TI I

Grundlagen Technische Informatik

Wintersemester 2006/2007

Dr.-Ing. Achim Liers

AG Technische Informatik

FB Mathematik und Informatik

Freie Universität Berlin

liers@inf.fu-berlin.de

Motivation

- Viele neue computerbasierte Geräte sollen den Alltag erleichtern
  - Handheld/wearable computer

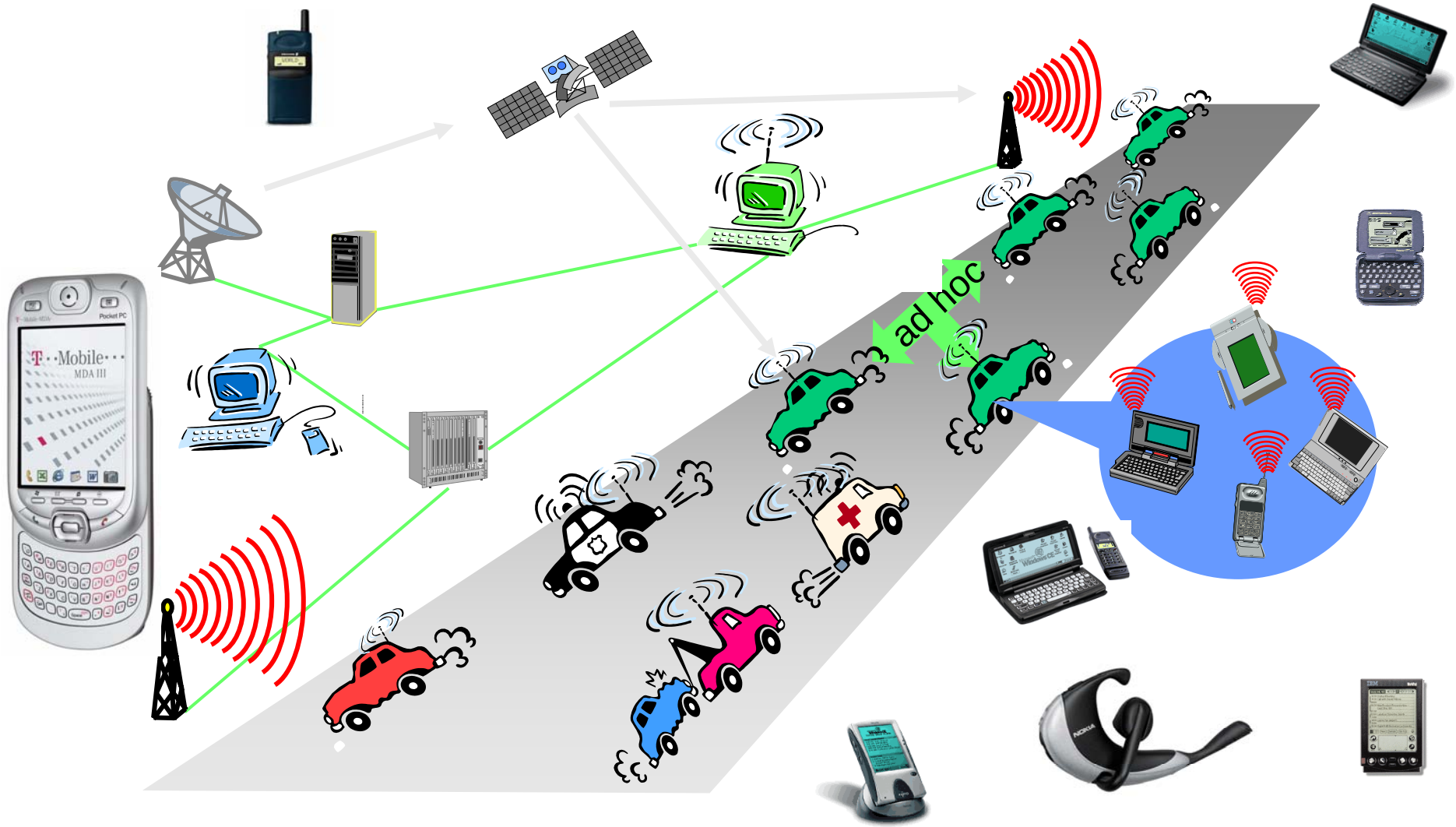
- Rechner werden „unsichtbar“ und nehmen in der Zahl massiv zu (98% der CPUs!)
  - Intelligente Kleidung, allgegenwärtige Systeme, integrierte Steuerungen
- Alles kommuniziert mit Allem
  - Funknetze, Handys, Bluetooth, UMTS, Glasfaser, WWW/WAP
- Integrierte Schaltungen, Chips sind Mitgestalter des zukünftigen wirtschaftlichen Geschehens
  - Boom/Flaute der Hardware-Industrie beeinflusst Politik und Gesellschaft

Beispiel: Informationstechnik im Auto

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

...oder in der Nähmaschine!

Beispiel: Mobilität & Kommunikation

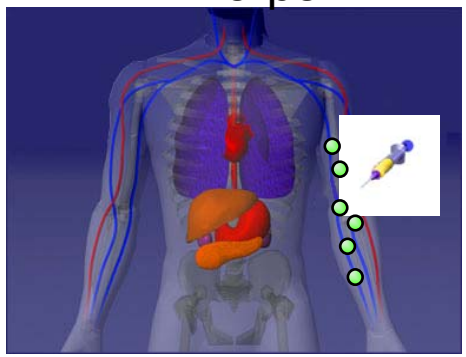


Beispiele: Drahtlose Sensornetze

- Lageerkundung

- Erkennung von Gebäudeschäden

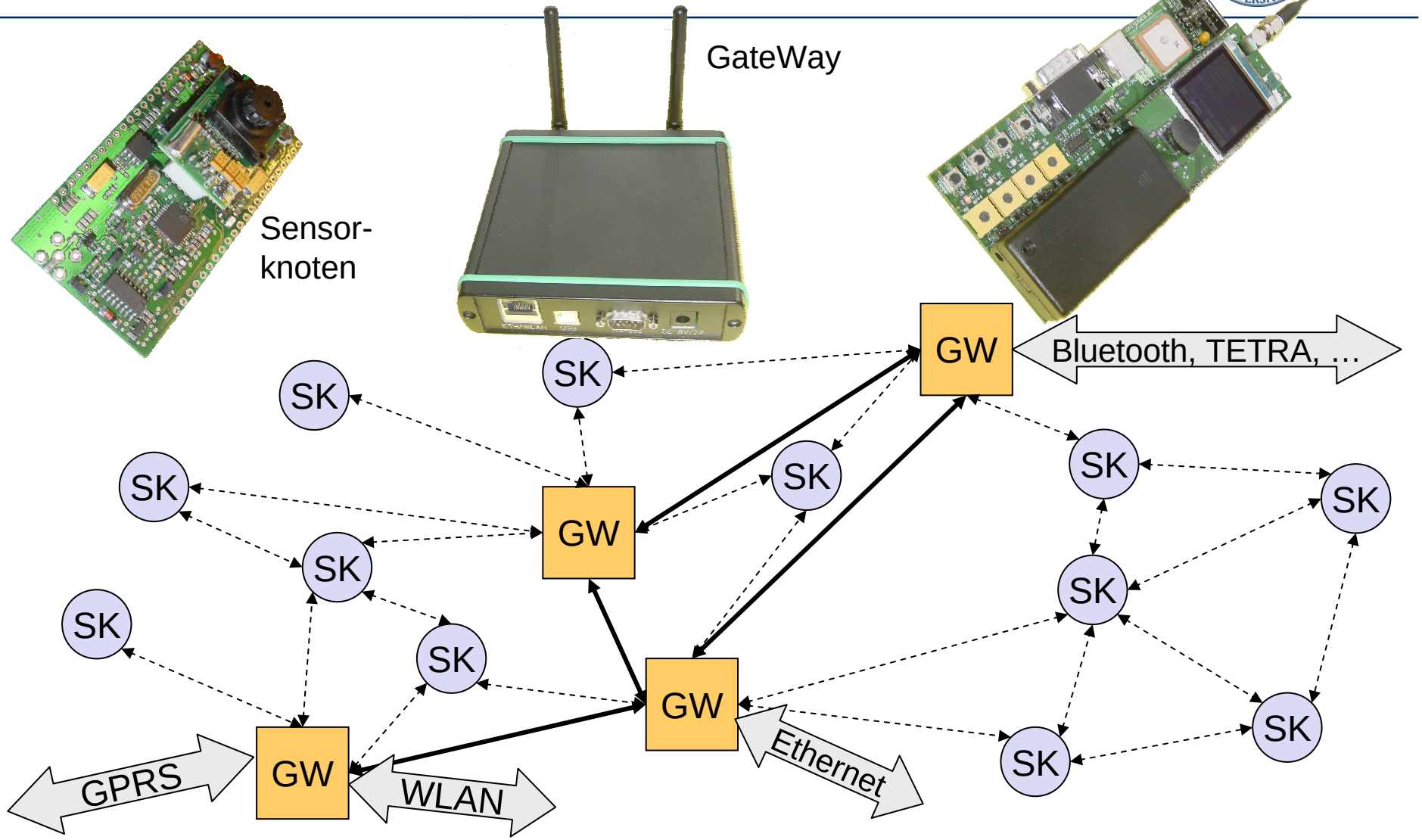
- Vision: Sensoren im Körper



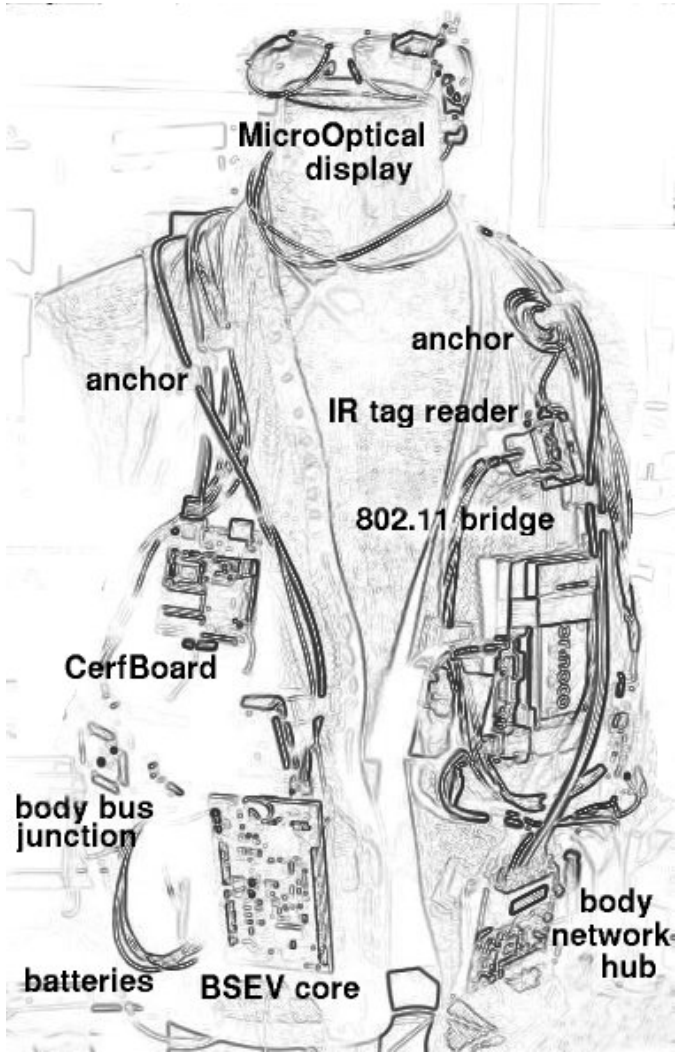
- Einsatzunterstützung

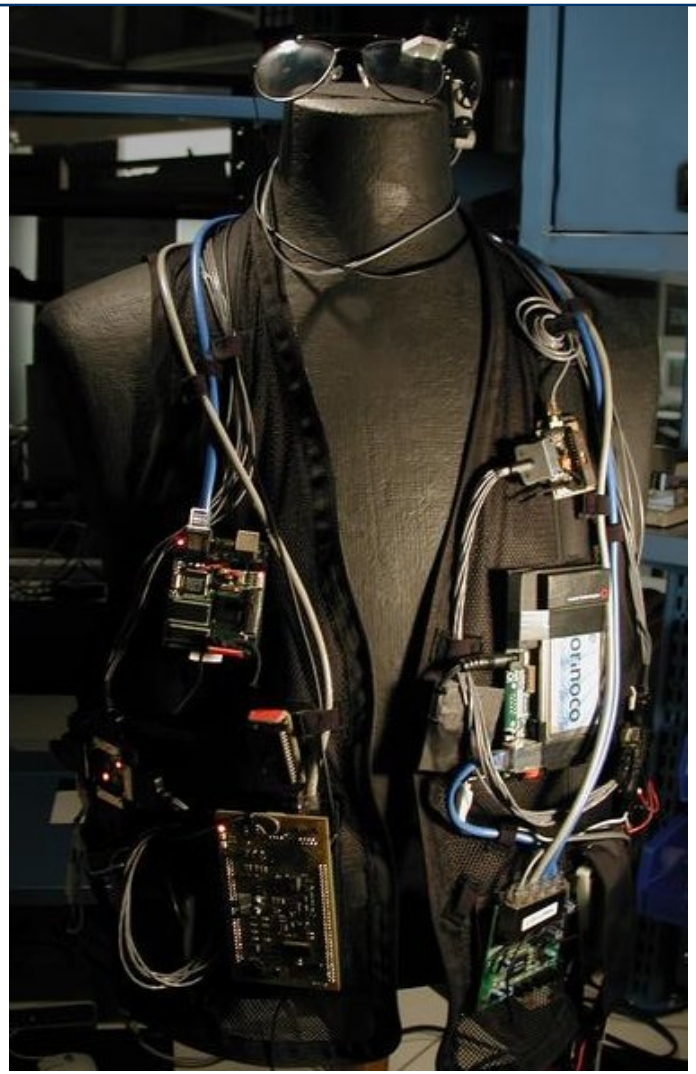
- Erkennung von Leckagen

Selbstkonfigurierende Netze mit ScatterWeb



Beispiel: Wearable Computers, z.B. MIThril





Zukunft der Mikrotechnologie?

Professor set to "control" wife by **cyborg implant**
Monday 07 May, 2001 10:01 GMT+10:00
By DPA

Surgeons are preparing to create the first husband and wife cyborgs: they intend to **implant** computer chips in a British professor and his wife to see if they can communicate sensation and movement by thought alone, according to a published report on Sunday.

The professor hopes it will show how two brains can interact, said the report in *The Sunday Times*.

Doctors at Stoke Mandeville hospital, who will perform the surgery, were quoted as saying they hope it will lead to new treatments for paralysis victims.

Long the realm of science-fiction, a cybernetic organism or **cyborg** is a human being whose body has been "enhanced" by technical means.

In the experiment Kevin Warwick, professor of cybernetics at Reading University, and his wife, Irena, will have silicon chips about 5cm long implanted in their arms just above the elbow.

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

Freie Universität Berlin

⑧⑥ **Praktikum Mobilkommunikation**
Medienzugriff, Mobile IP, Mobiles Web

⑦+ **Embedded Sensor Web**
Projekte rund um Sensornetze

⑥+ **Seminar Technische Informatik**
Forschung in Mobilkommunikation, eingebettete Systeme, Internet

⑧⑥ **Mobilkommunikation**
Drahtlose Übertragung, Medienzugriff, GSM, 3G, WLAN, Mobile IP, Ad-hoc-Netze, WAP

⑦ **Embedded Internet**
Protkolle, Dienste, Internet, TCP/IP, Betriebssysteme für eingebettete Systeme

⑦⑤ **Mikroprozessorpraktikum**
Programmierung eingebetteter Systeme, mobile Endgeräte, Mikrocontroller, Steuerungssysteme

⑤ **Telematik**
Protokolle, Dienste, Standards, LAN, Internet, TCP/IP, WWW, Sicherheit, ISDN/IN/ATM, Dienstgüte, Multimedia, IPv6, MPLS

④ **Praktikum Technische Informatik (TI IV)**
Eingebettete Systeme, Schnittstellen, Treiber, Betriebssystem – programmieren, vernetzen, interagieren

③ **Betriebs- und Kommunikationssysteme (TI III)**
Ein-/Ausgabe, DMA/PIO, Unterbrechungen, Puffer, Prozesse/Threads, UNIX/Windows, Netze, Medienzugriff, Protokolle, TCP/IP, Internet

② **Rechnerarchitektur (TI II)**
Harvard/v. Neumann, Mikroarchitektur, RISC/CISC, VLIW, Pipelining, Cache, Speicherhierarchie, Assembler, Multiprozessorsysteme

① **Grundlagen der Technischen Informatik (TI I)**
Schaltnetze, Schaltwerke, Logikminimierung, Gatter, Speicher, Halbleiter, Transistoren, CMOS, AD/DA-Umsetzer

④ Semester
Bachelor
Master

Schwerpunkte
Grundlagen der Technischen Informatik

- Motivation
- Grundlagen
- Gleichstromnetze
- Wechselspannungsnetze
- Halbleiter
- Operationsverstärker
- AD- und DA-Wandler
- Digitaltechnik
- Grundschaltungen
- Schaltnetze
- Speicher
- Schaltwerke

Termine, Tutorien und Aktuelles

- Vorlesung im WS06/07
  - 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
- Aktuelles ist zu finden unter
  - http://www.inf.fu-berlin.de/inst/ag-tech/
- Tutorien
  - Einteilung in Gruppen, Gruppengröße ca. 20
  - Termine hängen von der jeweiligen Gruppe ab
  - Anmeldung/Eintragung im WWW & CM

Übungsblätter

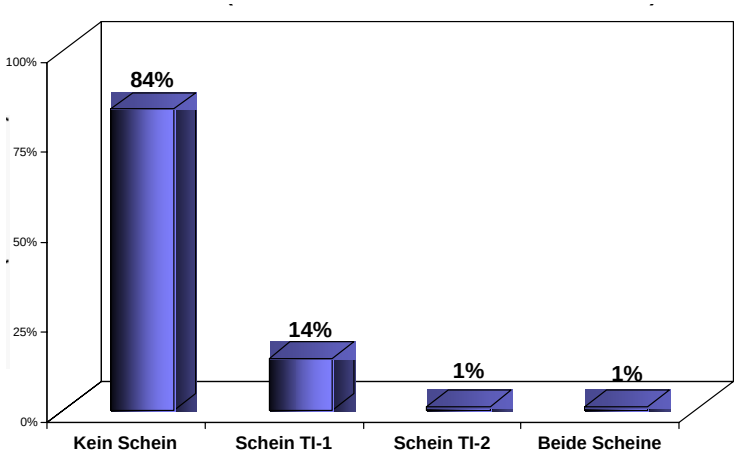
- Übungsblätter
  - Alle Übungsblätter finden sich im Netz inkl. Abgabedatum
  - Die Bearbeitung der Blätter findet immer in Zweiergruppen statt
  - Offensichtlich kopierte Lösungen ergeben keine Punkte

- Besprechung
  - In den Tutorien
  - Musterlösungen zu den Übungsblättern werden zur Verfügung gestellt
  - Vorrechnen durch Teilnehmer der Tutorien

- Praktische Aufgaben
  - Können auch an den Pool-Rechnern durchgeführt werden
  - Näheres in der Vorlesung/in den Tutorien
  - Vorstellung in Tutorien bzw. den Tutoren

Warum Übungen?

Beispiel Uni Karlsruhe:
84 % der Teilnehmer, welche die Klausur im SS 2000
nicht bestanden haben, hatten keinen Übungsschein erworben.



Beispiel FU Berlin:
Durchfallquote in Rechnerorganisation 2003 ca. 50%. Stimmt recht genau mit der Zahl der fehlenden Studenten in Tutorien und Vorlesung überein.
Durchfallgrund: Aufgaben aus den Übungen, welche also „eigentlich“ alle schon einmal bearbeitet wurden!

Scheinkriterien (alle UND-verknüpft)

Freie Universität Berlin

- Regelmäßige Teilnahme an den Tutorien
  - 85% der Termine Anwesenheit, Überprüfung durch Listen
  - d.h. max. 2x Abwesenheit im Semester, dann Attest bzw. Amtsarzt
- Aktive Mitarbeit in den Tutorien
  - Rechtzeitige Abgabe der Übungsblätter, n-2 von n Blättern müssen bearbeitet werden (= min. 20% der Punkte), min. 50% der Gesamtpunkte über alle Blätter müssen erreicht werden
  - Jede(r) Studierende muss auch in der Lage sein, mindestens zwei Übungsaufgaben im Tutorium vorzurechnen
  - Es kommt hier auf die Übung an, nicht auf Perfektion bzw. das richtige Ergebnis!
- Erreichen von mindestens 50% der Punkte in der Klausur
  - 90 min Klausur am Ende der Vorlesung
  - Nur die Klausurnote zählt für den Schein (Diplom) / für das Modul (BSc)

Literatur zur Vorlesung

- Folienkopien zur Vorlesung
  - erhältlich im Sekretariat, **Raum 155**, Preis: 5 €
- www.elektronik-kompendium.de in kurzer knapper Form.
- Auswahl einiger Literaturempfehlungen:

- **H.-D. Wuttke, K. Henke:**
  Schaltsysteme – eine automatenorientierte Einführung, Perason Studium, 2003 – deckt 90% der RS-Vorlesung ab
- **A. S. Tanenbaum, J. Goodman:**
  Structured Computer Organization, 4. edition, Prentice Hall, 1999 / Computerarchitektur, 4. Auflage, Pearson Studium, 2001
  – Grundlage im Wesentlichen für Rechnerorganisation (plus fehlende 10% RS)
- J. F. Wakerly:
  Digital Design, Principles & Practices, 3rd ed., Prentice Hall, 2002 (sehr ausführlich, viel zu RS & PEG)
- D. A. Patterson. J. L. Hennessy:
  Computer Architecture: A Quantitative Approach.
  3. Auflage, Morgan Kaufmann, 2002, (insbesondere Anhang A über Rechnerarithmetik)

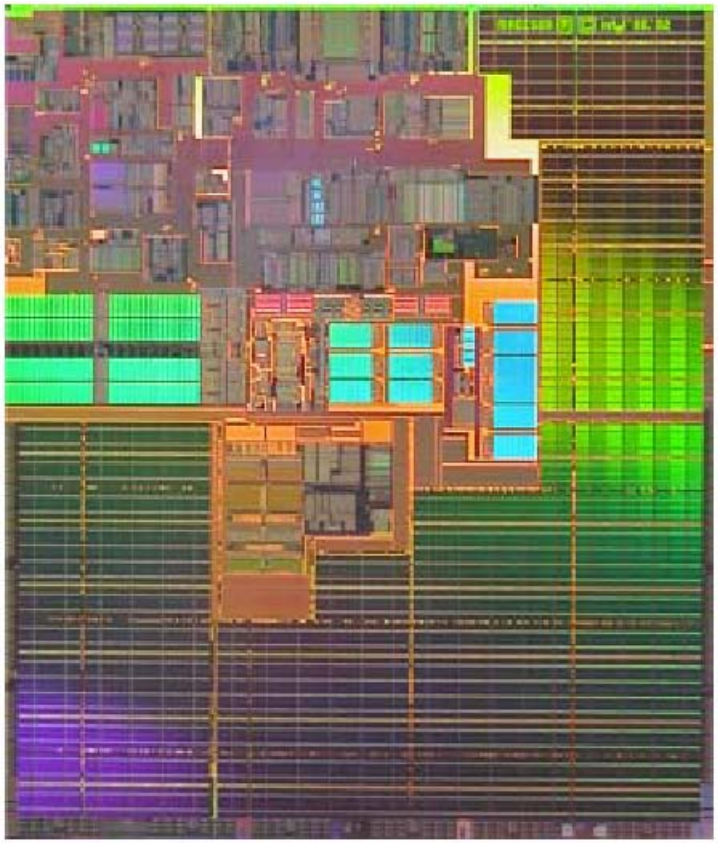
Literatur (Auswahl)

- 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

Mikroprozessoren – die Formel 1

- “Das Wettrennen um die schnellsten Mikroprozessoren könnte man als Formel 1 der Computertechnik bezeichnen.” (Die ZEIT vom 18. März 1994)

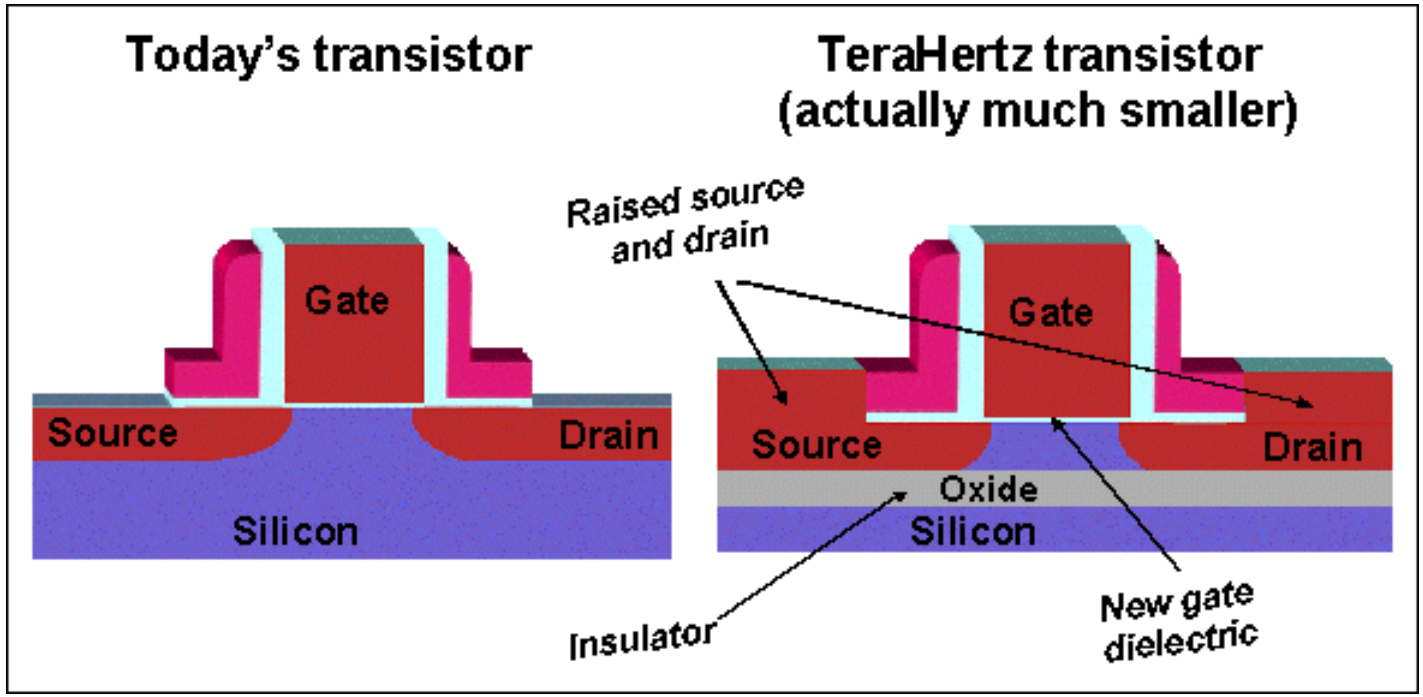
- Die Leistungssteigerung bei Mikroprozessoren ist durch folgende Fortschritte erreicht worden:
  - durch Steigerung der Gatterzahl auf dem Chip,
  - durch Steigerung der Taktrate und
  - durch Fortschritte beim Hardware-Entwurf (Architektur, Mikroarchitektur, Entwurfswerkzeuge).



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 ...



„Mooresches 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 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

Freie Universität Berlin

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

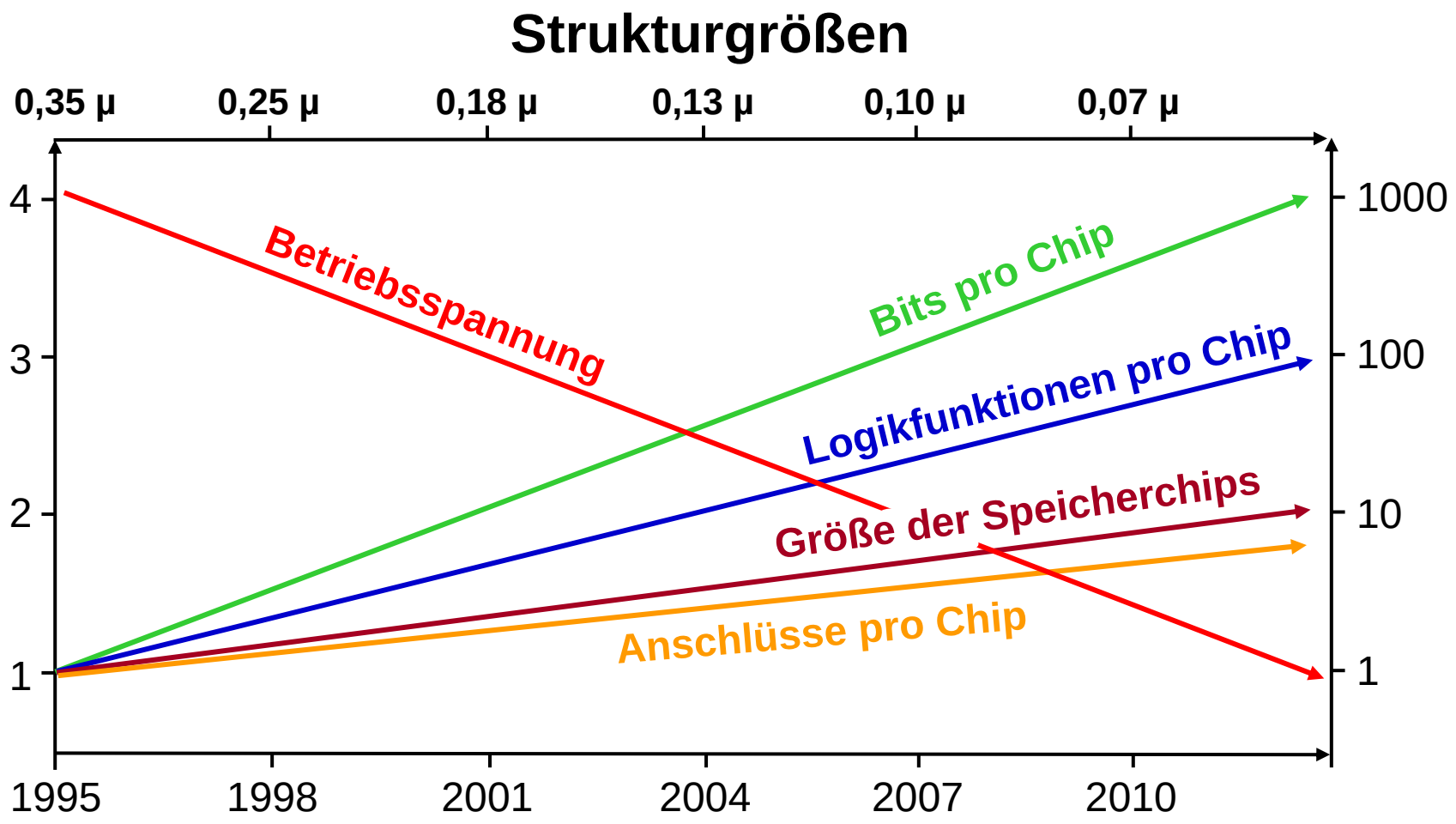
Year of 1st shipment	1997	1999	2001	2003	2006	2009	2012
Local clock (GHz)	0.75	1.25	1.5	2.1	3.5	6	10
Across chip (GHz)	0.75	1.2	1.4	1.6	2	2.5	3
Chip size (mm^2)	300	340	385	430	520	620	750
Feature size (nm)	250	180	150	130	100	70	50
Number of chip I/O	1450	2000	2400	3000	4000	5400	7300
Transistors/chip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

…wurde schnell von der Realität überholt!

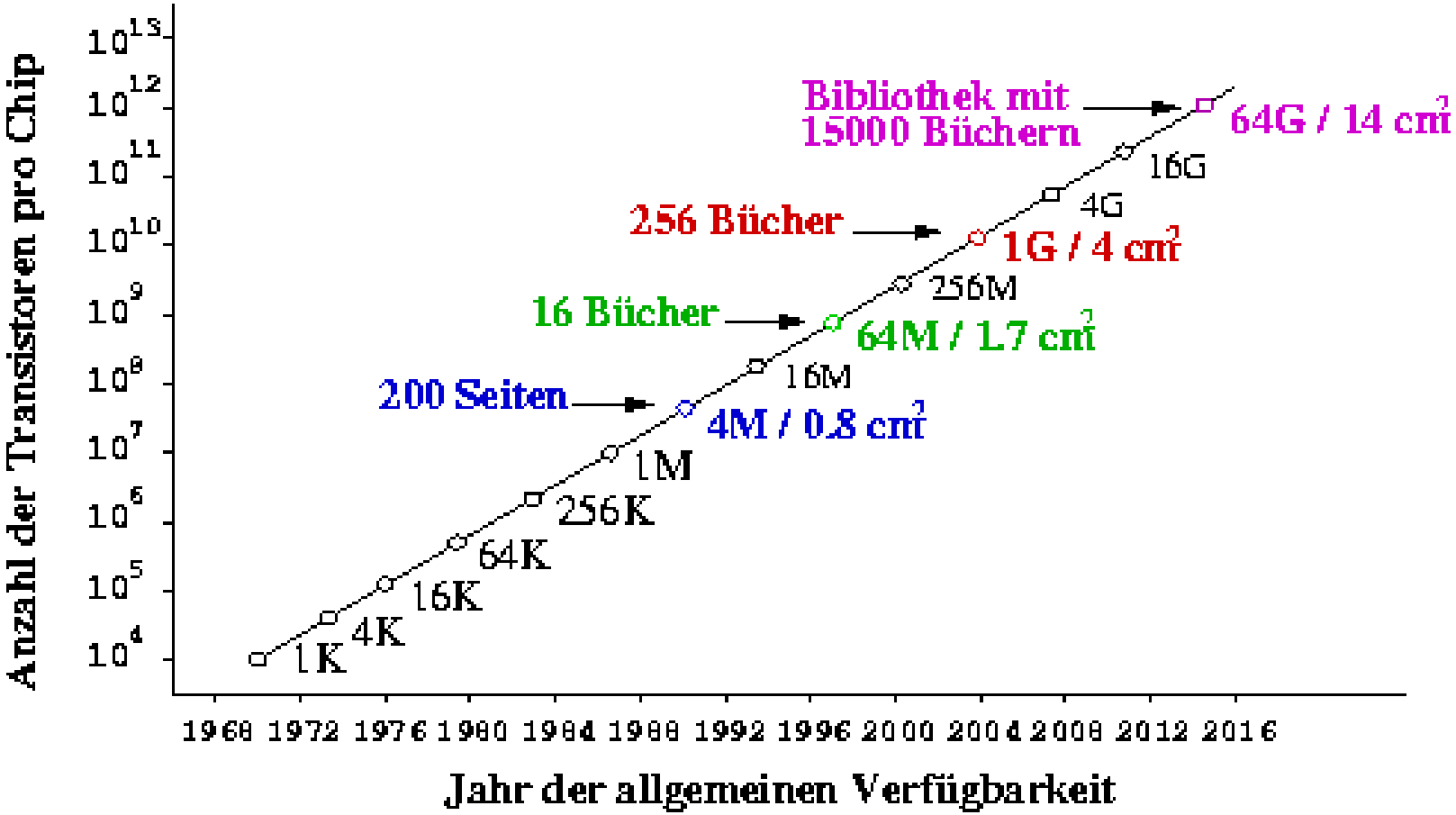
Beispiele bei Prozessoren

- AMD K6 II: 9,3 Mio Transistoren
- AMD K6 III: 21,3 Mio (inkl. 256 KB Level 2 Cache)
- AMD Athlon : 22 Mio
- Intel Pentium III: 9,5 Mio
- Intel Pentium III E: 28,1 Mio (inkl. 256 KB Level 2 Cache)
- Sun Ultra-Sparc III: 29 Mio, 900 MHz
- Intel Pentium 4: 55 Mio (inkl. L2)
- Intel Itanium 2: 410 Mio (inkl. L3)

Mehr Leistung bei weniger Stromverbrauch



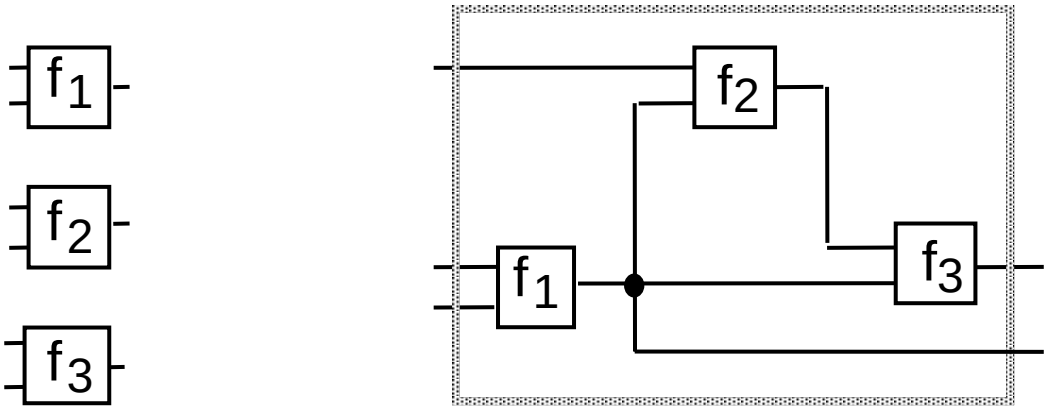
Verfügbarkeit von Speicherchips



Aufbau informationsverarbeitender Systeme

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

➔ Gewünschtes Verhalten



Komponenten + Struktur = Gewünschtes Verhalten

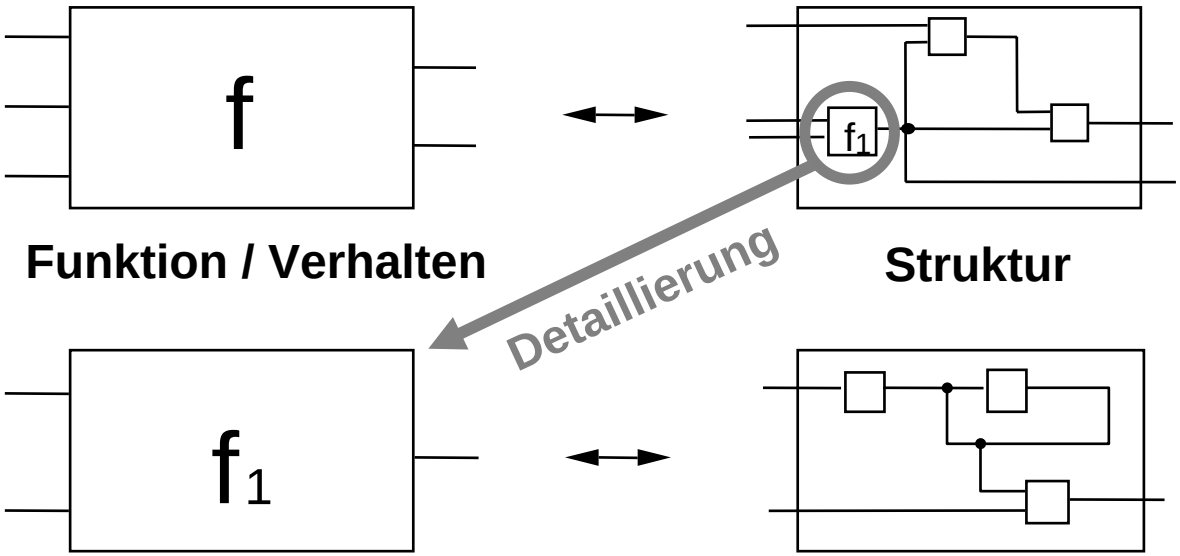
Aufbau informationsverarbeitender Systeme

Freie Universität Berlin

- 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

Aufbau informationsverarbeitender Systeme

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



- Diese Hierarchisierung erleichtert sowohl den Entwurf als auch die Analyse

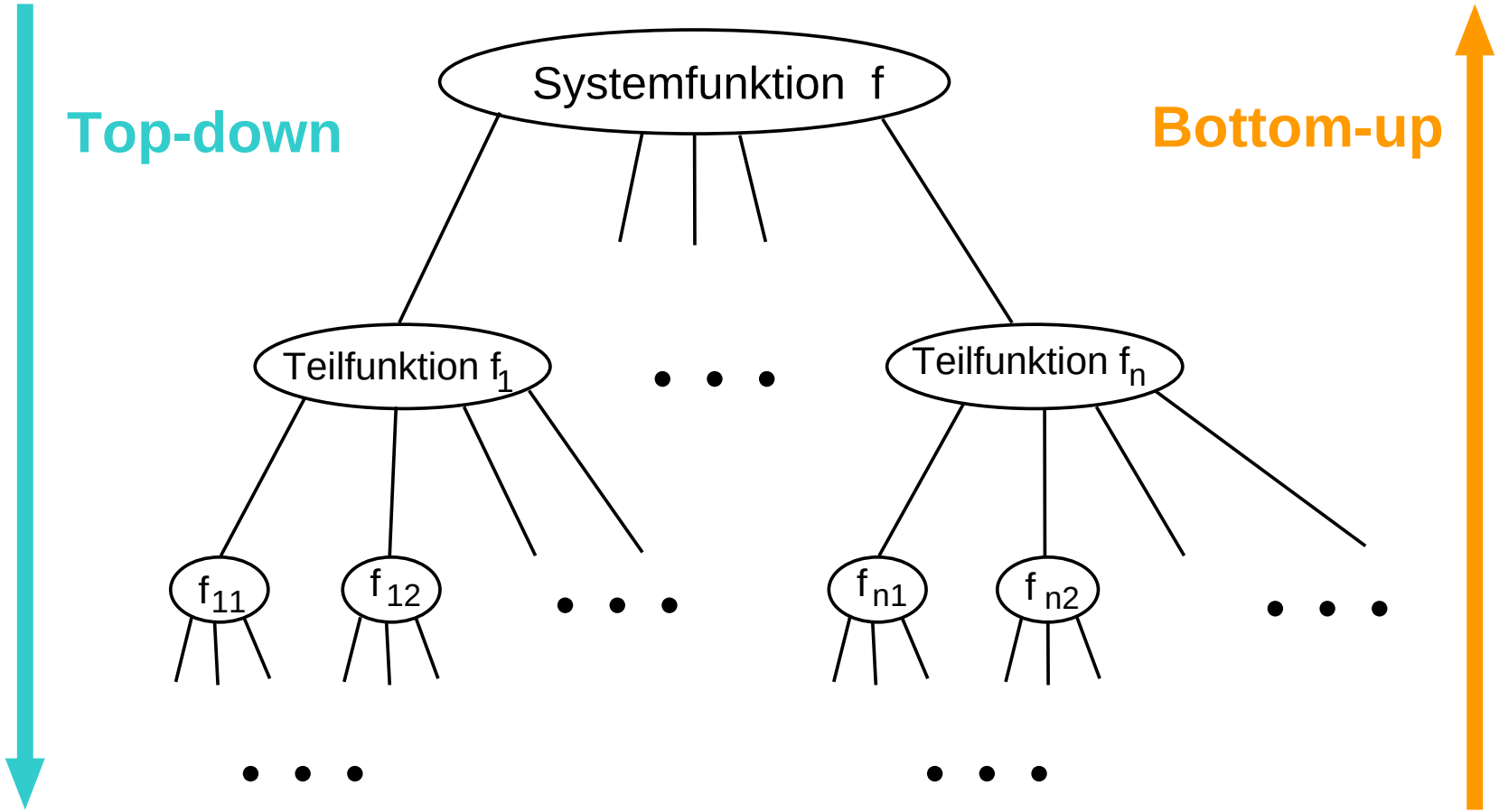
Vorgehensweisen beim Entwurf

- 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

"top-down" und "bottom-up"-Entwurf



In dieser Vorlesung

- 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

Kapitel der Vorlesung

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. Grundschaltungen der Digitaltechnik
11. Schaltnetze
12. Programmierbare Logik
13. Speicher
14. Schaltwerke

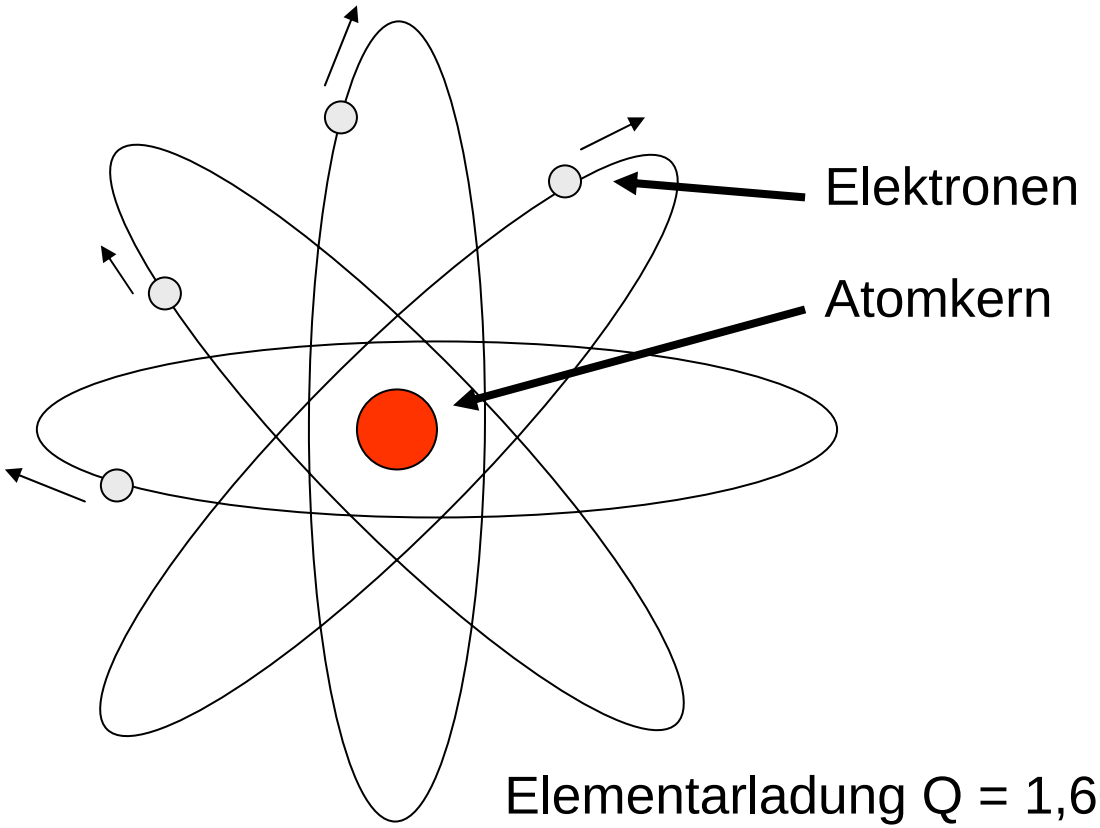
Freie Universität Berlin

Kapitel 1:

Grundlagen

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

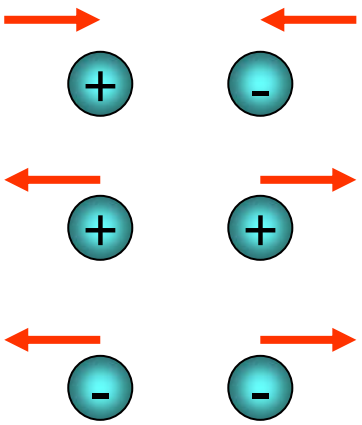
Atommodell



Elementarladung $Q = 1{,}602 * 10^{-19}$ As

Elektrische Ladung

Kraftwirkung auf Ladungen



Anziehung

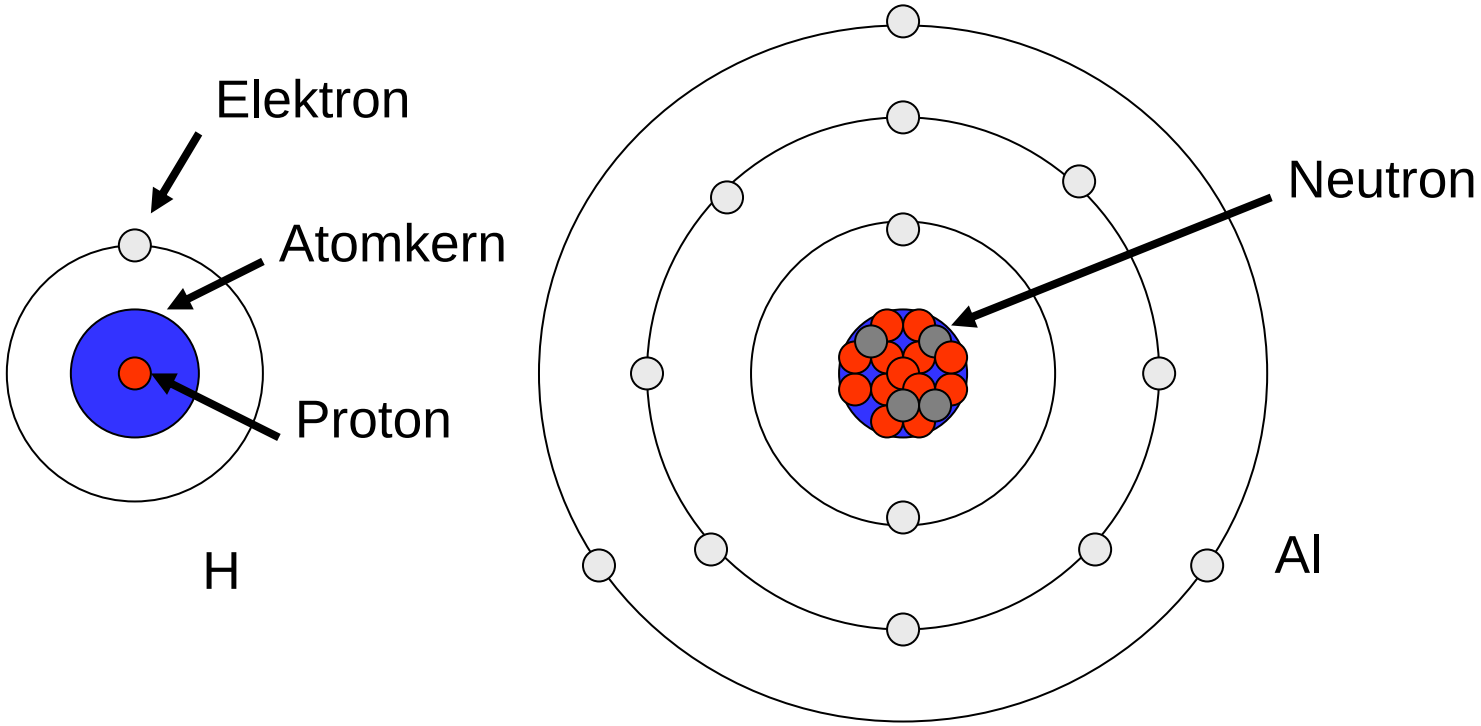
Abstoßung

Gleichnamige Ladungen stoßen sich ab,
ungleichnamige Ladungen ziehen sich an

Atomaufbau

- 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.

Atomaufbau



Die Atome sind nach außen elektrisch neutral.

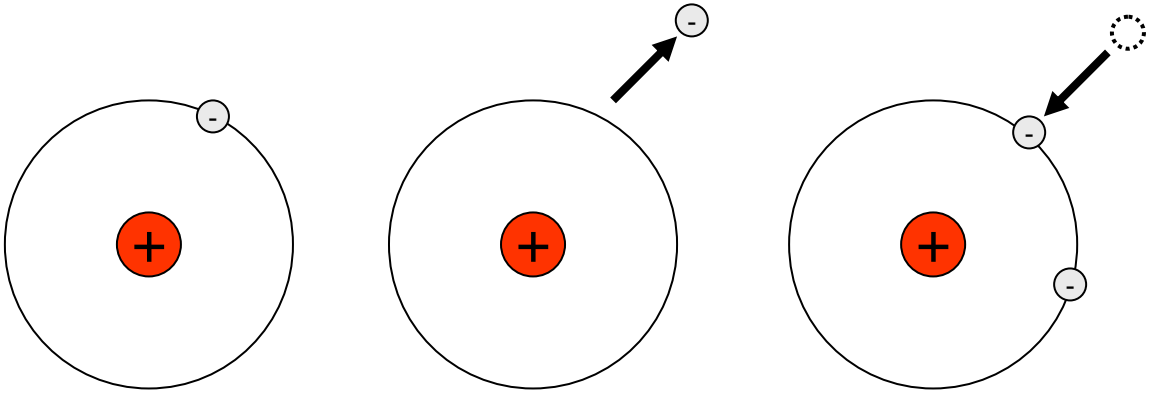
Elektrische Ladung

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

1 As = 1 C sprich ein Coulomb

1 Coulomb entspricht $6{,}25\ 10^{18}$ Elementarladungen

Entstehung von Ionen



neutrales Atom | positives Ion | negatives Ion

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

Leitmechanismus in Stoffen

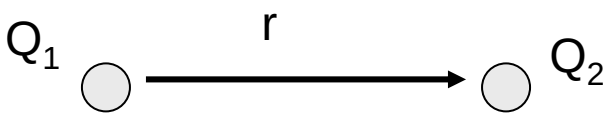
- Leiter
  - Elektronenleiter (Metalle)
  - Ionen-Leiter (Elektrolyte, Schmelze und ionisierte Gase)

  Stoffe, die viele und frei bewegliche Ladungsträger besitzen, heißen Leiter.
- Nichtleiter (Kunststoff, Gummi, Glas, Vakuum)

  Stoffe, die nur wenige und an die einzelnen Moleküle gebundene Ladungsträger besitzen, heißen Nichtleiter.
- Halbleiter (Silizium,Selen, Germanium)

  Halbleiter sind Stoffe, bei denen erst durch äußere Einflüsse Valenzelektronen freiwerden und dadurch Leitfähigkeit eintritt.

Elektrisches Feld
Kraftwirkung zwischen Ladungen



$$F = E \cdot Q_2$$

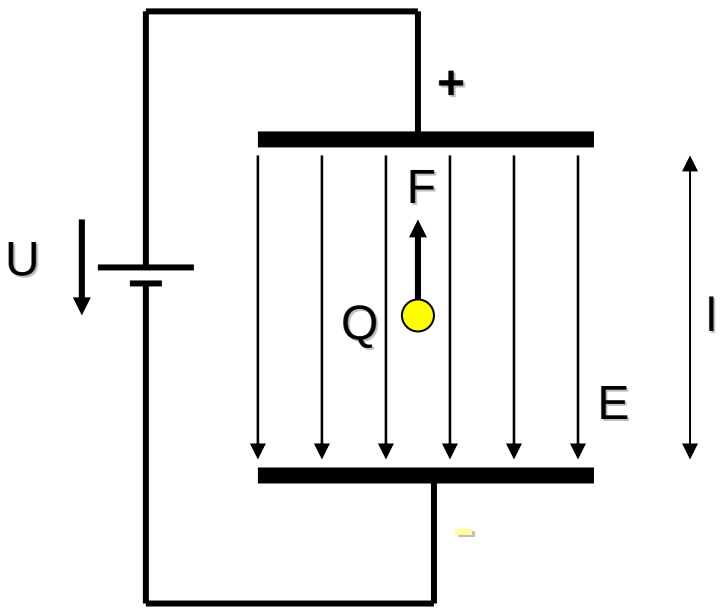
$$F = \frac{Q_1 \cdot Q_2}{4\pi\varepsilon_0 r^2}$$

$$\varepsilon_0 - 8{,}859 \cdot 10^{12} \frac{A^2 s^2}{Nm^2}$$

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.

Elektrisches Feld
Elektrische Feldstärke und Kraftwirkung



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

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

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.

Elektrischer Strom

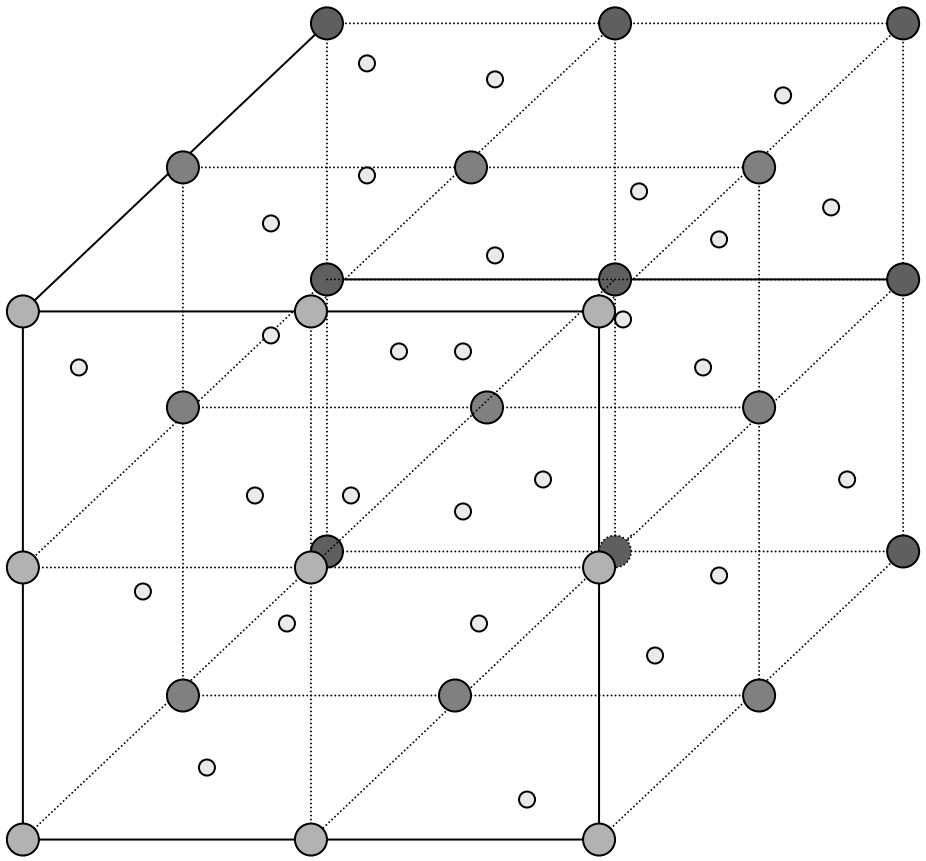
- Der elektrische Strom (**Elektronenstrom**) in einem metallischen Leiter besteht in der gerichteten Bewegung der freien Elektronen des Leiterwerkstoffes. Durch Ladungsbewegung tritt keine stoffliche Veränderung auf.

- Der elektrische Strom (**Ionenstrom**) in einem Ionen-Leiter besteht in der gerichteten Bewegung der Ionen des leitenden Stoffes. Es tritt hierbei ein Stofftransport ein.

Stromarten

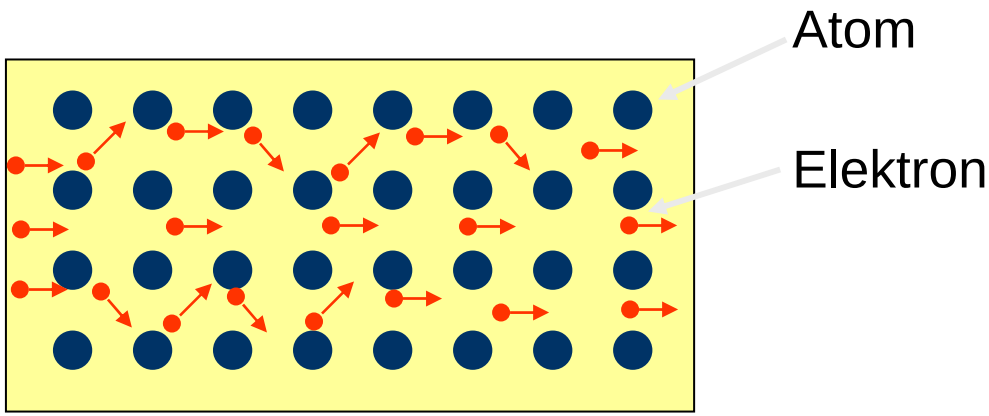
- Gleichstrom ist ein elektrischer Strom, der stets in die gleicher Richtung und mit gleicher Stärke fließt.
- Wechselstrom ist ein Strom, der periodisch seine Richtung und Stärke ändert.
- Mischstrom ist ein Strom, der sich aus Gleich- und Wechselstromanteilen zusammensetzt.

Metallgitterstruktur



Elektronenstrom im Leiter

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



Strom

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

$$Q = I \cdot t$$

Q- Ladungsmenge
t - Zeit
I - Strom

Die Bewegung von 6,24 10^{18} Elektronen pro Sekunde über einen Leiter entsprechen einem Strom von einem Ampere.

Stromwirkungen

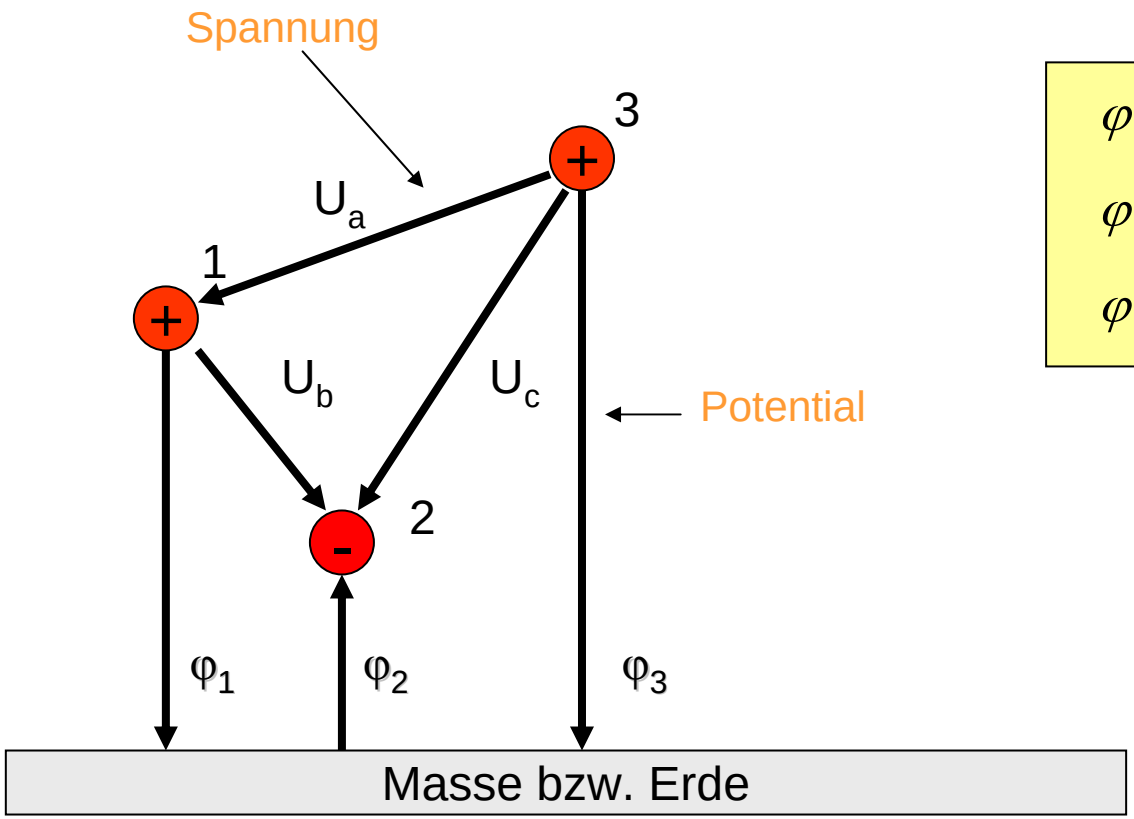
- Wärmewirkung
- Lichtwirkung
- Magnetische und dynamische Wirkungen
- Chemische Wirkungen

Potential

- Spannungen zwischen Punkten einer elektrischen Schaltung oder eines geladenen Körpers und einem festen Bezugspunkt, z.B. Masse (Erde), nennt man Potentiale (Kurzzeichen - φ) und haben immer ein Vorzeichen.

- Eine Spannung zwischen zwei Punkten ist die Differenz der Potentiale dieser Punkte.

Potentiale und Spannungen

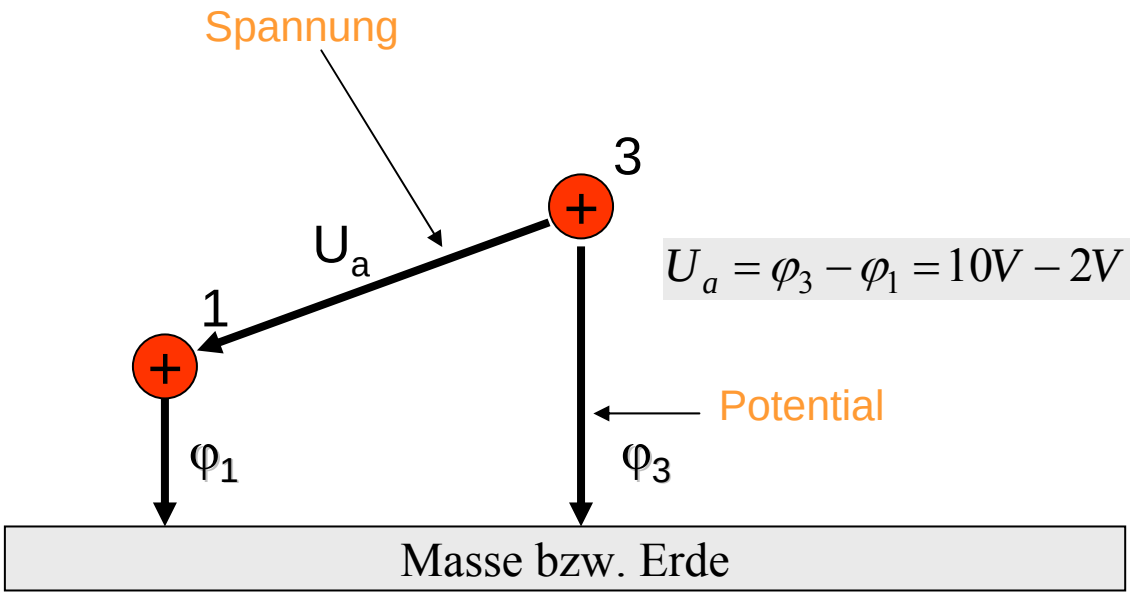


$$\varphi_1 = 2V$$

$$\varphi_2 = -4V$$

$$\varphi_3 = 10V$$

Spannungsrichtung



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

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

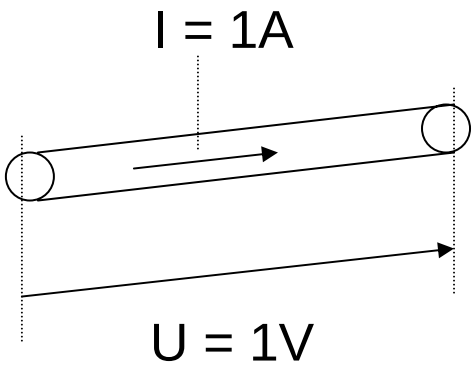
Spannung

- 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 durch chemische Vorgänge, den Thermoeffekt, die Induktion, den Fotoeffekt oder den Piezoeffekt erzeugt werden.

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

Einheit der Spannung

- 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 um gesetzt wird.



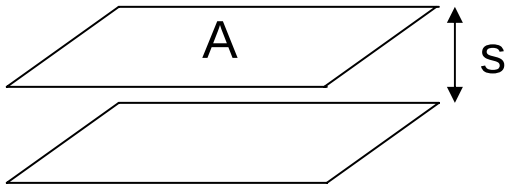
$$P = U * I = 1\ W = 1\ VA$$

Kondensator
Kapazität

Der Kondensator ist ein Bauelement zur Speicherung elektrischer Ladungen

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

ε_0 – absolute Dielektrizitätskonstate
ε_r – relative Dielektrizitätskonstante
A – Fläche der Kondensatorplatte
S – Abstand zwischen den Kondensatorplatten



Kondensator
Kapazität

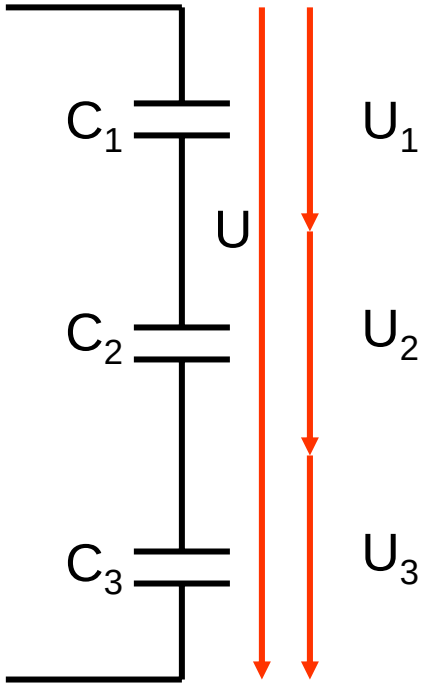
Die Kapazität eines Plattenkondensators mit:
A = 1m^2 , s = 1cm, ε_0 = 8,8542 10^{-12} As/Vm und ε_r = 1,00058

Berechnet sich wie folgt:

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

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

Kondensator
Reihenschaltung



$$U = U_1 + U_2 + U_3$$

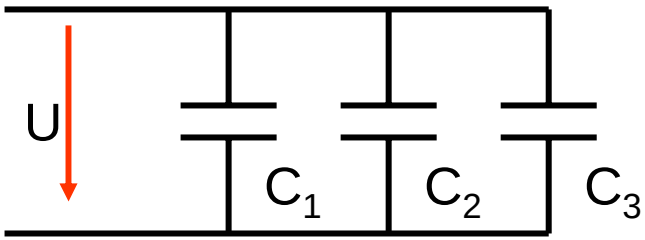
$$Q = U \cdot C$$

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

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

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

Kondensator
Parallelschaltung



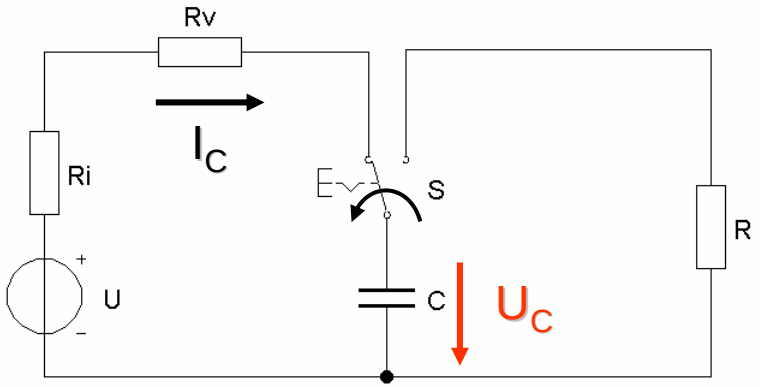
$$Q_{ges} = Q_1 + Q_2 + Q_3$$

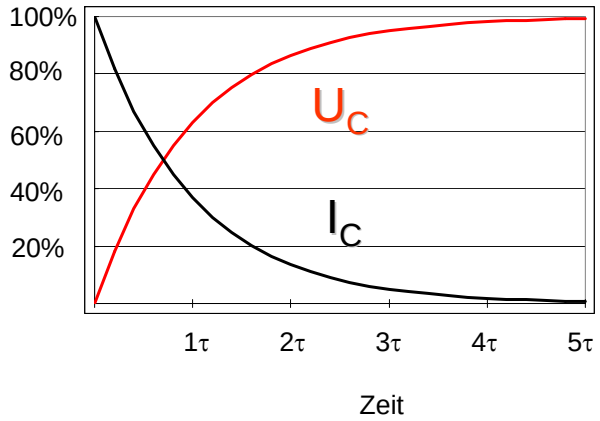
$$Q = U \cdot C$$

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

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

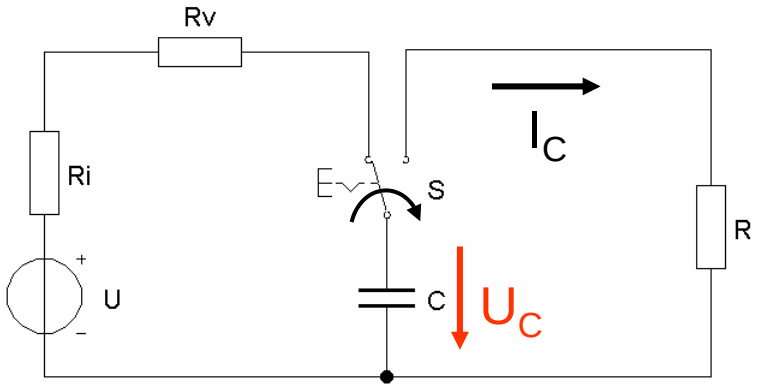
Kondensator
Laden

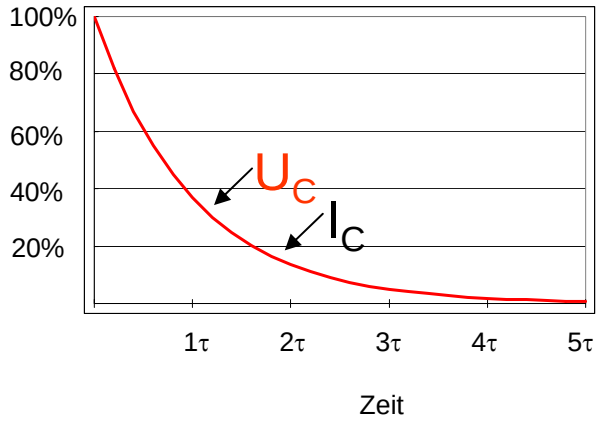




$$U_c = U \cdot \left(1 - e^{-\frac{t}{R \cdot C}}\right) \qquad I_{C\max} = \frac{U}{R_i + R_v} \qquad R_c = \frac{U_c}{I_c} \qquad \tau = R \cdot C$$

Kondensator
Entladung





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

Kondensator
gespeicherte Energie

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

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

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

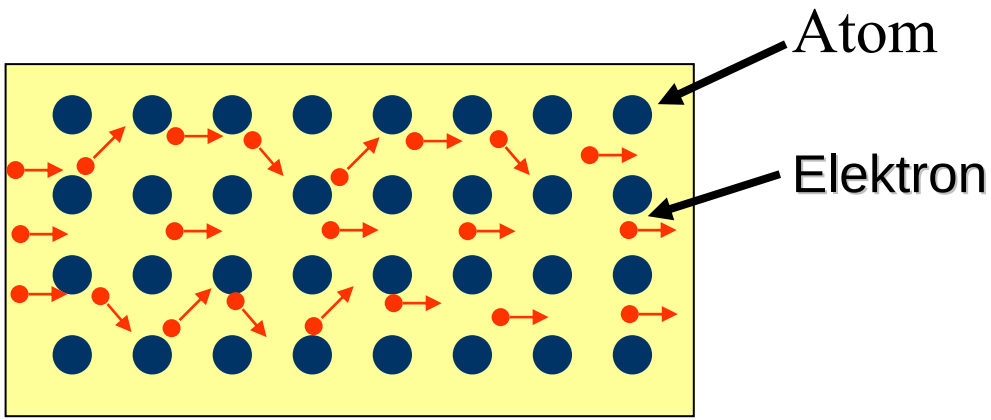
$$W = \frac{1}{2} \cdot C \cdot U^2$$

$$\boxed{Q = U \cdot C}$$

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

Widerstand

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



Widerstand
Spezifischer Widerstand

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

Der spezifische Widerstand ρ in [$\Omega \cdot mm^2/m$]:

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

Widerstand
Grundgleichungen

- Widerstand $$R = \frac{U}{I}$$
- Leiterwiderstand $$R = \frac{\rho \cdot l}{q}$$
- Leiterlänge $$l = \frac{R \cdot q}{\rho}$$
- Spezifischer Widerstand $$\rho = \frac{R \cdot q}{l}$$
- Leiterquerschnitt $$q = \frac{\rho \cdot l}{R}$$

Widerstand und Temperaturabhängigkeit

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

Widerstand und Elektrischer Leitwert

Der elektrische Leitwert ist der Kehrwert des Widerstandes

$$G = \frac{1}{R}$$

Elektrischer Leitwert G in S (Siemens, $S=\Omega^{-1}$)

$$R = \frac{1}{G}$$

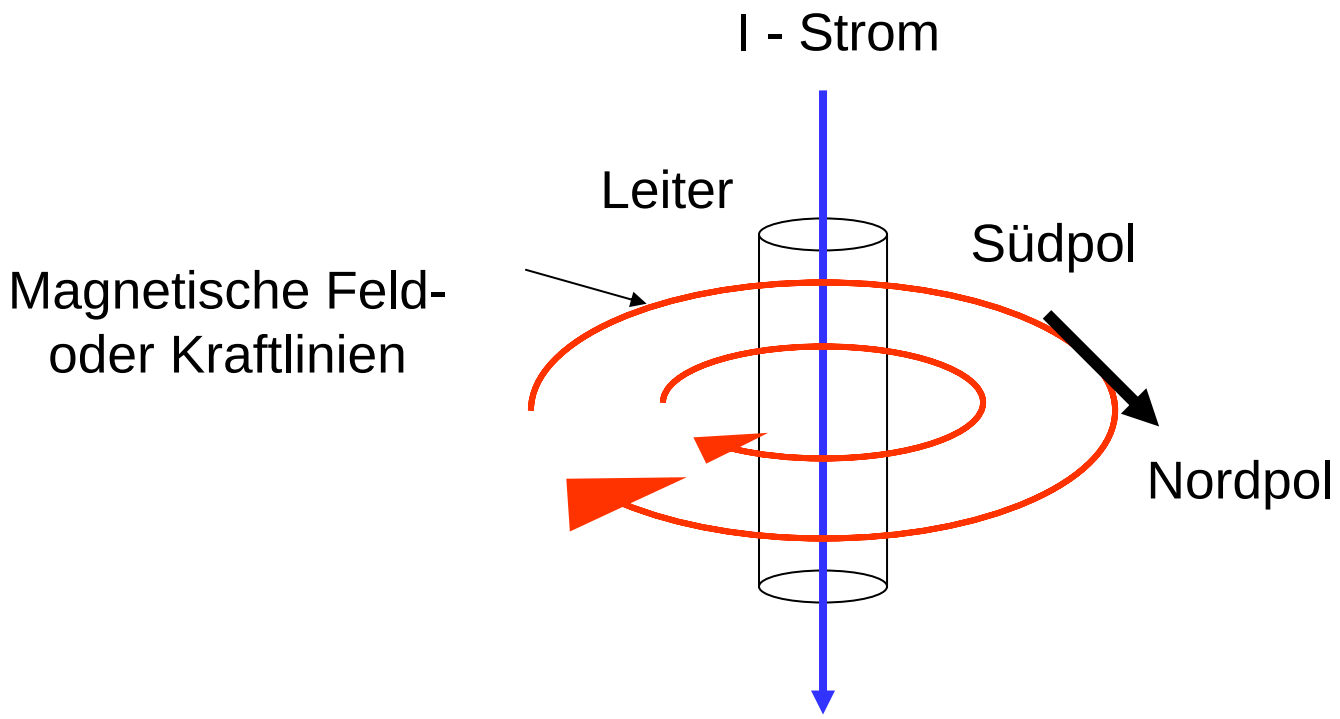
Elektrischer Widerstand R in Ω

Leistung und Arbeit

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

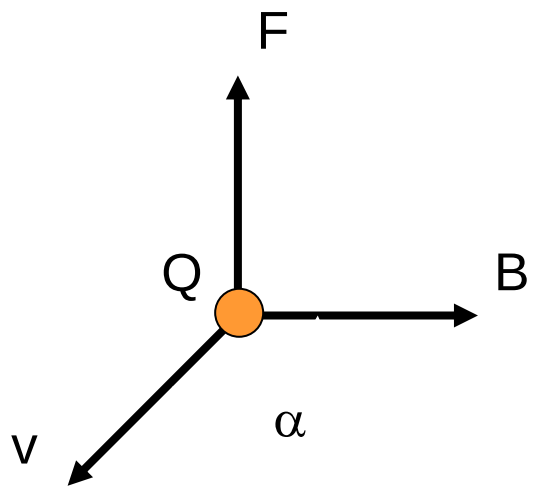
$$W = P \cdot t = U \cdot I \cdot t$$ Arbeit

Magnetisches Feld
eines stromführenden Leiters



Magnetisches Feld
Kraftwirkung auf eine bewegte Ladung

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

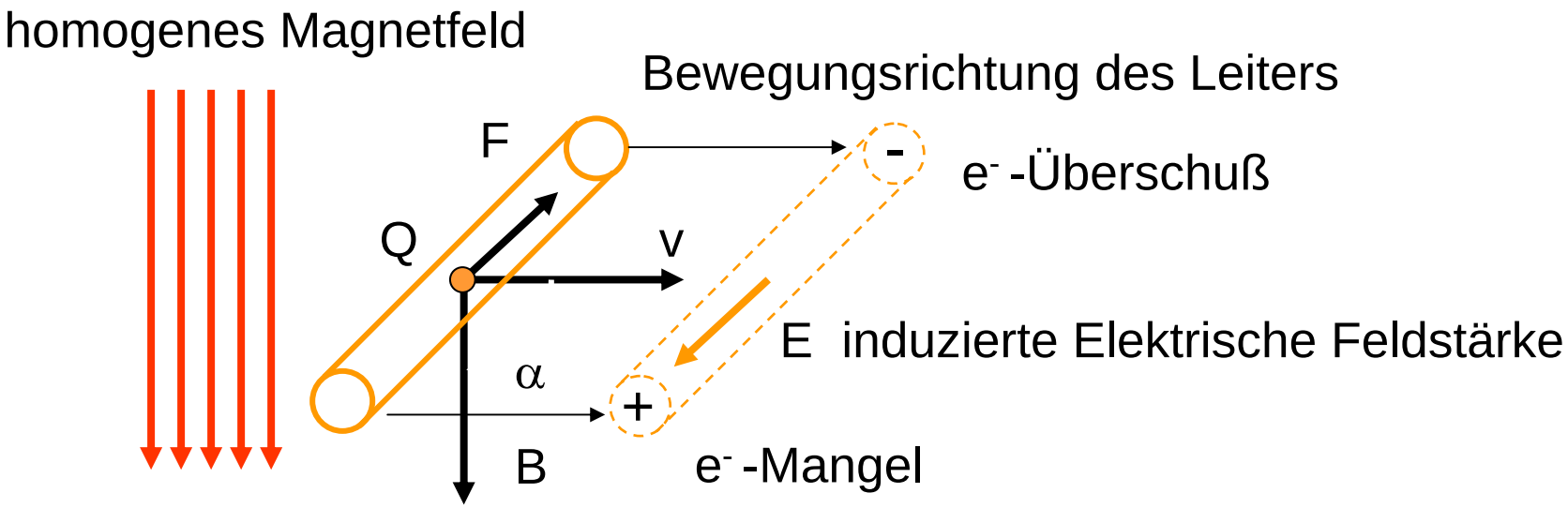


$$F = B \cdot Q \cdot v \cdot \sin\alpha$$

$$F = Q[vB]$$

B - Magnetische Flußdichte
Q - Elektrische Ladung
V - Geschwindigkeit

Kraftwirkung
im magnetischen Feld



Anwendungsbereites Wissen

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