



## KÜNSTLICHE LEBEWESSEN (TEIL 2)

# DNA-Computer

Warum kauft die Microsoft Corporation, mit 100 Milliarden Dollar Umsatz der größte Softwarehersteller der Welt, beim Start-up-Unternehmen Twist Biosciences gerade 10 Millionen synthetische DNA-Moleküle? Es hängt wohl mit einem Treffen im Februar 2011 zusammen.

Bei dem Treffen grübelte der britische Bioinformatiker Nick Goldman an der Bar eines Hamburger Hotels mit Kollegen darüber, wie man die riesigen Datenmengen der Genomsequenzen speichern könnte. Es kam der Gedanke auf, die winzige DNA selbst als Informationsspeicher zu verwenden. Zwei Jahre später präsentierte er fünf Dateien von 740 Kilobytes Umfang in einer codierten DNA. Im Juli 2016 verblüfften Forscher von Microsoft und der University of Washington mit einem 200 Megabyte DNA-Speicher. Der Genetiker George Church codierte vor kurzem in Harvard ein Buch in eine DNA und stellte im Reagenzglas davon 70 Milliarden Kopien her.

### WAS IST DER VORTEIL?

Schließlich dauert der Abruf von Daten aus DNA-Speichern noch mehrere Sekunden bis Stunden. Neben der unglaublich hohen Speicherdichte, wir bewegen uns im Ein-Nanometer-Bereich (damit kann man das

gegenwärtige Wissen der Menschheit in nur einem Kilogramm DNA speichern), ist es das Jahrtausende zählende Langzeitgedächtnis. CDs, Festplatten und Magnetbänder verlieren dagegen schon nach wenigen Jahrzehnten die Lesbarkeit. Dies veranlasste auch den Konzern Technicolor, seine uralten Filmschätze auf DNA-Speichern zu konservieren.

Die DNA kann aber viel mehr. Bereits 1959 hatte der Physiker Richard Feynman die Idee, einzelne Moleküle bzw. Atome für Berechnungen einzusetzen. Aber erst 1994 setzte der Computerwissenschaftler Leonard Adleman das Konzept mit DNA-Molekülen praktisch um. Er demonstrierte dies mit einem DNA-Computer durch einen Lösungsweg für ein mathematisches Problem. Andere Forscher brachten der DNA das Tic-Tac-Toe-Spielen und das Ziehen von Quadratwurzeln bei. Ein Team von Forschern der Duke University stellte im August 2016 eine analoge DNA-Schaltung

vor, die wie ein Taschenrechner addieren, subtrahieren und multiplizieren kann. Die Implementierung von Logarithmen und Exponentialfunktionen ist in Arbeit.

### WIE WIRD EIN DNA-COMPUTER PROGRAMMIERT?

Schließlich gibt es keine Tastatur, um Befehle einzutippen. Das vierstellige genetische Alphabet mit Adenin, Guanin, Cytosin und Thymin ersetzt das binäre System mit 0 und 1 der Siliziumchips. Eingangs-, Zwischen- und Ausgangswerte werden durch Konzentrationen bestimmter DNA-Sequenzen abgebildet. Die Rechenoperationen erfolgen durch biochemische Arbeitsschritte an den Molekülen wie Sortieren nach der Länge oder Herausschneiden von Teilsequenzen. Das Ergebnis zeigt sich schließlich durch das Vorhandensein oder Fehlen bestimmter Sequenzen, deren Konzentrationen durch elektrophoretische Verfahren und Polymerase-Kettenreaktionen dargestellt werden. Durch analoge Nachbildung digitaler Logikschaltungen kann der DNA-Computer immer komplexere mathematische Berechnungen durchführen.

Die Anwendungsmöglichkeiten in der Nanotechnologie sind kaum abschätzbar. Durch die parallele Bearbeitung mit Millionen gleichzeitiger Berechnungen können Wettervorhersagen und andere hochkomplexe Aufgaben durchgeführt werden. In einigen Jahren sind auch medizinische Sensationen zu erwarten. DNA-Computer könnten in den Zellen Messungen durchführen und bei Tumorbefall über Nanoroboter gezielt Medikamente in den Krebszellen applizieren. Sie könnten Viren aufspüren und in DNA-Käfige einschließen. **Manfred Kindler, KKC-Vorsitzender, Kontakt: m.kindler@kkc.info**

## BIG-DATA-WIRTSCHAFT

### Speichergrößen

Moderne PCs haben heute Datenspeicher in Terabyte-Größe. Dies entspricht einer Million Megabytes, genug, um die Texte aller Bücher einer gut bestückten Universitätsbibliothek zu speichern. Im Bereich der Big-Data-Wirtschaft müssen wir uns an neue Vorsilben gewöhnen. In Tausenderschritten geordnet behandeln wir mittlerweile gigantische Datenvolumina wie Petabyte (PB), Exabyte (EB), Zettabyte (ZB) und Yottabyte (YB).

Wie kann man sich das vorstellen? Google bearbeitet eine Datenmenge von 20 Petabytes pro Tag. Alle bisherigen schriftlichen Werke der Menschheit in sämtlichen Sprachen könnte man auf 50 Petabytes speichern. Wenn man alle jemals gesprochenen Worte der Menschheit aufzeichnen möchte, müsste man fünf Exabytes bereitstellen. Die Blu-Ray-Archive der Facebook-Rechenzentren mit den Daten von monatlich 1,7 Milliarden Besuchern umfassen etwa 1 Exabyte, dazu sollen demnächst noch eine Milliarde Telefonnummern von WhatsApp-Benutzern gespeichert werden. Es würde in einen DNA-Speicher von der Größe eines Streichholzkopfes passen. Im internationalen Datenverkehr sind zurzeit etwa neun Zettabytes im Umlauf, zehnmal mehr als Sandkörner an allen Stränden der Welt. Und will man das Datenvolumen des gesamten Internets beschreiben, stößt man in den Bereich der Yottabytes vor, gleich eine Million mal Millionen PC-Festplatten von Terabyte-Größe.

