Die höchste bekannte Informationsdichte

Von *Werner Gitt*

Die höchste bekannte Informationsdichte finden wir in den DNS-Molekülen der lebenden Zellen. Der Durchmesser dieses chemischen Speichermediums beträgt nur d = 2 nm, und die Ganghöhe einer Windung der Helix liegt bei 3,4 nm (1 Nanometer = 1 nm = 10^{-9} m = 10^{-6} mm). Das Volumen eines Zylinders mit einer Windung ergibt sich zu

$$V = h \times r^2 \times \pi$$

$V = 3{,}4 \times 10^{-6}$ mm $\times (10^{-6}$ mm$)^2 \times \pi = 10{,}68 \times 10^{-18}$ mm^3 pro Windung.

Auf eine Windung der Doppelspirale kommen 10 chemische Buchstaben (Nukleotide). Der Buchstabenabstand beträgt somit $0{,}34 \times 10^{-9}$ m. Daraus folgt eine statistische Informationsdichte von

$\rho = 10$ Buchstaben/($10{,}68 \times 10^{-18}$ mm^3) $= 0{,}94 \times 10^{18}$ Buchstaben pro mm^3.

Diese Packungsdichte ist so unvorstellbar hoch, dass sie nun an drei Vergleichen veranschaulicht werden soll:

Erstens: Welche Informationsmenge könnte man in einem Stecknadelkopf unterbringen, wenn dieser aus DNS-Material bestehen würde? Wie viele Taschenbücher wären hierin speicherbar?

Ein gängiges Taschenbuch hat folgende Daten:

Dicke	d_B = 12 mm
Seitenzahl:	S_B = 160 Seiten/Buch
Buchstabenzahl:	n_B = 250 000 Buchstaben/Buch

Das Volumen eines Stecknadelkopfes von 2 mm Durchmesser (r = 1 mm) beträgt:

$V_S = 4/3\ \pi\ r^3 = 4{,}19$ mm^3

Wie viele Buchstaben sind in diesem Volumen speicherbar?

$B_S = V_S \times \rho = 4{,}19$ mm$^3 \times (0{,}94 \times 10^{18}$ Buchstaben/mm$^3) = 3{,}94 \times 10^{18}$ Buchstaben

Wie viele Bücher sind somit im Volumen eines Stecknadelkopfes speicherbar?

$n_s = B_S/n_B = 3{,}94 \times 10^{18}$ Buchstaben /(250 000 Buchstaben/Buch) =
= $15{,}76 \times 10^{12}$ Bücher

Wie hoch ist dieser Bücherstapel?

$h = n_s \times d_B = 15{,}76 \times 10^{12}$ Bücher $\times$ 12 mm/Buch $= 189{,}1 \times 10^{12}$ mm $= 189{,}1 \times 10^6$ km

Die Entfernung von der Erde zum Mond beträgt e = 384 000 km. Wie viel mal höher ist der Bücherstapel als die Entfernung von der Erde bis zum Mond?

$m = h/e = 189{,}1 \times 10^6$ km /384 000 km = 492,5mal (rund 500-mal!)

Zweitens: Das menschliche Genom besteht aus 3×10^9 Buchstaben (Nukleotide). In Körperzellen finden wir die doppelte Anzahl, nämlich 6×10^9 Buchstaben.

Die Länge des gestreckten Genoms ergibt sich somit zu

$L_G = (0{,}34 \times 10^{-9}$ m/Buchstabe) $\times\ 3 \times 10^9$ Buchstaben = 1,02 m

Das Volumen des menschlichen Genoms ermitteln wir zu

$V_G = L_G/\rho = 3 \times 10^9$ Buchstaben/($0{,}94 \times 10^{18}$ Buchstaben/mm^3) = $3{,}19 \times 10^{-9}$ mm^3

Wie oft hätte ein menschliches Genom in einem Stecknadelkopf Platz?

$k = V_S / V_G = 4{,}19$ mm^3 / ($3{,}19 \times 10^{-9}$ mm^3) = $1{,}313 \times 10^9$ mal

Diese Zahl einspricht dem Genom von mehr als einer Milliarde Menschen, und das ist ein Sechstel der Erdbevölkerung. Wir wollen die bearbeitete Frage ergänzen: Wie groß müsste das Kugelvolumen V_M sein, um das genetische Material der gesamten Menschheit (= 6 Milliarden) unterzubringen?

$V_M = 6 \times 10^9 \times V_G = 6 \times 10^9 \times 3{,}19 \times 10^{-9}$ mm^3 = 19,14 mm^3

Der entsprechende Kugeldurchmesser ergibt sich zu

$d_M = (6 \times V_M /\pi)^{1/3} = (6 \times 19{,}14$ mm$^3 /\pi)^{1/3}$ = 3,32 mm

Ein gegenüber einem normalen Stecknadelkopf nur um gut 1 mm vergrößerter würde also ausreichen, um das Volumen des gesamten genetischen Materials der Menschheit aufnehmen zu können.

Drittens: Die im DNS-Molekül realisierte immense Speicherdichte an Information ist noch um Zehnerpotenzen den Chips in unseren modernsten Computern überlegen. Von dieser Miniaturisierung können wir uns einen weiteren Eindruck verschaffen: Stellen wir uns vor, wir nehmen das Material eines Stecknadelkopfes von 2 mm Durchmesser und ziehen daraus einen so dünnen Draht, der denselben Durchmesser haben soll wie das DNS-Molekül. Wie lang würde dieser Draht wohl sein? Durchmesser des DNS-Moleküls d = 2 nm = 2×10^{-6} mm (Radius r = 10^{-6} mm)

Querschnittsfläche des DNS-Moleküls:

$A = r^2 \pi = (1 \text{ nm})^2 \pi = (10^{-6} \text{ mm})^2 \pi = 3{,}14 \times 10^{-12}$ mm^2

Länge des Drahtes L_D = Volumen des Stecknadelkopfes V_S / Querschnittsfläche A

$L_D = V_S/A = 4{,}19\ mm^3 / (3{,}14 \times 10^{-12}\ mm^2) = 1{,}33 \times 10^{12}\ mm = 1{,}33 \times 10^6\ km$

Länge des Äquators = 40 000 km

$k = 1{,}33 \times 10^6\ km / 40\ 000\ km = 33{,}3$-mal

Wenn wir aus dem Material eines Stecknadelkopfes einen so dünnen Draht ziehen würden, dass er dem Durchmesser eines DNS-Moleküls entspricht, dann kämen wir auf eine Drahtlänge, die mehr als dreißigmal um den Äquator reichen würde.

Diese Vergleichsrechnungen haben uns in atemberaubender Weise veranschaulicht, mit welch genialem Speicherkonzept hinsichtlich Materialeinsparung und Miniaturisierung wir es hier zu tun haben. Hier ist die höchste bekannte statistische Informationsdichte realisiert. Unsere hochintegrierten Speicherkonzepte in modernen Rechenanlagen sind noch weit von dieser Speicherdichte entfernt.

Literatur: W. Gitt: „Am Anfang war die Information“ Hänssler-Verlag, 3. Auflage 2002