2018/17 Networld

https://www.jungle.world/artikel/2018/17/die-lebendige-speicherkarte

In DNA lassen sich auch Daten speichern

Die lebendige Speicherkarte

Von **Enno Park**

Die Möglichkeiten, Datenspeicher wie Festplatten und USB-Sticks immer weiter zu verkleinern, stoßen an ihre Grenzen. Ein möglicher Ausweg aus dem Dilemma ist die Idee, Information in lebenden Zellen zu speichern.

Der Bauplan für das Leben steckt in dem Molekül Desoxyribonukleinsäure, auch bekannt als DNA oder auf Deutsch DNS. In dem sehr langen Kettenmolekül reihen sich die vier Basen Adenin, Thymin, Guanin und Cytosin in immer neuen Kombinationen aneinander. Man könnte auch sagen: Es ist ein in einem Alphabet aus ihren vier Anfangsbuchstaben A, T, G und C geschriebener Text. In komplexen biochemischen Prozessen bildet eine Zelle anhand dieses Textes all ihre Bestandteile heraus. Das Grundprinzip ist mittlerweile so gut verstanden, dass sich dieser Bauplan ändern lässt – etwa um in der Gentechnik Pflanzen so zu manipulieren, dass sie widerstandsfähiger gegen einen bestimmten Schädling werden.

Die Menge an Daten, die die Menschheit produziert, steigt so rasant, dass ihr langfristig die Festplatten und USB-Sticks ausgehen könnten, allein wegen der Begrenztheit der Rohstoffe, die benötigt werden, um all die Speichermedien zu produzieren. Da ist es gedanklich kein allzu großer Schritt, beliebige Daten als DNA zu speichern. Statt einer endlosen Abfolge von Nullen und Einsen könnten Daten auch als Abfolge der Buchstaben A, T, G und C in der DNA abgelegt werden. Theoretisch ließen sich auf diese Weise gigantische Datenmengen speichern. Ein Gramm DNA entspricht rechnerisch etwa einem Zettabyte an Daten. Um diese zu speichern, bräuchte man eine Milliarde Terabyte-Festplatten aus dem Elektronikmarkt.

Praktischerweise existiert in der Natur selbst ein »Gerät«, das Daten der DNA speichern, lesen und kopieren kann: die biologische Zelle. Per Gensequenzierung ist es bereits seit längerer Zeit möglich, die DNA eines beliebigen Lebewesens auszulesen. Techniken wie CRISPR / Cas (Clustered Regularly Interspaced Short Palindromic Repeats) erlauben es, DNA-Code in Zellen zu editieren. Ein beliebtes Experiment ist, die Gensequenz, die einen Leuchtkäfer leuchten lässt, in die Gene einer Pflanze einzusetzen. Das Ergebnis sind im Dunkeln leuchtende Zimmerpflanzen.

Allerdings ist es keine besonders gute Idee, irgendwelche Information in den aus DNA bestehenden Chromosomen einer Zelle zu speichern. Da steht schon der Bauplan der Zelle drin. Überschreibt man diesen mit anderen Daten, wäre die Zelle nicht mehr lebensfähig. Auch hierfür hält die Natur eine Lösung parat.

Bakterien enthalten DNA nicht nur in ihren Zellkernen, sondern auch in sogenannten Plasmiden. Das sind kleine Ringe aus DNA, die außerhalb des Zellkerns in der Zelle herumschwimmen. Oft liegt in ihnen die Information für eine besondere Fähigkeit, die die Zelle eigentlich gar nicht hat, etwa die Resistenz gegen einen Giftstoff. Diese Information kann zum Beispiel eine Bakterie einer anderen mitteilen. Sie docken aneinander an und tauschen Kopien ihrer Plasmide aus, ähnlich wie Menschen, die sich gegenseitig USB-Sticks überreichen. In der Gentechnik wird dieser Mechanismus benutzt, um beliebige Information in eine Zelle einzuschleusen. In ihr sind die Daten so lange sicher gespeichert, wie das Bakterium lebt, sich teilt oder die Information an andere Bakterien weitergibt. Sogar einfrieren kann man solche Bakterien, um Daten langfristig aufzubewahren.

Schwieriger ist allerdings eine andere Frage: Wie schließt man eine Zelle an einen Computer an? Elektronik, die mit elektrischen Signalen arbeitet und die Chemie von Zellen sind ganz verschiedene Welten. Auch hierzu wurden in den vergangenen Jahrzehnten verschiedene Techniken entwickelt. Zum Lesen von DNA lässt sich die Halbleitersequenzierung nutzen. Die einzelnen Bausteine der DNA verursachen auf chemischem Wege winzige elektrische Spannungsimpulse, die von sehr empfindlichen Sensoren gemessen und an einen Computer weitergegeben werden können. Die Methoden zum Schreiben von DNA hingegen fußen auf dem Prinzip der Elektrophorese: Moleküle verhalten sich unterschiedlich, wenn man leichte elektrische Spannung an sie legt. So kann ein elektrisches Signal benutzt werden, um die Moleküle, die die vier Basen der DNA repräsentieren, in eine bestimmte Reihenfolge zu bringen. Lesen und speichern ist also aufwendig, aber möglich. Allerdings schwimmen die Bakterien, in denen Daten gespeichert wurden, frei in einer Petrischale herum. Die einzelnen Bakterien wiederzufinden, um die Daten wieder aus ihnen herauszulesen, gleicht dem Problem, in einer unsortierten Bibliothek mit Millionen Büchern ein bestimmtes Buch zu finden. Die Bakterien müssen irgendwie sortiert werden.

Dieses Problem scheint nun ein Team rund um den Forscher Federico Tavella an der Universität von Padua gelöst zu haben. Die Idee ist, Bakterien an einem bestimmten Ort festzuhalten. Die Bakterien werden gezielt resistent gegen bestimmte Antibiotika gemacht. Anschließend kann durch das Hinzufügen bestimmter Antibiotika gesteuert werden, an welchem Ort sich die Bakterien aufhalten und wohin sie sich nicht bewegen können. Die Bakterien sind somit in einer Art Raster gefangen. Sucht man Daten, die in einem bestimmten Bakterium gespeichert sind, weiß man dann, wo sich dieses aufhält. Möchte man Daten auslesen, braucht man ein weiteres Bakterium mit einer ganz bestimmten anderen Kombination aus Antibiotikaresistenzen, das nur an der Stelle im System überleben kann, an der sich das auszulesende Bakterium befindet, und eine Lesevorrichtung. Dieses zweite Bakterium wandert nun zum ersten Bakterium, dockt dort

an, um die Plasmide zu kopieren – wobei es auch die Antibiotikaresistenz kopiert –, und wandert anschließend weiter zur Leseeinrichtung, an der die gewünschten Daten per Gensequenzierung ausgelesen werden können.

Aber selbst wenn man all diese Techniken kombiniert, hat man noch keinen biologischen Speicherchip, sondern allenfalls ein System, das in einem großen Labor eher umständlich funktioniert. Um das ganze in Form eines kleinen handlichen Geräts auf den Markt zu bringen, sind noch viele Probleme zu lösen – aber die technische Machbarkeit wurde bewiesen. Ein Nachteil für den Einsatz im Alltag ist die langsame Lesegeschwindigkeit. Ein Lesevorgang dauert etwa 72 Stunden , denn so lange benötigen die Bakterien, um den durch Antibiotika begrenzten Weg in der Petrischale zu meistern. Einen mit Bakterien bestückten Stick, aus dem sich in Sekundenschnelle Daten lesen lassen, wird es so bald also nicht geben. Interessant ist das Verfahren aber dennoch für Bibliotheken und Datenbanken, denen es vor allem darauf ankommt, riesige Datenmengen für lange Zeit sicher zu speichern. Bleibt die Frage, wie stabil ein solches System ist, da die Bakterien sich auch in einem solchen Antibiotikakäfig evolutionär weiterentwickeln und die in ihnen - gespeicherten Daten per Mutation verfremdet werden könnten.

Die Vorstellung, Daten in lebenden Bakterien zu speichern, mag zunächst gruselig klingen. Trotzdem sprechen erstaunlich wenig ethische Einwände gegen das Verfahren. Schließlich nutzen Menschen Bakterien und Mikroorganismen bereits auf unterschiedlichste Weise, etwa um Käse herzustellen, Bier zu brauen oder Penicillin zu gewinnen. Die in den Plasmiden der Bakterien gespeicherte Information – etwa eine Kopie dieses Artikels – ergibt biologisch auch keinerlei Sinn. Es ist ziemlich unwahrscheinlich, dass man versehentlich ein Killerbakterium produziert, wenn man den Inhalt von Goethes »Faust« in einem Plasmid abspeichert und es in einem Bakterium aufbewahrt. Problematisch ist allerdings an dem Verfahren, dass gezielt Bakterien mit Antibiotikaresistenzen benutzt werden. Solche Resistenzen sind in der Medizin ein großes Problem, da Menschen, die an einem Befall mit resistenten Bakterien erkranken, nicht mehr mit allen zur Verfügung stehenden Antibiotika behandelt werden können. Solche Resistenzen entwickeln sich gerade – Stichwort »Krankenhauskeime« – auf natürlichem Wege überall dort, wo viele Antibiotika eingesetzt werden. Das neue Verfahren ist allerdings unkritisch, solange nur Resistenzen benutzt werden, die ohnehin schon weit verbreitet sind.

© Jungle World Verlags GmbH