

*Es ist schwer, Voraussagen
zu machen, besonders über
die Zukunft.*

Yogi Berra, Baseballspieler

Computer

Die nächsten 50 Jahre

Dr.-Ing. Ulrich Marder
Technische Universität Kaiserslautern
Fachbereich Informatik
AG Datenbanken und Informationssysteme
marder@acm.org



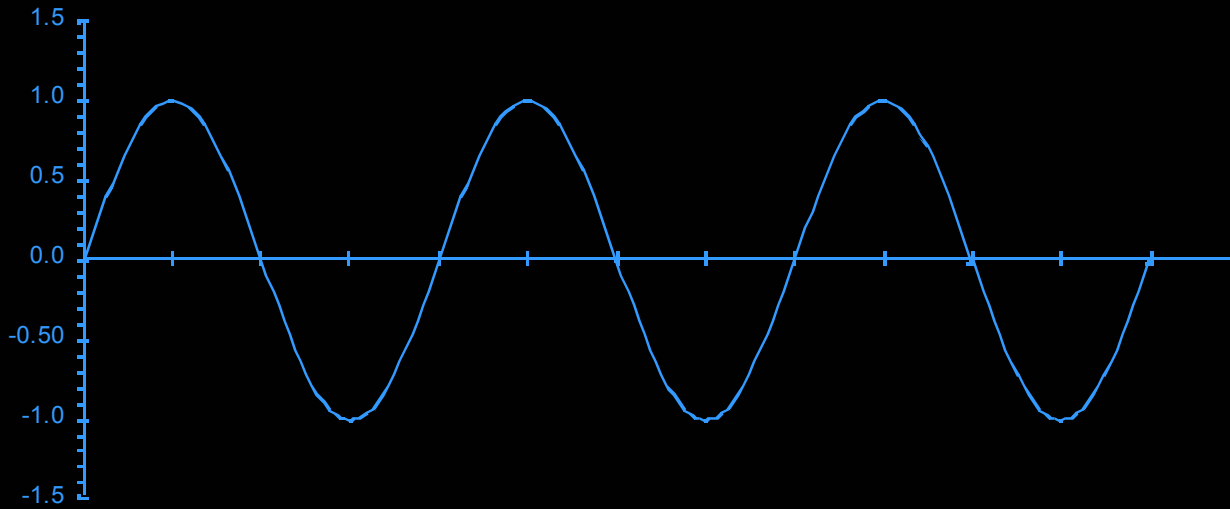
Übersicht

- Heute
 - Was geht in der Welt vor?
 - Warum scheint alles so schnell zu geschehen?
 - Was sind die technologischen Triebkräfte?
- Morgen
 - Was erwartet uns in nächster Zukunft?
 - Wie viele Informationen gibt es auf der Welt?
 - Schlussfolgerungen und Visionen
- Danksagungen
 - Prof. Dr. Dr. h. c. Theo Härder
 - Die Sprecher der ACM-Konferenz „The Next Fifty Years of Computing“ (Communications of the ACM, Vol. 40, No. 2, Feb. 1997)
 - Die Autoren des ACM-Specials „The Next 1.000 Years“ (Communications of the ACM, Vol. 44, No. 3, Mar. 2001)

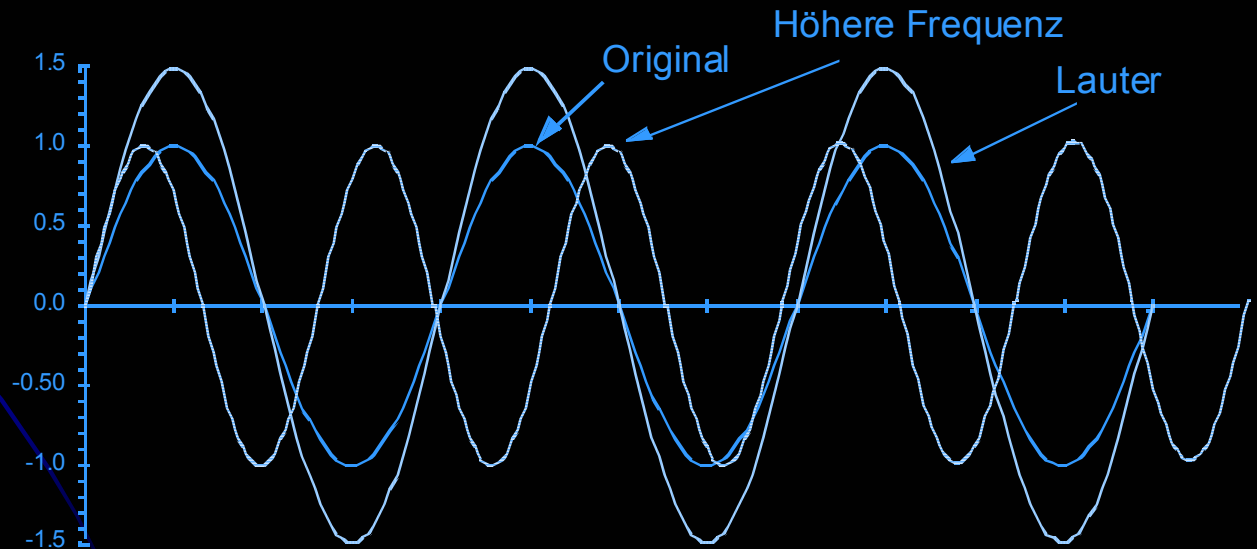
Was geht in der Welt vor?

- Alle „Informationen der Welt“ sind in digitaler Form verfügbar
- Sofort und überall zugreifbar!
- Der „Rechner“ wird schließlich zum Informations-„Werkzeug“
- Überall gegenwärtige Anwendungen zur „Informationsverarbeitung“
 - ↳ keine „Desktop-Rechner“
- Dadurch wird ein Transformations-Effekt ausgelöst

Was heißt denn „digital“?

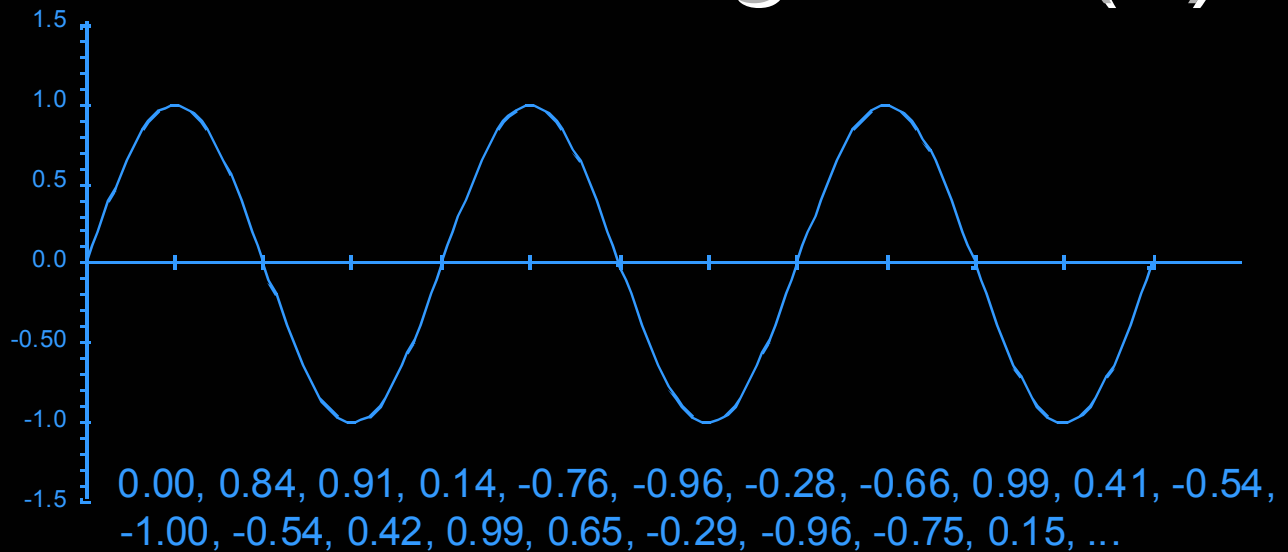


- Amplitude
- Frequenz



Was heißt denn „digital“? (2)

- **Digitale Darstellung**



- **Audio Compact Disc**

- 44,100 Werte pro Sekunde
- Jeder Wert ist eine 16-Bit-Zahl
- 2 Kanäle (L+R)
- => 176,400 Bytes pro Sekunde
- 72 Minuten Kapazität => 762 Megabytes Daten

- **Was sind die Vorteile?**

- Unempfindlichkeit gegen Rauschen bei Speicherung und Übertragung
- Einfachheit von Speicherung/Manipulation/Transformation
- Gleichförmigkeit => es sind alles nur Bits!

Warum scheint alles so schnell zu geschehen?

- **Das Phänomen des exponentiellen Fortschritts**

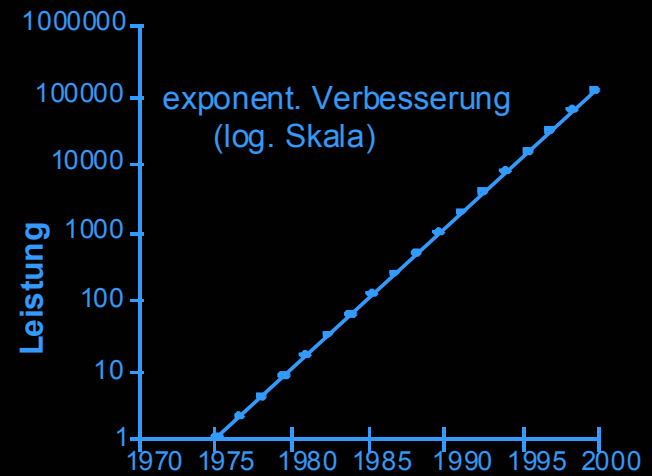
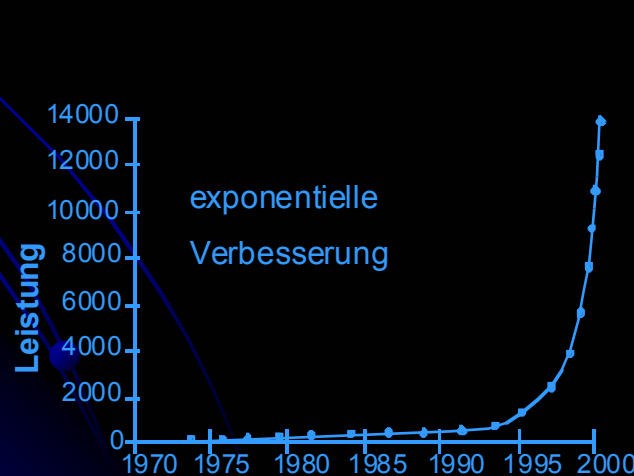
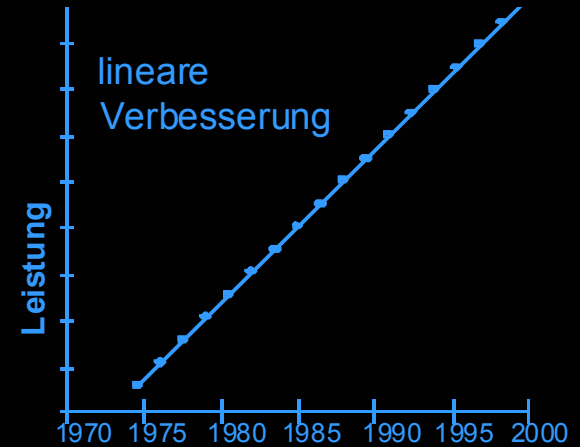
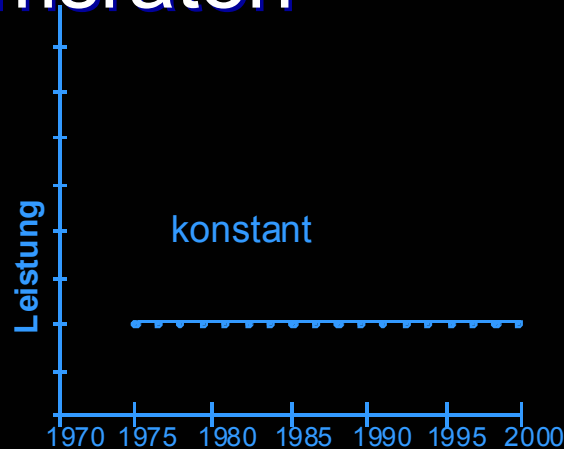
- „Alle ein bis zwei Jahre verdoppelt sich die Prozessorleistung, die man für einen Euro kaufen kann...

Alle ein bis zwei Jahre verdoppelt sich der Speicher, den man für einen Euro kaufen kann“

- Wachstumsrate hält seit einigen Dekaden an
- Es ist wahrscheinlich, dass sie sich noch mindestens eine Dekade fortsetzt

Warum scheint alles so schnell zu geschehen? (2)

- Wachstumsraten



Warum scheint alles so schnell zu geschehen? (3)

- **Wie lässt sich die heutige Wachstumsrate begreifen?**

- Planwagen der ersten Siedler (1600): 30 km/Tag
- Frühe Automobile (1900): 30 km/Stunde
- Überschallflugzeuge (2000): 30 km/Minute

↪ Das ist ein Faktor von >1000 in 400 Jahren

↪ Informationstechnologie heute:
Faktor von 1000 in 10-15 Jahren

Das ist die Entwicklungsgeschwindigkeit, mit der sich die IT bewegt.

„Faster computers let us design faster computers faster.“
Danny Hillis, Gründer von Thinking Machines

Voraussagen

- **„This ‘telephone’ has too many shortcomings to be seriously considered as a means of communication. The device is inherently of no value to us.“**
Western Union internal memo, 1876
- **„Everything that can be invented has been invented“**
Charles H. Duell, Commissioner, U.S. Office of Patents, 1899
- **„Computers in the future may weigh no more than 1.5 tons.“**
Popular Mechanics, forecasting the relentless march of science, 1949
- **„I think there is a world market for maybe five computers.“**
Thomas Watson, chairman of IBM, 1943

Voraussagen (2)

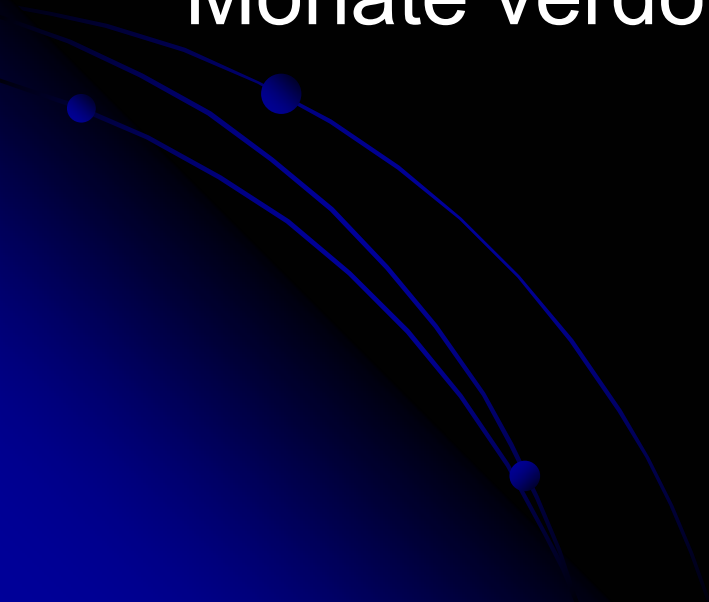
- **„But what ... is it good for?“**
Engineer at the Advanced Computing Systems Division of IBM, 1968, commenting on the microchip
- **„There is no reason anyone would want a computer in their home.“**
Ken Olson, president, chairman, and founder of Digital Equipment Corp., 1977
- **„640K ought to be enough for anybody.“**
Bill Gates, 1981

↪ **Speicher- und Prozessor-„Roadmaps“ sind eher Geschäftspläne für die technologische Weiterentwicklung als „Voraussagen“**

Was sind die technologischen Triebkräfte?

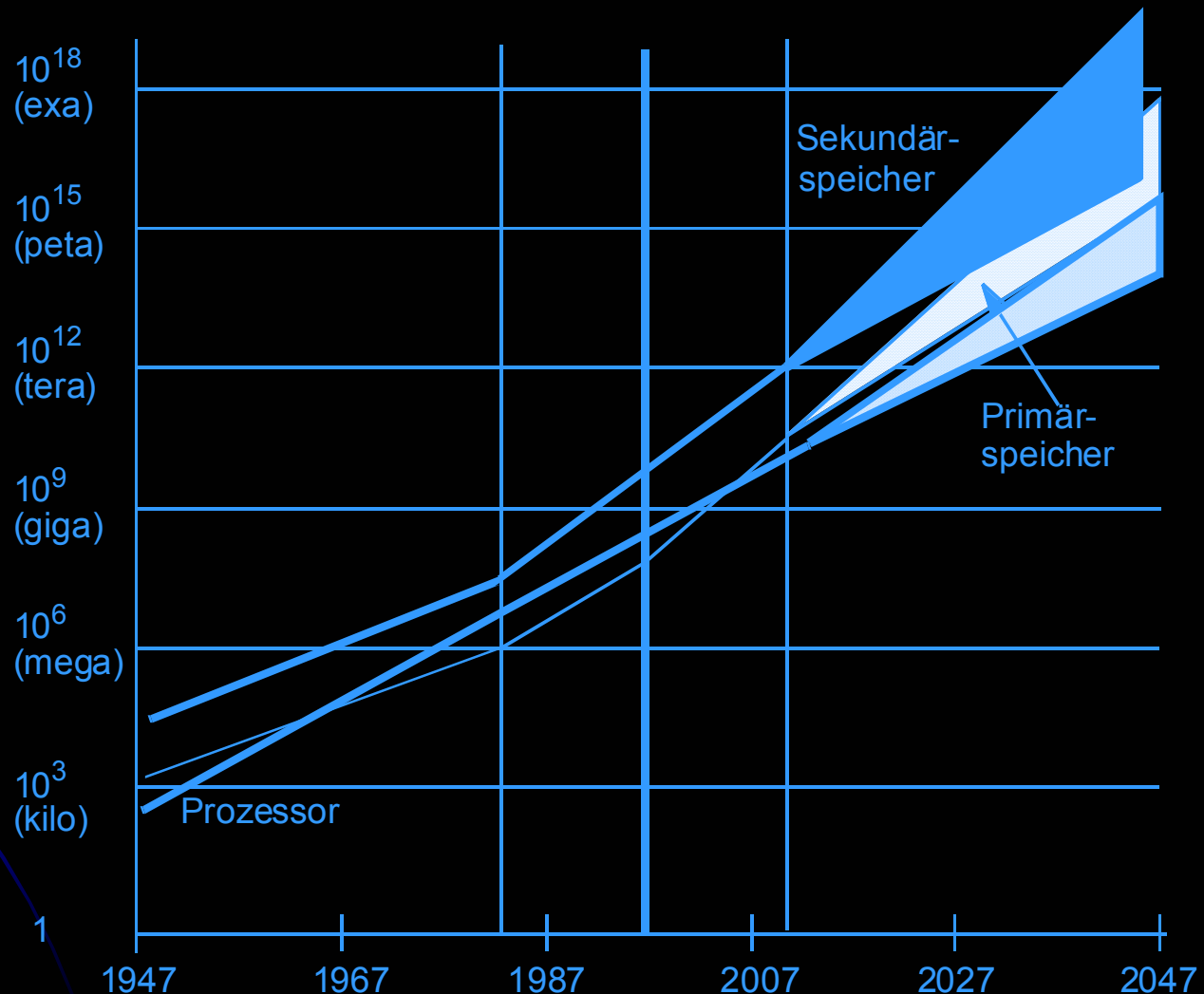
- Moores Gesetz

Gordon Moore (Mitgründer von Intel) sagte 1965 voraus, dass die Transistordichte von Halbleiter-Chips sich grob alle 18 Monate verdoppeln würde



Was sind die technologischen Triebkräfte? (2)

Evolution der Verarbeitungsgeschwindigkeit von Rechnern in Instruktionen pro Sekunde und Primär-/Sekundär-speichergröße in Bytes von 1947 bis zur Gegenwart, mit einer „überraschungsfreien“ Projektion bis 2047. Jede Teilung repräsentiert 3 Größenordnungen und passiert grob in 15-Jahres-Schritten.



Was sind die technologischen Triebkräfte? (3)

- Aber ...
 - Es ist kein Gesetz!
Es ist eine Voraussage, was
Elektroingenieure und Verfahrenstechniker
erreichen können.
 - Was wird man mit all den Transistoren
anfangen?
 - Wie entwirft man derart komplexe
Mikrochips?

Was erwartet uns in nächster Zukunft?

- **Voraussage beim Mikroprozessor: Wachstum bis 2020**

- **Technologie:**

- heute: 0.1 - 0.2 micron
- 2020: 0.04 micron

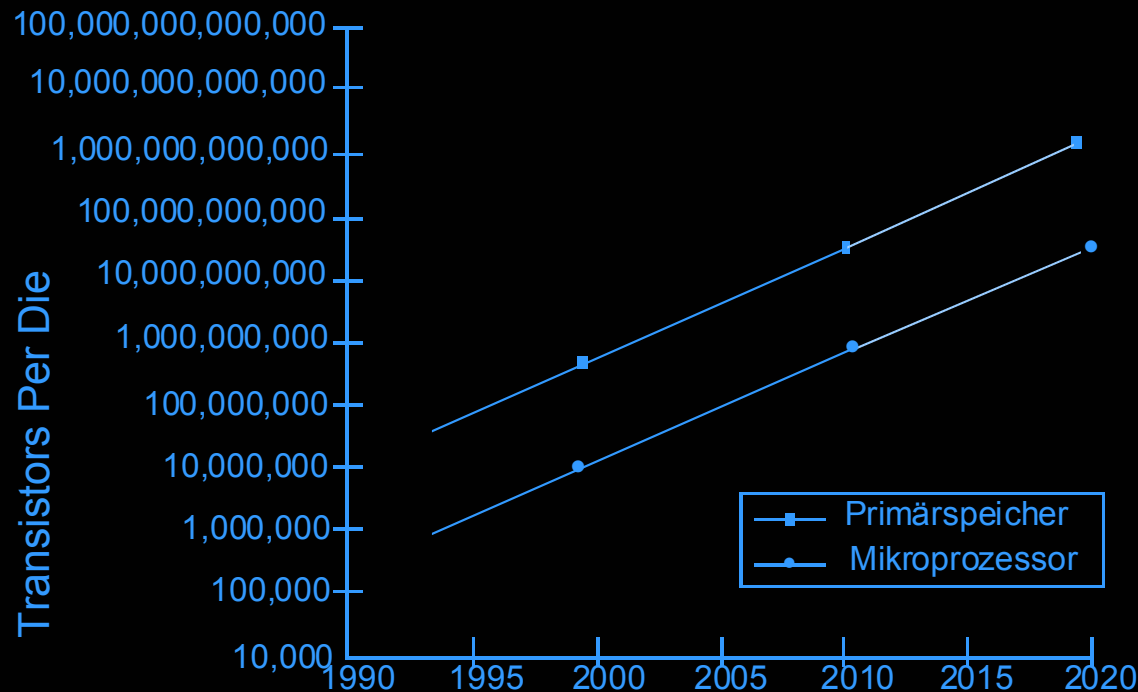
- **„Lineare“ Extrapolation**

- **Prozessor**

- 2000: 48 M, 0.20-0.25 micron
- 2010: 1 B, 0.08 micron, 36 mm²
- 2020: 20 B, 0.04 micron, 60 mm²

- **Primärspeicher**

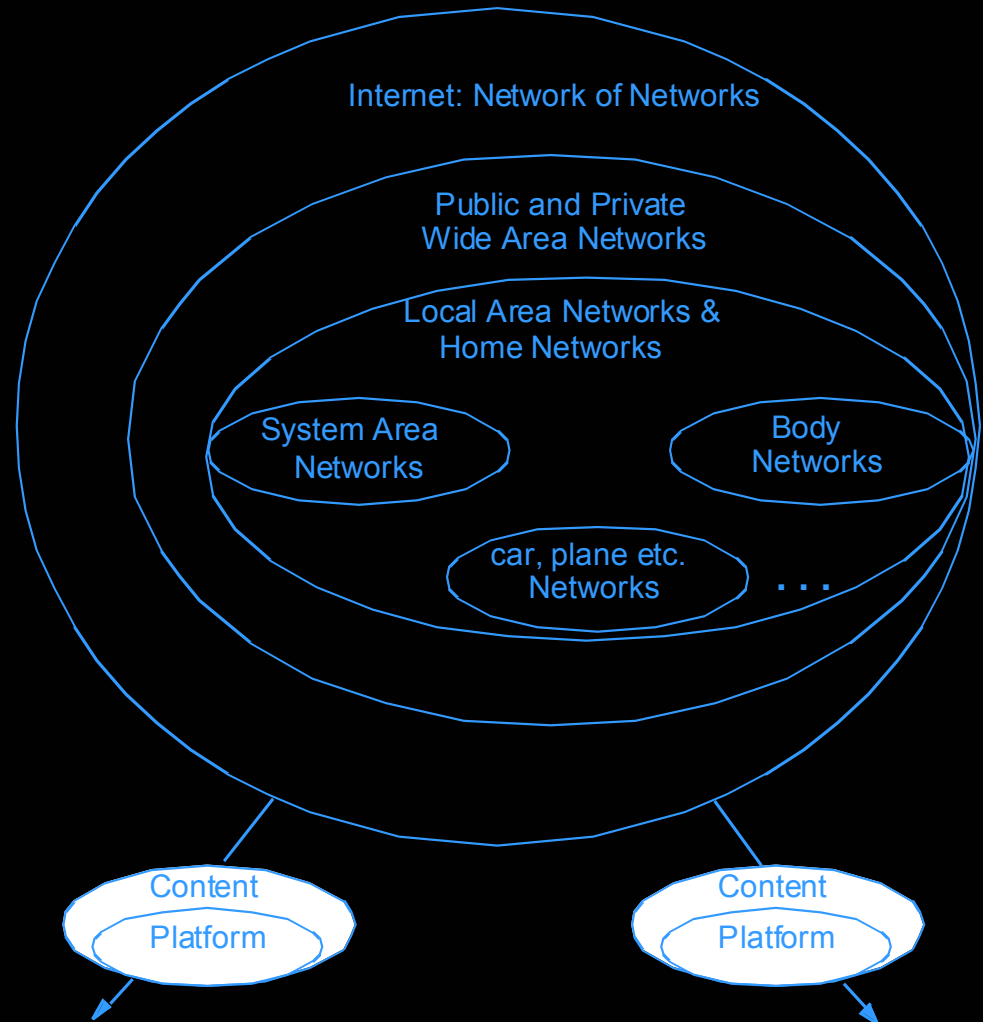
- 2001: 0.25 Gbit (32 Mbyte)
- 2010: 64 Gbit (8 GByte)
- <2020: 1 Tbit (128 Gbyte)



Was erwartet uns in nächster Zukunft? (2)

- Allgegenwärtige Rechner in einer Hierarchie von Netzwerken

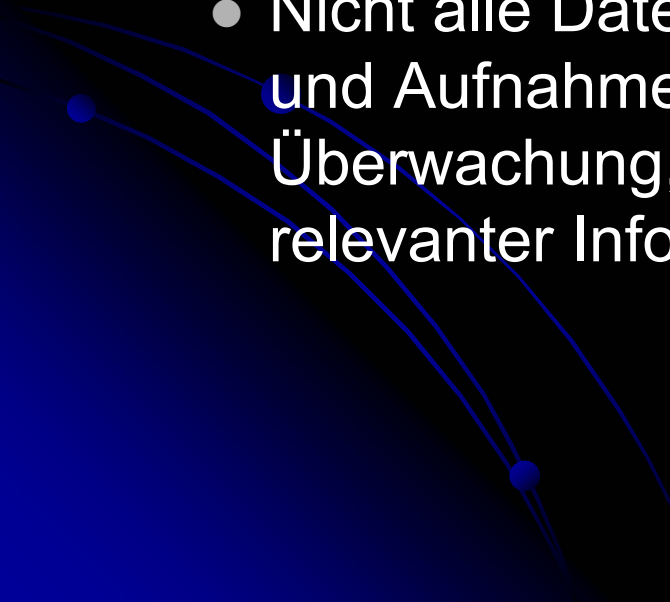
Der Cyberspace besteht aus einer Hierarchie von Netzwerken, die Rechnerplattformen verbindet. Diese verarbeiten, speichern und machen Schnittstellen verfügbar zur Cyberspace-Benutzerumgebung in der physischen Welt



Digitale Schnittstellen zu Menschen und dem Rest der physischen Welt

Wie viele Informationen gibt es auf der Welt?

● Was ist überhaupt Information?

- z. T. schwierige Abgrenzung, individuelle Bewertung
 - Was wird aufgezeichnet, was lohnt sich aufzuheben?
 - Redundante Information (Exemplare eines Buchs, Kopien eines Films) wird hier ausgeschlossen
 - Nicht alle Daten, die weltweit durch Sensoren, Mess- und Aufnahmegeräten usw. (Experimente, Überwachung, ...) erzeugt werden, führen zu relevanter Information (in unserem Sinne)
- 

Wie viele Informationen gibt es auf der Welt?

- **Annahme**

- Um alle relevanten Informationen aufzuheben, genügt die Speicherung von wenigen Tausend PBytes
 - 1 Gigabyte (GByte) = 1,000 Megabytes = 10^9 Bytes
 - 1 Terabyte (TByte) = 1,000 Gigabytes
 - 1 Petabyte (PByte) = 1,000 Terabytes
 - 1 Exabyte (EByte) = 1,000 Petabytes
- Die Produktion von Magnetplatten und -bändern erreichte diese Speicherkapazität um das Jahr 2000

- **Behauptung:**

In wenigen Jahren

- sind wir in der Lage, „alles“ aufzuheben, d. h., keine Information muss weggeworfen werden
- werden die „typischen“ Informationen nur noch von Rechnern aufbewahrt, gesucht und aufbereitet; der Mensch sieht weder die Daten, noch kennt er den Aufbewahrungsort und die genauen Ableitungsverfahren.

Andere Informationsarten

- **Library of Congress (LC) hat neben gedrucktem Text weitere Informationsquellen, die weit mehr Speicherplatz benötigen:**
 - 13 Mio. Photos ergeben, selbst komprimiert auf 1 MBytes JPEG, noch 13 TBytes
 - 4 Mio. Landkarten lassen sich auf ~ 200 TBytes einscannen
 - 0.5 Mio. Filme mit jeweils 1 GByte (komprimiert, meist nicht in Farbe und voller Länge) benötigen 500 TBytes
 - 3.5 Mio. Tonaufzeichnungen, jeweils auf einer Audio-CD, erreichen fast 2,000 TBytes.
- **Gesamter Umfang der LC-Informationen: ~ 3 PBytes**

Andere Informationsarten (2)

● Erinnerung

- Vor Gutenberg (~ 1450) gab es in ganz Europa nur ~ 30,000 Bücher, fast ausschließlich Bibeln und Bibelkommentare
 - James Burke: „In dieser Welt war jegliche Erfahrung persönlich: Die Horizonte waren eng, die Gemeinschaft nach innen gekehrt. Die Außenwelt kannte man nur vom Hörensagen.“
- Um das Jahr 1500 gab es über 9 Mio. Bücher über alle möglichen Themen. Flugschriften und sonstige Druckwerke beeinflussten Politik, Religion, Wissenschaft und Literatur

⇩
Der *Information Highway* wird unsere Kultur ebenso dramatisch verändern wie Gutenbergs Druckerpresse die Welt des Mittelalters

Menschliches Gedächtnis

- **Wie viel Information kann das menschliche Gehirn aufnehmen?**
 - 200 MBytes an Information
 - T. K. Landauer: „How much do people remember? Some estimates of the quantity of learned information in long-term memory“, Cognitive Science 10 (4) pp. 477-493 (Oct-Dec 1986).
 - Studie zur Aufnahme- und Vergessensrate sowie zur Nutzung bei normalen Tätigkeiten
 - Bei 10^{12} - 10^{14} Neuronen kann man davon ausgehen, dass das Gehirn 10^3 - 10^5 Neuronen für jedes Bit des Gedächtnisses enthält
 - Der größere Teil des Gehirns wird für die Wahrnehmung, Bewegungskontrolle usw. genutzt
 - ↪ Even if only 1 % of the brain is devoted to memory, it looks like your head accepts considerable storage inefficiency in order to be able to make effective use of the information (Landauer).

Menschliches Gedächtnis (2)

- **Mit der Landauer'schen „Schätzung“ und den ~ 6 Mrd. Menschen auf Erden erhält man als gesamtes Speichervermögen aller menschlichen Gedächtnisse 1,200 PBytes.**
 - ↳ Rechner können heute alles digital speichern, was alle Menschen wissen oder an was sie sich erinnern können
- **Diese Schätzungen sind ungenau. Jedoch wäre es auch bei einem anderen „Aufnahmmodell“ kein Problem, die Informationsmenge eines Menschen auf eine Notebook-Platte zu speichern.**
 - Menschliche Aufnahme­rate beim Langzeitgedächtnis: 1 Byte/sec nach Landauer
 - Gesamtmenge in einem menschlichen Leben: 2 GBytes (2 Mrd. Sek.)

Menschliches Gedächtnis (3)

- Selbst wenn der Mensch sein Leben lang kein Wort vergessen würde, ist die Speicherung der Informationsmenge heute schon machbar (auf einer Platte)
- Bilanz (durchschnittl. Zahlen für US-Bürger/Jahr)

	Stunden	Wort/Minute	Wörter/Jahr	MBytes
TV	1578	120	11 Mio	50
Film	12	120	-	-
Lesen	354	300	6.4 Mio	32

↪ ~ 6 GBytes von ASCII-Daten (Text) in 75 Jahren

Die automatische Erfassung dieser Informationen (Spracherkennung, und OCR oder elektronische Bücher/Zeitungen) ist in naher Zukunft mit tragbaren Geräten möglich. Was bedeutet das beispielsweise für Schüler/Studenten?

Wie weit gehen diese Möglichkeiten? (Hörsaal mit Notebooks)

↪ Das gilt nicht für Ton, Bild und Bewegtbild

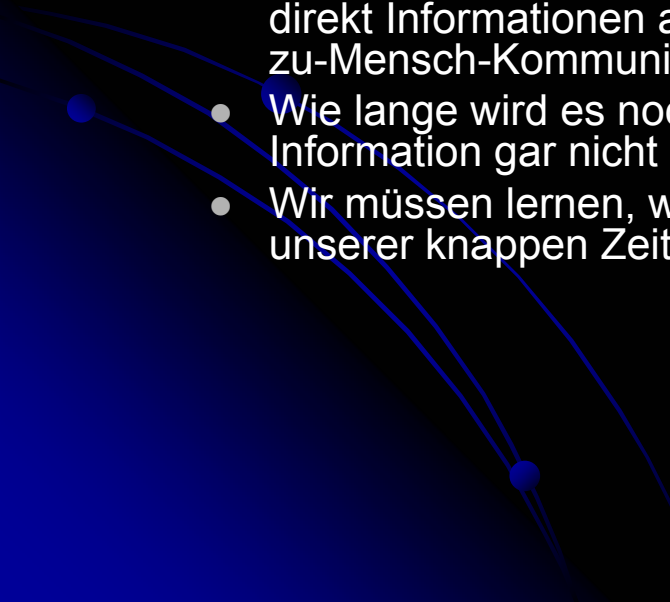
Menschliches Gedächtnis (4)

- Aber in 20 Jahren?
- Speicherbedarf für eine Person
(nach Jim Gray)

Datentyp	Datenrate (Bytes/ Sek.)	benötigter Speicher pro Stunde und Tag	benötigter Speicher für eine Lebenszeit
gelesener Text	50	200 KB; 2-10 MB	60-300 GBytes
gesproch. Text @120 wpm	12	43 KB; 0,5 MB	15 GBytes
Sprache (komprimiert)	1.000	3,6 MB; 40 MB	1,2 TBytes
Bewegtbild (komprimiert)	500.000	2 GB; 20 GB	1 PByte

↪ Aufzeichnung der gesamten Lebensgeschichte
wird möglich!

Schlussfolgerungen

- **Es wird genug Platten- und Bandspeicher geben, um alles zu speichern, was alle Menschen schreiben, sagen, tun oder fotografieren.**
 - Für das Schreiben gilt dies bereits heute
 - In einigen Jahren trifft das auch für die restlichen Informationen zu
 - Wie lange wird es noch dauern, alle VITA-Dokumente eines Menschen als Lebensgeschichte aufgezeichnet werden können?
 - **Rechner speichern und verwalten Informationen besser und effektiver als Menschen**
 - Nach dem Jahr 2000 werden viele Platten und Kommunikationsverbindungen direkt Informationen aus Rechner-zu-Rechner- und nicht mehr (nur) aus Mensch-zu-Mensch-Kommunikation speichern
 - Wie lange wird es noch dauern, bis der Mensch die meiste gespeicherte Information gar nicht mehr zu sehen bekommt?
 - Wir müssen lernen, wie alles automatisch ausgewertet werden kann und was bei unserer knappen Zeit unserer besonderen Aufmerksamkeit bedarf.
- 

Schlussfolgerungen (2)

● **Künftige Entwicklung**

- Heute konzentriert man sich bei den „Digitalen Bibliotheken“ auf die Eingabe: auf das Scanning, Komprimieren und OCR von Informationen.
- Morgen wird anstelle der Eingabe die „relevante Auswahl“ die wesentliche Rolle spielen: Selektion, Suche und Qualitätsbewertung von Informationen
- Wir können eine reale „World Encyclopedia“ mit einem echten „planetary memory for all mankind“ aufbauen, wie H. G. Wells bereits 1938 in seinem Buch „World Brain“ geschrieben hat!

Visionen

- Alles wird digital
 - „Wir könnten die letzte Generation sein, die den Unterschied zwischen realen und virtuellen Dingen noch kennt bzw. erkennt.“
 - Digitale Avatare (Bell, Gray: CyberAll; MS Research)
 - Digitales Äquivalent zu Grabmälern, Krypten und Bibliotheken
 - Zugriff auf den gesamten Erfahrungsschatz eines Menschen (z. B. Einstein)
 - Beantwortet Fragen „wie das Original“
 - Lernender Avatar: gewinnt neue Erfahrung, bleibt immer „up-to-date“
 - ↳ „Digitale Unsterblichkeit“

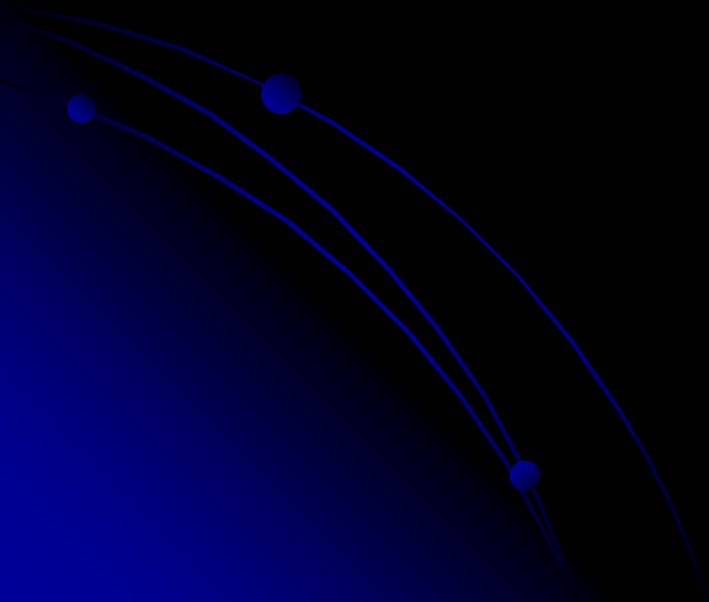
Visionen (2)

- Neue Lebensformen?
 - Virtuelle Menschen
 - Autonome Bewohner des Cyberspace
 - Nehmen sich selbst und andere als Menschen wahr (visuell etc.)
 - Cyborgs
 - Bioelektronische Implantate
 - Verstärken mentale, sensorische, physische und kommunikative Fähigkeiten
 - Roboter
 - „Bis 2040 werden Roboter so smart sein wie Menschen“ (H. Moravec)

... und Gefahren?

- Selbst-replizierende Nanobots
 - (nicht-biologischer) Krebs der Zukunft? (Bill Joy)
 - Lässt sich Technologie stoppen?
 - ↳ Ethische Richtlinien (Ray Kurzweil)
- „Digital Divide“
 - Zugang
 - Beherrschung
 - Rolle der Bildungseinrichtungen?

Outtakes



Warum scheint alles so schnell zu geschehen? (4)

- **Wie lässt sich die Auswirkung des Fortschritts begreifen?**

Wenn, über die letzten 30 Jahre gerechnet, die Transporttechnologie sich mit der gleichen Rate verbessert hätte wie die IT bezüglich Größe, Kosten, Leistung und Energieeffizienz, dann würden ein Automobil

- die Größe eines Toasters besitzen
- 50 Pfennig kosten
- annähernd 200.000 km pro Stunde schaffen
- 500.000 km mit einem Liter Benzin fahren

- **Unterschied**

- Für die Informationstechnologie sind die **Maxwell'schen Gleichungen** maßgeblich
- Die meisten Abläufe in der physischen Welt werden durch die **Newton'schen Gesetze** bestimmt

Wie steht es mit der Software?

- Es gab und gibt **bahnbrechende Innovationen**
- In manchen Bereichen war die Leistungssteigerung durch Software **tatsächlich höher** als durch Hardware
- Es ist die Aufgabe der Software, die ganzen Hardware-Verbesserungen auszunutzen!
- **Aber wir sind nachlässig**
(wir verschwenden viele dieser Ressourcen)
- **Und unsere Erwartungen übersteigen stets unsere Ingenieurskunst**

Wie steht es mit der Software? (2)

- **Nathans Gesetze (Beobachtungen) zur SW**
 1. SW ist ein Gas!
 - Sie füllt jeden Container, der ihr zur Verfügung gestellt wird.
 - WindowsNT-Verdopplungszeit: 864 Tage
 - Verdopplungszeit bei Browser-Code: 216 Tage
 2. SW wächst solange, bis ihr Moores Gesetz Einhalt gebietet!
 3. SW-Wachstum macht Moores Gesetz möglich!
 - Weil wir die Chips kaufen ...
 4. SW ist nur begrenzt durch unseren Ehrgeiz und unsere Erwartungen!
 - Es ist unmöglich, genug davon zu haben ...

Wie steht es mit der Software? (3)

- **SW ist immer in der Krise**

- Schon von Neumann hatte Probleme
- Versprechungen von Software Engineering??

- **SW ist Krise**

- SW-Produktivität steigt stark an, aber Krise setzt sich fort bis 2047!
- Sie erreicht immer die Grenzen des Machbaren
 - ↳ zu schnelle, zu ehrgeizige Produktentwicklungen
- Exponentielle Welle der „Computer-Programmierung“ zu erwarten
 - ↳ aber: fundamentale Begrenzung von SW: Komplexität

Andere Informationsarten (3)

● Vergleich Web – LC

- LC enthält vorwiegend publiziertes Material
- Im Web stehen bereits mehr englischsprachige Texte, die in den letzten 18 Monaten geschrieben wurden, als in der LC
- Viele URLs enthalten Informationen, die man auch in einer großen Bibliothek finden kann (~ 28 %)
- Inhalt dieser Dokumente (Lexis-Nexis und Dialog) ist jedoch besser aufbereitet (Hypertext) und einfach zu durchsuchen