

Genetik

Dies ist ein älterer Text von mir. Er diente einmal der Vorbereitung für mein Speicherbuch. Leider sind die Bildhinweise dadurch nicht korrekt.

Alles Leben geht auf *Zellen* zurück. Nur relativ wenige Lebewesen, u. a. Phagen und Bakterien bestehen aus einer Zelle. Dies sind die Einzeller, die auch den Anfang der biologischen Entwicklung auf der Erde bildeten. Doch die Pflanzen (ca. $4 \cdot 10^5$ Arten) und Tiere (reichlich 10^5 Arten) bestehen aus einer Vielzahl (etwa 10^5 bis 10^{17}) Zellen, die auch bei einem Lebewesen in einer Vielzahl von Varianten vorliegen. Trotz des großen Formenreichtums der Arten ist das Leben nach erstaunlich wenigen Grundprinzipien organisiert. Hierzu gehören:

- Entwicklung jedes komplexen Individuums aus einer einzelnen Zelle, bei Vögeln z. B. aus dem Ei.
- Genetische Codierung fast aller Lebensfunktionen und -strukturen.
- Vollständige genetische Substanz in jeder einzelnen Zelle des Lebewesens.

Die biologische Zelle

Die einzelne Zelle wird damit zum Ausgangspunkt vieler Betrachtungen. Dabei ist zu beachten, daß es bei den Mehrzellern recht unterschiedlich Zellgruppen gibt, die zugleich spezifische Aufgaben erfüllen, z. B. Muskelzellen für Bewegung, Blutzellen für Sauerstofftransport (Versorgung mit Energie), Neuronen für Informationsprozesse, Hautzellen für die Bildung der Körperoberfläche und die Eizelle als Ursprung des einzelnen Lebewesens.

Aus der großen Vielfalt der Zellen zeigt ein Bild vier typische Beispiele. Das Mycoplasma als kleinsten Einzeller, ein Bakterium, eine pflanzliche und eine tierische Zelle. Ihre Größe beträgt beim kleinsten Einzeller etwa $0,2 \mu\text{m}$ Durchmesser. Bei den Tierzellen sind etwa 10 bis 30 und bei den Pflanzenzellen 10 bis $100 \mu\text{m}$ üblich. Es gibt aber auch Zellen, z. B. Bastzellen, pflanzliche Milchröhren und tierische Nervenzellen, die in einer einzigen Dimension bis zu mehreren Metern lang sind. Bei der Pflanzenzelle fallen gegenüber der tierischen Zelle die stark ausgeprägte Zellwand und die großen Hohlräume (Vakuolen) auf. Jede lebende Zelle ist meist mit dem zähflüssigen Protoplasma (Zytoplasma) gefüllt und nach außen durch die Zellmembran abgegrenzt. In ihrem Inneren existieren verschiedene Organelle (Zellbestandteile mit eigener Funktion). Hierzu zählen unter anderem:

- *Zellkern*. Bei der pflanzlichen und tierischen Zelle ist er deutlich durch eine besondere Membran abgetrennt. In ihm existiert gut geschützt die noch genauer zu betrachtende genetische Substanz. (Formal technisch könnte der Zellkern als 'Festplatte des Lebewesens' bezeichnet werden). Bei den beiden Einzellern ist die genetische Substanz noch nicht durch eine Membran geschützt. Im Mycoplasma liegt der äquivalente DNS-Strang fast gleichmäßig der Zelle. Bei dem Bakterium ist er bereits zum Kern, als ein Quasi-Chromosom zusammengepackt.
- *Endoplasmatisches Retikulum*. Auf ihm befinden sich (sichtbar als kleine Punkte) bevorzugt die *Ribosomen*. Sie dienen zur Nutzung der genetischen Substanz. Sie werden anschaulich als 'Werkbänke der Zelle' bezeichnet.
- *Mitochondrien*, zur Erzeugung des Brennstoffs der Zelle ATP. Sinnbildlich werden sie daher auch 'Kraftwerke der Zelle' genannt.
- *Golgi-Apparat*. Er dient vorwiegend zur Produktion von Sekreten.

Es fällt auf, daß bei dieser Aufzählung nicht die *Chromosomen* genannt sind, die ja allgemein als Träger der Erbinformation gelten. Sie sind jedoch nur zu bestimmten Zeiten in der Zelle, nicht im Zellkern sichtbar. Um dies zu verstehen muß der *Zellzyklus* betrachtet werden. Seine Bedeutung wird dann besonders verständlich, wenn man bedenkt, daß die Vielzahl der Zellen eines höheren Lebewesens sich aus der einen Eizelle entwickeln. Hierzu muß sich diese Zelle teilen, und das setzt sich so für jede dabei entstandene Zelle so lange fort bis das Lebewesen vollständig existiert. Aber auch dann werden immer einige Zellen unbrauchbar und sterben ab. Sie müssen wiederum nur durch Zellteilung ersetzt werden. Ein Zellzyklus reicht von einer Zellteilung zur nächsten und ist schematisch in einem Bild dargestellt. Es können zwei große 'Phasen' unterschieden werden:

- Die Interphase.
- Die Teilungsphasen. hier werden weiter die Pro-, Meta, Ana- und Telephase unterschieden. Sie sind vor allem durch das unterschiedliche Aussehen bestimmt.

Unter 'normalen' Bedingungen (nicht betonte Teilung und Vermehrung der Zellen) nimmt die *Interphase* die meiste Zeit in Anspruch. In ihr sind keine Chromosomen zu sehen. Hier geschieht zweierlei:

- Die genetische Substanz wird nachhaltig für die Funktion der Zelle genutzt.
- Die genetische Substanz wird in Vorbereitung für die Teilung verdoppelt.

Für die Teilung muß das genetische Material sehr gut verpackt werden. Das sichtbare Ergebnis sind die *Chromosomen*. Erst wenn dies geschehen ist, löst sich die Membran des Zellkerns auf und anschließend (Ende der *Prophase*) bildet sich ein Spindelapparat aus. Er packt in der *Metaphase* die Chromosomen an den Zentromer und leistet dann die mechanische Arbeit zur Trennung des doppelten Chromosomensatzes. In der *Teleophase* ist dies vollständig geschehen. Jetzt bildet sich eine Trennungsmembran so aus, daß zwei Zellen entstehen. Gleichzeitig bilden sich auch die zwei Membranen für die beiden neuen Zellkerne. Dann lösen sich wieder die Chromosomen auf und nun kann für beide Zellen die *Interphase* beginnen.

Die Anzahl der Chromosomen ist von Art zu Art recht verschieden und schwankt zwischen 2 und wenigen hundert, bei einem Mittelwert um 20. Die Chromosomen sind etwa 0,8 bis 40µm lang und 0,5 bis 2µm dick. Sie bestehen aus:

DNS	5 ... 20 %
Proteine	50 ... 80 %
RNS	1 ... 17 %

Nukleinsäuren, DNS

In den Chromosomen ist auf molekularer Basis die Erbinformation enthalten. Dazu gibt es viele Untersuchungen und Detailkenntnisse. Dennoch kennt man die Anordnung der molekularen Erbsubstanz in den Chromosomen noch ungenügend. Deshalb sei hier direkt zur Beschreibung auf molekularer Ebene übergegangen. Der Grundbaustein ist die *Desoxy-Ribose-Nuklein-Säure* (sprich: nu-kle-in), kurz DNS. Sie besteht wiederum aus 3 Substanzen :

- Orthophosphorsäure H_3PO_4 ,
- Zucker (Desoxy-Ribose) $C_5H_4O_4$,
- organische Base.

Die organischen Basen leiten sich dabei in je zwei Varianten vom Purin $C_5H_4N_4$ (T und C) bzw. Pyrimidin $C_4H_4N_2$ (A und G) ab. Für die genetische Speicherung stehen somit vier verschiedene Nukleotid-Bausteine zur Verfügung (A, G, T, C). Sie stellen das Alphabet der genetischen Speicherung dar. Jeder dieser Bausteine hat in 3er und 5er Ende am Zucker als OH bzw. am Phosphor als H. Auf dieser Basis können einzelne Bausteine zu einer linearen Kette angeordnet werden (Teilbild c). Die Länge solcher Ketten kann zwischen 10^4 und 10^{10} Bausteinen liegen (Bild 12.4 und 12.5 oben für die Evolution). Grob gilt: Viren besitzen $10^4 - 10^6$; Bakterien $10^5 - 10^7$; einfache Tiere und Pflanzen $10^7 - 10^9$; Säugetiere und Blütenpflanzen $10^9 - 10^{10}$ Nukleotid-Sequenzen.

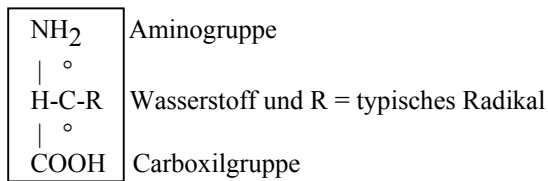
→ Die Abfolge der Basen in der Kette der Nukleotid-Sequenzen ist die genetisch gespeicherte Information.

Rein energetisch ist eine lineare Kette aus den Nukleotid-Bausteinen nicht hinreichend stabil. Deshalb werden zwei Stränge zur gewundenen *Doppelhelix* vereinigt (Teilbild 12.3 f). Auf den jeweils gegenüber liegenden Strängen befinden sich aber nicht die gleichen Basen, sondern ihre Äquivalente. Dies war bei den Basen schon durch die jeweils rechten Puzzlestrukturen angedeutet. Sie betreffen unterschiedliche Doppelbindungen. Darüber erfolgt die Zusammenlagerung gemäß den Teilbildern d) und e). Über diese Doppelbindungen je 'Stufe' der Doppelhelix und ihre Verwindung ist diese genetische Substanz recht stabil. Wie sie dann weiter in den Chromosomen verpackt wird ist noch weitgehend unklar.

Eiweiße (Proteine)

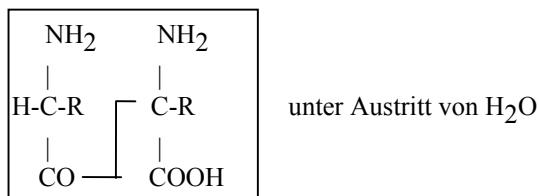
Die bisherigen Betrachtungen galten dem Code. Doch er muß zu den Objekten, den Lebewesen führen. Lebewesen sind aus einer Vielzahl von Stoffen aufgebaut, die meist in Kohlehydrate, Fette und Eiweiße eingeteilt werden. Dabei sind *Kohlehydrate* und *Fette* vor allem Energieträger. Darüber hinaus besitzen sie bei einigen Strukturen, z. B. den Membranen Bedeutung. Die *Eiweiße* (synonym Proteine, sprich: Pro-te-ine) sind dagegen für das Leben fundamental. U. a. steuern und realisieren sie fast alle Funktionsabläufe der Zelle. So wie in der Chemie schlecht ablaufende Reaktionen durch Katalysatoren beschleunigt werden, wirken sie in der Zelle als Enzyme. Weiterhin sind sie direkt am Aufbau von Strukturen beteiligt. Gegenüber den üblichen chemischen

Reaktionen laufen fast alle biologisch relevanten Reaktionen der Zelle im Fließgleichgewicht ab, denn sowohl die Reaktionspartner als auch die Reaktionsprodukte werden kontinuierlich zu- und abgeführt.
Alle Proteine setzen sich aus verschiedenen *Aminosäuren* zusammen. Jede Aminosäure besitzt den folgenden Aufbau:



Alle Lebewesen verwenden genau 20 verschiedene Aminosäuren, die durch unterschiedliche Radikale R gekennzeichnet sind (Bild 12.4 rechts). Prinzipiell sind alle Aminosäuren optisch aktiv, d. h. sie drehen die Polarisationssebene von Licht. Von den beiden stereometrisch möglichen Varianten wird in allen Lebewesen jedoch nur der L-Typ (links drehend) genutzt.

Aminosäuren besitzen ein basisches und ein saures Ende (H- und OH-Gruppe). Dadurch können sie sich zu längeren Ketten unter Abgabe von Wasser (Hydratation) zusammenschließen:



So entsteht ein *Peptid*. Die Peptidbildung ist an beiden Enden wiederholbar und so verlängert sich die Kette. Je nach ihrer Länge werden Namen wie Di-, Tri-, Poly- und Makropeptid, für 2, 3, bis zu 100, mehr als 100 bis ca. 10000 Aminosäuren, verwendet. Die Makropeptide sind die Proteine im engeren Sinne. Im Bild 12.4 links sind die Kettenlängen einiger Proteine angegeben. Zunächst ist ein Protein also nur eine Kette, die aus Aminosäuren gebildet wurde. Die Abfolge der Aminosäuren-Arten in der Kette ist dabei für jedes Eiweiß dabei typisch. Hier liegt also ein *Alphabet* aus 20 Zeichen vor. Infolge dieses relativ großen Alphabets ist die mögliche Vielfalt der Eiweiße extrem groß. Selbst bei einer Kettenlänge von nur 100 gibt es bereits $20^{100} = 10^{1,3n}$ mögliche Eiweiße. Dies ist schon mehr als die 10^{80} Atome im Weltall. Heute existieren etwa 10^8 unterschiedliche Eiweiße, in der Evolution dürften etwa 10^9 Varianten ausprobiert worden sein.

Die Proteine sind als Ketten im allgemeinen wenig stabil. Das zentrale α -C-Atom besitzt dabei eine besondere Bedeutung. Die Verbindungen zu COOH und NH₂ sind nämlich nicht starr, sondern drehbar. Hierdurch kann sich die Kette vielfältig zusammenfalten. Die dabei entstehende räumliche Konfiguration kann weiter durch Wasserstoffbrücken stabilisiert werden. So ergeben sich u. a. blatt- und fadenförmige, aber auch kugelige Proteine. Darüber hinaus kann sich diese Konfiguration auch spontan, eventuell durch äußere Einflüsse verändern. Die derartig dynamischen Eiweiße werden vielfältig, z. B. als Enzyme zur Steuerung von Lebensprozessen benutzt. Dabei werden ihre globalen physikalisch-chemischen Eigenschaften für verschiedene Anwendungen quasi umgeschaltet. Man kennt etwa 20000 derartiger Enzyme. Durch Erhitzen (Kochen, Braten) wird die lebenswichtige Struktur aller Eiweiße zerstört (denaturiert).

Der genetische Code

Jetzt kann die Funktion der genetischen Speicherung angegeben werden. Die Information für das Lebewesen ist in der Abfolge der Nukleotidsequenzen enthalten. Sie muß so in die Sequenzen der Aminosäuren übersetzt werden, daß die richtigen Proteine zur rechten Zeit am rechten Ort bereitstehen. Es existiert folglich: das Alphabet der Nukleotide mit vier Symbolen und das Alphabet der Aminosäuren mit zwanzig Symbolen. Im Mittel müssen also mindestens $\ln 20 / \ln 4 \approx 2,161$ Nukleotidsequenzen eine Aminosäure codieren. Es hat sich gezeigt, daß der genetische Code für alles irdische Leben einheitlich ist und immer eine konstante, redundante Länge von 3 benutzt. Jeweils 3 Nukleotidsequenzen bestimmen als je eine der 20 Aminosäuren. Dieser Code ist folglich hoch redundant (Bild 12.6 links unten). Insbesondere liegt die Redundanz beim jeweils dritten Nukleotid, das daher auch als Wobble-Base bezeichnet wird. Neben den codierten Aminosäuren existieren auch Start- und Stop-Codons. Sie legen den Beginn der Decodierung und die Kettenlänge der Aminosäuren fest. Ansonsten gibt es keine Festlegung darüber, wo mit der Zählung der drei Nukleotidsequenzen zu beginnen ist. Die Interpretation kann dann um eine Sequenz nach links oder rechts verschoben werden. Dadurch entsteht ein

völlig anderes Protein. Solche Mehrfachnutzungen treten auch in der Tat auf, jedoch offensichtlich nur als Ausnahme bei wenigen Bakterien. Schematisch läßt sich der Zusammenhang von genetischer Speicherung und Realisierung gemäß der folgenden Tabelle darstellen.

Die Zelle enthält den durch Membran getrennten Zellkern. Dort existiert die DNS, die bei der Zellteilung als Chromosomen sichtbar wird	Ein Lebewesen besteht aus Eiweißen, Fetten und Kohlehydraten. Die wesentlichen Baustoffe und Enzyme sind Eiweiße. Die Eiweiße bestimmen fast alle Lebens-Prozesse
Grundbaustein der DNS ist Nukleotid bestehend aus: <ul style="list-style-type: none"> ■ Orthophosphorsäure ■ Zucker (Pentose) 2 Arten ■ organische Base, 4 (5) Arten 	Grundbaustein des Eiweißes ist die Aminosäure bestehend aus: <ul style="list-style-type: none"> ■ C als zentrales Atom ■ NH₂, C, COOH ■ Radikal in 20 Arten
Lineare Ketten aus 10 ⁴ bis 10 ¹⁰ Nukleotide, zusammengefaßt in der Doppelhelix	Lineare Ketten aus 50 bis 10 000 entstehen durch Peptidbildung und werden zu komplexer und oft dynamischer Sekundär- und Tertiärstruktur verbunden
Komplexität ist 4 ⁿ =10 ^{0,6n}	Komplexität ist 20 ⁿ =10 ^{1,3n}
Drei Sequenzen von Nukleotiden codieren eine Aminosäure	Aminosäure wird von einer Sequenz aus drei Nukleotide codiert

Mechanismen der Decodierung

Der biologische Codierungsprozeß ist selbst in der einfachsten Beschreibung recht komplex und enthält mehrere Zwischenprodukte und Abläufe. Dies zeigt zwei Bilder in einer mehr anschaulichen Darstellung.

Zunächst existiert der Prozeß der *Replikation*, der vor jeder Zellteilung die DNS dupliziert. Er vollzieht sich im Zellkern und wurde bereits besprochen. Eine detailliertere Darstellung dieses Prozesses zeigt ein Bild. Das Protein DNS-Polymerase trennt die ursprüngliche DNS auf und ergänzt jeden Teilstrang um die passende Hälfte. Hierbei ist das Protein Ligase fähig, zusätzlich kleine Fehler zu korrigieren.

In drei weiteren Teil-Prozessen werden relativ kurze Abschnitte (mehrere 100 bis 1000 Sequenzen) von der DNS als RNS-Kopien hergestellt. Die RNS ist die Kopie eines kurzen Abschnittes, meist eines Gens der DNS. Im Gegensatz zur DNS enthält einen anderen Zucker, der ein Sauerstoffatom mehr hat (daher Ribose Nuklein Säure). Darüber hinaus wird Base T durch U (Uradyl) ersetzt (Vgl. Bild 12.3). Diese kurzen Kopien sind fähig, die Kernmembran zu durchdringen. Vereinfacht können Sie sich diesen Prozeß so vorstellen, als ob die DNS alle Daten Ihrer Festplatte enthält und die RNS dann jeweils die Kopie einer Datei von der Festplatte ist, die so zur Weiterarbeit in den Arbeitsspeicher RAM übertragen wird. Von den RNS existieren drei Typen mit unterschiedlichen Aufgaben: m-, t- und r-RNS. In einer lebenden Zelle existieren davon:

m-RNS 5 ... 10 %
r-RNS 75 ... 85 %
t-RNS 10 ... 15 %

Die Erzeugung der RNS ist schematisch in Bild 12.8 d dargestellt. Diesen Prozeß realisiert die RNS-Polymerase. Sie besteht gemäß Bild 12.8 e) aus mehreren Teil-Partikeln. Für die Bildung der RNS wird zunächst die DNS ein kurzes Stück auseinandergezogen. Hier legen sich nacheinander mehrere RNS-Polymerasen an und erzeugen sogleich nacheinander mehrere RNS. Bild 12.7 Mitte rechts zeigt dies anschaulich.

Von der m-RNS (m von message = Botschaft) wird die Abfolge der Aminosäuren für das Proteine bestimmt. Sie sind also die eigentlichen Speicherstrukturen für die zu erzeugenden Proteine und besitzen daher auch meist die Länge für ein Protein.

Die t-RNS (t von Transport) dienen der ganz spezifischen Codierung genau einer Aminosäure. Sie haben meist eine kleeblattähnliche Struktur. Bild 12.7 rechts oben zeigt ein Beispiel in zwei Darstellungen: links den m-RNS-Faden und rechts linear entfaltet die Abfolge der Nukleotid-Bausteine. Hier werden spezielle Bausteine verwendet, die sonst keine Bedeutung besitzen. Am 'mittleren Blatt befindet sich oben ein Codetripel, das genau zu einer Aminosäure paßt. Am Stiel der t-RNS wird unten diese Aminosäure angebunden. In diesem Zustand transportiert die t-RNS als sogenannte AA-t-RNS die Aminosäuren zum Decodieren zum Ribosom (weiter unten).

Die r-RNS (r von Ribosom) codiert die Ribosomen, welche sich meist auf dem Retikulum befinden. Sie bestehen gemäß Bild 12.7 rechts unten aus zwei Untereinheiten. Ein Ribosom heftet sich dazu an eine m-RNS. Dann kann die Decodierung mittels der t-RNS erfolgen. Ihren Verlauf zeigt Bild 12.7 links unten. Zunächst legt sich die kleine Einheit des Ribosom an die Startsequenz der m-RNS. Passend dazu legt sich auch die erste t-RNS mit ihrem Anti-Codon an. Nun folgt die große Ribosomen-Einheit. Dadurch stehen zwei Plätze auf dem Ribosom für zwei t-RNS zur Verfügung. Also folgt die zweite t-RNS. Dann werden die beiden Aminosäuren verknüpft. Dabei 'hüpft' das Ribosom mit den beiden t-RNS quasi getaktet um drei Sequenzen auf der DNS weiter. Dadurch hat die erste t-RNS keinen Halt mehr an der m-RNS. Sie entfernt sich ohne die Aminosäure und lädt sich eventuell später wieder mit einer neuen Aminosäure auf oder zerfällt. Gleichzeitig ist nun wieder der linke Platz auf dem Ribosom frei und dort kann sich die dritte t-RNS anlagern. Ihre Aminosäure wird an die schon vorhandenen angehängt. Der geschilderte Vorgang wiederholt sich solange, bis das Ribosom am Ende der m-RNS ankommt. Dann zerfällt der Komplex aus den beiden Ribosom-Einheiten und der m-RNS. So wird das Protein frei gegeben. In der Regel hängen an einer m-RNS hintereinander mehrere Ribosomen. So wird durch Quasi-Parallelität die Erzeugungsrate für die Proteine deutlich erhöht. In diesem Fall heißt der Komplex aus der m-RNS und den Ribosomen auch Polysom.

Von den Proteinen zum Lebewesen

Die bisherigen Betrachtungen zeigen in stark vereinfachter Darstellung, wie aus der Reihenfolge der Nukleotide in der DNS (die sich in den Chromosomen befindet) schrittweise die verschiedenen Proteine (auch die Ribosomen) erzeugt werden. Die Proteine sind teilweise zum Aufbau der Zellsubstanzen erforderlich, und teilweise wirken sie als Enzyme bei den verschiedenen biomolekularen Reaktionen. Gerade über diese Enzyme ist damit ein komplizierter, vielfältig hierarchisch vernetzter und rekursiver Kreislauf in der Zelle realisiert. Weiter läßt sich so erklären, warum in jeder Zelle der volle DNS-Satz existiert, ja existieren muß. Aber auch die Spezialisierung der einzelnen Zellen läßt sich erklären. Es werden dann jene Sequenzen der DNS mit Histonen (spezielle biologische Substanz) verdeckt, die für diese Zellen nicht mehr benötigt werden. Je spezieller die Zelle ist desto mehr wird maskiert. Sehr wahrscheinlich spielen dabei auch Zellkontakte zwischen den einzelnen Zellen eines Lebewesens eine beachtliche Rolle. Weiter werden einige Substanzen in den Zelle in großer Menge benötigt. Deshalb existieren sogar bei der DNS verschiedene Sequenzen mehrfach. Ein Beispiel hierzu zeigt Bild 12.6 unten recht.

Es sei noch erwähnt, daß nicht alles Erbmateriale in den Chromosomen fixiert ist. Geringe Anteile existieren auch in den verschiedenen Strukturen des Zytoplasma, insbesondere bei den Mitochondrien und Plastiden. Es wird vermutet, daß diese Bausteine früher einmal selbständig waren, sich daher auch selbst vermehren mußten und später in die Zelle im Sinne einer Symbiose aufgenommen wurden.

Evolution

Die bisherigen Betrachtungen zeigten, daß die DNS sehr stabil (unverändert) immer wieder das gleiche Muster der DNS-Sequenzen für eine Art wiederholt. Doch durch äußere Einflüsse, z. B. radioaktive Strahlung können trotz aller Reparaturmechanismen zufällige Änderung in der DNS auftreten. Die generelle Fehlerrate wird auf etwa 10^{-4} bis 10^{-6} je Generation geschätzt. Sie wird aber nur sehr begrenzt wirksam:

- Alle Mechanismen, insbesondere die Duplizierung, sind stark durch Fehlerkorrekturen geschützt.
- Die meisten Änderungen sind letal. Sie führen also zu Individuen, die nicht lebensfähig sind und können sich dadurch nicht fortpflanzen.
- Infolge der Geschlechtlichkeit vieler Individuen wird jeweils nur die Hälfte der Fehler wirksam.

Trotz dieser Einflüsse besteht aber die Möglichkeit, daß doch neuartige Varianten einer Art oder gar neue Arten entstehen. Andererseits werden solche Mutationen heute teilweise auch vom Menschen bewußt ausgewählt und gefördert. So sind u. a. viele Nutzpflanzen (z.B. Getreide, Obst) und Tiere (z.B. Hunde- und Katzen-Rassen) entstanden.

Literatur

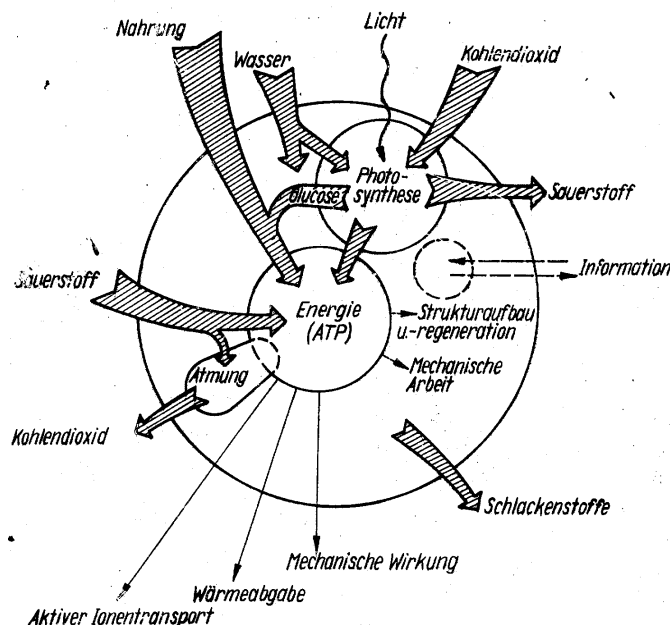
- [BEL] Beljajev, D. K., u. a.: Allgemeine Biologie. Berlin: Verlag Volk und Wissen 1969
[BIO] Biologie in Übersichten, Berlin: Verlag Volk und Wissen 1980
[FÜL] Füller, H.: Bausteine des Lebens. Leipzig, Jena, Berlin: Urania Verlag 1975
[KÄM] Kämpfe, L.: Evolution und Stammesgeschichte der Organismen. Jena: Verlag G. Fischer 1980
[KLU] Klug, M.: Bau und Funktion tierischer Zellen. Wittenberg: Ziemsen-Verlag 1973

- [KÖR] Körner, U.: Probleme der Biogenese. Jena: Verlag G. Fischer 1974
 [LIB] Libbert, E.: Kompendium der Allgemeinen Biologie, Jena: Verlag G. Fischer 1977
 [NAG] Nagel, W.: Chromosomen - Struktur, Funktion, Evolution. München: Goldmann-Verlag 1972
 [RAT] Ratner, V. A.: Molekulargenetische Steuerungssysteme. Berlin. Akademie-Verlag 1977
 [REI] Reinbothe, H.: Einführung in die Biochemie. Jena: Verlag G. Fischer 1875
 [REM] Remane, A.; Storch, V.; Welsch, U.: Kurzes Lehrbuch der Zoologie. Jena: Verlag G. Fischer, 3. Aufl. 1978
 [STR] Straßburger, E.; Noll, F.; Schenk, H.; Schimper, A. F. W.: Lehrbuch der Botanik. Jena: Verlag G. Fischer, 30. Aufl. 1971
 [TRÄ] Träger, L.: Einführung in die Molekularbiologie. Jena: Verlag G. Fischer 1975

Hier ergänzender Text mit Bildern

Zelle

Alles Leben beruht auf Zellen. Sie bestehen aus **Fette, Kohlehydrate und Eiweiße**. Eiweiße machen den Hauptbestandteil aus, steuern/realisieren (Katalysatoren = Enzyme) fast alle Funktionsabläufe der Zelle und realisieren der Strukturen. Zellen nehmen stofflich-energetisch Nahrung, CO₂, H₂O, und Licht auf, erzeugen daraus die Stoffe und Energie für ihr Leben und geben Schlackenstoffe und CO₂ ab. Pflanzen erzeugen mittels der Photosynthese auch Sauerstoff, was sehr wichtig für Entstehung des Lebens. Zusätzlich existieren vielfältige

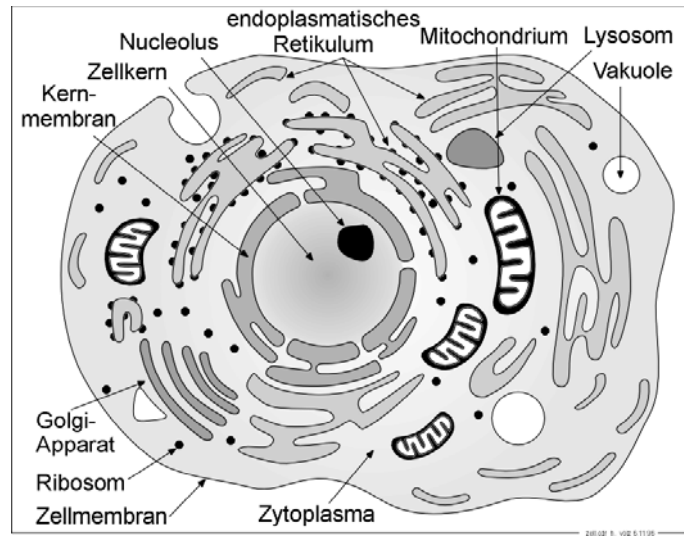
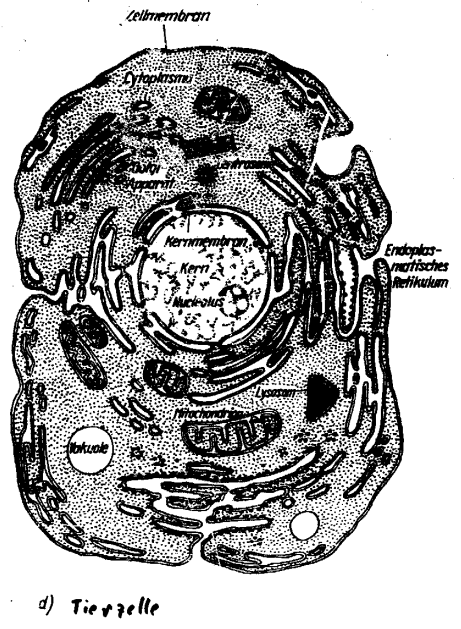
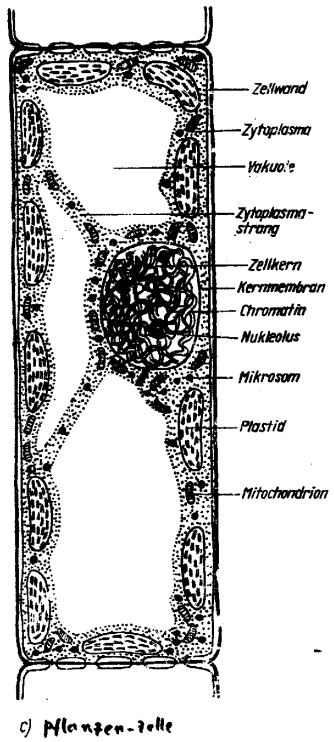
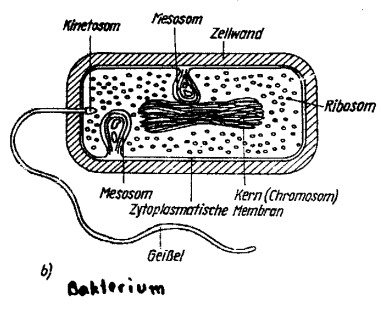
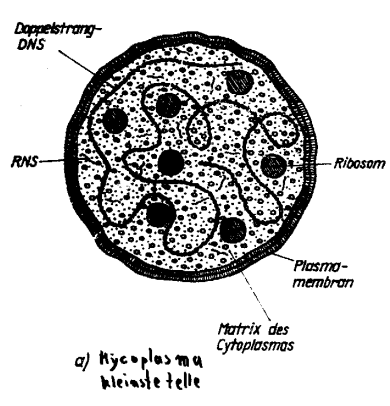
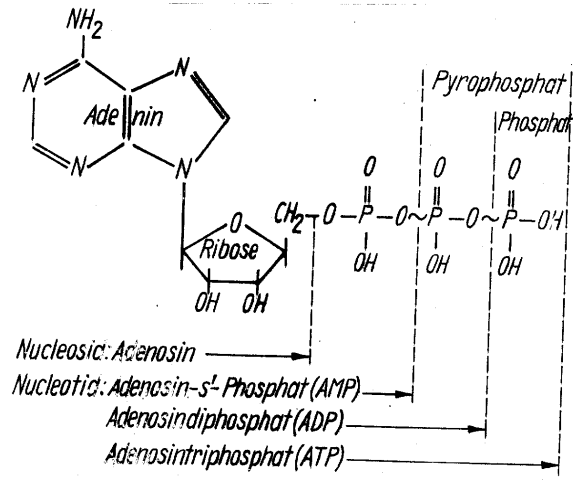


Informationsbeziehungen. Sie betreffen sowohl das Innenleben als auch die Umwelt. Hier interessieren nur die internen Prozesse. Dabei sind zwei Stoffgruppen wesentlich: DNS und Proteine. Beide sind über einen für alles irdische Leben universellen Code verknüpft.

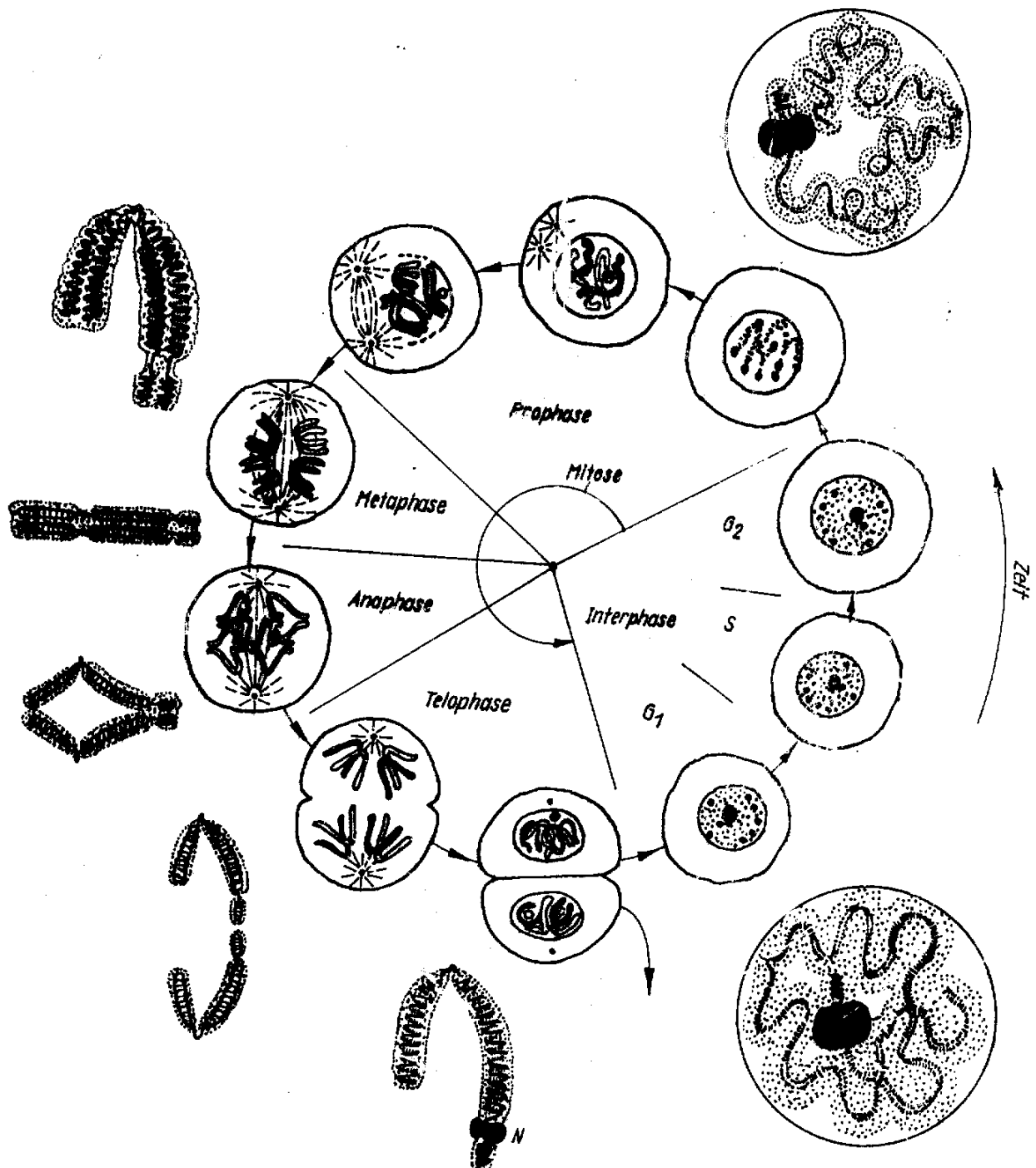
Alle Lebensprozesse laufen im Fließgleichgewicht ab. Unser Zellen werden also ständig erneut aufgebaut. Hierzu sind viele Enzyme notwendig, die sich fast alle von Eiweißen ableiten.

Wichtigste Energie-, „Substanz“ ist das ATP.

Alle Lebewesen sind aus Zellen aufgebaut. Die Zelle besitzt einen **Zellkern**, in dem die genetische Substanz DNS eingeschlossen (geschützt) ist. Der Rest ist mit Zytoplasma ausgefüllt. Hierin existieren als Organellen u.a. Golgi-Apparat (Drüsen für Sekrete usw.), Mitochondrien (für den Energiebedarf), Endoplasmatisches Retikulum trägt teilweise die Ribosomen (auch Werkbänke der Genetik genannt).

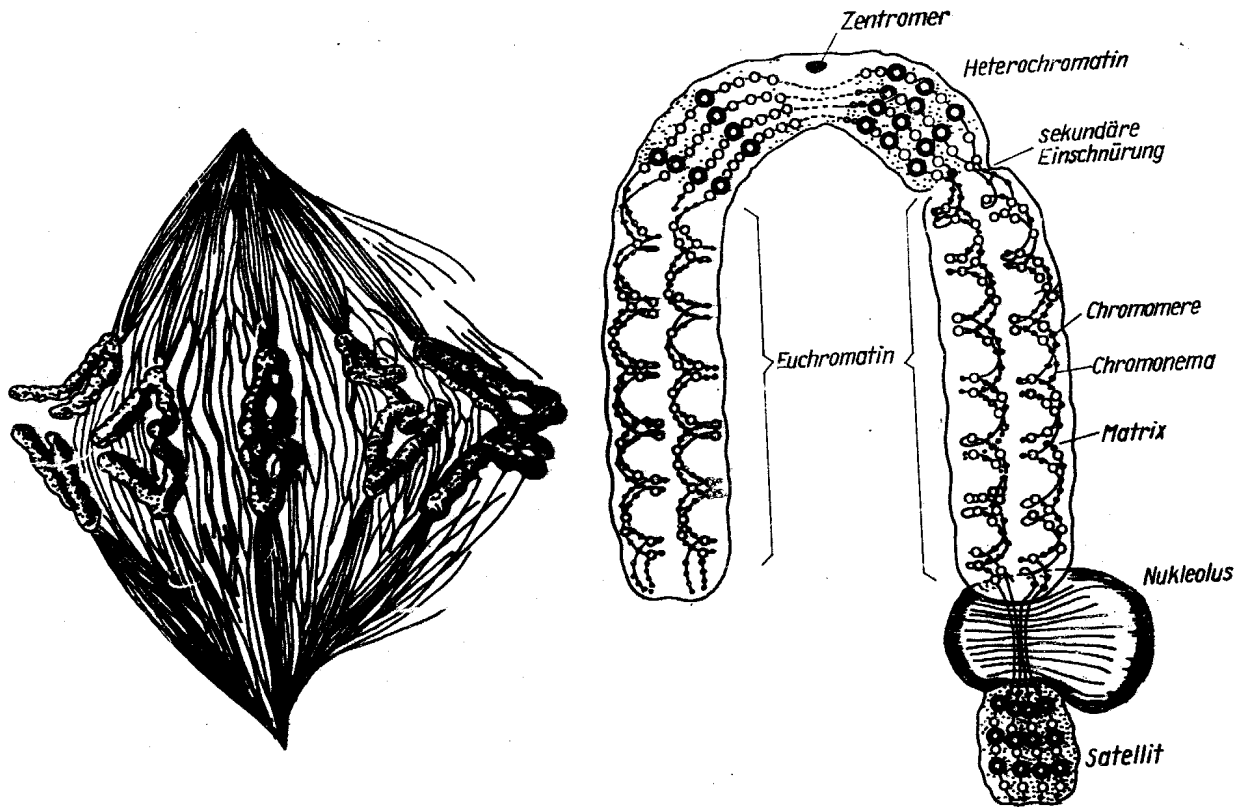


Im Zellzyklus vollzieht sich die Mitose (Zellteilung). In der Metaphase ist die DNS aktiv, in den anderen Phasen wird sie auf die beiden neuen Zellen identisch geteilt. Die Mitose dauert meist viel länger als die anderen Phasen zusammen. Jede Zelle eines Lebewesens enthält die vollständige Information. Daher ist Klonen möglich.



Zellzyklus ⇒ Zellteilung

- **Interphase:** meiste Zeit, keine Chromosomen zu sehen, genetische Substanz wird verdoppelt, genetische Substanz wird genutzt für das „Leben“ der Zelle
- **Teilungsphasen** = unterschiedliche Zellzustände von der Vorbereitung der Zellteilung bis zum Abschluß



Chromosomenzahlen bei verschiedenen Tierarten

Spezies	Deutsche Bezeichnung	2n	Spezies	Deutsche Bezeichnung	2n
Parascaris equorum	Pferdespulwurm	4	Rattus norveicus	Wanderratte	42
Culex pipiens	Stechmücke	6	Oryctolagus cuniculus	Kaninchen	44
Canis familiaris	Haushund	8	Actinophrys sol	Sonnentierchen	44
Drosophila melanogaster	Taufliege	8	Homo sapiens	Mensch	46
Musca domestica	Stubenfliege	12	Pan troglodytes	Schimpanse	48
Columba livia	Haustaube	16	Rhesus macacus	Rhesusäffchen	48
Salamandra maculosa	Feuersalamander	24	Perca fluviatilis	Flußbarsch	48
Rana temporaria	Grasfrosch	26	Bos taurus	Kuh	60
Pieris brassicae	Kohlweißling	30	Capra hircus	Ziege	60
Apis mellifica	Honigbiene	32	Equus caballus	Pferd	64
Lumbricus terrestris	Regenwurm	32	Gallus domesticus	Haushuhn	78
Vipera berus	Kreuzotter	36	Cyprinus carpio	Karpfen	104
Felis domestica	Hauskatze	38	Eupagurus ochotensis	Einsiedlerkrebs	254
Mus muscultis	Hausmaus	40			

Nukleinsäuren

Alle Eiweiße müssen aus den Grundstoffen und der Energie in der Zelle erzeugt werden. Hierzu muß ein Programm und ein Bauplan vorliegen. Beides muß in der Zelle gespeichert und immer weiter vererbt werden (Stabilität der Art).

Die **Erbsubstanz** ist als DNS (Desoxy-ribosin-Nuklein-Säure) vollständig im Zellkern in den Chromosomen jeder Zelle enthalten (abgetrennt durch eine semipermeable Membran). In jedem Lebewesen ist sie also bis zu 10^{20} -mal parallel vorhanden. Sie besteht aus den folgenden Bausteinen, wovon ein DNS-Molekül eine Kette bildet

Eine **Nukleinsäure** besteht aus

- Orthophosphorsäure H_3PO_4
- **Zucker** (Penthose, Desoxy-Ribose C_5OH_7 bzw. bei RNS Ribose $C_5O_2H_7$)
- **organische N-haltige Base**

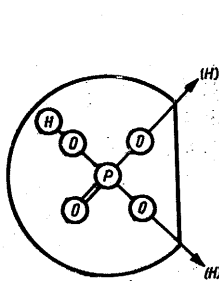
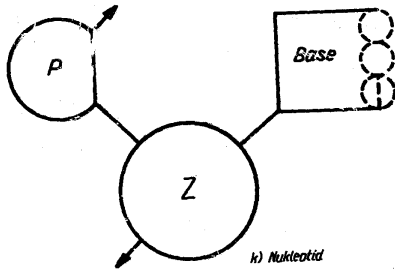
von den Basen werden **4 Arten** verwendet:

A: Adenin; C: Cytosin; G: Guanin; T: Thymin (bei RNS statt dessen U: Uracyl)

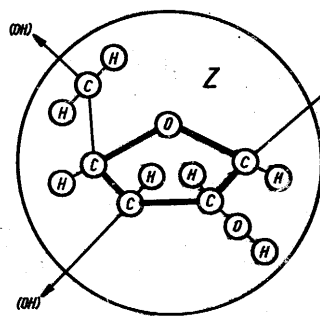
Bei Gleichverteilung gilt 1 Nukleinsäure = 2 Bit.

Die Ketten der RNS bilden einen langen Faden, der in der Doppelhelix komplementär zusammengesetzt ist (Stabilität). $T \leftrightarrow A$ und $C \leftrightarrow G$.

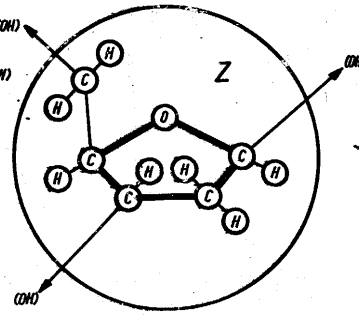
Die Kettenlänge aller DNS-Stränge beträgt etwa: Viren $10^4 - 10^6$; Bakterien $10^5 - 10^7$; einfache Tiere und Pflanzen $10^7 - 10^9$; Säugetiere und Blütenpflanzen $10^9 - 10^{10}$.



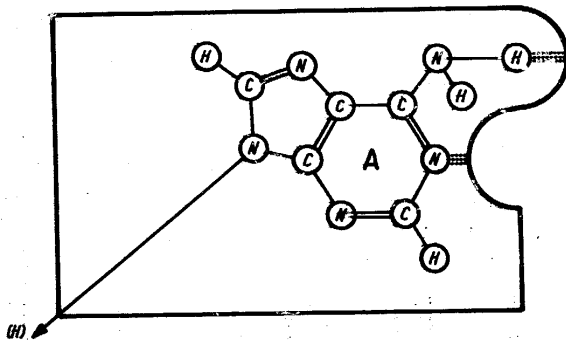
c) Triphosphorsäure H_3PO_4



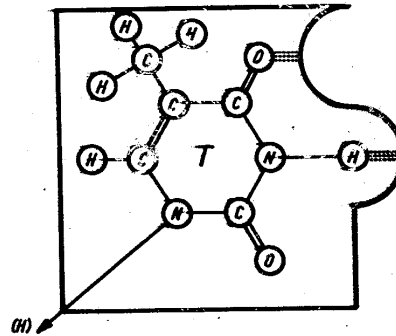
b) Ribose



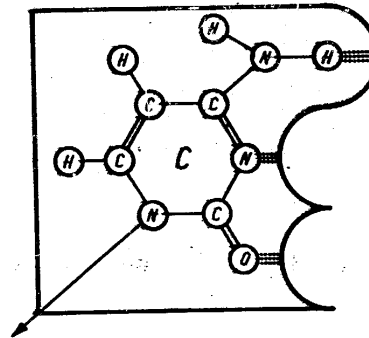
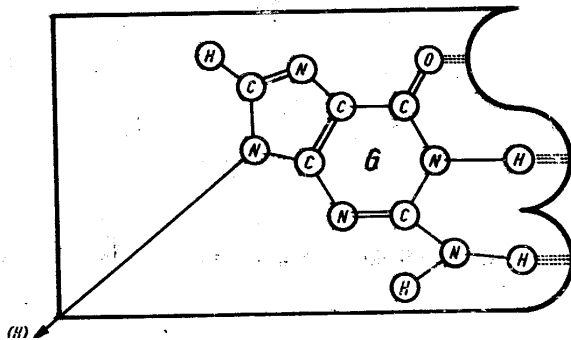
c) Desoxy-ribose

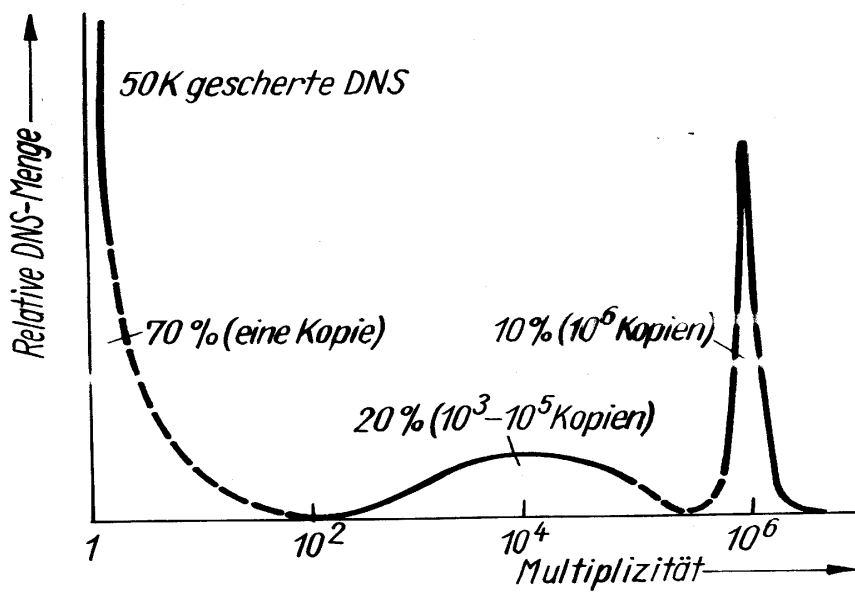
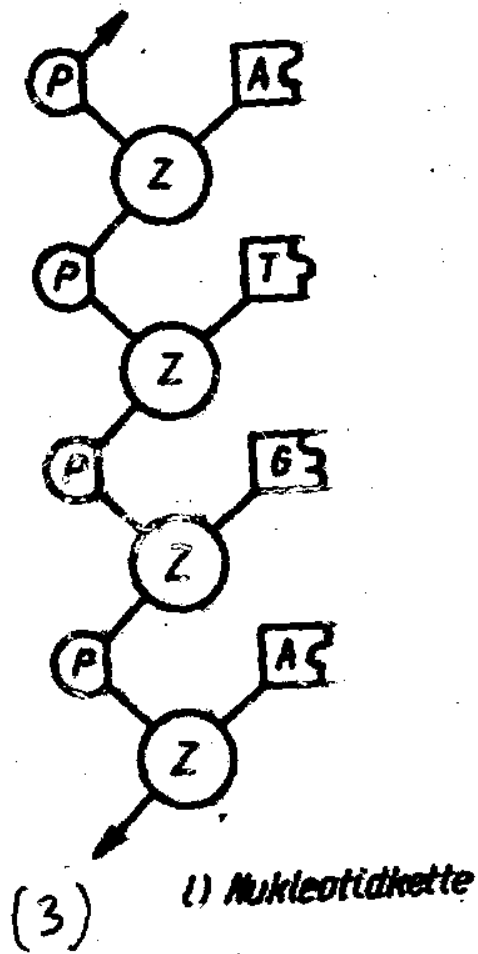
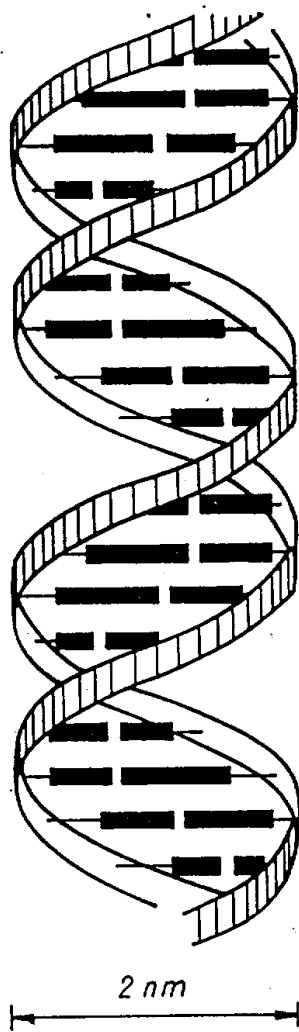


d) Adenin (Adenosin)



e) Thymin (Thyridin)





Eiweiße

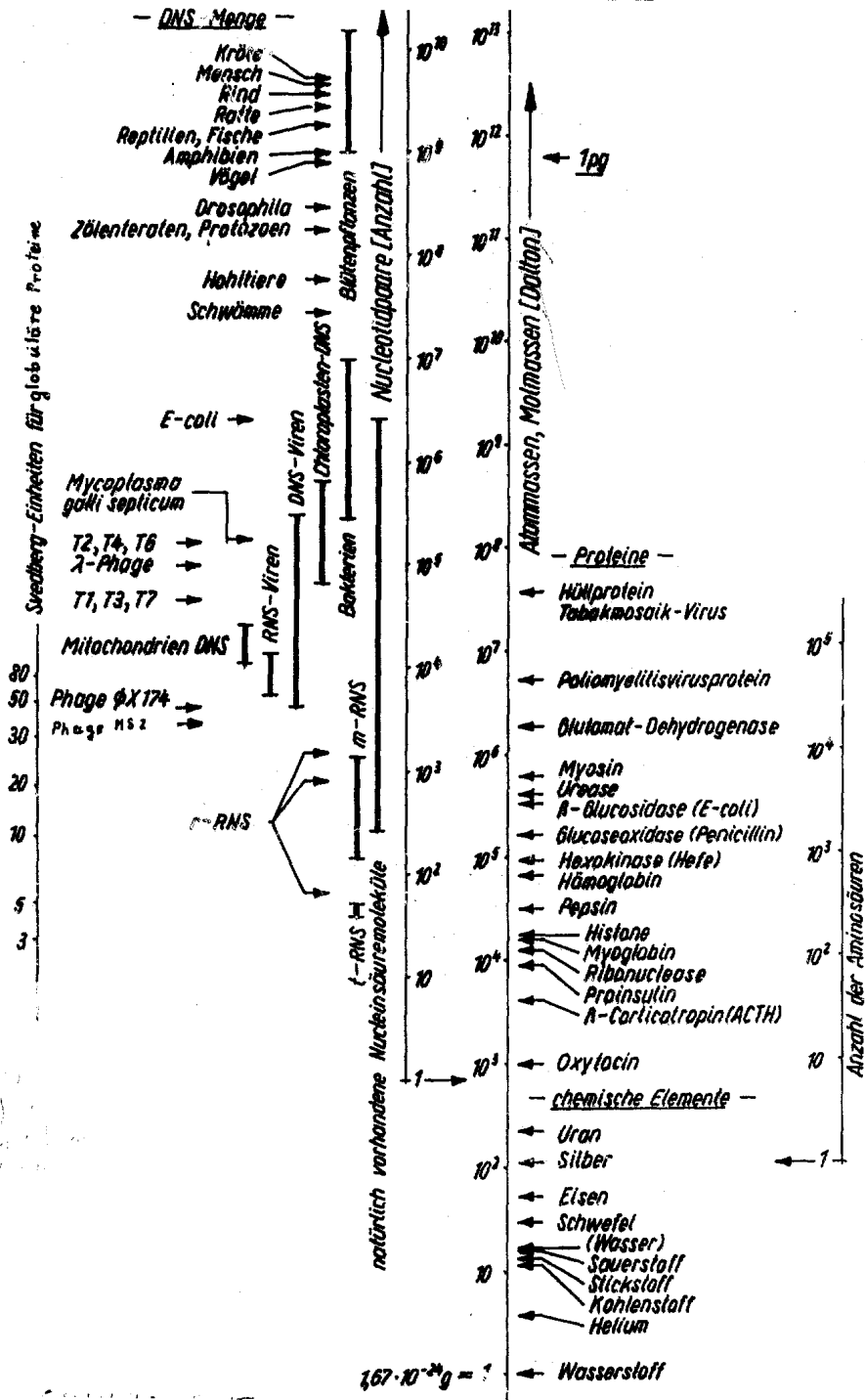
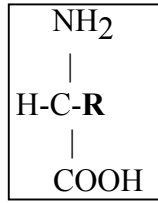
Ein Proteine ist eine Kette aus unterschiedlichen Aminosäuren.

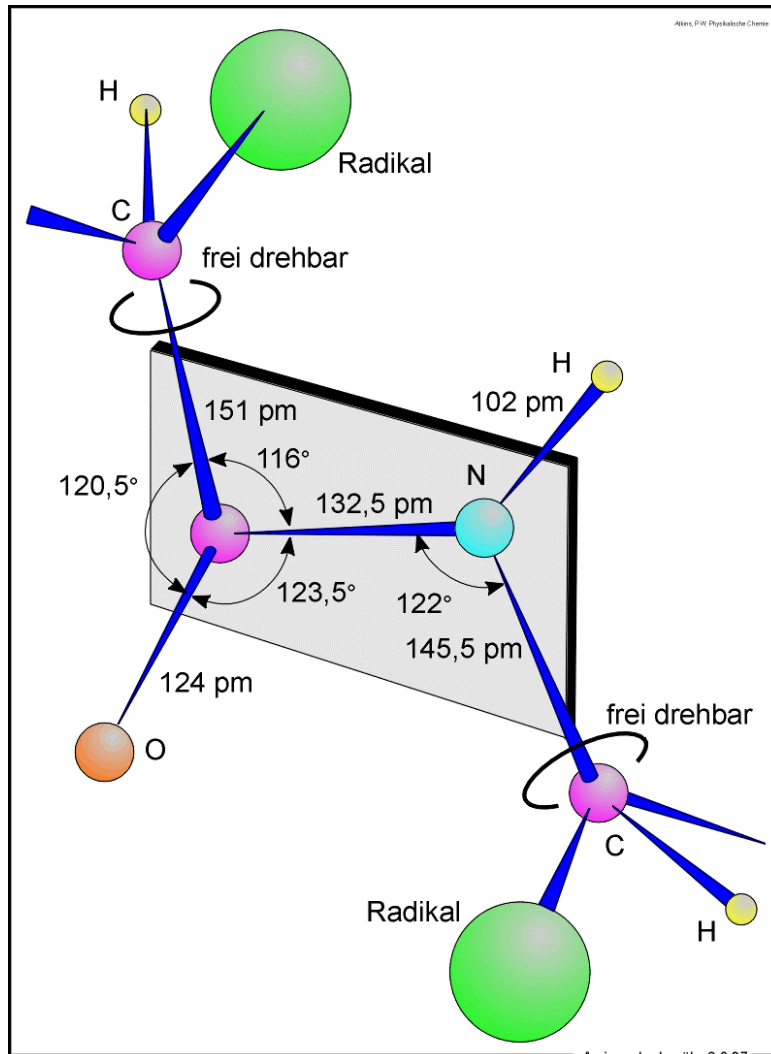
Jede Aminosäure besteht aus:

- Aminogruppe -NH₂

- Wasserstoff, C, und Radikal

- Carboxilgruppe -COOH



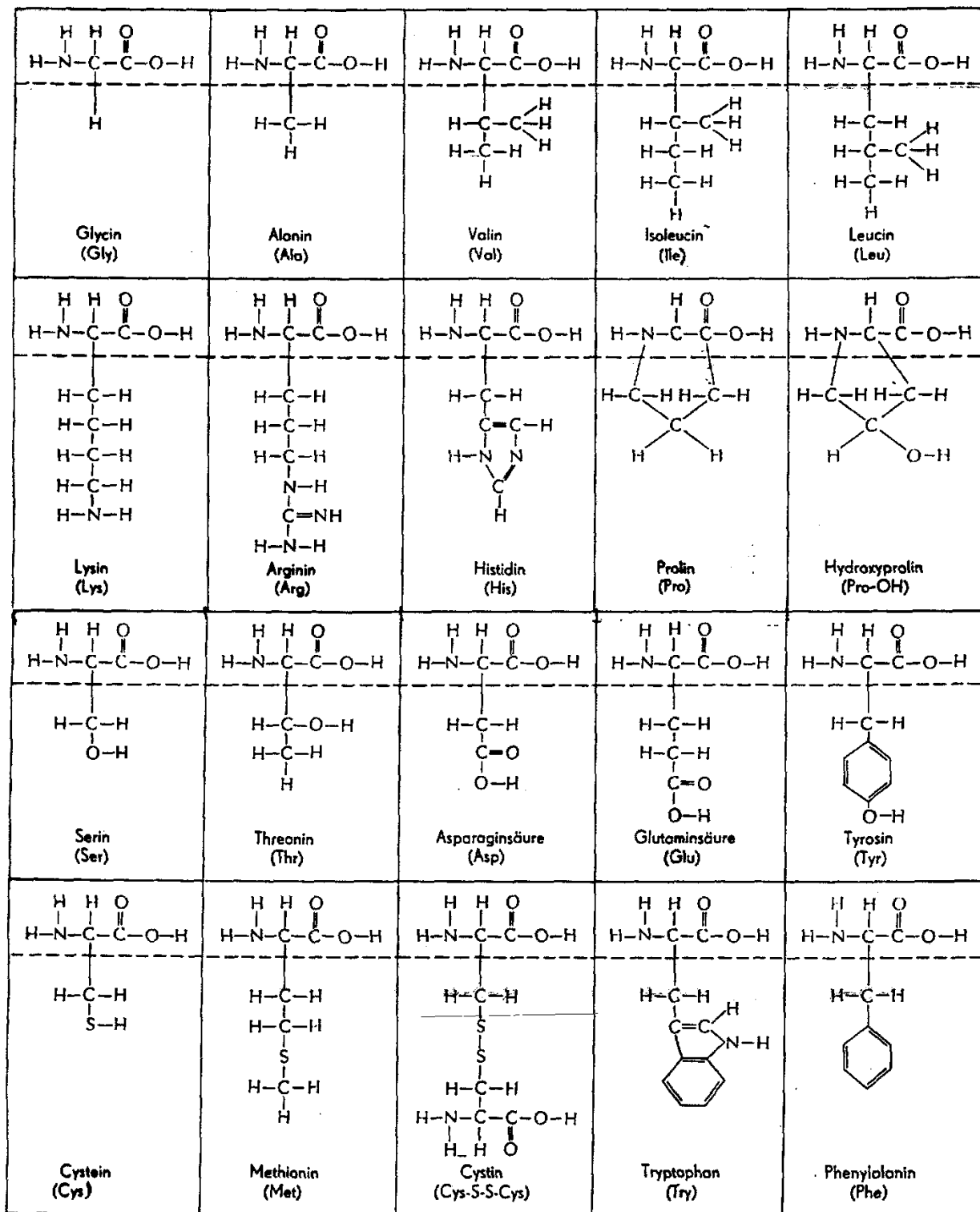


Da das Leben **20** unterschiedliche **Radikale** verwendet, gibt es auch 20 Aminosäuren, aus denen die Proteine zusammengesetzt sind. Die OH-Gruppe ist basisch und das einzelne H bewirkt saure Eigenschaften.

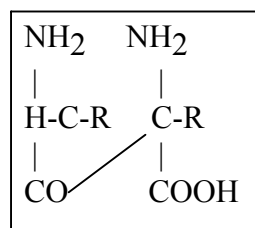
Nicht jedes Lebewesen kann alle Aminosäuren aufbauen. Einige müssen mit der Nahrung aufgenommen werden

Das sind die essentiellen Aminosäuren. Für den Menschen gilt:

Aminosäure	tägliche Menge in g	
	Männer	Frauen
Valin	0,8	0,65
Leucin	1,1	0,6
Isoleucin	0,7	0,45
Lysin	0,8	0,5
Phenylamin	0,3	0,2
Tryptophan	0,25	0,15
Methionin	0,2	0,35
Threonin	0,5	0,3



Die Verbindung von Aminosäuren zu Ketten erfolgt durch Hydratation:



unter Austritt von H₂O

In der Proteinkette liegt dann also eine Abfolge von Radikalen vor. Sie bestimmen den Eiweißtyp. Die Kettenlänge liegt meist zwischen 100 und 10000 Aminosäuren. Ketten unterhalb der Länge 100 nennt man Peptide. Selbst bei einer Kettenlänge von nur 100 gibt es bereits $20^{100} = 10^{1,3n}$ mögliche Eiweiße, die ist mehr als die Anzahl der Atome im Weltall 10^{80} . Heute existieren noch etwa 10^8 , in der Evolution dürften 10^9 Varianten existiert haben. Durch zusätzliche, sekundäre Bindungen ordnen sich die Eiweißketten noch zu räumlichen Gebilden (Stützproteine, Gewebe usw.). In einigen Fällen ist diese Struktur auch dynamisch veränderbar. Solche Eiweiße dienen zur Steuerung der Lebensprozesse (u.a. Enzyme, ca. 20000 bekannt). Durch Erhitzen (Kochen, Braten) wird die lebenswichtige Struktur der Eiweiße zerstört (denaturiert).

Zwischen den DNS und Eiweißen vermittelt der genetische Code:

3 Nukleinsäuren (Triplet) = 1 Aminosäure: $4^3 = 64 > 20$, der Code ist hochredundant, Sicherheit, Wobbel-Base.

Prozesse in der Zelle:

- a) im Zellkern **Duplizierung**, Replikation für Zellteilung
Transkription: DNS -> mRNA (Genkopie)
Transfer: tRNA trägt Schlüsselcode und Stelle für Aminosäure
Ribosomen: rRNA

- b) im Zellplasma Bildung von **Ribosomen** aus rRNA (Werkbänke; Bildschirm, Drucker usw.)

Kopplung tRNA mit Aminosäure beladen

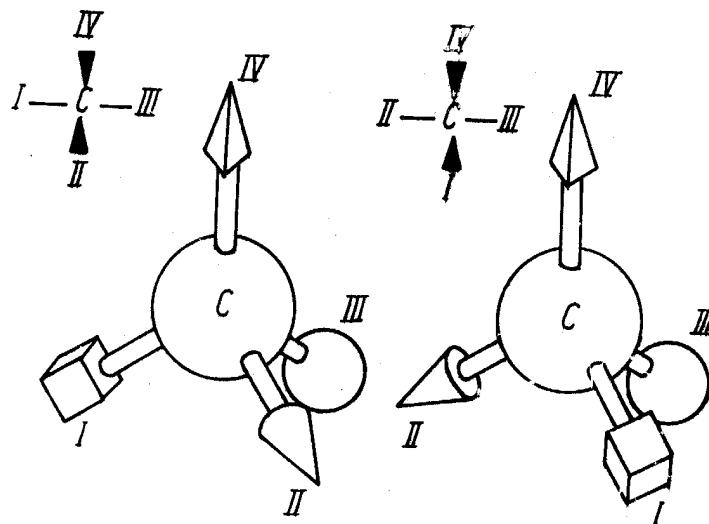
Translation \Rightarrow Aminosäuren mittels mRNA + tRNA + Ribosomen zu Ketten von Eiweiß verknüpfen.

Evolution

Sie erfolgt durch zufällige Änderung der DNS z.B. durch Strahleneinwirkung. Fehlerrate wird auf etwa 10^{-4} bis 10^{-6} je Generation geschätzt. Sie wird aber nur sehr begrenzt wirksam:

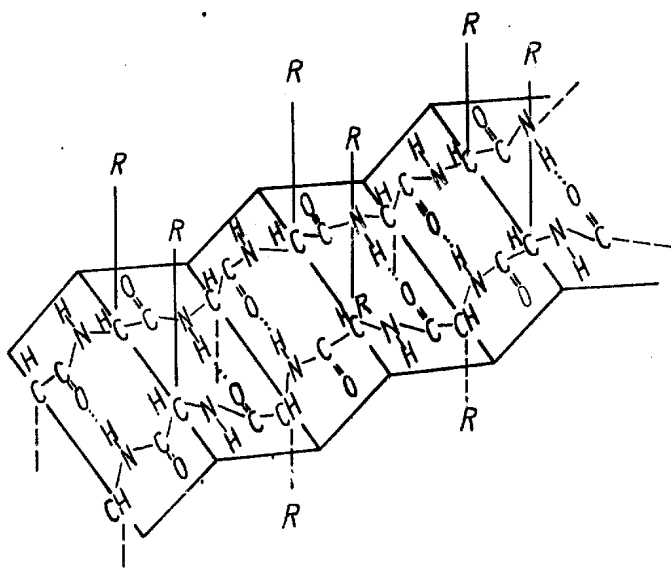
1. Alle Mechanismen, insbesondere die Duplizierung sind stark durch Fehlerkorrekturen geschützt.
2. die meisten Änderungen sind letal
3. bei Geschlechtlichkeit nur die Hälfte wirksam

Andererseits werden Mutationen vom Menschen bewußt ausgewählt und gefördert: Nutzpflanzen (z.B. Getreide, Obst) und Tiere (z.B. Hunde, Katzen)

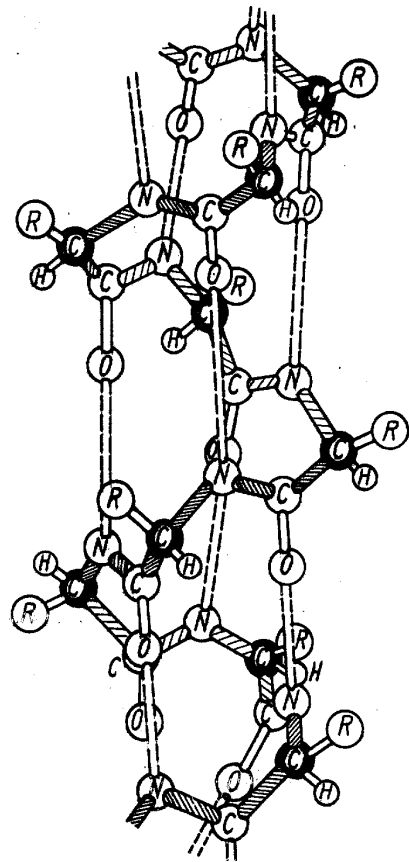
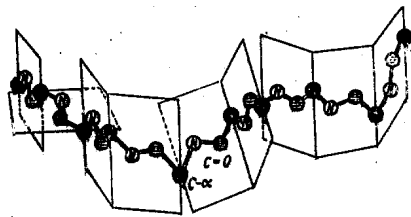


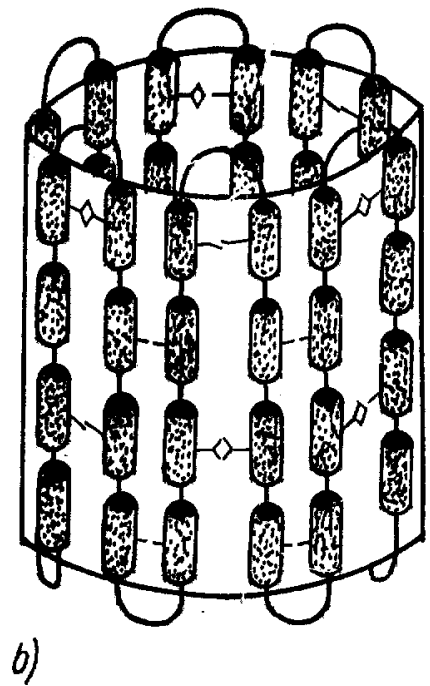
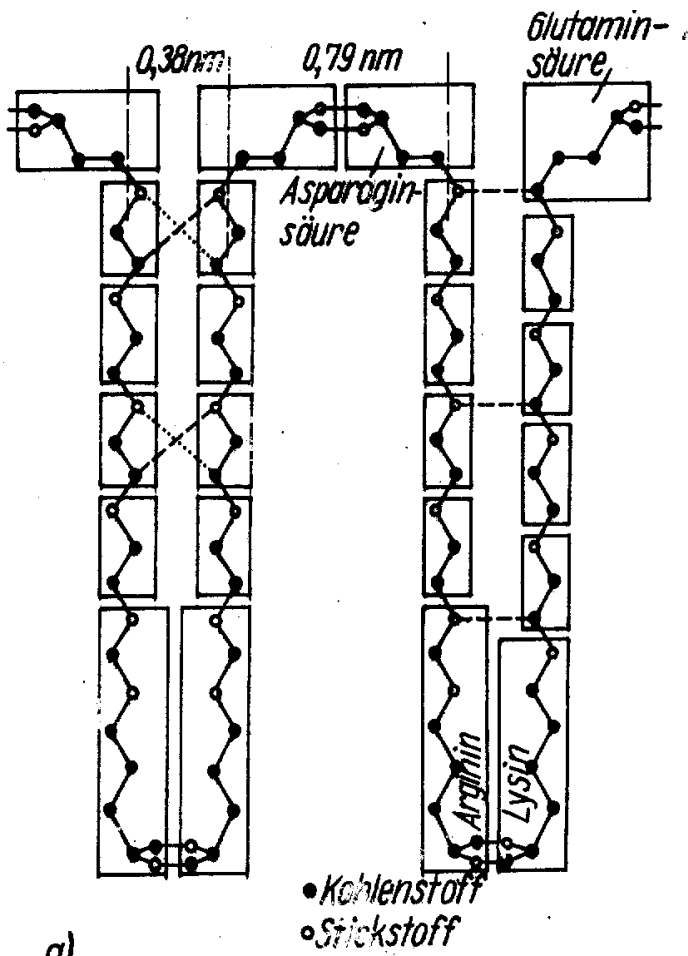
Genetischer Code

Die Zelle enthält Zellkern Dort DNS \approx Chromosomen	Eiweiße, Fette und Kohlehydrate wichtige Baustoffe/Enzyme Eiweiße, bestimmen fast alle Lebens-Prozesse
Grundbaustein DNS = Nukleotid <ul style="list-style-type: none"> ■ Orthophosphorsäure ■ Zucker (Penthose) 2 Arten ■ organische Base, 4 (5) Arten 	Grundbaustein Eiweißes = Aminosäure <ul style="list-style-type: none"> ■ C als zentrales Atom ■ NH_2, C, COOH ■ Radikal in 20 Arten
Ketten 10^4 bis 10^{10} Nukleotide, bilden Doppelhelix	Ketten 50 bis 10000; Peptidbildung dynamischer Sekundär-/Tertiärstruktur
Komplexität: $4^n = 10^{0,6 \cdot n}$	Komplexität: $20^n = 10^{1,3 \cdot n}$
3 Nukleotide codieren 1 Aminosäure	1 Aminosäure aus 3 Nukleotide codiert

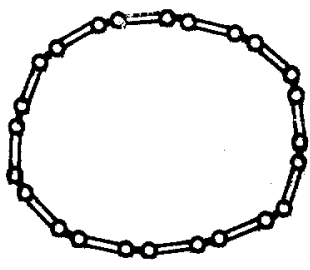


d)

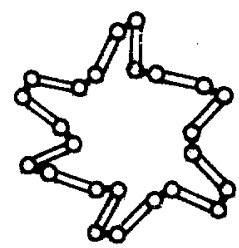




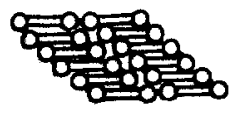
a)



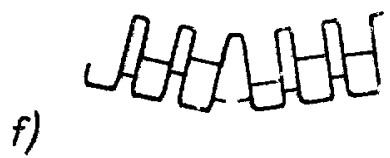
c)



d)



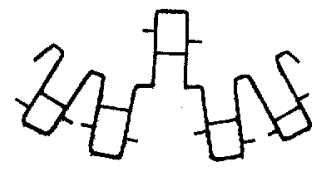
e)



f)



g)



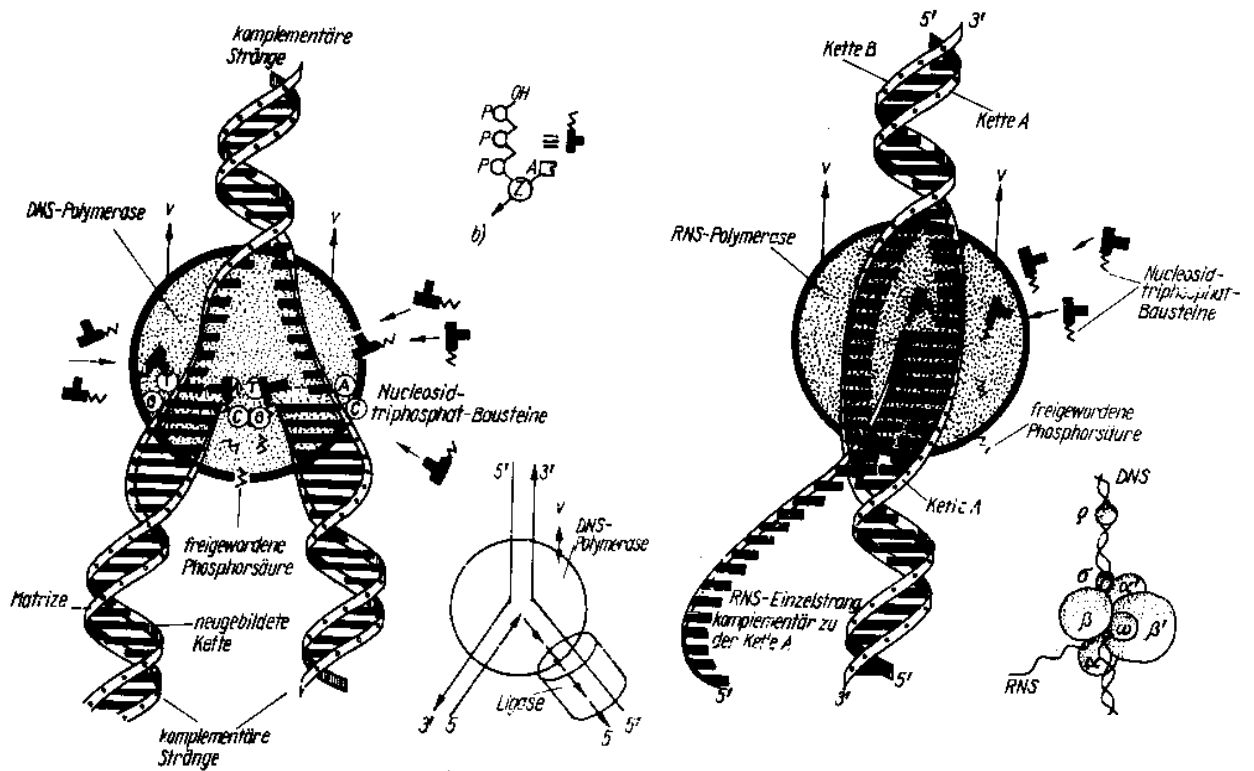
h)

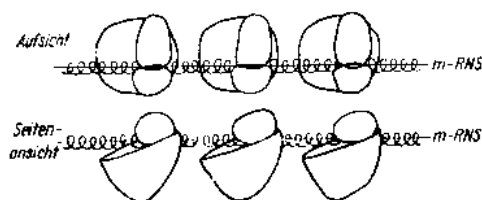
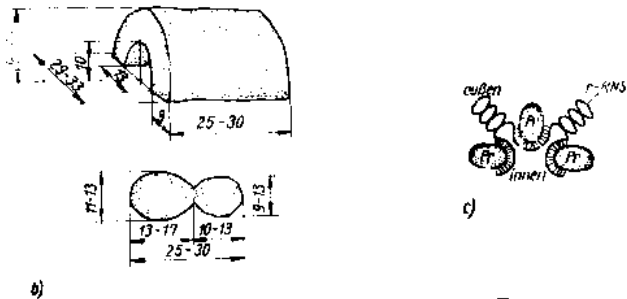
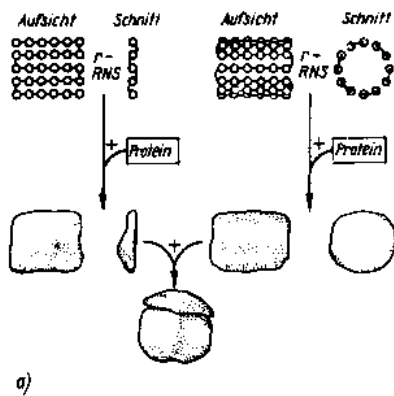
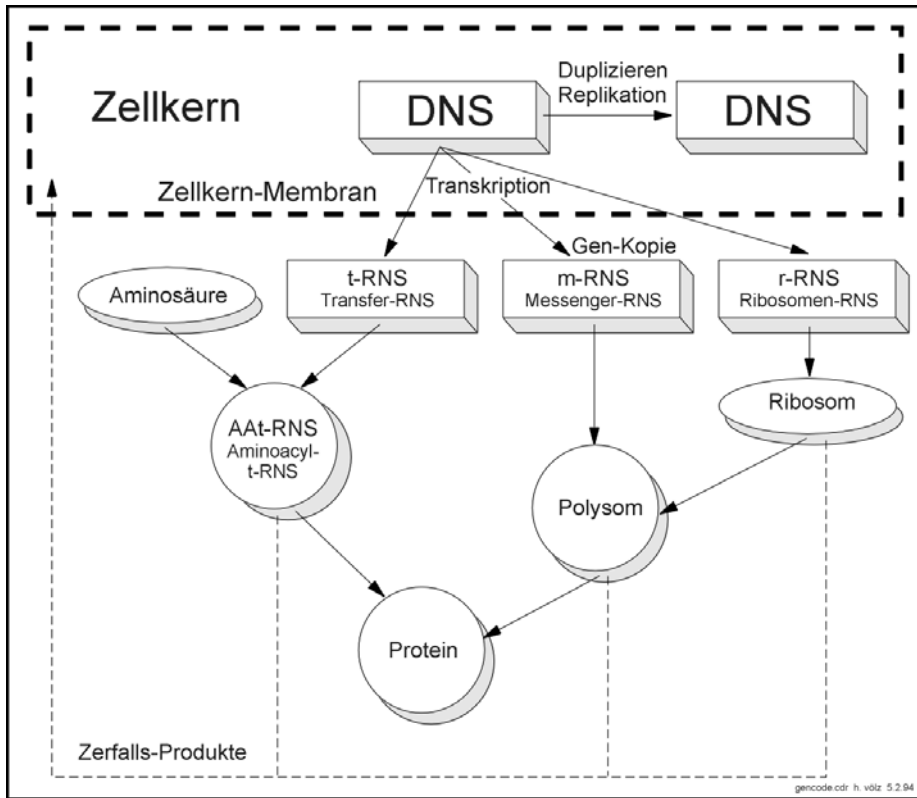


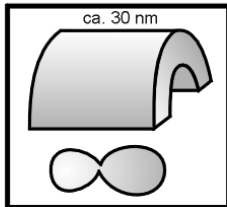
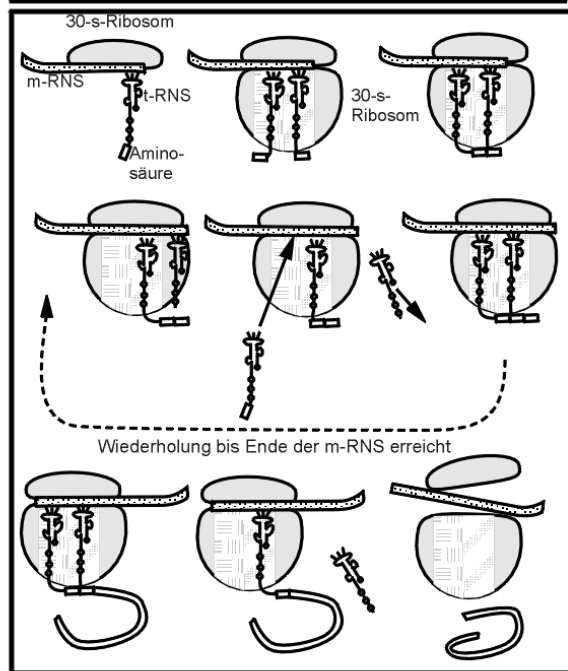
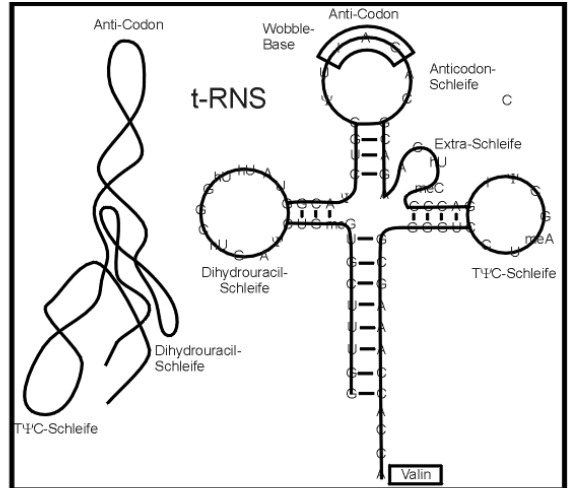
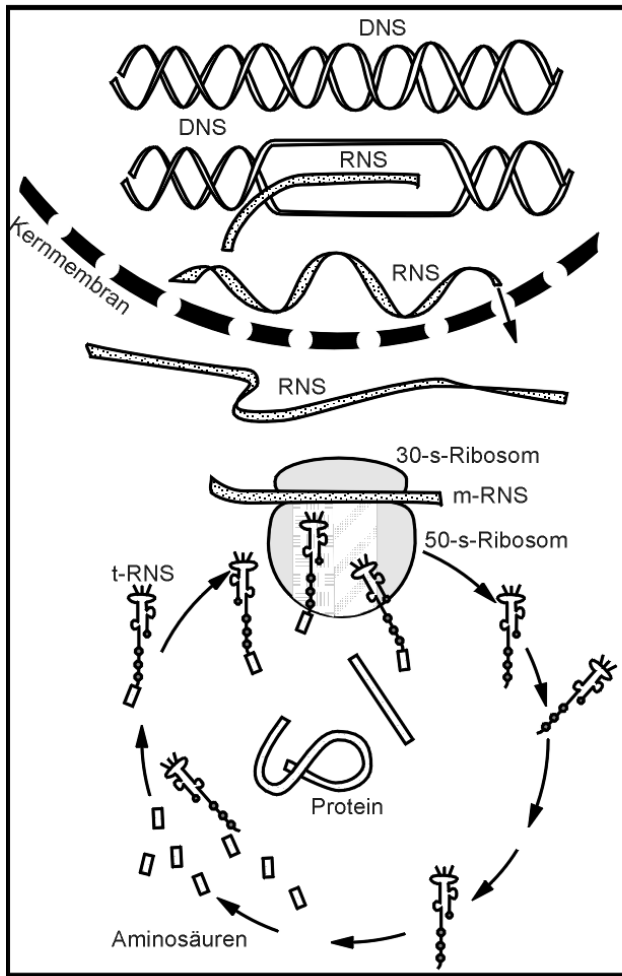
i)

		2. code-Sequenz					
		A	G	T	C		
1. code-Sequenz	A	Phe	Ser	Tyr	Cys	A	3. code-Sequenz Wobble-Base
				Stop	Try	G	
	G	Leu	Pro	His	Arg	C	
				Gln		T	
T	Ile	Thr	Asn	Ser	A		
	Met (Start)		Lys	Arg	G		
C	Val	Ala	Asp	Gly	C		
			(Start)		Glu	T	

gencode.cdr h. vözl 5.2.94







genetic.cdr h. vözl 4.2.94

Erbgut der Zelle	Gesamtheit der in bestimmten Erbträgern lokalisierten Erbanlagen	Die einzelne Erbanlage
Idiotyp	Chromosomen	Genotyp → Gen
	Zytoplasma	Plasmotyp → Plasmid
	Plastiden	Plastom → Plastogen
	Mitochondrien	Chondrom (Mitochondrom) → Chondrogen
	übriges Zytoplasma	Zytoplasmon → Plasmogen