

Biologische Speicher

Proseminar Speicher- und Dateisysteme

Sommersemester 2012

Marcel Lock

Gliederung

- Wie speichert man?
- Anforderungen an Speicher
- DNA und Bakterien
- Atomare Speicher
- Polymerspeicher
- Vergleich zwischen den Speichersystemen

Wie speichert man? (Am Anfang war das Bit?)

Es gibt heutzutage viele Möglichkeiten etwas abzuspeichern.

Die ersten Speicherungen von Ereignissen waren wohl die Wandmalereien. Die ersten Wandmalereien sind bereits vor mehr als 30.000 Jahren entstanden.

Seit dieser Zeit sind immer neue Wege entstanden, um das Wissen an die nächste Generation weiter zu geben.

Heute sind wir auf einem Niveau angekommen, bei dem man Informationen in sogenannten Bits speichert.

Dies schafft man durch das Erzeugen von 2 stabilen Zuständen auf einer ablesbaren Oberfläche.

Dies kann etwa ein Farbunterschied sein z.B. hell und dunkel, deren Lichtdurchlässigkeit oder wie in modernen Speichersystemen, ganz einfach und simpel, die 1 und 0.

Durch eine Ansammlung von mehreren Bits kann man je nach Speicher- und Lesemethode die Bits verändern und für sich nutzbar machen.

Dies ist derzeit eine der simpelsten und leichtesten Methoden um viele Informationen auf geringem Raum zu speichern.



Wichtige Anforderungen an Speichersysteme

Im Folgenden sind einige der wichtigsten Anforderungen an Speichersysteme genannt, die ein Speichersystem erfüllen muss um für den Menschen massentauglich und im Besonderen nutzbar macht. Eines der wichtigsten ist die Lange Speicherung. Wenn man etwas abspeichert sollte es auch über lange Zeiträume abgespeichert bleiben und nicht schon nach kurzen Zeiträumen (Sekunden, Tage, Jahre) verloren gehen oder sich verändern.

Besonders interessant ist es wenn man etwas nahezu bis in die Ewigkeit speichern kann.

Eine weitere wichtige Anforderung ist die Unverfälschte Speicherung. Wenn etwas z.B. in einzelnen Bits gespeichert ist, sollen sie trotz langer Speicherung unverändert bleiben und nicht ihre Zustände ändern oder ganz einfach unleserlich werden. Dies könnte trotz Änderung von nur Einzelheiten zu großen Unterschieden in den letztendlich abgespeicherten Daten führen (je nach Speicher und Auslesemethode).

Auch wichtig ist die Tatsache, dass die Speicherung von großen Datenmengen möglich sein sollte, um auf viele kleinere Datenträger zu verzichten. Je größer ein Speichersystem, desto attraktiver und letztendlich auch günstiger.

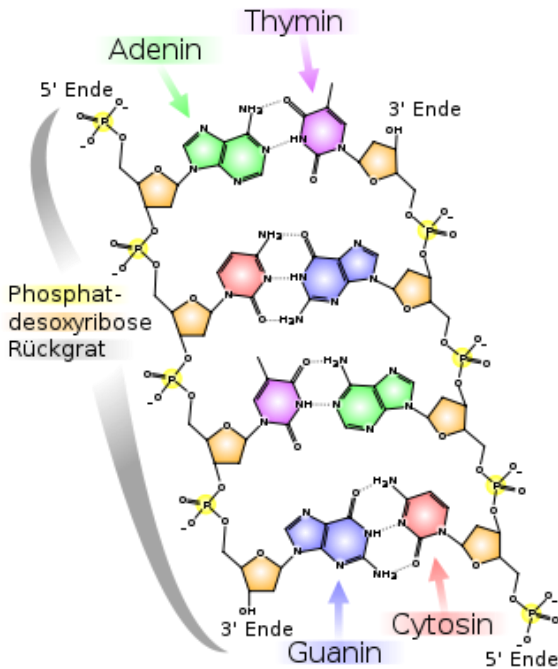
Eine weitere interessante Anforderung wäre das Thema Redundanz. Es wäre natürlich schön, wenn die Daten mehrfach vorhanden sind und auf unterschiedlichen Objekten abgespeichert sind. Bei Ausfällen oder Fehlfunktionen und ähnlichem kann problemlos weitergearbeitet werden, ohne dass es dem Benutzer auffällt. Nur der Zugriff auf den Ort der Speicherung ändert sich.

Dies soll allerdings nur ein Ausschnitt sein an Anforderungen und nur die interessantesten ansprechen, die die folgenden Speichersysteme ansprechen.

DNA

Nun kommen wir zu einem der interessantesten und vielseitigsten Speichermedien überhaupt – der DNA. Die DNA gibt es seit Milliarden Jahren und ist ständig, den plötzlichen und geplanten, Veränderungen unterworfen und nur die wenigsten Lebewesen haben sich über die Millionen von Jahren kaum verändert.

Einen Einstieg ins folgende Thema beginnen wir mit den fürs Thema interessantesten Grundlagen der DNA. Die Bestandteile der DNA sind u.a. die Basen Adenin, Thymin, Guanin und Cytosin.



Diese 4 Basen sind immer in festen Paaren angeordnet. Die Basen sind mit anderen Bestandteilen wie Phosphor in einer sogenannten Matrix angeordnet.

Adenin und Thymin, sowie Guanin und Cytosin sind immer ein Paar und bilden damit jeweils einen Zustand ab. Dies sagt uns also, dass jede Base 2 Bit innehat. (4 Zustände für 4 Basen)

Menschliche DNA

Ist nun unsere menschliche DNA geeignet etwas abzuspeichern?

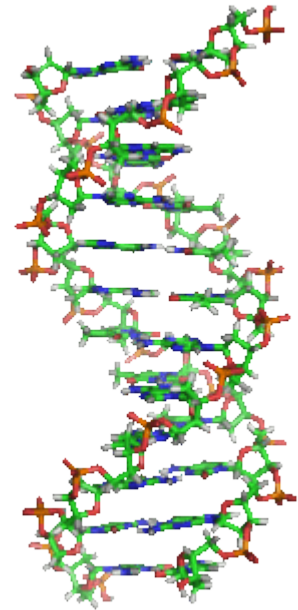
Wir haben 4 Basen die man anordnen kann und theoretisch durch einen künstlichen DNA Strang in jede beliebige Körperzelle oder Keimzelle pflanzen könnte.

Ein Vorteil ist das wir extrem lange DNA Stränge haben, die also viele Daten aufnehmen könnten. Wenn nicht wir selber es machen wollten könnten wir ja auch andere Lebewesen, wie etwa unser Haustier z.B. einen Hund als Datenträger nehmen.

Dies ist jedoch nicht so einfach.

Da einige bereits angesprochene Anforderungen an Speichersysteme nicht erfüllt sind.

Die menschliche DNA ist ständig starken Wandlungen unterworfen von Generation zu Generation. Sie macht bei jeder Generation viele Mutationen und Rekombinationen durch, die durch den mangelnden Strahlenschutz noch verstärkt wird. Auch strahlen, etwa kosmische Strahlung, können die DNA verändern. Damit ist nicht mehr gewährleistet, dass die Informationen über längere Zeiträume erhalten bleiben. Eine gute Alternative bietet hingegen das folgende Bakterium.

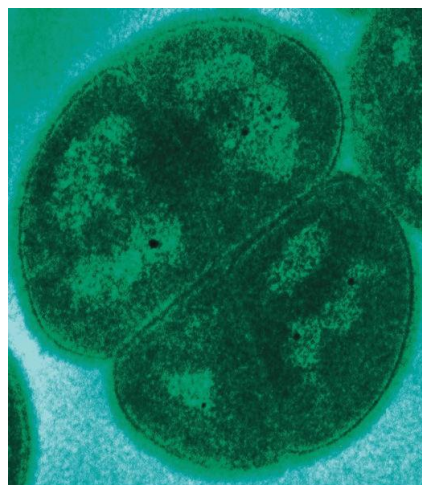


Deinococcus radiodurans

Ein gutes lebendes Speichermedium bietet sich in dem Bakterium *Deinococcus radiodurans* an. Bakterien haben anders als Menschen keine DNA Stränge, sondern Ringe. Dieses Bakterium hat sogar 4 identische DNA-Ringe.

Diese Ringe haben die Eigenschaft, dass sie sich regelmäßig vergleichen und Veränderungen eines Ringes durch abgleichen mit den anderen Ringen korrigieren. Dies führt dazu, dass Mutationen und Rekombinationen fast unmöglich sind, da ähnliche Veränderungen an allen Ringen normal nicht vorkommen und Veränderungen an einzelnen somit wieder korrigiert werden.

Ein weiterer Vorteil des Bakteriums ist, dass es eine hohe Widerstandskraft hat gegenüber Strahlung. Es kann bis zu 500 Reparaturen an den DNA Strängen gleichzeitig machen wohin gegen etwa das im Menschen vorkommende *E. Coli* Bakterium nur 2-3 Reparaturen gleichzeitig machen kann. Es weist also eine große Resistenz gegen Strahlung auf und kann zudem die bereits angesprochenen Veränderungen schneller und effektiver als andere Bakterien erledigen.



D. radiodurans wachsen noch bei erhöhten und andauernden Strahlendosen von 60 Gy pro Stunde weiter. Selbst bei erhöhter kurzfristiger Strahlendosis von über 10.000 Gy überleben noch 50 Prozent der Organismen. Teile der Bakterien überleben sogar bei akuten Strahlendosen von bis zu 17.500 Gy. Zum Vergleich bei Menschen überleben bereits 90% keine 6-7 Gy. Ab 8 Gy sind keine überlebenden zu erwarten.

Aber auch dieses Bakterium hat einige Nachteile.

Eines der wohl nachteiligsten ist die Tatsache, dass *Deinococcus radiodurans* nur etwa 150 Basenpaare pro DNA Strang hat.

Dies bedeutet, dass für größere Datenmengen mehrere Bakterien angesprochen und verändert werden müssen. Dies ist problemlos möglich da pro Milliliter Kulturflüssigkeit etwa bis zu eine Milliarde Bakterien vorhanden sein können.

Von der Tatsache das jedes einzelne Bakterium bearbeitet und eingelesen werden muss mal abgesehen, passiert das selbe genauso beim Auslesen, zudem müssen sie in eine sinnvolle Reihenfolge gebracht werden.

Hier erschwert zudem die hohe Redundanz der Bakterien die Prozedur, da die Bakterien sich in der Zeit zwischen dem Einlesen und Auslesen von Daten natürlich vermehren können.

Bei der DNA bewegen wir uns in einer Größenordnung von 2 Nanometer pro Bit, dem Durchmesser der Doppelhelix.

Je Milliliter Kulturflüssigkeit kommen wir damit etwa auf 300 Milliarden Bit.

Atomare Speicher

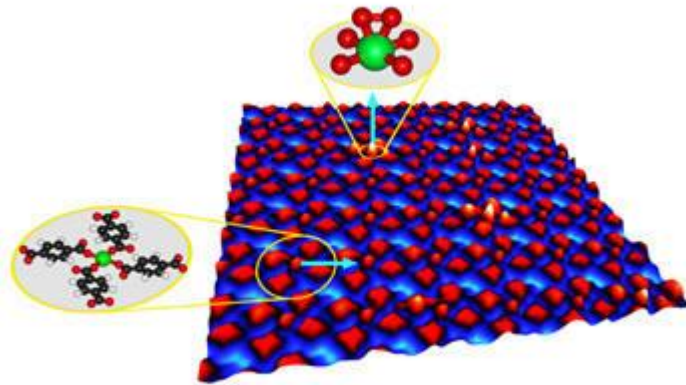
Auch bei den Atomaren Speicher bleiben wir bei den 2 Zuständen. Dieser Atomare Speicher arbeitet mit der Verbindung von Eisenatomen und Sauerstoffatomen. Wenn die beide eine Verbindung eingehen ist dies ein Zustand und wenn nicht, dann ist es der „andere“ Zustand.

Der Grundablauf ist erst mal relativ simpel. Eisenatome und Terephthalsäure verdampfen zusammen in einem bestimmten Mischverhältnis in einer Vakuumkammer.

Sie verteilen sich auf einer Kupferoberfläche soweit, dass sie ein organisiertes 2D Netz bilden, was aus den natürlichen Eigenschaften der Atome passiert. Die Terephthalsäure-enden oder auch Zangen greifen nach den Eisenatomen und verbinden sich mit ihnen.

Die Vakuumkammer wird konstant auf -270°C gehalten.

Dies ist erforderlich, damit die später platzierten Sauerstoffatome und das allgemeine Gerüst sich nicht verändert. Mit anderen Worten, nur bei dieser Temperatur ist sichergestellt, das sich die Zustände nicht verändern und langfristig erhalten bleiben.



Beim „schreiben“ werden nun theoretisch gezielt Sauerstoffatome auf bestimmte Eisenatome hinzugefügt und mit ihnen verbunden.

Dies ist genau einer der Probleme mit denen die Wissenschaft noch kämpft.

Praktisch ist es möglich, mit Rastersondenmikroskopen dies zu ermöglichen, aber bei größeren Datenmengen die beschrieben werden müssen gestaltet es sich noch als eher schwierig.

Um die Daten „auszulesen“ werden polarisierte Röntgenstrahlen auf die einzelnen Atome gestrahlt. Je nach Ausrichtung des Eisenatoms, nimmt es unterschiedlich stark die ankommenden Elektronen auf. Je nach zurückkommender Strahlung kann also der Zustand des Bits abgefragt werden. Im Normalzustand sind die Eisenatome waagrecht zwischen den Säurezangen angeordnet. Durch Hinzufügen von Sauerstoffatomen allerdings, richten sie sich senkrecht wie ein Stabmagnet auf und sind somit für den Röntgenstrahl von der anderen Position zu unterscheiden.

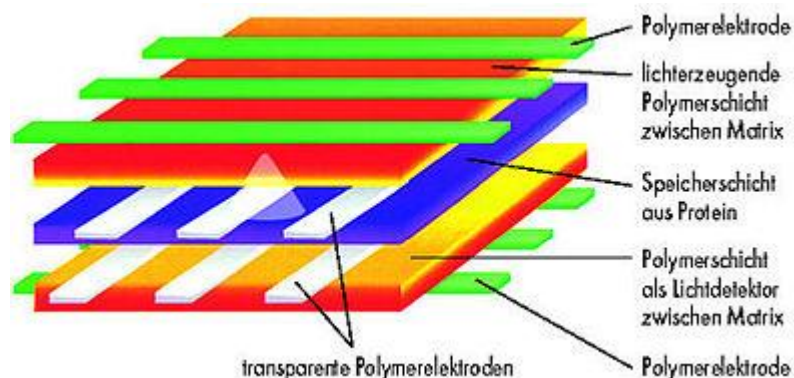
Bei den Atomen bewegen wir uns in einer Größenordnung von knapp 50 Billionen Datenpunkten pro Quadratzentimeter, was etwa 700-mal höher ist als bei derzeitigen Speichersystemen. Eine weitere Größenordnung zum Vergleich ist, dass die Atome etwa 1,5 Nanometer voneinander entfernt in dem 2D Netz angeordnet sind. Dies ist zumindest momentan eines der kleinsten überhaupt möglichen Speichergrößen überhaupt

Polymerspeicher

Der Polymerspeicher ist im Prinzip ebenfalls relativ simpel. Er besteht aus 2 Polymer und einer Proteinschichten die übereinander in einem „Sandwich“ angeordnet sind.

Dieses Sandwich ist in einer Matrix angeordnet.

Die Anordnung soll zum Teil von alleine stattfinden, durch die Nutzung von „leitenden“ Polymeren und zum anderen möglicherweise durch UV Licht, was dafür sorgt das sich die Polymerschicht ausrichtet.



Die oberste Schicht vom Sandwich ist die Polymerschicht. Sie strahlt ein starkes veränderndes Licht aus.

Dieses Licht fällt nun auf die darunterliegende zweite Schicht, eine Proteinschicht. Diese Proteinschicht verändert durch das starke Licht seinen Zustand.

Die Zustände unterscheiden sich hier in Hinblick auf die Durchlässigkeit von Licht. Der eine Zustand lässt mehr und der andere weniger Licht durch. Um den Zustand nun abzufragen wird ein schwaches Licht von der ersten Polymerschicht auf die Proteinschicht ausgestrahlt.

Das Licht wird nun unterschiedlich stark durch die Proteinschicht durchgelassen.

Die zweite Polymerschicht dient als Photodektorschicht und „liest“ die Lichtintensität ab, die es durch die Proteinschicht geschafft hat.

Ein Problem dieses Systems ist, dass die Transistoren die die einzelne Matrix in der Polymerschicht aufrufen sehr groß sind im Vergleich zu den einzelnen Matrixelementen. 100.000 Mikrometer Linienabstand hat jede Matrix an die ein Transistor befestigt werden muss. Die Dimensionen moderner Transistoren je Linie sind allerdings 0,25 Mikrometer.

Dies ist momentan noch einer der Hauptproblemstellen und wird wohl noch zu mehrjährigen Wartezeiten verpflichten.

Der Speicherplatz befindet sich in der Größenordnung von 170.000 GB, bei einer Größe von einer Scheckkarte. Dies ist zwar nur eine erste Vermutung aber sie lässt sich durch fehlende Informationen und fehlender Umsetzung auch nicht widerlegen.

Bakterien	Atomare Speicher	Polymerspeicher
<ul style="list-style-type: none"> • Durchmesser des Heliix 2 nm • Pro Milliliter Kulturflüssigkeit bis zu einer Milliarde Bakteien (150 Basenpaare) 	<ul style="list-style-type: none"> • 1,5 nm Atomabstände • 50 Billionen pro Quadratcentimeter 	<ul style="list-style-type: none"> • 100 nm Linienabstände • 50 Tb - erster Prototyp - geplant auf einer Scheckkarte

Links:

Allgemeine Struktur :

http://winfwiki.wi-fom.de/index.php/Leistungsvergleich_aktueller_Speichertechnologien_und_zuk%C3%BCnftige_Entwicklungen#Zuk.C3.BCnftige_Entwicklungen

Polymerspeicher:

<http://www.heise.de/ct/artikel/Terabytes-in-Plastikfolie-286126.html>

Atomare Speicher:

<http://www.organische-chemie.ch/chemie/2009mae/datenspeicher.shtm>

DNA und Bakterien:

http://en.wikipedia.org/wiki/Deinococcus_radiodurans und

<http://de.wikipedia.org/wiki/Desoxyribonukleins%C3%A4ure>