Physik für Studierende der Medizin im 1. Fachsemester

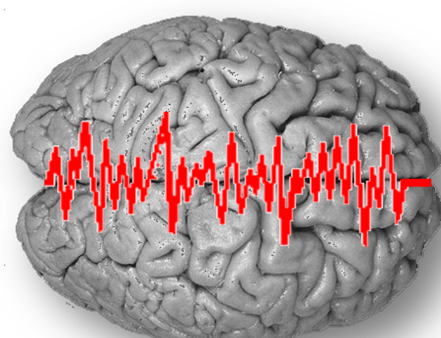
(PFMF-V); 09410100

Dienstag mit Freitag 8.15-9.00

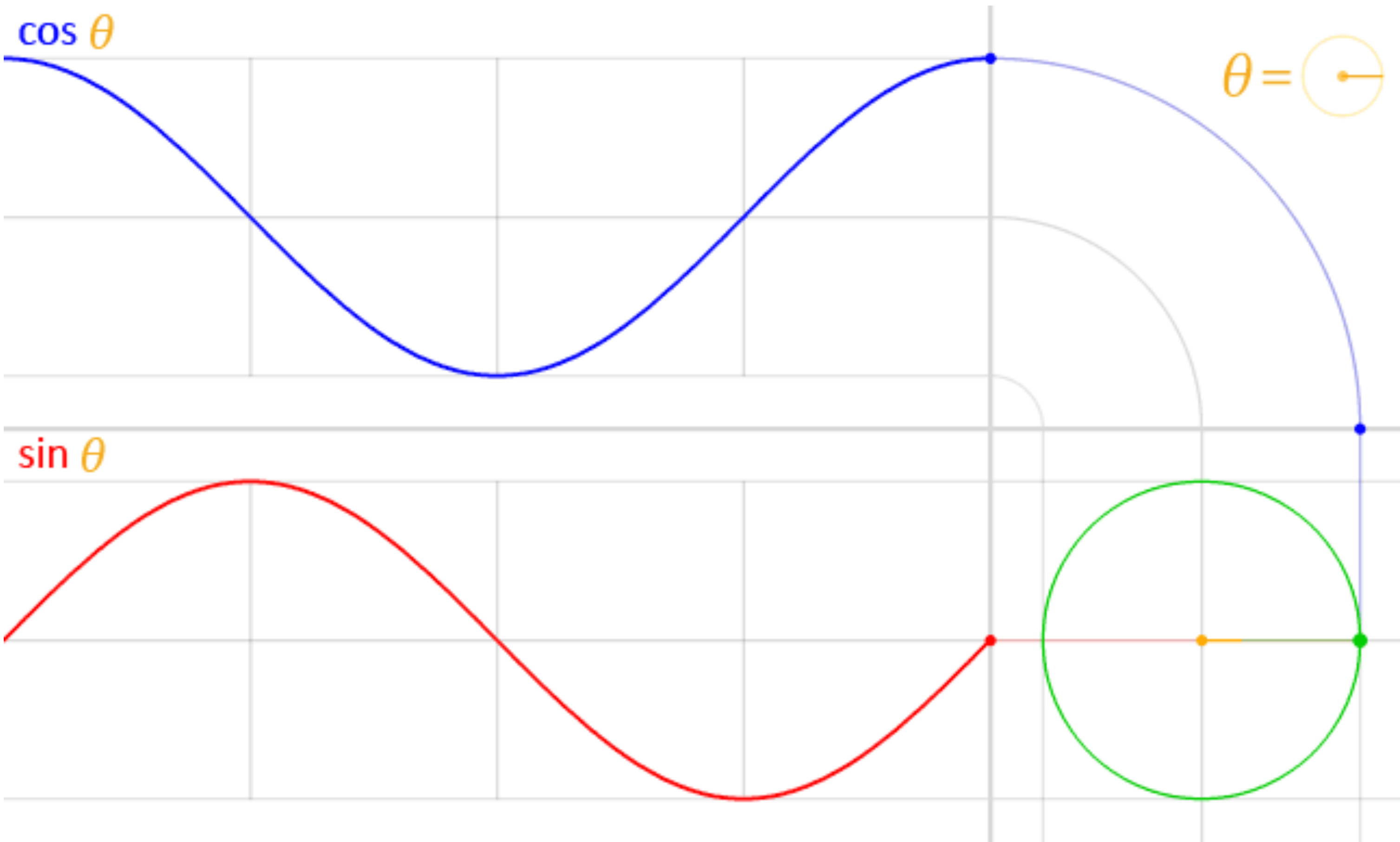
Elektrizitätslehre Teil 5

Am 06.05.2021

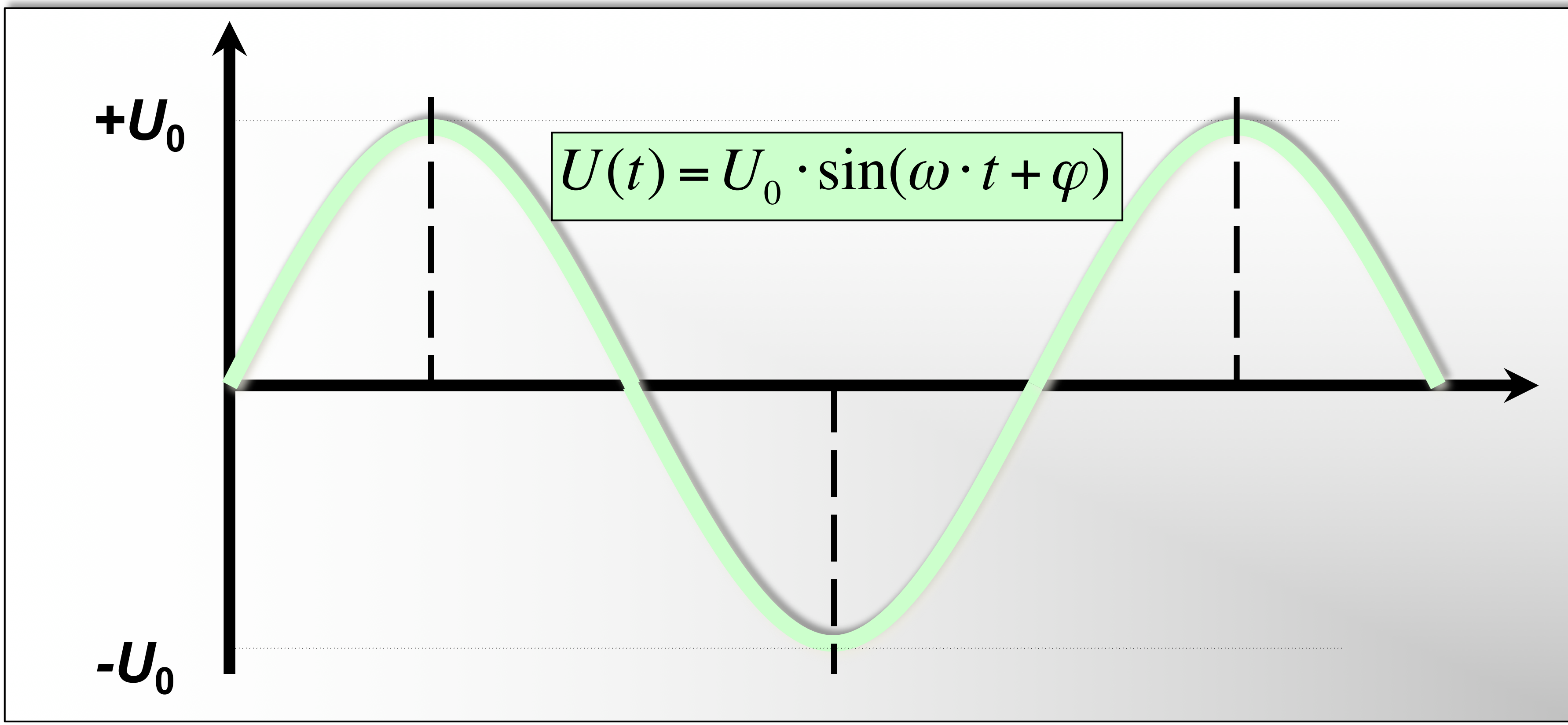
Dr. Simon Moser
Lehrstuhl für Exp. Physik IV,
Universität Würzburg
simon.moser@physik.uni-wuerzburg.de



Wiederholung: Wechselstom



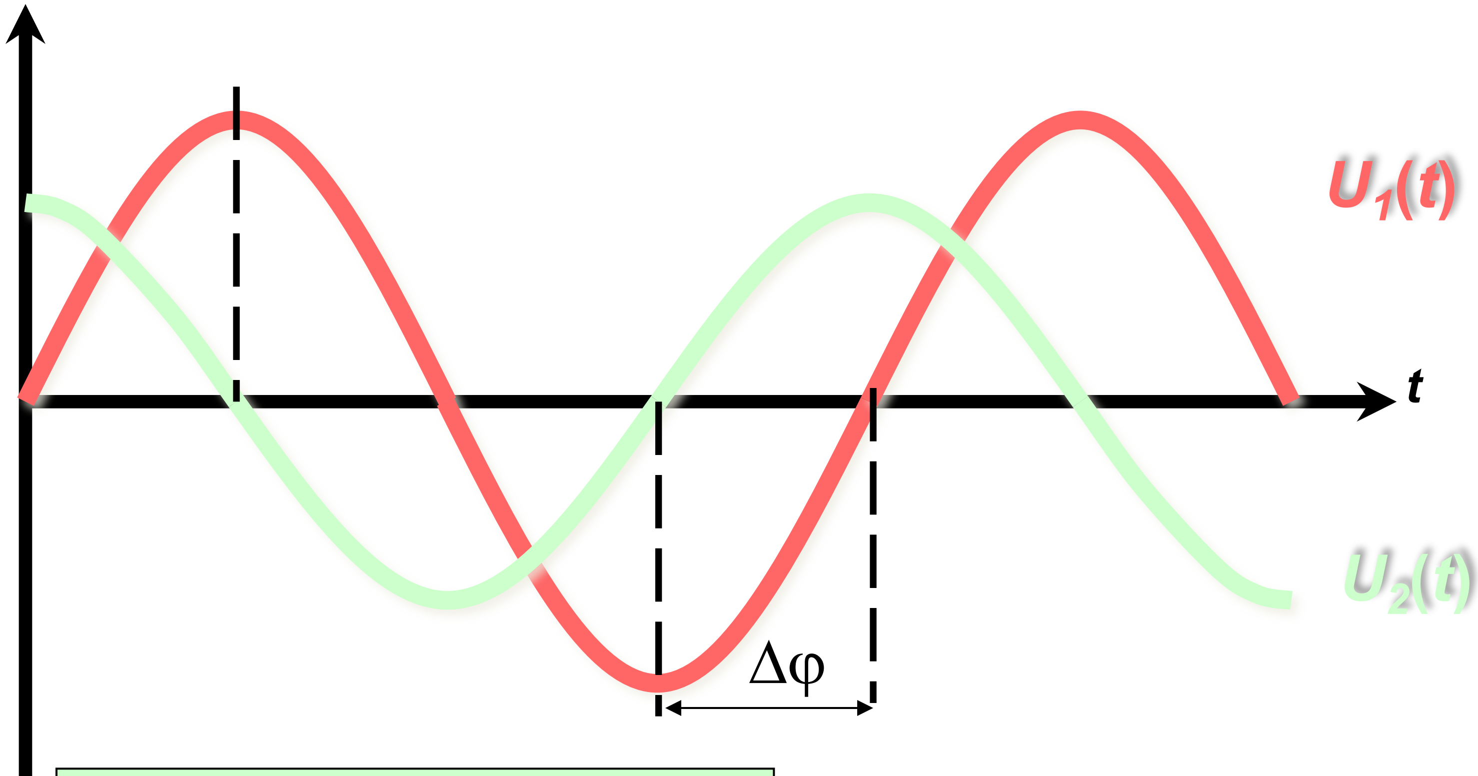
Wiederholung: Wechselstom



U_0 Amplitude
ω Kreisfrequenz [ω] = 1/s
f Frequenz [ν] = 1/s = 1Hz (Hertz)
T Periodendauer [T] = s
φ Phasenverschiebung

$$\omega = 2\pi f = \frac{2\pi}{T}$$

Wiederholung: Phase

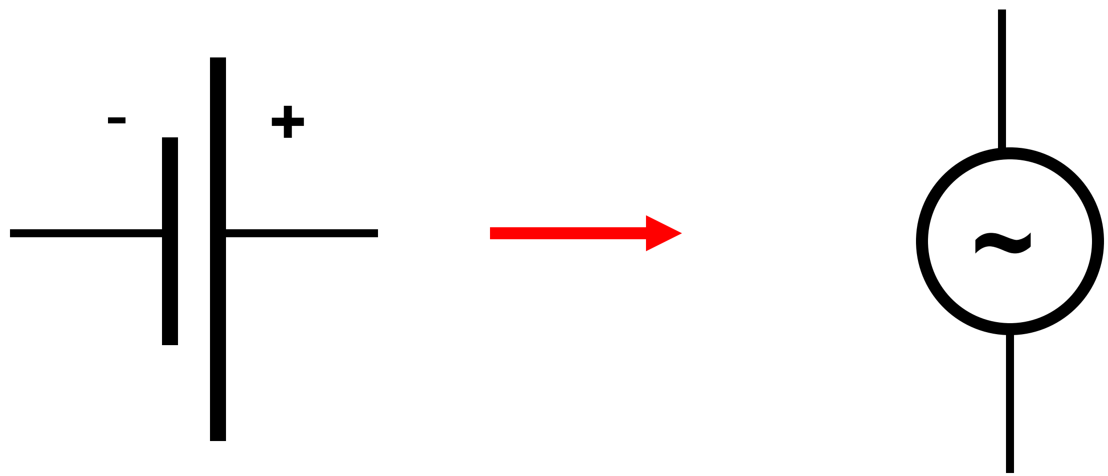


$$U_1(t) = U_{01} \cdot \sin(\omega \cdot t + \varphi_1)$$
$$U_2(t) = U_{02} \cdot \sin(\omega \cdot t + \varphi_2)$$

$\Delta\varphi = \varphi_1 - \varphi_2$ Phasenverschiebung

Wechselstromwiderstand

Bisher: Jetzt:



$U(t) = U_0 = \text{konst.}$

$U(t) = U_0 \sin(\omega t)$

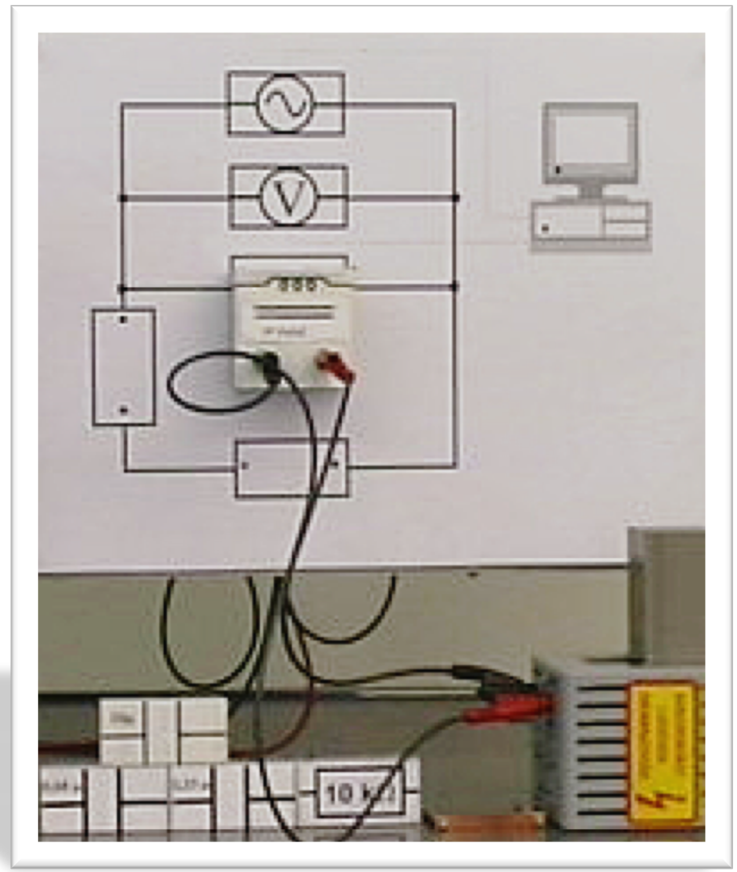
Wechselstromwiderstand

Gleichstromwiderstand *R* = Spannung/Strom

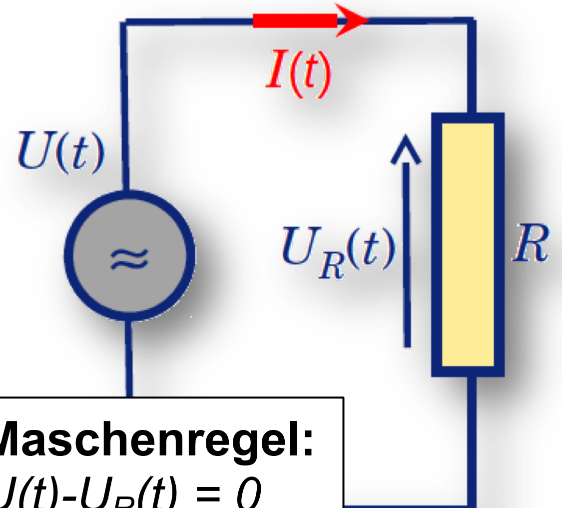
Frage: Wie groß ist der Widerstand in Abhängigkeit von der Frequenz für

- Ohm‘schen Widerstand *R* ?
- Kondensator *C* ?

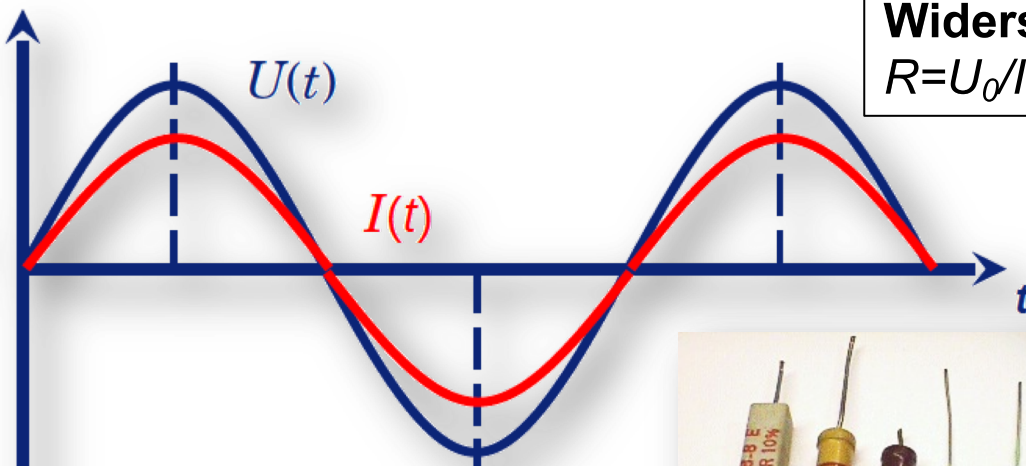
Frequenzgang?



Strom- und Spannungsverlauf an einem ohm'schen Widerstand

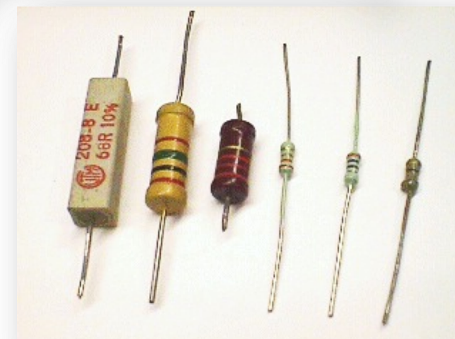


Maschenregel:
$U(t)-U_R(t) = 0$



Widerstand:
$R=U_0/I_0$

$$U(t) = U_0 \cdot \sin(\omega \cdot t)$$
$$I(t) = I_0 \cdot \sin(\omega \cdot t)$$



Beobachtung:

- Es fließt ein Strom
- Strom ist unabhängig von Frequenz

- Wechselspannung erzeugt Wechselstrom durch Widerstand
- Strom & Spannung sind **in Phase**
- Der ideale ohmsche Widerstand ist **frequenzunabhängig**

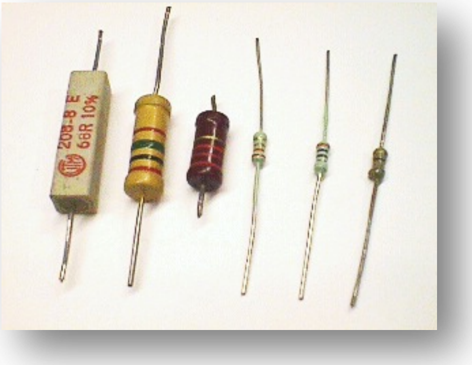
Wdh.: Leistung im ohmschen Bereich

Im ohmschen Bereich wird die gesamte elektrische Leistung in Stromwärme umgewandelt (Wirkungsgrad 100%):

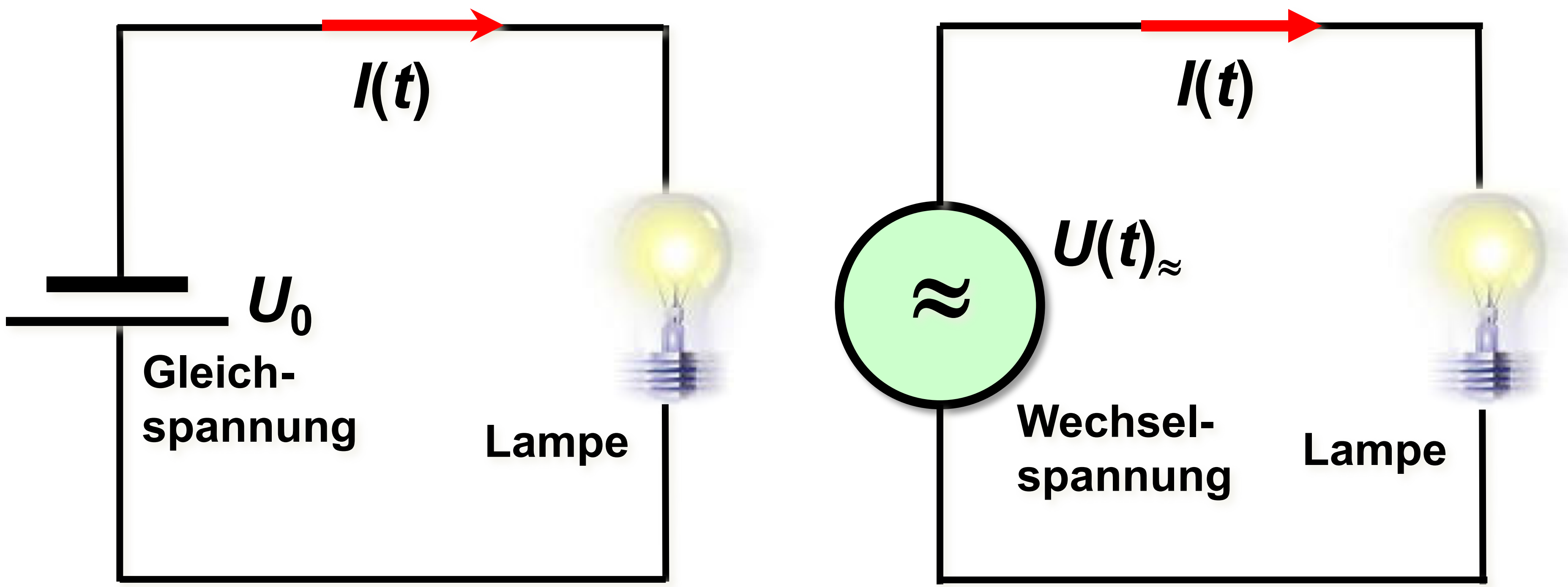
$$P = U\,I = R\,I^2 = \frac{U^2}{R}$$

$$R = \frac{U}{I}$$

Ohm'scher Widerstand



Leistung bei Wechselströmen



$$U(t) = U_0 \cdot \sin(\omega \cdot t)$$
$$I(t) = I_0 \cdot \sin(\omega \cdot t)$$

Elektrische Leistung

① **Definition:**

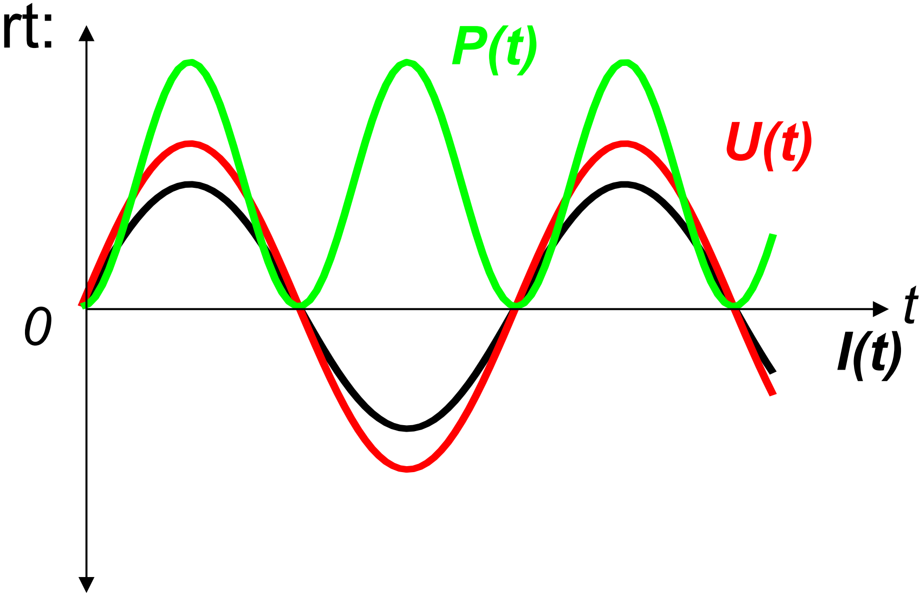
$$P = U \cdot I$$

② **Ohmscher Verbraucher:**
Strom & Spannung in Phase

$$U(t) = U_0 \cdot \sin(\omega \cdot t)$$
$$I(t) = I_0 \cdot \sin(\omega \cdot t)$$

① **Momentanleistung** oszilliert:

$$P(t) = U(t) \cdot I(t) =$$
$$= U_0 \sin(\omega t) \cdot I_0 \sin(\omega t)$$
$$= U_0 \cdot I_0 \sin^2(\omega t)$$
$$= R \cdot I_0^2 \sin^2(\omega t)$$



① **Zeitlicher Mittelwert:**

$$\langle P \rangle = \frac{1}{T} \int_0^T P(t)\, dt = \frac{1}{T} \int_0^T R I_0^2 \sin^2(\omega t)\, dt = \frac{1}{2} R I_0^2$$

Glühlampen gleich hell

Gleichstromleistung $P_= = U_= I_=$

und

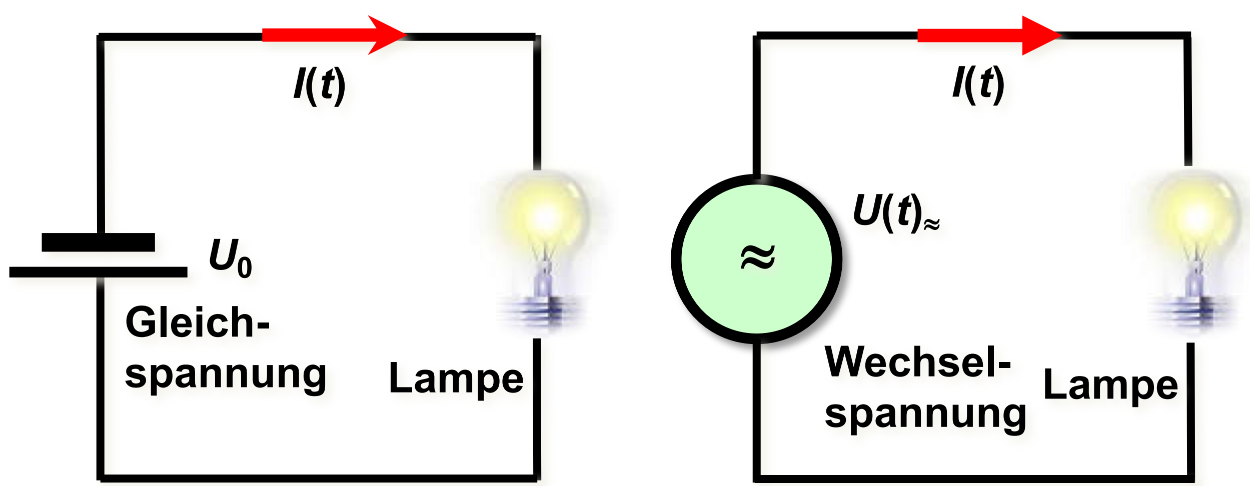
mittlere Wechselstromleistung $P_\sim = 1/2\, U_0\, I_0$

müssen gleich sein

Das ist genau dann der Fall, wenn

$U_0 = \sqrt{2}\, U_= \;\&\; I_0 = \sqrt{2}\, I_=$

Vergleiche Experiment:
$U_= = 20$ V
$U_0 = 28$ V $\sim \sqrt{2}\, U_=$



Wechselstromkreis (ac)

Effektivwerte:

- Effektivwerte stellen einen Zusammenhang zu Gleichströmen her
- Effektivwerte stellen die Werte dar, die ein Gleichstrom haben müsste, um in einem ohmschen Widerstand (R=const.) die gleiche Leistung umzusetzen wie der gegebene Wechselstrom
- Leistung im Wechselstromkreis:

$$\boxed{P = U_{eff} \cdot I_{eff}}$$

Für sinusförmige Wechselspannung:

$$\boxed{U_{eff} = \frac{U_0}{\sqrt{2}}} \qquad \boxed{I_{eff} = \frac{I_0}{\sqrt{2}}}$$

U_0, I_0 = Scheitelwerte für Spannung, Strom

Effektivwert

① Das elektrische Netz liefert Wechselspannung mit einer Frequenz von 50 Hz & einer effektiven Spannung von 230V (Nennwert)

Gemessen Spitzenwert ~ 320V
Nennwert 230 V

$\longrightarrow$ 320/230 ~ 1.4 ~ √2

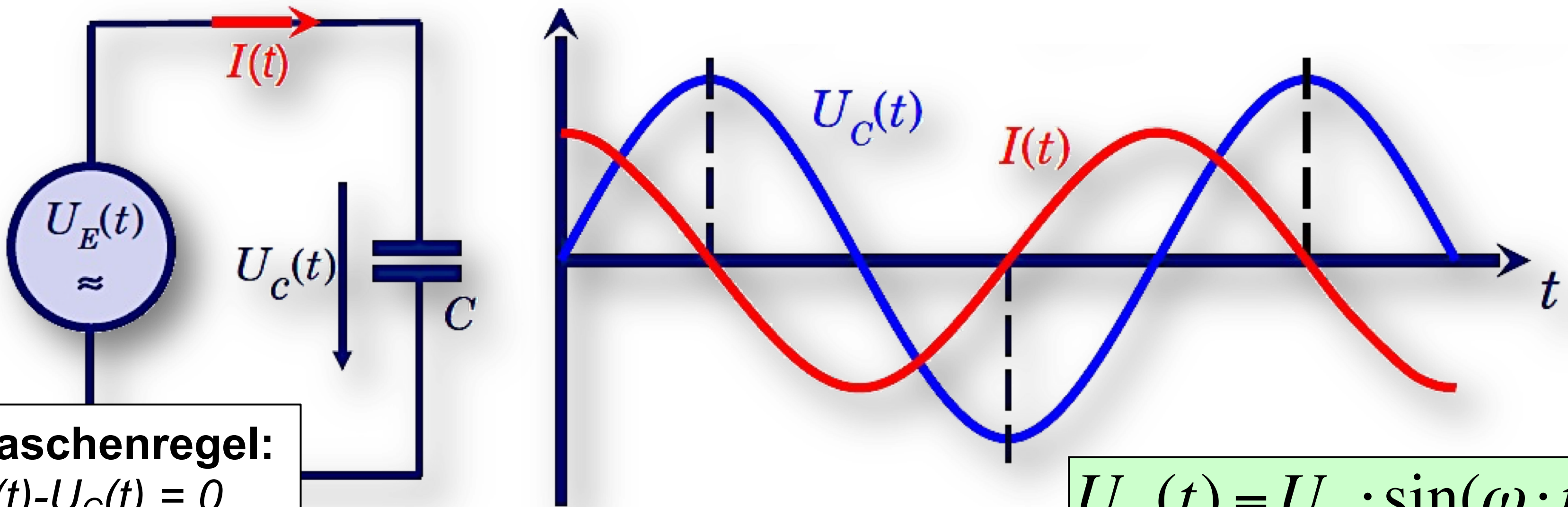
Bei **Wechselspannungen** wird oft der **Effektivwert** angegeben =
Wert, der die gleiche Leistung ergibt wie eine **Gleichspannung**:

$U_{eff} = U_0 /\sqrt{2} = 0.707\ U_0$ für sinusförmige Spannung

Spannung & Strommessgeräte zeigen normalerweise den Effektivwert an!

Für andere Spannungsformen gelten andere Proportionalitätsfaktoren

Strom- und Spannungsverlauf an einem Kondensator



Maschenregel:
$U(t) - U_C(t) = 0$

$$U_C(t) = U_0 \cdot \sin(\omega \cdot t)$$

Beobachtungen:
- Es fließt ein kontinuierlicher Strom
- Strom **nimmt mit** zunehmender **Frequenz zu**
- Strom **nimmt mit** zunehmender **Kapazität zu**

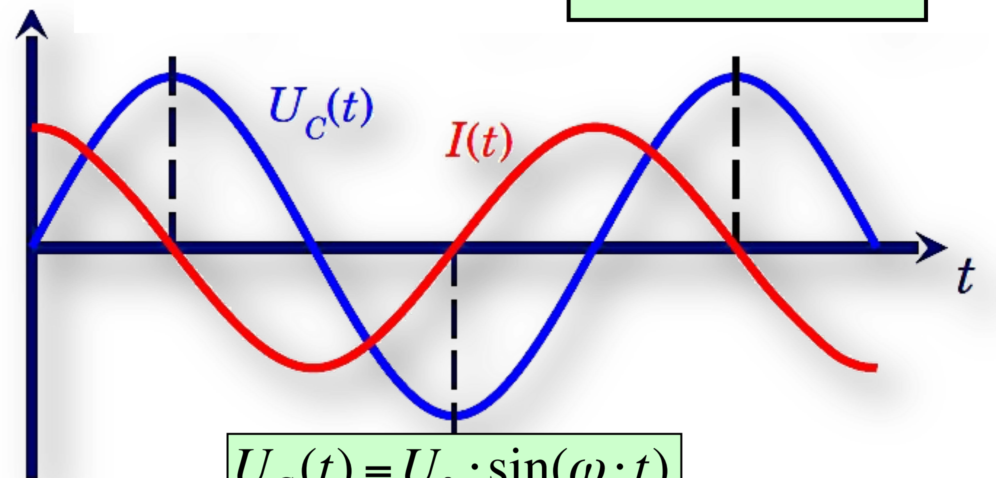
Strom- und Spannungsverlauf an einem Kondensator

Zur Erinnerung

1. Strom ist Änderung der Ladung pro Zeit:
2. Kondensatorladung = Kapazität x Spannung:
3. ➔ **Stromverlauf:**

$$I = dQ/dt$$
$$Q = C \cdot U_C$$

$$I(t) = C \cdot dU_C/dt$$
$$= \omega C U_0 \cos(\omega t)$$
$$= \omega C U_0 \sin(\omega t + \pi/2)$$
$$= I_0 \sin(\omega t + \pi/2)$$

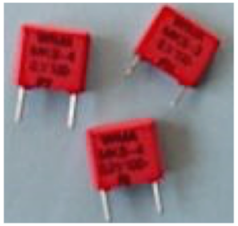


$$U_C(t) = U_0 \cdot \sin(\omega \cdot t)$$

- Wechselspannung erzeugt Wechselstrom durch Kondensator
- **Strom eilt der Spannung um 90° voraus**
- Für Gleichspannung, d.h. $\omega = 0$, ist der Strom null

Blindwiderstand eines Kondensators

Kondensator:



- **Blindwiderstand** = „Ohmsche Beschreibung“ eines Widerstands
- Kondensatorspannung: $U(t) = U_0 \cdot \sin(\omega \cdot t)$
- Kondensatorstrom:

$$I(t) = C \cdot \frac{dU}{dt} = C \cdot \frac{d}{dt}\left[U_0 \cdot \sin(\omega t)\right] = C \cdot U_o \omega \cdot \cos(\omega t) = I_0 \cdot \cos(\omega t)$$

- **kapazitive Widerstand:**

$$X_C = \frac{U_0}{I_0} = \frac{U_0}{\omega \cdot C \cdot U_0} = \frac{1}{\omega \cdot C} = \frac{1}{2\pi f \cdot C}$$

$$R = \frac{U}{I}$$

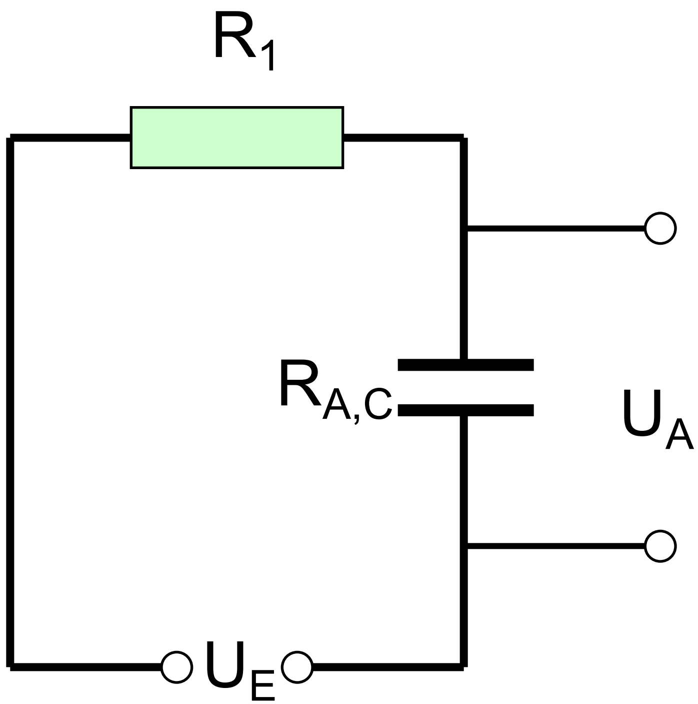
Ohm’scher Widerstand

- Blindwiderstand: **Im zeitlichen Mittel wird keine Leistung umgesetzt!**

RC Tiefpass

Tiefpass:

Spannungsteiler-Verhältnis ist **frequenzabhängig**

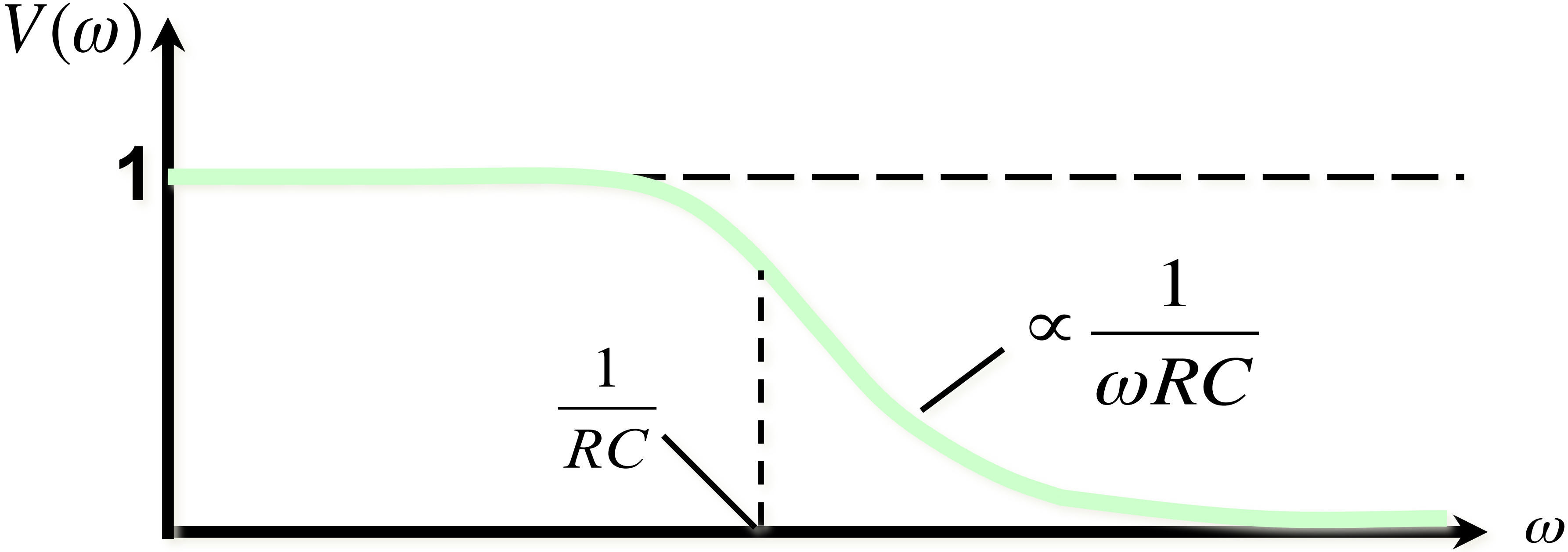


$$\frac{U_A}{U_E} = \frac{X_C}{\sqrt{X_C^2 + R^2}}$$

$$\frac{U_A}{U_E} = \frac{1}{\sqrt{1 + (\omega \cdot R \cdot C)^2}}$$

Gleichung geht für hohe Frequenzen gegen 0, für kleine Frequenzen gegen 1 = **Tiefpass**

Frequenzgang eines Tiefpasses

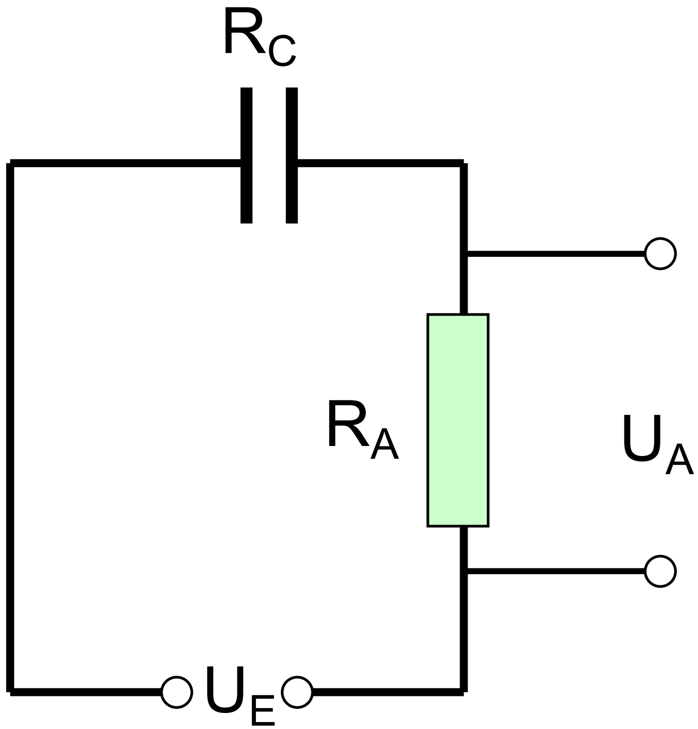


- **Frequenzgang** = Verhältnis von Ausgangs zu Eingangsspannung als Funktion der Frequenz
- Werden die tiefen Frequenzen ohne Abschwächung (V = 1) übertragen so spricht man von einem **Tiefpass**
- Tiefe Frequenzen $X_C = 1/\omega C >> R$ $V \sim 1$
- Hohe Frequenzen $X_C = 1/\omega C << R$ $V \sim 0$

RC Hochpass

Hochpass:

Spannungsteiler-Verhältnis ist frequenzabhängig

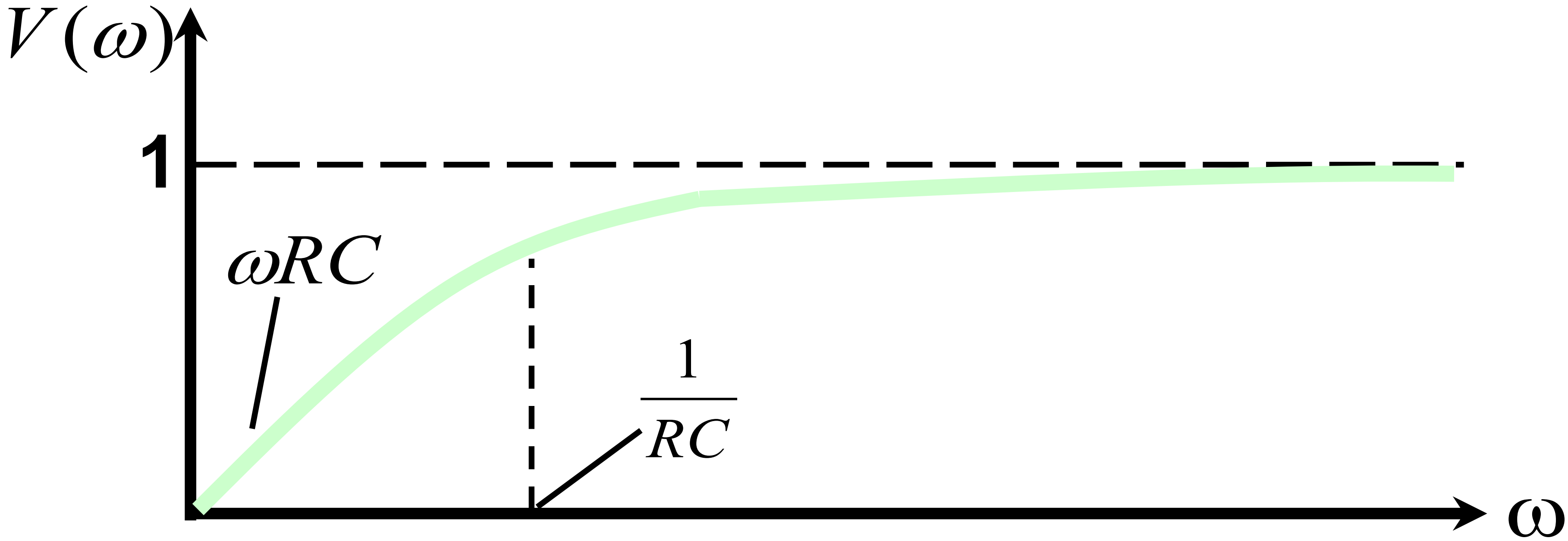


$$\frac{U_A}{U_E} = \frac{R}{\sqrt{X_C^2 + R^2}}$$

$$\frac{U_A}{U_E} = \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{1}{(\omega \cdot R \cdot C)^2}}}$$

Formel geht für hohe Frequenzen gegen 1, für kleine Frequenzen gegen 0

Frequenzgang eines Hochpasses



Werden die hohen Frequenzen ohne Abschwächung (V = 1) übertragen so spricht man von einem **Hochpass**

E1 Oszilloskop

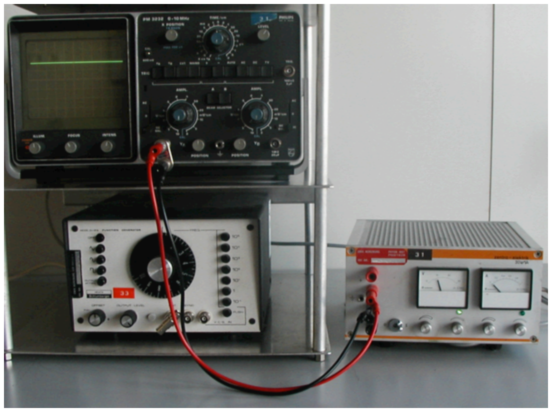
Horizontale Achse (x-Achse): Zeitachse

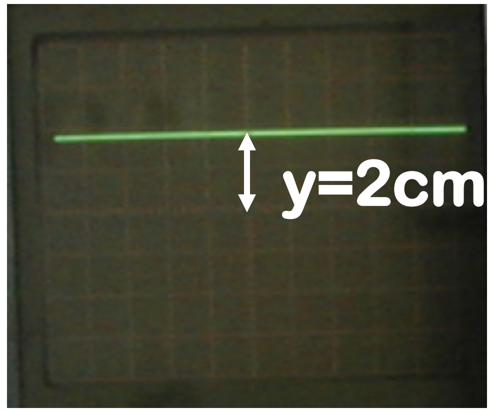
$$t = v_t \cdot x(t)$$

Vertikale Achse (y-Achse): Spannungsachse

$$U = v_U \cdot y(U)$$

Messung von Gleich- und Wechselspannung mit dem Oszilloskop

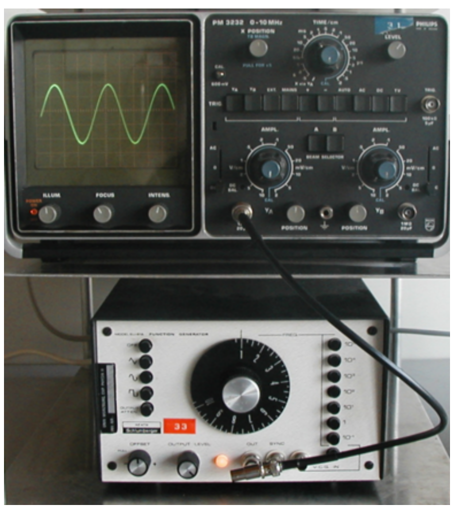


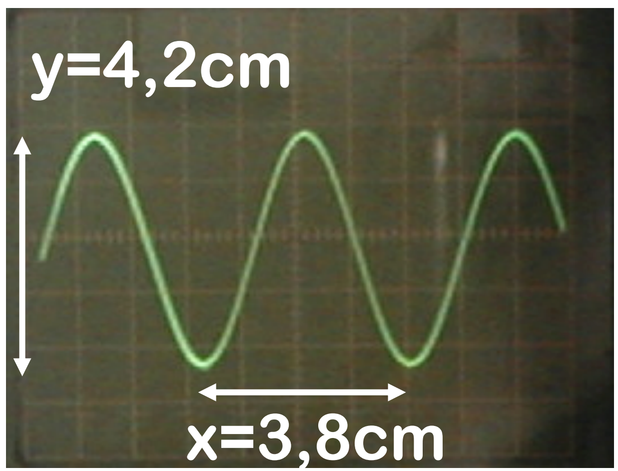


Gleichspannung

v_U= 5V/cm

U = 2cm*5V/cm=10V





Wechselspannung

v_U=5V/cm v_t=2ms/cm

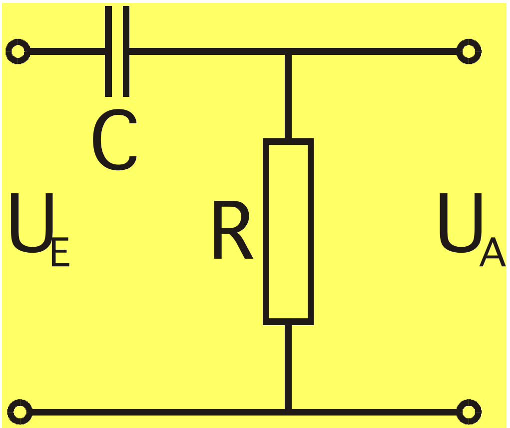
2Û = 4,2cm*5V/cm = 21V

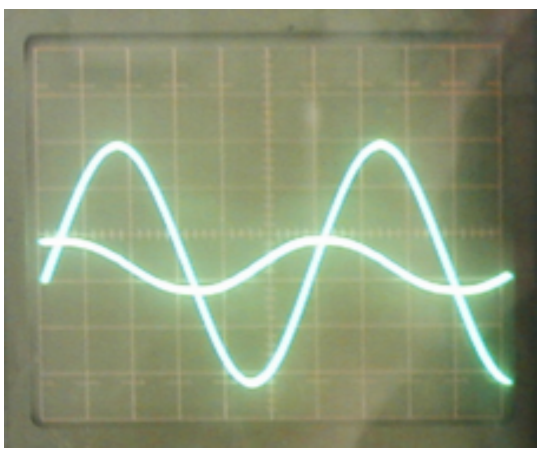
T = 3,8cm*2ms/cm = 7,6ms

f = 1/T = 132 Hz

Übertragung einer sinusförmigen Spannung an Hoch-und Tiefpass

Hochpass





Tiefpass