




Der DNA Computer, der seinen Platz im Guinness Buch der Rekorde gefunden hat - Microsoft Internet Explorer

File Edit View Favorites Tools Help

Back Forward Stop Home Search Favorites Media

Address http://www.heise.de/tp/deutsch/inhalt/lis/14261/1.html Go Links

 Die **Pinguin-Krawatte** Jetzt bestellen!  
mit einer Linux-Illustration aus 

**TELEPOLIS**  aktuell  
magazin der netzkultur


suchmaschine subscribe forum impressum

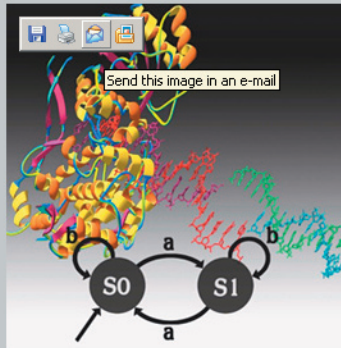
**Windows-Sicherheit**  
Das Praxisbuch

**Der DNA Computer, der seinen Platz im Guinness Buch der Rekorde gefunden hat**  
*Herbert Hasenbein 25.02.2003*

**Der Welt kleinster biologischer Computer besteht aus zwei DNA-Strängen und arbeitet autonom**

Zwei komplementäre DNA Stränge, das eine als Input-, das andere als Software-Molekül bezeichnet, finden spontan zueinander. Das Software-Molekül bringt das Enzym FokI mit, das in der Doppelhelix des Input-Moleküls zwei Bindungen trennt. Dadurch wird Energie freigesetzt, die ausreicht, um ohne zusätzlichen Brennstoff einen Rechenschritt auszuführen. Ein Mikroliter DNA-Lösung enthält bis zu drei Billionen DNA Computer, die 66 Milliarden Operationen pro Sekunde erbringen. So die Ergebnisse der Arbeitsgruppe von Ehud Shapiro in den Proceedings of the National Academy of Sciences ([PNAS](#)).

 download

  
Send this image in an e-mail

Das Softwaremolekül mit seinen sticky ends (rot, violett) arbeitet die Informationen ab, die von den

no-flash version

Internet

Der DNA Computer, der seinen Platz im Guinness Buch der Rekorde gefunden hat - Microsoft Internet Explorer

Address <http://www.heise.de/tp/deutsch/inhalt/lis/14261/1.html>

Das Softwaremolekül mit seinen sticky ends (rot, violett) arbeitet die Informationen ab, die von den sticky ends des Inputmoleküls kommen. Die farbigen Bänder am Softwaremolekül repräsentieren das Enzym FokI (Credit E.Shapiro, PNAS)

Leonard Adelman von der University of Southern California hat als Erster die Idee vom DNA Computer in die Tat umgesetzt. 1994 berichtete er in *Science* über die Lösung des Hamilton Path Problems: welchen Weg nimmt der schlaue Handelsvertreter, wenn er sieben Städte auf kürzestem Weg aufsuchen will, ohne eine Stadt ein zweites Mal zu passieren? Adelman bildete für jede Stadt einen eigenen DNA-Strang. Für den Weg schuf er ein Molekül, dessen erste Hälfte der Stadt A und die zweite der Stadt B entsprach, sowie gleichsinnige Kombinationen für die übrigen Orte. Im Reagenzglas kräftig geschüttelt finden die komplementären DNA-Stränge zueinander. Wie erkennt man die Lösungen? Das sind jene Stränge, in der alle sieben Stadtsequenzen enthalten sind. Da es sich zugleich um die längsten Moleküle handelt, werden die kürzeren Komponenten ausgesiebt, und die Lösungen in der Argarose Gelelektrophorese sichtbar gemacht. Das biologische System entspricht unverkennbar dem von parallel geschalteten Computern, im Unterschied zum konventionellen Mikrochip, der seine Aufgaben sequentiell abarbeitet.

Für das erste Ergebnis, das auf dem Papier in einer Stunde gelöst werden kann, benötigte Adelman 1 Woche Laborarbeit. Bei 70 Städten wäre die Zeitdifferenz weniger dramatisch. Für 20 Variable und damit 1.048.576 Lösungen geht es nicht mehr ohne Computer. Im Vorjahr haben Adelman und Kollegen ein Problem dieser Art gelöst und in ihrem Beitrag in *Science* die Praktikabilität des DNA Computers unter Beweis gestellt. Nun gilt es abzuschätzen, bei welchen Aufgaben der biologische Parallelrechner seinem alternden Konkurrenten aus Silizium überlegen sein wird.

Das Vorbild für die DNA Computer ist Mutter Natur, die mit wenigen Nukleinsäuren (A, T, C und G) auskommt und dennoch eine unglaublich hohe Speicherkapazität geschaffen hat. "Die lebende Zelle enthält molekulare Maschinen, die informationshaltige Moleküle so manipulieren wie wir den Computer mit Software," erklärte Ehud Shapiro, der Leiter der Studie am *Weizmann Institute of Science* vor knapp einem Jahr als er das erste Modell vorstellte. Damals allerdings benötigte das System noch Treibstoff in Form von ATP. Die jetzige Version hingegen ist selbstgenügsam und deshalb weltweit der kleinste DNA Computer, der entwickelt wurde. Ein guter Grund für das Zertifikat im Guinness Buch der Rekorde. "Heute stellen wir einen molekularen Computer vor, dessen Energiequelle nichts anderes als der Input ist. Undenkbar für einen elektronischen Computer," so Ehud Shapiro bei seiner Illustration der Weiterentwicklung.

Das Diagramm zeigt den Funktionsablauf eines DNA Computers in drei Schritten (A1, A2, A3). Jeder Schritt ist mit einem Zustandsübergangsdiagramm und einer Tabelle der Zustände verbunden.

**A1: even number of 'a's'**

S0-abba	(S0 → <sup>a</sup> -S1)
S1-bba	(S1 → <sup>b</sup> -S1)
S1-ba	(S1 → <sup>b</sup> -S1)
S1-a	(S1 → <sup>a</sup> -S0)
S0	(final state)

The input is accepted

**A2: even number of symbols**

**A3: ends with 'b'**

Der Funktionsablauf (Credit E.Shapiro)

Der Arbeitsmechanismus entspricht einer "Turing Machine", einem abstrakten Gerät, das aus einem Schreibkopfgedacht wird, der ein Band liest, das in aufeinander folgenden Feldern mit 0 oder 1 beschrieben ist. Die Berechnung beginnt in einem vorbestimmbaren Zustand, das erste Feld wird gelöscht und erhält den Eintrag 0 oder 1; danach geht es weiter zum nächsten Feld und einem neuen Zustand. Drei Kriterien reichen aus, um den Prozess zu regeln, nämlich das Zustandskriterium, die Anzahl der gelesenen Felder und die tabellarisch abgelegte Instruktion. Die Turing Maschine, so benannt zu Ehren von Alan Turing, ist deshalb mehr ein Computerprogramm als ein Computer. Die Forscher vom Weizmann Institut verstehen ihren DNA Computer als selektiv eingeschränkte Turing Maschine, bei der das Band stets in eine Richtung läuft und nur gelesen werden kann. Der Prozess beginnt links und fährt nach rechts, die Tabelle der Instruktionen abarbeitend. Der Endzustand ist der Output.

Die Berechnung startet mit dem Anstoßen des Moleküls, das die initiale Konfiguration (state, symbol) herstellt. Das Eingabemolekül ist eine doppelsträngige DNA.

Internet

Der DNA Computer, der seinen Platz im Guinness Buch der Rekorde gefunden hat - Microsoft Internet Explorer

File Edit View Favorites Tools Help

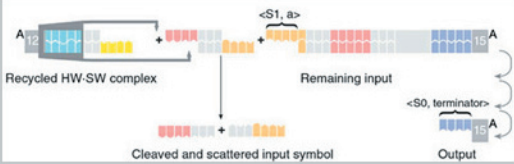
Back Forward Stop Home Search Favorites Media Mail Print

Address <http://www.heise.de/tp/deutsch/inhalt/fls/14261/1.html> Go Links

### Der Funktionsablauf (Credit E.Shapiro)




Der Arbeitsmechanismus entspricht einer "Turing Machine", einem abstrakten Gerät, das aus einem Schreibkopf gedacht wird, der ein Band liest, das in aufeinander folgenden Feldern mit 0 oder 1 beschrieben ist. Die Berechnung beginnt in einem vorbestimmbaren Zustand, das erste Feld wird gelöscht und erhält den Eintrag 0 oder 1; danach geht es weiter zum nächsten Feld und einem neuen Zustand. Drei Kriterien reichen aus, um den Prozess zu regeln, nämlich das Zustandskriterium, die Anzahl der gelesenen Felder und die tabellarisch abgelegte Instruktion. Die Turing Maschine, so benannt zu Ehren von Alan Turing, ist deshalb mehr ein Computerprogramm als ein Computer. Die Forscher vom Weizmann Institut verstehen ihren DNA Computer als selektiv eingeschränkte Turing Maschine, bei der das Band stets in eine Richtung läuft und nur gelesen werden kann. Der Prozess beginnt links und fährt nach rechts, die Tabelle der Instruktionen abarbeitend. Der Endzustand ist der Output.

Die Berechnung startet mit dem Anstoßen des Moleküls, das die initiale Konfiguration (state, symbol) herstellt. Das Eingabemolekül ist eine doppelsträngige DNA. Sie trägt die Informationen allerdings auf einem "sticky end", nämlich einem einsträngigen Ausläufer. Der nächste Schritt benötigt das Softwaremolekül, das komplementäre sticky ends besitzt und zudem eine Bindungsstelle für die "Hardware", nämlich das Enzym FokI. Die Arbeitsfolge bis zum endgültigen Ergebnis wird nun zum Wechselspiel zwischen dem Softwaremolekül und der Hardware. Das Softwaremolekül übernimmt zwar die Stafette vom Inputmolekül, ist allerdings seinerseits ein Träger des Regelwerks, weil Bindungsstelle und sticky end durch Platzhalter unterschiedlicher Länge determiniert sind. Das Enzym wiederum schneidet die DNA an der vorgesehenen Stelle ab und lässt das Softwaremolekül mit einem freien sticky end zurück. Zugleich wird das abgeschnittene Symbol entfernt. Dieser Ablauf wiederholt sich bis das Ergebnis erreicht ist. Was leistet der Computer? Er kann für eine Liste bestehend aus 0 und 1 angeben, ob überhaupt eine 0 vorkommt, ob die Liste mit 0 oder 1 beginnt oder endet, ob die Anzahl von 0 und 1, und ähnliches.



Das Funktionsgefüge in der Zusammenschau (Credit E.Shapiro, PNAS)

Noch steht der menschliche Aufwand, um den DNA Computer zu bedienen, im ungünstigen Verhältnis zum Nutzen. Für die Anhänger ist das kein überzeugendes Gegenargument. War es in den Anfängen der Computerei anders? Die technischen Lösungen werden nicht auf sich warten lassen, weil Bedarf besteht. DNA biochips sind von Natur aus sauber, dazu werden die DNA Computer nur einen Bruchteil des Platzes beanspruchen und, was viele hoffen, ohne Abstoßungsreaktion implantierbar sein. Denkbar auch, dass dereinst statt konventioneller Supercomputer ein Reagenzglas voller DNA Computer ausreicht, um geheime Codes zu knacken.

forum   artikel drucken  artikel versenden

**Kommentare:**  
[Hoffentlich lesen möglichst viele diesen Satz! \(Go4HESY, 28.2.2003 22:58\)](#)  
["richtige" Lösung \(Buridans Esel, 26.2.2003 19:09\)](#)  
[Re: Der DNA Computer, der seinen Platz im Guinness Buch der Rekorde gefunden ha \(apoplex, 25.2.2003 19:20\)](#)  
[mehr...](#)

Internet