

# Informationscodierung

Prof. Dr. Thomas Tolxdorff

Vorlesung an der Charité - Universitätsmedizin Berlin

## Überblick Informationscodierung

- Biologische Computer: DNA-Computing
- Erste praktische Anwendung
- Vor- und Nachteile von DNA-Computern
- Halbleiterbasierte Computer
- Informationscodierung mit Bits & Bytes
- Vergleich DNA- / Halbleitercomputer
- Zusammenfassung

Prof. Dr. Thomas Tolxdorff - Medizinische Informatik CHARITÉ CAMPUS BENJAMIN FRANKLIN

## Inhalt und Ziele der Veranstaltung

Wenn Sie diese Vorlesung absolviert haben, dann können Sie:

- die Grundlagen des Rechnens mit DNA erklären und Vor- und Nachteile des DNA-Computers benennen,
- Information und Daten definieren und Unterschiede zwischen analogen und digitalen Daten erläutern,
- beschreiben, warum das Binärsystem und normierte Zeichensätze zur Datenrepräsentation im traditionellen Computer eingesetzt werden.

Prof. Dr. Thomas Tolxdorff - Medizinische Informatik CHARITÉ CAMPUS BENJAMIN FRANKLIN

## Bedeutung der DNA in der Biologie

Biologische Computer: DNA-Computing

- DNA ist Träger der **Erbinformation**
- DNA ist in nahezu **allen** Lebewesen zu finden
- **Doppelhelicale** Struktur
- Durch **Basenpaarung** redundante Information

Prof. Dr. Thomas Tolxdorff - Medizinische Informatik CHARITÉ CAMPUS BENJAMIN FRANKLIN

## Bedeutung der DNA für die Informatik

Biologische Computer: DNA-Computing

- Datenträger
- **4** elementare Informationselemente (2 Purin und 2 Pyrimidin-Basen)
- 100.000-fach höhere **Datendichte** als traditionelle Datenträger
- 1 Basenpaar entspricht einer Raid-Einheit (Datensicherung aufgrund redundanter Information)

Prof. Dr. Thomas Tolxdorff - Medizinische Informatik CHARITÉ CAMPUS BENJAMIN FRANKLIN

## Struktur der DNA

Biologische Computer: DNA-Computing

- **Doppelhelix**
- **Zucker-Phosphat Einheiten** bilden das außen liegende **Rückgrat** der gewundenen Einzelstränge
- Pyrimidin- und Purin-Basen liegen im **Inneren**
- Basen sind durch **Wasserstoffbrücken** verbunden
- Basenpaare stehen **senkrecht** zur Helixachse

Prof. Dr. Thomas Tolxdorff - Medizinische Informatik CHARITÉ CAMPUS BENJAMIN FRANKLIN

### Struktur eines DNA-Doppelstranges

7

Biologische Computer: DNA-Computing

Adenin (A)  
Thymin (T)  
Cytosin (C)  
Guanin (G)  
Zucker  
Phosphat

Prof. Dr. Thomas Tobisdorf - Medizinische Informatik | CHARITÉ | CAMPUS BENJAMIN FRANKLIN

### Struktur eines DNA-Doppelstranges

8

Biologische Computer: DNA-Computing

Basenpaare  
kleine Furche  
große Furche  
Zucker-Phosphat Rückgrat

Prof. Dr. Thomas Tobisdorf - Medizinische Informatik | CHARITÉ | CAMPUS BENJAMIN FRANKLIN

### Wichtige Erkenntnisse der Mathematik

9

Biologische Computer: DNA-Computing

- 1936 Analyse des Begriffs der **Berechenbarkeit** (10 Jahre vor den ersten Computern)
- Hypothetische** Rechenmaschinen wurden erdacht → Beispiel einer Turingmaschine:

Eingabeband . . 0010110011 . . .  
lesen  
Steuereinheit  
Komplementärinformation schreiben  
Ausgabeband . . 11010

Prof. Dr. Thomas Tobisdorf - Medizinische Informatik | CHARITÉ | CAMPUS BENJAMIN FRANKLIN

### Wichtige Erkenntnisse der Mathematik

10

Biologische Computer: DNA-Computing

- Church'sche These: selbst **einfache** Rechenautomaten wie die Turing Maschine sind **berechnungsuniversell**

Prof. Dr. Thomas Tobisdorf - Medizinische Informatik | CHARITÉ | CAMPUS BENJAMIN FRANKLIN

### Idee des DNA-Computings

11

Biologische Computer: DNA-Computing

- in-vivo* kopiert DNA-Polymerase die Basenabfolge in einen Komplementärstrang
  - Turing-Maschine
  - Church'sche These

**→ MIT DNA LÄSST SICH RECHNEN !**

Prof. Dr. Thomas Tobisdorf - Medizinische Informatik | CHARITÉ | CAMPUS BENJAMIN FRANKLIN

### Verfügbare Hilfsmittel

12

Biologische Computer: DNA-Computing

- spontane** Paarung komplementärer Basen
- automatisierte** DNA-Synthese und Analyse
- Molekularbiologische Verfahren:
  - Enzymkasten: Polymerasen, Ligasen, . . .
  - Gelelektrophorese
  - Affinitätsprüfungen

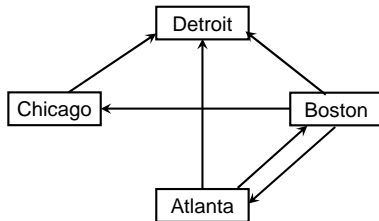
Prof. Dr. Thomas Tobisdorf - Medizinische Informatik | CHARITÉ | CAMPUS BENJAMIN FRANKLIN

## DNA-Computing in der Praxis

13

DNA-Computer: erste praktische Anwendung

Beispiel Hamilton'sche Wege oder „Problem des Handlungsreisenden“:  
**einmaliger** Besuch jeder Stadt bei **kürzestem** Weg



Prof. Dr. Thomas Tobisdorff - Medizinische Informatik CHARITÉ CAMPUS BENJAMIN FRANKLIN

## Umsetzung: Programmablauf

14

DNA-Computer: erste praktische Anwendung

1. Erzeuge **alle** möglichen Wege durch die Landkarte (Graph).
2. Wähle Verbindungen aus, die mit dem richtigen **Startort** beginnen und dem richtigen **Zielort** enden.
3. Wähle alle Verbindungen mit der **richtigen** Anzahl von Städten aus.
4. Wähle die Verbindungen aus, die jede Stadt **genau** einmal enthalten.

Prof. Dr. Thomas Tobisdorff - Medizinische Informatik CHARITÉ CAMPUS BENJAMIN FRANKLIN

## Umsetzung: Wie wird kodiert?

15

DNA-Computer: erste praktische Anwendung

- Gesucht: Weg Atlanta → Detroit
- jede Stadt durch Abfolge von 8 Basen kodiert:  
 Beispiel: Atlanta: **ACTTGCAG**  
 Boston: **TCGGACTG**
- Städteverbindungen: komplementäre Abfolge der letzten vier Basen des Ausgangsorts und der ersten 4 Basen des Zielorts:  
 Beispiel: Atlanta → Boston: **CGTCAGCC**

Prof. Dr. Thomas Tobisdorff - Medizinische Informatik CHARITÉ CAMPUS BENJAMIN FRANKLIN

## Schritt 1: DNA-Synthese

16

DNA-Computer: erste praktische Anwendung

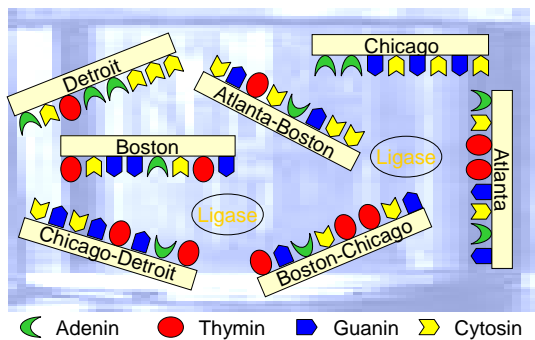
- DNA-Sequenzen für Städte und Städteverbindungen werden **maschinell** synthetisiert
- **automatisiert**
- **zuverlässig**
- **billig**

Prof. Dr. Thomas Tobisdorff - Medizinische Informatik CHARITÉ CAMPUS BENJAMIN FRANKLIN

## Schritt 2: Naßchemie im Reagenzglas

17

DNA-Computer: erste praktische Anwendung

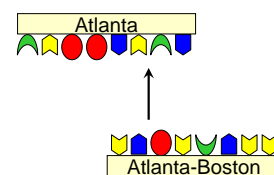


Prof. Dr. Thomas Tobisdorff - Medizinische Informatik CHARITÉ CAMPUS BENJAMIN FRANKLIN

## Schritt 2: Naßchemie im Reagenzglas

18

DNA-Computer: erste praktische Anwendung



aber:  
 hohe **Selektivität** der **spontanen** Basenpaarung

Prof. Dr. Thomas Tobisdorff - Medizinische Informatik CHARITÉ CAMPUS BENJAMIN FRANKLIN

**Schritt 2: Naßchemie im Reagenzglas** 19

DNA-Computer: erste praktische Anwendung

Verknüpfung zweier Städte durch **Verbindungswege**

Prof. Dr. Thomas Tobkordt - Medizinische Informatik | CHARITÉ | CAMPUS BENJAMIN FRANKLIN

**Schritt 2: Naßchemie im Reagenzglas** 20

DNA-Computer: erste praktische Anwendung

Prof. Dr. Thomas Tobkordt - Medizinische Informatik | CHARITÉ | CAMPUS BENJAMIN FRANKLIN

**Schritt 2: Naßchemie im Reagenzglas** 21

DNA-Computer: erste praktische Anwendung

**Ligasen:** Enzyme die zwei DNA-Stränge **verknüpfen**

Prof. Dr. Thomas Tobkordt - Medizinische Informatik | CHARITÉ | CAMPUS BENJAMIN FRANKLIN

**Schritt 2: Naßchemie im Reagenzglas** 22

DNA-Computer: erste praktische Anwendung

Anlagerung des nächsten Verbindungswegs

Prof. Dr. Thomas Tobkordt - Medizinische Informatik | CHARITÉ | CAMPUS BENJAMIN FRANKLIN

**Schritt 2: Naßchemie im Reagenzglas** 23

DNA-Computer: erste praktische Anwendung

Wiederholung der einzelnen Reaktionsschritte

Prof. Dr. Thomas Tobkordt - Medizinische Informatik | CHARITÉ | CAMPUS BENJAMIN FRANKLIN

**Abschluß des zweiten Schritts** 24

DNA-Computer: erste praktische Anwendung

- Eine Vielzahl **beliebiger** Reiseverbindungen ist entstanden
- Es existieren **wenig richtige** und **viel falsche** Lösungen

Prof. Dr. Thomas Tobkordt - Medizinische Informatik | CHARITÉ | CAMPUS BENJAMIN FRANKLIN

### Schritt 3: Aufarbeitung

25

DNA-Computer: erste praktische Anwendung

- **Hydrolyse** der Doppelhelix
- **Vervielfältigung** von Einzelsträngen mit richtigem Start und Zielort
- Gelelektrophorese zum **Abtrennen** der Reaktionsprodukte mit der richtigen Städteanzahl
- Affinitätsprüfung zum Nachweis des **einmaligen** Besuchs jeder Stadt

Prof. Dr. Thomas Tobisdorf - Medizinische Informatik | CHARITÉ | CAMPUS BENJAMIN FRANKLIN

### Schritt 4: Die Lösung

26

DNA-Computer: erste praktische Anwendung

- **Sequenzanalyse** des durch Aufarbeitung isolierter DNA-Einzelstränge
- Ergibt für das gezeigte Beispiel als Reiseroute:  
**Atlanta – Boston – Chicago – Detroit**

Prof. Dr. Thomas Tobisdorf - Medizinische Informatik | CHARITÉ | CAMPUS BENJAMIN FRANKLIN

### Hard- und Software des DNA-Computers

27

DNA-Computer: erste praktische Anwendung

- **Hardware:**  
Für die eigentliche Berechnung: **Ligase, DNA**  
Zur Synthese und Analyse:  
DNA-Synthesizer, DNA-Analyzer, vielfältige  
Reinigungsverfahren der Biochemie, Computer
- **Software:**  
**DNA**

Prof. Dr. Thomas Tobisdorf - Medizinische Informatik | CHARITÉ | CAMPUS BENJAMIN FRANKLIN

### Vorteile des DNA-Computers

28

Vor- und Nachteile des DNA-Computers

- hohe Rechengeschwindigkeit durch **massiv parallele** Datenverarbeitung
- hohe **Informationsdichte:**  
1g DNA entspricht 1.000.000.000.000 CD's
- hohe **Energieeffizienz**

Prof. Dr. Thomas Tobisdorf - Medizinische Informatik | CHARITÉ | CAMPUS BENJAMIN FRANKLIN

### Nachteile des DNA-Computers

29

Vor- und Nachteile des DNA-Computers

- **Naßchemie** des Berechnungsvorgangs:  
- kein kontinuierlicher Rechenbetrieb
- Extrem **langwierige** Aufbereitung zur Ermittlung der Rechenergebnisse
- **Fehleranfällig**, DNA ist nicht unveränderlich (Mutation als Voraussetzung für Evolution)
- Die Berechnungszeit zur Lösung eines Problems wächst in DNA-Computern nicht exponentiell aber die **Menge** benötigter DNA tut es!  
*Hamilton'scher Wege im Falle 200 Städte:  
notwendige DNA-Menge ist mit der Erdmasse vergleichbar!*

Prof. Dr. Thomas Tobisdorf - Medizinische Informatik | CHARITÉ | CAMPUS BENJAMIN FRANKLIN

### Zukunft des DNA-Computers

30

Vor- und Nachteile des DNA-Computers

- Vermeidung der Naßchemie und Reduktion des Aufarbeitungsaufwandes durch Chips mit DNA-Strängen, die selektiv die Rechenlösung binden
- **Automatisierung** der Aufarbeitung durch Fortschritte in DNA-Aufarbeitung und DNA-Manipulation
- allgemeine Fortschritte in der **Nanotechnologie** durch interdisziplinäre Zusammenarbeit in der weiteren Entwicklung von DNA-Computern

Prof. Dr. Thomas Tobisdorf - Medizinische Informatik | CHARITÉ | CAMPUS BENJAMIN FRANKLIN

## Und nicht zuletzt

31

Vor- und Nachteile des DNA-Computers

Der DNA-Computer steht noch ganz am Anfang. Einige Zitate zur Entwicklung des traditionellen Halbleitercomputers geben Hoffnung:

"I think there is a world market for maybe five computers"

Thomas Watson Senior,  
Chairman of IBM, 1943

"There is no reason anyone would want a computer in their home"

Ken Olsen  
President, Chairman and  
founder of Digital, 1977

Prof. Dr. Thomas Tobisdorf - Medizinische Informatik / CHARITÉ CAMPUS BENJAMIN FRANKLIN

## Geschichte traditioneller Computer

32

Halbleiterbasierte Computer

### Mechanische Rechner: Zahnräder

**1642** Blaise Pascal:

Addieren und Subtrahieren

**1670** Gottfried Wilhelm von Leibniz:

Multiplizieren und Dividieren

**1820** Charles Babbage:

Difference Engine, Addition und Subtraktion fest programmiert

**1834** Charles Babbage: Analytical Engine

Über Lochkarten frei programmierbar

Prof. Dr. Thomas Tobisdorf - Medizinische Informatik / CHARITÉ CAMPUS BENJAMIN FRANKLIN

## Geschichte traditioneller Computer

33

Halbleiterbasierte Computer

### Elektromechanische Relais

**1938** Konrad Zuse:

**Z1** - der erste Digital-computer der Welt.



Konrad Zuse

**1939** Howard Aiken:

**Mark I** - arbeitet mit Relais und wurde mittels eines perforierten Bandes gesteuert.

*Speicherkapazität: 72 Zahlen (23 Dezimalstellen)*

*Rechenleistung: eine Multiplikation in 10 Sekunden*

*Technik: ca. 5000 Relais*

Prof. Dr. Thomas Tobisdorf - Medizinische Informatik / CHARITÉ CAMPUS BENJAMIN FRANKLIN

## Geschichte traditioneller Computer

34

Halbleiterbasierte Computer

### Vakuumröhren

**1946** ENIAC I: schnellster Rechner seiner Zeit



*Entwicklungszeit: 1943 - 1946*

*Technik: 18.000 Röhren*

*Gewicht: 30 Tonnen*

*Länge/Breite: 30m / 3m*

*Ein-/Ausgabe: Lochkarten*

*Geschwindigkeit: 5.000*

*Operationen pro Sekunde*

Erster „bug“ am 9. Sept. 1945 um 15:45 Uhr: Eine Motte verklemmt sich in einem Relais eines Mark II Rechners.

Prof. Dr. Thomas Tobisdorf - Medizinische Informatik / CHARITÉ CAMPUS BENJAMIN FRANKLIN

## Geschichte traditioneller Computer

35

Halbleiterbasierte Computer

### Der Transistor

23. Dezember **1947**:

in den **Bell Laboratories** wird der erste Transistor erfolgreich getestet. Kommerzielle Transistoren werden in Glasröhren montiert eingebaut.



**1955** TRADIC:

der erste voll transistorisierte Computer der Welt. Er besitzt 800 Transistoren und ist für die damalige Zeit sehr klein.

Prof. Dr. Thomas Tobisdorf - Medizinische Informatik / CHARITÉ CAMPUS BENJAMIN FRANKLIN

## Geschichte traditioneller Computer

36

Halbleiterbasierte Computer

### Der integrierte Schaltkreis

**1958** Der erste integrierte Schaltkreis (IC) wird von Texas Instruments hergestellt. Seine auf einem Stück Halbleiter realisierten Komponenten sind noch mit Drähten verbunden.



**1959** Der erste Integrierte Schaltkreis ohne interne Verkabelung.



Prof. Dr. Thomas Tobisdorf - Medizinische Informatik / CHARITÉ CAMPUS BENJAMIN FRANKLIN

## Geschichte traditioneller Computer

37

Halbleiterbasierte Computer

### Mikroprozessoren

**1972:** 8008 von Intel, ein 8-bit Mikroprozessor. Erstmals konnten mit einer Wortbreite von 8 bit alle Buchstaben und Zahlen direkt verarbeitet werden.

*Transistoren:*        3300

*Taktfrequenz:*     1300 KHz

*Befehle:*             50

*Geschwindigkeit:* 100.000 Instruktionen pro Sekunde



Prof. Dr. Thomas Tolxdorff - Medizinische Informatik | CHARITÉ | CAMPUS BENJAMIN FRANKLIN

## Gegenwart – Web Tablet

38

Halbleiterbasierte Computer



**100 000 000 Transistoren, Touchscreen, WLAN**

Prof. Dr. Thomas Tolxdorff - Medizinische Informatik | CHARITÉ | CAMPUS BENJAMIN FRANKLIN

## Information und Daten

39

Informationscodierung mit Bits & Bytes

- **Information:**
  - Angaben über Sachverhalte
  - Kennzeichnet durch Form (Syntax) und Inhalt (Semantik)
- **Daten:**
  - Repräsentieren Information in einer maschinell verarbeitbaren Form
  - Die Syntax muß spezifiziert werden

Prof. Dr. Thomas Tolxdorff - Medizinische Informatik | CHARITÉ | CAMPUS BENJAMIN FRANKLIN

## Analoge und Digitale Daten

40

Informationscodierung mit Bits & Bytes

- **Analoge Daten:**
- Repräsentation durch **kontinuierliche Funktionen**
  - Darstellung erfolgt durch eine physikalische Größe, die sich entsprechend den abzubildenden Vorgängen **stufenlos** ändert

Beispiele:

- Klassische Kamera
- Thermometer mit Quecksilbersäule
- Speicherung von Musik auf einer Vinylplatte

Prof. Dr. Thomas Tolxdorff - Medizinische Informatik | CHARITÉ | CAMPUS BENJAMIN FRANKLIN

## Analoge und Digitale Daten

41

Informationscodierung mit Bits & Bytes

- **Digitale Daten:**
- Repräsentation durch **Zeichen**
- Zeichen:= Element aus einer zur Darstellung von Information **vereinbarten** endlichen Anzahl von verschiedenen Elementen (Zeichenvorrat)

Beispiele:

- Digitalkamera
- Speicherung von Musik auf einer CD
- digitale Anzeige von Zeit, Temperatur, Gewicht

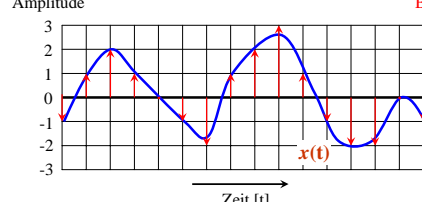
Prof. Dr. Thomas Tolxdorff - Medizinische Informatik | CHARITÉ | CAMPUS BENJAMIN FRANKLIN

## Analog – Digital Umwandlung

42

Informationscodierung mit Bits & Bytes

Amplitude



$x(t)$

Zeit [t]

**Binärzahl**

011

010

001

000

100

110

111

Analogdaten	Digitaldaten	
wertkontinuierlich	wertdiskret	= Quantisierung
zeitkontinuierlich	zeitdiskret	= Abtastung

Prof. Dr. Thomas Tolxdorff - Medizinische Informatik | CHARITÉ | CAMPUS BENJAMIN FRANKLIN

## Analog – Digital Umwandlung

43

Informationscodierung mit Bits & Bytes

- Abtastung (Sampling):  
Analoges Signal muß mit einer Frequenz abgetastet werden, die mindestens doppelt so hoch ist wie die Frequenz der Bandbreite des analogen Signals (Nyquist-Theorem)

Beispiele:

- Sprachaufzeichnung im Spektrum von 300-3400 Hz:  
Abtastrate mindestens 6800 Hz, in der Praxis 8 kHz
- CD-Qualität: 44,1 kHz
- Video: 10.3 MHz (25 Bilder · 720 Linien · 576 Zeilen)

Prof. Dr. Thomas Tobisdorf - Medizinische Informatik / CHARITÉ CAMPUS BENJAMIN FRANKLIN

## Eigenschaften digitaler Daten

44

Informationscodierung mit Bits & Bytes

- Digitale Daten können komprimiert werden:
  - benötigen weniger Speicherplatz
  - Kapazität von Übertragungswegen steigt
- Digitale Daten können bei Übertragung von Störungen „gesäubert“ werden
  - verbesserte Qualität der Datenübertragung
- Problem:
  - Ungenau** bei großen Digitalisierungsstufen  
→ schlechtere Qualität als analoge Daten

Prof. Dr. Thomas Tobisdorf - Medizinische Informatik / CHARITÉ CAMPUS BENJAMIN FRANKLIN

## Datenrepräsentation im Computer

45

Informationscodierung mit Bits & Bytes

- Menschen rechnen im Dezimalsystem  
Wieso: 10 Finger?  
10 verschiedene Ziffern (0,...,9)  
Nachteil: schlecht in Hardware realisierbar
- Der Computer rechnet im Binärsystem**
  - Das Binärsystem kennt nur zwei Zustände  
**an (1)** und **aus (0)**
  - Rechenoperationen sind auch im Binärsystem mit lediglich 2 Ziffern gültig

Prof. Dr. Thomas Tobisdorf - Medizinische Informatik / CHARITÉ CAMPUS BENJAMIN FRANKLIN

## Vorteile des Binärsystems

46

Informationscodierung mit Bits & Bytes

- Es kann einfach in Hardware realisiert werden:
  - Schalter: ein / aus
  - Transistor: Spannung, keine Spannung
  - Festplatte: Magnetisierung Nord, Süd
  - RAM: Kondensator geladen, nicht geladen
  - ROM: Leitung verbunden, nicht verbunden

RAM: *Random Access Memory, flüchtiger Speicher mit wahlfreiem Zugriff, z.B. Hauptspeicher*  
ROM: *Read Only Memory, nichtflüchtiger Nurlesepeicher, z.B. Aufnahme von fest verdrahteten Computerprogrammen*

Prof. Dr. Thomas Tobisdorf - Medizinische Informatik / CHARITÉ CAMPUS BENJAMIN FRANKLIN

## Rechnerinterne Datendarstellung

47

Informationscodierung mit Bits & Bytes

- Verwendung des Binäralphabets:

Anzahl Bits	Bitkombinationen	Abbildbare Zustände
1	0 1	2 2 <sup>1</sup>
2	00 01 10 11	4 2 <sup>2</sup>
3	000 001 010 011 100 101 110 111	8 2 <sup>3</sup>
4	0000 0001 0010 0100 1000 1001 1010 1100 0101 0110 0011 1110 1101 1011 0111 1111	16 2 <sup>4</sup>

Prof. Dr. Thomas Tobisdorf - Medizinische Informatik / CHARITÉ CAMPUS BENJAMIN FRANKLIN

## Maßgrößen für Bits & Bytes

48

Informationscodierung mit Bits & Bytes

- 1 Kilobit 1 Kbit = 2<sup>10</sup> = 1.024 Bits
- 1 Megabit 1 Mbit = 2<sup>20</sup> = 1.048.576 Bits
- 1 Byte = 8 Bit
- 1 Kilobyte 1 KB = 2<sup>10</sup> = 1.024 Bytes
- 1 Megabyte 1 MB = 2<sup>20</sup> = 1.024 KB  
= 1.048.576 Bytes
- 1 Gigabyte 1 GB = 2<sup>30</sup> = 1.024 MB  
= 1.073.741.824 Bytes
- 1 Terabyte 1 TB = 2<sup>40</sup> = 1.024 GB  
= 1.099.511.627.776 Bytes
- 1 Petabyte 1 PB = 2<sup>50</sup>

Prof. Dr. Thomas Tobisdorf - Medizinische Informatik / CHARITÉ CAMPUS BENJAMIN FRANKLIN

## Binärcodierung elementarer Zeichen

52

Informationscodierung mit Bits & Bytes

- Mit n Bit können  $2^n$  Zeichen dargestellt werden
  - 26 Großbuchstaben: mindestens 5 Bit erforderlich ( $2^5 = 32$ )
  - Unter Einbezug von Kleinbuchstaben, Sonderzeichen, etc. sind 7 Bit sinnvoll ( $2^7 = 128$ )
  - Konventionen notwendig zur Zuordnung von Zeichen → Bitmuster

Prof. Dr. Thomas Tobisdorf - Medizinische Informatik | CHARITÉ | CAMPUS BENJAMIN FRANKLIN

## ASCII-Konvention

53

Informationscodierung mit Bits & Bytes

**American Standard Code for Information Interchange**  
(In etwa: Amerikanischer Standard-Code für Informationsaustausch)

ASCII-Code umfaßt folgende Zeichentypen:

Zeichen 0 bis 31: Steuerzeichen  
 Zeichen 32 bis 63: Algebraische Zeichen  
 Zeichen 64 bis 95: Großbuchstaben  
 Zeichen 96 bis 127: Kleinbuchstaben  
 Zeichen 128 bis 255: Sonderzeichen

1963 verabschiedet durch die American Standards Organization

Prof. Dr. Thomas Tobisdorf - Medizinische Informatik | CHARITÉ | CAMPUS BENJAMIN FRANKLIN

## "Alpha" im ASCII-Zeichensatz

54

Informationscodierung mit Bits & Bytes

Zeichen (Schrift)	Bitmuster (Binär)	ASCII-Wert (Dezimal)
A	01000001	65
I	01101100	106
p	01110000	112
h	01101000	104
a	01100001	97

Prof. Dr. Thomas Tobisdorf - Medizinische Informatik | CHARITÉ | CAMPUS BENJAMIN FRANKLIN

## Moderne Zeichensätze

55

Informationscodierung mit Bits & Bytes

- Unicode enthält Zeichen oder Elemente aller bekannten Schriftkulturen und Zeichensysteme verwendet 2 Byte Binärcode, von den  $2^{16} = 65536$  darstellbaren Zeichen sind zur Zeit 38885 Elemente spezifiziert.
- Universal Character Set (UCS, ISO 10646)
  - beruht auf Zeichenwerten des Unicode
  - Verwendung z.B. in HTML-Seiten zur Darstellung von Sonderzeichen: `&#064;= @`

Prof. Dr. Thomas Tobisdorf - Medizinische Informatik | CHARITÉ | CAMPUS BENJAMIN FRANKLIN

## Repräsentationsgröße von Datentypen

56

Informationscodierung mit Bits & Bytes

Bezeichnung	Größe	Darstellung	Verwendungszweck
Bit	1 Bit	$2^1 = 2$	Wahrheitswert
Byte	8 Bit	$2^8 = 256$	Schriftzeichen, Wahrheitswert, kleine Ganzzahlen
Halbwort	16 Bit	$2^{16} = 65.536$	Internationaler Zeichensatz, kleine Ganzzahlen
Wort	32 Bit	$2^{32} = 4.294.967.296$	Ganzzahlen, Gleitkommazahlen, Speicheradressen
Doppelwort	64 Bit	$2^{64} = 18.446.744.073.709.551.616$	Gleitkommazahlen hoher Genauigkeit, Verweise in Dateien > 4 GB

Prof. Dr. Thomas Tobisdorf - Medizinische Informatik | CHARITÉ | CAMPUS BENJAMIN FRANKLIN

## Datentypen und Programmiersprachen

57

Informationscodierung mit Bits & Bytes

Bedeutung der Datentypen für Programmiersprachen:

- Angabe des Wertebereichs  
→ Menge möglicher Ausprägungen
- Zulässige Operationen auf den Wertebereichen
- Datentypüberprüfung
- Möglichkeit der Typumwandlung

Prof. Dr. Thomas Tobisdorf - Medizinische Informatik | CHARITÉ | CAMPUS BENJAMIN FRANKLIN

## DNA-Computer / traditioneller Computer

58

Vergleich DNA- / Halbleitercomputer

	DNA Computer	IC-basierter Computer
Datenrepräsentation	4 Zustände	2 Zustände
Datendichte	extrem hoch	gering
Rechengeschwindigkeit	sehr hoch	hoch
Energiebedarf	gering	hoch
Datenverarbeitungsschritte	unautomatisiert	automatisiert
Recheneinsatz	speziell	universell

Prof. Dr. Thomas Tolxdorff - Medizinische Informatik | CHARITÉ | CAMPUS BENJAMIN FRANKLIN

## Zusammenfassung

59

- DNA-Computer: innovativer Denkansatz
- praktisch noch nicht anwendbar
- neue Impulse für die Nanotechnologie
- herkömmliche Computer: digitale Daten, Datenrepräsentation durch diskrete Zustände
- Informationsrepräsentation durch standardisierte Zeichensätze
- darzustellende Information bestimmt Datentyp
- berechnungsuniversell

Prof. Dr. Thomas Tolxdorff - Medizinische Informatik | CHARITÉ | CAMPUS BENJAMIN FRANKLIN