

## 1 Grundlagen

### 1.1 Zentrale Aufgabe der Physik

- Angabe von Datenstrukturen, welche Eigenschaften der Welt beschreiben.
- Angabe von Gesetzmässigkeiten, welche die Grössen von Eigenschaften miteinander in Beziehung setzen
- Angabe von Gesetzmässigkeiten, welche beschreiben, wie sich diese Eigenschaften als Funktion der Zeit verändern.

### 1.2 Fundamentalkräfte

- Gravitation
  - Zwischen zwei Massen wirkt eine Anziehungskraft
  - Kraft wirkt umgekehrt proportional zum Abstand der Masse
  - Kraft wirkt proportional zum Produkt der Masse
  - Ist nicht abschirmbar
- Elektromagnetismus
  - Grundursache ist die elektrische Ladung
  - Dualismus, Zwei Arten: positive und negative Ladung
  - Gleiche Ladung stösst sich ab, unterschiedliche Ladung zieht sich an
  - In allen physikalischen Prozessen bleibt die Ladung erhalten
  - Einheit der Ladung: Coulomb[c] Elektron Ladung  $e = 1.602 \cdot 10^{-19} C$
- Starke Kernkraft
- Schwache Kernkraft

### 1.3 Kräfte

- Eine Kraft verändert die Geschwindigkeit eines Objektes, d.h. das Objekt wird beschleunigt (oder gebremst).

#### 1.3.1 Schwerkraft

- $F = \gamma \frac{M_1 M_2}{r^2}, \gamma = 6.67 \cdot 10^{-11} \frac{Nm^2}{kg^2}$
- Erde:  $F = mg, g = \gamma \frac{M_{Erde}}{r_{Erde}^2} = 9.81 \frac{m}{s^2}$

#### 1.3.2 Coulombkraft

- $\vec{F}_{12} = \frac{Q_1 Q_2}{4\pi\epsilon_0 r^2}, \epsilon_0 = 8.859 \cdot 10^{-12} \frac{C^2}{Jm}$

#### 1.3.3 Federkraft

- $F = -k(x - x_{Ruhe})$

### 1.4 Energie

- $E_{pot} = mgh$
- $E_{kin} = m \frac{v^2}{2}$
- $E_{spring} = k \frac{(x - L)^2}{2}$
- $E_{pot.Ladung} = qU$
- Arbeit:  $\Delta E_{mech} = Fs$

#### 1.4.1 Einheiten

- $1cal = 4.1868J$
- $[J] = [Nm]$
- $[N] = [\frac{Kg}{s^2}]$

#### 1.4.2 Energieerhaltung

- Bei physikalischen Prozessen bleibt die Gesamtmenge Energie im betrachteten System und der Umgebung immer erhalten!
- Veränderungen geschehen durch physikalische Kräfte.
- Diese physikalischen Kräfte können nicht beliebig aussehen. Ihre Form ist z.B. durch die Forderung, dass die physikalischen Gesetze sich im Laufe der Zeit nicht ändern, etwas eingeschränkt.
- Diese Einschränkung führt dazu, dass einem physikalischen System eine Zahl zugeordnet werden kann, deren Grösse durch die Einwirkung der Kräfte nicht geändert werden kann.
- Die Erhaltung der Energie ist nicht eine Folge der Tatsache, dass irgendeine Energiesubstanz erhalten bleibt, sondern dass die Gesetze der Physik so gestaltet sind, dass sie die Energie nicht verändern können.

### 1.5 Strecke, Geschwindigkeit, Beschleunigung

- $v = \int a dt$
- $s = \int v dt$

## 2 Veränderungsrate Leistung Strom

### 2.1 Veränderungsrate

- Das zukünftige Verhalten eines Systems und seiner Umwelt ist vollständig definiert durch seinen momentanen Zustand und dem momentanen Zustand der Umwelt. Zusätzliche Information, z.B. wie diese Zustände erreicht wurden, sind nicht nötig.

### 2.2 Potential

- $\varphi(A) = \frac{x}{y}$
- $x = \text{pot. E Substanz S der Menge M an Ort A}$
- $y = \text{Menge X Energieträger}$

### 2.3 Strom I

- $I[A] [\frac{C}{s}]$
- Richtung in die sich die positive Ladung bewegt  $I > 0$
- Anzahl positiver Ladung die den Querschnitt pro Sekunde durchquert

### 2.4 Spannung U

- $U[V] [\frac{W}{A}]$
- $U = U(\vec{r}_A, \vec{r}_B) = \varphi(\vec{r}_A) - \varphi(\vec{r}_B)$
- Spannungsquellen erzeugt  $\vec{E}$ -Feld in Drähten
- Ladung verliert  $\Delta E_{pot}$  und gewinnt  $\Delta E_{kin}$
- Kinetische Energie kann verbraucht werden
- Spannung ist die Energie die frei wird, wenn die Ladung von A nach B bewegt wird.
- $\varphi(\vec{r}_A) > \varphi(\vec{r}_B)$  Energie steht zur Verfügung
- $\varphi(\vec{r}_A) < \varphi(\vec{r}_B)$  Energie wird benötigt

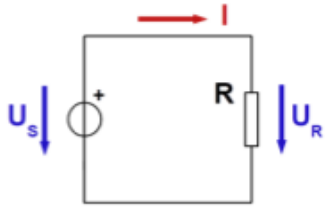
### 2.5 Leistung P

- $P[W], P_{el} = \frac{\Delta E}{\Delta t} = \frac{I \Delta t U}{\Delta t} = UI$
- Richtung in die sich die positive Ladung bewegt  $I > 0$
- Anzahl positiver Ladung die den Querschnitt pro Sekunde durchquert

### 2.6 Schaltung

- Physikalische Perspektive
  - Schaltungen bestehen aus miteinander verbundenen physikalischen Elementen, welche, angeregt durch Spannungen und Ströme, ein bestimmtes dynamisches Verhalten zeigen.
  - Die physikalische Perspektive offeriert noch keine Semantik, zeigt aber, wie ein System gebaut werden kann.
- Funktionale Perspektive
  - Schaltungen sind Signalwandler
  - Logische Schaltungen: Input ist eine Bitsequenz, welche in eine Outputsequenz verwandelt wird.
  - Analoge Schaltung: Ein dynamisches Signal wird in ein Outputsignal transformiert.

### 2.6.1 Analoge Schaltung



- $R[\Omega]$
- $U_R = RI$
- $P = IU_R = \frac{U_R^2}{R} = RI^2$

- Eine **Masche** oder Schleife ist irgendein Weg durch Drähte und Bauelemente, welche zu seinem Ausgangspunkt zurückführt.
- Die Spannung wird in Richtung Spannungsgefälle positiv gezählt, sonst negativ.
- Bei einem **Knoten** kommen mindestens drei Drähte zusammen.
- Durch die Ladungserhaltung muss die Summe der einflussenden minus der Summe der wegfließenden Ströme null ergeben.
- Kabelwiderstand  $R = \rho \frac{L}{A}$

Ideale Spannungsquelle			Einschaltvorgang
Ideale Stromquelle			
Widerstand			frühere Symbole
Kapazität			
Induktivität			Photodiode/ Solarzelle
Diode			
Glühlampe			Leuchtdiode
Schalter (auch: «Schliesser»)			
			Darstellung im Simulationstool «Tina»

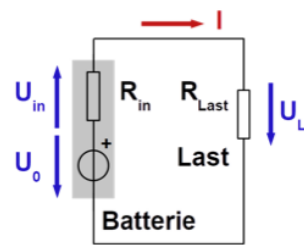
### 2.6.2 Serieschaltung

- Serieschaltung  $R = R_1 + R_2$
- Serieschaltung  $I = \frac{U_0}{R_1 + R_2}$

### 2.6.3 Parallelschaltung

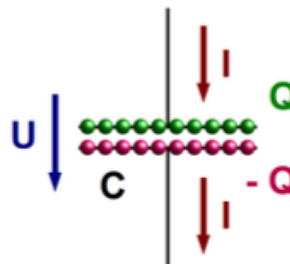
- Parallelschaltung  $R = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}$
- Parallelschaltung  $I_0 = U_0 \left( \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right)$

## 2.7 Batterie

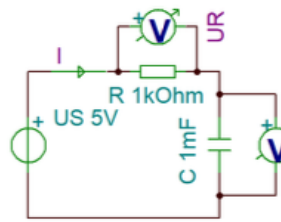


- Ideale Bat:  $U_0 = \text{const.}$
- $U_0 - U_{in} - U_{last} = 0$
- $U_0 - IR_{in} - IR_{last} = 0$
- $I = \frac{U_0}{R_{in} + R_{last}}$
- $P = R_{la.} \left( \frac{U_0}{R_{in} + R_{la.}} \right)^2$
- Wenn ein Verbraucher mit einer Batterie betrieben wird, muss angepasst werden, dass die Leistung nicht am Innenwiderstand der Batterie verbraucht wird.
- Bei einer Gleichspannungsquelle mit variabler Spannung, z.B. einer Solarzelle, muss der Lastwiderstand dynamisch angepasst werden (Bei Solarpaneln ist der Lastwiderstand der gleich wie beim Speicher).

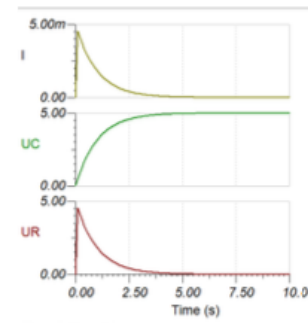
## 2.8 Kondensator



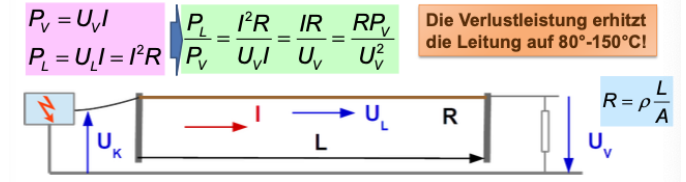
- Kondensatoren können praktisch beliebig oft aufge- und entladen werden.
- Kondensatoren können als Energiespeicher verwendet werden (Bremsenergie).
- Kapazität C [Farad/F]
- $\frac{\delta Q}{\delta t} = I$
- $CU_c = Q$



- $I = \frac{1}{R} \left( U_s - \frac{Q}{C} \right)$
- $U_s = IR + \frac{Q}{C}$



## 2.9 Hochspannung



- Je grösser  $U_V$ , desto kleiner der relative Leistungsverlust in der Leitung.
- Der Verlust beträgt wenige Prozent pro hunder Kilometer (Wechselspannung)



- 1 Höchstspannung: 380 kV beziehungsweise 220 kV
- 3 Hochspannungsebene: 36 kV bis 150 kV
- 5 Mittelspannungsebene: 1 kV bis 36 kV
- 7 Niederspannungsebene: < 1 kV
- 2,4,6 Transformatorebenen

## 2.10 Gleich- und Wechselstrom

- Historisch bedingt konnte früher nur Wechselstrom transformiert werden.
- Wechselstrom relativ hohe Verlustleistung (Skinneffekts, ..)
- Gleichstrom hat eine geringere Verlustleistung.

## 3 Digitaltechnik

### 3.1 Funktionseinheiten & Signale

- Eine **Funktionseinheit** empfängt n Inputsignale und liefert m Outputsignale
- Eine **Rückkopplung** ist beispielsweise wenn Outputsignal von FE1 Inputsignal von FE2 ist und ein Outputsignal von FE2 ein Inputsignal von FE1 ist.
- **Schaltnetze** enthalten mehrere Funktionseinheiten ohne Rückkopplungen.
- **Schaltwerk** enthalten Rückkopplungen und besitzen dadurch einen speichernden Charakter.

### 3.2 Logik-Gatter

	IEC-Norm (Europa)	ANSI-Standard (USA)
<b>NOT</b>		
<b>AND</b>		
<b>OR</b>		
<b>XOR</b>		

- Schalter die durch elektronische Signale betrieben werden sind **Transistoren**
- NOT: Einzelner Schalter
- AND: Zwei Schalter in serie
- OR: Zwei Schalter parallel
- XOR: Zwei Schalter in serie versetzt

### 3.3 Flip-Flops

Ein Flip-Flop ist das fundamentale Speicherelement.

#### 3.3.1 SR-Flip-Flop

- Input S und R
- Funktioniert nur wenn S und R unterschiedlich oder beide Null sind (Beide Null speichert)
- $Q = S$

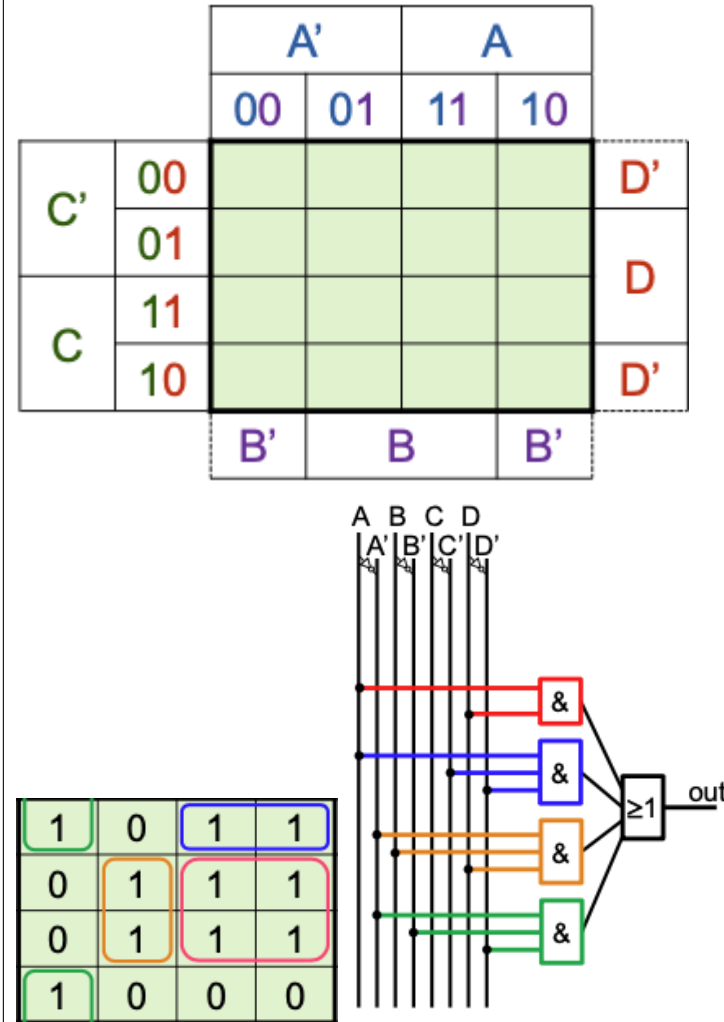
#### 3.3.2 D-Flip-Flop

- S und R werden zu D zusammengefasst
- Wenn der Clockeingang von unten nach oben wechselt wird der Speicher gesetzt (flankengesteuert)

#### 3.3.3 JK-Flip-Flop

- S wird mit J(Jump) und R mit K(Kill) ersetzt
- Es gibt einen Clockeingang (flankengesteuert)
- Wenn beide Eins sind, wechselt der Ausgang bei jeder aktiven Clockflanke

### 3.4 KV-Diagramm



## 4 Elektrische und Magnetische Felder

### 4.1 Ladungen und Ströme

- Wenn man mehrere Ladungen hat, darf man die Kräfte zusammenzählen. Dies nennt man das **Superpositionsprinzip**.
- $\vec{F}_{12}$ : Kraft auf Ladung  $Q_1$ , verursacht durch Ladung  $Q_2$
- Einheitsvektor von  $Q_2$  zu  $Q_1$ :  $\vec{n}_{12} = \frac{\vec{r}_{12}}{|\vec{r}_{12}|}$
- Permittivität des Vakuums  $\epsilon_0 = 8.859 \cdot 10^{-12} \frac{C^2}{Jm}$

### 4.2 Coulombgesetz

$$\vec{F}_{12} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q_1 Q_2}{|\vec{r}_{12}|^2} \vec{n}_{12}$$

### 4.3 Elektrische Felder

- $\vec{E}(\vec{r}, t), [\frac{N}{C}]$
- Werden erzeugt durch Ladung oder zeitlich veränderliche magnetische Felder (Mehrere Quellen: Vektorsumme (Superpositionsprinzip))
- Das elektrische Feld zeigt von positiven Ladungen zu negativen Ladungen hin

Ladung  $Q$  an Ort  $\vec{r}_Q$  erzeugt  $\vec{E}$ -Feld:

$$\vec{E}(\vec{r}) = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q}{|\vec{r} - \vec{r}_Q|^2} \frac{\vec{r} - \vec{r}_Q}{|\vec{r} - \vec{r}_Q|}$$

Kraft auf Ladung  $q$  am Ort  $\vec{r}$ :

$$\vec{F} = q\vec{E}(\vec{r}, t)$$

#### 4.3.1 Elektronvolt

- $1eV = W = F \cdot d = q \cdot E \cdot d = q \cdot U = 1.6 \cdot 10^{-19} J$
- Arbeit  $W = \frac{m \cdot v^2}{2}$

### 4.4 Magnetische Felder

- $\vec{B}(\vec{r}, t), [\frac{kg}{s \cdot C}]$
- Werden erzeugt durch Ströme oder zeitlich veränderliche elektrische Felder (Mehrere Quellen: Vektorsumme (Superpositionsprinzip))
- Das Magnetfeld zeigt vom Nord- zum Südpol
- Das Magnetfeld zeigt vom Nord- zum Südpol

#### 4.4.1 Lorentzkraft

**Lorentzkraft** auf Ladung  $q$  mit Geschwindigkeit  $\vec{v}$ :

$$\vec{F}_L = q\vec{v} \times \vec{B}$$

**Rechte Hand Regel**

- Mittelfinger: Richtung der Lorentzkraft
- Zeigefinger: Richtung des Magnetfeldes (Nord-Süd)
- Daumen: Richtung der positiven Ladung

### 4.5 Generatoren/Elektromotoren

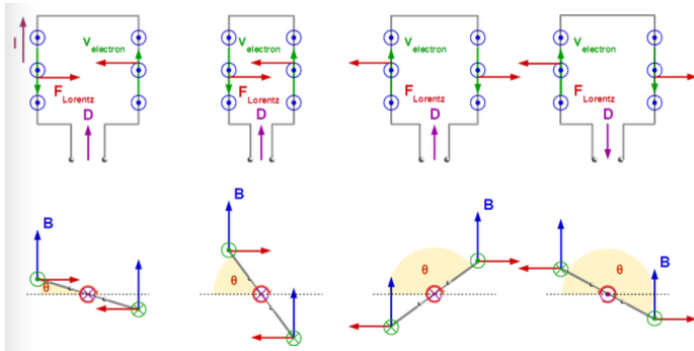
- Steht ein stromdurchflossener Draht senkrecht zu einem Magnetfeld wirkt eine Kraft auf den Draht

#### 4.5.1 Generatoren

- Beim Generator werden die Leiterbahn im Magnetfeld bewegt
- Die Ladungsträger erhalten eine Geschwindigkeit senkrecht zur Leiterbahn
- Das Magnetfeld führt zu einer Kraft auf die Ladungsträger in Richtung der Leiterbahn
- Strom mit wechselnder Richtung (Wechselstrom) fließt

#### 4.5.2 Elektromotoren

- Beim Elektromotor werden die Leiterbahn im Magnetfeld durch die Lorentzkraft bewegt
- Die stromdurchflossene Schleife führt zu einem Drehmoment
- Die Schleife dreht sich im Uhrzeigersinn
- Bei  $\theta = 180$  wird die Stromrichtung geändert



## 5 Maxwellgleichungen

### 5.1 Gauss'sche Gesetz (Elektrischer Fluss)

- $\Phi_{\vec{E}}(\Sigma) = \int_V \frac{\rho}{\epsilon_0} dV = \frac{Q}{\epsilon_0}$
- Der Fluss des elektrischen Feldes  $\vec{E}$  durch eine geschlossene Fläche  $\Sigma$  ist gleich dem Volumenintegral über die Ladungsdichte  $\rho/\epsilon_0$  innerhalb von  $\Sigma$ , also gleich der von  $\Sigma$  eingeschlossenen Ladung  $Q$  geteilt durch  $\epsilon_0$
- $|\vec{E}| = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0 r^2}$
- Das elektrische Feld zeigt von positiven Ladungen zu negativen Ladungen hin

### 5.2 Magnetischer Fluss

- Es gibt keine magnetische Ladungen
- $\Phi_{\vec{B}}(\Sigma) = 0$
- Der Fluss des magnetischen Feldes  $\vec{B}$  durch eine geschlossene Fläche  $\Sigma$  ist gleich 0

### 5.3 Faraday'sches Gesetz (Linienintegral des elektrischen Feldes)

- $\int_{\gamma} \vec{E} \cdot d\vec{\gamma} = -\frac{d}{dt} \Phi_{\vec{B}}(\Omega)$
- Das Linienintegral des elektrischen Feldes  $\vec{E}$  über einer Kurve  $\gamma$  ist gleich der zeitlichen Änderung des negativen Flusses des magnetischen Feldes durch eine von  $\gamma$  berandete Fläche  $\Omega$
- Die Änderung des Flusses eines Magnetfeldes durch eine Schleife induziert in dieser eine Spannung  $U$
- $U = -\frac{d}{dt} \Phi_{\vec{B}}(\text{Schleife})$
- $\Phi_{\vec{B}}(\text{Schleife}) = \vec{A} \cdot \vec{B}$ ,  $\vec{A}$  senkrecht Schleife Länge Fläche Schleife
- Spannung **Schleife**:  $U_{ind}(t) = U_0 \sin(2\pi vt)$
- Amplitude:  $U_0 = \omega |\vec{A}| |\vec{B}|$
- Frequenz:  $v = \frac{\omega}{2\pi}$

### 5.4 Linienintegral des magnetischen Feldes

- $\int_{\gamma} \vec{B} \cdot d\vec{\gamma} = \mu_0 \Phi_{\vec{J}}(\Omega) + \mu_0 \epsilon_0 \frac{d}{dt} \Phi_{\vec{E}}(\Omega)$
- Das Linienintegral des magnetischen Feldes  $\vec{B}$  über einer Kurve  $\gamma$  ist gleich der zeitlichen Änderung des Flusses des elektrischen Feldes (mal  $\mu_0 \epsilon_0$ ) durch eine von  $\gamma$  berandete Fläche  $\Omega$  plus dem Fluss der Stromdichte durch  $\Omega$  mal  $\mu_0$
- Das Linienintegral des magnetischen Feldes  $\vec{B}$  über einer Kurve  $\gamma$  ist gleich der zeitlichen Änderung des Flusses des elektrischen Feldes (mal  $\mu_0 \epsilon_0$ ) durch eine von  $\gamma$  berandete Fläche  $\Omega$  plus dem Fluss der Stromdichte durch  $\Omega$  mal  $\mu_0$
- $\mu_0 = 1.26 \cdot 10^{-6} [T \cdot m \cdot A^{-1}]$
- Magnetfeld um **langen geraden Leiter**:  $B = \frac{\mu_0 I}{2\pi r}$
- Magnetfeld in **Spule**:  $B = \mu_r \mu_0 \frac{N}{L} I$

#### Rechte Hand Regel

- Daumen: Richtung der positiven Ladung
- Rest: Umlaufsinn des  $\vec{B}$ -Feldes um I

## 6 Frequenz und Kreisfrequenz

- Frequenz:  $f(t) = \sin(2\pi vt)$
- Periode:  $T = \frac{1}{v}$
- Frequenz:  $\omega = 2\pi v$

### 6.1 Wechselstrom

- Nennspannung:  $U_N = \frac{U_0}{\sqrt{2}}$
- Spannung:  $U(t) = U_0 \sin(2\pi vt + \phi_0)$
- $U_0$ : Amplitude
- $\phi_0$ : Phasenkonstante

### 6.2 Transformatoren

