

Die Bedeutung der genetischen Texte

In der ersten Folge zur Genetik haben wir uns mit der Informationsstruktur der genetischen Information beschäftigt und als Ergebnis zusammengefasst:

Der genetische Informationsträger („bedrucktes Papier“) ist die DNA.
Die Signale der DNA („Buchstaben“) sind die Moleküle A, T, G, C.
Die Zeichen der genetischen „Schrift“ sind Buchstabentriplets.

Nun geht es darum, die Bedeutung der „Triplet-Texte“ zu klären.

1. Was muss die genetische Information leisten?

Betrachtet man ein Lebewesen stark vereinfacht als ein (sicher sehr komplex konstruiertes) Bauwerk, dann muss die genetische Informationen alle Bau- und Betriebsanleitungen enthalten, um dieses Bauwerk zu errichten und funktionsfähig zu halten.

Wie sehen solche Anleitungen im molekularen Bereich aus?

Man muss sich an dieser Stelle wieder vergegenwärtigen, dass alle Lebensprozesse auf chemischen Reaktionen beruhen (wobei das im weitesten Sinn von Wechselwirkungen zwischen Molekülen bis zu echten Stoffumwandlungen zu verstehen ist). Es gilt also, diese Reaktionen geschickt zu steuern. Die Natur hat als universelle Steuerungselemente **Proteine** gewählt.

Es könnte hilfreich sein, wenn Sie dazu die Folge 25 Proteine dieser Reihe lesen würden.

2. Wie beeinflussen Proteine die chemischen Prozesse einer Zelle?

Wie im Beitrag über Proteine schon kurz aufgezählt wurde, sind Proteine die „Mädchen-für-Alles-Moleküle“ der Zelle. Davon sind hier drei Funktionen besonders wichtig:

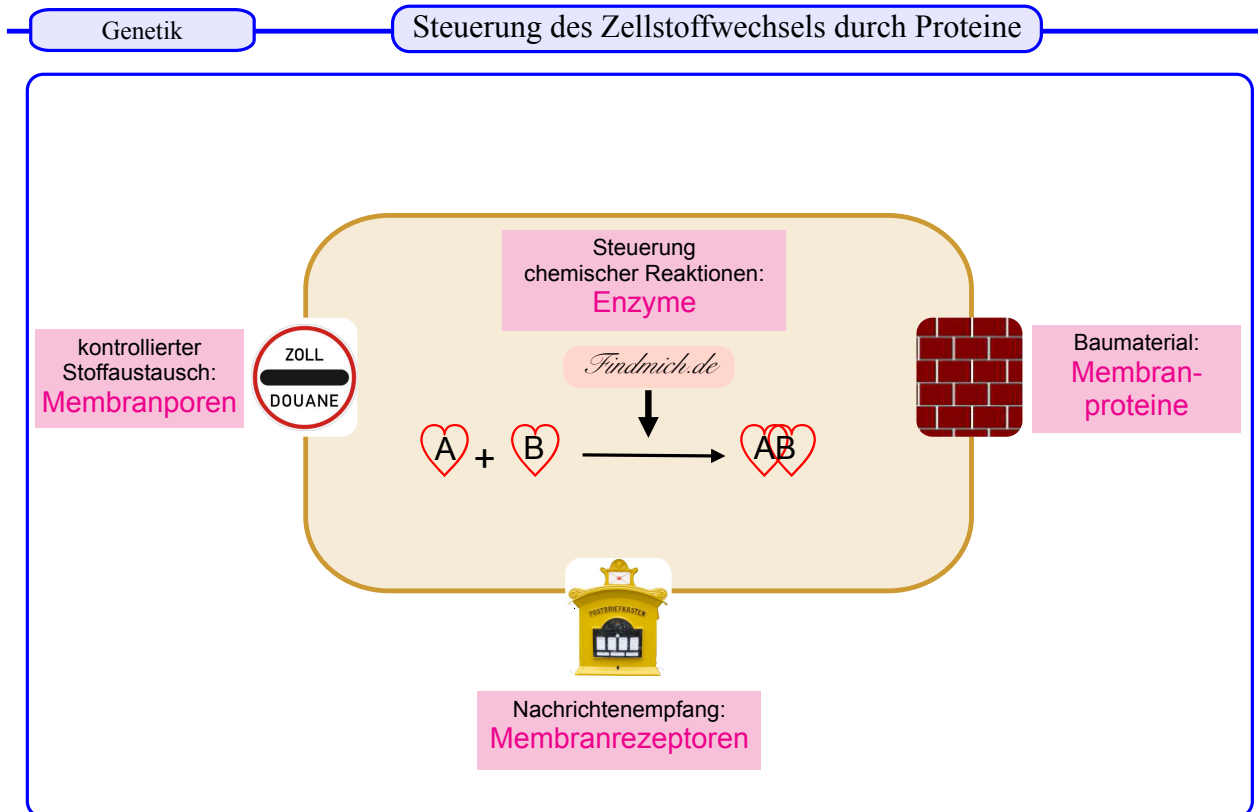
a. **Enzym-Proteine** steuern als Biokatalysatoren alle chemischen Reaktionen. Wir sind aus der „Koch-und-Brat-Chemie“, wie sie uns im Unterricht vorgeführt wurde, gewohnt, Reaktionen mit dem Bunsenbrenner in Gang zu setzen. Dieser Weg ist für Zellen nicht möglich, dafür haben sie eine Möglichkeit perfektioniert, die in unserer Technik auch, aber vergleichsweise stümperhafter Form, Verwendung findet: Katalysatoren. Anschaulich sind solche Stoffe molekulare „Partnersuche-Plattformen“: sie fangen die Reaktionspartner ein, koppeln sie für die Dauer der Reaktion an sich und bringen sie genau in die gegenseitige Lage, die für die Reaktion optimal ist. So können Reaktionen auch bei den niedrigen Temperaturen in einer Zelle mit hohen Durchsatzgeschwindigkeiten ablaufen.

Mit einem einfachen Experiment können Sie die Wirkung eines Katalysators beobachten: Versuchen Sie zunächst, ein Stück Würfelzucker über einer Kerzenflamme zu entzünden. Der Zucker wird schmelzen, aber nicht brennen. Streuen Sie jetzt etwas Zigarettenasche auf ein Stück Würfelzucker: es brennt! (Man vermutet, dass feinverteilte Metallverbindungen in der Asche für den Effekt verantwortlich sind.)

b. **Membranrezeptoren** können gezielt bestimmte Botenstoffe (z.B. Hormone) an sich binden (hier findet sich wieder einmal das schon mehrfach beschriebene Schlüssel-Schloss-Prinzip). Durch die Kopplung verändert sich der Rezeptor und setzt durch diese Veränderung weitere Reaktionen in der Zelle in Gang.

c. **Poren-Proteine** dienen als Durchtrittsstellen für Stoffe in die Zelle. Dabei ist „Pore“ untertrieben, denn es handelt sich nicht einfach um kleine Löcher, sondern hochgradig spezialisierte „Grenzstationen mit Passkontrolle“, an denen nur bestimmte Stoffe durchtreten können, oftmals sogar aktiv in die Zelle hinein befördert werden.

d. **Struktur-Proteine** sind Baumaterial für alle Membranen der Zelle, sowohl für die äußere (oft fälschlich als „Zellwand“ bezeichnete) Membran als auch die Umhüllungen der Arbeitsbereiche der Zelle (den Zellorganellen). Sie sind wichtig, damit in der Zelle insgesamt, als auch in den Organellen, nur die jeweils erwünschten Moleküle vorhanden sind und alle anderen fern gehalten werden.



https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/c/c3/%C3%96ffentlicher-Sonder_-_Briefkasten_-_Deutsche_Post_-_Germany_Image_0001_Lupus_in_Saxonia.jpg?uselang=dehttps://de.wikipedia.org/wiki/Creative_Commons
https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/5/5c/Spanish_bond.svg/240px-Spanish_bond.svg.png?uselang=de

3. Welche Bedeutung haben die „Triplett-Wörter“ für die Proteine?

Die DNA enthält die Bauanleitungen für alle Proteine eines Lebewesens. Im Beitrag über Eiweißstoffe wurde gezeigt, dass Proteine durch die Abfolge ihrer Aminosäurebausteine charakterisiert sind. Als „Bauanleitung“ genügt also ein Text, der diese Abfolge beschreibt. Man hat in der Forschungsgeschichte lange darüber gerätselt, wie Erbinformationen Vorgänge in Zellen steuern können und war überrascht, auf welchem genial einfachen Weg dies gelingt. Die Triplett-Wörter der DNA bedeuten jeweils eine bestimmte Aminosäure. Die Liste der Zuordnungen bestimmter Triplets zu bestimmten Aminosäuren wird als „Genetischer Code“ bezeichnet. (Die allgemeine Bedeutung des Codierungsbegriffes finden Sie im ersten Genetik-Beitrag dieser Reihe). Die Anleitung für ein ganzes Protein ist ein Abschnitt der DNA mit ebenso vielen Triplets wie die Zahl der Aminosäuren des betreffenden Proteins. Wegen der großen Bedeutung solcher Abschnitte definierte man den vorher nur vage erklärten Begriff „Gen“ als DNA-Abschnitt, der die Information für ein Protein enthält (**Ein-Gen-ein-Enzym-Hypothese***).

Nun werden Sie vielleicht (zu Recht) fragen: alles gut und schön, aber wie setzt die Zelle diese Bauanleitungen in die Tat, sprich in ein Protein um?

Die Erforschung dieser Vorgänge war sicher eines der spannendsten Kapitel der modernen Molekularbiologie. Wir wollen uns die wichtigsten Schritte der „Proteinbiosynthese“ anschauen.

Vielleicht erinnern Sie sich an den Text 34 Licht im dunklen Wald. Dort sind wir schon auf die Ribosomen, die „Eiweißstrickmaschinen“ gestoßen, wir wollen ihnen nun bei der Arbeit zuschauen.

Als Zusammenfassung hielten wir dort fest:

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.

4. Wie bauen Ribosomen Proteine auf ?

4.1. Wie werden die Ribosomen mit Baumaterial versorgt?

Um Verlusten wertvoller Bücher vorzubeugen, leihen viele Bibliotheken heute Originale nicht mehr aus, sondern geben nur Kopien gewünschter Kapitel ab. Diese Sicherheitsstrategie verfolgt auch die Zelle: Die DNA ist im Zellkern wie in einem Safe sicher gelagert. Der jeweilige Abschnitt zum Bau eines Eiweißmoleküls wird kopiert. Die Kopien werden als mRNA (messenger-RNA, Boten-RNA) bezeichnet. Mit den mRNA-Kopien als Bauanleitung bauen die Ribosomen aus Aminosäuren Proteine auf.

Wie finden die Aminosäuren den Weg zu den Ribosomen?

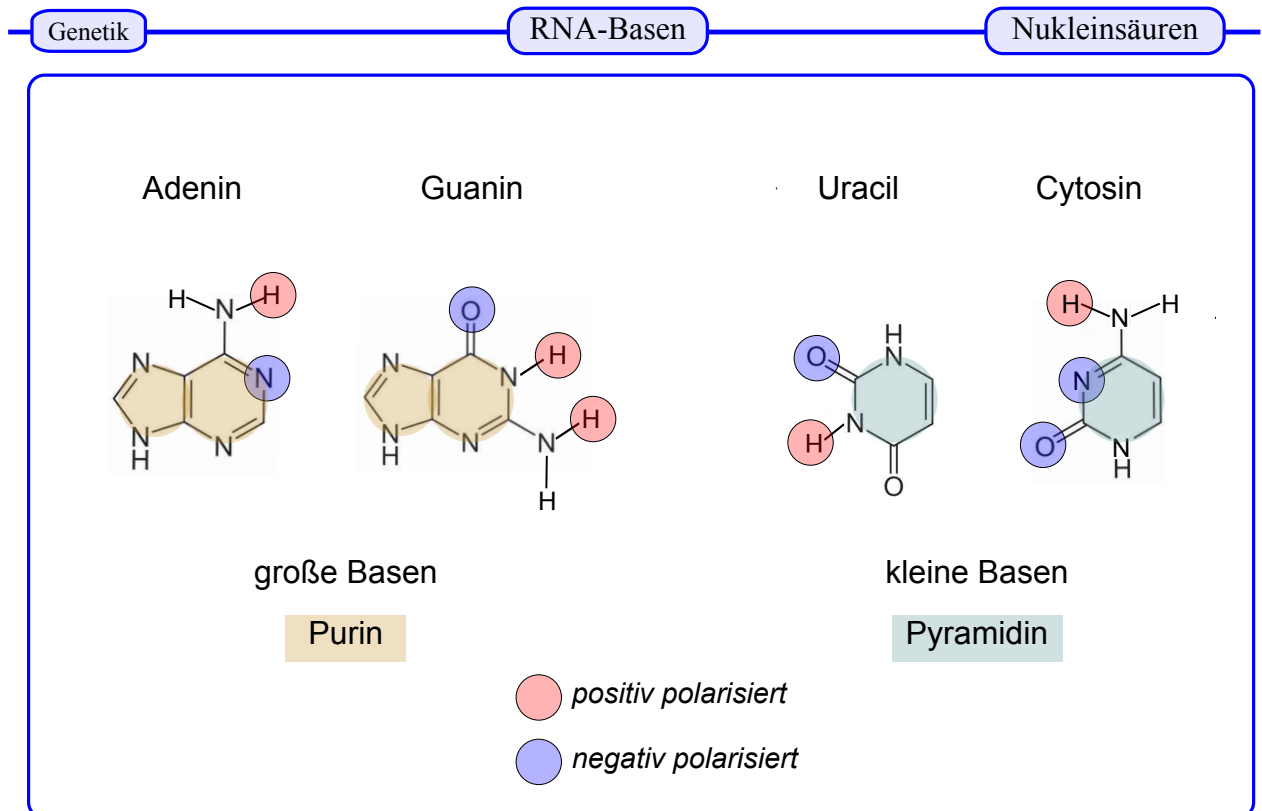
Auch dafür gibt es eine besondere Sorte von RNA-Molekülen, die tRNA (transfer-RNA, Überträger-RNA).

Modellhaft lässt sich ihre Funktion mit einem (fiktiven) Vergleich aus der Baubranche darstellen: Immer wieder wird gefordert, die Baukosten durch mehr vorgefertigte, genormte Bauteile zu senken. Leider scheiterte diese Idee an dem (kostentreibenden!) Wunsch, jedes Haus müsse individuell gestaltet sein. Schon im menschlichen Körper wurden etwa 50 000 verschiedene Proteine nachgewiesen, die theoretisch mögliche Zahl ist unvorstellbar groß, in der Größenordnung der Anzahl aller Elektronen im Weltall. Und das alles aus nur 23 geschickt ausgewählten Bausteinen! Eigentlich müsste also billiges Bauen möglich sein, Lernen von der Natur wäre dafür nötig!

Zurück zur ribosomalen Protein-Baustelle: Stellen Sie sich vor, es gäbe für jeden Bauteiltyp einen Lastertyp, also 23 verschiedene. Sie fahren ständig (in der Zelle) herum. Sobald sie „ihren“ Bauteil (ihre Aminosäure) finden, laden sie ihn auf und fahren ihn zur Baustelle (zum Ribosom). Sie tragen eine Beschriftung, an der die Bauarbeiter erkennen, welche Aminosäure sie geladen haben. Die Bauarbeiter (die Moleküle des Ribosoms) können sich blind darauf verlassen, dass diese Beschriftung korrekt ist, eine zusätzliche Kontrolle ist überflüssig.

4.2. Wie werden die Baustellenfahrzeuge beschriftet?

mRNA wie auch tRNA-Moleküle bestehen aus den gleichen Bausteinen, den vier Basen Adenin, Guanin, Cytosin und Uracil (kurz A, G, C, U). Um die Erkennung der Aminosäure-Laster zu verstehen, müssen wir ein wenig genauer auf den Bau der RNA und DNA-Bausteine eingehen.



Falls Sie sich (vielleicht durch die Lektüre dieser Reihe) an chemische Formeln gewöhnt haben, können Sie gerne die Atome im Einzelnen betrachten, wenn nicht, ignorieren Sie die Elementsymbole und orientieren Sie sich nur an den Farbmarkierungen.

Sie sollten erkennen, dass es zwei Paare gibt, die großen mit dem Doppelring-Grundgerüst (Purin) und zwei kleinen mit dem Einfachring-Gerüst (Pyrimidin).

Es wäre schön, wenn die roten und blauen Markierungen Sie an die Folge 25 Proteine erinnern würden:

Durch eine ungleichmäßige Verteilung der Elektronen können Atome eines Moleküls negativ oder positiv polarisiert sein.

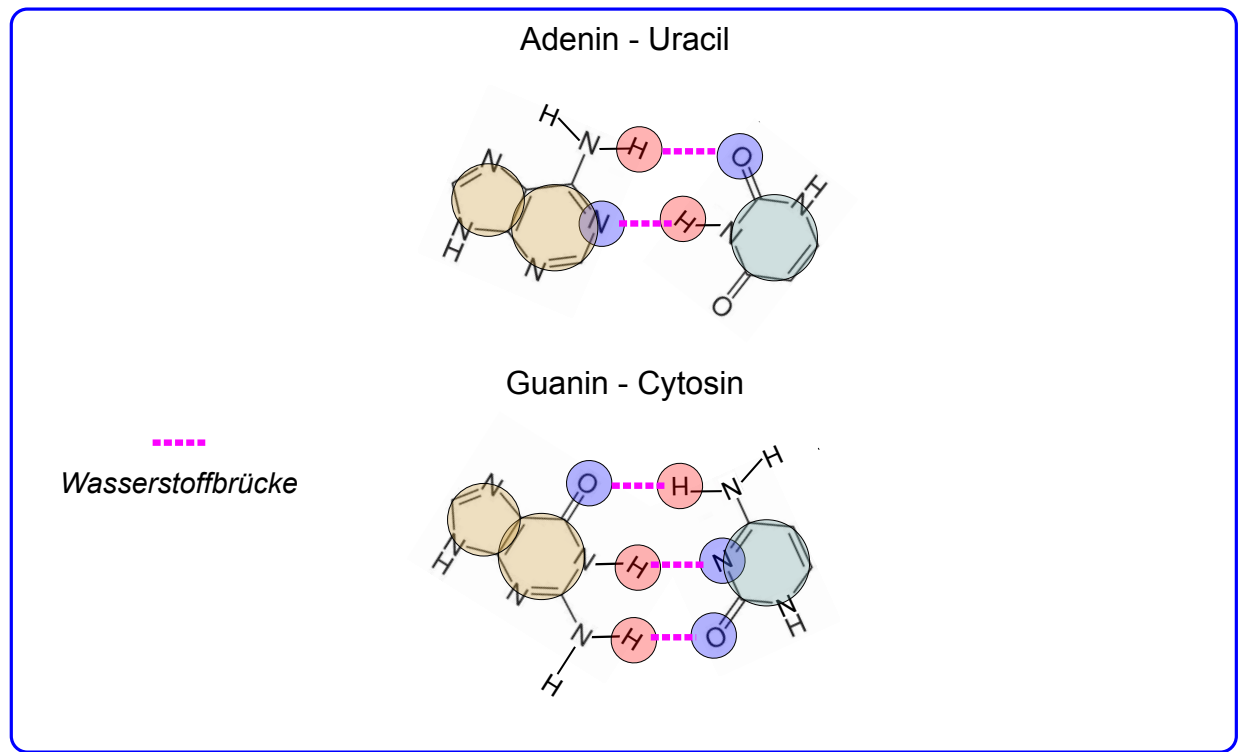
Auch hier gibt wieder zwei Paare: Adenin und Uracil besitzen zwei polarisierte Atome, drei polarisierte Atome finden sich bei Guanin und Cytosin, wobei jeweils zwei gleiche Polaritäten nebeneinander liegen. Durch diese Basenpolaritäten zeigt die Oberfläche eines jeden Triplett („Wort“ der Nukleinsäuren-Sprache) ein charakteristisches Muster von polarisierten Stellen.

An dieser Stelle stoßen wir auf eine der grundlegenden „Erfindungen“ der Natur, ihre Entdeckung war einer der wichtigsten Schritte zur Aufklärung der molekularen Strukturen unseres Erbgutes (und aller anderen Lebewesen!) Betrachten Sie sich dazu die nächste Abbildung:

Genetik

RNA-Basenpaare

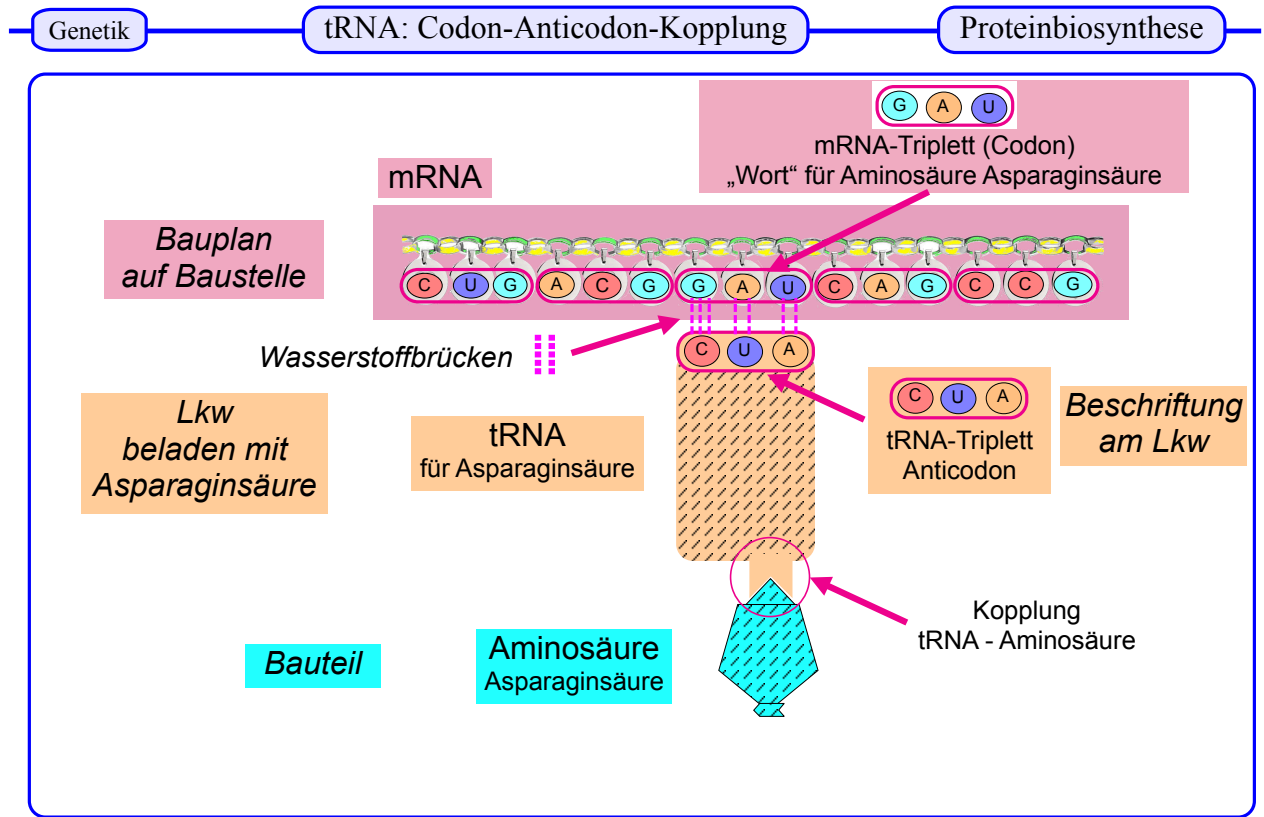
Nukleinsäuren



Was Sie hier sehen war der wohl entscheidende Schritt auf dem Weg zur Verleihung des Nobelpreises für Medizin 1962 an James Watson zusammen mit Francis Crick und Maurice Wilkins. Durch ihre Polaritätsmuster können jeweils eine der großen und eine der kleinen Basen Paare bilden. Man bezeichnet die zueinander passenden Basen als „komplementär“. (von lat. *complementum* 'Ergänzung') Die dabei aufgebauten „Wasserstoffbrücken“ lernten wir ebenfalls schon in der Folge 25 Proteine kennen:

Wasserstoffbrücken sind
besonders starke zwischenmolekulare Kräfte.

In der Kette aller tRNA-Moleküle (der „Lkws“) gibt es einen Abschnitt, der als „Beschriftung“ dient: es ist ein Basentriplett, das komplementär zu demjenigen mRNA-Triplett ist, das für die „geladene“ Bauteil-Aminosäure steht. Klingt das zu kompliziert? Schauen Sie sich die nächste Grafik an, Sie werden sehen, wie genial einfach die Natur einmal wieder ist:



Fangen wir mit der rosa unterlegten mRNA an: Sie enthält die Information für den Bau eines Proteins, also für die entsprechende Abfolge von Aminosäuren. Für jede Aminosäure steht darin ein Triplett, ein „Wort“ der mRNA. Da die Bedeutungen der mRNA-Wörter durch den genetischen Code beschrieben werden, heißt ein mRNA-Triplett „Codon“. Im dargestellten Fall heißt das Codon GAU, es codiert für die Aminosäure Asparaginsäure. Der tRNA-Lkw für Asparaginsäure trägt als Beschriftung das Triplett CUA, also die komplementäre Basenfolge zum mRNA-Codon. Diese Beschriftungen heißen deshalb „Anticodon“. Über das Polaritätsmuster der Basenfolge koppelt sich die tRNA mit Wasserstoffbrücken an der mRNA an. Damit ist auch indirekt die auf dem Lkw geladene Aminosäure mit der mRNA verbunden.

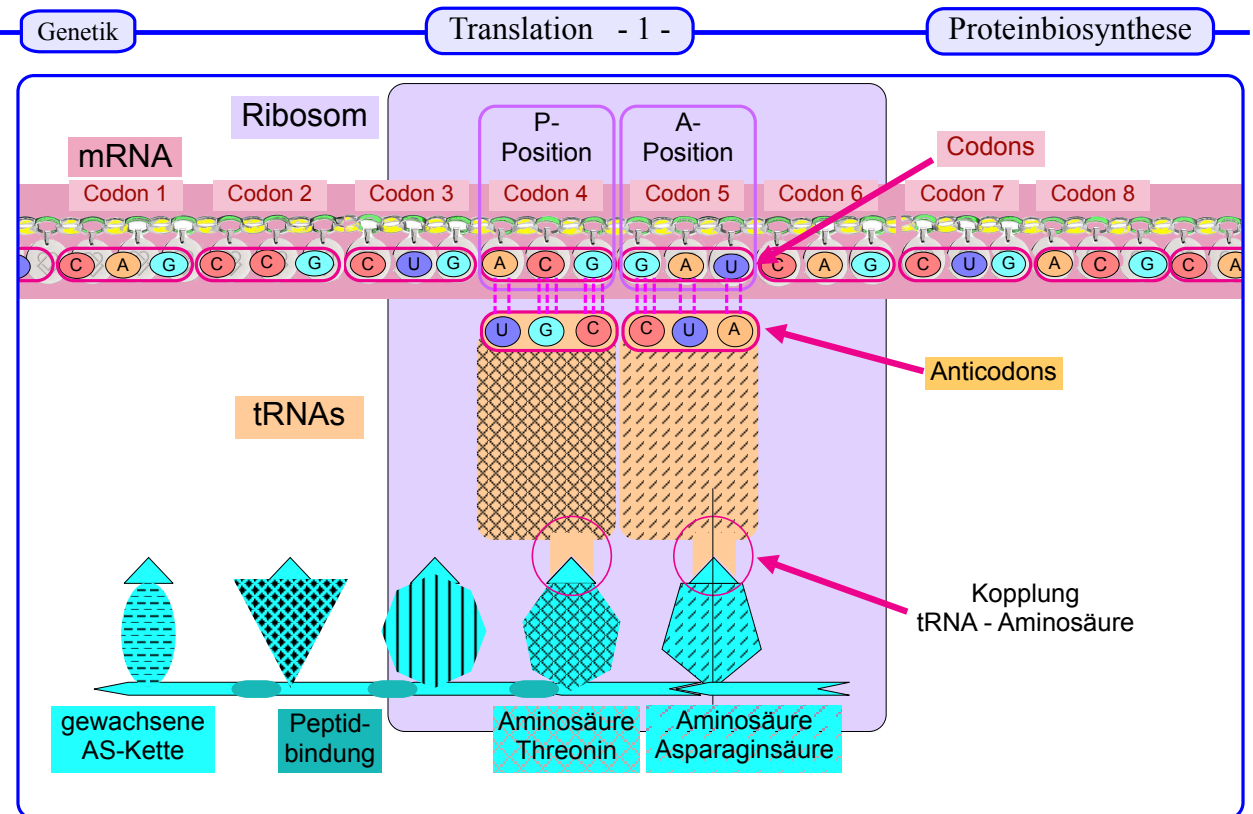
Wir können diese Verknüpfung zwischen einem Codon und einer Aminosäure auch mit den Begriffen aus der Informationslehre beschreiben: mRNA und Protein enthalten die gleiche Information über die Abfolge einer Reihe von Aminosäuren. Sie stellen diese Information mit den Zeichen zweier Sprachen dar, der Sprache der Nucleinsäuren mit Triplett-Zeichen und der Sprache der Proteine mit Aminosäure-Zeichen. Bei der Proteinbiosynthese wird die Information umcodiert (übersetzt), als Übersetzer fungieren die tRNA-Moleküle. Sie ordnen jedem Zeichen des Zeichenvorrates der mRNA-Sprache (die Codon-Triplets) ein Zeichen der Proteinsprache (Aminosäuren) zu. Die Zuordnungsvorschrift heißt deshalb nicht grundlos „Genetischer Code“! Entsprechend heißt die Synthese eines Proteins im Ribosom auch „Translation*“ ('Übersetzung', lat. *translation* 'Übersetzung' aus *trans* 'hinüber', *latio* 'Bringen').

4.3. Wie werden die Lkws beladen?

Die Beladung der Lkw's ist eine weitere Raffinesse des Übersetzungsvorganges, die ich Ihnen nicht vorenthalten möchte. Die Ankopplungsstelle für die „passende“ Aminosäure ist nämlich bei allen tRNA-Molekülen gleich! Die für den ganzen Vorgang entscheidende richtige „Beladung“ der Lkws wird von speziellen Enzymen geleistet, die den schönen Namen „Aminoacyl-tRNA-Synthetase“ tragen (Enzyme, die die Verknüpfung zwischen einer Aminosäure und einer tRNA katalysieren). Mit wenigen „exotischen“ Ausnahmen in der Welt der Mikroorganismen gibt es für jede Aminosäure eine spezifische Synthetase. Die Aminoacyl-tRNA-Synthetasen sind auch ein beeindruckendes Beispiel für die Präzision, mit der Enzyme, also Proteinmoleküle, andere Moleküle erkennen und eine bestimmte Reaktion zwischen ihnen einleiten. Man muss sich noch einmal vergegenwärtigen, dass ein einziger Fehler beim Beladen der Lkws sofort einen Fehler beim Aufbau des Protein-Hauses nach sich ziehen würde. Das produzierte Eiweiß wäre im harmlosesten Fall einfach funktionslos, im schlimmsten Fall könnte es aber u.U. eine schwerwiegende Erkrankung auslösen. Das klassische Beispiel für eine Erkrankung, die nur durch den Austausch einer einzigen Aminosäure im Protein hervorgerufen wird, ist die Sichelzellanämie*. Ein Mutationsdefekt in der DNA, der eine Veränderung einer Lkw-Sorte nach sich zöge, so dass sie die Wagen falsch beladen würden, wäre das Ende der Zelle, denn alle Proteine hätten falsche Aminosäureabfolgen.

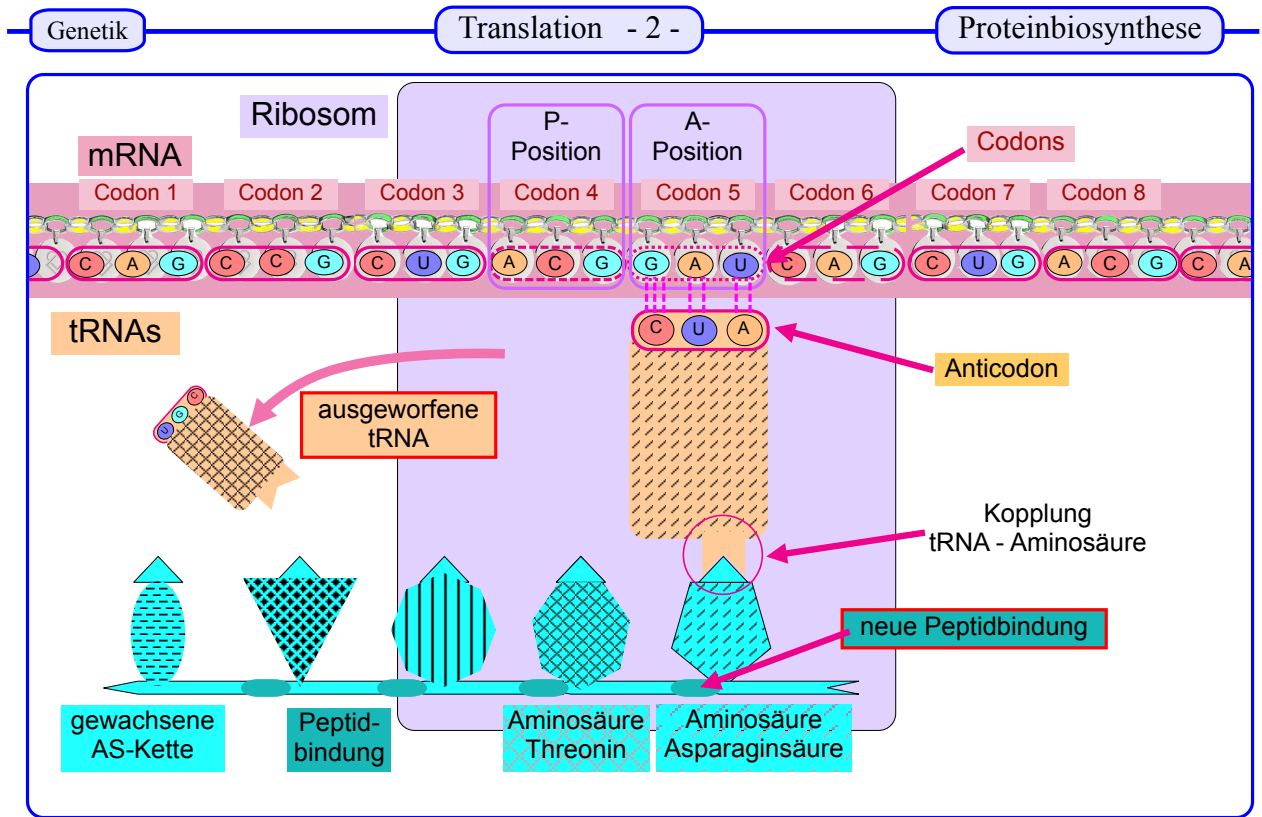
4.4. Wie werden auf der Baustelle die Bauteile aneinander gefügt?

Nachdem wir die einzelnen Funktionselemente der Baustelle (Ribosom), also Bauplan (mRNA), Bauteile (Aminosäuren) und Transport-Lkws (beladene tRNA's) kennen gelernt haben, wollen wir dabei zuschauen, wie ein neues Protein-Haus gebaut wird.



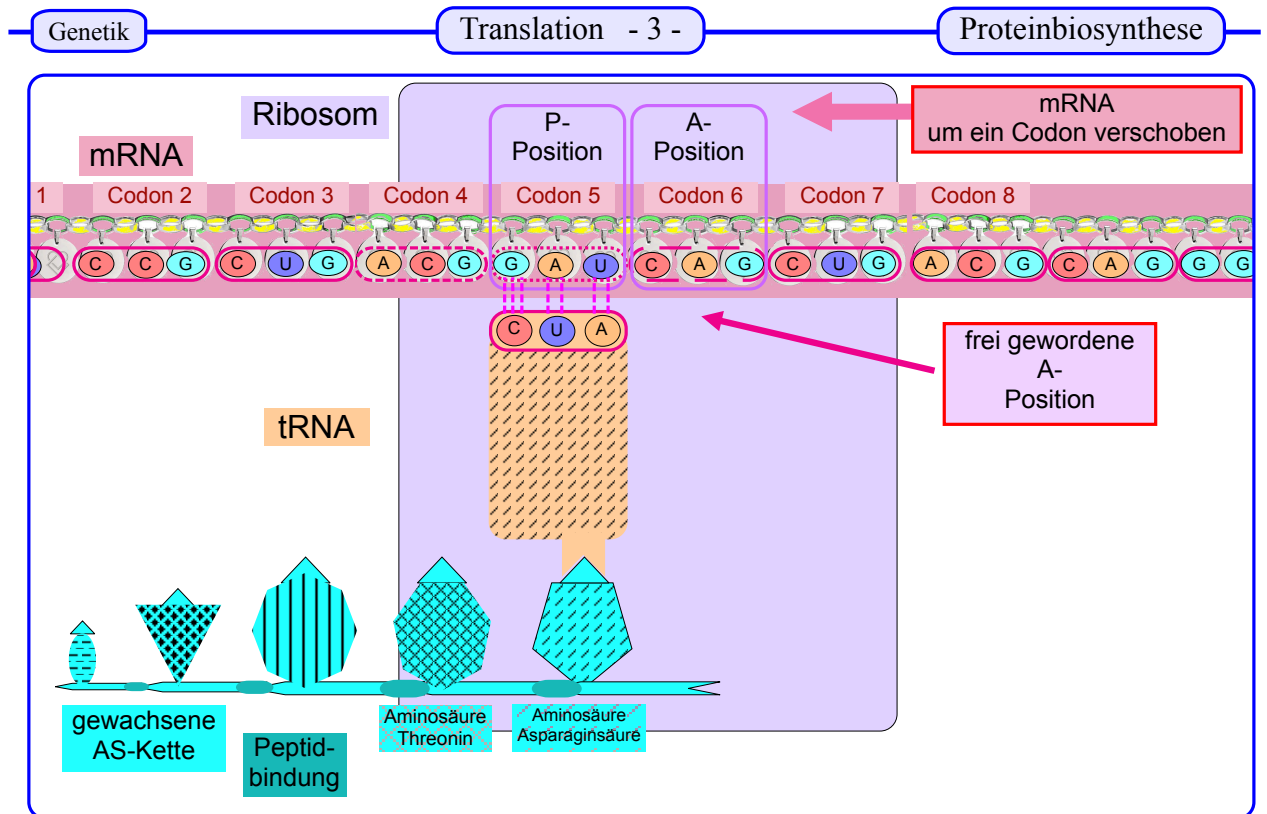
Die Bauarbeiten haben schon begonnen: die ersten vier Aminosäuren (unten, türkisfarben) wurden schon aneinander befestigt. Die Bindungen zwischen den Aminosäuren eines Polypeptides haben wegen ihrer Bedeutung einen eigenen Namen erhalten: „Peptidbindung“ (obwohl es sich dabei nicht um eine andere Art der atomaren Verknüpfung handelt!).

Das angefangene Bauwerk hängt noch in der Baustelle, dem Ribosom (violett). Der Bauplan (mRNA, rosa) wird durch eine Art Lesegerät gezogen, das immer zwei Codons erfasst, dazu dienen die so genannte P- und A-Position („P“, weil hier die Polypeptidkette hängt und „A“, da hier eine neue Aminosäure eingelesen wird, ein neuer beladener Lkw). Im dargestellten Beispiel wurde ein Threonin-Molekül als letztes an die Kette angehängt, ein mit Asparaginsäure beladener Lkw ist gerade neu eingefahren.

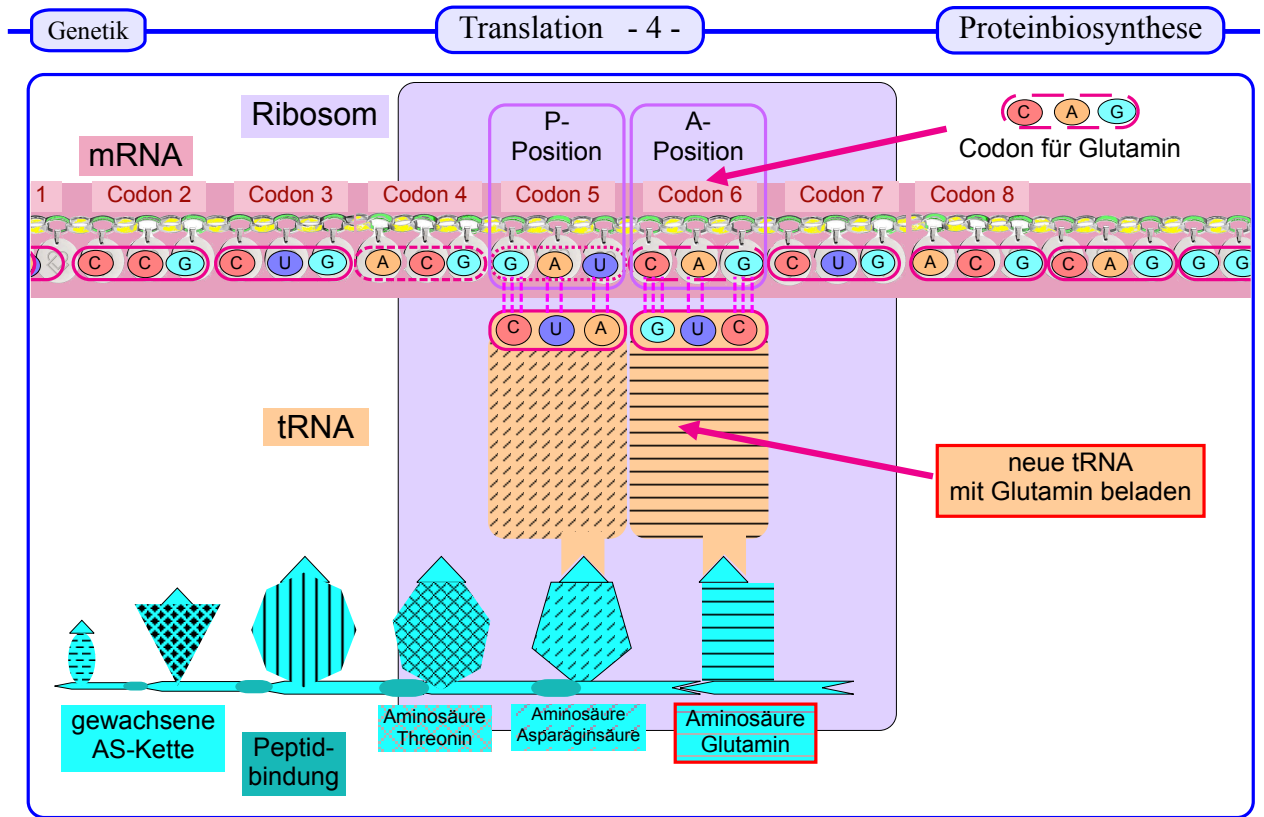


Im nächsten Schritt wird das Asparaginsäure-Bauteil mit einer neuen Peptidbindung an der Kette befestigt. Der Threonin-Laster hat seinen Dienst getan und fährt zur neuen Beladung weg (ausgeworfene tRNA).

Jetzt wird der Bauplan weiter geschoben:



Damit rückt die Asparaginsäure in die P-Position, die zuvor vom Threonin eingenommen worden war. Die A-Position wird frei und Sie können sich wohl schon denken, was nun kommt: der nächste Laster rückt ein:



Da das Codon 6 CAG für Glutamin steht, natürlich ein entsprechend beladenes Fahrzeug. Vergleichen Sie das Bild -4- mit Bild -1-: sie zeigen beide die gleiche Situation, nur mit einem anderen Paar von Aminosäuren. Waren es in -1- Threonin und Asparaginsäure, sind es in -4- Asparaginsäure und Glutamin.

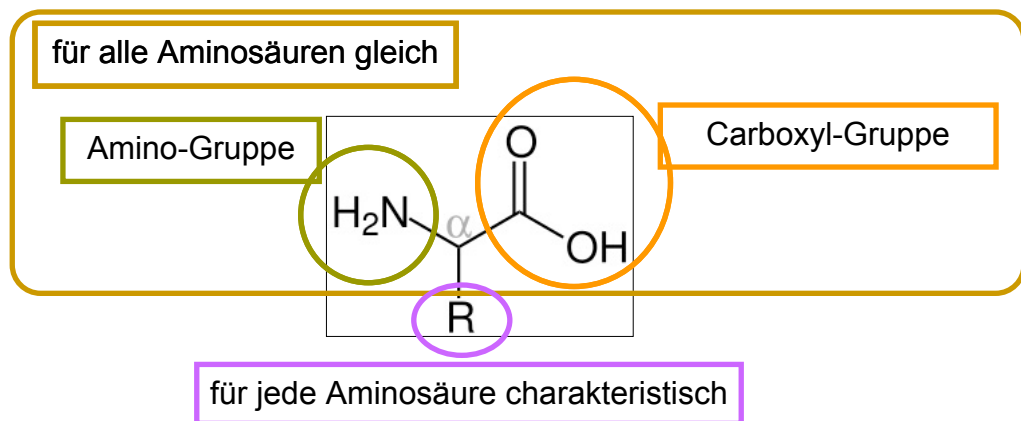
Dieses Spiel, der Wechsel zwischen P- und A-Position setzt sich nun fort, bis die gesamte mRNA abgearbeitet ist und damit das Gebäude „bezugsfertig“ ist, d.h. das neue Protein kann in der Zelle seine Funktion, vielleicht als Enzym, aufnehmen. Manchmal müssen am wachsenden Bauwerk Hilfestellungen geleistet werden. Dazu helfen wieder spezielle Hilfsproteine, die (sehr anschaulich!) als *Chaperone** (engl. 'Anstandsdamen') tituliert werden.

Wie lange haben Sie für die Lektüre dieses Artikels gebraucht? Nehmen wir 60 min an, dann hätte ein Ribosom in dieser Zeit 1800 - 3600 Aminosäuren verknüpft! Eine Bakterienzelle kann mit seinen um die 10 000 Ribosomen in 10 s mehr als 3000 verschiedene Proteine nebeneinander herstellen. Höhere Zellen, wie die unseres Körpers, verfügen über 10 000 bis 10 Millionen Ribosomen. Die Zellen unserer Leber, in der viele Proteine für den gesamten Körper produziert werden, verfügen über besonders viele Ribosomen. Wenn es auf unseren menschlichen Baustellen auch so schnell ginge, wäre Wohnungsknappheit kein Thema mehr!

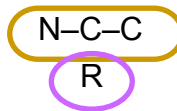
Ich hoffe, dass sich für Sie rückblickend aus den Bausteinen Genetik I, Proteine, Licht im dunklen Wald und dieser Foge ein zusammenhängendes Bild der molekularen Vorgänge in unseren Zellen ergibt.

Ein Beispiel: Im Text über Proteine konnten Sie sehen, dass alle Aminosäuren, die am Aufbau von Proteine beteiligt sind, einen prinzipiell gleichen Aufbau besitzen:

Der Aufbau von Aminosäuren



vereinfacht:



Nach der Lektüre des vorliegenden Textes wird der Grund dafür klar: nur mit dem einheitlichen N-C-C-„Kopf“ ist eine rationelle Synthese im Ribosom möglich, denn über diesen immer gleichen Bereich werden die Aminosäuren im Ribosom mit Peptidbindungen aneinander gefügt. Im Gegensatz zu unserem „Häusle-Bauen“: hier braucht man für jede Art von Bauteil (Fenster, Wände, Dächer, Heizung...) andere Handwerker mit anderen Werkzeugen und speziellen Kenntnissen.

Fachbegriff-Erklärungen

Anticodon

Basentriplett in der t-RNA, das zu dem Codon* der m-RNA komplementär ist, das die an der t-RNA gekoppelte Aminosäure* codiert.

gr. *anti avti* gegen

RNA*

Chaperone

Hilfsproteine bei der Proteinbiosynthese, verhindern Zusammenlagerungen noch unfertiger Proteine, indem sie die Proteine bei der Faltung unterstützen.

engl. 'Anstandsdamen' :schützen unreife Proteine (junge Damen) vor Anlagerung an andere, falsche Moleküle (schädliche Kontakte).

Codon

Basentriplett* der m-RNA, enthält die Information für eine Aminosäure* oder eine spez. Funktion; Informationseinheit des genetischen Codes*.

Ein-Gen-ein-Enzym-Hypothese (Ein-Gen-ein-Polypeptid-H.)

Jedem Enzym* (genauer jedem Polypeptid*) kann ein bestimmter DNA*-Abschnitt zugeordnet werden, der als Gen bezeichnet wird.

Gen

DNA*-Abschnitt, der eine funktionelle Einheit bildet, enthält meist die Information zum Aufbau eines Polypeptides*.

gr. *genea γενεά* Geburt, Entstehung

Ein-Gen-ein-Enzym-Hypothese*

Hämoglobin

Sauerstofftransportierendes Protein in den roten Blutkörperchen, ein quartärstrukturiertes Protein aus 2 α - und zwei β -Polypeptidketten, jede Kette enthält ein Fe-haltiges Häm-Molekül, an dem O₂-Moleküle gebunden werden.

mRNA (messenger-RNA)

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

Ribosomen

Organellen*, in denen die Proteinbiosynthese stattfindet; bestehen aus Proteinen und rRNA

RNA (Ribonukleinsäure)

Nukleinsäure* mit Ribose* als Zucker und Adenin, Uracil, Guanin und Cytosin als Basen*; einsträngig, aber z.T. in sich selbst doppelsträngig; entsteht durch Anlagerung komplementärer* Basen an die DNA*.

m*-, r*-, tRNA*

Sichelzellanämie

Erblich bedingte Veränderung der roten Blutkörperchen (Sichelform) durch Austausch einer Aminosäure im Hämoglobin* (in β -Kette an Pos. 6: Glutaminsäure durch Valin ersetzt); bei Homozygoten stark verminderte Leistungsfähigkeit und geringe Lebenserwartung wegen stark eingeschränktem Sauerstofftransport, Heterozygote resistent gegen Malaria.

Translation

Synthese eines Proteins im Ribosom nach der Vorschrift einer mRNA*

≠ Transkription*

lat. *translatio* 'Übersetzung' aus *trans* hinüber, *latio* Bringen

Tripletcode

Im genetischen* Code bilden je drei aufeinander folgende Basen* eine Informationseinheit (Codon*).

lat. *triplex* dreifach

tRNA (transfer-RNA)

RNA*-Moleküle, mit deren Hilfe die Aminosäuren im *Ribosom nach der der Vorschrift der mRNA* zu einem Protein* geordnet werden; besitzen Kopplungsstelle für Aminosäure und Anticodon*

Weitere Fachbegriffserklärungen aus der Biologie und den angrenzenden Wissenschaftsgebieten Physik und Chemie finden Sie auch in meiner Homepage unter

<https://reisemausunterricht.wordpress.com/biologie/> und

<https://reisemausunterricht.wordpress.com/chemie-und-physik/>