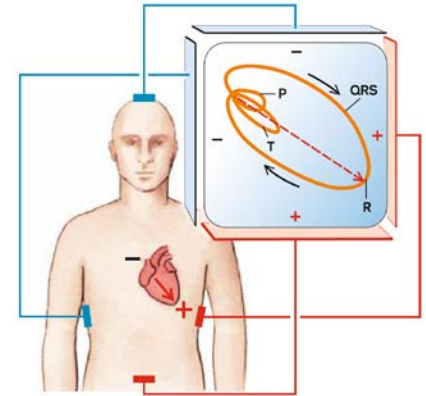
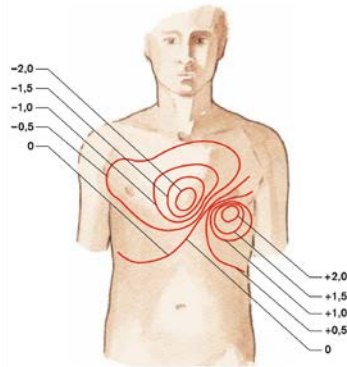
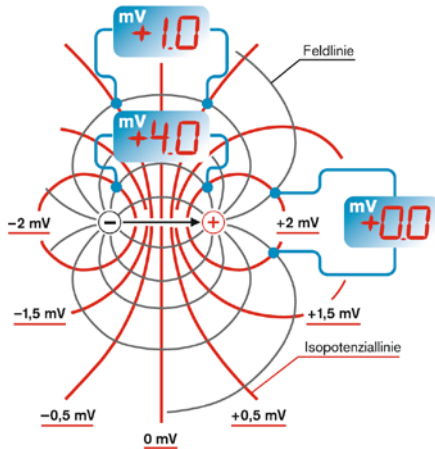


Tutorium:  
V331 Oszilloskop

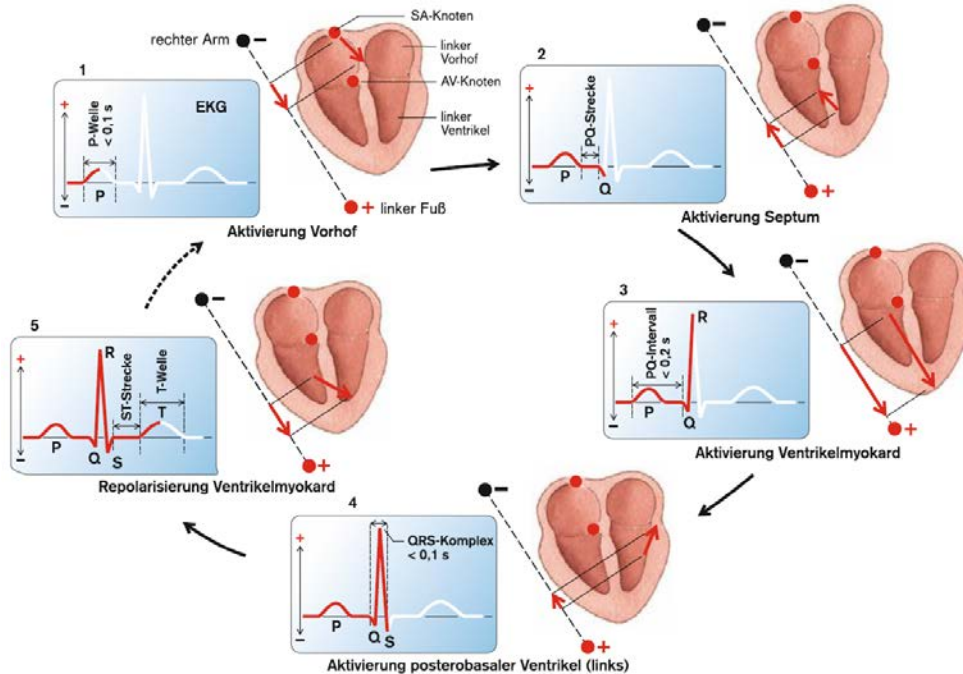
Physikalisches Grundpraktikum für Human- und Zahnmedizin

# 0. Motivation – das EKG-Signal



Quelle: H. Pape et al.: „Physiologie“ (Kapitel 5.11); 7. vollständig überarbeitete und erweiterte Auflage; Stuttgart: Thieme (2014)

# 0. Motivation – das EKG-Signal



Quelle: H. Pape et al.: „Physiologie“ (Kapitel 5.11); 7. vollständig überarbeitete und erweiterte Auflage; Stuttgart: Thieme (2014)

# 0. Motivation – das EKG-Signal



WILLEM EINTHOVEN

## The string galvanometer and the measurement of the action currents of the heart

*Nobel Lecture, December 11, 1925*

May I be permitted to communicate something about the string galvanometer, its latest improvements and its use in electrocardiography.

The string galvanometer consists of a thin thread conducting the electric

Because this correspondence signified firstly that the earlier calculations were correct, and secondly that the new galvanometer fulfilled its purpose.

An advantage of electrocardiography over other graphic methods for the study of the heart and pulse is that the ECG can record in absolute units, and the shape of the curve no longer depends on the properties of the instrument used. Provided a string galvanometer is correctly built and is suited to its purpose, i.e. is sensitive and rapid enough, each curve, whenever and wherever in the world it may be recorded, is directly comparable to any other curve.

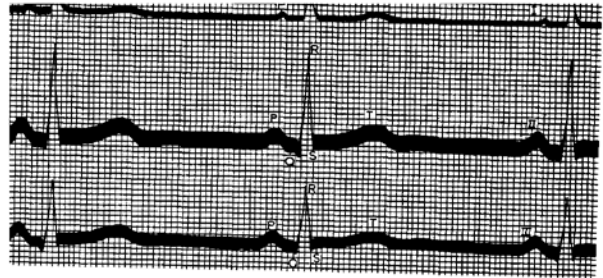


Fig. 10. Normal electrocardiogram taken with three leads simultaneously.

Quelle: Nobel Lecture Willem Einthoven online abrufbar unter:  
<https://www.nobelprize.org>

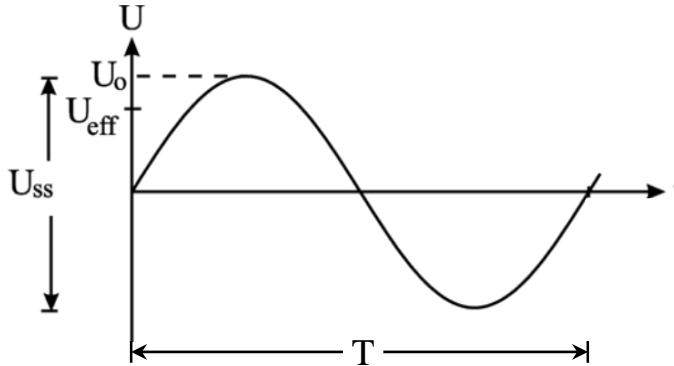
# 1. Einführung / Grundlagen

## Kenngrößen einer sinusförmigen Wechselspannung

Amplitude:  $U_0$

Spitzenspannung:  $U_{SS} = 2 \cdot U_0$

Effektivwert:  $U_{eff} = \frac{U_0}{\sqrt{2}}$



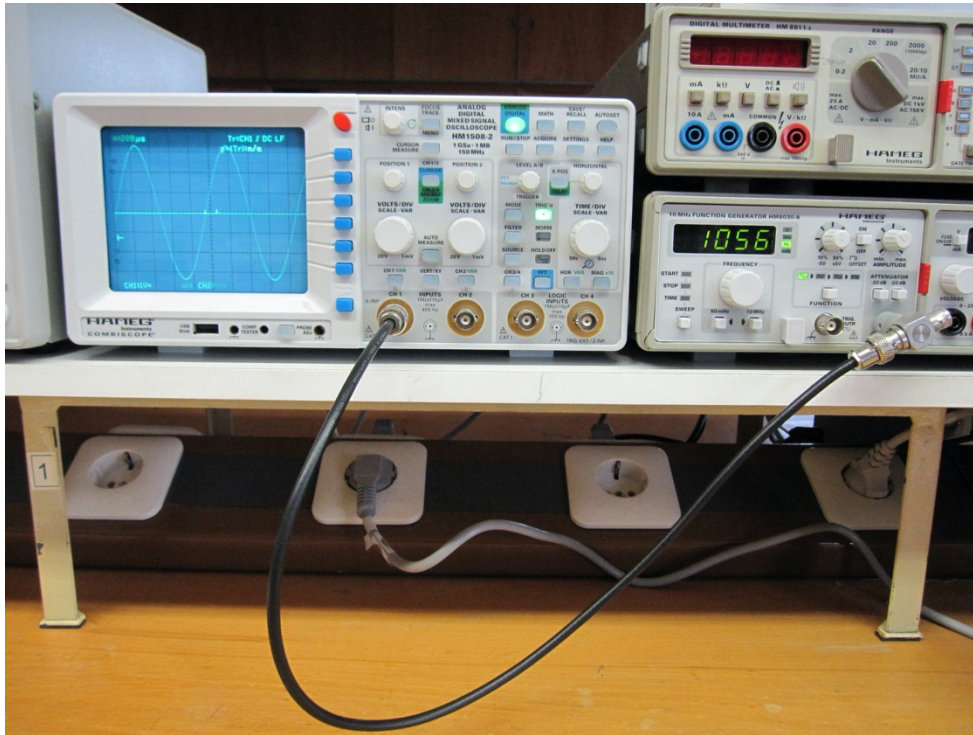
$$U(t) = U_0 \sin(\omega \cdot t + \phi)$$

Periodendauer:  $T = \frac{1}{f}$

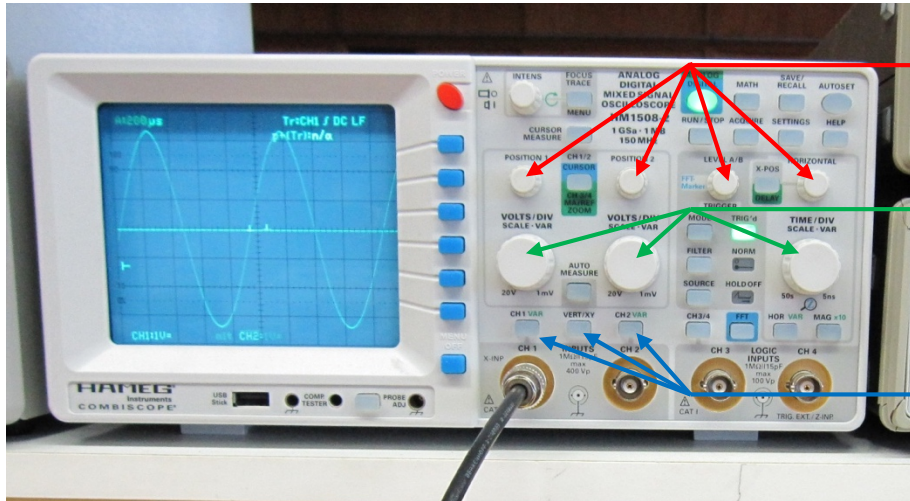
Kreisfrequenz:  $\omega = 2\pi \cdot f$

Frequenz:  $f$

## 2. Oszilloskop



## 2. Oszilloskop – Grundfunktionen



Positionierung des  
Messsignals

Skalierung der  
Achsen

Menüs

## 2. Oszilloskop – Aufnahme von Messwerten

### Beispiel:

Messen:

$$U_0 = 2,7 \text{ cm} \cdot 1 \frac{\text{V}}{\text{cm}} = 2,70 \text{ V}$$

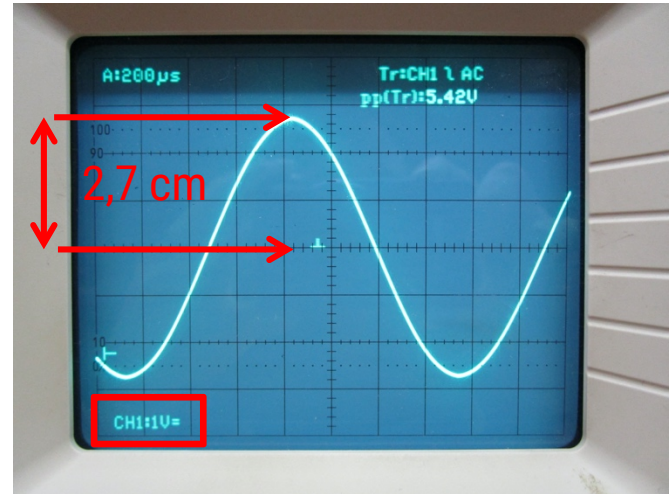
$$U_{\text{SS}} = 5,4 \text{ cm} \cdot 1 \frac{\text{V}}{\text{cm}} = 5,40 \text{ V}$$

Berechnen:

$$U_{\text{eff}} = \frac{U_0}{\sqrt{2}} = \frac{2,7 \text{ V}}{\sqrt{2}} = 1,909 \text{ V}$$

oder

$$U_{\text{eff}} = \frac{U_{\text{SS}}}{2 \cdot \sqrt{2}} = \frac{5,4 \text{ V}}{2 \cdot \sqrt{2}} = \dots$$





## 2. Oszilloskop – Aufnahme von Messwerten

### Beispiel:

Messen:

$$U_0 = 2,7 \text{ cm} \cdot 1 \frac{\text{V}}{\text{cm}} = 2,70 \text{ V}$$

$$U_{\text{SS}} = 5,4 \text{ cm} \cdot 1 \frac{\text{V}}{\text{cm}} = 5,40 \text{ V}$$

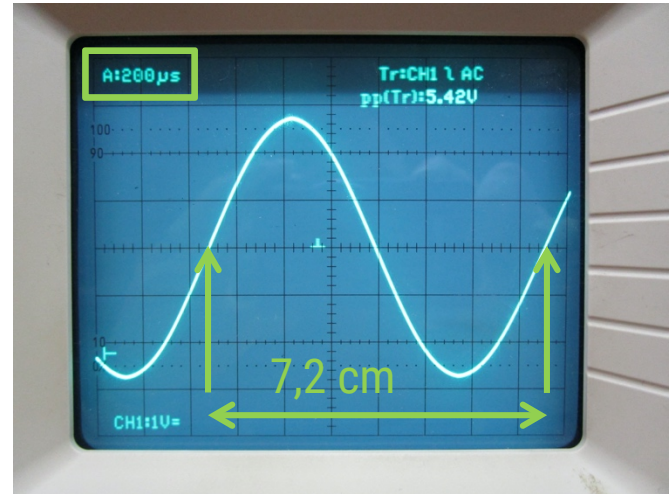
$$T = 7,2 \text{ cm} \cdot 0,2 \frac{\text{ms}}{\text{cm}} = 1,44 \text{ ms}$$

Berechnen:

$$U_{\text{eff}} = \frac{U_0}{\sqrt{2}} = \frac{2,7 \text{ V}}{\sqrt{2}} = 1,909 \text{ V}$$

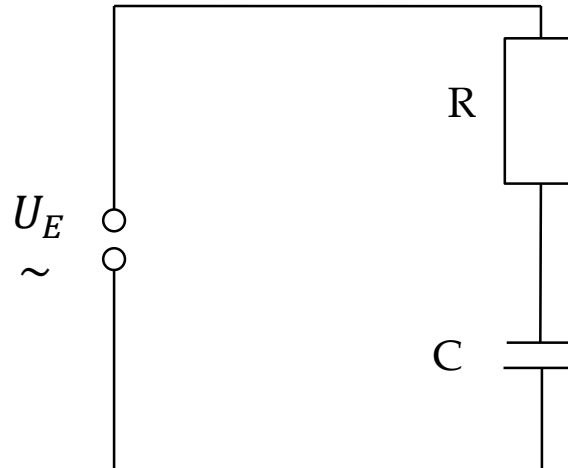
oder

$$U_{\text{eff}} = \frac{U_{\text{SS}}}{2 \cdot \sqrt{2}} = \frac{5,4 \text{ V}}{2 \cdot \sqrt{2}} = \dots$$



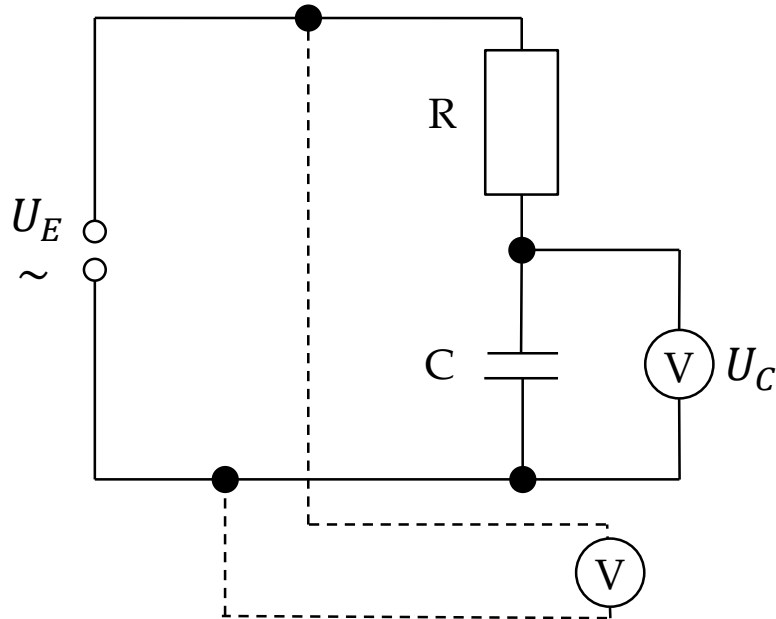
analog für  $f = \frac{1}{T} = \dots$

### 3. Messaufgabe Tiefpasseigenschaften

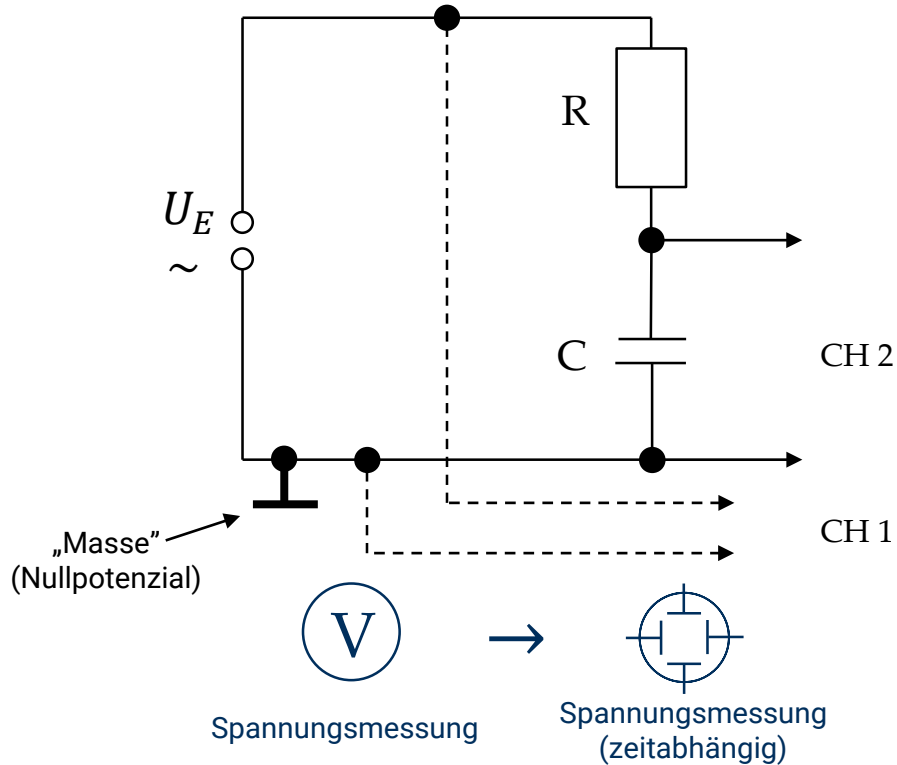


Was für eine Schaltung ist hier zu sehen?

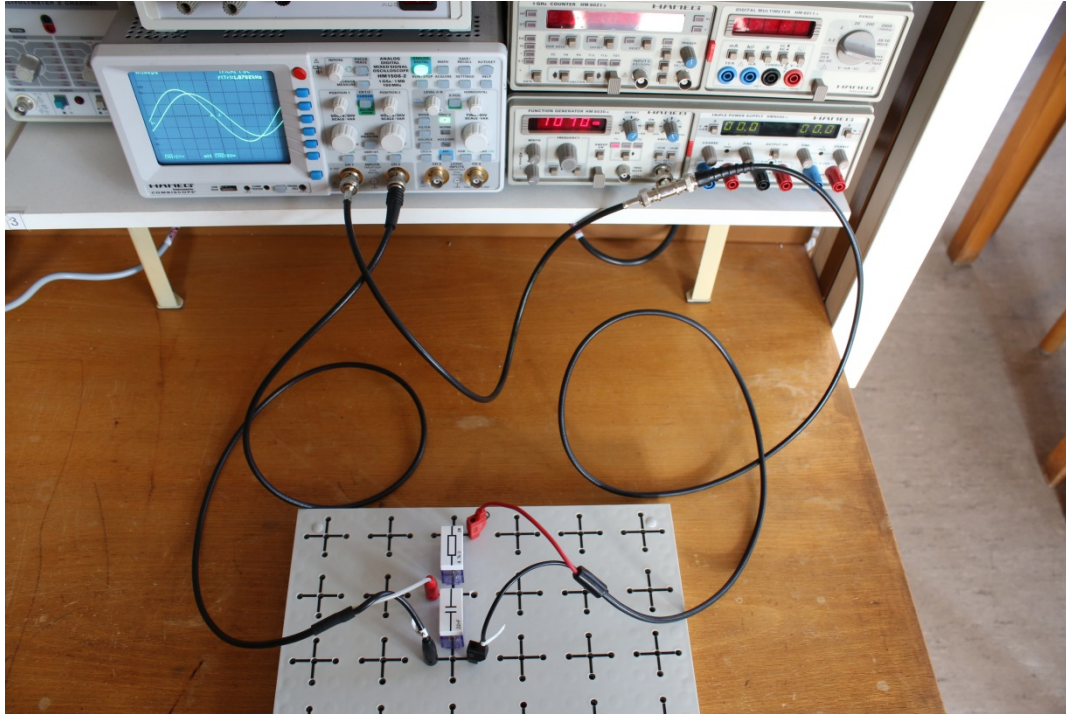
### 3. Messaufgabe Tiefpasseigenschaften



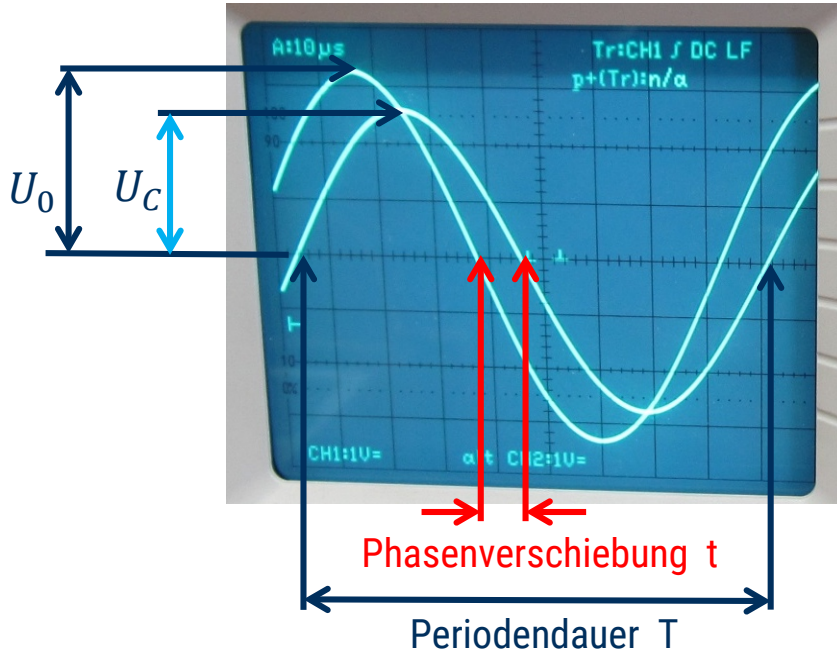
### 3. Messaufgabe Tiefpasseigenschaften



### 3. Messaufgabe Tiefpasseigenschaften



### 3. Messaufgabe Tiefpasseigenschaften



Berechnung der Phasendifferenz:

$$\frac{t}{T} = \frac{\varphi}{360^\circ} \quad \varphi = \frac{360^\circ \cdot t}{T}$$

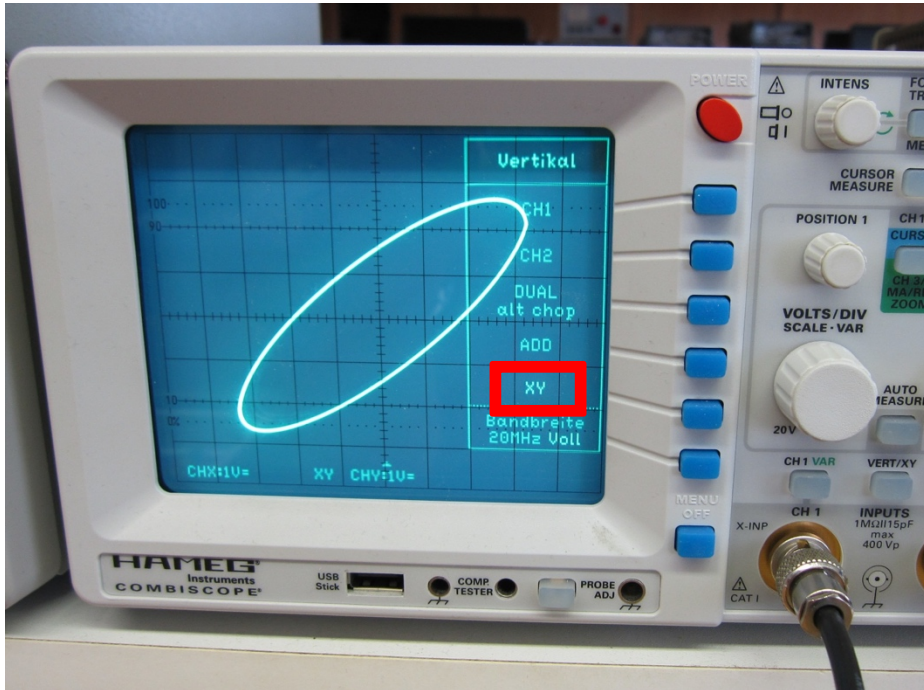
Theoriewert aus verwendeten Schaltungselementen:

$$\varphi = \arctan(2\pi \cdot f \cdot R \cdot C)$$

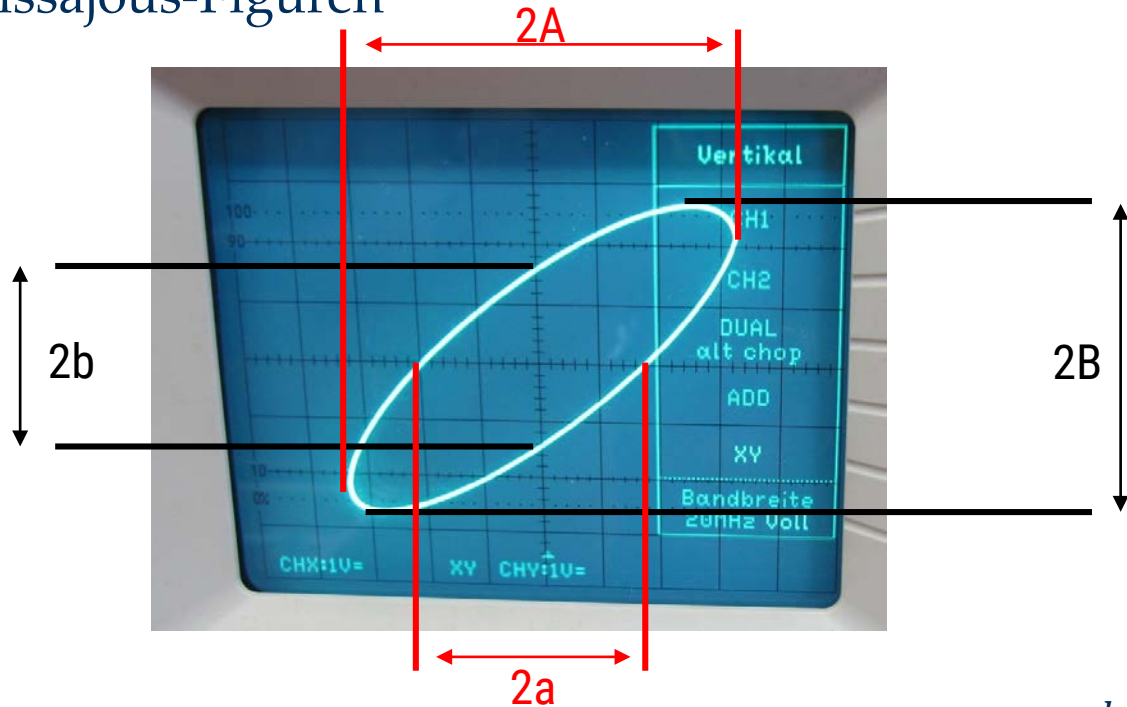
Vergleich der Ergebnisse!

Aus Messung und Theorie

## 4. Lissajous-Figuren



## 4. Lissajous-Figuren

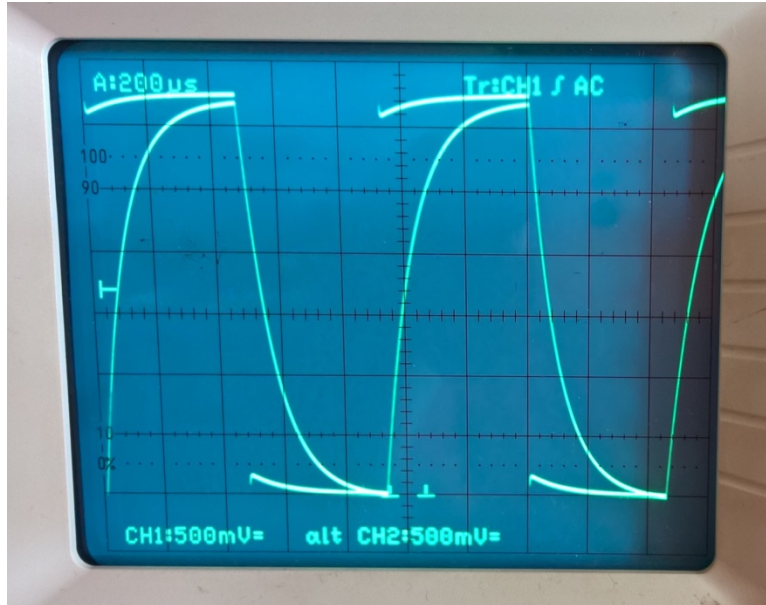


$$\varphi = \pm \arcsin \frac{a}{A}$$

$$\varphi = \pm \arcsin \frac{b}{B}$$



## 5. RC-Tiefpass



Eingangssignal:  
Rechtecksignal, 1050 Hz

Ausgangssignal:  
Auf- und Entladekurve  
Kondensator

## 6. Messungenauigkeit

Messungenauigkeit der Ablesegröße „Länge“ :

$\pm \frac{1}{2}$  Skalenteil im Minimum

-> 1 Skalenteil = 2 mm

z.B.  $U_0: 2,7 \text{ cm} \pm 0,1 \text{ cm}$  (Messwert  $\pm$  abgeschätzter Ablesefehler)

$$U_0 = (2,7 \text{ cm} \pm 0,1 \text{ cm}) \cdot 1 \text{ V/cm} = 2,7 \text{ V} \pm 0,1 \text{ V}$$

Relativer Fehler:  $\Delta U_0 / U_0 \approx 3,7 \%$

Analog für  $\Delta T / T$

## 6. Messungenauigkeit

a) Abschätzung über Addition der relativen Fehler aller fehlerbehafteten Größen!

$$\frac{\Delta U_0}{U_0} = \frac{\Delta U_{eff}}{U_{eff}} = \frac{0,1 \text{ V}}{2,7 \text{ V}} \approx 3,7\%$$

$$\Delta U_{eff} = \frac{\Delta U_0}{U_0} \cdot U_{eff} = \frac{0,1 \text{ V}}{2,7 \text{ V}} \cdot 1,909 \text{ V} \approx 0,071 \text{ V}$$

ODER

b) Abschätzung über Einsetzen (Min/Max-Methode)

$$U_0 = (2,7 \pm 0,1) \text{ V}$$

$$U_{eff} = \frac{U_0}{\sqrt{2}} = \frac{2,7 \text{ V}}{\sqrt{2}} \approx 1,909 \text{ V}$$

Maximales  $U_{eff}$  :

$$U_{effmax} = \frac{U_{0max}}{\sqrt{2}} = \frac{2,8 \text{ V}}{\sqrt{2}} \approx 1,980 \text{ V}$$

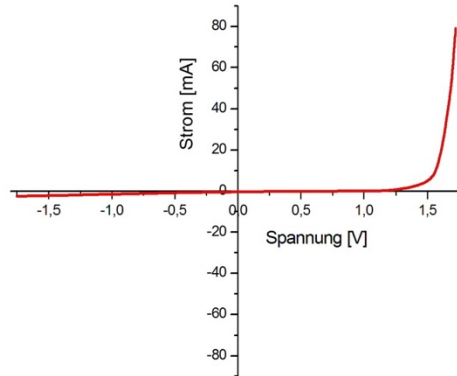
Minimales  $U_{eff}$  :

$$U_{effmin} = \frac{U_{0min}}{\sqrt{2}} = \frac{2,6 \text{ V}}{\sqrt{2}} \approx 1,838 \text{ V}$$

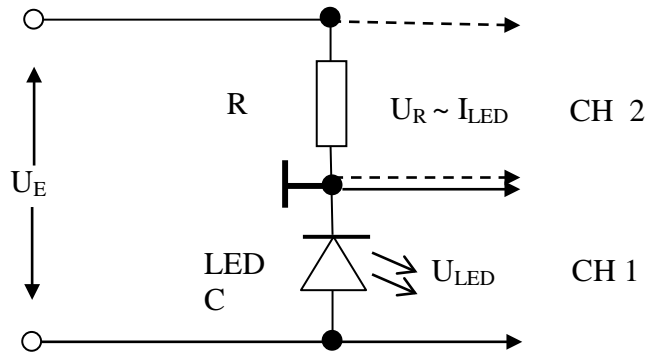
Damit ergibt sich der absolute Fehler zu:

$$\Delta U_{eff} = \frac{U_{effmax} - U_{effmin}}{2} = \frac{0,142 \text{ V}}{2} = 0,071 \text{ V}$$

# ZUSATZ: Strom – Spannungskennlinie einer LED



„Massefreier“  
Frequenzgenerator



Oszilloskop