

# TI I

## Grundlagen Technische Informatik

### Wintersemester 2010/2011

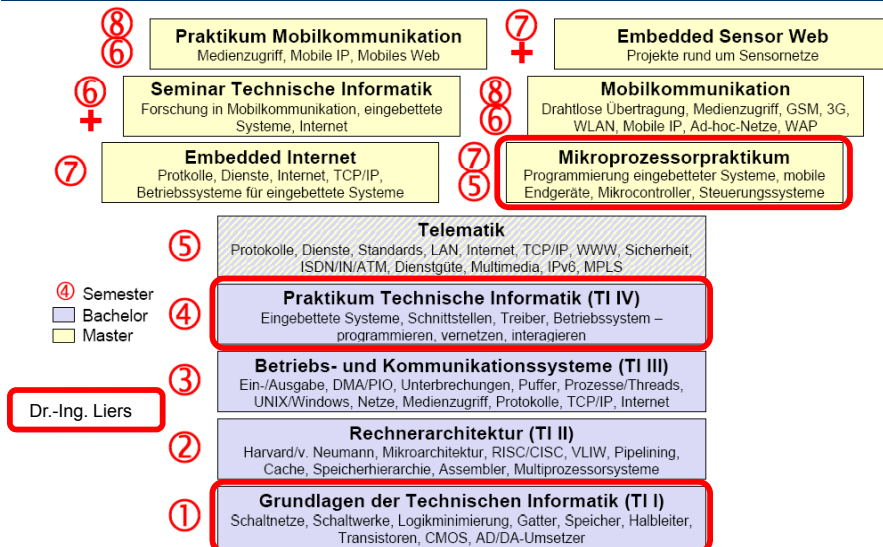


**Dr.-Ing. Achim Liers**  
**AG Technische Informatik**  
**FB Mathematik und Informatik**

## Ziele der Vorlesung

- **Informatik ist nicht nur „Programme und PCs“**
  - Kompetenz im Systemdenken gefordert, hierzu gehört ebenso eine fundierte Kenntnis in Hardware, Rechnerarchitekturen und elektrotechnischen Grundlagen
- Problemlösungen erfordern meist eine Kombination aus Hardware und Software
  - Vielfältige Randbedingungen (Preis, Betriebstemperatur, Leistung, ...) können z.B. eine spezielle Rechnerarchitektur erfordern
- Informatikerinnen und Informatiker müssen verstehen, wie datenverarbeitende Systeme funktionieren
- Grundlagen der Technischen Informatik
  - Legt die Grundlagen für den Bereich der Technischen Informatik
  - Zeigt die Hardware-Seite von Rechnersystemen
  - Deckt den Bereich von der Logik zu einfachsten CPUs ab

## Lehrveranstaltungen in der Technischen Informatik



## TI I Vorlesung

<http://cst.mi.fu-berlin.de/teaching/WS1011/19504-V-TI-I/index.html>



Freie Universität Berlin | Home | Teaching | Projects | Members | Publications | Events | Contact | Imprint

Telematics Computer Systems

ScatterWeb | FACTS | FeuerWhere | OPNEX | Gallery

Quick Links

**Mikroprozessor Praktikum**

**Motivation:**  
Unser Alltag ist ohne Mikrocontroller in den unterschiedlichsten Anwendungen nicht mehr vorstellbar. Allerdings ist den meisten Produkten äußerlich nicht anzusehen, das ein Mikrocontroller für die Funktionalität des Produktes sorgt. Ob Telekommunikation, Auto, Radio, Fernsehen oder Blutdruck- und Zuckermessgeräte der Markt für Mikrocontroller ist um ein Vielfaches größer als der Markt der PC-Technik.

Das Mikroprozessorkurriculum verfolgt die Zielstellung Einblicke in die Struktur moderner leistungsfähiger Mikrocontroller für Low Power Anwendungen zu geben und Grundkenntnisse in der hardwarenahen Programmierung zu vermitteln.

Das Mikroprozessorkurriculum basiert auf dem MSP430H Sensorboard. Das Board verfügt neben dem Mikrocontroller über einen leistungsfähigen 868MHz Transceiver und mehrere Sensoren. Es stellt damit auch eine ideale Plattform für drahtlose Sensornetze dar.

Der auf dem Board eingesetzte 16Bit Mikrocontroller MSP430F1612 von Texas Instruments ist ein Marktführer unter den LowPower Prozessoren für batteriebetriebene Geräte.

Auf die Programmierung und Nutzung des Transceiver CC1100 von Texas Instruments wird eingegangen.

Als Entwicklungsumgebung wird „Code Composer Essentials for MSP430“ von Texas Instruments eingesetzt.

Während des Mikroprozessorkurriculums erlangen Sie Fähigkeiten und Fertigkeiten für die eigenständige Entwicklung von Mikrocontroller-Anwendungen.

**Datenblätter:**

- MSP430F1612
- MSP430 User's Guide
- MSP430 Applications Report
- Burser 100000000
- Sensor SH11
- Transceiver CC1100

**Programmierung:**

- Roboterwelt
- Pin-Ausgang
- TU Cleverheit
- Galliescomputing

**Literatur:**

- TI MSP430 Homepage
- MSP430 Buch
- C-Programmierung

© 2006 Freie Universität Berlin, AG CST



Freie Universität Berlin | Home | Teaching | Projects | Members | Publications | Events | Contact | Imprint

Telematics Computer Systems

ScatterWeb | FACTS | FeuerWhere | OPNEX | Gallery

Quick Links

**Technische Informatik IV - Praktikum**

**Einführung:**  
Moderne Telematik und Telemetrie Anwendungen basieren auf Embedded Systemen mit Mobilfunkbindung. Haupteinsatzgebiete sind Smart Metering, Flottennavigation, Mautsysteme, Remote Control und Applikationen im Automobilbereich.

Die Praktikumsveranstaltung vermittelt Ihnen Grundwissen über die Hardware und die Programmierung eines modernen GSM-Moduls. Sie erwerben die Fähigkeit eigenständig Anwendungen für den Telematikbereich zu entwickeln.

**Zielhardware ist das Q2686-Modul der Firma Sierra Wireless.**  
Das Q2686-Modul basiert auf der ARM945/DSP CPU. Es ist möglich, Programme autonom auf dem Modul laufen zu lassen. Das Modul ist 32x40mm groß.

sie werden aufgabenstellungen aus den bereichen der telefonie, der lokalisierung, der telematik und der internetanbindung bearbeiten.

Dazu notwendige Grundfunktionen werden prototypisch und transparent behandelt.

Nach einer Einführung in die Hardware und die Entwicklungs-umgebung, werden Sie sich in den ersten Aufgaben mit der Nutzung einfacher AT-Befehle vertraut machen.

**Q2686 Modul**

Hauptbestandteil des Praktikums ist aber die Programmierung des Q2686-Moduls. Die Programmierung erfolgt in C und basiert auf dem Betriebssystem OpenAT der Firma Sierra Wireless.

Aus der Sierra Wireless Software Suite kommt das HDM Developer Studio zum Einsatz. Unter Software sind alle dazu notwendigen Informationen und auch Installationshinweise zusammengefasst.

**Datenblätter:**

- AT Commands
- AT Commands WSP
- ADL User Guide

**Hilfestellungen:**

- Masterprotokolle
- Einführung AT-Befehle
- Einführung in C

**Literatur:**

- Sierra Wireless
- Galliescomputing (C von A bis Z)
- C-Programmierung

## Termine, Tutorien und Aktuelles



- Vorlesung im WS10/11
  - Freitag, 12:00-14:00h im Hörsaal, Takustr. 9
- Sprechstunde
  - Dr.-Ing. Achim Liers: Montag, 12:00-14:00h, Raum K62, Takustr. 9
  - Tutoren: in den Tutorien und nach Vereinbarung
- Tutorien (Therese Haimberger, Michael Bartel, Andreas Benzin und Paul Podlech)
  - A - Fr., 08-10Uhr, Takustrasse 9, SR 046
  - B - Fr., 08-10Uhr, Takustrasse 9, SR 055
  - C - Fr., 08-10Uhr, Takustrasse 9, SR 051
  - D - Fr., 10-12Uhr, Takustrasse 9, SR 046
  - E - Fr., 10-12Uhr, Takustrasse 9, SR 055
  - F - Do., 14-16Uhr, Takustrasse 9, SR 046
  - G - Do., 14-16Uhr, Takustrasse 9, SR 055
  - H - Do., 08-10Uhr, Takustrasse 9, SR 055
- Aktuelles ist zu finden unter
  - <http://cst.mi.fu-berlin.de/teaching/WS1011/index.html>
  - <http://cst.mi.fu-berlin.de/teaching/WS1011/19504-V-TI-IV/index.html>

## Übungsblätter



- Übungsblätter
  - Alle Übungsblätter finden sich im Netz mit Bearbeitungsdatum
  - Die Bearbeitung der Blätter erfolgt individuell
- Besprechung
  - In den Tutorien
  - Vorrechnen durch Teilnehmer der Tutorien (aktive Teilnahme)
- Praktische Aufgaben
  - Können auch an den Pool-Rechnern durchgeführt werden
  - Näheres in der Vorlesung/in den Tutorien
  - Vorstellung in Tutorien bzw. den Tutoren

- **Scheinkriterien**
- Für die Tutorien gilt:
- Aktive Teilnahme an den Tutorien mit Präsentation der Übungsaufgaben ist erforderlich
- Maximal 2-maliges Fehlen bei den Tutorien ist zulässig
- Es werden vier Testate geschrieben (jeweils ca. 1/2 Stunde)
- Minimal sind 50% der Maximalpunktzahl der Testate erforderlich
- Voraussetzung für die Klausurzulassung:
- Aktive und regelmäßige Teilnahme an den Tutorien
- Mindestens drei erfolgreiche Testate
- Die Note für den Schein zur Veranstaltung wird folgendermaßen ermittelt:
- Mindestens 50% der Maximalpunktzahl bei der Klausur sind erforderlich
- Ist die Klausurnote 5 ist auch Note für den Leistungsschein 5
- Scheinnote =  $((\text{Durchschnittsnote der Testate}) \cdot 3 + (\text{Note der Klausur}) \cdot 7) / 10$
- Die Durchschnittsnote der Testate wird aus den drei besten Testaten ermittelt

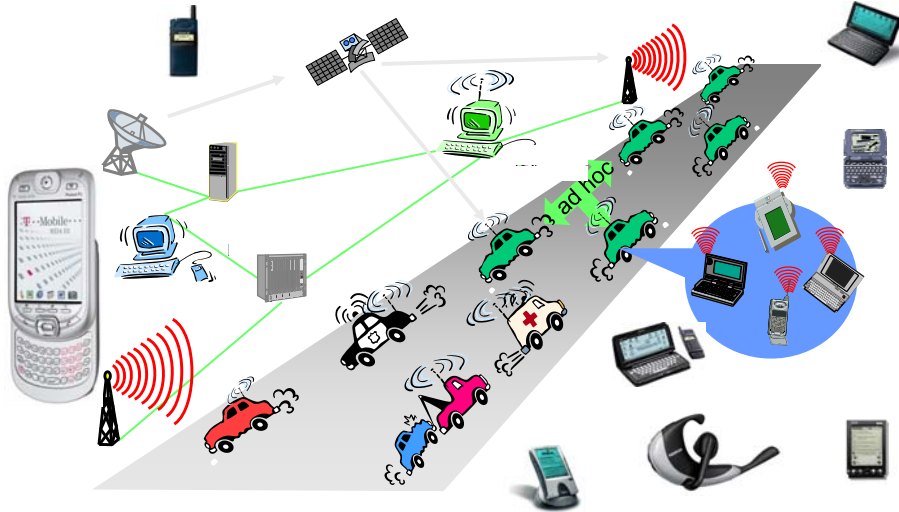
- Folienkopien zur Vorlesung im Netz unter :
  - <http://cst.mi.fu-berlin.de/teaching/WS1011/19504-V-TI-I/index.html>
- Zum Selbststudium empfohlen:
  - [http://de.wikipedia.org/wiki/Technische\\_Informatik](http://de.wikipedia.org/wiki/Technische_Informatik)
  - <http://de.wikipedia.org/wiki/Elektrotechnik>
  - <http://de.wikipedia.org/wiki/Elektronik>
  - <http://de.wikipedia.org/wiki/Mikroelektronik>
  - <http://de.wikipedia.org/wiki/Logikgatter>
  - [http://de.wikipedia.org/wiki/Programmierbare\\_logische\\_Schaltung](http://de.wikipedia.org/wiki/Programmierbare_logische_Schaltung)
  - [www.elektronik-kompodium.de](http://www.elektronik-kompodium.de)

- H. M. Lipp:  
Grundlagen der Digitaltechnik, 3. Auflage,  
Oldenbourg Verlag 2000
- Th. R. McCalla:  
Digital Logic and Computer Design, Macmillan Publishing Company in New York  
1992
- W. Oberschelp, G. Vossen:  
Rechneraufbau und Rechnerstrukturen  
8. Auflage Oldenbourg-Verlag München, 2000
- J. Hayes:  
Computer Architecture and Organisation  
McGraw, 3. Auflage 1998
- H. Liebig, S. Thome:  
Logischer Entwurf digitaler Systeme, 3. Auflage,  
Springer Verlag, 1996
- G. Scarbata:  
Synthese und Analyse digitaler Schaltungen,  
Oldenbourg Verlag 1996
- A. Bleck, M. Geodecke, A. Huss, K. Waldschmidt:  
Praktikum des modernen VLSI-Entwurfs,  
Teubner Verlag 1996

- Viele neue computerbasierte Geräte sollen den Alltag erleichtern
  - Handheld/wearable computer
- Rechner werden „unsichtbar“ und nehmen in der Zahl massiv zu (98% der CPUs!)
  - 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: Mobilität & Kommunikation



## Beispiel: Informationstechnik im Auto

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

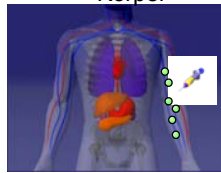


...oder in der Nähmaschine!



## Beispiele: Drahtlose Sensornetze

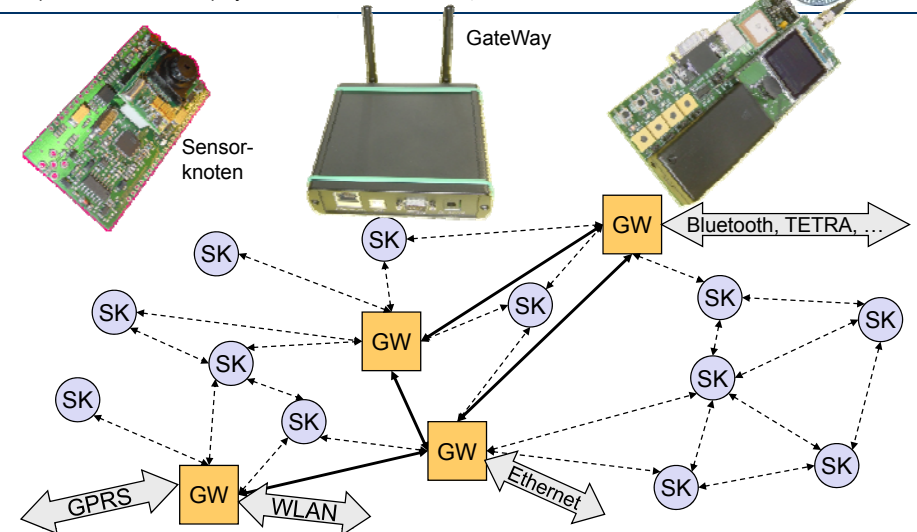
- Lageerkundung
- Erkennung von Gebäudeschäden
- Vision: Sensoren im Körper

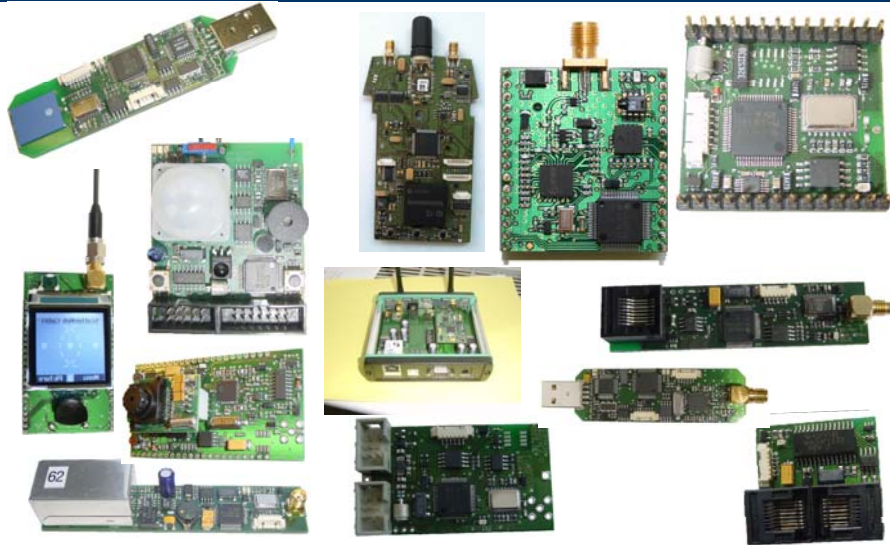


- Einsatzunterstützung
- Erkennung von Leckagen

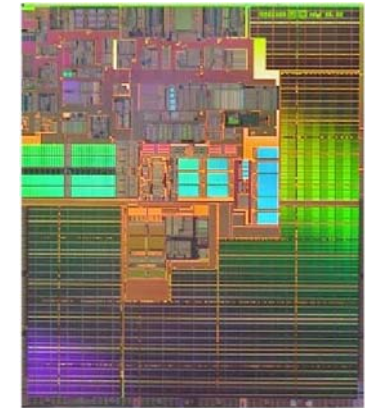
## Selbstkonfigurierende Netze mit ScatterWeb

<http://cst.mi.fu-berlin.de/projects/ScatterWeb/index.html>



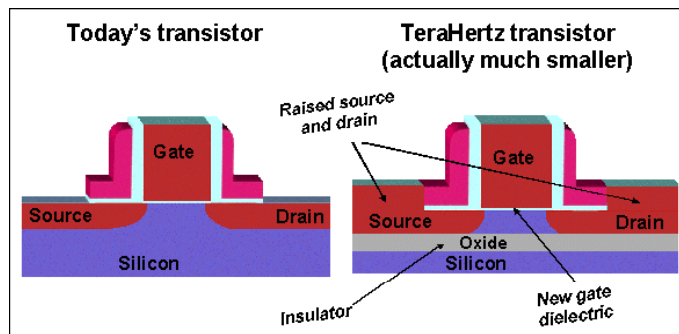


- “Das Wettrennen um die schnellsten Mikroprozessoren könnte man als Formel 1 der Computertechnik bezeichnen.” (Die ZEIT vom 18. März 1994)
- Die Leistungssteigerung bei Mikroprozessoren ist durch folgende Fortschritte erreicht worden:
  - durch Steigerung der Gatterzahl auf dem Chip,
  - durch Steigerung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



Intel Itanium 2 (Madison)

- 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 ...
  - <http://www.intel.com/cd/corporate/pressroom/emea/deu/251533.htm>



- 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 stellt 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.

## Anzahl 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>

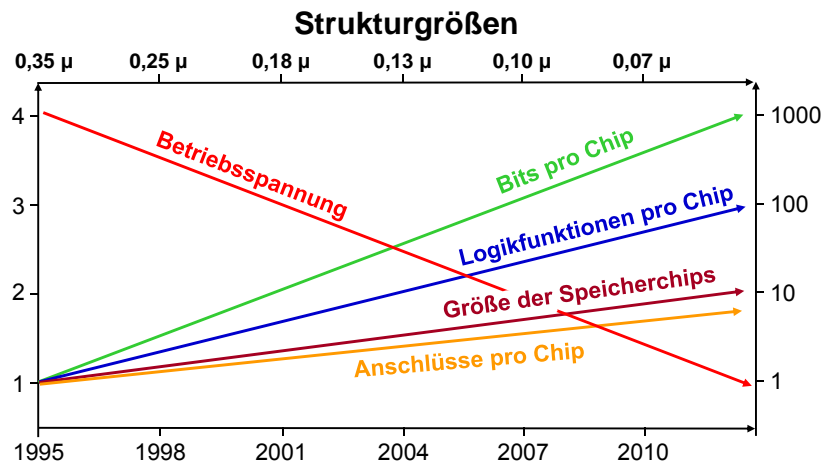
Year of 1 <sup>st</sup> shipment	1997	1999	2001	2003	2006	2009	2012
Local clock (GHz)	0.75	1.25	1.5	2.1	3.5	6	10
Across chip (GHz)	0.75	1.2	1.4	1.6	2	2.5	3
Chip size (mm <sup>2</sup> )	300	340	385	430	520	620	750
Feature size (nm)	250	180	150	130	100	70	50
Number of chip I/O	1450	2000	2400	3000	4000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

...wurde schnell von der Realität überholt!

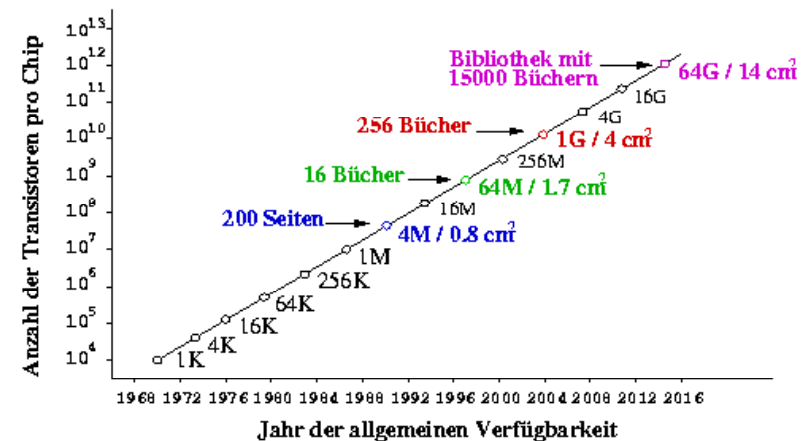
## Prozessorentwicklung

Mikroprozessor	Jahr	Transistoren
4004	1971	2300
8008	1972	2500
8080	1974	4500
8086	1978	29000
Intel286	1982	134000
Intel386	1985	275000
Intel486	1989	1200000
Intel Pentium	1993	3100000
Intel Pentium II	1997	7500000
Intel Pentium III	1999	9500000
Intel Pentium 4	2000	42000000
Intel Itanium	2001	25000000
Intel Itanium 2	2003	220000000
Intel Itanium 2 (9MB Cache)	2004	592000000

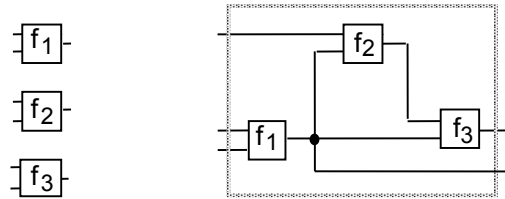
## Mehr Leistung bei weniger Stromverbrauch



## Verfügbarkeit von Speicherchips



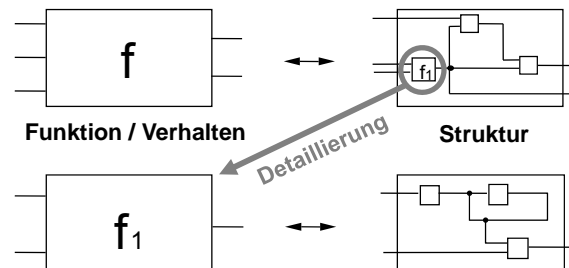
- Meist komplexe Systeme
  - Vielzahl von Komponenten
  - Komponenten sind untereinander verbunden (Struktur)
- Gewünschtes Verhalten



Komponenten + Struktur = Gewünschtes Verhalten

- 2 wesentliche Aufgaben: Entwurf (Synthese) und Analyse
- Hauptaufgabe des **Entwurfs**:
  - bestimmte Komponenten mit bekanntem Verhalten in einer Struktur so zu verbinden, dass das gewünschte Verhalten resultiert und die Kosten möglichst gering sind
- Hauptaufgabe der **Analyse**:
  - Vorhersage und Simulation des Verhaltens einer Struktur aus bekannten Komponenten

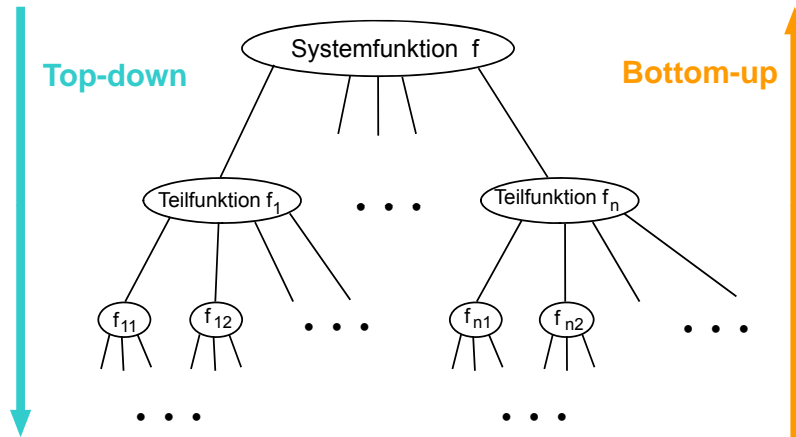
- Um die Komplexität beherrschen zu können, ist es notwendig, verschiedene Abstraktionsebenen einzuführen.



- Diese Hierarchisierung erleichtert sowohl den Entwurf als auch die Analyse

- 2 Extremstrategien:
- **Top-down** Entwurf
  - rekursive Zerlegung der Gesamtfunktion, bis alle Teilfunktionen durch bekannte Komponenten ausgeführt werden
- **Bottom-up** Entwurf
  - sukzessive Kombination von bekannten Elementen, bis das gewünschte Systemverhalten erreicht ist





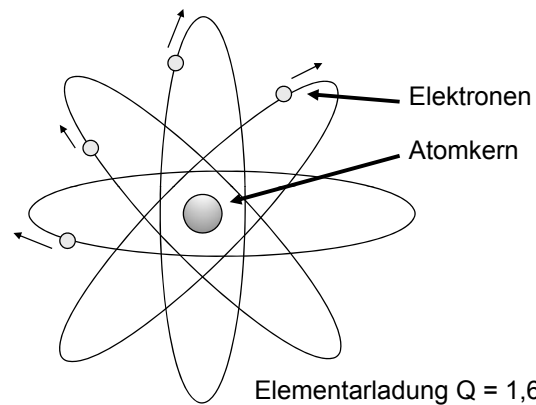
- Aus didaktischen Gründen wird ein „Bottom-up“-Vorgehen angewendet.
  - Halbleiter - Logik – Gatter – Schaltnetze – Schaltwerke
- Dies ist für die Einführung in ein Stoffgebiet besser als „Top-down“, da jeweils auf bekanntem Stoff aufgebaut werden kann.
  - Rechnerstruktur baut auf Grundlagen der Technischen Informatik auf
  - Rechnerorganisation baut auf Rechnerstrukturen auf
  - Rechnerarchitektur baut auf Rechnerorganisation auf

1. Grundlagen
2. Gleichstromnetze
3. Wechselspannungsnetze
4. Halbleiter und Bipolare Transistoren
5. Halbleiter und Unipolare Transistoren
6. Operationsverstärker
7. AD- und DA-Wandler
8. Digitaltechnik 1
9. Digitaltechnik 2
10. Grundsaltungen der Digitaltechnik
11. Schaltnetze
12. Schaltwerke
13. Speicher

### Kapitel 1: Grundlagen

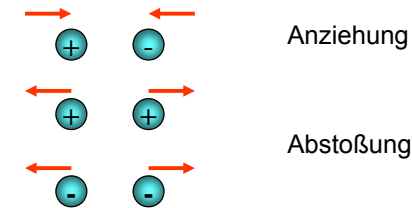
- Atommodell
- Ladungsträger
- Leitmechanismen in Stoffen
- Potential und Spannung
- Kapazität
- Elektrisches und magnetisches Feld
- Widerstand
- Strom, Spannung, Leistung und Arbeit





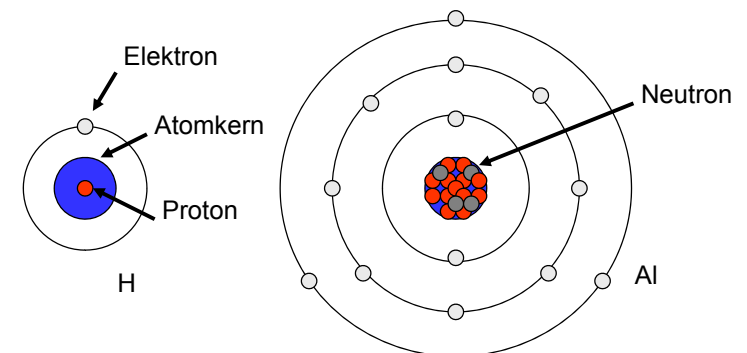
Elementarladung  $Q = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ As}$

## Kraftwirkung auf Ladungen



Gleichnamige Ladungen stoßen sich ab,  
ungleichnamige Ladungen ziehen sich an

- **Elektronen** sind die Träger der negativen Elementarladung – Protonen die Träger der positiven Elementarladung
- **Elektrisch neutrale Atome** besitzen genauso viele positive wie negative elektrische Ladungen.
- Positiv oder negativ geladene Atome oder Atomverbände nennt man **Ionen**.
- **Atomkerne** besitzen auch elektrisch neutrale Teilchen, die Neutronen.
- **Protonen und Neutronen** bestimmen im wesentlichen das Gewicht des Atoms.

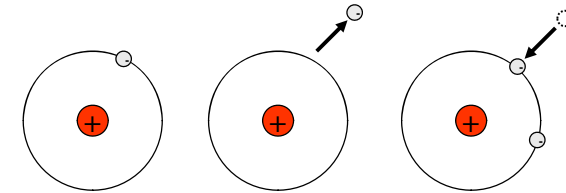


Die Atome sind nach außen elektrisch neutral.

1 Elementarladung entspricht  $1,602 \cdot 10^{-19} \text{ As}$

1 As = 1 C sprich ein Coulomb

1 Coulomb entspricht  $6,24150948 \cdot 10^{18}$  Elementarladungen



neutrales  
Atom

positives  
Ion

negatives  
Ion

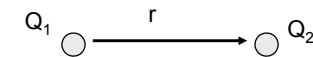
Verursacht durch Reibung, Wärme, Licht, magnetische oder elektrischer Felder

## Leitmechanismus in Stoffen

- **Leiter**
    - **Elektronenleiter** (Metalle)
    - **Ionen-Leiter** (Elektrolyte, Schmelze und ionisierte Gase)

Stoffe, die viele und frei bewegliche Ladungsträger besitzen, heißen Leiter.
  - **Nichtleiter** (Kunststoff, Gummi, Glas, Vakuum)
  - **Halbleiter** (Silizium, Selen, Germanium)
- Stoffe, die nur wenige und an die einzelnen Moleküle gebundene Ladungsträger besitzen, heißen Nichtleiter.
- Halbleiter sind Stoffe, bei denen erst durch äußere Einflüsse Valenzelektronen freierwerden und dadurch Leitfähigkeit eintritt.

## Elektrisches Feld Kraftwirkung zwischen Ladungen

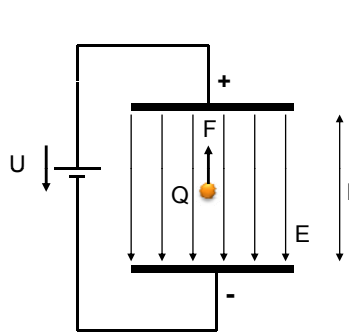


$$F = E \cdot Q_2 \quad F = \frac{Q_1 \cdot Q_2}{4\pi\epsilon_0 r^2}$$

$$\epsilon_0 = 8,859 \cdot 10^{-12} \frac{\text{As}^2}{\text{Nm}}$$

Elektrische Feldkonstante für Vakuum

F ist abhängig vom Ort der Ladung und der Ladungsmenge selber.  
E ist die elektrische Feldstärke.  
Feldlinien beginnen in einer positiven Ladung und enden in einer negativen Ladung.



$$E = \frac{F}{Q}$$

$$E = \frac{U}{l}$$

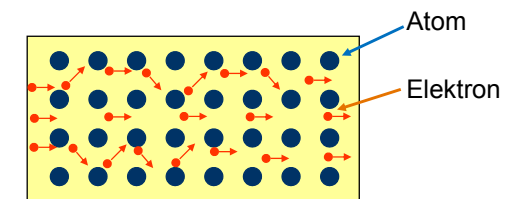
E - elektrische Feldstärke  
F - Kraftwirkung  
U - Spannung  
Q - Ladung  
l - Abstand

Die Kraftwirkung auf negative Ladungen ist entgegengesetzt der Feldstärke.  
Die Kraftwirkung auf positive Ladungen ist in Richtung der Feldstärke.

- Der elektrische Strom (**Elektronenstrom**) in einem metallischen Leiter besteht in der gerichteten Bewegung der freien Elektronen des Leiterwerkstoffes. Durch Ladungsbewegung tritt keine stoffliche Veränderung auf.
- Der elektrische Strom (**Ionenstrom**) in einem Ionen-Leiter besteht in der gerichteten Bewegung der Ionen des leitenden Stoffes. Es tritt hierbei ein Stofftransport ein.

- **Gleichstrom** ist ein elektrischer Strom, der stets in die gleicher Richtung und mit gleicher Stärke fließt.
- **Wechselstrom** ist ein Strom, der periodisch seine Richtung und Stärke ändert.
- **Mischstrom** ist ein Strom, der sich aus Gleich- und Wechselstromanteilen zusammensetzt.

- Elektronen bewegen sich mit ca. **3mm/s** in metallischen Leitern.
- Der **Anstoßimpuls** (Impulsgeschwindigkeit) breitet sich in metallischen Leitern annähernd mit Lichtgeschwindigkeit aus.



$$I = \frac{Q}{t}$$

Q- Ladungsmenge  
t - Zeit

$$Q = I \cdot t$$

I - Strom

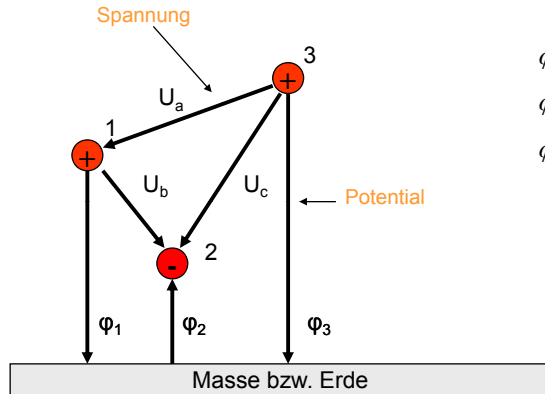
Die Bewegung von  $6,24150948 \cdot 10^{18}$  Elektronen pro Sekunde über einen Leiter entsprechen einem Strom von einem **Ampere**.

- Wärmewirkung
- Lichtwirkung
- Magnetische und dynamische Wirkungen
- Chemische Wirkungen

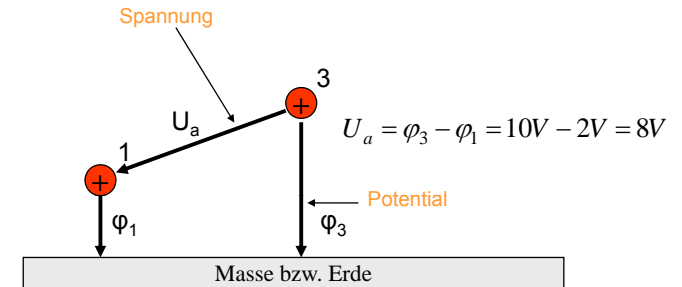


- Spannungen zwischen Punkten einer elektrischen Schaltung oder eines geladenen Körpers und einem festen Bezugspunkt, z.B. Masse (Erde), nennt man **Potentiale** (Kurzzeichen -  $\varphi$  ) und haben immer ein Vorzeichen.
- Eine **Spannung** zwischen zwei Punkten ist die **Differenz der Potentiale** dieser Punkte.





$$\begin{aligned}\varphi_1 &= 2V \\ \varphi_2 &= -4V \\ \varphi_3 &= 10V\end{aligned}$$



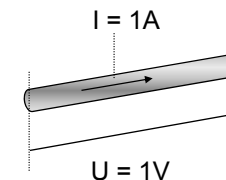
$$U_a = \varphi_3 - \varphi_1 = 10V - 2V = 8V$$

Der Spannungspfeil zeigt bei gegebenen Potentialen immer vom höheren (positiveren) zum niedrigen (negativeren) Potential.

- Die Energie  $W_{ab}$ , die eine Ladung  $Q$  bei der Bewegung vom Punkt A zum Punkt B abgibt, dividiert durch diese Ladung, nennt man **elektrische Spannung**.
- Nimmt dagegen die bewegte Ladung Energie auf, dann nennt man die durch die Ladung  $Q$  geteilte Energiezunahme  $W_{zu}$  eine **Urspannung  $E$**  (auch elektromotorische Kraft EMK) genannt.
- Eine **Urspannungserzeugung** kann zum Beispiel durch chemische Vorgänge, den Thermoeffekt, die Induktion, den Fotoeffekt oder den Piezoeffekt erzeugt werden.

$$U = \frac{W_{ab}}{Q} \quad E = \frac{W_{zu}}{Q}$$

- Das **Volt** ist die elektrische Spannung zwischen zwei Punkten eines homogenen und gleichmäßig temperierten metallischen Leiters, in dem bei einem zeitlich unveränderlichen Strom der Stärke 1 A zwischen beiden Punkten eine Leistung von 1 W umgesetzt wird.

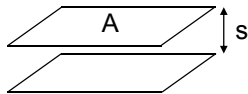


$$P = U \cdot I = 1W = 1VA$$

Der Kondensator ist ein Bauelement zur  
Speicherung elektrischer Ladungen

$$C = \varepsilon_0 \cdot \varepsilon_r \cdot \frac{A}{s}$$

$\varepsilon_0$  – absolute Dielektrizitätskonstante  
 $\varepsilon_r$  – relative Dielektrizitätskonstante  
 $A$  – Fläche der Kondensatorplatte  
 $s$  – Abstand zwischen den Kondensatorplatten

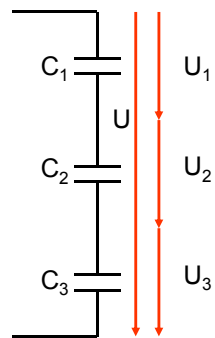


Die Kapazität eines Plattenkondensators mit:  
 $A = 1\text{m}^2$ ,  $s = 1\text{cm}$ ,  $\varepsilon_0 = 8,8542 \cdot 10^{-12} \text{ As/Vm}$  und  $\varepsilon_r = 1,00058$

Berechnet sich wie folgt:

$$C = \varepsilon_0 \cdot \varepsilon_r \cdot \frac{A}{s} = 8,8542 \cdot 10^{-12} \cdot 1,00058 \cdot \frac{1}{0,01} \cdot \frac{\text{As} \cdot \text{m}^2}{\text{Vm} \cdot \text{m}}$$

$$C = 8,8593 \cdot 10^{-10} \text{ F} = 885,93 \text{ pF}$$



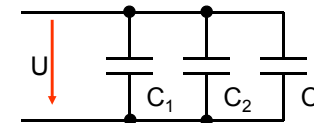
$$U = U_1 + U_2 + U_3$$

$$Q = U \cdot C$$

$$U = \frac{Q}{C}$$

$$Q_{ges} = Q_1 = Q_2 = Q_3$$

$$\frac{1}{C_{ges}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3}$$

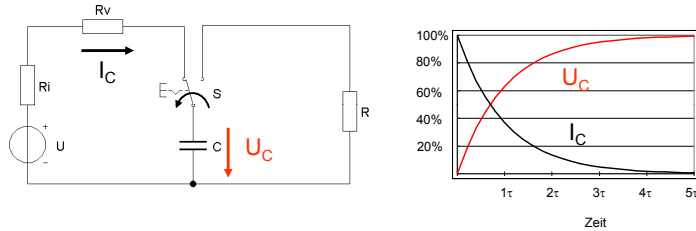


$$Q_{ges} = Q_1 + Q_2 + Q_3$$

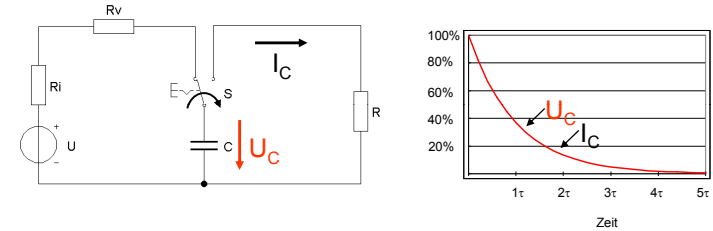
$$Q = U \cdot C$$

$$UC_{ges} = UC_1 + UC_2 + UC_3$$

$$C_{ges} = C_1 + C_2 + C_3$$



$$U_c = U \cdot \left(1 - e^{-\frac{t}{R \cdot C}}\right) \quad I_{C \max} = \frac{U}{R_i + R_v} \quad R_c = \frac{U_c}{I_c} \quad \tau = R \cdot C$$



$$U_c = U \cdot e^{-\frac{t}{R \cdot C}} \quad I_{c \max} = \frac{U}{R} \quad I_c = I_{c \max} \cdot e^{-\frac{t}{R \cdot C}} \quad \tau = R \cdot C$$

$$W = \int_0^Q U \cdot dq$$

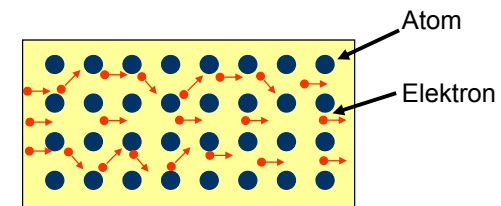
$$W = \int_0^Q \frac{q}{C} \cdot dq$$

$$W = \frac{1}{2} \cdot \frac{Q^2}{C} \quad \leftrightarrow \quad Q = U \cdot C$$

$$W = \frac{1}{2} \cdot C \cdot U^2$$

Die im Kondensator gespeicherte Energie ist von der Kapazität und der Spannung abhängig.

Der elektrische Widerstand wird durch dauerndes Zusammenstoßen der Ladungsträger mit den Atomen verursacht



- Der spezifische Widerstand eines Leiterwerkstoffes ist zahlenmäßig gleich seinem Widerstand bei 1 m Länge, 1mm<sup>2</sup> Querschnitt und einer Temperatur von 20 °C.
- Die Maßeinheit für den spezifischen Widerstand  $\rho$  (sprich: rho) ist [ $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ ]

Der spezifische Widerstand  $\rho$  in [ $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ ]:

- für Kupfer 0,0178
- für Aluminium 0,0285
- für Silber 0,016
- für Gold 0,023

- Widerstand
- Leiterwiderstand
- Leiterlänge
- Spezifischer Widerstand
- Leiterquerschnitt

$$R = \frac{U}{I}$$
$$R = \frac{\rho \cdot l}{q}$$
$$l = \frac{R \cdot q}{\rho}$$
$$\rho = \frac{R \cdot q}{l}$$
$$q = \frac{\rho \cdot l}{R}$$

$$\Delta R = \alpha \cdot \Delta \vartheta \cdot R_{20} \quad \text{Widerstandsänderung}$$
$$R_w = R_{20} + \Delta R \quad \text{Warmwiderstand}$$
$$R_k = R_{20} - \Delta R \quad \text{Kaltwiderstand}$$
$$\Delta \vartheta = \frac{R_w - R_{20}}{\alpha \cdot R_{20}} \quad \text{Temperaturerhöhung}$$
$$\Delta \vartheta = \frac{R_{20} - R_k}{\alpha \cdot R_{20}} \quad \text{Temperaturrückgang}$$
$$\alpha_{\text{Kupfer}} = 0,00393 \cdot \frac{1}{K} \quad \text{Temperaturkoeffizient}$$

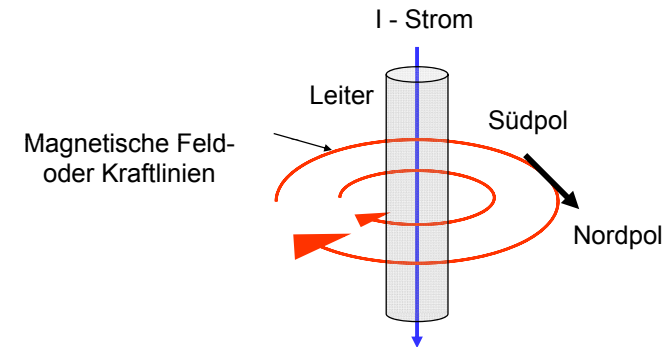
Der elektrische Leitwert ist der Kehrwert des Widerstandes

$$G = \frac{1}{R} \quad \text{Elektrischer Leitwert G in S (Siemens, } S = \Omega^{-1} \text{)}$$
$$R = \frac{1}{G} \quad \text{Elektrischer Widerstand R in } \Omega$$

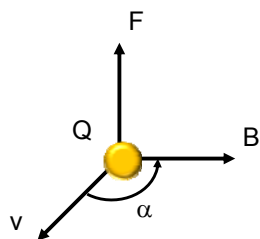


$$P = U \cdot I = \frac{U^2}{R} = I^2 \cdot R \quad \text{Leistung}$$

$$W = P \cdot t = U \cdot I \cdot t \quad \text{Arbeit}$$



Wird in einem magnetischen Feld eine elektrische Ladung  $Q$  mit einer Geschwindigkeit  $v$  unter einem Winkel  $\alpha$  zu einer Feldlinienrichtung bewegt, so wird eine Kraft  $F$  ausgeübt.



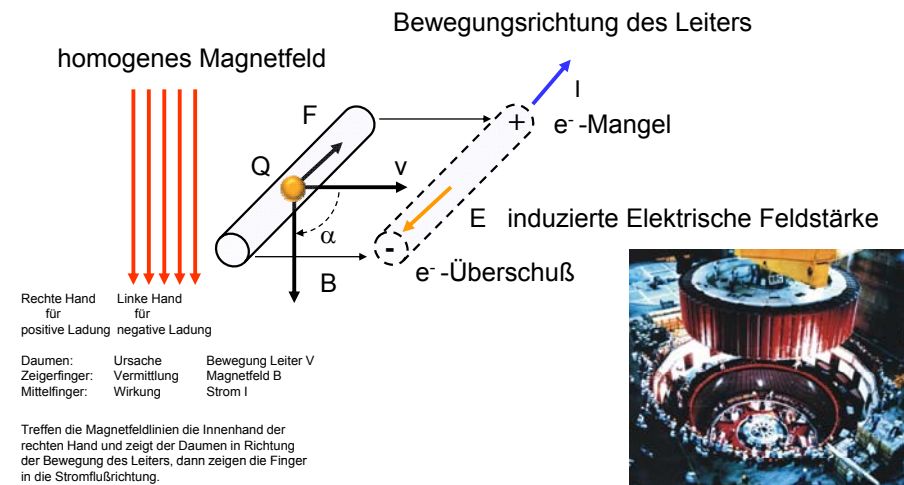
$$F = B \cdot Q \cdot v \cdot \sin \alpha$$

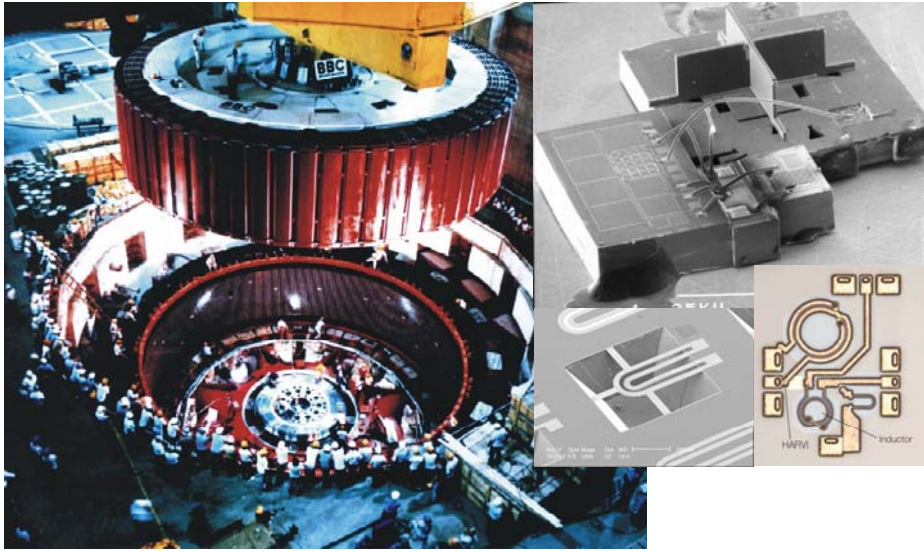
$$F = Q[vB]$$

$B$  - Magnetische Flußdichte

$Q$  - Elektrische Ladung

$V$  - Geschwindigkeit





- Ladung
- Elektrisches Feld
- Elektrische Feldstärke
- Kraftwirkung im Elektrischen Feld
- Strom
- Potential
- Spannung
- Kapazität
- Widerstand
- Leistung
- Arbeit
- Magnetisches Feld
- Kraftwirkung im Magnetischen Feld