

— Informatik I, Teil 2 (interleaved) — Technische Grundlagen der Informatik: Rechnerstrukturen und -organisation

Prof. Dr. Burkhard Stiller

Communication Systems Group CSG

Department of Informatics IFI, University of Zürich UZH

Binzmühlestrasse 14, CH-8050 Zürich, Switzerland

Phone: +41 44 635 6710, FAX: +41 44 635 6809

E-Mail: stiller@ifi.uzh.ch



**Universität
Zürich^{UZH}**

Assistants:

Daniel Dönni, Dr. Corinna Schmitt

Phone: +41 44 635 [4375|7585|], FAX: +41 44 635 6809

E-Mail: [[doenni](mailto:doenni@ifi.uzh.ch)!|[schmitt](mailto:schmitt@ifi.uzh.ch)]@ifi.uzh.ch



Organisatorisches

Literatur zur Vorlesung

- Folienkopien zur Vorlesung:
 - Auf dem Netz (nur von universitätsinterner Adresse aus abrufbar)
- Literaturempfehlungen:
 - **H. Herold, B. Lurz, J. Wohlrab: Grundlagen der Informatik, Pearson Studium, München, 2012, 2. Auflage, ISBN-13 978-3-86894-111-1**
 - **URLs: Karnaugh-Veitch-Diagramme**
<http://ti.itec.uka.de/KVD/> (Universität Karlsruhe)
 - **A. S. Tanenbaum: Moderne Betriebssysteme (Kap. 1 – 4)**
2. Auflage, Pearson Studium, München, 2005, ISBN 3-8273-7019-1
- Vielen Dank:
 - Prof. Dr. Jochen Schiller, FU Berlin und weiteren Kollegen für das Überlassen des Folienmaterials und der Möglichkeit dieses für Info I der UZH anzupassen!
 - Pearson Studium und den Buchautoren für die Überlassung von Folienmaterial für verschiedene Vorlesungskapitel.

Rechnerstrukturen und -organisation (1)

- ❑ Einleitung und Entwicklung (M1)
- ❑ Rechnerarithmetik 1 (M2)
 - Zahlensysteme
 - Zahlendarstellung
 - Grundrechenarten
 - Zeichendarstellung
- ❑ Schaltnetze (M3)
 - Formale Grundlagen logischer Beschreibungen
 - Normal- und Minimalformen
 - Realisierung von Schaltnetzen auf Schalter und Gatterebene
 - Entwurf von Schaltnetzen und Laufzeiteffekte bei Schaltnetzen
- ❑ Schaltwerke (M4)
 - Formale Grundlagen (Endliche Automaten)
 - Asynchrone Schaltwerke und Flipflops
 - Synchrone Schaltwerke
 - Spezielle Schaltwerke
 - Arithmetisch Logische Einheit (ALU)

Rechnerstrukturen und -organisation (2)

- Rechnerarchitekturen und –organisation (M5)
 - Klassische von-Neumann-Architektur
 - Aufbau und Funktionsweise
 - Befehlsformate, Datentypen, Adressierungsarten
 - Nichtlineare Programmausführung
 - Speicher/Caches
 - Organisation: Komponenten, Busse, Anschlüsse
 - Peripherie
 - Technologieentwicklung

- Betriebs- und Kommunikationssysteme (M6)
 - Definitionen und Aufgaben
 - Auftrags- und Speicherverwaltung
 - Einlagerung, Zuweisung und Ersetzung
 - Kommunikation über geographische Grenzen

Sprechstunde und Aktuelles

□ Sprechstunde:

- Prof. Dr. Burkhard Stiller: mittwochs 10.15-11.15 Uhr
 - [Nur nach Voranmeldung](#) bei Frau Miriam Plichta (plichta@ifi.uzh.ch)
- Daniel Dönni per E-Mail: doenni@ifi.uzh.ch
- Corinna Schmitt per E-Mail: schmitt@ifi.uzh.ch
- Tutoren: in den Tutorien und nach Vereinbarung

□ Aktuelles ist zu finden unter:

- <http://www.ifi.uzh.ch/seal/teaching/courses/info1.html>

— Informatik I —

Modul 1: Einleitung und Entwicklung



**Universität
Zürich^{UZH}**



Stand der Dinge

- Viele neue computerbasierte Geräte sollen den Alltag erleichtern:
 - Handheld/wearable computer
- Rechner werden „unsichtbar“ und nehmen in der Zahl massiv zu:
 - Intelligente Kleidung, allgegenwärtige Systeme, integrierte Steuerungen
- Alles kommuniziert mit Allem:
 - Funknetze, Handys, Bluetooth, UMTS, Glasfaser, WWW/WAP
- Integrierte Schaltungen, Chips sind Mitgestalter des zukünftigen wirtschaftlichen Geschehens:
 - Boom/Flaute der Hardware-Industrie beeinflusst Politik und Gesellschaft



Beispiel: Informationstechnik im Auto

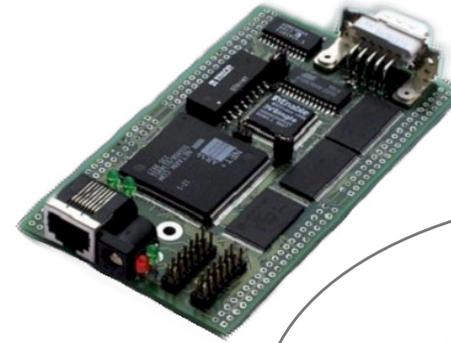
- ❑ Notfalldienste
- ❑ Diebstahlschutz
- ❑ Kommunikation (e-mail, WWW, SMS, GSM, ...)
- ❑ Informationsdienste
- ❑ Ferndiagnose, Fernwartung
- ❑ Navigation, Routenplanung
- ❑ Motorsteuerung, ABS, ESP, ...



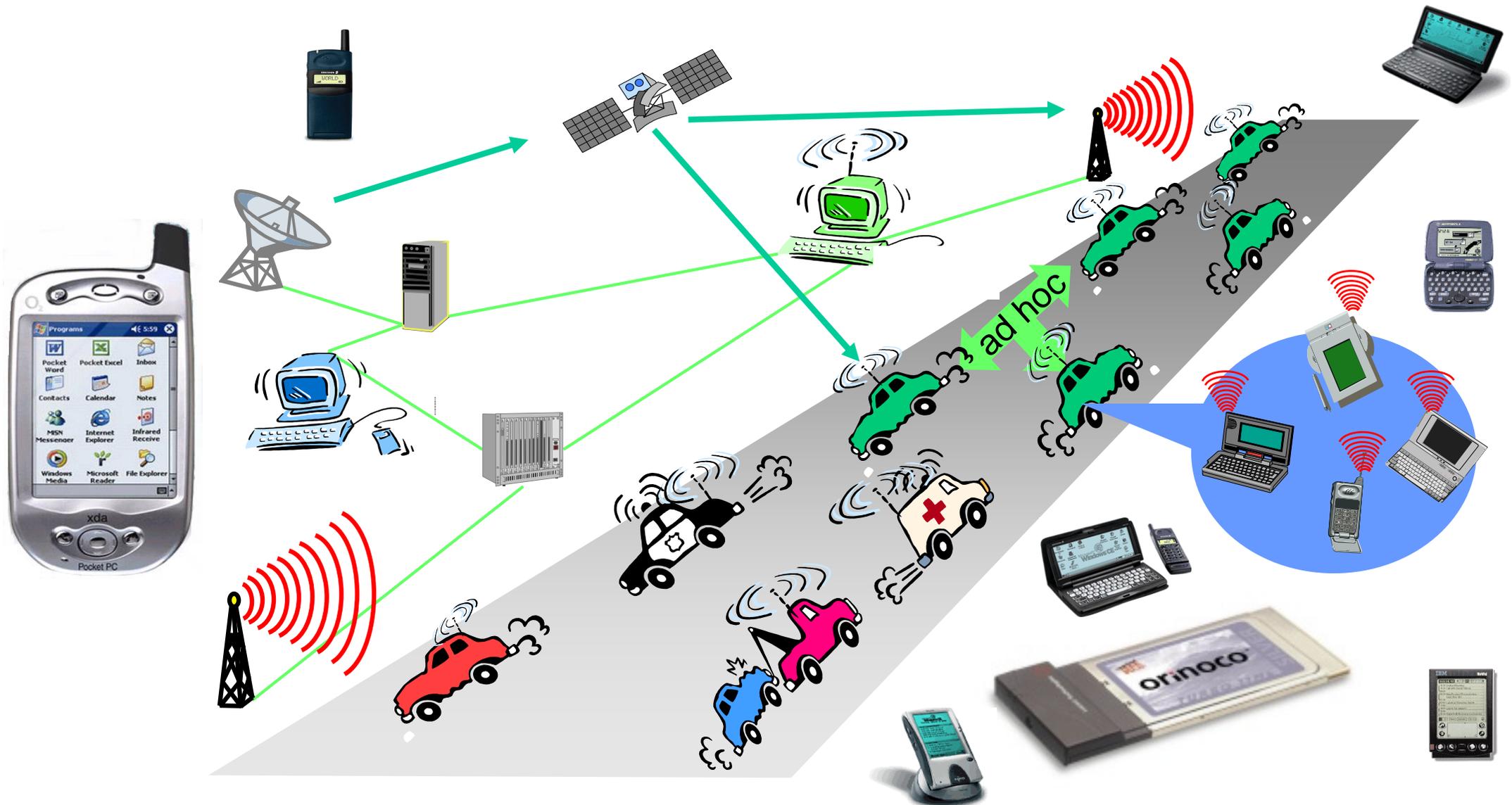
...oder in der Nähmaschine!



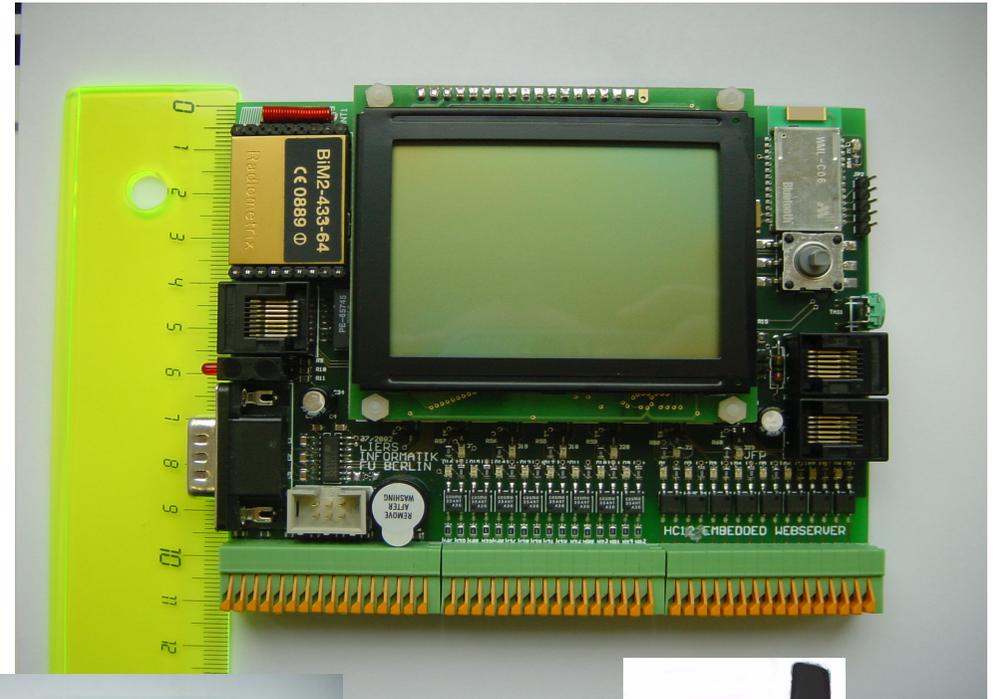
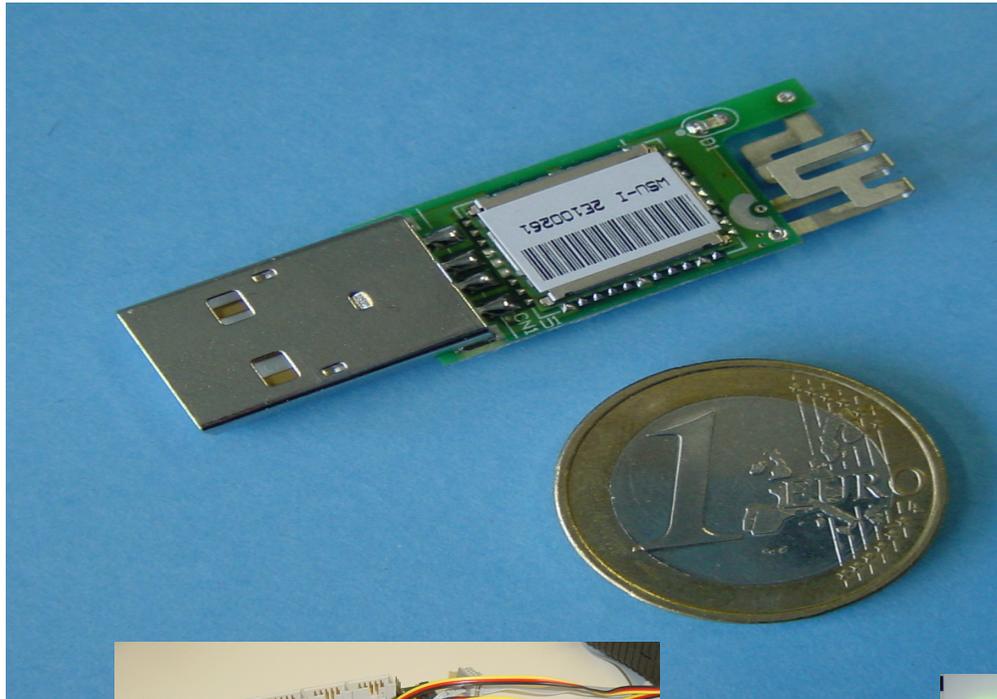
Beispiel: Kommunikationstechnik in Verkehrsmitteln



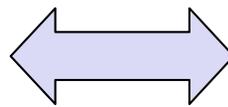
Beispiel: Mobilität und Kommunikation



Beispiele: Bluetooth-Modul, Web-Server, ...



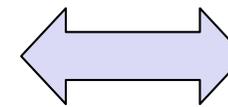
Industriesteuerung



RF,
leitungsgebunden



Eingebetteter
Web Server

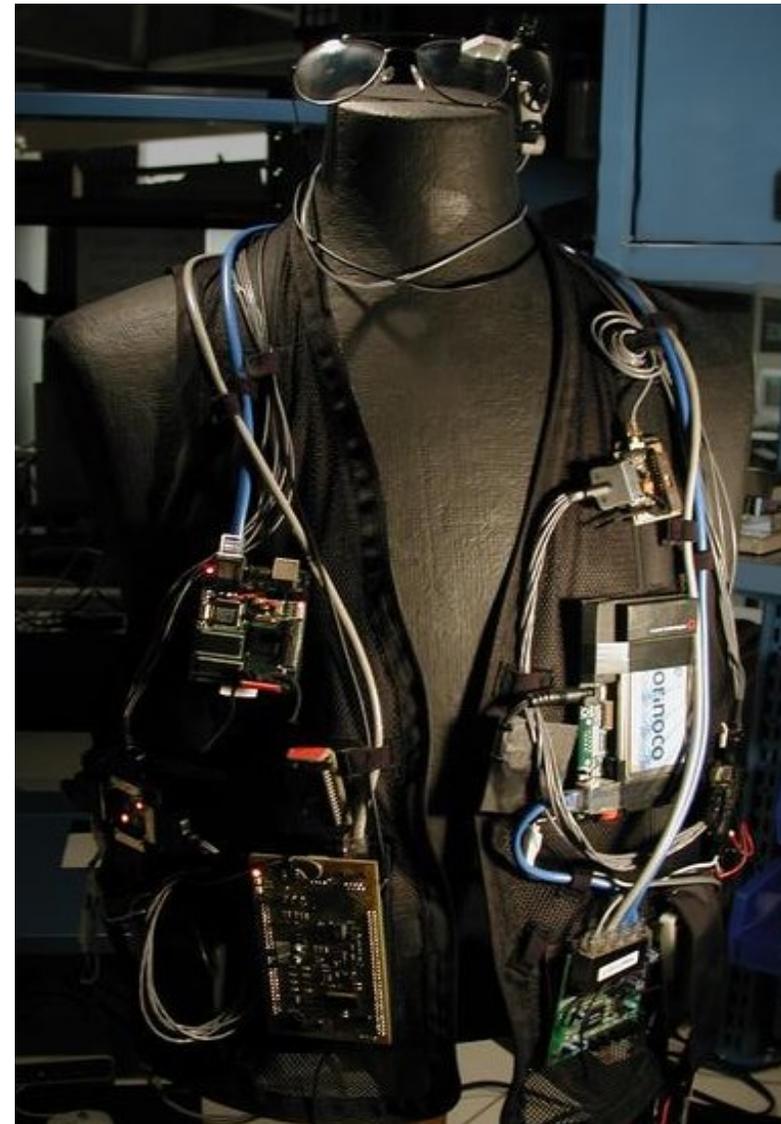
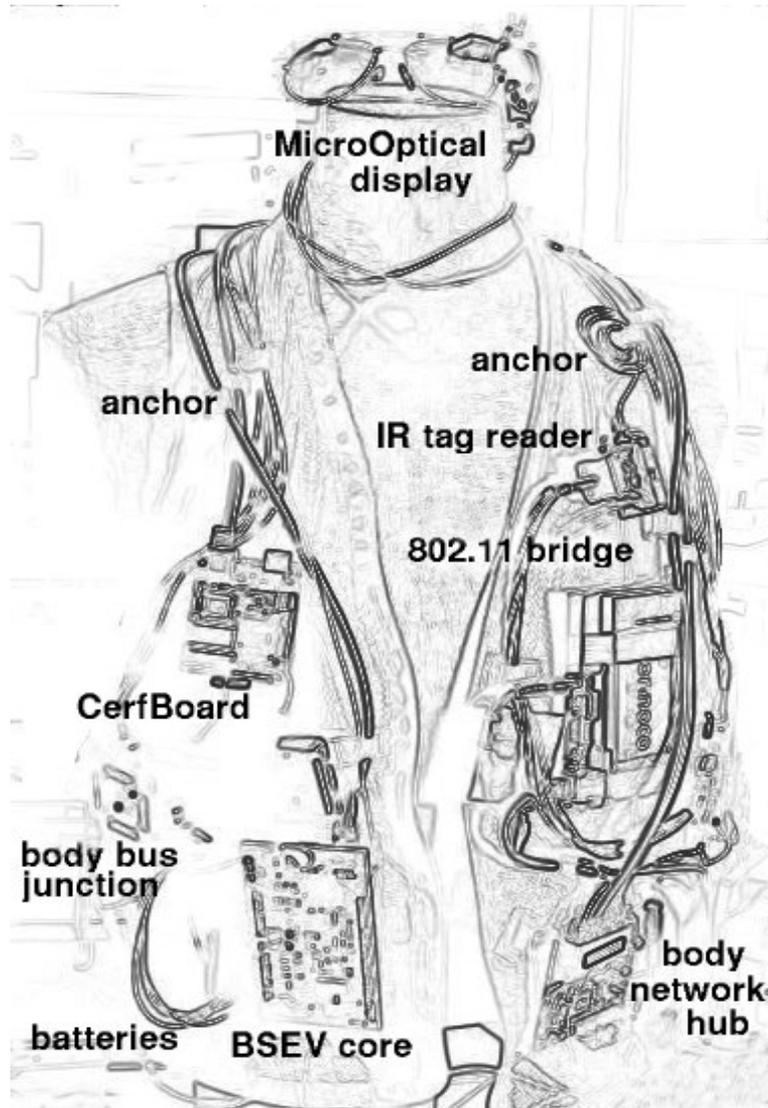


GPRS,
WLAN,
...



Client

Beispiel: Wearable Computers, z.B. MIThril



Der Begriff Informatik

- "Informatik" ist eine Wortneubildung bzw. eine Begriffsverschmelzung aus den beiden Wörtern "Information" und "Automatik".
 - Eingeführt Ende der 1950er Jahre von Karl Steinbuch.
- Informatik umfaßt allgemein die automatisierte Informationsverarbeitung in Natur, Technik und Gesellschaft.
- Anfangs waren hauptsächlich Rechenmaschinen zur Zahlenverarbeitung gefragt, heutige Maschinen verarbeiten beliebige Informationen (Texte, Bilder, Musik, Daten, Meßreihen, Sensordaten, Steuerdaten, ...).

Entwicklung der Informatik

- ❑ Der Abakus ist ein Rechenbrett mit Kugeln, meist Holz- oder Glasperlen.
- ❑ Nutzung bereits vor mehr als 3000 Jahren in China.
- ❑ Durchführbar sind Addition, Subtraktion, Multiplikation und Division, aber auch das Ziehen von Quadrat- und Kubikwurzeln.



Der Begriff Algorithmus

- Der Begriff Algorithmus geht auf den persischen Mathematiker und Astronom Ibn Musa Al-Chwarismi im 9. Jahrhundert zurück.
 - Ist eine Verarbeitungsvorschrift, die von einer Maschine oder auch von einem Menschen durchgeführt werden kann.
- Aus der Präzision der sprachlichen Darstellung des Algorithmus muß die Abfolge der einzelnen Verarbeitungsschritte eindeutig hervorgehen.

- Beispiel für einen Algorithmus ist der von Euklid ca. 300 v. Chr. gefundene

Euklid'sche
Algorithmus

- Bestimmung des größten gemeinsamen Teilers (ggT) zweier natürlicher Zahlen a und b :

Eingabe: zwei ganze positive Zahlen a und b

Ausgabe: ggT von a und b

Algorithmus: Wiederhole folgende Schritte

$r :=$ Rest der ganzzahligen Division von $a : b$

$a := b$

$b := r$

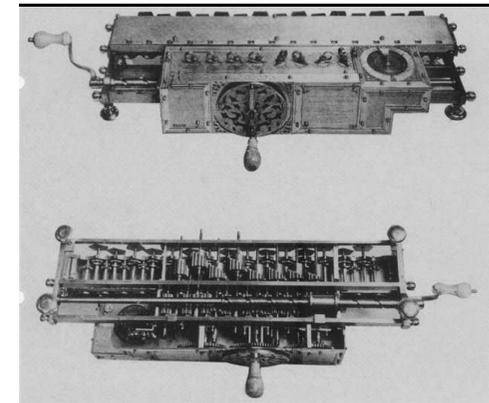
bis $r = 0$ ist

Gib a aus, da sich nun in a der ggT befindet

Stationen von 1500 bis 1930 (1)

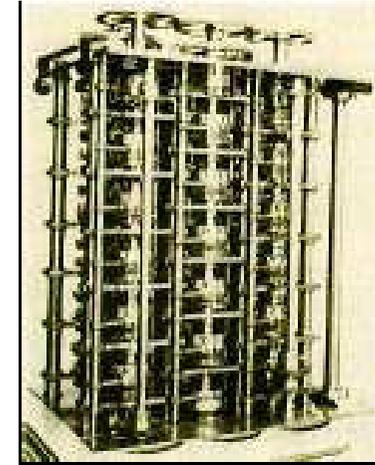
□ Wichtige Meilensteine der Informatik:

- A. Riese (1492-1559; Staffelstein) –
Rechengesetze zum Dezimalsystem
- W. Schickard (1592-1635; Tübingen) –
Erste Rechenmaschine
- B. Pascal (1623-1662; Clermont) –
Rechenmaschine mit 6 Stellen
- G. Leibniz (1646-1716; Leipzig) –
Maschine für vier Grundrechenarten
- P. Hahn (1739-1790; Kornwestheim) –
1. mechanische Rechenmaschine

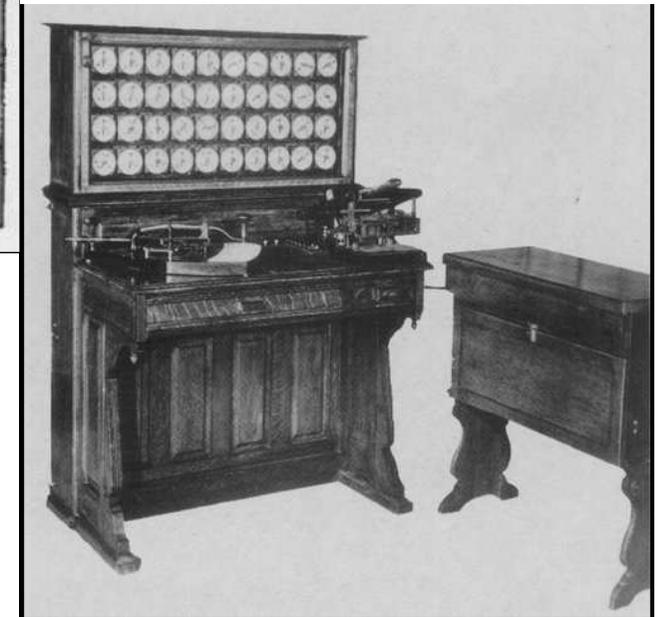
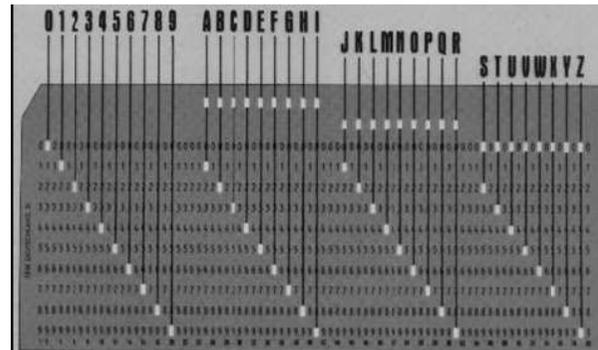
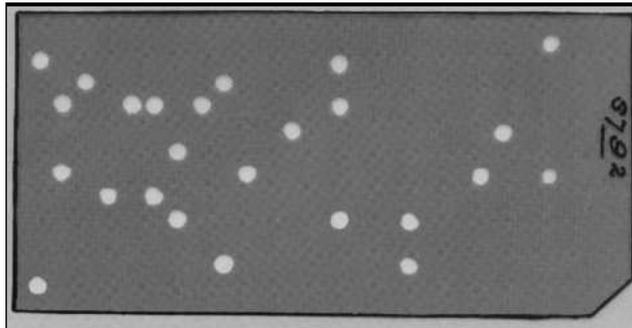


Stationen von 1500 bis 1930 (2)

- Charles Babbage (1792-1871) –
Prinzip der "Analytical Engine"
- Hermann Hollerith (1860-1929) –
Erfinder der Lochkarte

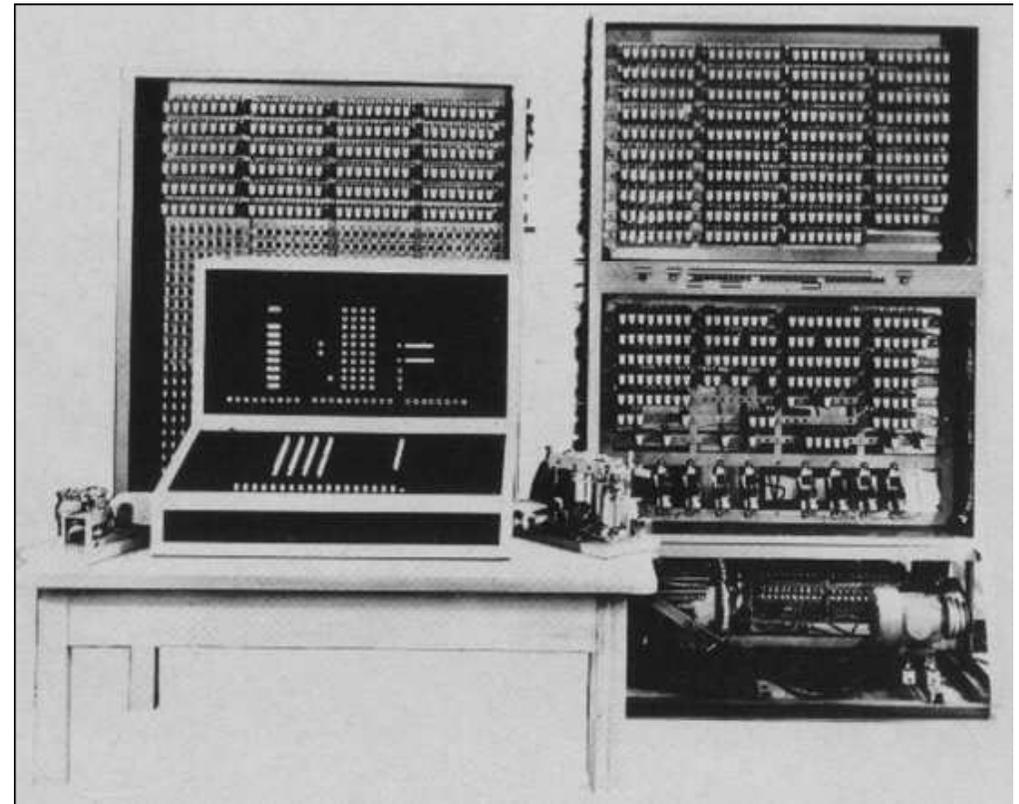


Alter in Jahren	bis 5	bis 10	bis 20	bis 30	bis 40	bis 50	bis 60	bis 70	bis 80	über 80
Familienstand	ledig	verh.	gesch.	Zahl der Kinder	1	2	3	4	5	über 5
Beruf	Ind.-Arb.	Land-Arb.	Kfm.-Ang.	Leit. Ang.	Staatsdienst	Selbständ.	Sonst.	Bürgerrecht	ja	nein
Religion	evang.	kath.	jüd.	sonst.	monatl. Eink.	bis 100 \$	bis 200 \$	bis 500 \$	über 500 \$	



Konrad Zuse: Erster funktionstüchtiger Computer

- ❑ Mit der aufkommenden Elektrotechnik wurde auf elektromechanische Bauteile gesetzt.
 - Solche Maschinen wurden in den 1940er Jahren von Konrad Zuse in Berlin gebaut.
 - Elektromechanische Z3 besaß ca. 2600 Relais und 64 Speicherplätze mit jeweils 22 Bits.
 - Multiplikation in etwa 3 Sekunden.



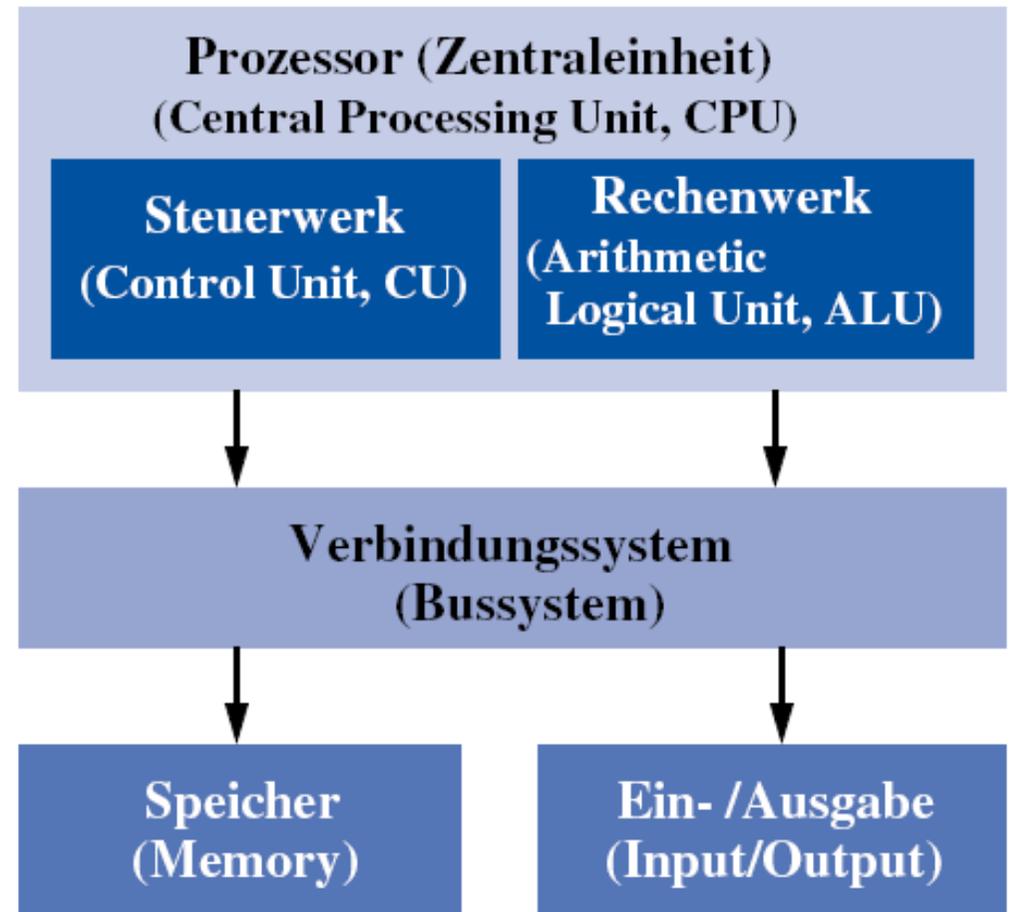
Howard H. Aiken: Mark I

- Howard Aiken erstellte 1944 in Zusammenarbeit mit der Harvard University und der Firma IBM die teilweise programmgesteuerte Rechenanlage Mark I.
 - Bestand aus ca. 100.000 Teilen.
 - War ca. 15 m lang.
 - Addition in 1/3 Sekunde.
 - Multiplikation in etwa 6 Sekunden.



John von Neumann: Architektur

- Mitte der 1940er Jahre entwickelte John von Neumann die Fundamentalprinzipien einer Rechenanlage.
 - Rechenwerk, Steuerwerk, E/A, Verbindungen
 - Programm und Daten im Speicher
 - Schritt für Schritt Bearbeitung von Befehlen
 - Bedingte Sprünge und Verzweigungen



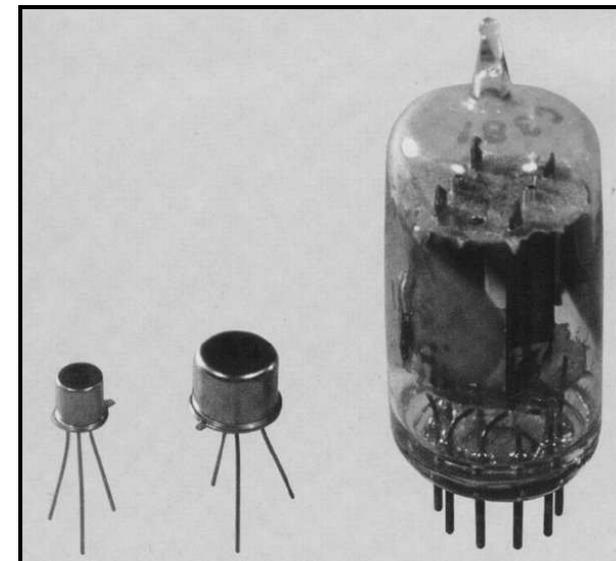
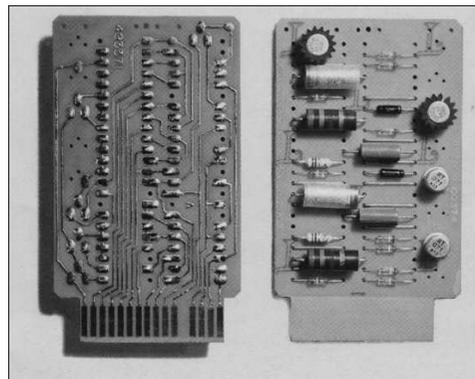
1. Generation: Elektronische Röhrenrechner

- ❑ Elektronische Rechner-Generationen:
 - Der erste elektronische Rechner ENIAC (Electronic Numerical Integrator and Automatic Calculator) wurde 1946 in den USA von J.P. Eckert und J.W. Mauchly fertig gestellt.
 - Er bestand aus ca. 18.000 Elektronenröhren und 1500 Relais.
 - Gewicht 30 Tonnen, Stellfläche 140 m², Strombedarf 140 kW.



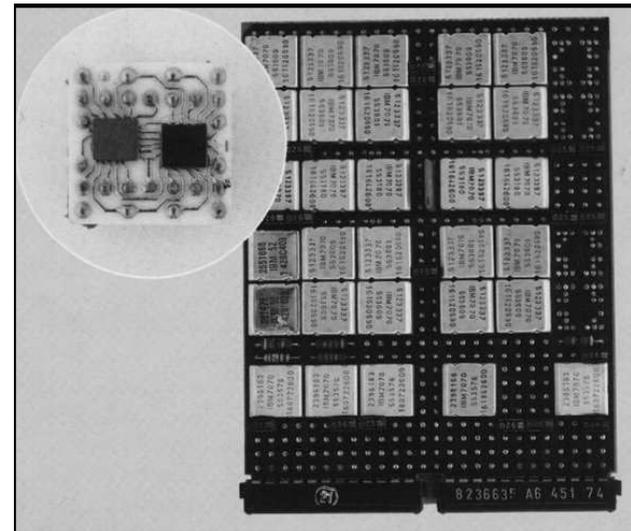
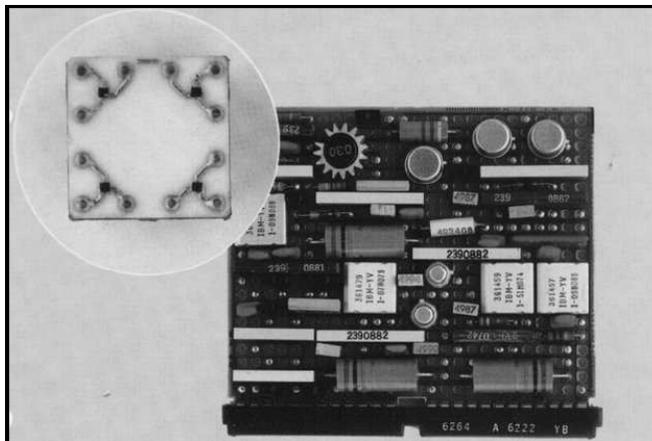
2. Generation: Transistorrechner

- Mit dem Transistor setzte im Computerbau ab etwa dem Jahr 1955 die Entwicklung der 2. Generation ein.
- Der Transistor ist erheblich kleiner und verbraucht nur einen Bruchteil der elektrischen Energie einer vergleichbaren Röhre.
- Einzelne Transistoren, Widerstände, Dioden und Kapazitäten wurden auf eine gedruckte Schaltung gebracht.



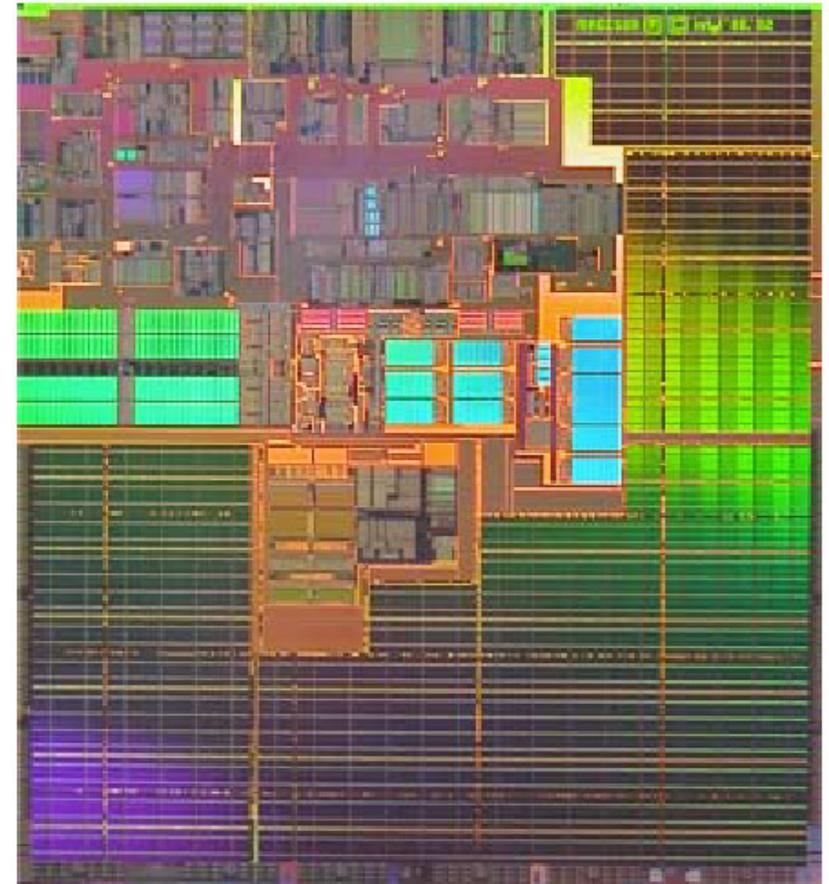
3. und 4. Generation: Mikrochips mit hoch- und höchstintegrierten Schaltkreisen

- Ab Anfang der 1960er Jahre wurden Bauteile in einen Chip integriert.
- Anfangs kamen auf ca. 3 mm² ca. 100 Transistoren.
- Später wurden in hochintegrierten Schaltkreisen (LSI=large scale integration), so genannten Mikrochips, auf ca. 30 mm² schon über eine Million Transistoren zusammengefasst.



Mikroprozessoren – Die Formel 1

- “Das Wettrennen um die schnellsten Mikroprozessoren könnte man als Formel 1 der Computertechnik bezeichnen.”
(Die ZEIT vom 18. März 1994)
- Die **Leistungssteigerung** bei Mikroprozessoren ist durch folgende Fortschritte erreicht worden:
 - durch Steigerung der Gatterzahl auf dem Chip,
 - durch Steigerung der Taktrate und
 - durch Fortschritte beim Hardware-Entwurf (Architektur, Mikroarchitektur und Entwurfswerkzeuge).



Intel Itanium 2 (Madison)

Beispiel: Terahertz-Transistor (Intel)

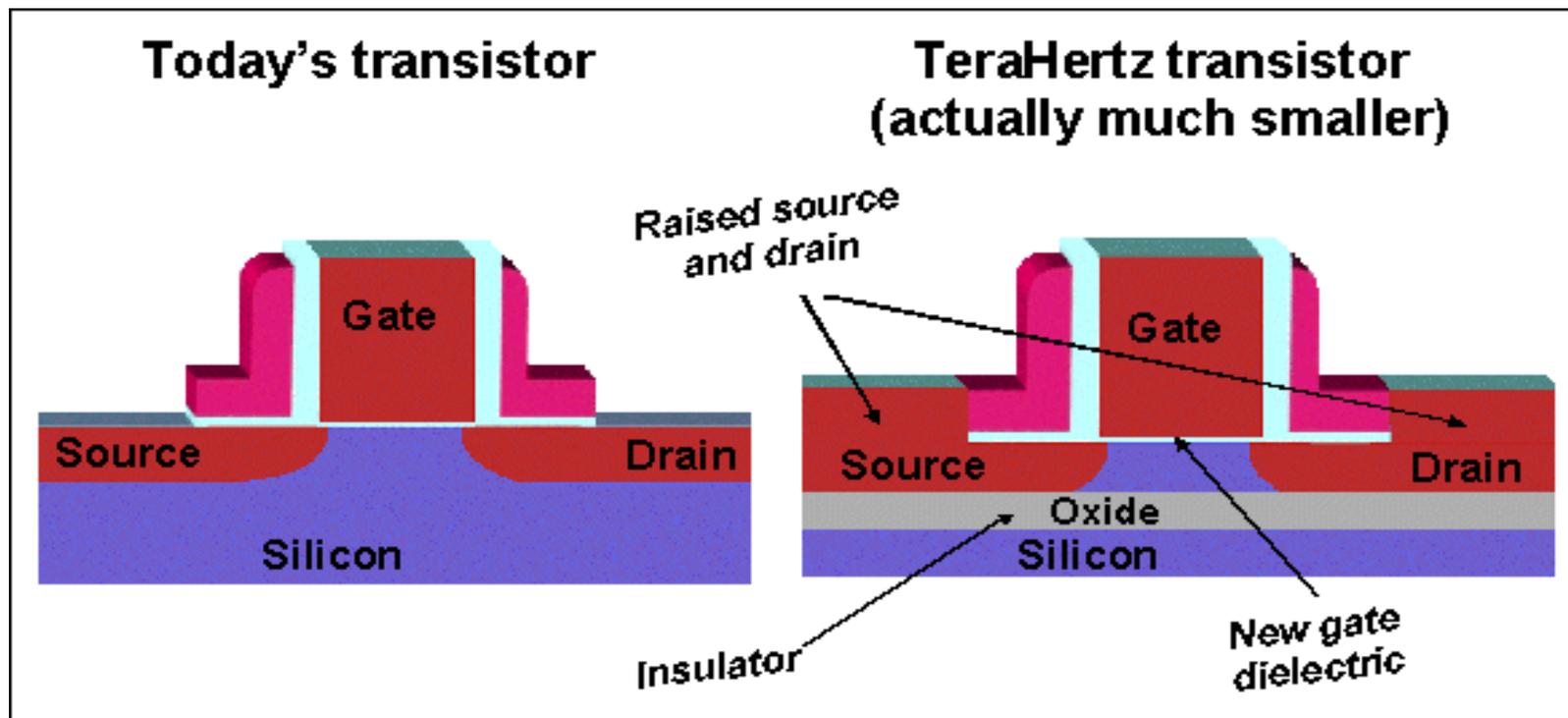
- Spitzen-Transitfrequenz: 2,63 THz, damit 0,38 ps Gatterverzögerung!

- Also nur noch 0,000 000 000 000 38 s ...
- Oder weniger als 76 μm Wegstrecke für elektromagnetische Wellen ...

Tera: 10^{12}

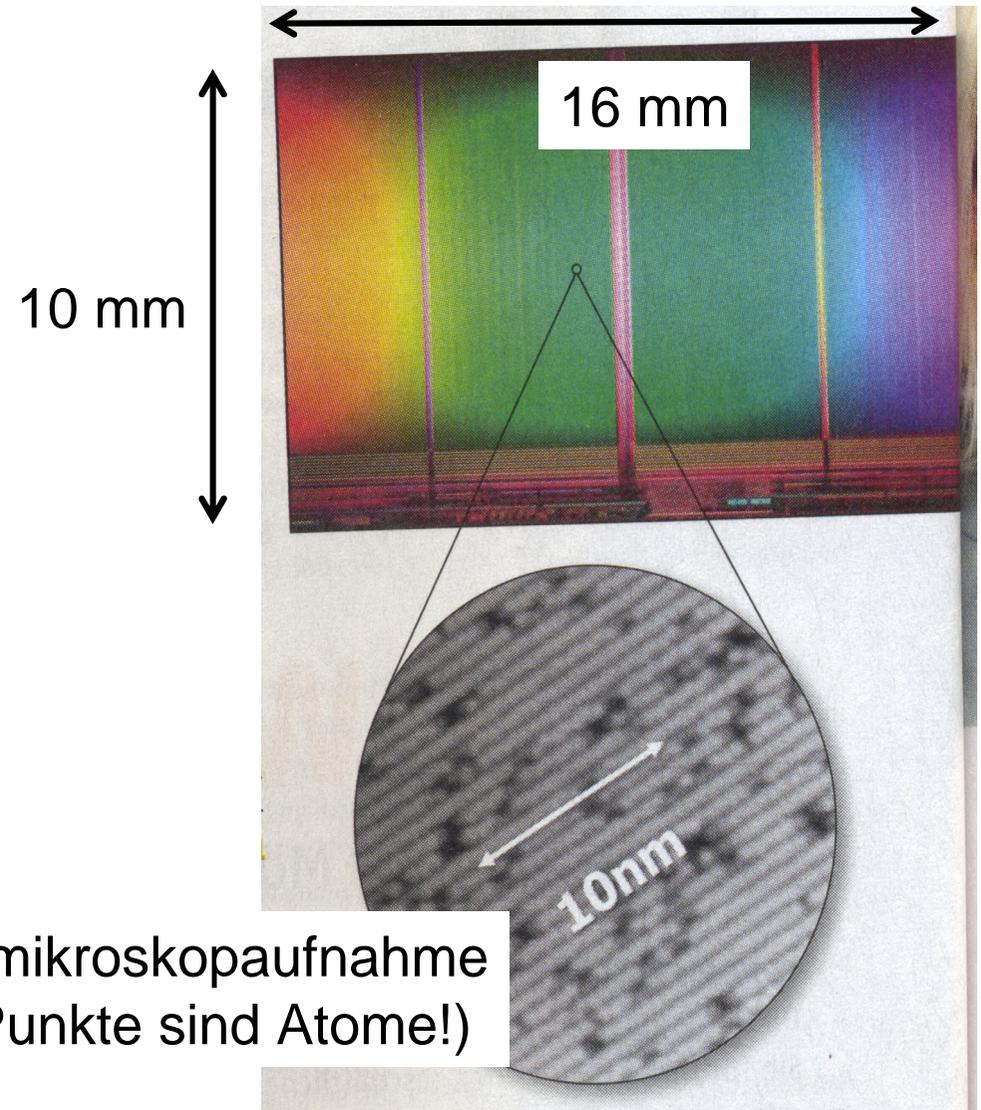
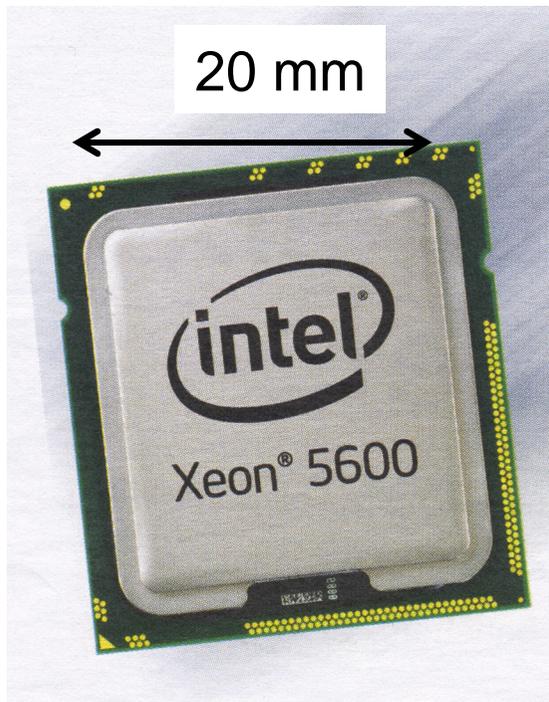
pico: 10^{-12}

micro: 10^{-6}



Schaltkreise, CPUs – Größenordnungen

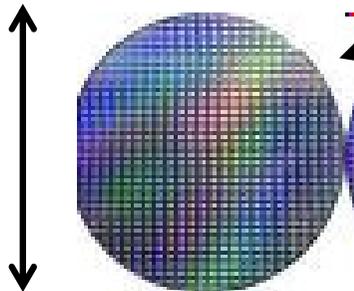
- 25 nm NAND Speicherchips
 - 8 GByte Speicher mit 167 mm² Fläche
 - Stapelbar – seit Mitte 2010 möglich!
- Intels XEON 5600 Serie
 - 32 nm Technologie
 - Bis zu 6 Cores



Rastertunnelmikroskopaufnahme
(Die hellen Punkte sind Atome!)

Immersionolithographie

2-12 “

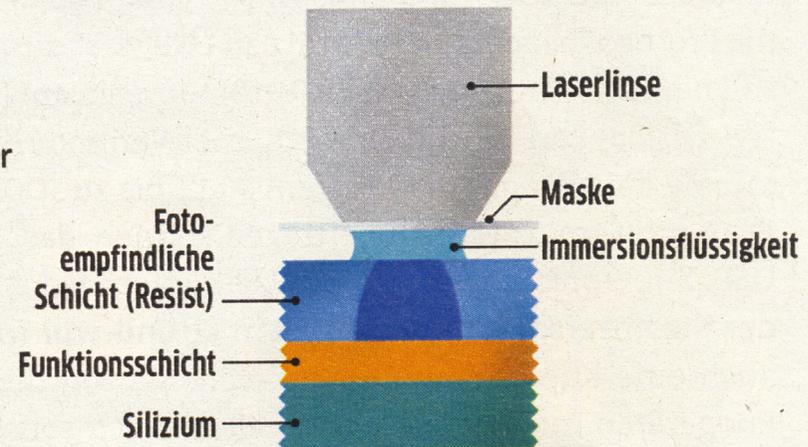


FERTIGUNG MIT IMMERSIONSLITHOGRAFIE

Die Schrumpfung auf 32 Nanometer große Fertigungsstrukturen wurde erst mit Einführung der Immersionolithografie möglich. Intel wird den Belichtungsprozess für die 22-Nanometer-Fertigung beibehalten

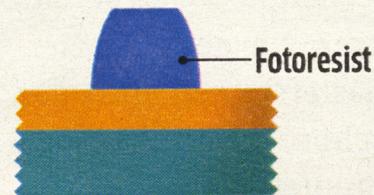
1. Belichtung

Ein mit einem Fotoresist beschichteter Wafer wird per Laser belichtet. Durch die Maske entsteht eine Chipstruktur, eine Immersionsflüssigkeit bricht das Licht in eine feinere Wellenlänge



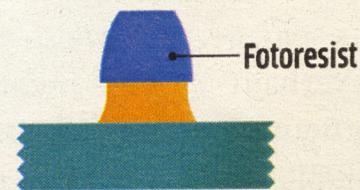
2. Entwicklung

Der unbelichtete Teil des Fotoresist wird entfernt



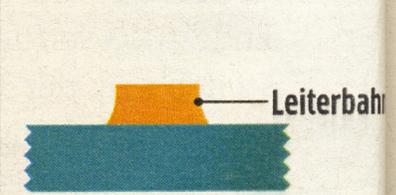
3. Ätzen

Ungeschützte Teile der Metallschicht werden weggeätzt



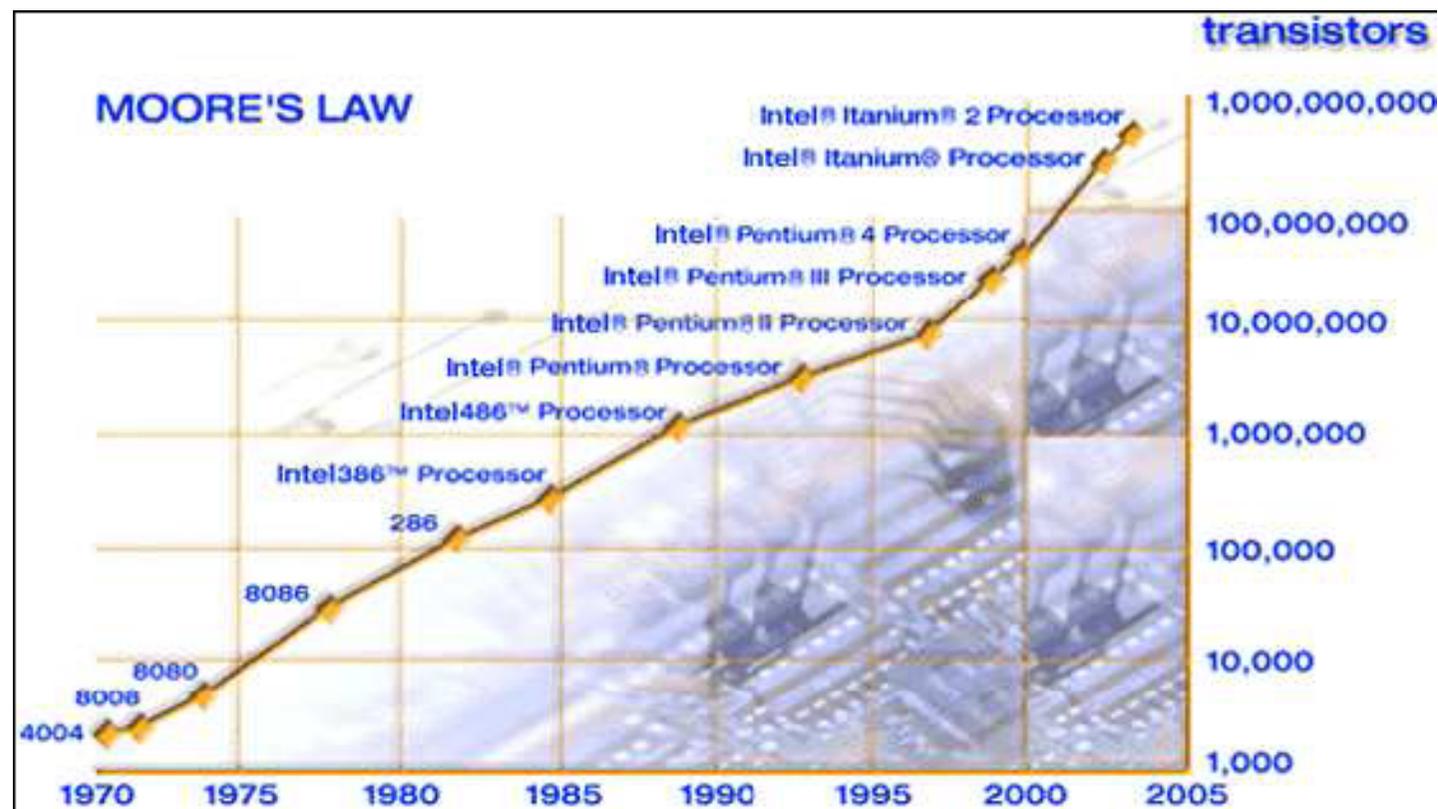
4. Resist-Stripping

Der Fotoresist wird von den fertigen Leiterbahnen entfernt



5. Generation: Parallelverarbeitung und Vernetzung

- Moderne Rechner enthalten Mikroprozessoren mit vielen Millionen Transistoren, Arbeitsspeicher mit Millionen von Speicherplätzen (GigaByte) und bewältigen Millionen von Operationen pro Sekunde.



Exponentialgesetz der Mikroelektronik: „Moore'sches Gesetz“

- ❑ Die Anzahl der Transistoren pro (Prozessor-)Chip verdoppelt sich alle zwei Jahre.
- ❑ Die Verarbeitungsleistung der Hochleistungsprozessoren verdoppelt sich alle 18 Monate.
- ❑ Für den gleichen Preis liefert die Mikroelektronik die doppelte Leistung in weniger als zwei Jahren.
- ❑ Eine Chip-Fabrik stellte im Jahr 2002 die größte Einzelinvestition dar (10 Milliarden US-Dollar).
- ❑ Die Kooperation großer Firmen ist notwendig:
 - EUVLLC (extrem ultraviolet limited liability company) von AMD, Motorola und Intel.

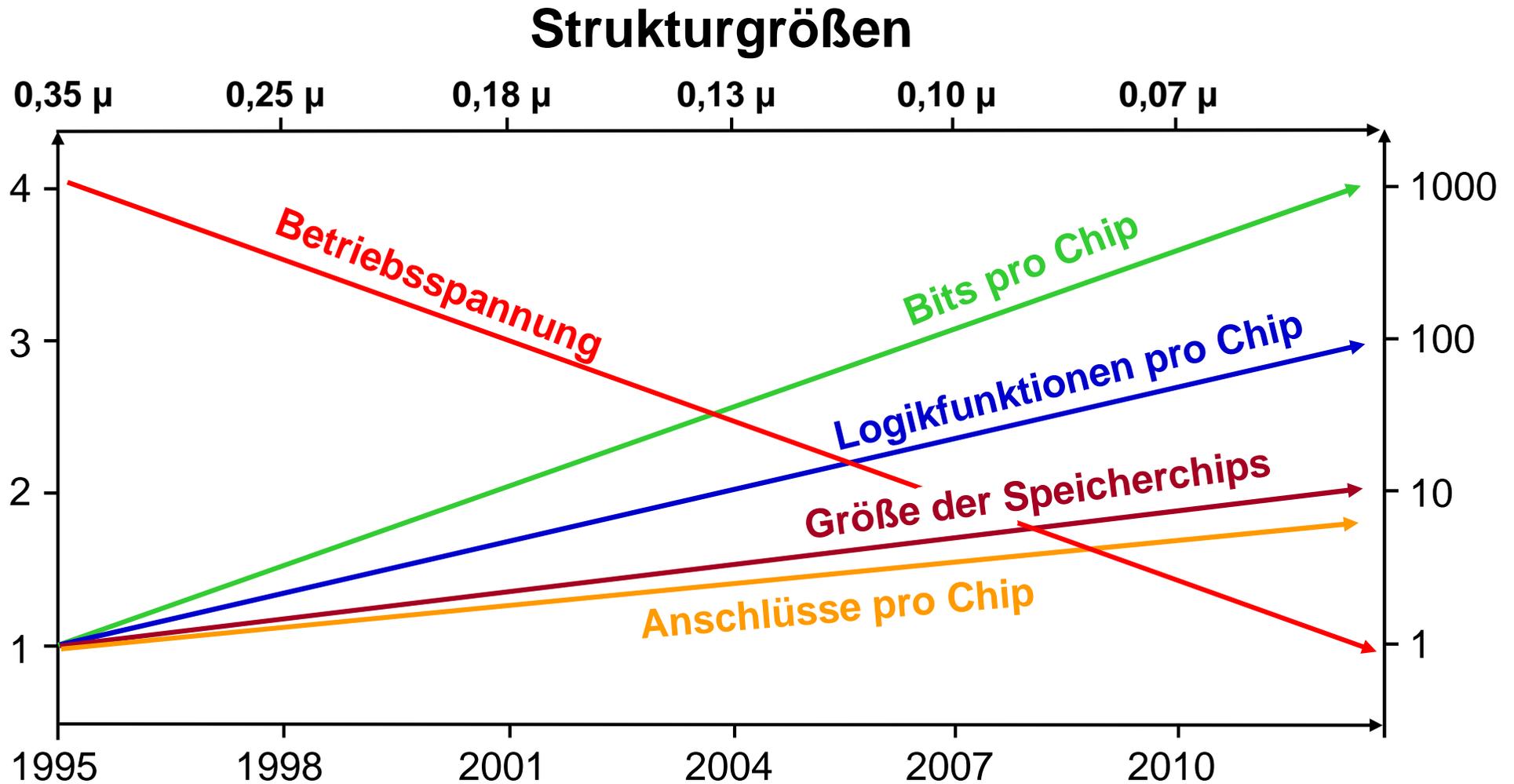
Immer mehr Transistoren auf einem VLSI-Chip

- SIA 1997 Roadmap für Prozessoren:
 - SIA = American Semiconductor Industry
 - <http://public.itrs.net/>
 - <http://www.sematech.org/public/home.htm>

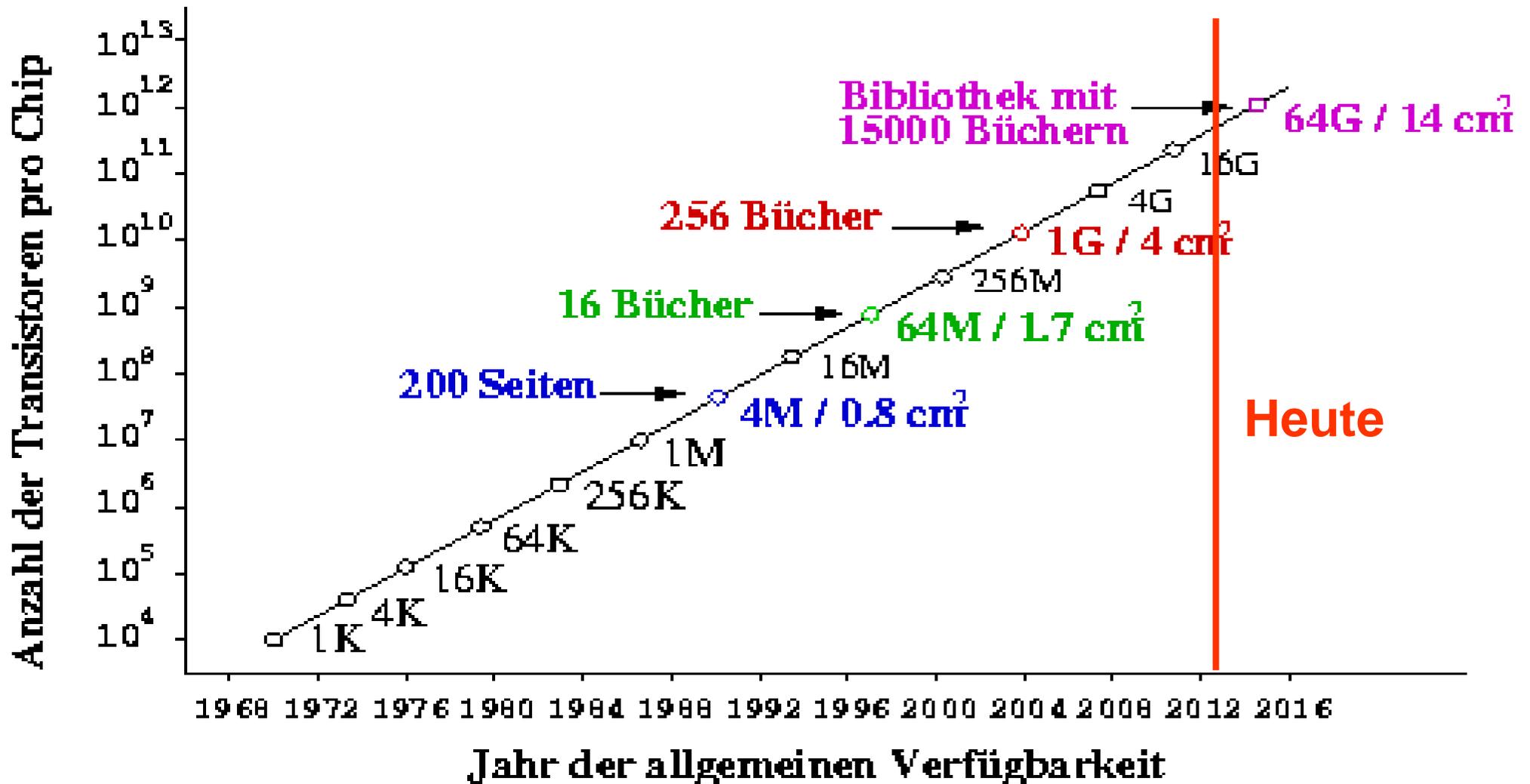
Year of 1 st shipment	1997	1999	2001	2003	2006	2009	2012
Local clock (GHz)	0.75	1.25	1.5	2.1	3.5	6	10
Across chip (GHz)	0.75	1.2	1.4	1.6	2	2.5	3
Chip size (mm ²)	300	340	385	430	520	620	750
Feature size (nm)	250	180	150	130	100	70	50
Number of chip I/O	1450	2000	2400	3000	4000	5400	7300
Transistors/chip	11M	21M	40M	76M	200M	520M	1.4G

...wurde schnell von der Realität überholt!

Mehr Leistung bei weniger Stromverbrauch



Verfügbarkeit von Speicherchips



Bedeutung, Einordnung und Einteilung

- Einsatzgebiete von Computern und Informatik:
 - **Kommerzielle Rechner**
für die Ein-/Ausgabe von großen Datenmengen, aber für eher einfache Berechnungen.
 - **Wissenschaftliche Rechner**
für komplexe, langwierige Rechnungen, aber nur für eher kleine Mengen von Ein-/Ausgaben.
 - **Prozess-/Echtzeit-Rechner**
zur Steuerung oder Überwachung von physikalischen, chemischen oder technischen Prozessen. Hier ist nicht nur eine logische Korrektheit des Ergebnisses gefordert, sondern ebenso wichtig ist die "zeitliche Korrektheit".
 - Allgegenwärtig sind Rechner und die Informatik in nahezu allen unseren technischen Geräten wie z.B. Handys, Autos oder Waschmaschinen, in denen so genannte Embedded Systems die Steuerung übernehmen.

Ziele der Technischen Grundlagen der Informatik

- **Informatik heißt *nicht nur* „Programme und PCs“, sondern**
 - Kompetenz im Systemdenken! Hierzu gehört ebenso eine fundierte Kenntnis in Hardware, Rechnerarchitekturen und relevanten technischen Grundlagen
- Problemlösungen erfordern meist eine Kombination aus Hardware und Software:
 - Vielfältige Randbedingungen (Preis, Betriebstemperatur, Leistung, ...) können z.B. eine spezielle Rechnerarchitektur erfordern
- Das Grundverständnis datenverarbeitender Systeme ist die Grundlage für korrektes Bewerten ihrer Leistungsfähigkeit.
- Rechnerstrukturen:
 - Legt die Grundlagen für den Bereich der Technischen Informatik (Hardware)
 - Deckt den Bereich von der Logik zu einfachsten CPUs ab
- Rechnerorganisation (und deren Nutzung):
 - Zeigt Systemarchitekturen (wie) und Befehlssätze (was)
 - Umfaßt Betriebssystemfunktionen, Organisation von Computern, Kommunikation