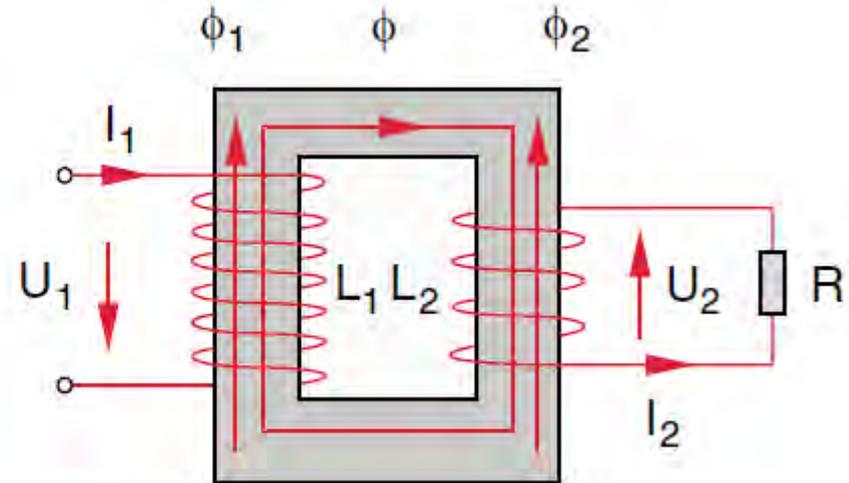
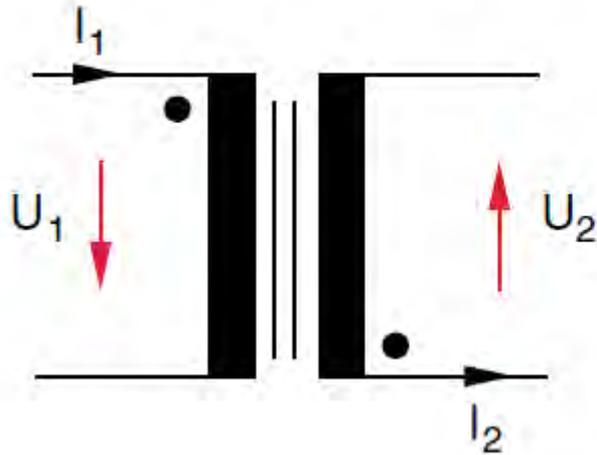


Rekapitulation Transformator



Spannung und Strom am Ausgang (Betrag)

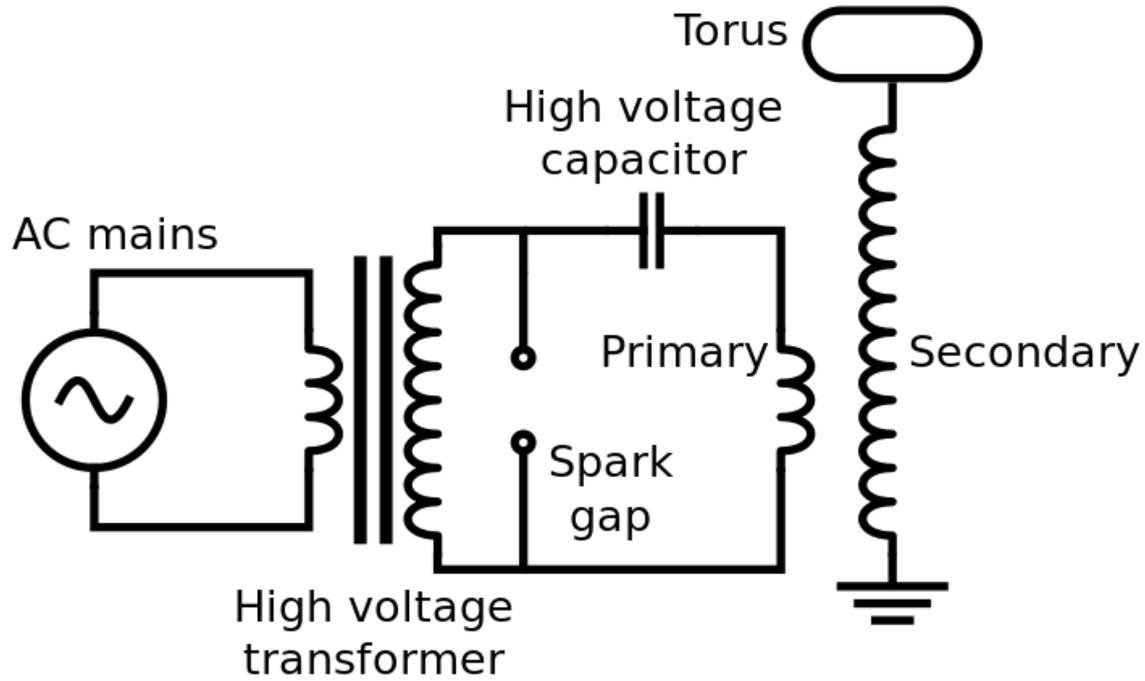
Offener Ausgang:

$$\frac{U_2}{U_1} = \frac{N_2}{N_1}$$

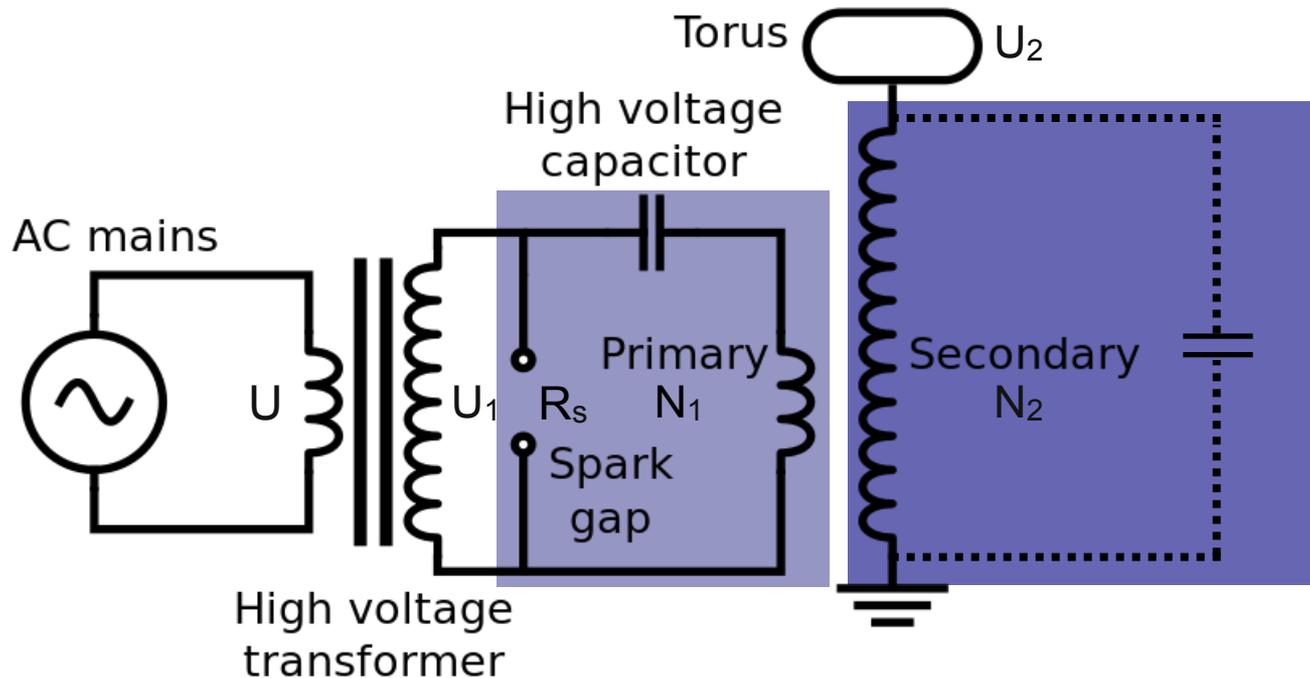
Kurzgeschlossener Ausgang:

$$\frac{I_2}{I_1} = \frac{N_1}{N_2}$$

Teslatrafo



Teslatrafo



1. Netzspannung U (230V, 50Hz) transformiert zu U_1 ($\sim 10\text{kV}$)
2. Kondensator lädt sich langsam auf (in $t \sim 1/50\text{Hz} = 20\text{ms}$)
3. Sobald U_1 gross genug: Durchschlag auf "Spark gap" $\rightarrow R_s = 0$
4. Primäroszillator beginnt zu schwingen ($\omega_1 = 1/(L_1 C_1)^{1/2} \sim 100\text{kHz}$)
5. Induzierte Spannung in Sekundäroszillator ($\omega_2 = 1/(L_2 C_2)^{1/2} \sim \omega_1$): $U_2 = U_1 \cdot N_2 / N_1 \sim 100\text{-}1000\text{kV}$
6. Sobald Schwingung ausgeklungen: Funken erlischt. Neustart bei 1.

Teslatrafo



Teslatrafo

“Transienter” Spannungspuls gemessen an Spitze des Tesla-Trafos

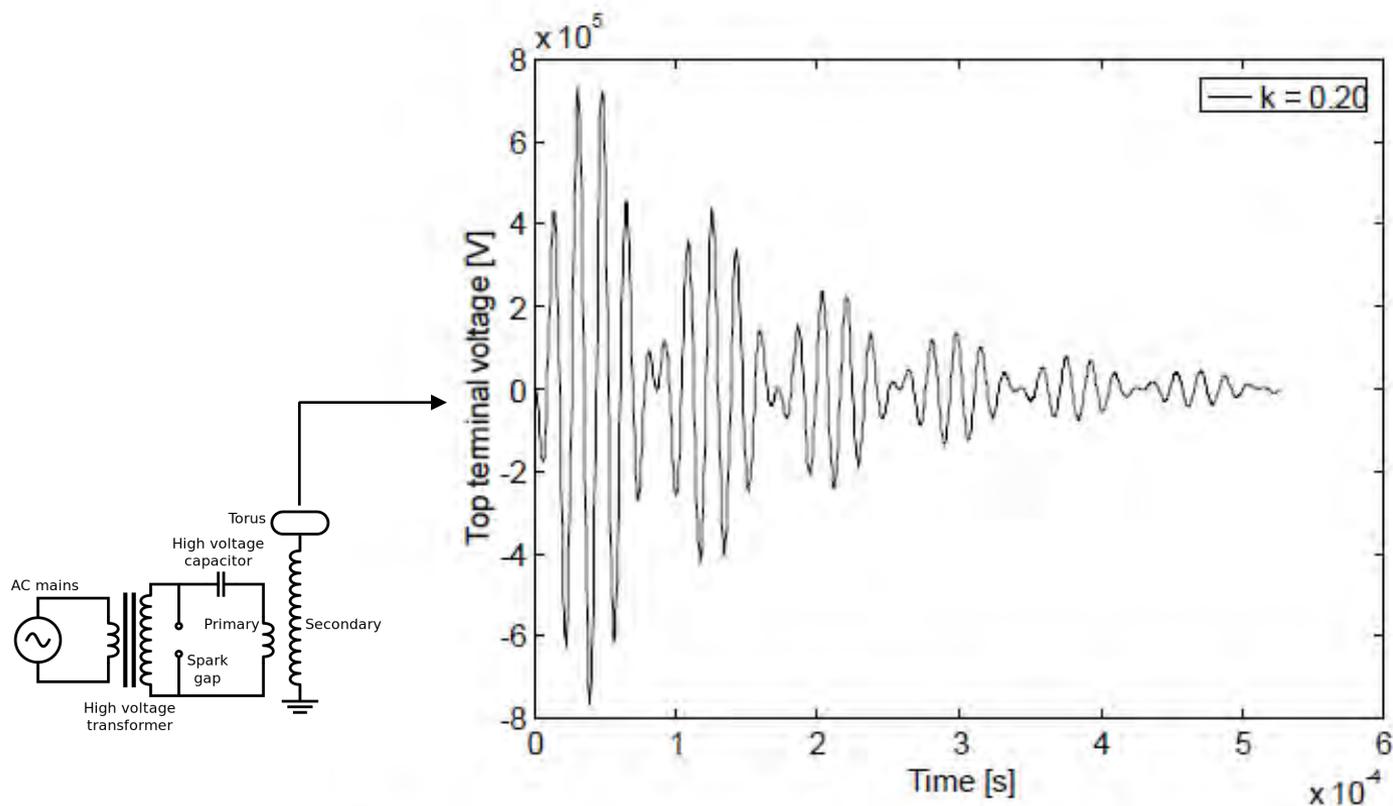
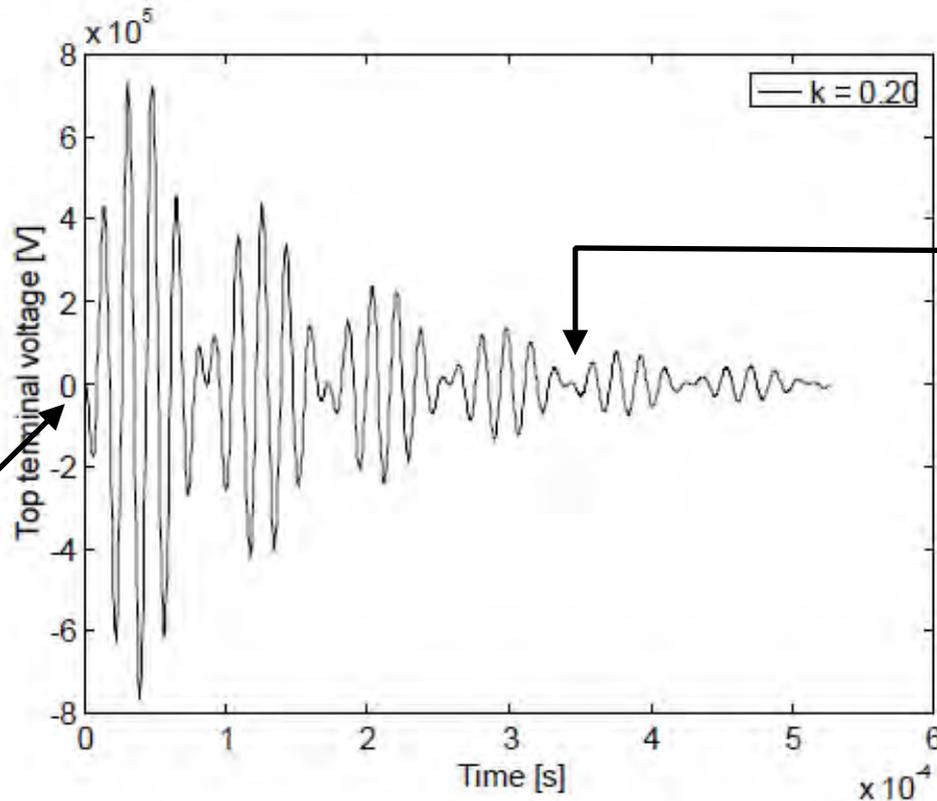


Figure 7: Top terminal voltage for a single spark gap pulse.

Teslatrafo

“Transienter” Spannungspuls gemessen an Spitze des Tesla-Trafos



Schwebung:
Kopplung von
Primär- und
Sekundärkreislauf

$t=0$:
Funkenstrecke
schliesst

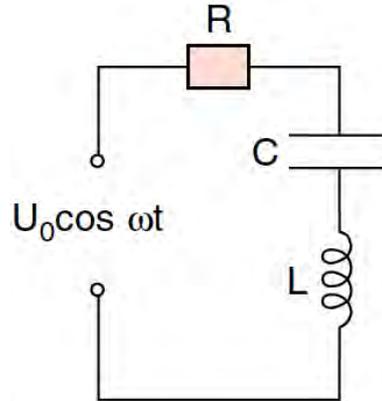
Figure 7: Top terminal voltage for a single spark gap pulse.

Ch. 6 Elektromagnetische Schwingungen und Wellen

- **Der elektromagnetische Schwingkreis**
- **Erzeugung ungedämpfter Schwingungen**
- **Offene Schwingkreise, Hertzscher Dipol**
- **Abstrahlung des schwingenden Dipols**

Analogie elektrischer vs. mechanischer Oszillator

Serieller L-R-C Schwingkreis



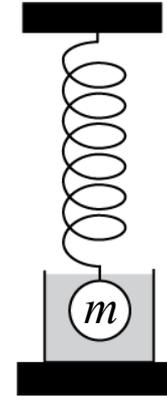
$$\ddot{I} + \frac{R}{L} \dot{I} + \frac{1}{LC} I = -\frac{\omega U_0}{L} \sin \omega t$$

Mechanischer Oszillator

Anregung $F \cdot \cos(\omega t)$

Federkonstante k

Dämpfung α

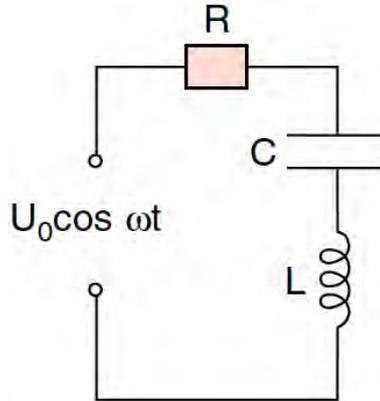


$$\ddot{x} + \frac{\alpha}{m} \dot{x} + \frac{k}{m} x = \frac{F}{m} \cos \omega t$$

$$\omega_0^2 = \frac{k}{m}$$

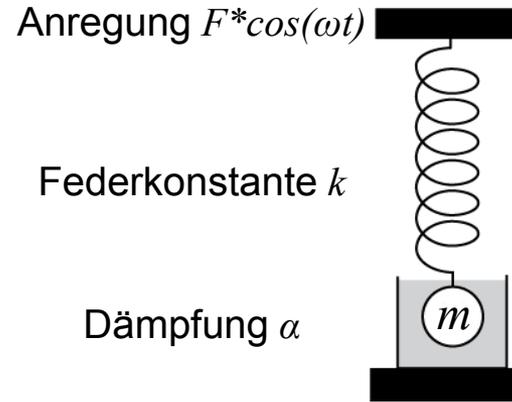
Analogie elektrischer vs. mechanischer Oszillator

Serieller L-R-C Schwingkreis



$$\ddot{I} + \frac{R}{L}\dot{I} + \frac{1}{LC}I = \underbrace{-\frac{\omega U_0}{L} \sin \omega t}_{\frac{\omega U_0}{L} \cos(\omega t + \pi/2)}$$

Mechanischer Oszillator



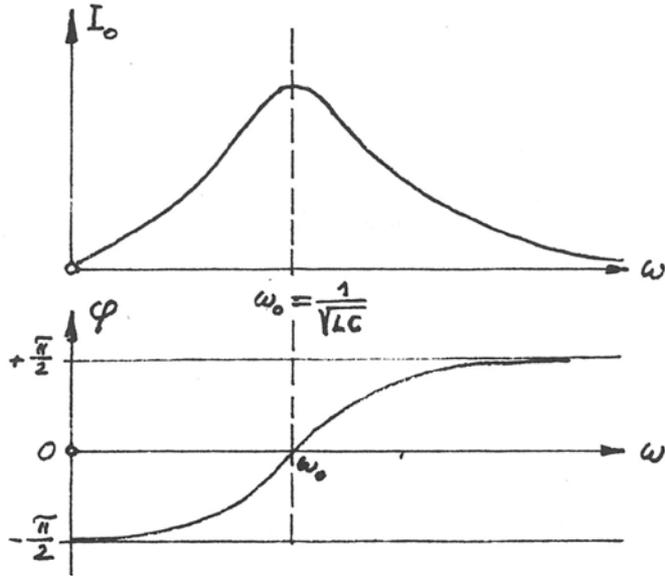
$$\ddot{x} + \frac{\alpha}{m}\dot{x} + \frac{k}{m}x = \frac{F}{m} \cos \omega t$$

$$\omega_0^2 = \frac{k}{m}$$

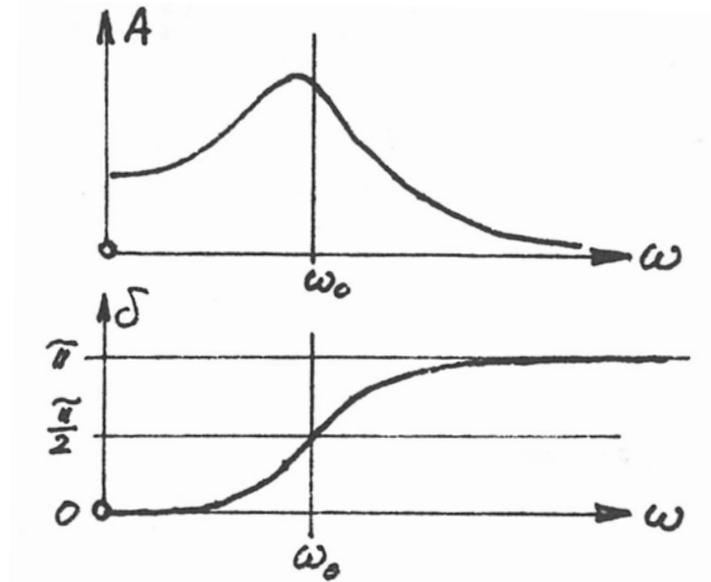
L	\Leftrightarrow	m
$1/C$	\Leftrightarrow	k
R	\Leftrightarrow	α
ω	\Leftrightarrow	F/m
ω	\Leftrightarrow	ω
$\omega t + \pi/2$	\Leftrightarrow	ωt

Analogie elektrischer vs. mechanischer Oszillator

Serieller L-R-C Schwingkreis



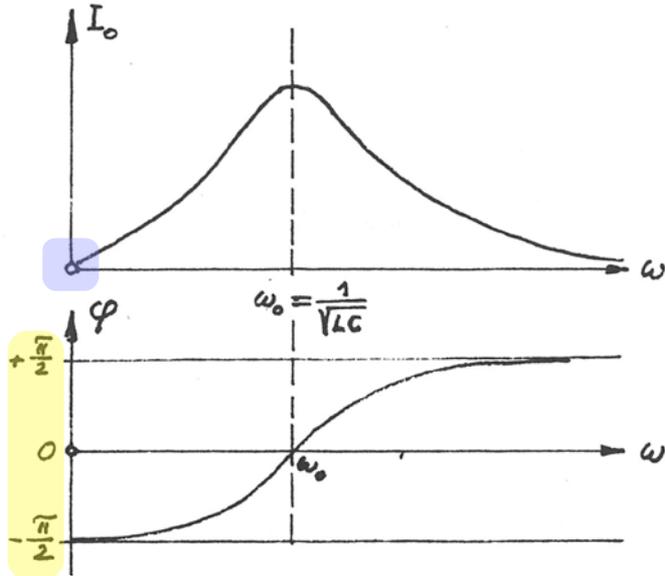
Mechanischer Oszillator



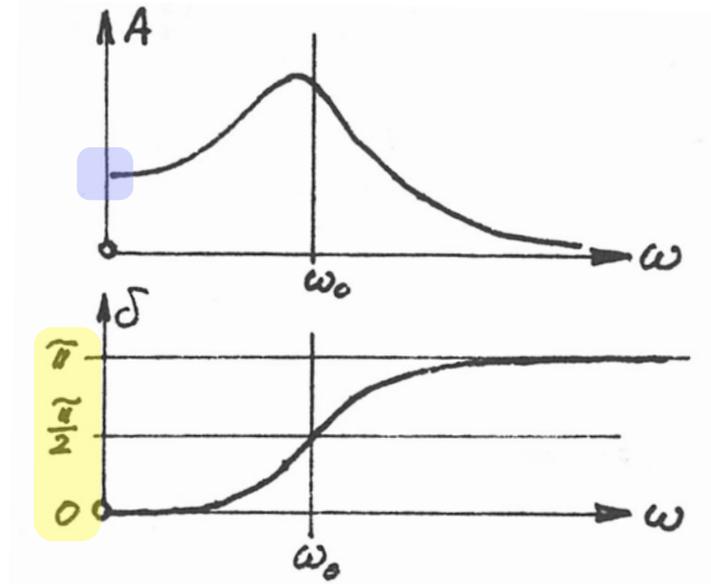
L	\Leftrightarrow	m
$1/C$	\Leftrightarrow	k
R	\Leftrightarrow	α
ω	\Leftrightarrow	F/m
ω	\Leftrightarrow	ω
$\omega t + \pi/2$	\Leftrightarrow	ωt

Analogie elektrischer vs. mechanischer Oszillator

Serieller L-R-C Schwingkreis



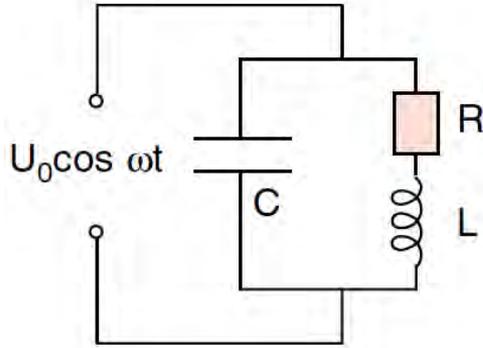
Mechanischer Oszillator



L	\Leftrightarrow	m
$1/C$	\Leftrightarrow	k
R	\Leftrightarrow	α
ω	\Leftrightarrow	F/m
ω	\Leftrightarrow	ω
$\omega t + \pi/2$	\Leftrightarrow	ωt

Analogie elektrischer vs. mechanischer Oszillator

Paralleler L-R-C Schwingkreis



~~$$\ddot{I} + \frac{R}{L} \dot{I} + \frac{1}{LC} I = -\frac{\omega U_0}{L} \sin \omega t$$

$$= \frac{\omega U_0}{L} \cos(\omega t + \pi/2)$$~~

Mechanischer Oszillator

$$\ddot{x} + \frac{\alpha}{m} \dot{x} + \frac{f}{m} x = \frac{F}{m} \cos \omega t \quad \omega_0^2 = \frac{k}{m}$$

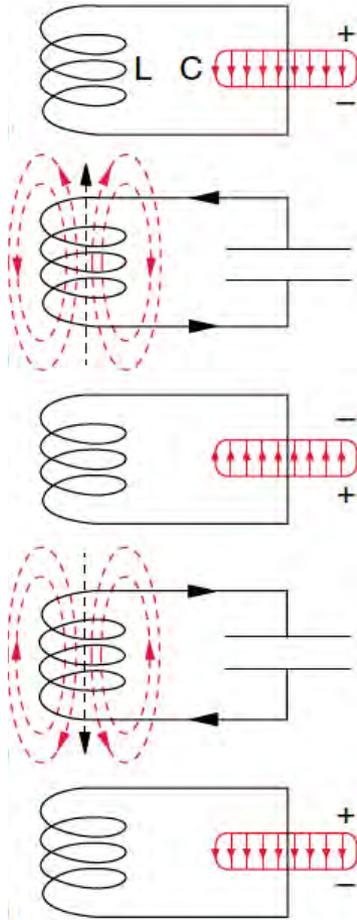
Achtung: Andere Bewegungsgleichung und Äquivalenzrelationen für parallelen R-L-C Schwingkreis!

~~| | | |
|--------------------|-------------------|------------|
| L | \Leftrightarrow | m |
| $1/C$ | \Leftrightarrow | k |
| R | \Leftrightarrow | α |
| ω | \Leftrightarrow | F/m |
| ω | \Leftrightarrow | ω |
| $\omega t + \pi/2$ | \Leftrightarrow | ωt |~~

Analogie elektrischer vs. mechanischer Oszillator

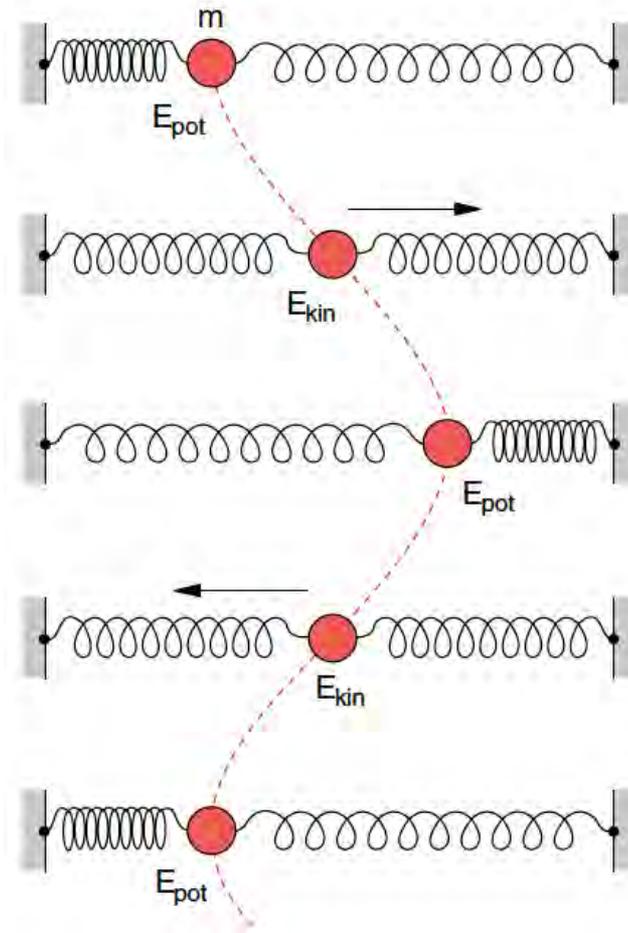
Serieller L-R-C Schwingkreis

$$\ddot{I} + \frac{R}{L}\dot{I} + \frac{1}{LC}I = -\frac{\omega U_0}{L} \sin \omega t$$

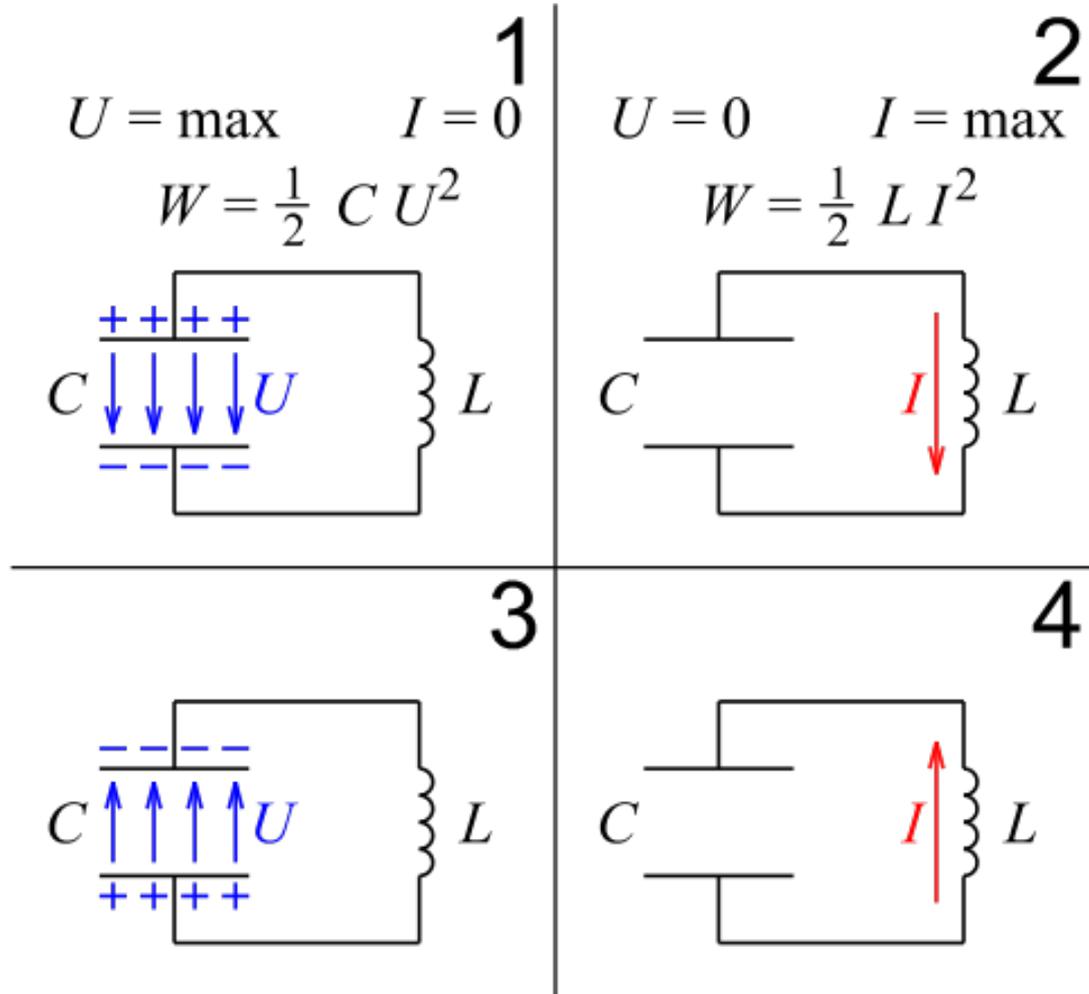


Mechanischer Oszillator

$$\ddot{x} + \frac{\alpha}{m}\dot{x} + \frac{k}{m}x = \frac{F}{m} \cos \omega t$$



LC Schwingkreis



Umgedämpfte LCR Schwingung - Funkenstrecke

Valdemar Poulsen

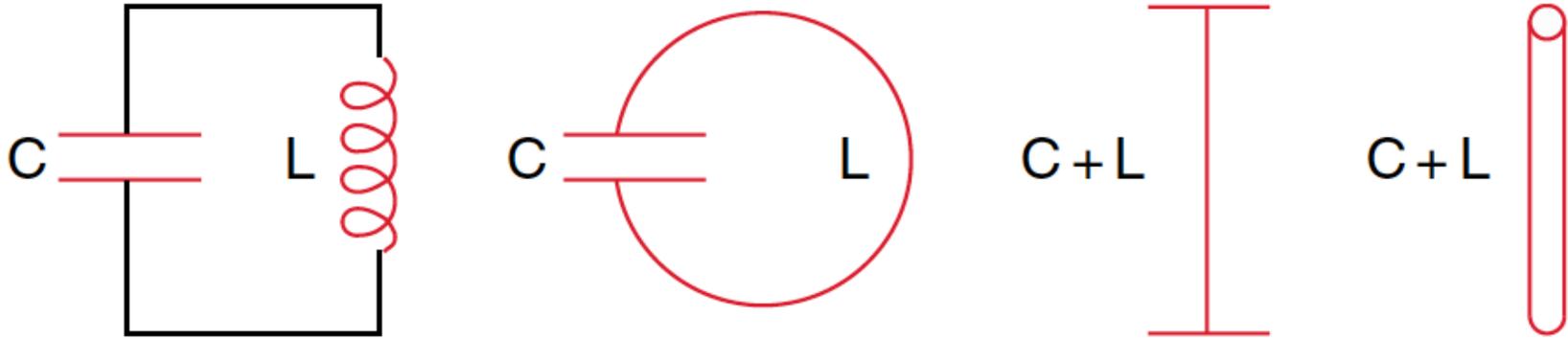


Poulsen Lichtbogensender (Einsatz ~1900-1930)



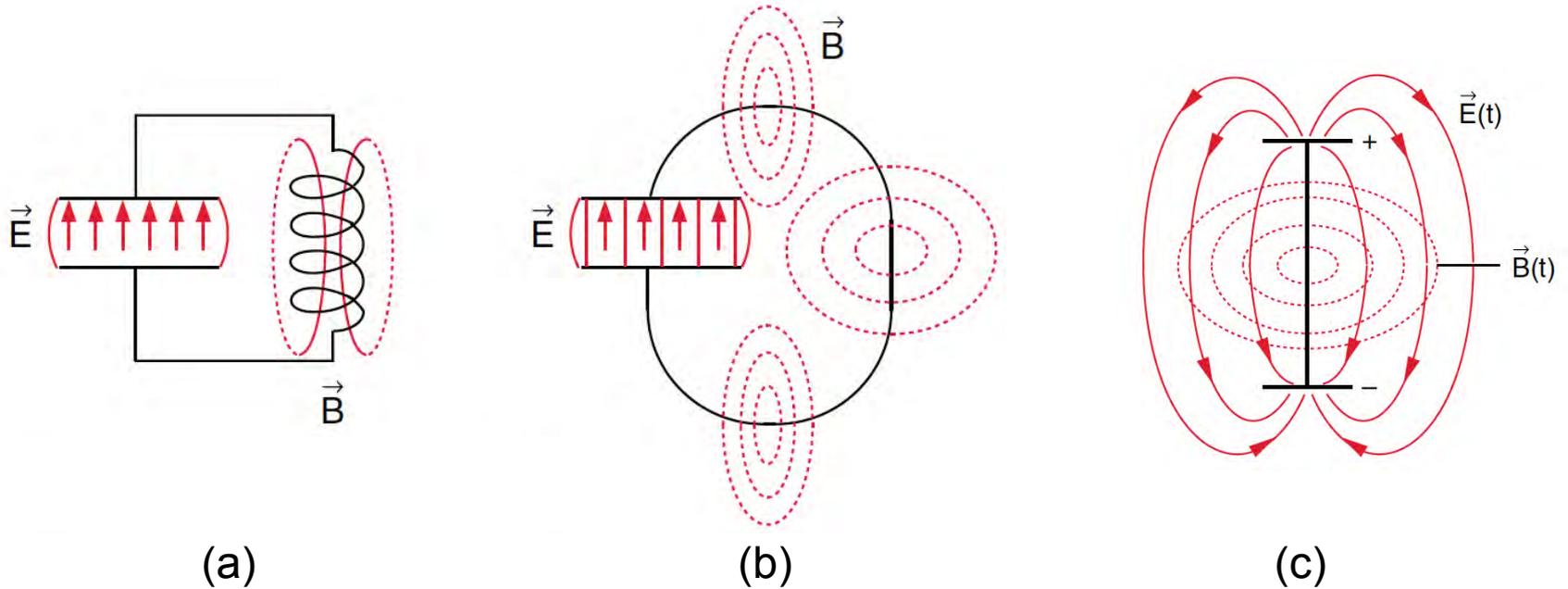
Entstehung von EM Wellen

“adiabatische” Transformation eines L-R-C Schwingkreises in eine Antenne



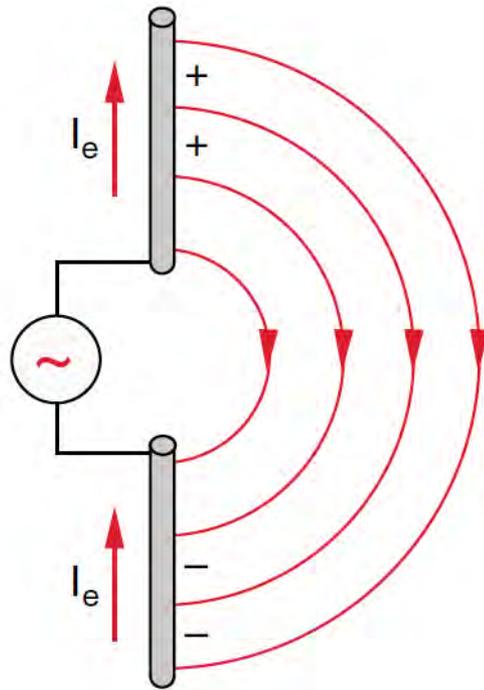
Entstehung von EM Wellen

“adiabatische” Transformation eines L-R-C Schwingkreises in eine Antenne

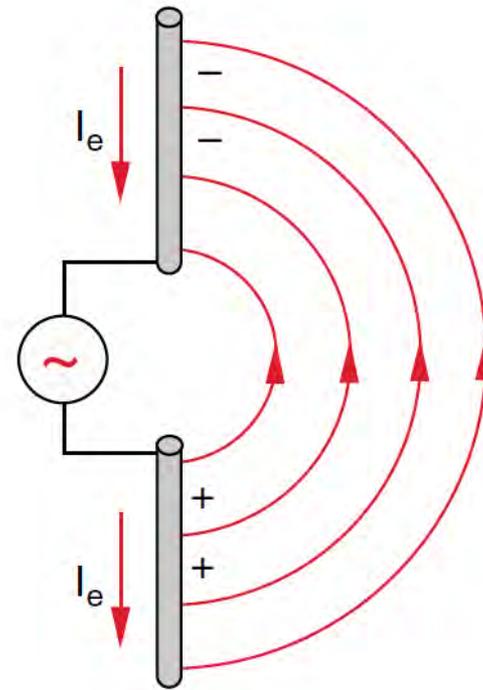


- (a) Schwingkreis mit **räumlich begrenzten** E & B Feldern
- (b) E lokalisiert, B weitreichend
- (c) **Offenen** Schwingkreis: E & B reichen weit in den Raum hinaus

Experimentelle Realisierung



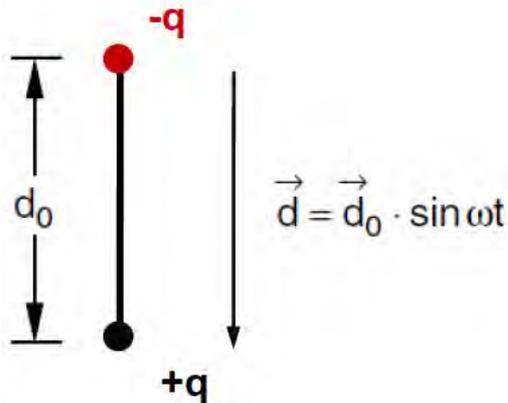
$t=0$



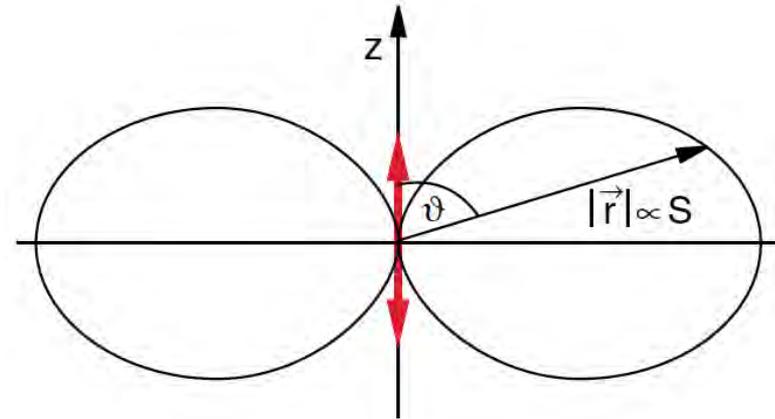
$t=T/2$

Hertzscher Dipol

Schwingender Dipol



abgestrahlte Leistung



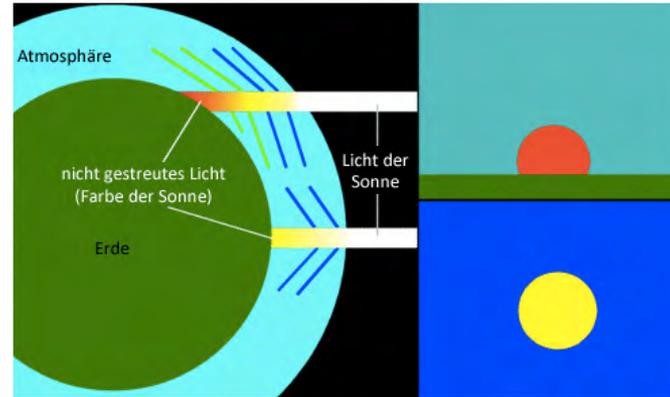
$$S = \varepsilon_0 \cdot c \cdot E^2$$

$$S = \frac{q^2 d_0^2 \omega^4 \sin^2 \vartheta}{16\pi^2 \varepsilon_0 c^3 r^2} \sin^2 (\omega(t - r/c))$$

- S maximal senkrecht zur Dipolachse ($\vartheta=90^\circ$)
- S=0 in Richtung der Dipolachse
- c: Verbreitungsgeschwindigkeit
- $S \sim p_0^2 \omega^2 \Leftrightarrow$ Blauer Himmel, Abendrot

Praktische Implikationen der Reighleigh-Streuung

- Blauer Himmel & Abendrot



- Streulicht in Atmosphäre ist polarisiert \Rightarrow Polarisierende Filter können Bildkontrast erhöhen

ohne Pol-Filter

mit Pol-Filter



- Bienen navigieren basierend auf Polarisations des Himmelslichtes

Praktische Implikationen der Rayleigh-Streuung

- Ausrichtung von Antennen

Beam Pattern with Wifi Antenna at 45° Angle

