

## — 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](mailto:plichta@ifi.uzh.ch))
  - Daniel Dönni per E-Mail: [doenni@ifi.uzh.ch](mailto:doenni@ifi.uzh.ch)
  - Corinna Schmitt per E-Mail: [schmitt@ifi.uzh.ch](mailto: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**



**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, ...



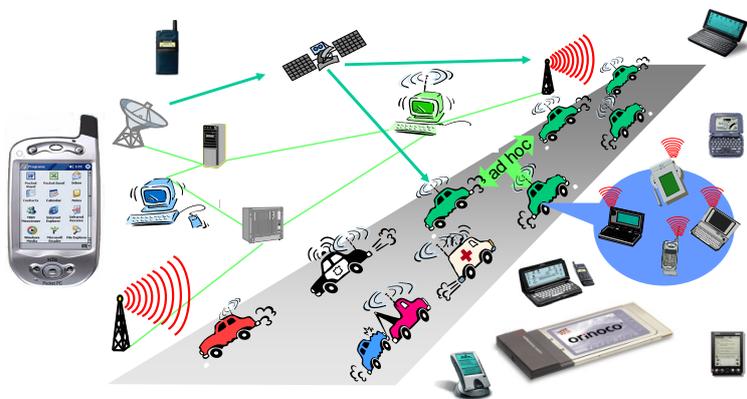
...oder in der Nähmaschine!



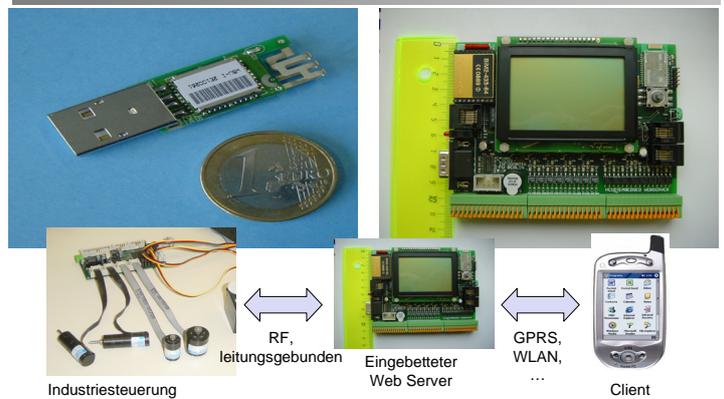
**Beispiel: Kommunikationstechnik in Verkehrsmitteln**



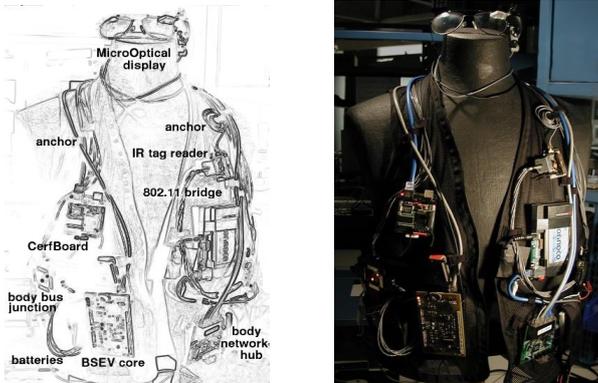
**Beispiel: Mobilität und Kommunikation**



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



## Beispiel: Wearable Computers, z.B. MIThril



© 2013 Burkhard Stiller

M1 - 13

ifi

## 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, ...).

© 2013 Burkhard Stiller

M1 - 14

ifi

## 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.



© 2013 Burkhard Stiller

M1 - 15

ifi

## 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
    - 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

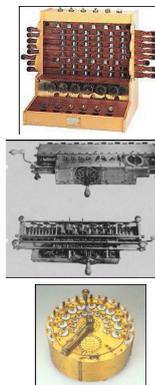
© 2013 Burkhard Stiller

M1 - 16

ifi

## 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



© 2013 Burkhard Stiller

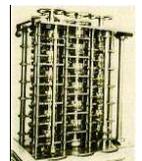
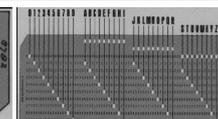
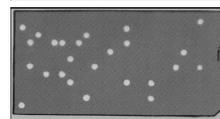
M1 - 17

ifi

## 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.	Klein.-Ang.	Lehr.-Ang.	Stabsbeam.	Selbständ.	Senst.	Bürgerrecht	ja	nein
Religion	evang.	kath.	jüd.	sonst.	monetär. Eink.	bis 100 \$	bis 200 \$	bis 500 \$	über 500 \$	



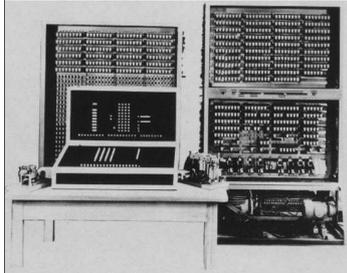
© 2013 Burkhard Stiller

M1 - 18

ifi

## 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.



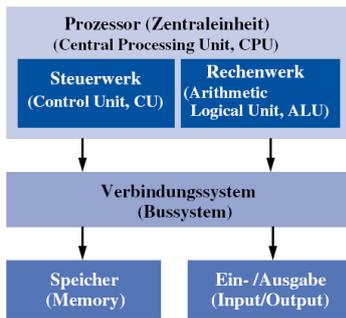
## Howard H. Aiken: Mark I

- 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



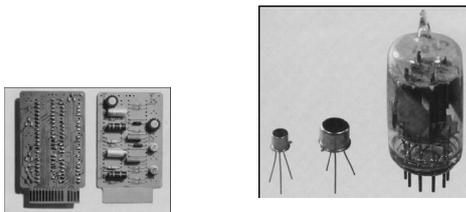
## 1. Generation: Elektronische Röhrenrechner

- 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.



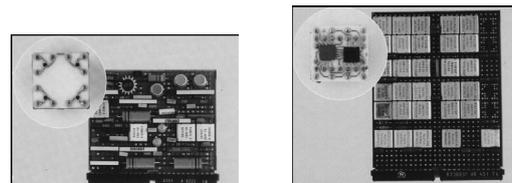
## 2. Generation: Transistorrechner

- 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.

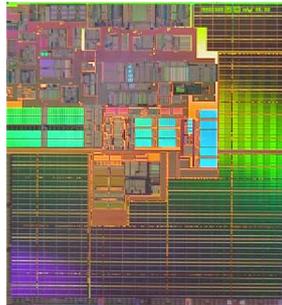


## Mikroprozessoren – Die Formel 1

- “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).

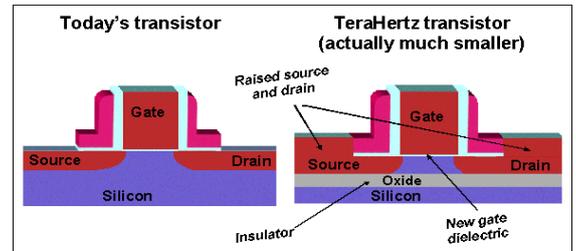


Intel Itanium 2 (Madison)

## Beispiel: Terahertz-Transistor (Intel)

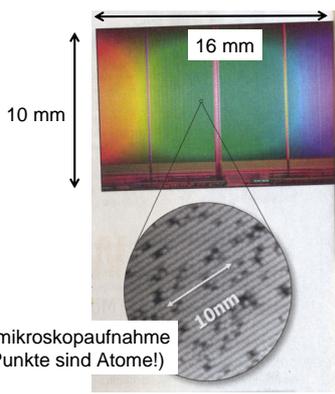
- Spitzen-Transitfrequenz: 2,63 THz, damit 0,38 ps Gatterverzögerung!
- Also nur noch 0,000 000 000 000 38 s ...
- Oder weniger als 76 µm Wegstrecke für elektromagnetische Wellen ...

Tera:  $10^{12}$   
pico:  $10^{-12}$   
micro:  $10^{-6}$



## Schaltkreise, CPUs – Größenordnungen

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

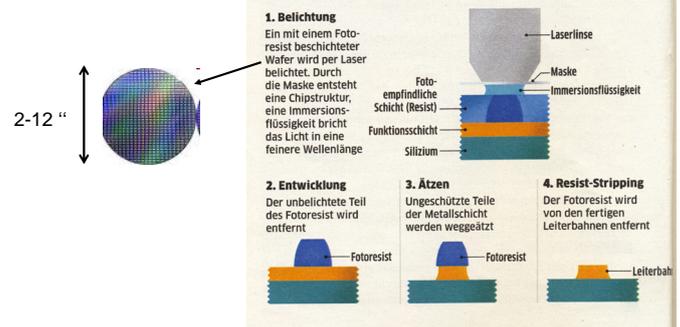


Rastertunnelmikroskopaufnahme (Die hellen Punkte sind Atome!)

## Immersionolithographie

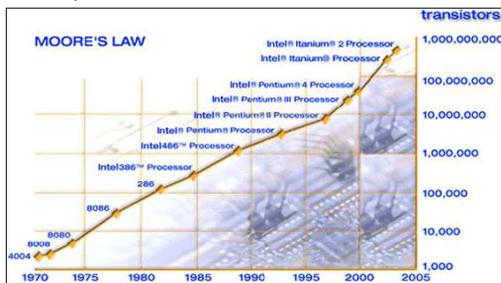
### FERTIGUNG MIT IMMERSIONSLITHOGRAPHIE

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



## 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.

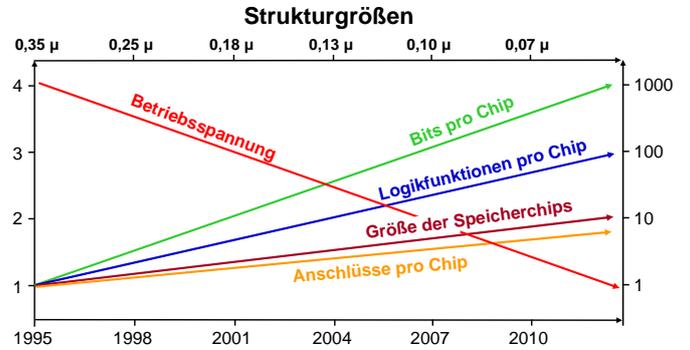
## Immer mehr Transistoren auf einem VLSI-Chip

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

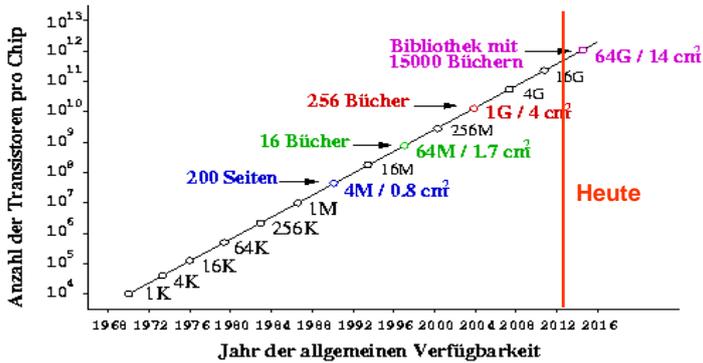
Year of 1 <sup>st</sup> shipment	1997	1999	2001	2003	2006	2009	2012
Local clock (GHz)	0.75	1.25	1.5	2.1	3.5	6	10
Across chip (GHz)	0.75	1.2	1.4	1.6	2	2.5	3
Chip size (mm <sup>2</sup> )	300	340	385	430	520	620	750
Feature size (nm)	250	180	150	130	100	70	50
Number of chip I/O	1450	2000	2400	3000	4000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