molekül X“ geben müsse, das den Ribosomen die Information der DNA übermitteln müsse. Als die beiden Amerikaner Brenner und Crick das erfuhren, fiel ihnen ein Experiment anderer Forscher ein: die Kollegen hatten verfolgt, wie Bakterien, die von Viren befallen waren, neue Viren produzieren. Während dieses Vorganges tauchte kurzfristig eine RNA auf, die die gleiche Basenabfolge, also die gleiche Information enthält, wie die Erbinformation der Viren. Zwei Forschungsteams, Crick und Brenner in England, in den USA James Watson (der Doppelhelixpartner von Crick) veröffentlichten zeitgleich, dass diese RNA das postulierte Molekül X ist. Wegen ihrer Rolle als Überträger von Erbinformationen von der DNA im Zellkern zu den

Ribosomen im Plasma erhielt sie den Namen messenger-RNA ('Boten-RNA'). An dieser Stelle ist es nun an der Zeit, auf die Unterschiede zwischen RNA und DNA einzugehen. Leider etwas undifferenziert und dadurch missverständlich, werden sie in den Medien als „genetisches Material“ bezeichnet. In den Zellen aller Lebewesen, außer manchen Viren, ist nur die DNA „genetisches Material“ im Sinne der vererbaren genetischen Information. RNA-Moleküle stellen dagegen nur Kopien von sehr kleinen Ausschnitten dieses Erbgutes dar, so als ob Sie aus einer Bibliothek die Fotokopie einer Seite eines Buches mit nach Hause nehmen. Viele Viren, darunter auch der Corona-Erreger SARS-CoV-2, verwenden RNA-Moleküle als Träger ihrer genetischen Information nur in diesem Sinn sind RNA und DNA „genetisches Material“.

Halten wir einen Moment inne und schauen wir uns die „Bäume“ des dunklen Waldes zusammengefasst an:

Für die Weitergabe unserer Erbinformation und ihre Nutzung in den Zellen sind drei Stoffe von Bedeutung:

1. **DNA:** Träger der genetischen Informationen, die von Generation zu Generation weiter gegeben werden, lokalisiert im Zellkern.
2. **Proteine:** universelle Bau- und Funktionsmoleküle, die Informationen zu ihrem Bau sind in der DNA gespeichert.
3. **mRNA:** Kopien von kleinen Teilbereichen der DNA, tragen die Information für den Bau eines Proteinmoleküls aus dem Kern in das Zellplasma.

Ich hoffe, dass die dunklen Bäume nun schon etwas freundlicher aussehen. So können wir uns nun im Wald etwas genauer umschauen und beobachten, was da so alles geschieht.

Zuerst wollen wir zuschauen, was sich bei einer Infektion mit Viren in unserem Körper abspielt.

3. Einbrecher, Betrüger und Polizisten

3.1. Einbrecher treiben ihr Unwesen

Viren sind kuriose Gebilde im Grenzbereich zwischen „echten“ Lebewesen und unbelebten Stoffen, man hat sie deshalb als „Lebende Kristalle“ bezeichnet. Sie bestehen aus ihrer Erbsubstanz (wie schon erwähnt DNA- oder RNA-Moleküle) und einer raffinierten „Verpackung“ aus Proteinen. Sie sind Parasiten und wie alle Schmarotzer an bestimmte „Wirte“ angepasst, dafür aber auch auf diese Wirte angewiesen. Es gilt also für sie diese Wirte möglichst treffsicher zu finden. Viren verfügen dazu in ihrer Hülle Proteinmoleküle, die über das uns schon bekannte „Schlüssel-Schloss-Prinzip“ die Wirtszellen erkennen. Auch für das Eindringen in die Wirtszellen sind Proteine in der Hülle verantwortlich. Die Arbeit der Hüllproteine ist also vergleichbar mit dem Observieren von Einbrechern, um ein geeignetes Objekt zu finden und passenden Dietriche für die Türschlösser.

Als „Minimalparasiten“ verzichten sie auf einen eigenen Stoffwechsel, sie lassen ihre Vermehrung komplett von ihren Wirten erledigen und funktionieren dazu den Stoffwechsel ihrer Wirtszellen für ihre eigenen Zwecke um:

3.2. Betrüger manipulieren die Strickmaschinen

Während unsere Diebe mit ihrer Beute wieder verschwinden, wollen sich die viralen Einbrecher vermehren lassen. Einmal in eine Zelle unseres Körpers eingedrungen, manipulieren sie die Fabrikationsanlagen für ihre Zwecke: die virale Erbsubstanz wird vielfach kopiert und die „Eiweißstrickmaschinen“ (die Ribosomen) laufen auf Hochtouren, um neues „Verpackungsmaterial“ zu produzieren. Ist eine große Zahl neuer Viren hergestellt, werden sie aus den Zellen entlassen oder die infizierten Zellen platzen einfach und setzen mit ihrem Tod ihre vermehrten Mörder frei.

Nehmen wir für diesen Vorgang das Corona-Virus genauer unter die Lupe: Ihre RNA sieht für unsere Proteinfabriken täuschend echt wie zelleigene mRNA-Moleküle aus. Die Strickmaschinen nehmen sie als Lochstreifen, ohne diesen Betrug zu bemerken. Moleküle können nicht „denken“! Wichtig ist für das Verständnis der Zusammenhänge, auch hinsichtlich einer Impfung, folgendes: die virale RNA bleibt, ebenso wie die zelleigenen mRNA-Moleküle im Plasma. Eine Übertragung in die DNA des Zellkerns findet nicht statt.

Diesem Betrug durch Viren wären wir schutzlos ausgeliefert, hätten wir nicht einen gut funktionierenden Polizeiapparat: unser Immunsystem.

3.3. Polizeiliche Prävention

Ohne auf die einzelnen Teile unseres „Polizeiapparates“ genauer einzugehen: neben verschiedenen „Polizeistreifen“, die ständig patrouillieren, um fremde Eindringlinge rechtzeitig zu fassen, spielen die Antikörper eine besonders bedeutende Rolle. Es sind Eiweißmoleküle, die - wieder über das Schlüssel-Schloss-Prinzip - molekulare Strukturen an Krankheitserregern erkennen (die so genannten „Antigene“*) und sich daran festheften. Sie werden dadurch unfähig, in unsere Zellen einzudringen: ihre Dietriche sind mit „Schutzkappen“ unbrauchbar geworden. Anders als bei unserer Polizei ist dieser Erkennungsdienst hochgradig spezialisiert: für jeden Verbrechertyp gibt es eigene Polizisten. Wie kommen wir zu diesen Spezialcops? Im Laufe unseres Lebens werden wir ständig mit Krankheitserregern konfrontiert. Bei jeder Infektion lernt unser Immunsystem diese Verbrecher kennen und produziert gegen sie speziell angepasste Antikörper*. Gleichzeitig archiviert es ihre Daten in einer stetig wachsenden Verbrecherkartei, das Immungedächtnis. Bei einer erneuten Infektion können die Gauner schnell identifiziert werden und durch sofort produzierte Spezialpolizisten gefasst werden. Leider funktioniert dieser Gedächtnisschutz je nach Erreger nicht immer dauerhaft.

Bei einer Infektion lassen Viren in den befallenen Zellen neue Viren produzieren.
Dazu lassen sie die zelleigenen Produktionsanlagen für sich arbeiten,
gesteuert über ihre RNA.
Krankheitserreger lösen als „Antigene“ eine Reaktion unseres Immunsystems aus: es
produziert zur Abwehr speziell auf jeden Erreger angepasste Antikörper.

4. Unterstützung für die Polizei

4.1. Bisher verwendete Impfstoffe: „vorgetäuschte“ Infektionen

Eigentlich leicht verständlich: wenn wir die Polizei mit Daten über Verbrecher bereits versorgen, bevor sie bei uns einbrechen, kann der Fahndungsapparat schneller reagieren. Auf diesem Prinzip beruhen alle („aktiven“) Schutzimpfungen (Immunisierungen). Die bisher eingesetzten Impfstoffe enthalten für den jeweiligen Erreger typische Moleküle (also Antigene). Dafür wurden verschiedene Möglichkeiten entwickelt: inaktivierte oder abgeschwächte Erreger, Bruchstücke davon sowie künstlich hergestellte Proteine oder kurze Stücke des antigenen Eiweißmoleküls. Die Impfung stellt also eine „vorgetäuschte“ Infektion dar, nach ihr läuft das gleiche Schema ab wie bei einer „echten“ Infektion.

Herkömmliche Impfstoffe lösen mit einer „vorgetäuschten“ Infektion die Bildung von Antikörpern und den Aufbau eines Immungedächtnisses aus.

Die künstlich hergestellten Proteine leiten schon zu den (angeblich) „neuen“ mRNA-Impfstoffen über:

4.2. Antigen-Produktion in den Körper verlagert

Wie im dritten Punkt der Zusammenfassung geschildert, wird die Herstellung von Proteinen in unseren Zellen durch mRNA-Moleküle gesteuert. Darauf beruht die Wirkungsweise aller mRNA-Impfstoffe: Fehlt unseren Zellen ein Protein, verabreichen wir nicht dieses Eiweiß zur Unterstützung, sondern eine mRNA mit der Information zu seinem Bau. Die künstliche Synthese eines Impfstoff-Proteins wird also in die Zellen verlagert.

Dass dieser Ansatz prinzipiell realistisch ist, konnte schon 1987 der amerikanische Virologe Robert Malone nachweisen: er „verpackte“ mRNA in kleine Fettkügelchen. Diese wurden tatsächlich von menschlichen Zellen aufgenommen und sie produzierten danach das entsprechende Protein. Aber der Weg zu einem klinisch erfolgreichen Einsatz sollte sich als sehr mühsam erweisen.

Einen interessanten Überblick über den Verlauf der Forschung finden interessierte Leser in Lit. 12.

Seit den 1990er Jahren folgte die ungarische Biochemikerin Katalin Karikó dieser Idee. Sie glaubte fest daran, dass mit mRNA-Impfstoffen Krankheiten bekämpft werden können, die auf einem Mangel an einem bestimmten Protein beruhen. Leider versagte ihr die wissenschaftliche Welt die Unterstützung für ihre Forschungen, zu sehr war ihr Blick auf andere Ziele, wie Gentherapie durch Veränderung der DNA, fixiert. Erst der Gründer von Moderna, Derrick Rossi, entwickelte auf der Grundlage ihrer Forschungen einen Impfstoff gegen COVID-19.

Parallel dazu arbeitete Uğur Şahin zusammen mit seiner Ehefrau Özlem Türeci an der Entwicklung von Krebsmedikamenten. Seine Grundidee war es, Zellen des Immunsystems durch eingeschleuste mRNA Antikörper gegen Krebszellen produzieren zu lassen. Im Moment laufen 17 klinische Studien, mit einer Zulassung rechnet man frühestens in fünf Jahren. Aber vielleicht geben die Erfahrungen mit dem Covid-Impfstoff dieser Entwicklung neuen Schub. 2008 gründete Şahin die Firma Biontech zur Entwicklung von mRNA-Therapien gegen Krebs. 2020 konnte Biontech seine Erfahrungen für die Produktion des Impfstoffes gegen COVID-19 einsetzen.

mRNA-Impfstoffe verlagern die Produktion von Proteinen,
die als Antigene wirken, in Zellen des Immunsystem.
Ihre Entwicklung gründen sich auf Forschungen,
deren Grundlagen bereits in den 1960er Jahren gelegt wurden.

Für die Einschätzung der mRNA-Impfstoffe sollten folgende Aspekte berücksichtigt werden:

- a. Wir werden ständig von Viren mit ihrer RNA attackiert, die in unseren Zellen ihre Proteine produzieren lassen. Fremde RNA ist also für unseren Körper „Alltagsgeschäft“.
- b. RNA-Moleküle sind kurzlebig, sie werden ständig von „Verdauungsenzymen“ demontiert.
- c. RNA-Moleküle verbleiben im Zellplasma. Ein Einbau in die Erbsubstanz konnte nicht nachgewiesen werden.
- d. Die Forschung für mRNA-basierte Impfstoffe begann bereits in den 1960er Jahren, ist also keinesfalls „neu“.
- e. Die Bezeichnung „genbasierter“ Impfstoff ist insofern missverständlich, als es sich dabei nicht um menschliches Erbgut handelt, sondern um kleine Ausschnitte des viralen Erbgutes.
- f. Informieren Sie sich aus seriösen Quellen, verfolgen Sie ggf. zurück, woher auch auf den ersten Blick ernstzunehmende Aussagen ihre Grundlagen beziehen. Das ist zwar etwas mühsam, aber für unsere Gesundheit sollte uns eigentlich keine Mühe zu viel sein.

Es würde mich freuen, wenn Sie Sie sich jetzt etwas weniger verunsichert im „dunklen Wald“ von mRNA & Co.-Bäumen bewegen könnten!

Fachbegriffs-Erklärungen

Antikörper

Proteine (Immunoglobuline*), die nach Kontakt mit einem Antigen* gebildet werden; dienen der spezifischen Immunabwehr; Bildung in zu Plasmazellen* umgewandelten B-Lymphozyten*; Grundaufbau aus 2 leichten und 2 schweren Polypeptidketten*, die durch Disulfidbrücken verbunden sind oder Aggregaten aus bis zu 5 dieser Grundstrukturen.

gr. *anti avti* gegen

Base

a. Teilchen, das als Protonenakzeptor reagieren kann (\neq Säure)

b. organische B.: N-haltige, ringförmige organische Moleküle, Bausteine der Nucleinsäuren* (Guanin, Cytosin, Adenin, Thymin, Uracil).

Von Basis, Grundlage, man leitete früher die Salze davon ab.

Pyrimidin*, Purin*, Nucleotid*

Chromosom

Strukturgebilde, das genetische Information enthält; in Euzyten* im Kern lokalisiert und besonders während Kernteilungen in arttypischer Form und Anzahl erkennbar; enthält je nach Zustand der Zelle im Zellzyklus 1 oder 2 Chromatide*.

gr. *chroma* χρώμα Farbe (da erst nach Anfärbung erkennbar), *soma* σώμα Körper(chen), Gebilde

Chromatin*

Code*, genetischer

Vorschrift, die jeder Informationseinheit der mRNA* (Codon*) eine bestimmte Aminosäure* oder eine andere Bedeutung (Start, Stop) zuordnet. Der g. C. ist weitgehend universell, nicht überlappend, degeneriert*, kommafrei (abzählend) und ein Triplet*code.

lat.-fr. *codex* 'verschlüsseln, codieren' von *codex* 'Schreibtisch, Schrift, Gesetzbuch' aus lat. *caudex* 'Baumstamm'

DNA (Desoxyribonucleinsäure)

Nucleinsäure* mit Desoxyribose als Zucker und Thymin, Adenin, Cytosin und Guanin als Basen*; liegt als Doppelhelix*-Molekül vor; Träger der Erbinformation.

\neq RNA*

Enzyme

Biologische Katalysatoren*; Proteine*, arbeiten meist hochgradig substrat*- und reaktionsspezifisch*. Namensendung „-ase“.

gr. *en ēv* in, *zyma* ζύμη Sauerteig (Hefe, hier zuerst entdeckt)

Immunisierung

Allgemein: Vorgang, durch den ein Individuum gegen eine Krankheit bzw. ein Antigen* unempfindlich wird.

– aktive I.: spezifische Abwehrreaktion, i.e.S.: Impfung mit Antigen*;

– passive I.: I. durch *Antikörper, i.e.S.: Impfung mit Antikörpern*.

Immunsystem

Gesamtheit aller Stoffe, Zellen und Organe, die der Abwehr von Krankheitserregern sowie der Erkennung „falsch“ arbeitender Zellen des Organismus dienen: Antikörper*, Lymphozyten*, Lymphknoten*, Thymus*, Knochenmark.

lat. *immunis* frei

mRNA (messenger-RNA)

RNA*, enthält die Information zur Synthese eines Proteins*, Teilkopie der DNA*, dient als Matrize für die Proteinbiosynthese in den Ribosomen*.

Nucleinsäuren

Organische Verbindungen aus alternierender Zucker-Phosphat-Kette mit org. Basen am Zucker; Träger für Erbinformationen.

lat. *nucleus* Nusskern

DNA*, RNA*, Nucleotid*

Proteine (Eiweißstoffe)

Polypeptide aus mindestens 100 Aminosäuren.

gr. *protos* πρῶτος erster, wichtigster

Ribosomen

Zellbestandteile, in denen die Proteinbiosynthese stattfindet; bestehen aus Proteinen* und RNA*

Schlüssel-Schloss-Prinzip

Häufig in der Natur auftretendes Prinzip der spezifischen Passung zweier Strukturen, dient der gegenseitigen Erkennung.

B: Hormon/Rezeptor, Enzym/Substrat, Kopulationsorgane

Viren

Extrem parasitäre „Lebewesen“ (Einstufung umstritten), bestehen nur aus genetischem Material (RNA* oder DNA*), einer Protein*-Hülle sowie bestimmten Enzymen*, besitzen keinen eigenen Stoffwechsel und können daher nur durch andere Zellen vermehrt werden; viele V. erzeugen bei Pflanzen und Tieren Krankheiten (Tollwut, Pocken, Tabakmosaik)

Bakteriophagen*

lat. *virus*, v, Gift

Weitere Fachbegriffserklärungen aus der Biologie und den angrenzenden Wissenschaftsgebieten Physik und Chemie finden Sie auch in meiner Homepage <https://reisemausunterricht.wordpress.com/> in der Rubrik Biologie in der Datei „Biologie_LX.pdf“.

Quellen

1. <https://www.mpg.de/389385/forschungsSchwerpunkt1>: Ribosomen, die Eiweißfabriken der Zelle, lüften ihre Geheimnisse
2. <https://www.spektrum.de/lexikon/biologie/ribosomen/56973>
3. <https://de.wikipedia.org/wiki/Ribosom>
4. Joachim Pietzsch Die begabte Botin aus dem Zentrum der Zelle. Hintergrundinfo_2022_pdf.pdf, <https://www.uni-frankfurt.de/105691783.pdf> (lesenswert, besonders bzgl. der Forschungsgeschichte)
5. <https://www.dw.com/de/faktencheck-impfmythen-corona-impfung-unfruchtbarkeit-dna/a-57223260>
6. https://de.wikipedia.org/wiki/Albrecht_Kossel
7. <https://www.roche.de/aktuelles/stories/covid-19-und-die-geheimnisvolle-welt-der-antikoerper/>
8. <https://www.gesundheitsforschung-bmbf.de/de/wie-reagiert-das-immunsystem-auf-sars-cov-2-11752.php>
9. <https://www.lungenaerzte-im-netz.de/news-archiv/meldung/article/t-zellen-spielen-wichtige-rolle-fuer-die-abwehr-von-coronaviren>
10. https://de.wikipedia.org/wiki/Derrick_Rossi
11. <https://www.dkfz.de/de/aktuelles/mRNA-Impfung-gegen-Krebs.html> (hier bearbeitete Abbildung der Impfstoffpartikel)
12. <https://www.spektrum.de/news/der-siegeszug-der-mrna-impfstoffe/1937407>
13. <https://www.swr.de/wissen/individuelle-mrna-krebs-therapie-und-forschung-100.html>
14. Michael D. Buschmann, Manuel J. Carrasco, Suman Alishetty, Mikell Paige, Mohamad Gabriel Alameh, Drew Weissman Nanomaterial Delivery Systems for mRNA Vaccines; <https://www.mdpi.com/2076-393X/9/1/65> (hier Original-Abbildung der Impfstoffpartikel)
15. <https://www.mdr.de/wissen/wann-kommen-mrna-impfstoffe-gegen-krebs-100.html#Quellen>
16. https://de.wikipedia.org/wiki/Impfstoff#Proteinbasierte_Impfstoffe
17. https://de.wikipedia.org/wiki/Katalin_Karikó
18. https://de.wikipedia.org/wiki/Uğur_Şahin
19. <https://de.wikipedia.org/wiki/Ribonukleinsäure>
20. https://www.chemie.de/lexikon/Marshall_Warren_Nirenberg.html
21. https://www.chemie.de/lexikon/Heinrich_Matthaei.html
22. <https://www.academics.de/ratgeber/genetischer-code>
23. <https://www.dw.com/de/risiken-und-nebenwirkungen-einer-corona-impfung/a-56126141> (lesenswert zur persönlichen Risikoabschätzung)
24. <https://de.wikipedia.org/wiki/MRNA>
25. https://de.wikipedia.org/wiki/Viren#Vermehrung_und_Verbreitung
26. <https://de.wikipedia.org/wiki/SARS-CoV-2>
27. <https://de.wikipedia.org/wiki/RNA-Virus>
28. <https://www.dw.com/de/auch-viele-junge-geimpfte-müssen-ins-krankenhaus/a-59802701?maca=de-AS-content-outbrai>
29. https://de.wikipedia.org/wiki/Robert_W._Malone
30. <https://www.spektrum.de/news/der-siegeszug-der-mrna-impfstoffe/1937407> (lesenswerte Chronik der Forschungsgeschichte)