

# — 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](mailto:stiller@ifi.uzh.ch)



**Universität  
Zürich**<sup>UZH</sup>

Assistants:

Daniel Dönni, Dr. Corinna Schmitt

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

E-Mail: [\[doenni|schmitt\]@ifi.uzh.ch](mailto:[doenni|schmitt]@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<sup>UZH</sup>**



# 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

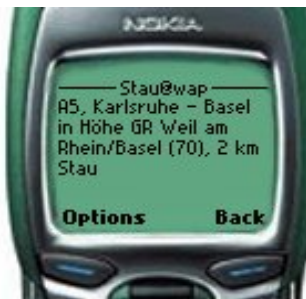
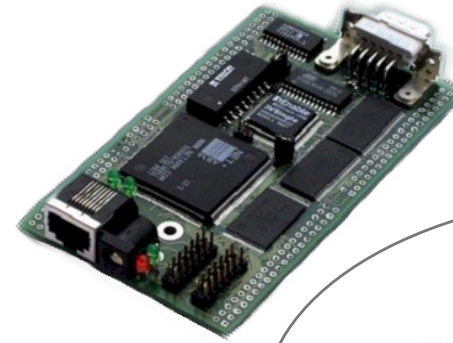
- ❑ Notfalldienste
- ❑ Diebstahlschutz
- ❑ Kommunikation (e-mail, WWW, SMS, GSM, ...)
- ❑ Informationsdienste
- ❑ Ferndiagnose, Fernwartung
- ❑ Navigation, Routenplanung
- ❑ Motorsteuerung, ABS, ESP, ...



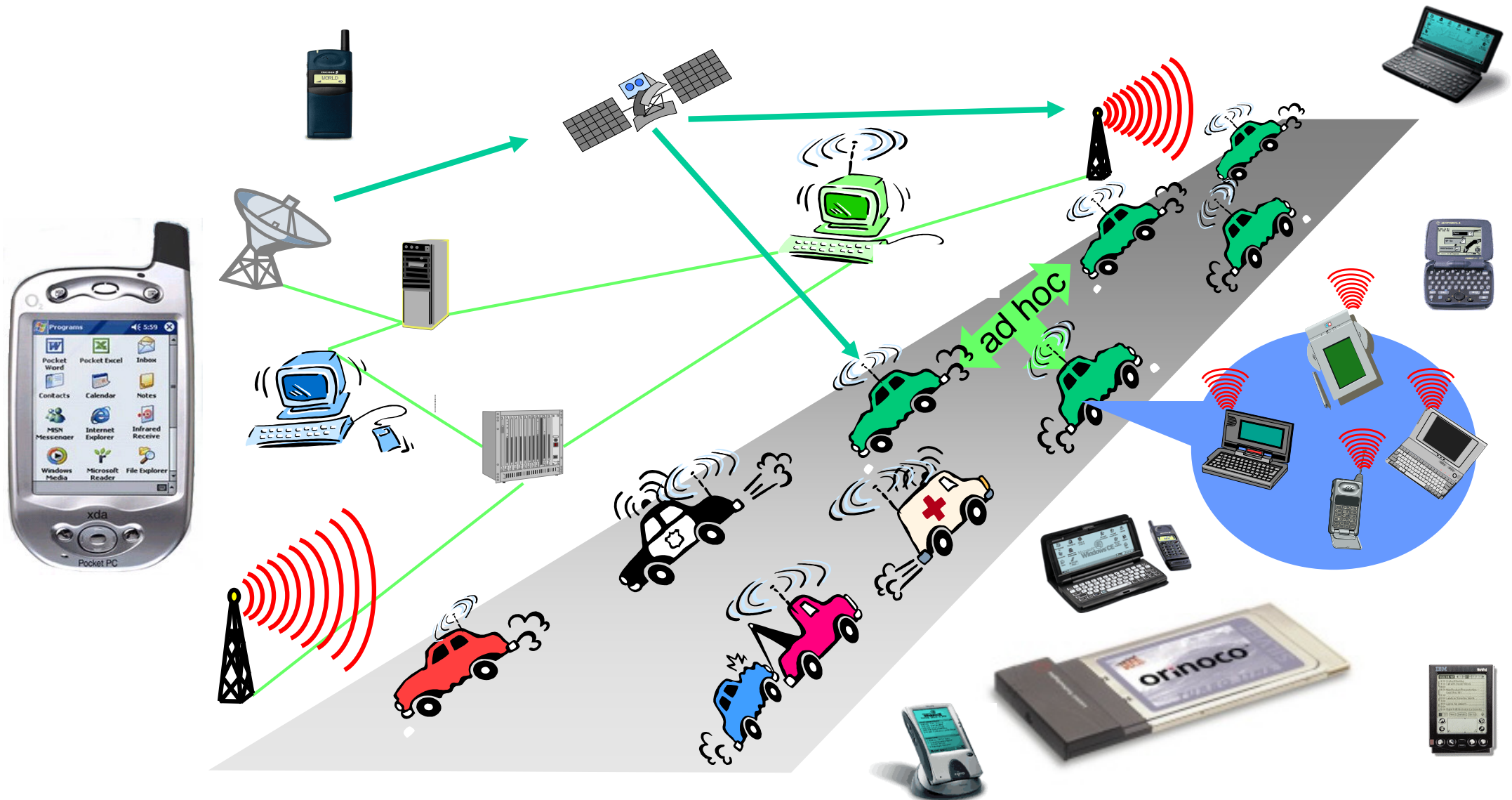
...oder in der Nähmaschine!



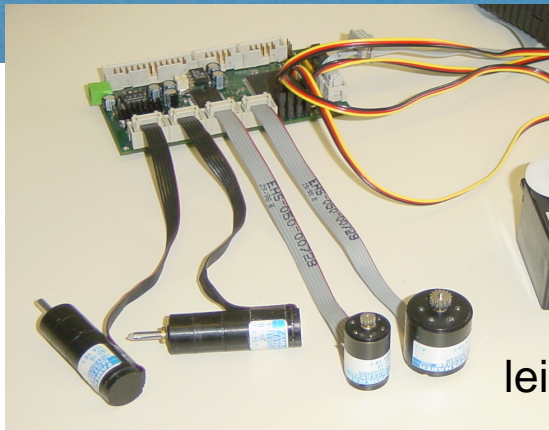
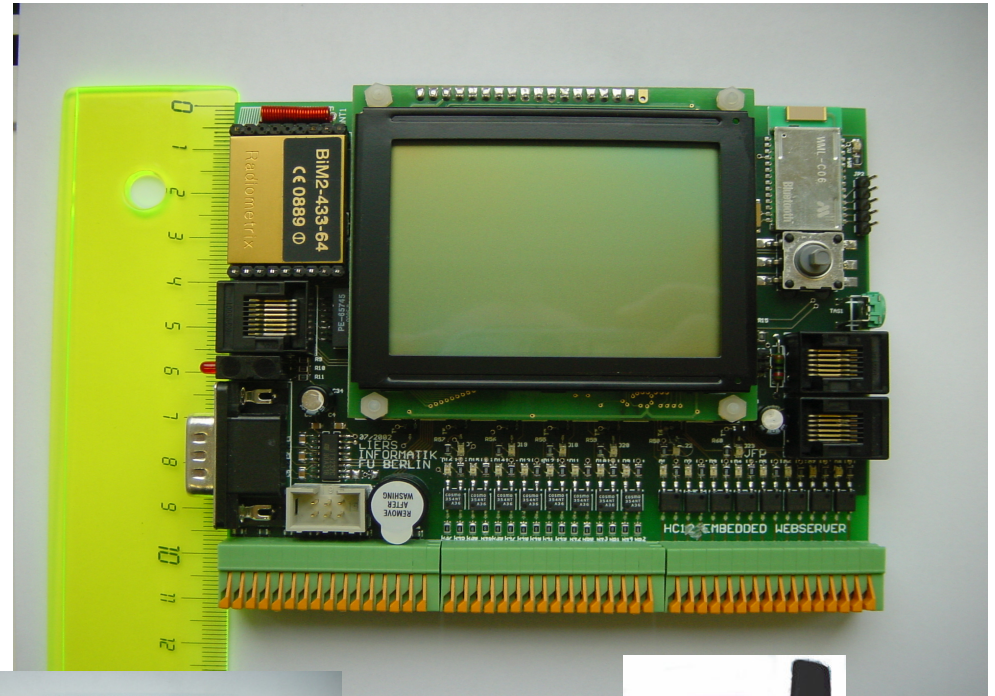
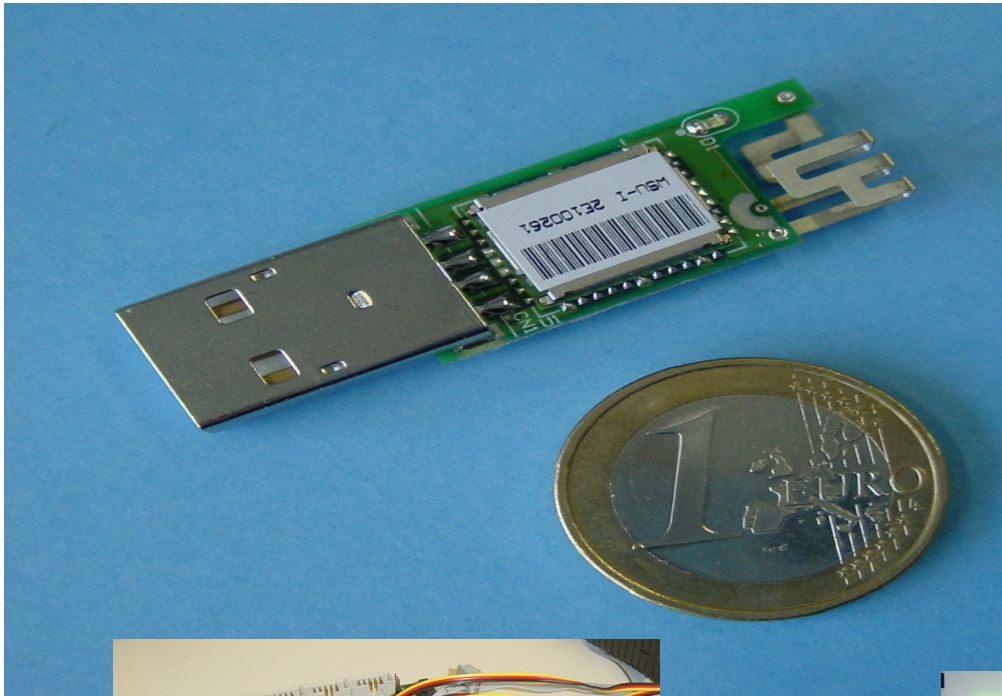
# Beispiel: Kommunikationstechnik in Verkehrsmitteln



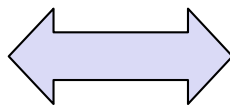
# Beispiel: Mobilität und Kommunikation



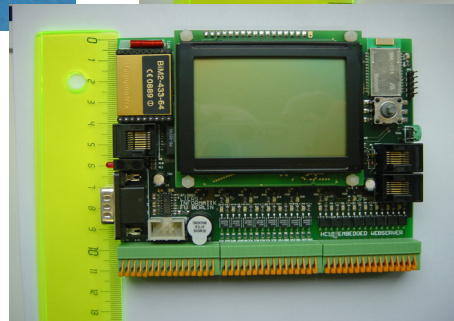
# Beispiele: Bluetooth-Modul, Web-Server, ...



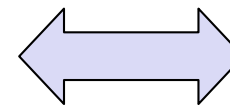
Industriesteuerung



RF,  
leitungsgebunden



Eingebetteter  
Web Server

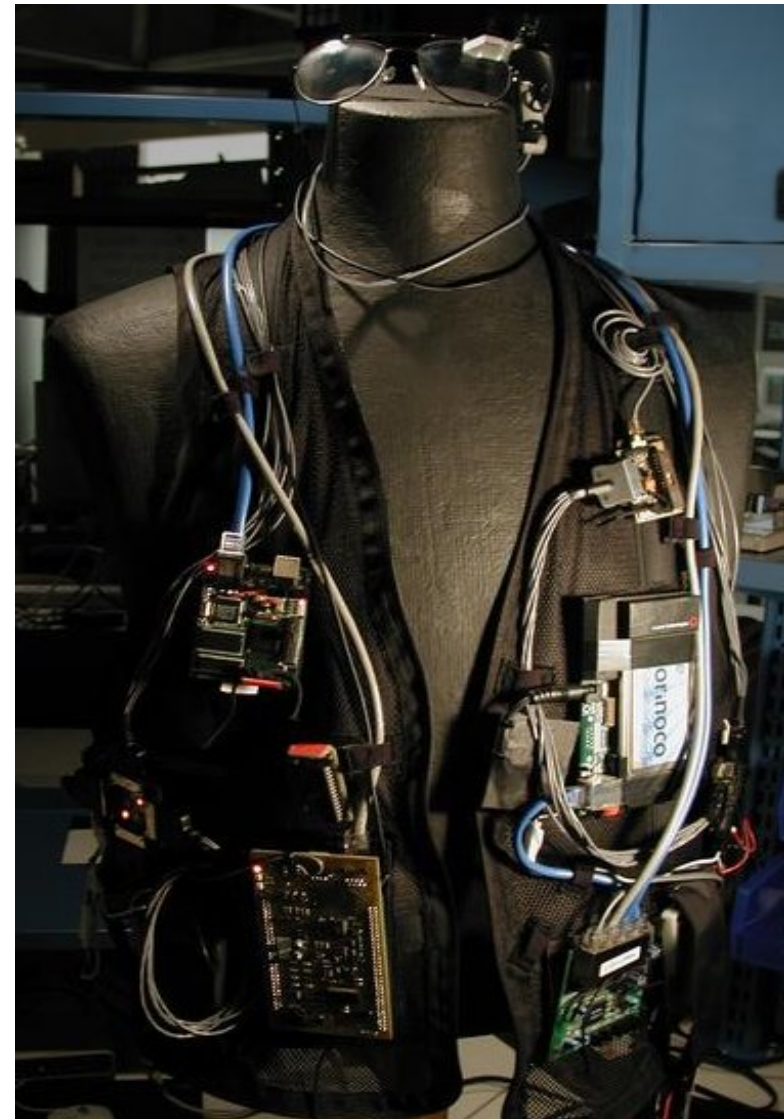
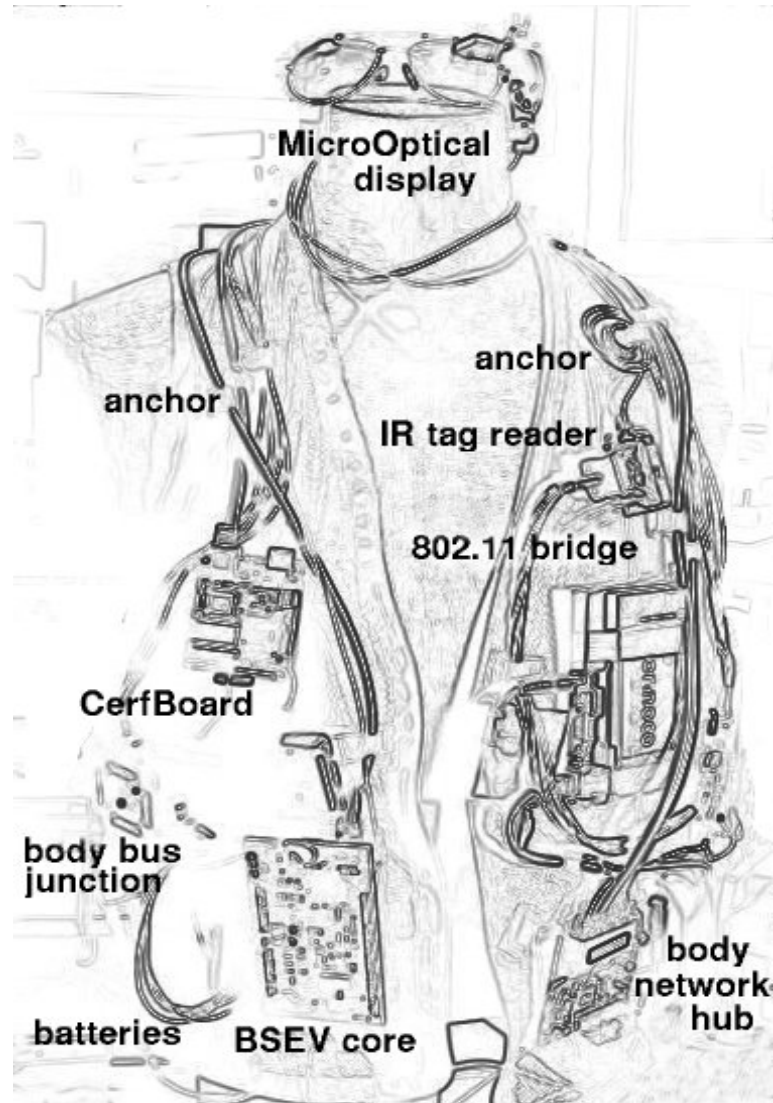


GPRS,  
WLAN,  
...



Client

# Beispiel: Wearable Computers, z.B. MIThril



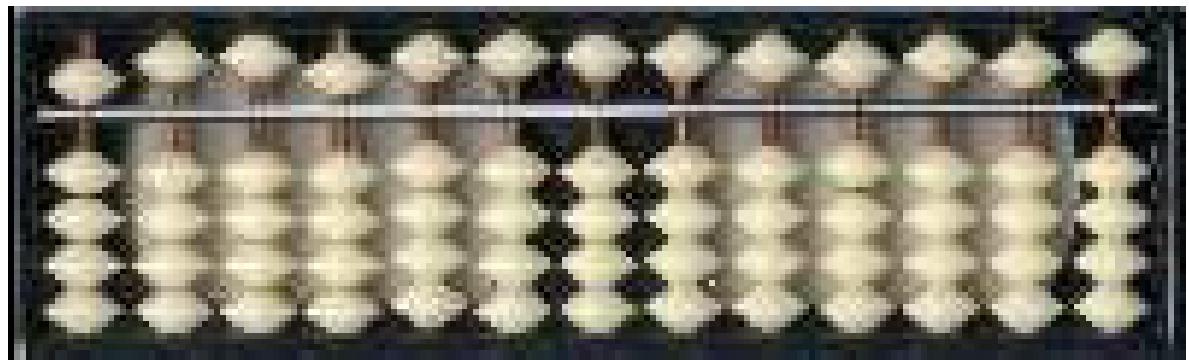
# Der Begriff Informatik

---

- "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

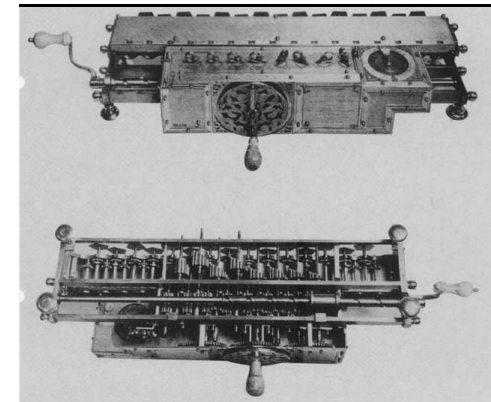
---



# Stationen von 1500 bis 1930 (1)

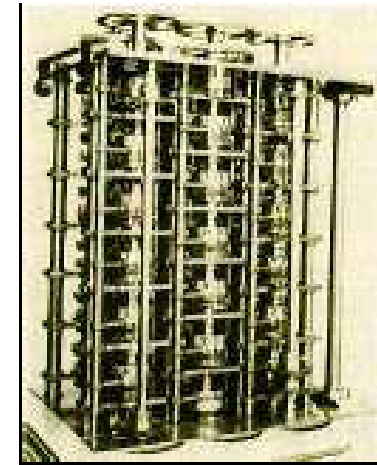
## □ Wichtige Meilensteine der Informatik:

- 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

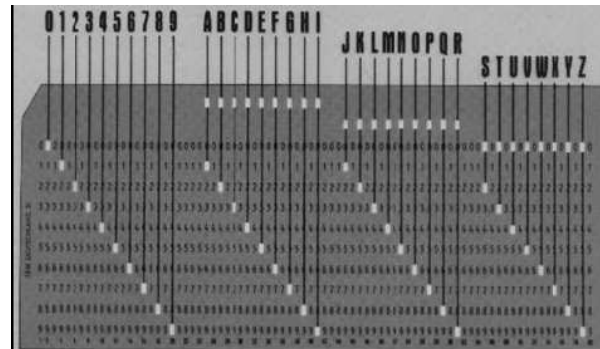
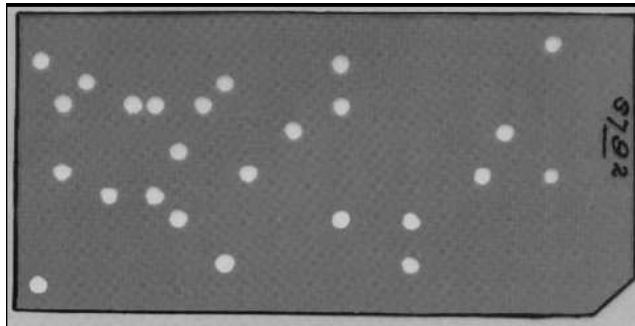


# Stationen von 1500 bis 1930 (2)

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

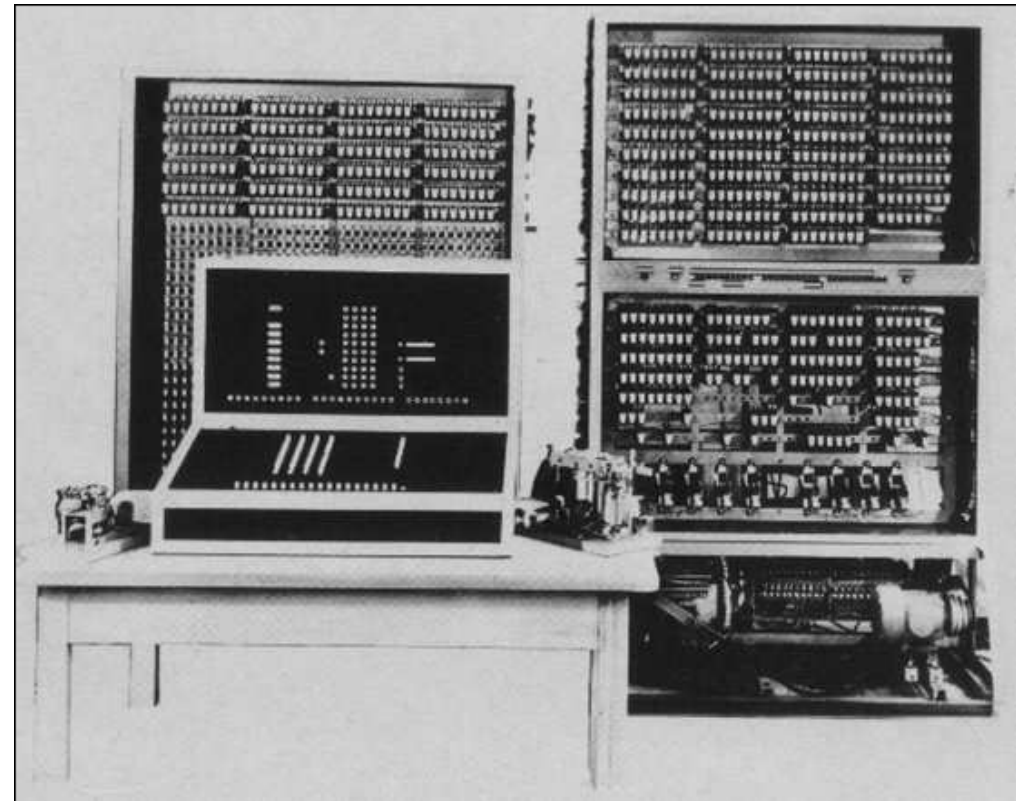


Alter in Jahren	bis 5	bis 10	bis 20	bis 30	bis 40	bis 50	bis 60	bis 70	bis 80	über 80
Familienstand	ledig	verh.	gesch.	Zahl der Kinder	1	2	3	4	5	über 5
Beruf	Ind.-Arb.	Land-Arb.	Kfm.-Ang.	Leit. Ang.	Staatsdienst	Selbständ.	Sonst.	Bürgerrecht	ja	nein
Religion	evang.	kath.	jüd.	sonst.	monatl. Eink.	bis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



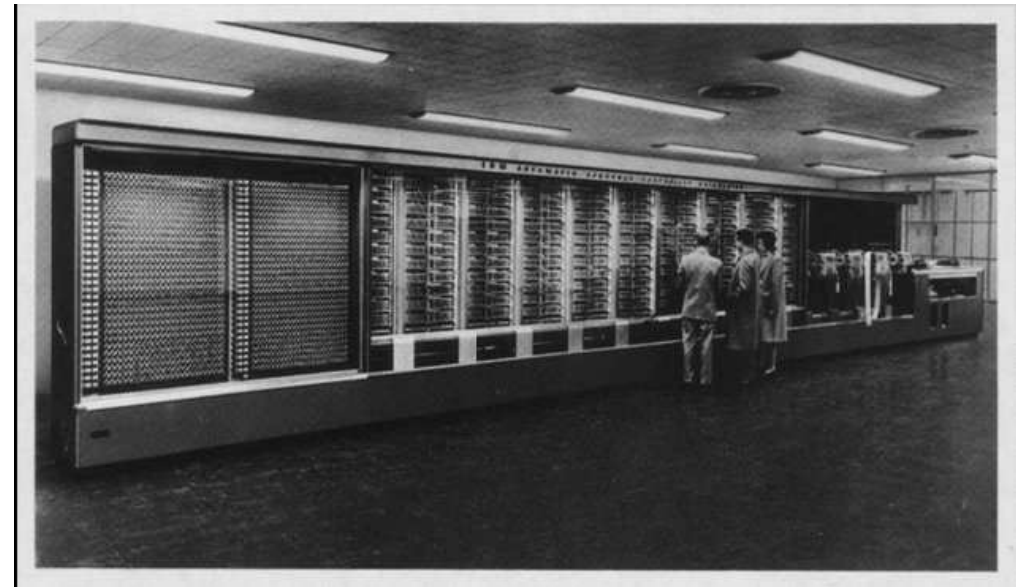
# Konrad Zuse: Erster funktionstüchtiger Computer

- 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

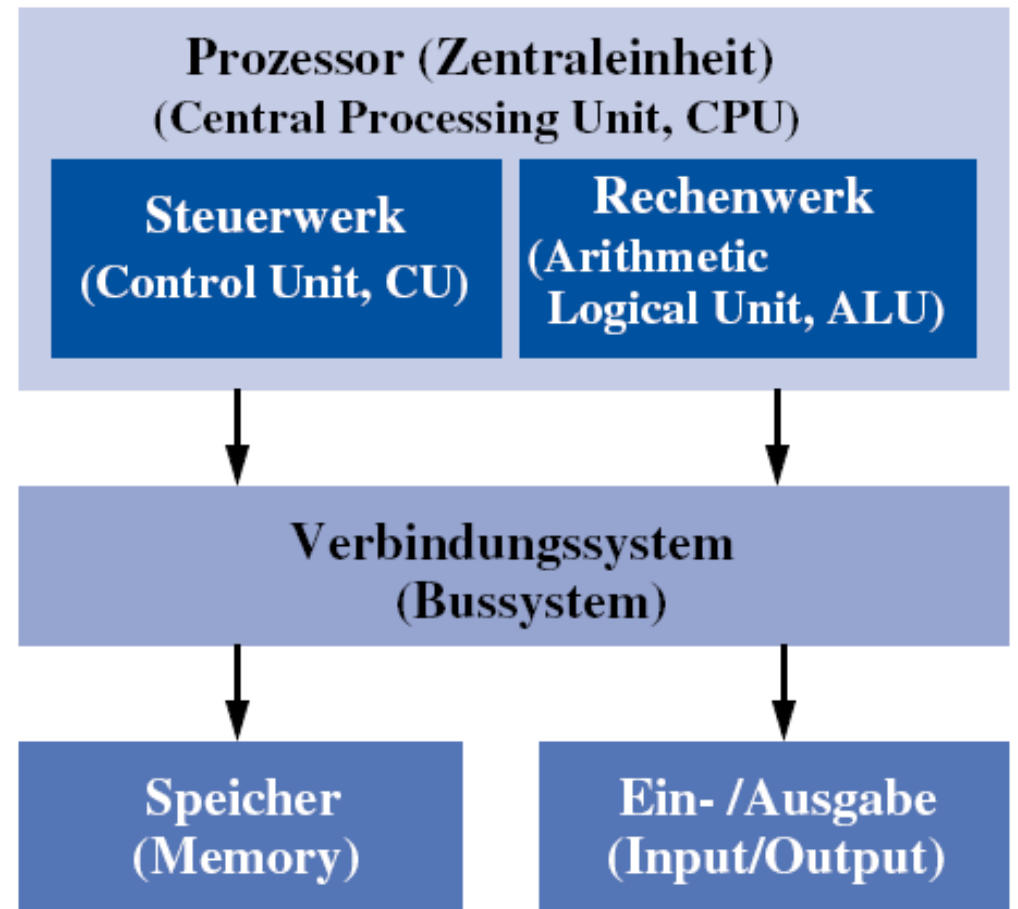
- Howard Aiken erstellte 1944 in Zusammenarbeit mit der Harvard University und der Firma IBM die teilweise programmgesteuerte Rechenanlage Mark I.
  - Bestand aus ca. 100.000 Teilen.
  - War ca. 15 m lang.
  - Addition in 1/3 Sekunde.
  - Multiplikation in etwa 6 Sekunden.



# 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



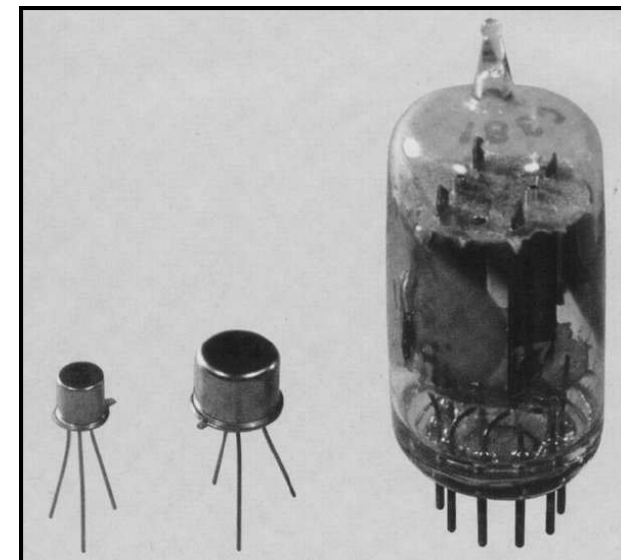
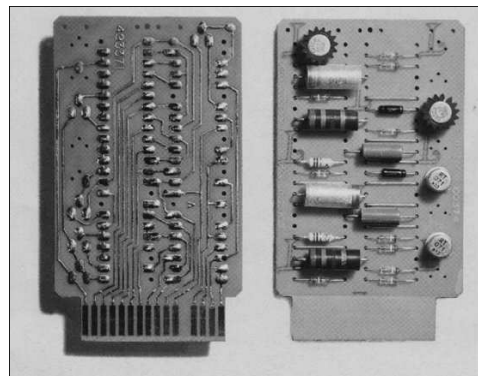
# 1. Generation: Elektronische Röhrenrechner

- 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 m<sup>2</sup>, Strombedarf 140 kW.



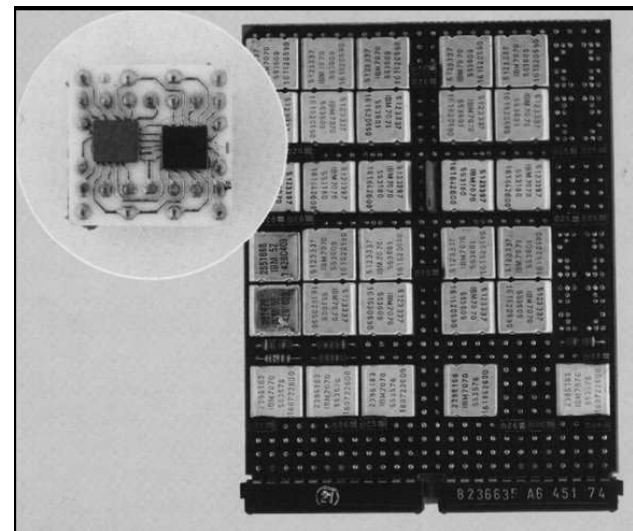
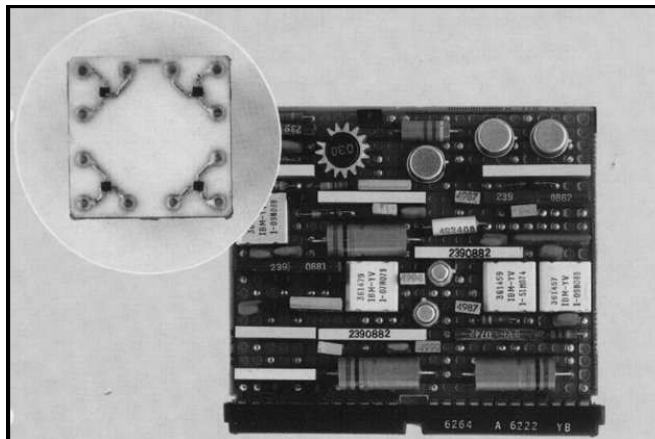
## 2. Generation: Transistorrechner

- 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

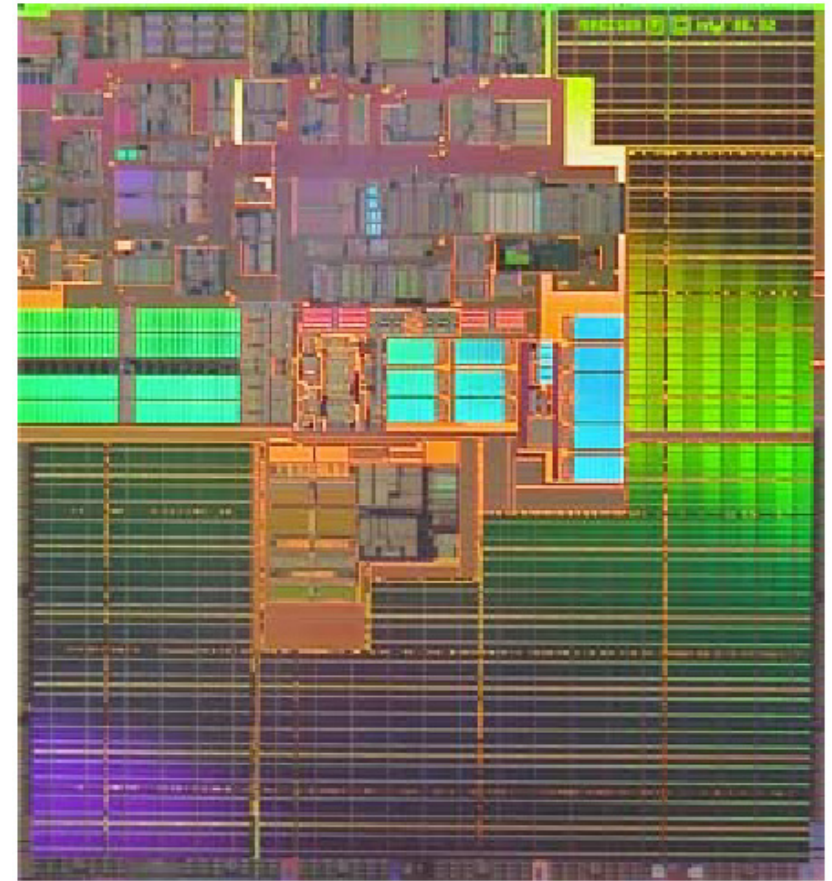
- Ab Anfang der 1960er Jahre wurden Bauteile in einen Chip integriert.
- Anfangs kamen auf ca. 3 mm<sup>2</sup> ca. 100 Transistoren.
- Später wurden in hochintegrierten Schaltkreisen (LSI=large scale integration), so genannten Mikrochips, auf ca. 30 mm<sup>2</sup> schon über eine Million Transistoren 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)

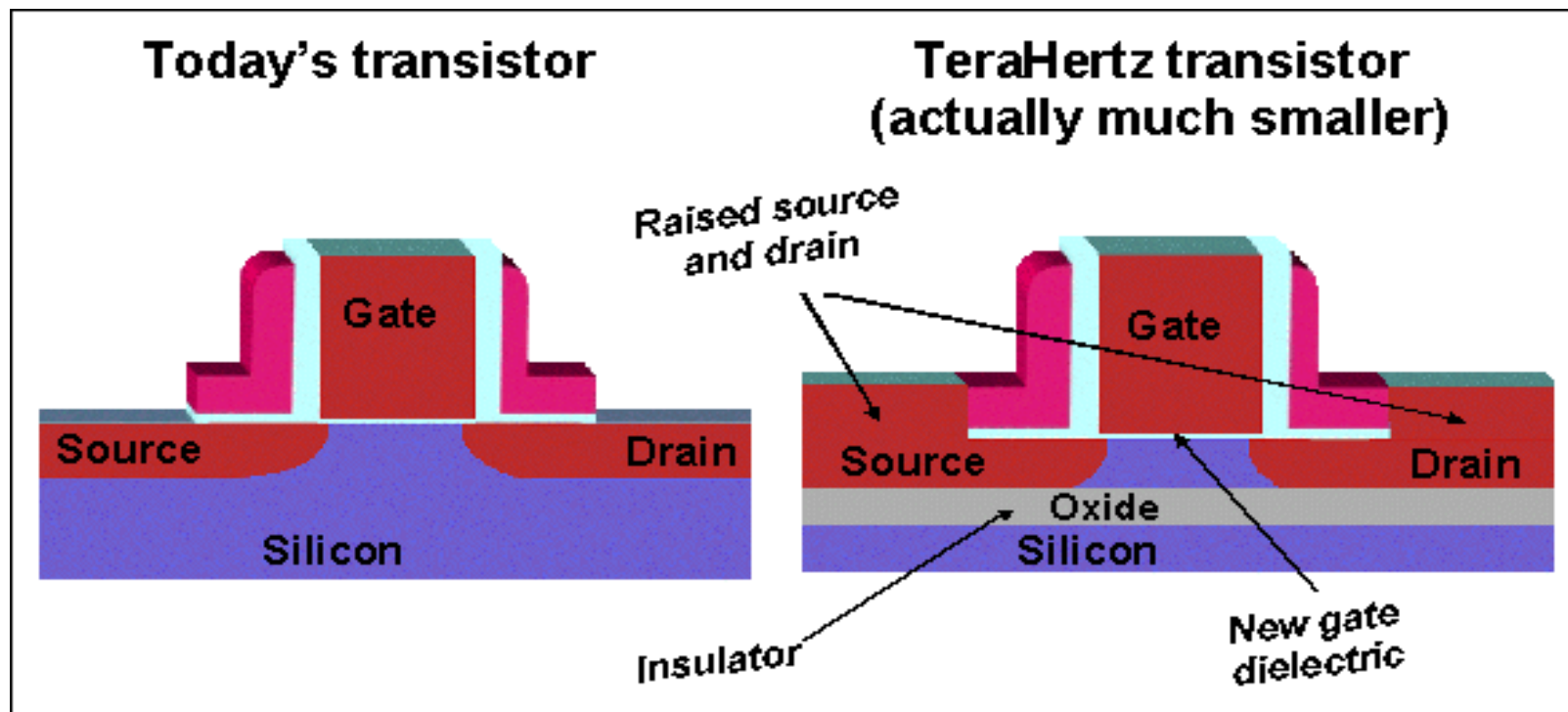
- Spitzen-Transitfrequenz: 2,63 THz,  
damit 0,38 ps Gatterverzögerung!

- Also nur noch 0,000 000 000 000 38 s ...
- Oder weniger als 76  $\mu\text{m}$  Wegstrecke für elektromagnetische Wellen ...

Tera:  $10^{12}$

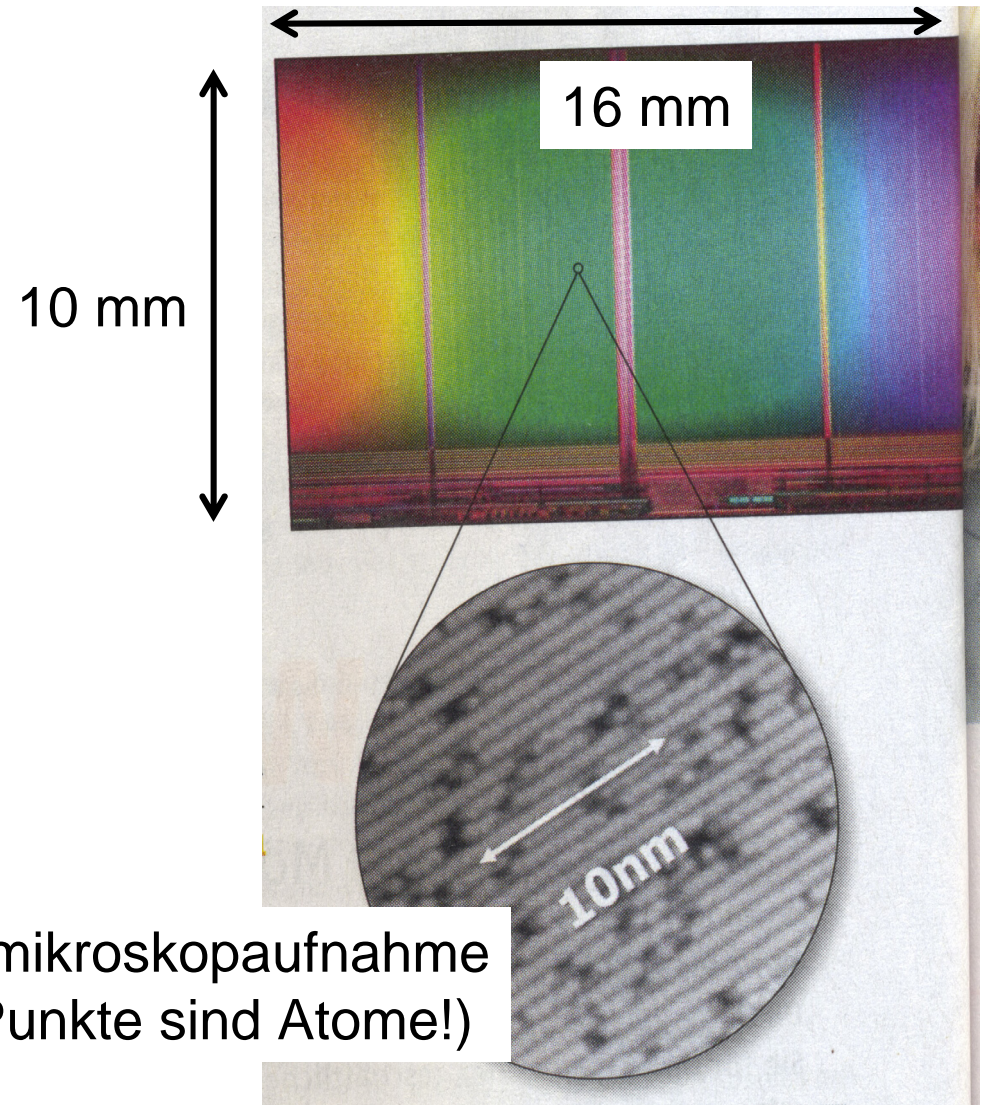
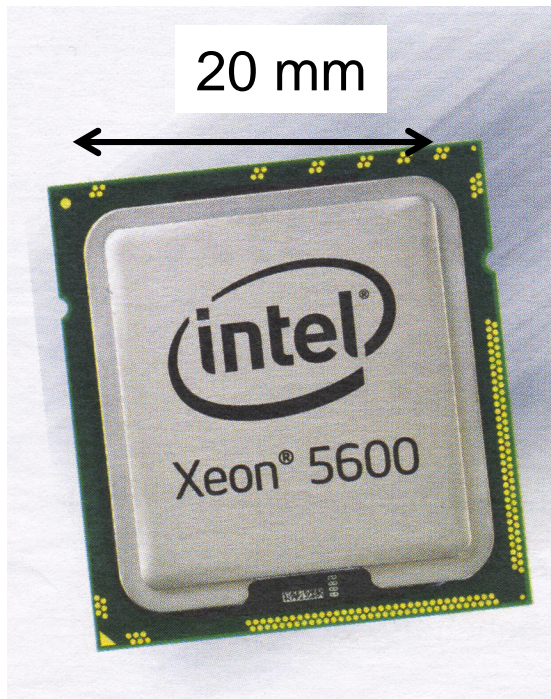
pico:  $10^{-12}$

micro:  $10^{-6}$



# Schaltkreise, CPUs – Größenordnungen

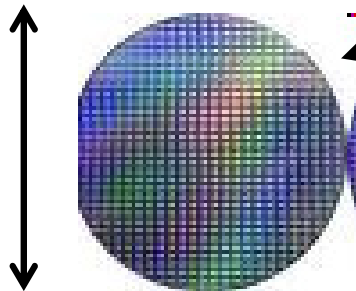
- 25 nm NAND Speicherchips
  - 8 GByte Speicher mit 167 mm<sup>2</sup> Fläche
  - Stapelbar – seit Mitte 2010 möglich!
- Intels XEON 5600 Serie
  - 32 nm Technologie
  - Bis zu 6 Cores



Rastertunnelmikroskopaufnahme  
(Die hellen Punkte sind Atome!)

# Immersionolithographie

2-12 “

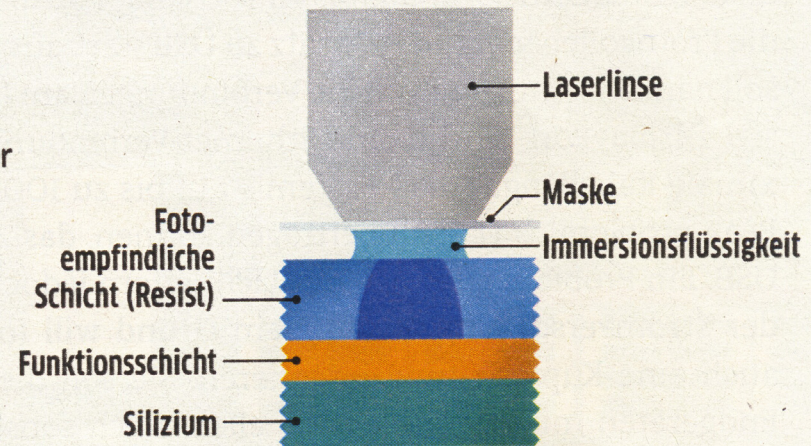


## FERTIGUNG MIT IMMERSIONSLITHOGRAFIE

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

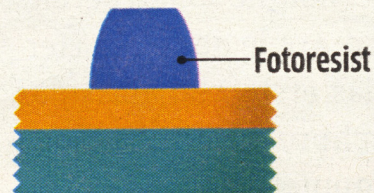
### 1. Belichtung

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



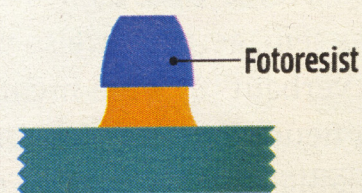
### 2. Entwicklung

Der unbelichtete Teil des Fotoresist wird entfernt



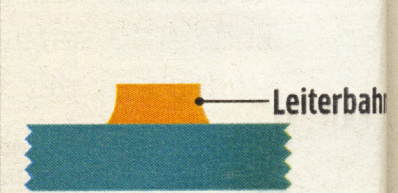
### 3. Ätzen

Ungeschützte Teile der Metallschicht werden weggeätzt



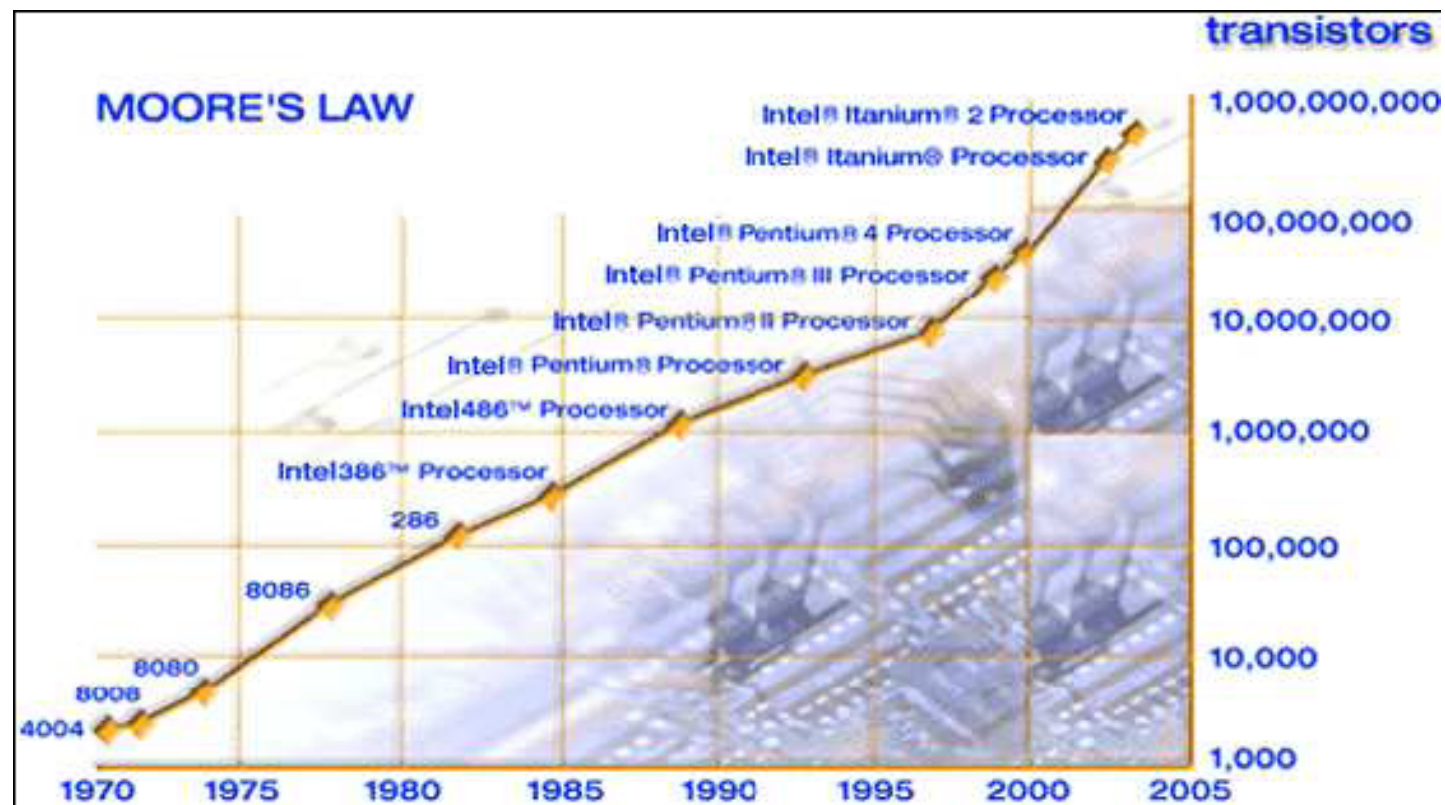
### 4. Resist-Stripping

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.

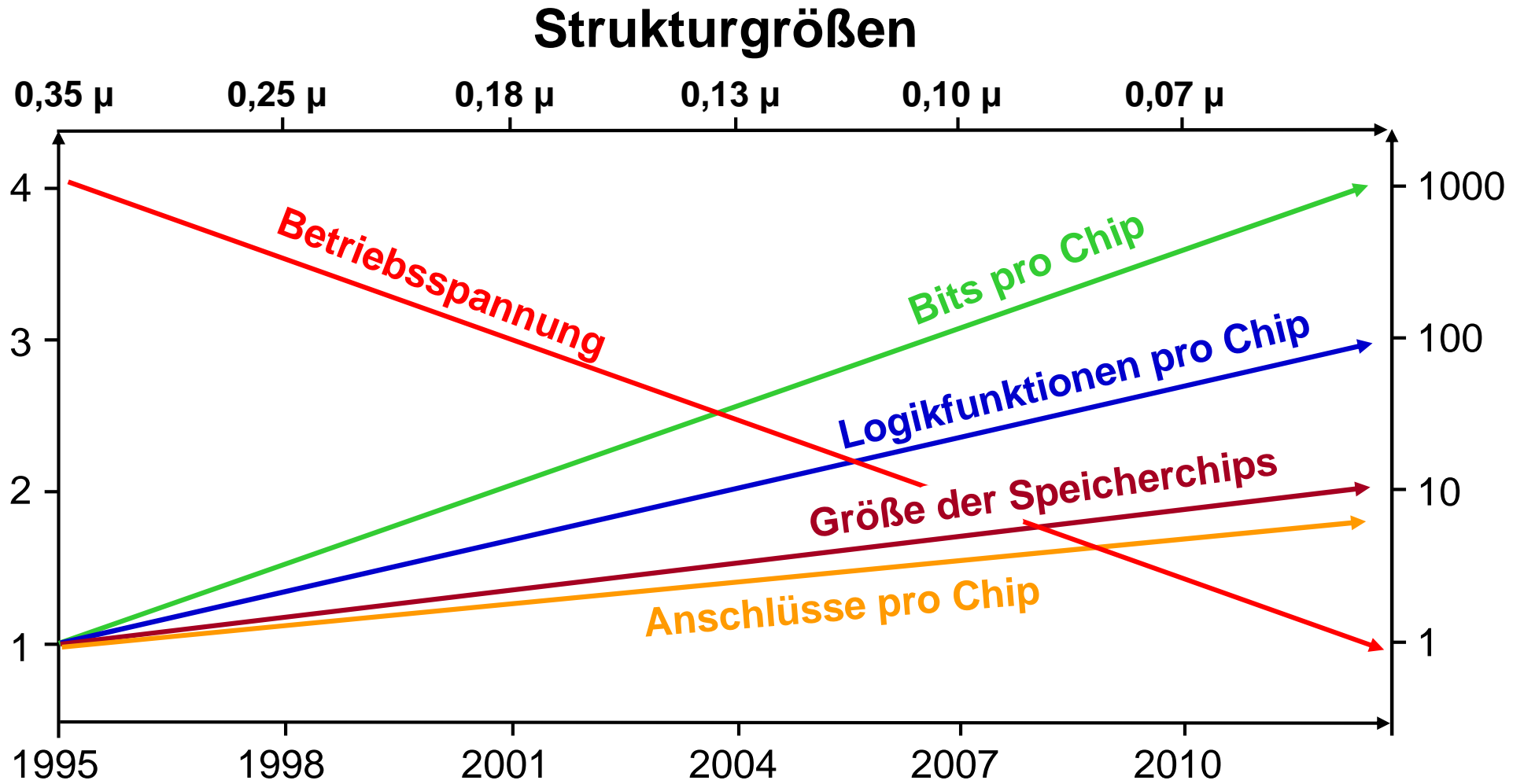
# Immer mehr Transistoren auf einem VLSI-Chip

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

Year of 1 <sup>st</sup> 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 <sup>2</sup> )	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

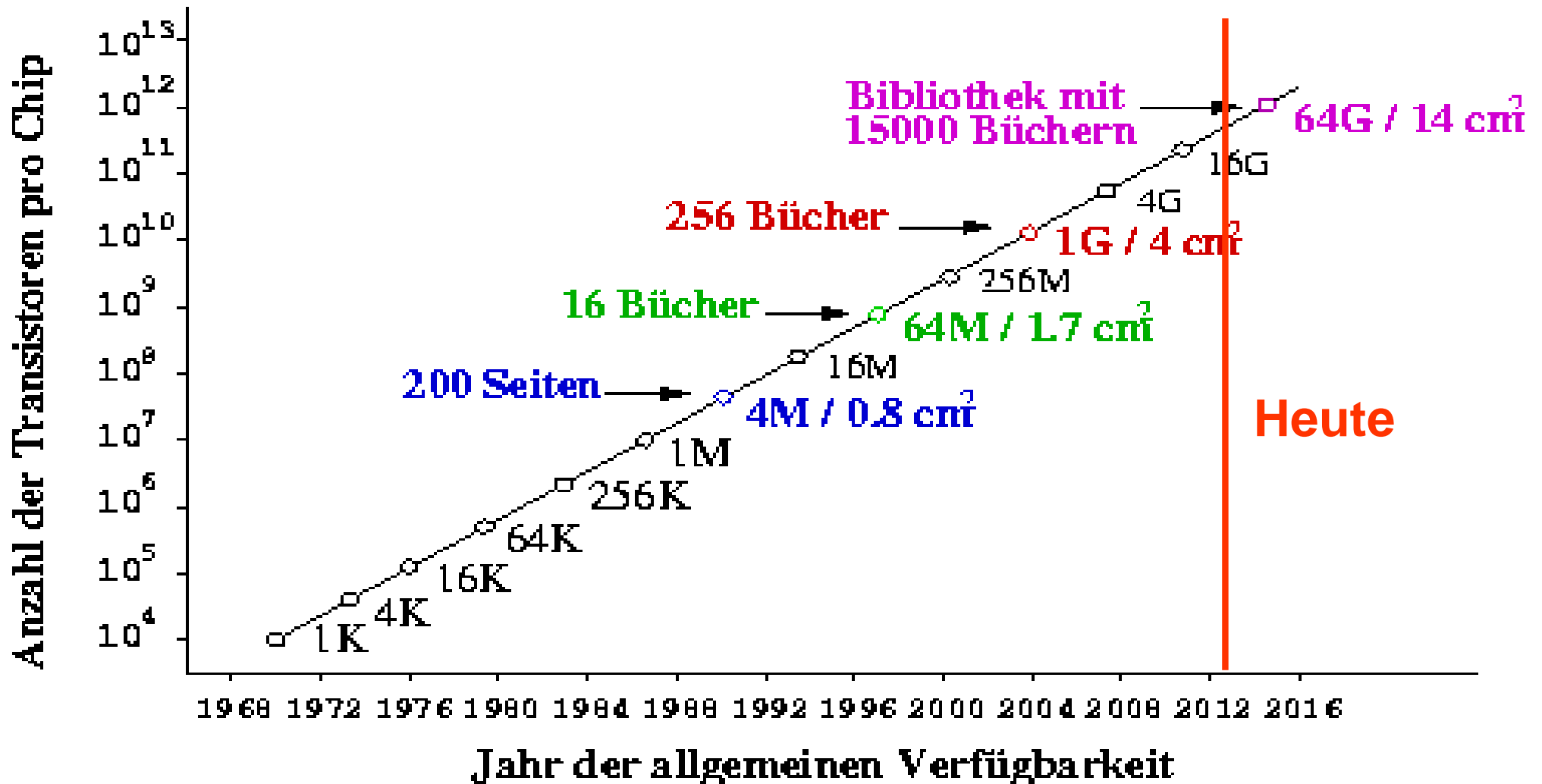
...wurde schnell von der Realität überholt!

# 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