

## Das menschliche Genom – Ein äußerst geniales Speicherkonzept für Information

Von *Werner Gitt*

Tief im Innern unserer Zellen, in ihrem mikroskopisch kleinen Kern, wird das wertvollste Material des Körpers aufbewahrt – es ist das **Genom**, unsere genetische Information. Wussten Sie, dass die Informationsmenge unseres Genoms (= Erbsubstanz in der Keimzelle) 3 Milliarden genetische Buchstaben umfasst? Als Buchstaben aufgeschrieben und in normalen Taschenbüchern gedruckt (z. B. „Fragen, die immer wieder gestellt werden“ hat 252 000 Buchstaben), ergäbe das eine Menge von 12 000 Stück. Aufeinander gestapelt hätte der Bücherberg eine Höhe von 170 Metern.

Sollte eine gute Sekretärin mit 300 Anschlägen pro Minute an 220 Arbeitstagen pro Jahr bei einem Achtstundentag ununterbrochen daran arbeiten, um alle Buchstaben des menschlichen Genoms abzuschreiben, so würde ihr gesamtes Berufsleben nicht ausreichen, um diese Buchstabenmenge auch nur zu tippen. Sie wäre nämlich 95 Jahre damit beschäftigt! Würde man diesen kompletten Schreibmaschinentext in eine einzige Zeile schreiben, so reichte die so erstellte Buchstabenkette vom Nordpol bis zum Äquator.

Wussten Sie, dass ein wissenschaftlicher Programmierer im Mittel etwa 40 Zeichen Programmcode pro Tag entwerfen kann, wenn man die Zeit von der Konzeption bis zur Systempflege mit einbezieht? Geht man nur einmal von der Menge der Zeichen im Genom des Menschen aus, so wäre für diese Programmieraufgabe ein Heer von über 8000 Programmierern erforderlich, das sein gesamtes Berufsleben nur an diesem Projekt arbeitete. Kein menschlicher Programmierer aber weiß, wie dieses Programm zu gestalten ist, das auf einem gestreckten DNS-Faden von nur einem einzigen Meter Platz hat.

Als Speichermedium der genetischen Information dient die doppelsträngige DNS (chemischer Name: Desoxyribonukleinsäure). Sie besteht aus zwei Strängen, die schraubenförmig umeinander gewunden sind und somit eine Doppelspirale bilden. Die Buchstabenpaare sind in einer zur Helixachse senkrechten Ebene angeordnet. Das DNS-Molekül hat einen Durchmesser von nur 2 Nanometern (1 nm = ein Milliardstel Meter), und die Steigung des „Rechtsgewindes“ beträgt 3,4 nm. Dieses Speichermedium benötigt beim Menschen nur das **extrem kleine Volumen von  $3 \cdot 10^{-9} \text{ mm}^3$**  (= drei Milliardstel Kubikmillimeter). Hier wurde eine so immense Speicherdichte realisiert, von der die Chips der modernen Computer noch um Zehnerpotenzen entfernt sind. Es ist die höchste bekannte Speicherdichte überhaupt! Von der Speicherdichte dieses Materials wollen wir uns nun einen anschaulichen Eindruck verschaffen:

Stellen wir uns vor, wir nehmen das Material eines Stecknadelkopfes von zwei Millimetern Durchmesser und ziehen daraus einen so extrem dünnen Draht, dass er gerade denselben Durchmesser hat wie das DNS-Molekül. Wie lang würde dieser Draht wohl sein? Nun, er würde sage und schreibe 33-mal um den Äquator reichen! Hätten Sie das gedacht?

Fragt man gar, wie viele Taschenbücher in dem DNS-Volumen, das einem Stecknadelkopf entspricht, unterzubringen wären, so kommt man auf 15 Billionen Stück. Aufeinander gelegt ergäbe das einen **Stapel, der noch 500-mal höher wäre als die Entfernung von der Erde bis zum Mond**, und das sind immerhin 384 000 Kilometer. Anders ausgedrückt: Würde man diese Menge der Bücher auf alle Bewohner der Erde (z. Z. etwa 6,5 Milliarden Menschen) verteilen, so erhielte jeder 2500 Exemplare!

Wie wird diese immense, technisch nicht nachahmbare Informationsdichte erreicht? Drei Gründe sind zu nennen:

- 1) Im DNS-Molekül wird eine echte räumliche Speichertechnologie angewandt, während Computerbausteine im Sinne einer Speicherbelegung nur eine zweidimensionale Orientierung haben.
- 2) Zur Speicherdarstellung einer Informationseinheit genügt theoretisch ein einziges Molekül. Bei der Konzeption des DNS-Moleküls ist diese materialsparendste Technologie realisiert.
- 3) Bei den Computerchips sind aus technologischen Gründen nur zwei Schaltzustände möglich; das führt zu ausschließlich binären Codierungen. Beim DNS-Molekül gibt es vier chemische Zeichen; somit ist ein Quaternär-code möglich, bei dem ein Zustand bereits zwei Bit repräsentiert.

**Unsere gesamte genetische Information ist mit einer Bibliothek vergleichbar.** Die einzelnen Bände heißen Chromosomen, und ihre Kapitel nennt man Gene. Die Gene sind Eintragungen in einem gigantischen Lexikon. Beim Menschen enthalten 23 Chromosomenpaare zweimal etwa 30 000 Erbmerkmale oder Gene. Jedes Gen kommt als väterliches oder mütterliches Gen, also zweimal vor; darum spricht man vom diploiden Chromosomensatz. Im Gegensatz zu diesen Körperzellen haben Keimzellen (= Ei- und Samenzelle) jeweils nur einen einfachen (= haploiden; griech. *haploides* = einfach) Chromosomensatz. Bei 23 Chromosomen mit insgesamt 30 000 Merkmalen enthält also jedes Chromosom im Mittel rund 1300 Gene.

Unsere rund 30 000 genetischen Merkmale geben der Zelle präzise Hinweise, damit sie alles Notwendige herstellen kann: z. B. Hormone, Enzyme, Schleim, Talg, die Waffen des Immunsystems. Man kann nun fragen, wie die codierte Information entschlüsselt und wie diese abstrakte Wortschrift in konkrete Proteinmoleküle umgewandelt wird. Dies ist ein unaufhörlicher und komplexer Prozess, der auf einem unglaublich kleinen Raum stattfindet, nämlich in den Zellen, die nur ein paar hundertstel Millimeter Durchmesser haben.

Die obigen Darlegungen über das Speicherkonzept von Information in unseren Zellen haben uns nur ein einziges Detail aus der Schöpferwerkstatt Gottes gezeigt, das uns aber in besonderer Weise zum Staunen herausfordert. Das hatte der Psalmist auch ohne unsere wissenschaftlichen Erkenntnisse herausgefunden, wenn er anbetend bekennt: „**Herr, wie sind deine Werke so groß. Deine Gedanken sind so sehr tief**“ (Psalm 92,6).