

# ETiT – Praktikum

## Durchsprache der elektrotechnischen Grundlagen

Prof. Dr.-Ing. habil. Dr. h.c. Andreas Binder

Tel. : 06151 / 16-2167

[abinder@ew.tu-darmstadt.de](mailto:abinder@ew.tu-darmstadt.de)



# ETiT1 – Praktikum

## Versuch 2 Kapazitäten und Induktivitäten

Versuchsbetreuer: Dipl.-Ing. Thomas Knopik

Raum S3|10/442

Tel. : 06151 / 16-5598

E-Mail : [tknopik@ew.tu-darmstadt.de](mailto:tknopik@ew.tu-darmstadt.de)



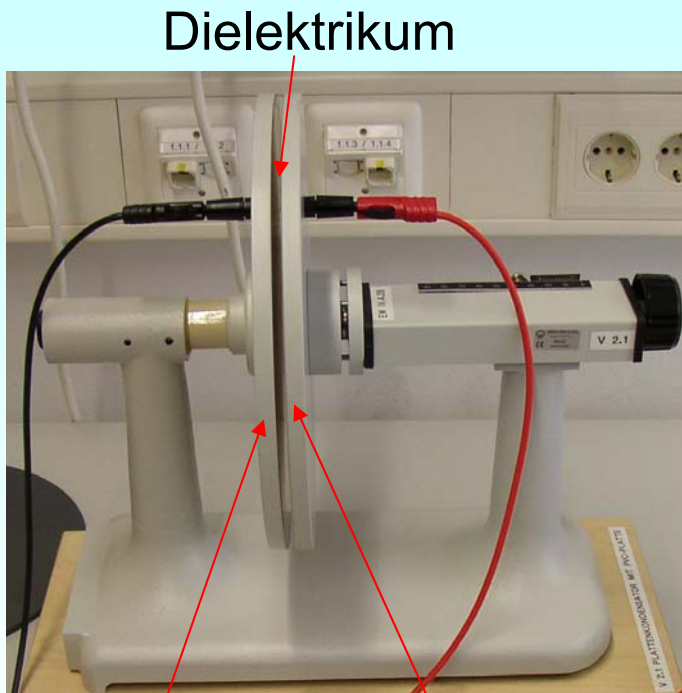
# Kapazitäten und Induktivitäten

## Inhalt

- Der Kondensator
- Die elektromagnetische Spule
- Ortskurven komplexer Widerstände und Leitwerte
- Ortskurven und BODE-Diagramm von Zweipolen

# Kapazitäten und Induktivitäten

## 2.1 Der Kondensator



Dielektrikum

linke  
rechte  
Elektrode

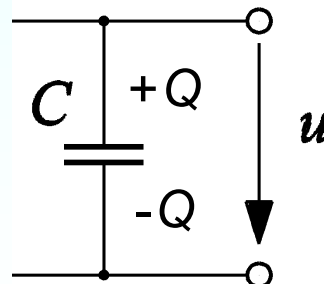
**Plattenkondensator**

- Ladungsmenge  $Q$  (A.s = C (Coulomb))
- Spannung  $U$  (V (Volt))
- **Kapazität  $C$**  des Kondensators (A.s/V = F (Farad))

$$Q = C \cdot U$$

- elektrischer Strom  $i$  (A (Ampère))

$$i(t) = \frac{dQ(t)}{dt} = C \cdot \frac{du}{dt} + u \cdot \frac{dC}{dt}$$



Falls  $C$  konstant: 
$$i = C \cdot \frac{du}{dt}$$

# Kapazitäten und Induktivitäten

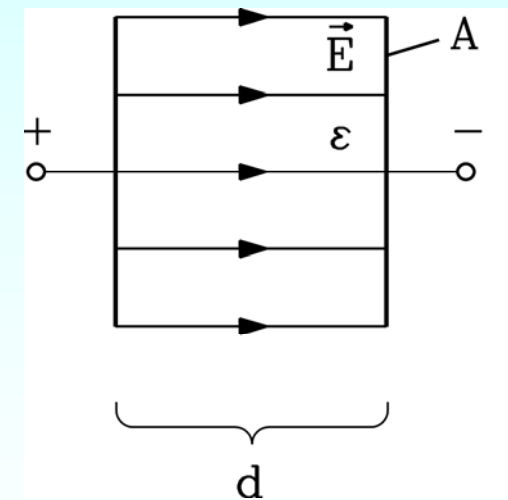
## Der Kondensator sperrt Gleichstrom!

- Gleichspannung  $u(t) = U$
- Strom ist Null !

$$i(t) = C \cdot \frac{du(t)}{dt} = C \cdot \frac{dU}{dt} = 0$$

### Einfacher Plattenkondensator:

- $E$ : elektrische Feldstärke (V/m)
- $\varepsilon$ : elektrische Permittivität (As/(Vm))
- $A$ : Elektrodenfläche (m<sup>2</sup>)
- $d$ : Elektrodenabstand (m)



$$\oint_A \varepsilon \cdot \vec{E} \cdot d\vec{A} = Q = \varepsilon \cdot E \cdot A \quad \int_d \vec{E} \cdot d\vec{s} = U = E \cdot d$$

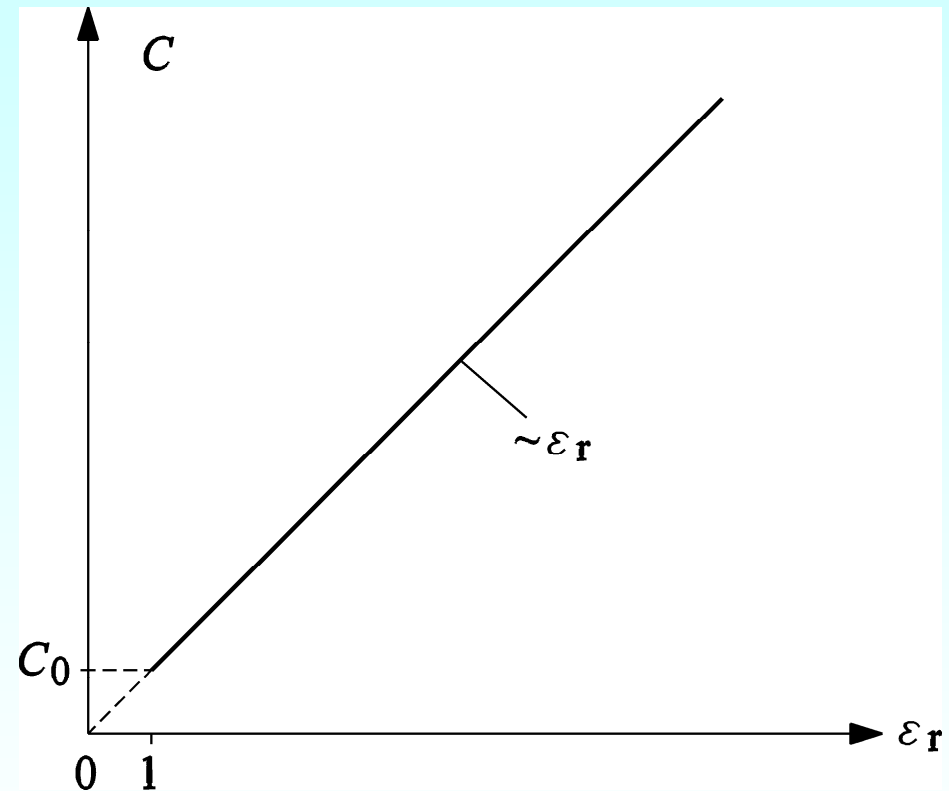
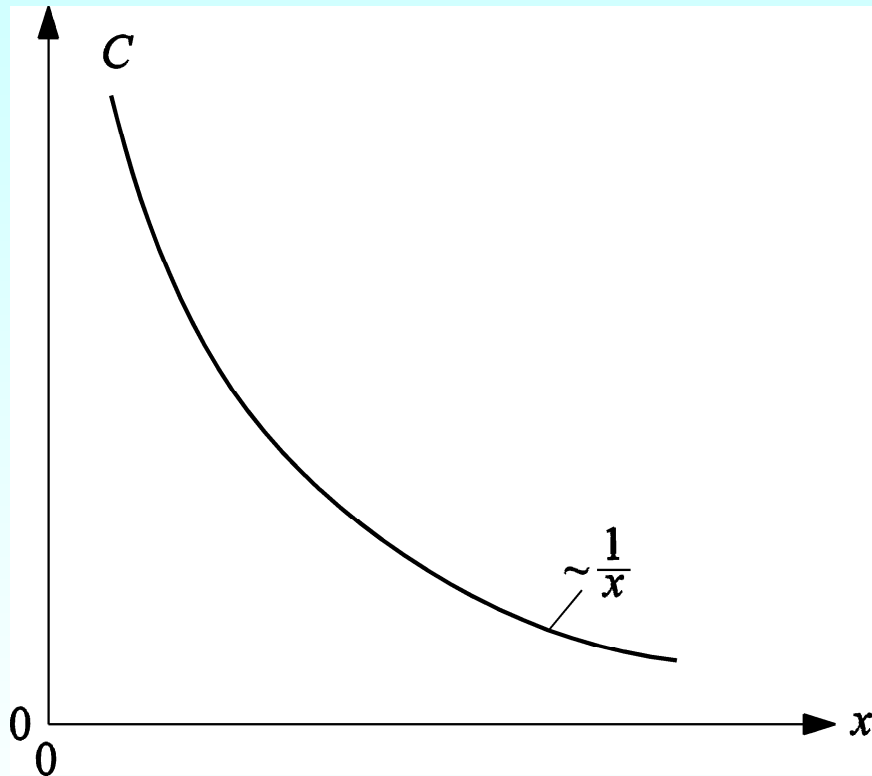
$$C = Q / U = \varepsilon \cdot A / d$$



# Kapazitäten und Induktivitäten

## Der Plattenkondensator

$$C = \varepsilon_0 \cdot \varepsilon_r \cdot A / x$$

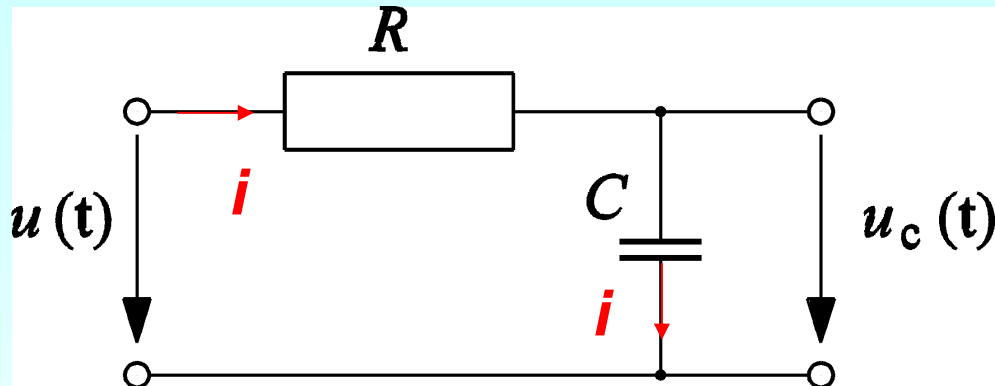


Dielektrizitätskonstante (Permittivität) des Vakuums:  $\varepsilon_0 = 8.854 \cdot 10^{-12} \text{ As/(Vm)}$

Relative Permittivität:  $\varepsilon_r \geq 1$

# Kapazitäten und Induktivitäten

## Bestimmung der Kapazität aus der Zeitkonstante eines R-C-Glieds



R-C-Glied

Kirchhoff'sche Maschengleichung:

$$u(t) = R \cdot i(t) + u_C(t)$$

Kondensatorstrom:  $i = C \cdot du_C / dt$

Kondensatorspannung:  $u_C(t) = \frac{1}{C} \int_0^t i(t) \cdot dt$

$$\frac{di(t)}{dt} + \frac{1}{RC} \cdot i(t) = \frac{1}{R} \cdot \frac{du(t)}{dt}$$

Lineare Differentialgleichung 1. Ordnung mit konstanten Koeffizienten:

Anfangsbedingung:

- Kondensator zu Beginn ungeladen:  $u_C(0) = 0$ .
- Zur Zeit  $t = 0$  Gleichspannung  $u(t) = U$  zugeschaltet (also ist  $du/dt = 0$ ).

$$\frac{di(t)}{dt} + \frac{1}{RC} \cdot i(t) = 0$$

# Kapazitäten und Induktivitäten

## Laden des Kondensators

$$\frac{di(t)}{dt} + \frac{1}{RC} \cdot i(t) = 0$$

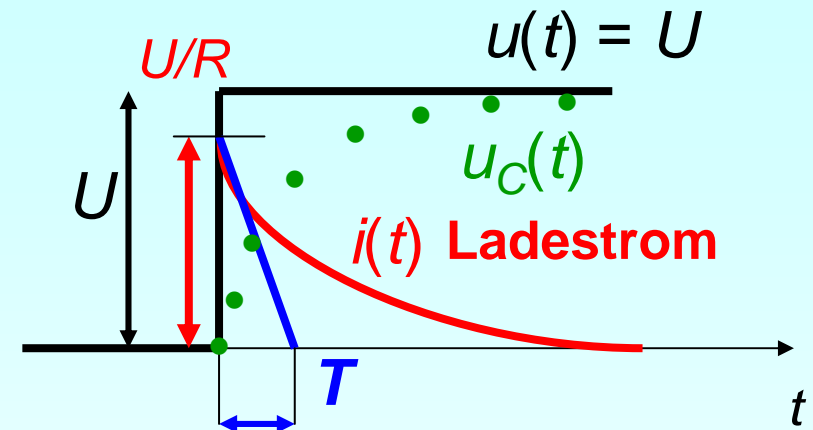
homogene Lösung:  $i_h(t) = C_1 \cdot e^{-t/T}$

**Zeitkonstante:**

$$T = R \cdot C$$

Bestimmung von  $C_1$  aus der Anfangsbedingung:

$$u(t=0) = U = R \cdot i(0) + u_C(0) = R \cdot i(0) \quad i(0) = C_1 = U / R$$



**Strom durch den Kondensator:**  $i(t) = (U / R) \cdot e^{-t/T}$

**Spannung am Kondensator:**

$$u_C(t) = u_C(0) + \frac{1}{C} \int_0^t i(t) \cdot dt = 0 + \frac{1}{C} \int_0^t i(t) \cdot dt = U \cdot (1 - e^{-t/T}) \quad u_C = U \cdot (1 - e^{-t/T})$$



# Kapazitäten und Induktivitäten

## Entladen des Kondensators

Lineare Differentialgleichung 1. Ordnung:  $\frac{di(t)}{dt} + \frac{1}{RC} \cdot i(t) = 0$

Anfangsbedingung:

- Kondensator zu Beginn **geladen mit Q**:  $u_C(0) = U$ .
- Zur Zeit  $t = 0$  Spannung  $u(t) = 0$  kurzgeschlossen (also ist  $du/dt = 0$ ).

homogene Lösung:  $i_h(t) = C_2 \cdot e^{-t/T}$

$$Q = \int_0^{t \rightarrow \infty} i(t) \cdot dt = -T \cdot C_2 \cdot e^{-t/T} \Big|_0^{\infty} = TC_2 \Rightarrow C_2 = \frac{Q}{T} = \frac{CU}{CR} = \frac{U}{R}$$

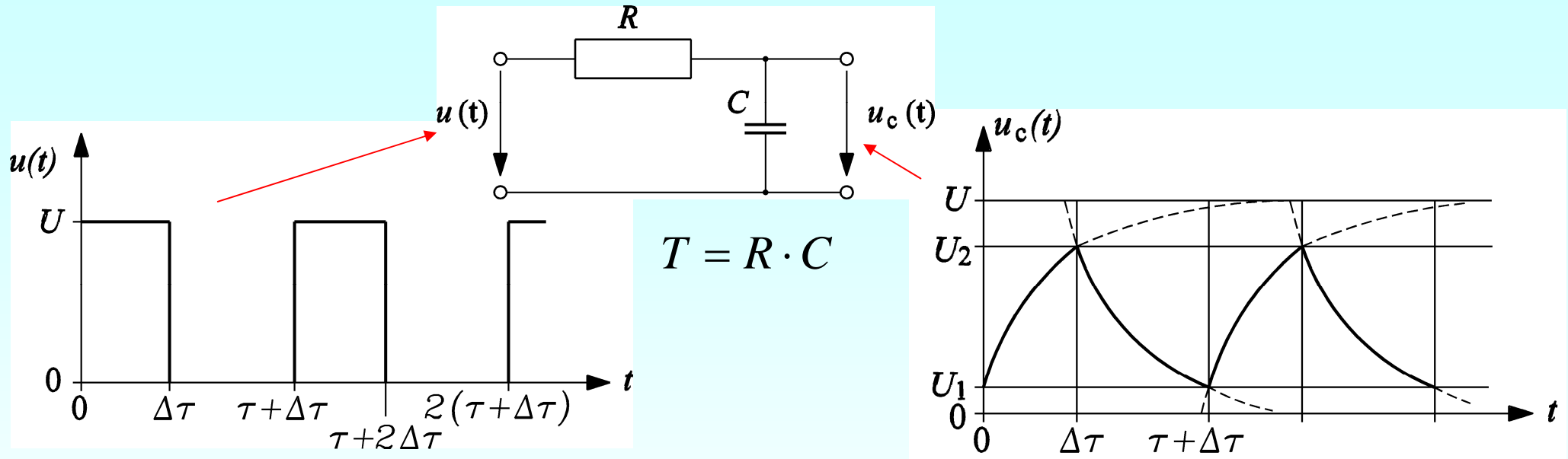
Entladestrom:  $i(t) = -\frac{U}{R} \cdot e^{-t/T}$

$$u_C = U \cdot e^{-t/T}$$

Spannung am Kondensator:  $u_C(t) = u_C(0) + \frac{1}{C} \int_0^t i(t) dt = U + U \cdot e^{-t/T} - U = U \cdot e^{-t/T}$

# Kapazitäten und Induktivitäten

## Periodisches Laden und Entladen des Kondensators



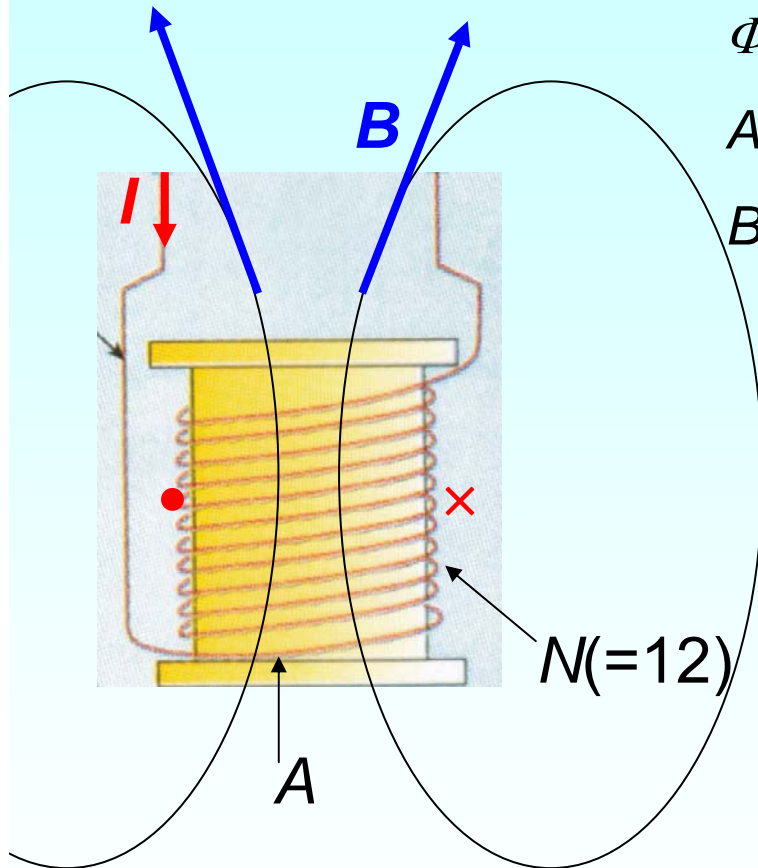
Entladekurve:  $u_C = U \cdot e^{-t/T} \Rightarrow U_1 = U_2 \cdot e^{-\tau/T}$

$$C = \frac{\tau}{R \cdot \ln(U_2 / U_1)}$$

Bestimmung der Kapazität aus der Zeitkonstante

# Kapazitäten und Induktivitäten

## 2.2 Die elektromagnetische Spule



$\Phi$  : magnetischer Fluss ( $V \cdot s = Wb$  (Weber)) pro Windung

$A$  : von einer Windung aufgespannte Fläche ( $m^2$ )

$B$  : magnetische Flussdichte ( $Vs/m^2 = T$  (Tesla))

$$\Phi = \int_A \vec{B} \cdot d\vec{A} = B \cdot A \quad \Psi = N \cdot \Phi$$

$I$  : Spulenstrom (A)

$$\Psi = L \cdot I$$

$N$  : Spulenwindungszahl

$\Psi$  : Flussverkettung ( $V \cdot s = Wb$ ) = mit ALLEN  $N$  Windungen verketteter Gesamtfluss

$L$  : **Selbstinduktivität** der Spule ( $V \cdot s/A = H$  (Henry))

# Kapazitäten und Induktivitäten

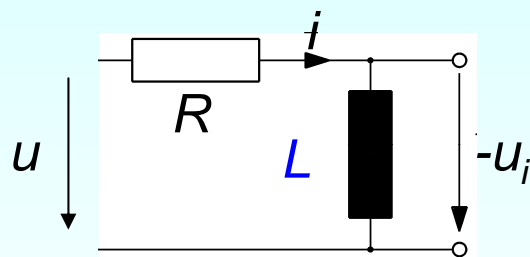
## Faraday'sches Induktionsgesetz

Die zeitliche Änderung der Flussverkeftung induziert eine elektrische Spannung in den Windungen der Spule.

Induzierte Spannung je Windung:  $u_i(t) = -d\Phi(t) / dt$

Induzierte Spannung für die gesamte Spule (alle  $N$  Windungen in Serie):

$$u_i(t) = -N \cdot d\Phi(t) / dt = -d\Psi(t) / dt$$



$$u_i(t) = -d\Psi(t) / dt = -d(L \cdot i) / dt = -L \cdot \frac{di}{dt} - i \cdot \frac{dL}{dt}$$

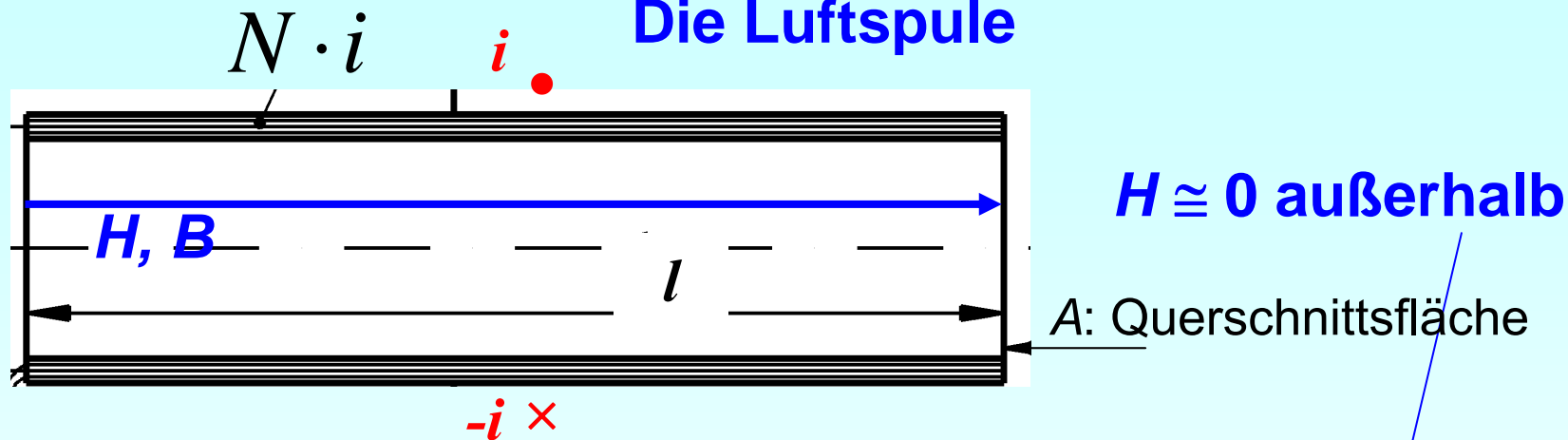
$R$ : Ohm'sche Innenwiderstand der Spule

$u$ : Spannung an der Spule  $u(t) = -u_i(t) + i \cdot R = L \frac{di}{dt} + i \frac{dL}{dt} + i \cdot R$

$R = 0, L = \text{konst.}$ : Ideale Spule:  $u(t) = L \frac{di}{dt}$

# Kapazitäten und Induktivitäten

## Die Luftspule



Ampere'scher Durchflutungssatz:  $\oint_C \vec{H} \cdot d\vec{s} = \Theta = N \cdot i \cong H \cdot l$

$$B = \mu_0 \cdot H \cong \mu_0 \cdot N \cdot \frac{i}{l}$$

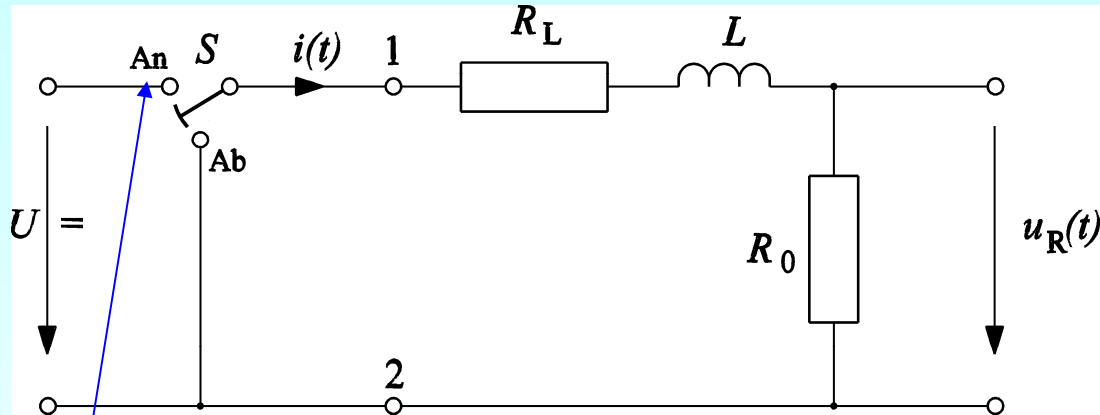
magnetische Flussverkeftung :  $\Psi = N \cdot \Phi = N \cdot B \cdot A = N \cdot \left( \mu_0 \cdot N \cdot \frac{i}{l} \right) \cdot A$

**Spulen-Selbstinduktivität:**

$$L = \frac{\Psi}{i} = \mu_0 \cdot N^2 \cdot \frac{A}{l}$$

# Kapazitäten und Induktivitäten

## Bestimmung der Induktivität aus der Zeitkonstante eines $R$ - $L$ -Glieds



**reale lineare Spule:**

Widerstand  $R_L$ ,  $L = \text{konst.}$

$$u(t) = L \frac{di}{dt} + i \cdot (R_L + R_0) = L \frac{di}{dt} + i \cdot R$$

Anschalten einer Gleichspannung  $u(t) = U$ :

- Lösung der linearen Differentialgleichung:
- Anfangsbedingung  $i(0) = 0$

$$\frac{di}{dt} + i \cdot \frac{R}{L} = \frac{U}{L}$$

homogene Lösung:  $i_h(t) = C_1 e^{-t/T}$

partikuläre Lösung:  $i_p(t) = K = U / R$

Anfangsbedingung liefert  $C_1$ :  $i(0) = C_1 e^{-0} + (U / R) = 0 \Rightarrow C_1 = -U / R$

Ladestrom der Spule:

$$i(t) = \frac{U}{R} \cdot \left(1 - e^{-t/T}\right)$$

Zeitkonstante:

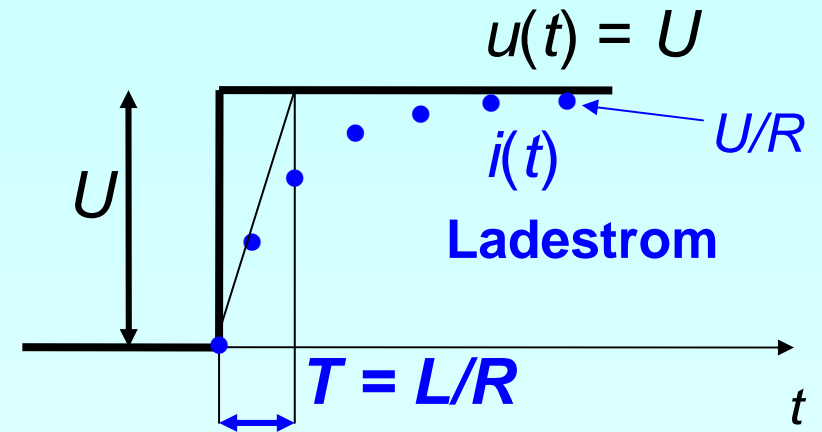
$$T = L / R$$

# Kapazitäten und Induktivitäten

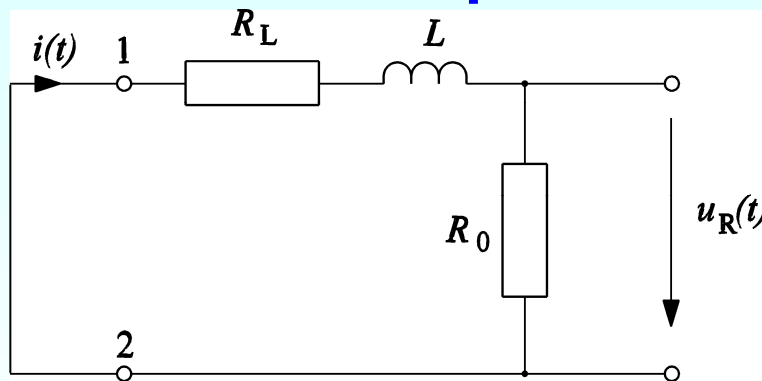
Ladestrom der Spule:

$$i(t) = \frac{U}{R} \cdot (1 - e^{-t/T})$$

Nach unendlich langer Zeit fließt der Gleichstrom  $i = I = U/R$ .



Entladen der Spule:  $u = 0$



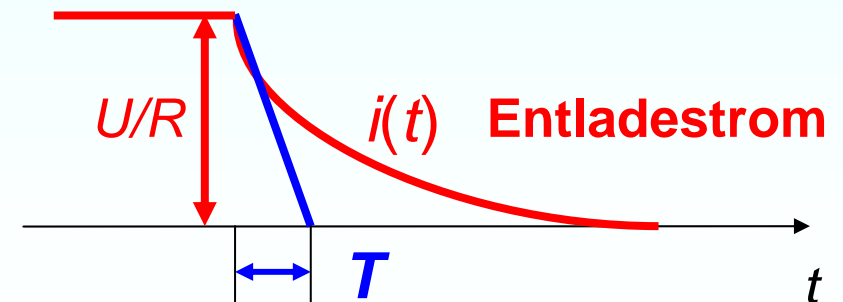
$$\frac{di}{dt} + i \cdot \frac{R}{L} = 0 \quad \text{Anfangsbedingung } i(0) = I$$

$$\text{Lösung: } i = i_h + i_p = i_h = C_2 e^{-t/T}$$

$$i(0) = C_2 e^{-0} = I = U/R \Rightarrow C_2 = U/R$$

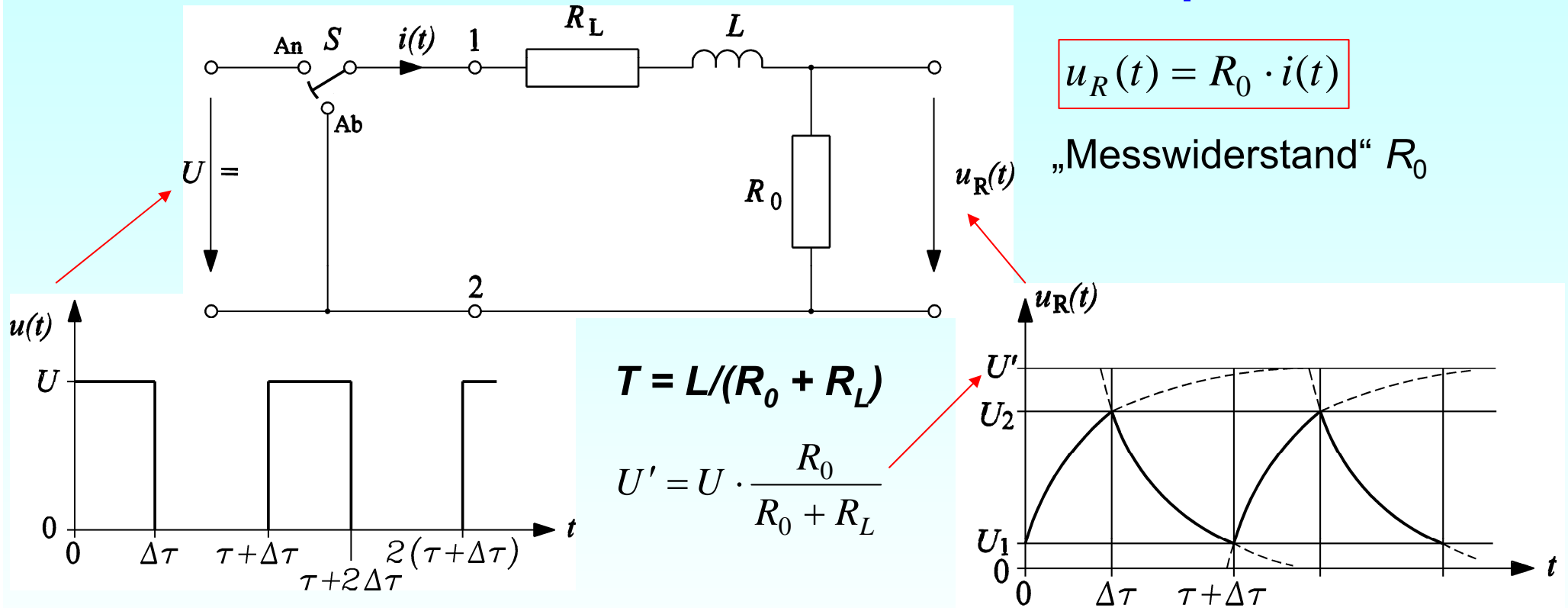
Abklingender Spulenstrom:

$$i(t) = \frac{U}{R} \cdot e^{-t/T}$$



# Kapazitäten und Induktivitäten

## Periodisches Laden und Entladen der Spule



$$\frac{U_2}{U_1} = e^{\tau/T}$$

$$L = \tau \cdot \frac{R_0 + R_L}{\ln(U_2 / U_1)}$$

Bestimmung der Induktivität aus der Zeitkonstante



# Kapazitäten und Induktivitäten

## Sinusspannungen und –ströme - komplexe Rechnung

Spannung:

Imaginäre Einheit:  $j = \sqrt{-1}$

$$u(t) = \hat{U} \cdot \cos(\omega t + \varphi) = U \cdot \sqrt{2} \cdot \cos(\omega t + \varphi)$$

$$u(t) = \operatorname{Re}\{U \cdot \sqrt{2} \cdot e^{j(\omega t + \varphi)}\} = \operatorname{Re}\{U e^{j\varphi} \cdot \sqrt{2} \cdot e^{j\omega t}\}$$

$$u(t) \Leftrightarrow \underline{U} = U \cdot e^{j\varphi}$$

Strom:

$$i(t) = \sqrt{2}I \sin(\omega t) = \sqrt{2}I \cos(\omega t - \pi/2) = \operatorname{Re}\{I e^{-j\pi/2} \cdot \sqrt{2} \cdot e^{j\omega t}\}$$

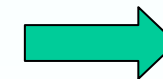
$$i(t) \Leftrightarrow \underline{I} = I \cdot e^{-j\pi/2} = -jI$$



Reaktanz:  $X = \omega L$

Induktivität  $L$ :

$$u(t) = L \frac{d(\hat{I} \sin(\omega t))}{dt} = \omega L \cdot \hat{I} \cdot \cos(\omega t) = \hat{U} \cdot \cos(\omega t)$$

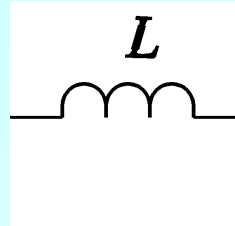


$$\underline{U} = j\omega L \cdot \underline{I}$$

# Kapazitäten und Induktivitäten

## Komplexe Rechnung: $L$ , $C$ , $R$

Induktivität  $L$ :

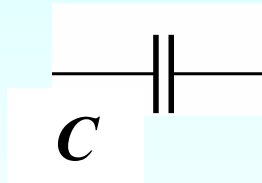


Reaktanz:  $X = \omega L$

$$\underline{U} = j\omega L \cdot \underline{I}$$

$$u(t) = L \frac{di}{dt}$$

Kapazität  $C$ :

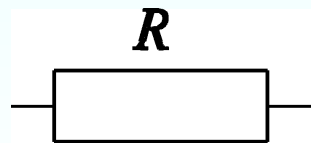


Reaktanz:  $X = 1/(\omega C)$

$$\underline{I} = j\omega C \cdot \underline{U}$$

$$i(t) = C \cdot \frac{du}{dt}$$

Widerstand  $R$ :



Resistanz:  $R$

$$\underline{U} = R \cdot \underline{I}$$

$$u(t) = R \cdot i(t)$$

# Kapazitäten und Induktivitäten

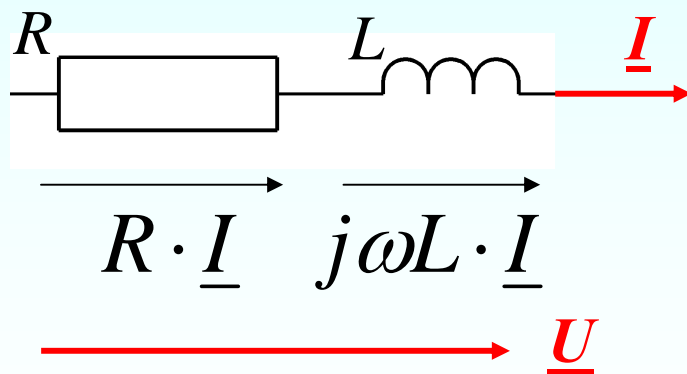
## 2.3 Ortskurven komplexer Widerstände und Leitwerte

Sinusförmige Zeitsignale  $U$  und  $I$ :

Wie wirkt sich eine **Änderung der Kreisfrequenz**  $\omega = 2\pi f$  auf die Spannung bei konstantem Strom aus ?

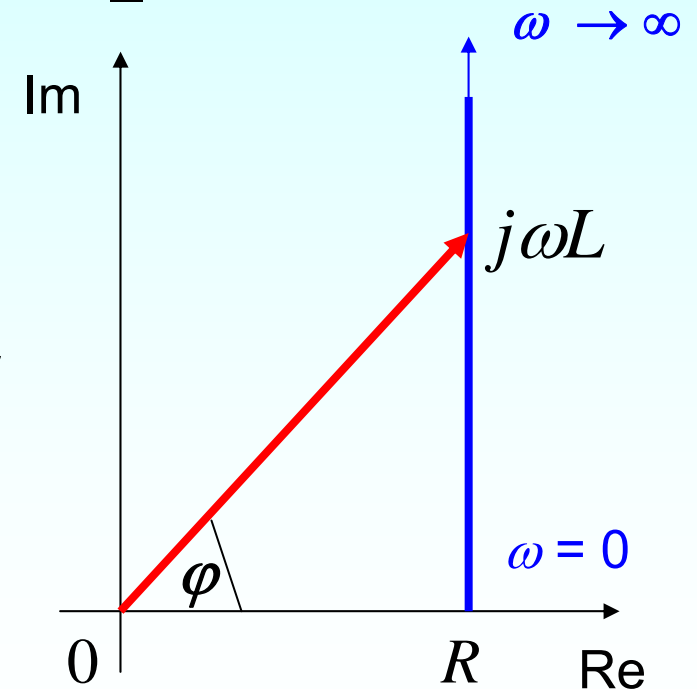
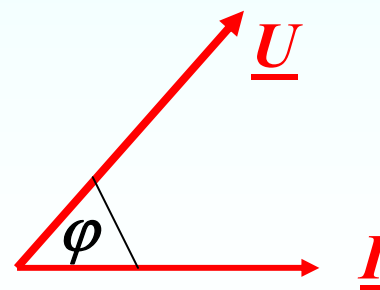
**Ortskurve:** Kurve, die die Spitze des Impedanz-Operators  $\underline{Z}$  in der komplexen Ebene bei variablem  $\omega$  durchläuft.

Beispiel:



$$\underline{U} = (R + j\omega L) \cdot \underline{I} = \underline{Z} \cdot \underline{I}$$

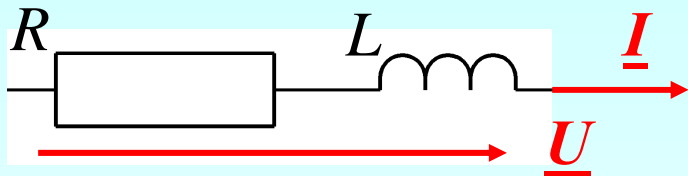
Impedanz:  
 $\underline{Z} = R + j\omega L$



# Kapazitäten und Induktivitäten

## Ortskurven des komplexen Leitwerts $\underline{Y} = 1/\underline{Z}$

Beispiel:



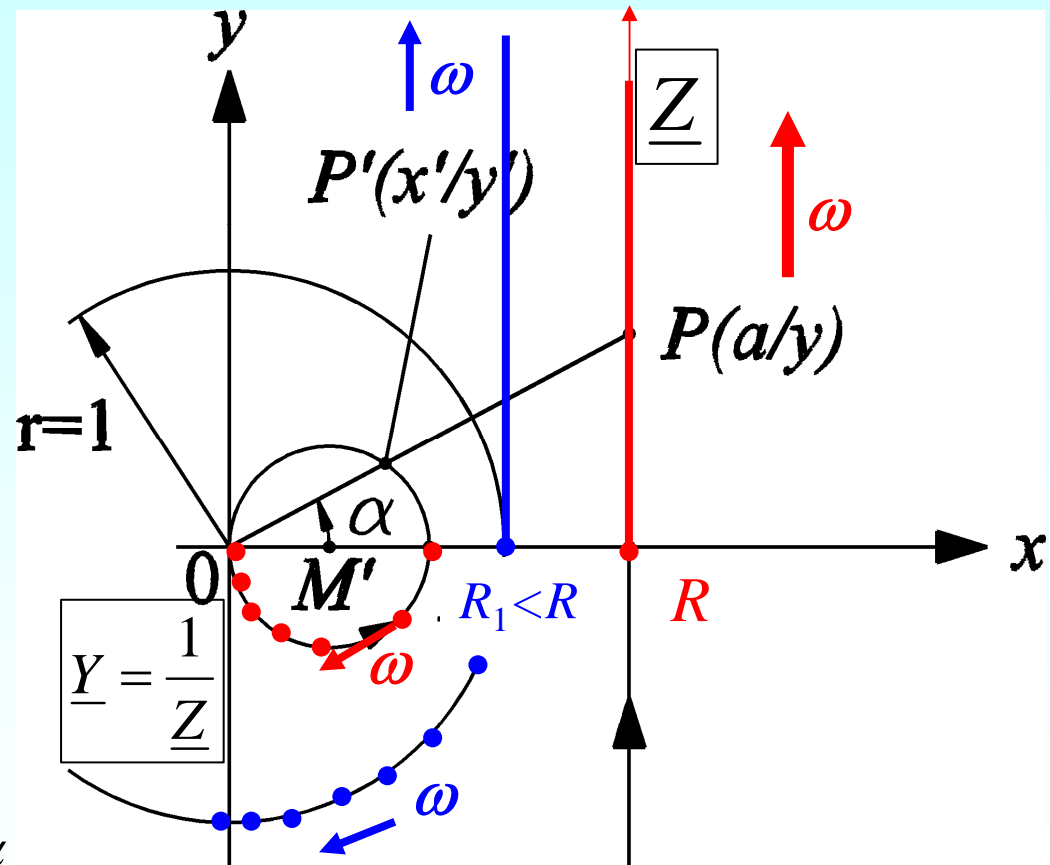
$$\underline{I} = \underline{U} / (R + j\omega L) = \underline{Y} \cdot \underline{U}$$

$$\underline{Y} = \frac{1}{\underline{Z}} = \frac{1}{R + j\omega L}$$

1. Inversion:  $\overline{OP'} = \frac{1}{\overline{OP}}$

2. Spiegelung:

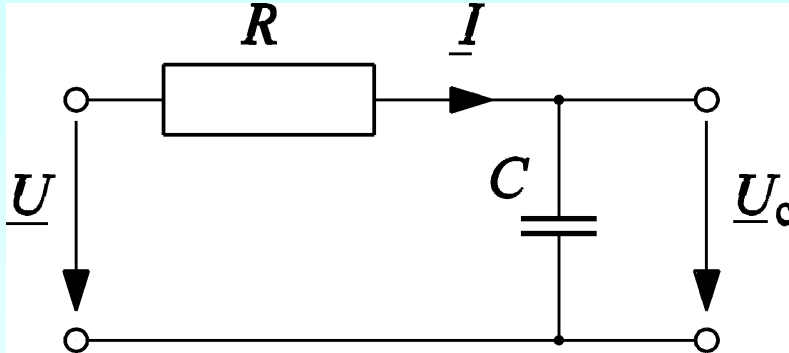
$$\underline{Z} \cdot e^{j\alpha} \Rightarrow \underline{Y} = \frac{1}{\underline{Z} \cdot e^{j\alpha}} = \frac{1}{\underline{Z}} \cdot e^{-j\alpha}$$



# Kapazitäten und Induktivitäten

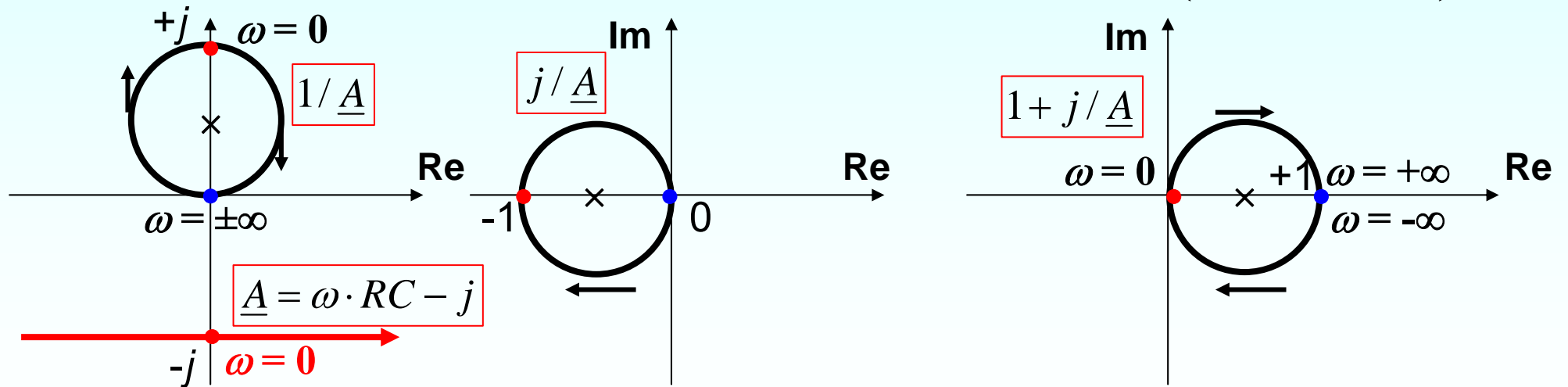
## Kreis als Ortskurve

Beispiel: R-C-Glied



$$\underline{I} = \underline{Y} \cdot \underline{U} = \frac{U}{R - j \frac{1}{\omega C}} = \frac{\omega C \cdot U}{\omega \cdot RC - j}$$

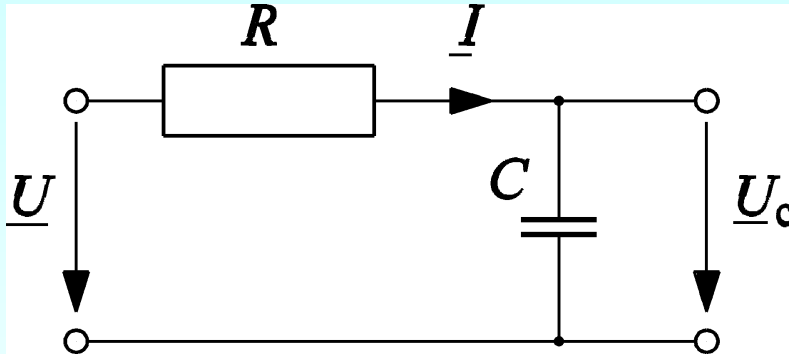
$$= \frac{U}{R} \cdot \frac{\omega RC - j + j}{\omega RC - j} = \frac{U}{R} \cdot \left( 1 + \frac{j}{\omega RC - j} \right)$$



# Kapazitäten und Induktivitäten

## 2.4 Ortskurven und BODE-Diagramm von Zweipolen

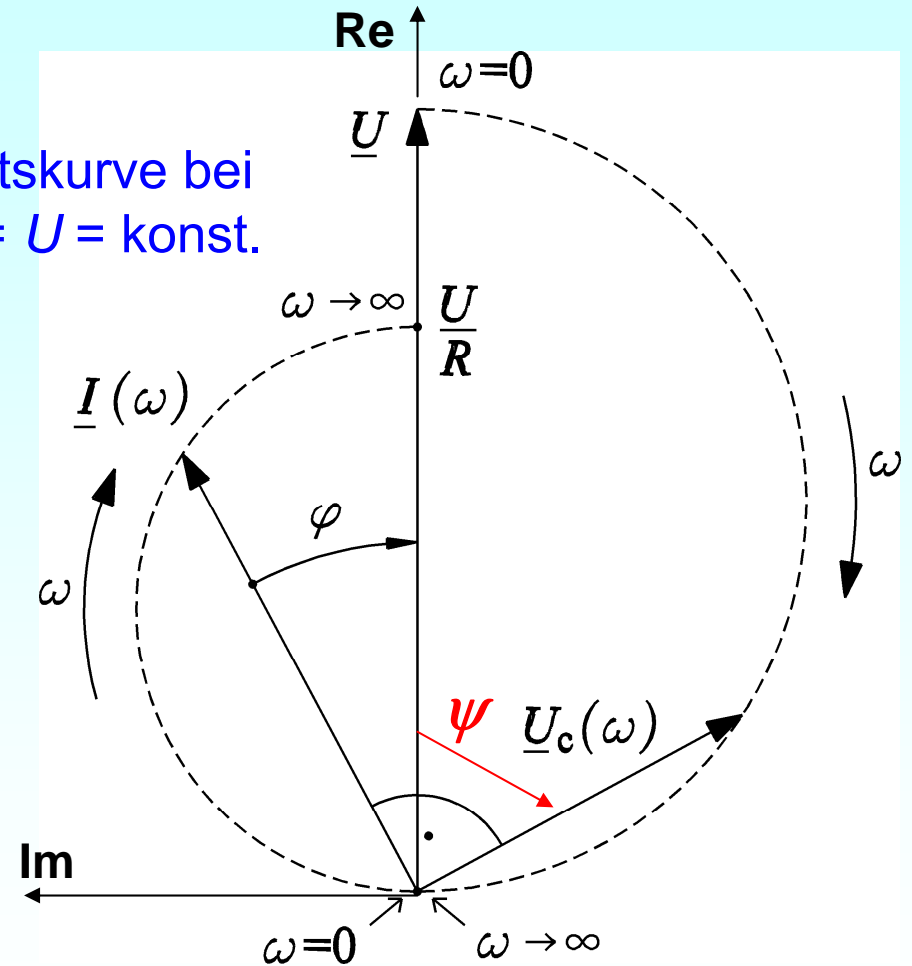
Beispiel: R-C-Glied



Ortskurve bei  $\underline{U} = U = \text{konst.}$

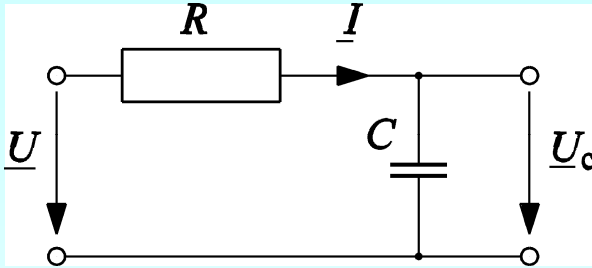
$$\underline{I} = \underline{Y} \cdot \underline{U} = \frac{U}{R - j \frac{1}{\omega C}} = \frac{U}{\sqrt{R^2 + \left(\frac{1}{\omega C}\right)^2}} \cdot e^{-j\varphi}$$

$$\underline{U}_C = \frac{U}{1 + j\omega RC} = \frac{U}{1 + j \frac{\omega}{\omega_0}} = \frac{U}{\sqrt{1 + (\omega/\omega_0)^2}} \cdot e^{j\psi}$$



# Kapazitäten und Induktivitäten

## Kenngrößen des R-C-Glieds



$$\underline{U}_C = \frac{U}{1 + j\omega RC} = \frac{U}{1 + j\frac{\omega}{\omega_0}} = \frac{U}{\sqrt{1 + (\omega/\omega_0)^2}} \cdot e^{j\psi}$$

Phasenwinkel  $\psi$  zwischen Ausgangs- und Eingangsspannung:  $\psi = -\arctan\left(\frac{\omega}{\omega_0}\right)$

Eckkreisfrequenz = Kehrwert der Zeitkonstante:  $\omega_0 = \frac{1}{RC} = \frac{1}{T}$

Ausgangs-/Eingangsamplitude:  $\frac{U_C}{U} = \frac{1}{\sqrt{1 + (\omega/\omega_0)^2}}$

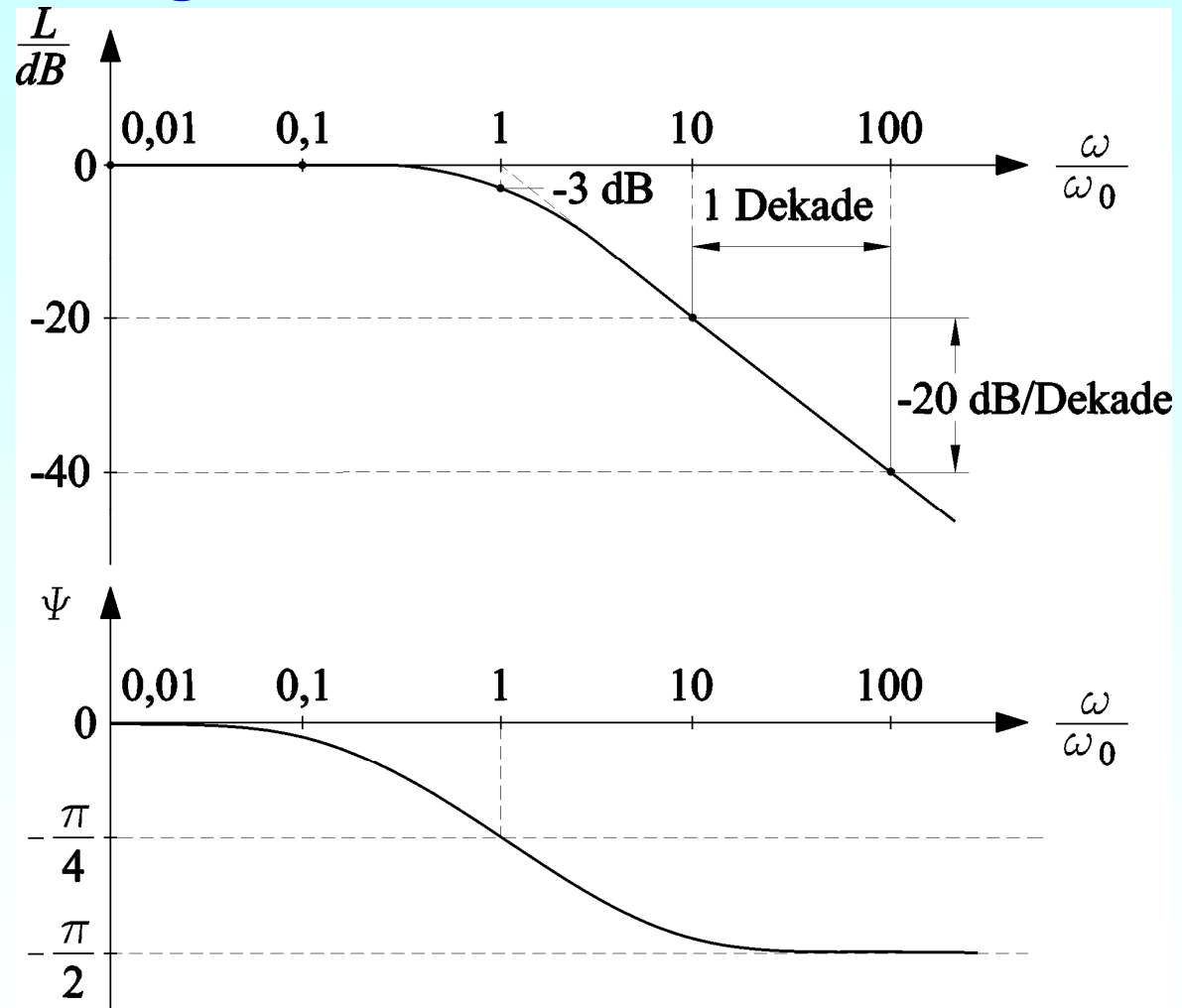
Logarithmischer Pegel (dB = deziBel):  $L = 20 \cdot \lg\left(\frac{U_C}{U}\right)$

# Kapazitäten und Induktivitäten

## BODE-Diagramm des R-C-Glieds

$$L = 20 \cdot \lg \left( \frac{1}{\sqrt{1 + (\omega / \omega_0)^2}} \right)$$

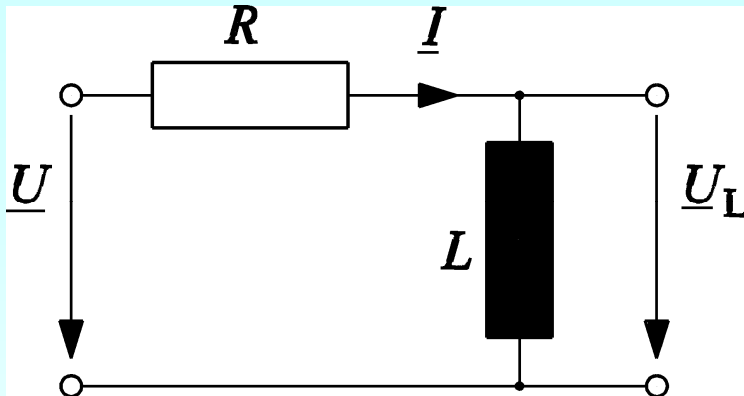
$$\psi = -\arctan \left( \frac{\omega}{\omega_0} \right)$$



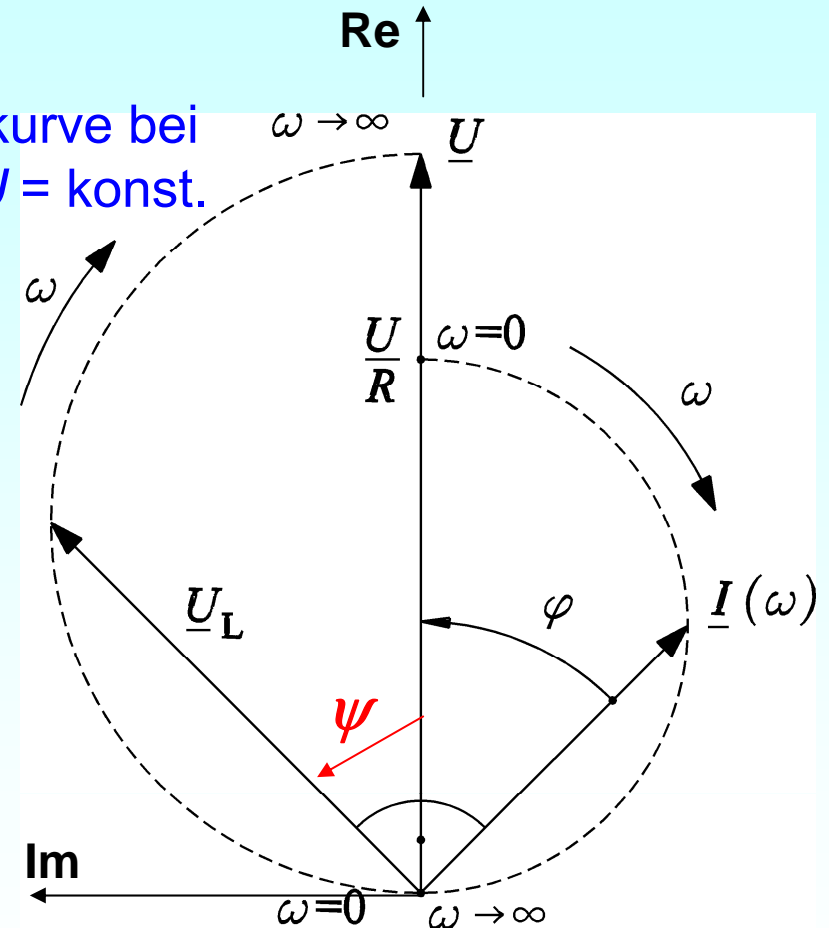


# Kapazitäten und Induktivitäten

## Ortskurve des R-L-Glieds



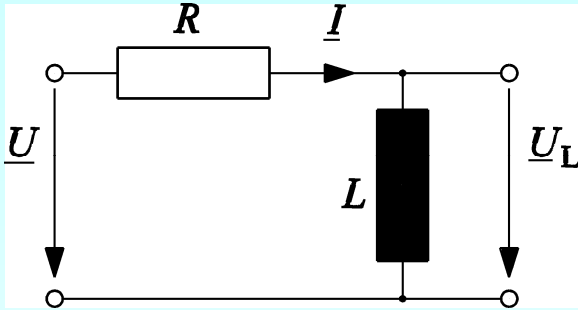
Ortskurve bei  
 $\underline{U} = U = \text{konst.}$



$$\underline{I} = \frac{U}{R + j\omega L} = \frac{U}{\sqrt{R^2 + (\omega L)^2}} \cdot e^{-j\varphi}$$
$$\underline{U}_L = \frac{j\omega(L/R) \cdot U}{1 + j\omega(L/R)} = \frac{j(\omega/\omega_0) \cdot U}{1 + j(\omega/\omega_0)} =$$
$$= \frac{(\omega/\omega_0) \cdot U}{\sqrt{1 + (\omega/\omega_0)^2}} \cdot e^{j\psi}$$

# Kapazitäten und Induktivitäten

## Kenngrößen des R-L-Glieds



$$\underline{U}_L = \frac{j(\omega / \omega_0) \cdot U}{1 + j(\omega / \omega_0)} = \frac{(\omega / \omega_0) \cdot U}{\sqrt{1 + (\omega / \omega_0)^2}} \cdot e^{j\psi}$$

Phasenwinkel  $\psi$  zwischen Ausgangs- und Eingangsspannung:  $\psi = \arctan\left(\frac{\omega_0}{\omega}\right)$

Eckkreisfrequenz = Kehrwert der Zeitkonstante:  $\omega_0 = \frac{R}{L} = \frac{1}{T}$

Ausgangs-/Eingangsamplitude:  $U_L / U = \frac{\omega / \omega_0}{\sqrt{1 + (\omega / \omega_0)^2}}$

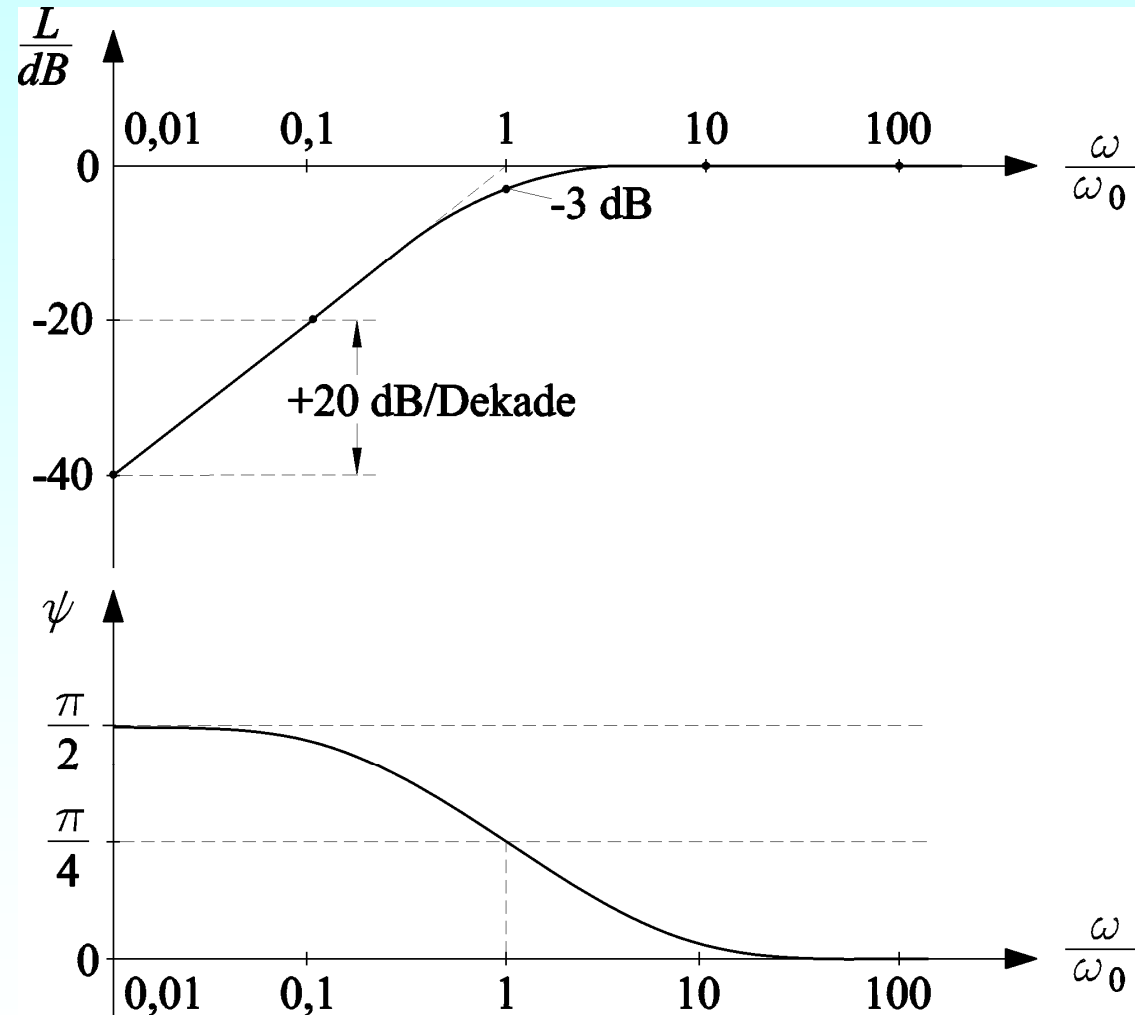
Logarithmischer Pegel (dB):  $L = 20 \cdot \lg\left(\frac{U_L}{U}\right)$

# Kapazitäten und Induktivitäten

## BODE-Diagramm des R-L-Glieds

$$L = 20 \cdot \lg \left( \frac{\omega / \omega_0}{\sqrt{1 + (\omega / \omega_0)^2}} \right)$$

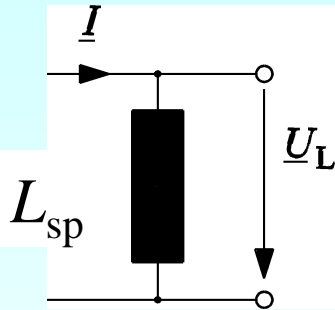
$$\psi = \arctan \left( \frac{\omega_0}{\omega} \right)$$



# Kapazitäten und Induktivitäten

## „Ideale Induktivität“ versus „reale Spule“

„Ideal“:  
KEIN Spulen-Widerstand



$$I = \frac{U}{|R + j\omega L_{sp}|}$$

$$\varphi = \arctan\left(\frac{\omega \cdot L_{sp}}{R}\right)$$

$$\omega_0 = R / L_{sp}$$

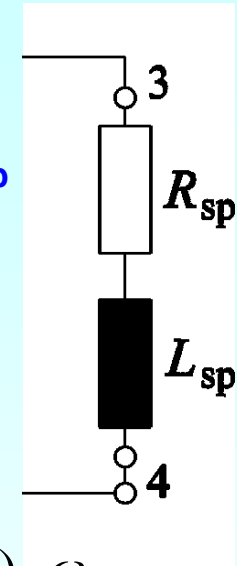
$$L = 20 \cdot \lg\left(\frac{\omega / \omega_0}{\sqrt{1 + (\omega / \omega_0)^2}}\right)$$

$$\psi = \arctan\frac{\omega_0}{\omega}$$

$$L < L^*$$

$$\psi > \psi^*$$

„Real“:  
Spulenwiderstand  $R_{sp}$



$$I = \frac{U}{|(R + R_{sp}) + j\omega L_{sp}|}$$

$$\varphi = \arctan\frac{\omega \cdot L_{sp}}{R + R_{sp}}$$

$$\omega_0^* = (R + R_{sp}) / L_{sp} = (1 + r) \cdot \omega_0$$

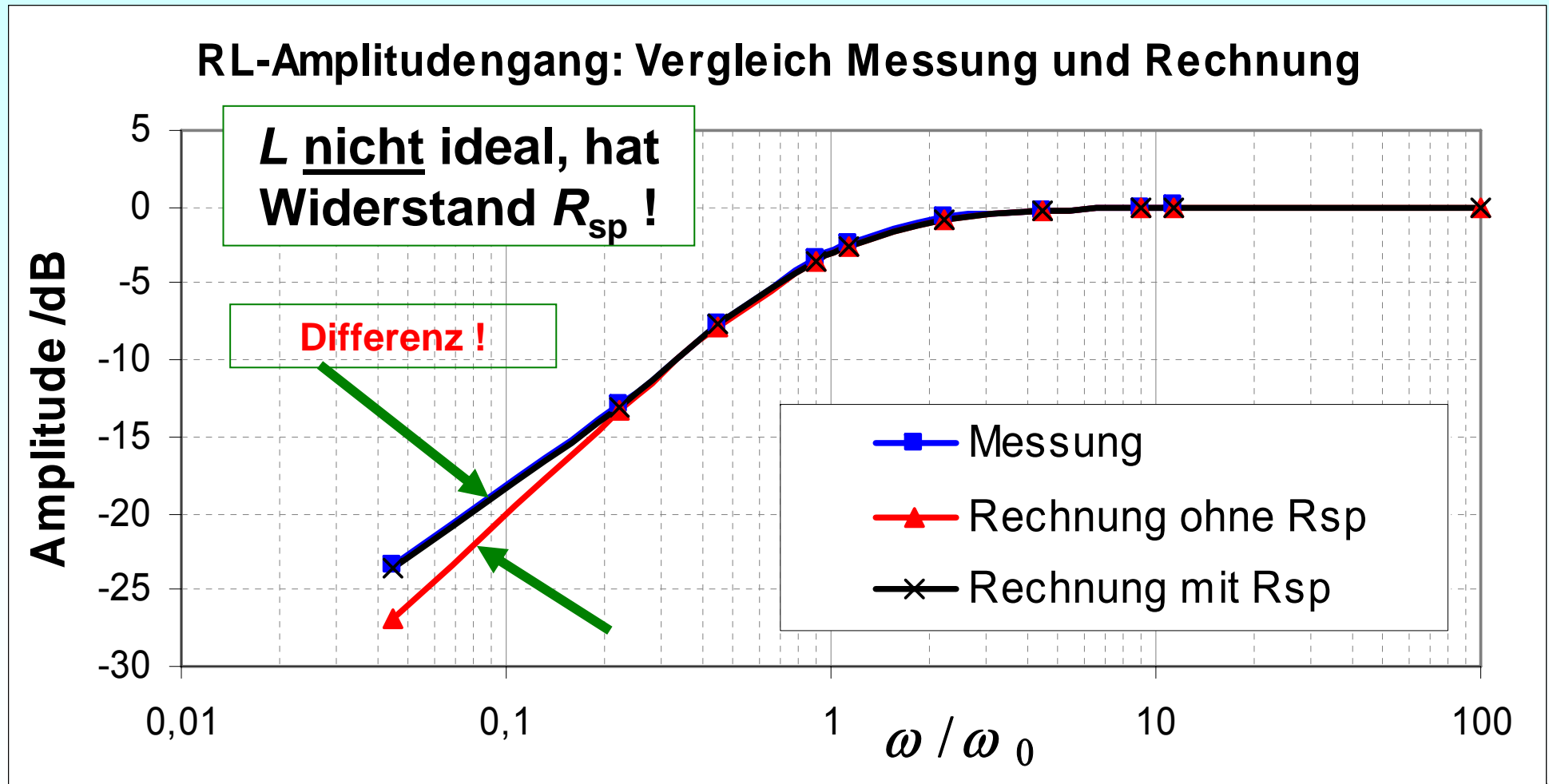
$$L^* = 20 \cdot \lg\sqrt{\frac{\frac{1}{(1+r)^2} + (\omega / \omega_0^*)^2}{1 + (\omega / \omega_0^*)^2}}$$

$$r = \frac{R}{R_{sp}}$$

$$\psi^* = \arctan\left(\frac{\omega / \omega_0^*}{1 + (1 + 1/r) \cdot (\omega / \omega_0^*)^2}\right)$$

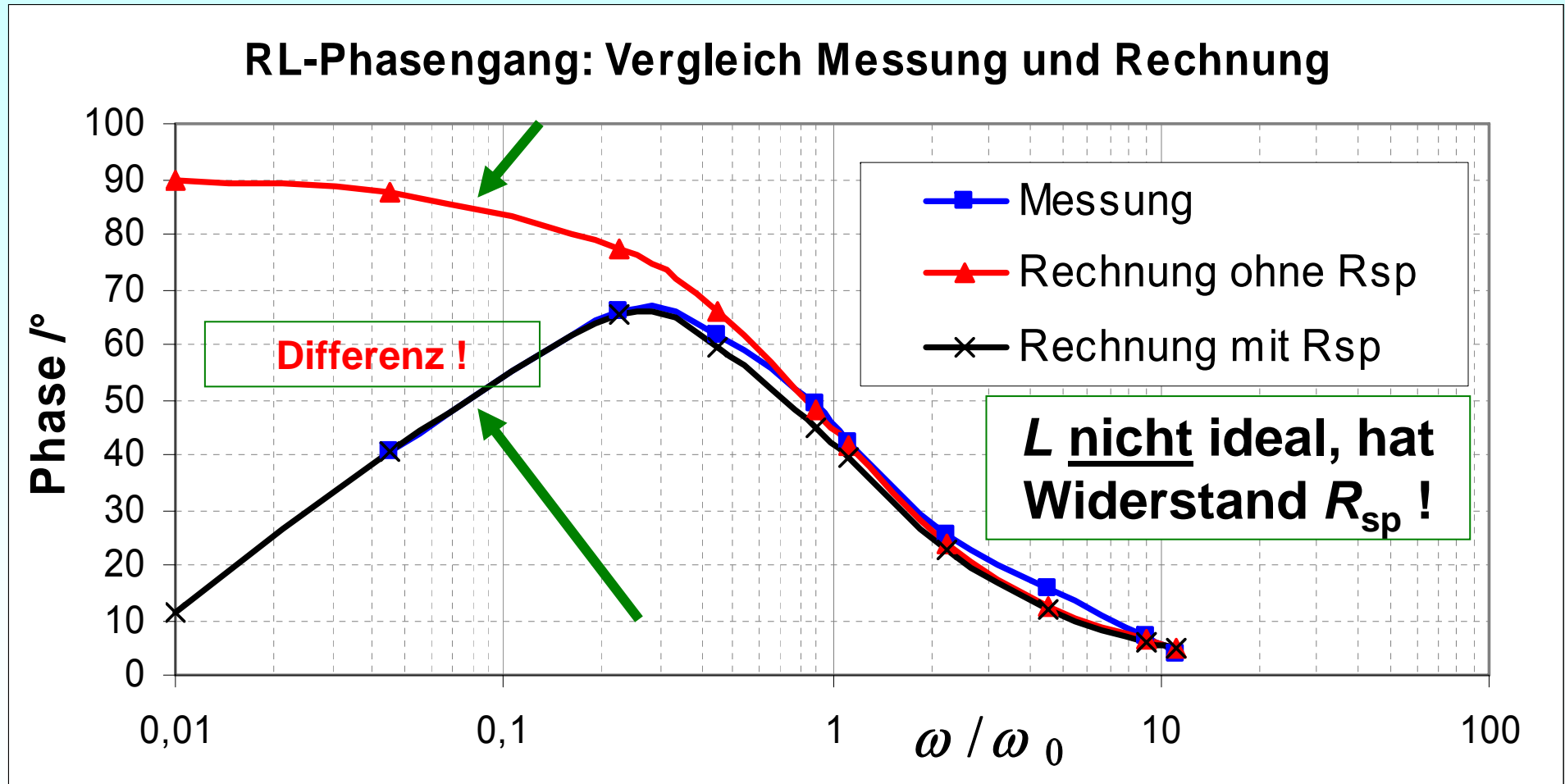
# Kapazitäten und Induktivitäten

## R-L-Glied: Einfluss des Spulenwiderstands $R_{sp}$



# Kapazitäten und Induktivitäten

## R-L-Glied: Einfluss des Spulenwiderstands



# Kapazitäten und Induktivitäten

## Versuchsdurchführung

### Versuch 2 Kapazitäten und Induktivitäten

Versuchsbetreuer: Dipl.-Ing. Thomas Knopik

Raum S3|10/442

Tel. : 06151 / 16-5598

E-Mail : [tknopik@ew.tu-darmstadt.de](mailto:tknopik@ew.tu-darmstadt.de)



# Kapazitäten und Induktivitäten

## Übersicht über die Aufgaben

- **2.5 Plattenkondensator** mit variablem Plattenabstand u. Dielektrikum, Elektrolyt-Kondensator
- **2.6 R-C-Glied:** Zeitkonstante, Frequenzgang, Strom-Ortskurve, BODE-Diagramm
- **2.7 R-L-Glied:** dito



# Kapazitäten und Induktivitäten

## 2.5 Plattenkondensator mit variablem Plattenabstand u. Dielektrikum, Elektrolyt-Kondensator

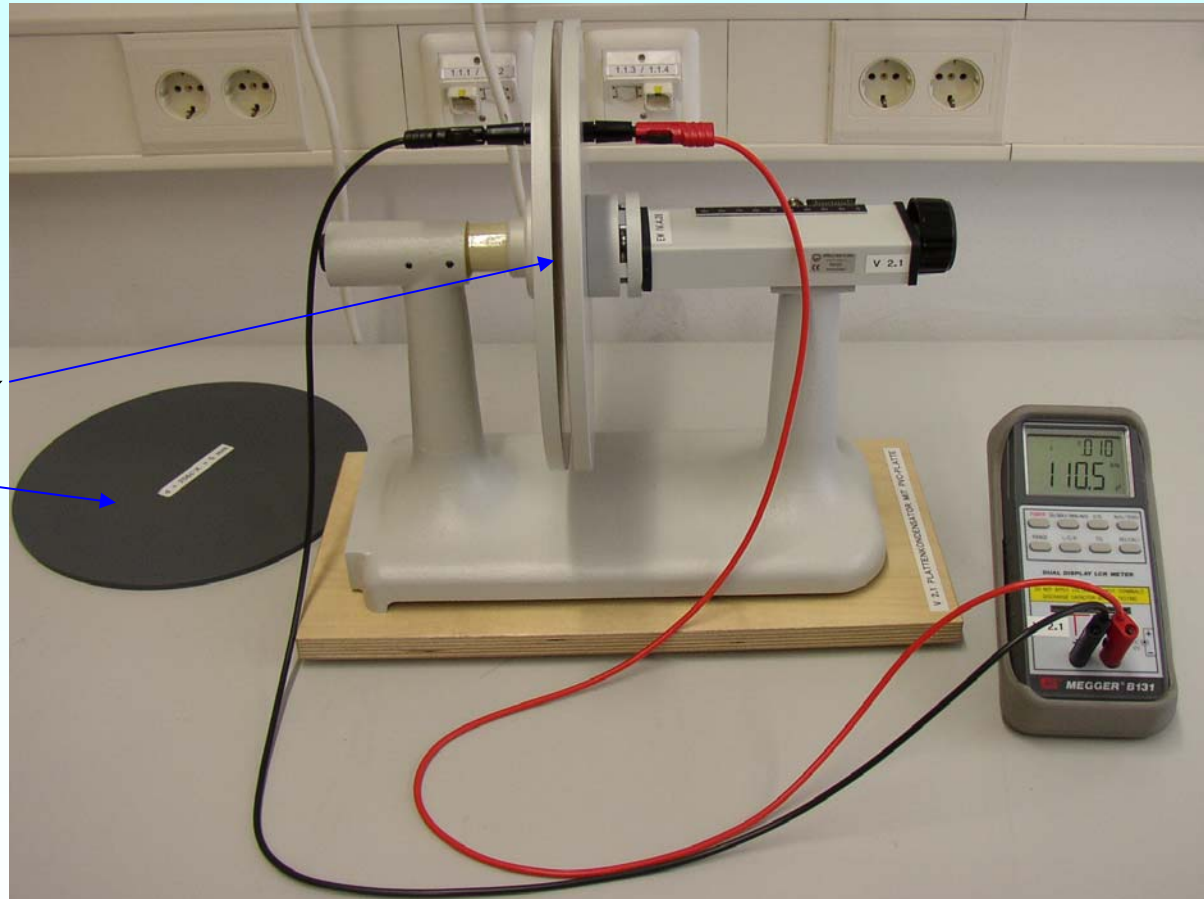
### Verwendete Geräte:

Kapazitätsgmessgerät

Plattenkondensator:

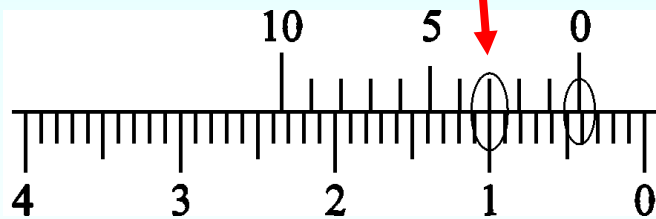
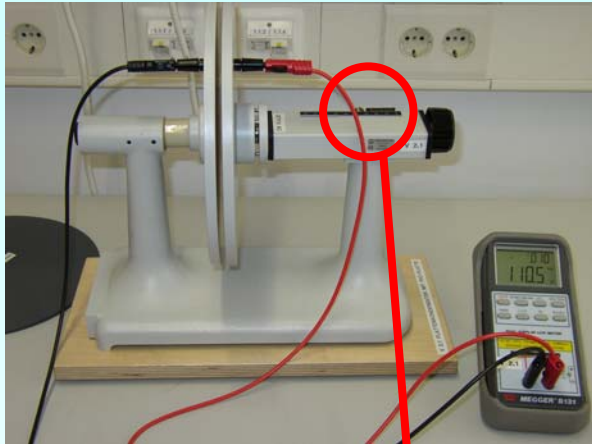
- Plattenabstand  $x$
- Dielektrika  $\epsilon_r$

Elektrolytkondensator

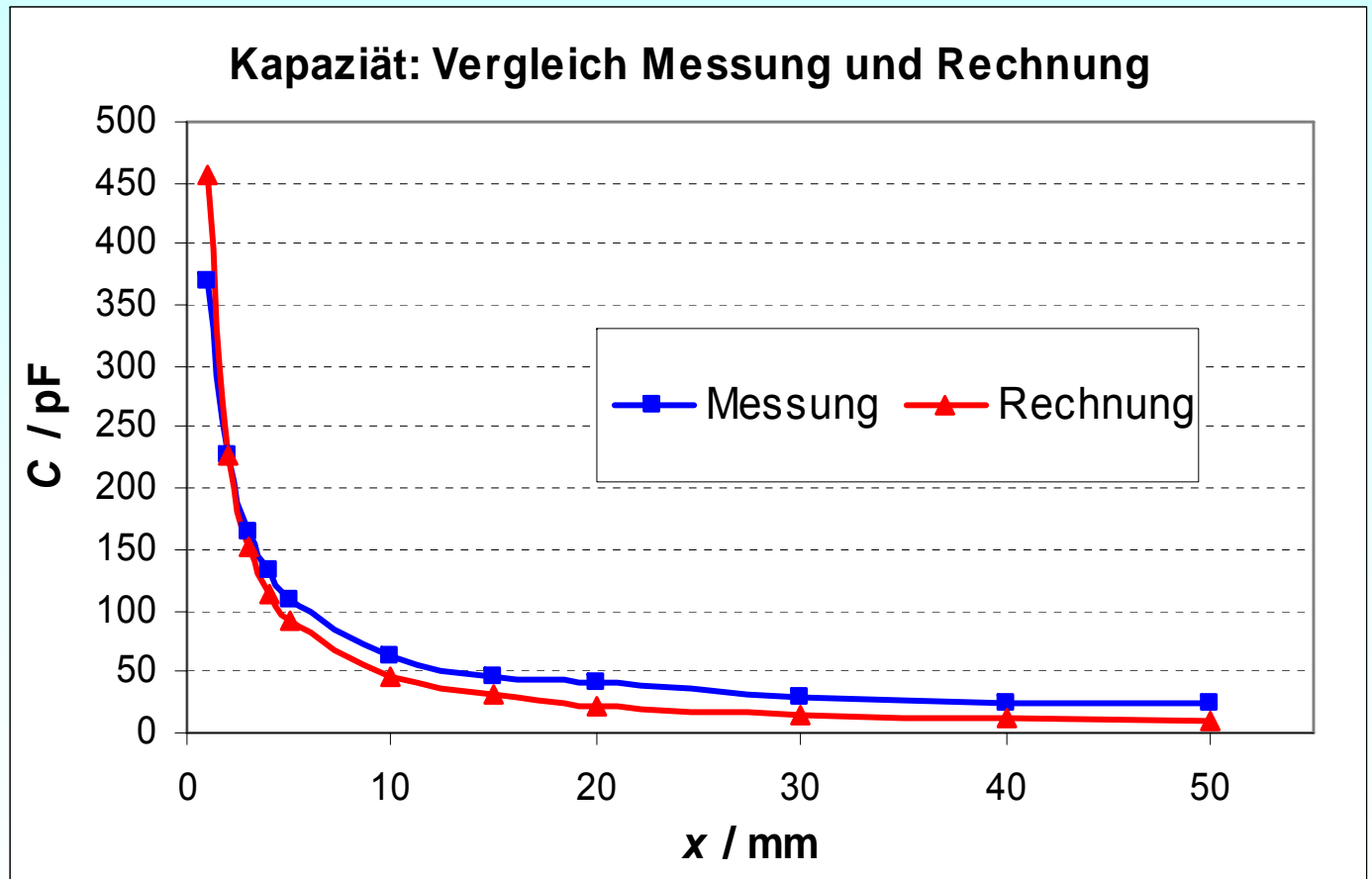


# Kapazitäten und Induktivitäten

## 2.5.1 Dielektrikum Luft $\epsilon_r=1$ , variabler Plattenabstand



**NONIUS-Skala: 4.3 mm**  
**Genauere Einstellung  
des Plattenabstands**



# Kapazitäten und Induktivitäten

## 2.5.2 Fester Plattenabstand, variables Dielektrikum ( $\epsilon_r > 1$ )

Dielektrikum	$x$ / mm	$C_{\text{mess}}$ / pF	$\epsilon_r$
PVC-Platte	4.8	294	2.752
Luft	4.8	106.8	1.0

Bestimmung der **relativen Dielektrizitätszahl**  $\epsilon_r$  der PVC-Platte aus der Kapazitätsmessung

## 2.5.3 Messung der Kapazität eines Elektrolyt-Kondensators

**KEIN** Wechselstromkondensator ! Hat **hohe** Kapazität !

Auf die **richtige** Polung achten ! Sonst Fehlmessung !

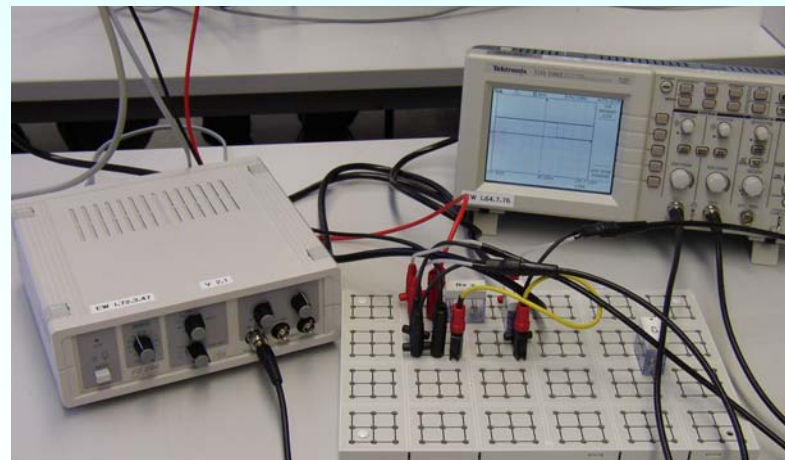
# Kapazitäten und Induktivitäten

## 2.6 *R-C-Glied*: Zeitkonstante, Frequenzgang, Strom-Ortskurve, BODE-Diagramm

2.6.1 Bestimmung der Kapazität aus der Zeitkonstanten

2.6.2 Bestimmung der Ortskurve  $I(\omega)$ , Vergleich mit der Rechnung

2.6.3 Bestimmung des BODE-Diagramms mit Amplituden- und Phasengang



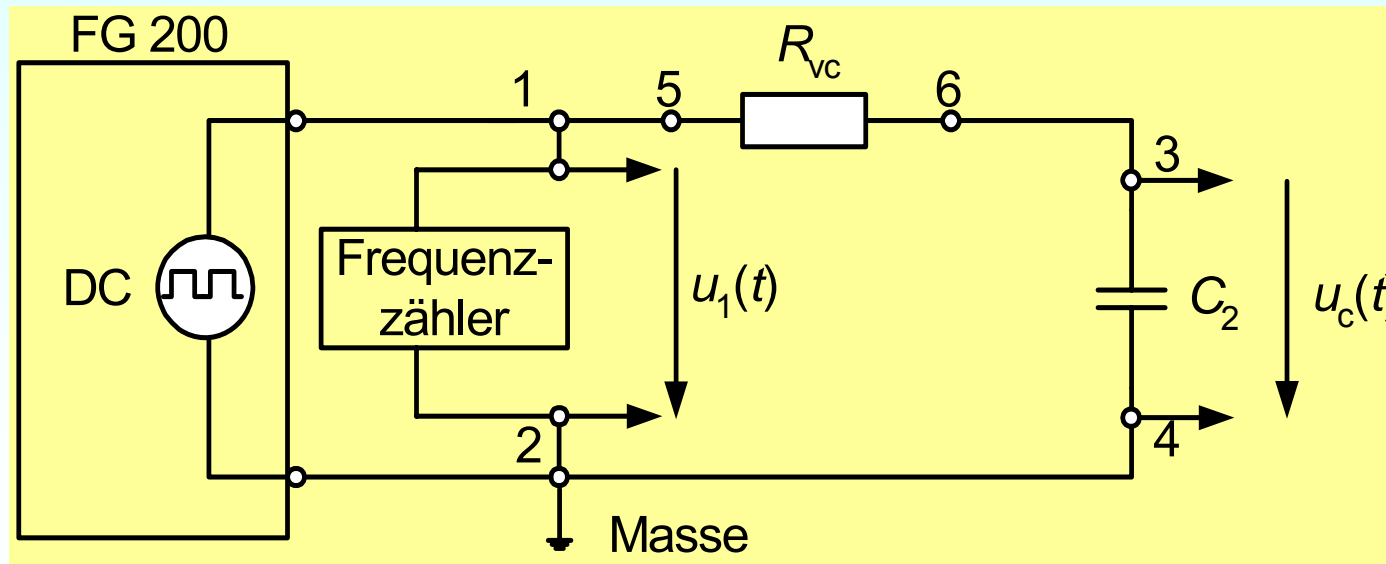
# Kapazitäten und Induktivitäten

## 2.6.1 Bestimmung der Kapazität aus der Zeitkonstanten

### Verwendete Messgeräte:

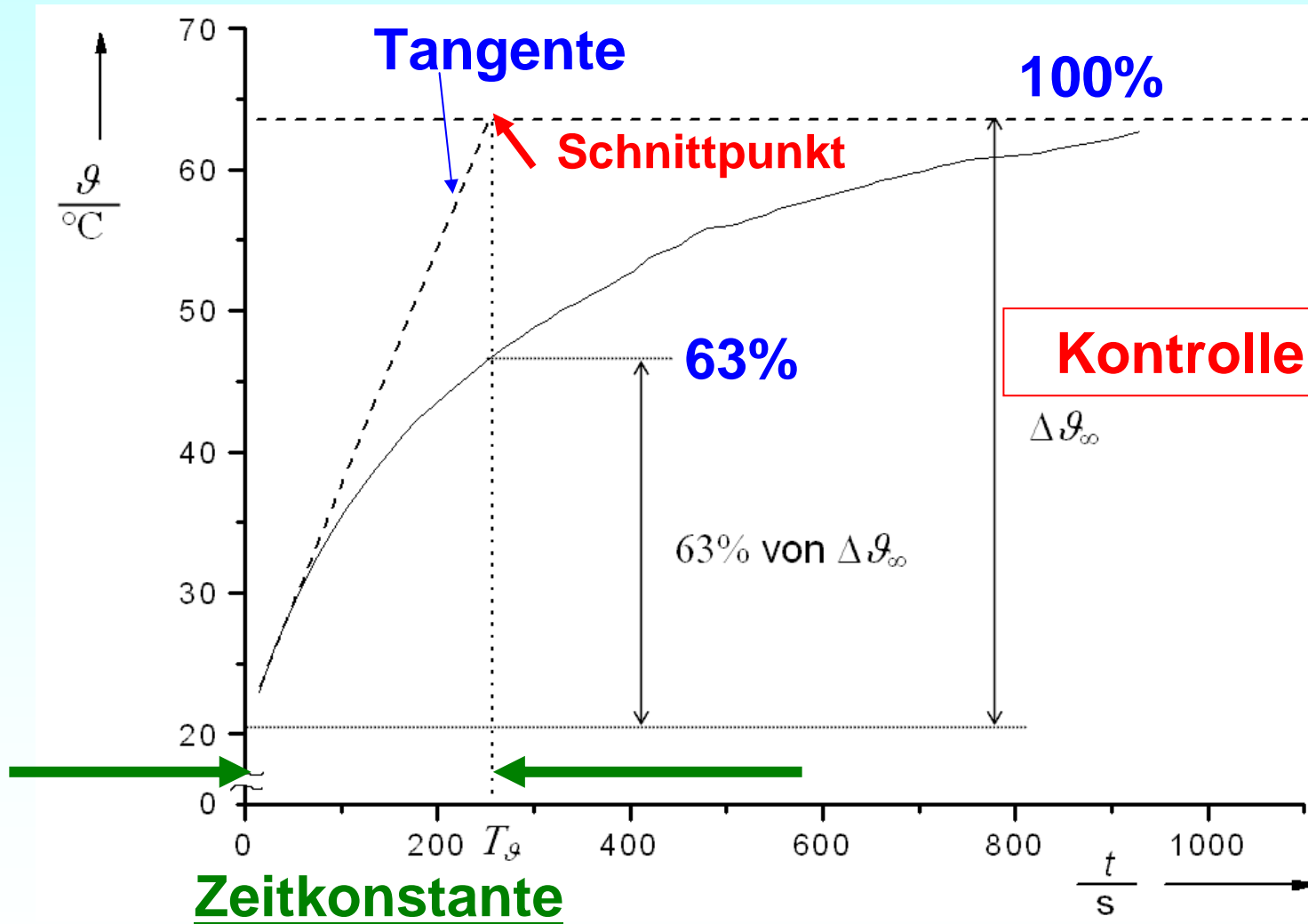
- Funktionsgenerator FG200
- Oszilloskop TDS 1002
- Frequenzzähler
- Widerstand  $R_{VC} = 1 \text{ k}\Omega$
- Kondensator  $C_2$

Messschaltung



# Kapazitäten und Induktivitäten

## Ermitteln der Zeitkonstante durch Tangentenabschnitt

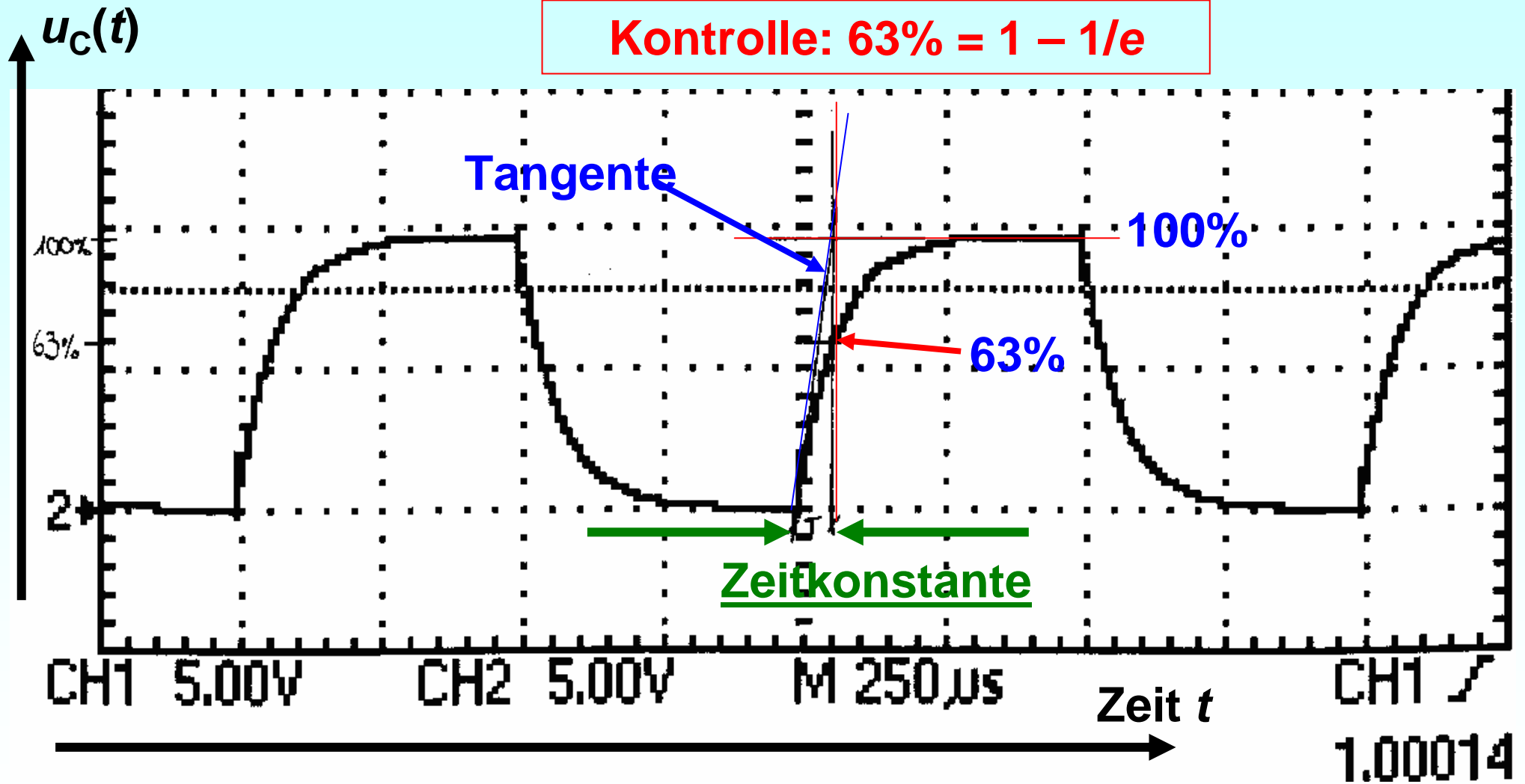


Siehe  
Versuch 1 !

# Kapazitäten und Induktivitäten

## Ermitteln der Zeitkonstante durch Tangentenabschnitt

Kontrolle:  $63\% = 1 - 1/e$



# Kapazitäten und Induktivitäten

## Bestimmung der Kapazität aus der Zeitkonstanten

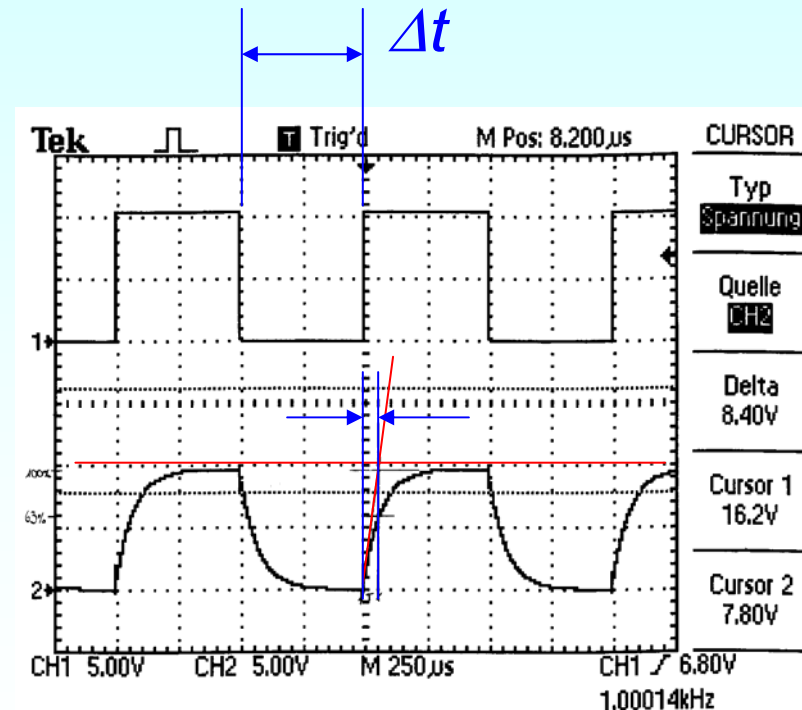
### Auswertung:

Berechnen Sie aus den gemessenen Größen die Kapazität des Kondensators  $C_2$ .

Wie groß ist die Zeitkonstante des RC-Gliedes?

Zeichnen Sie die berechnete Zeitkonstante in den Ausdruck ein.

$f_{\text{ist}} / \text{Hz}$	$\Delta t / \text{ms}$	$C_2 / \mu\text{F}$	$T / \text{ms}$
200	2.50	1.040	1.040
400	1.26	1.011	1.011
600	0.83	1.006	1.006



$u_1(t)$

$u_C(t)$

Eintragen der **Zeitkonstante**



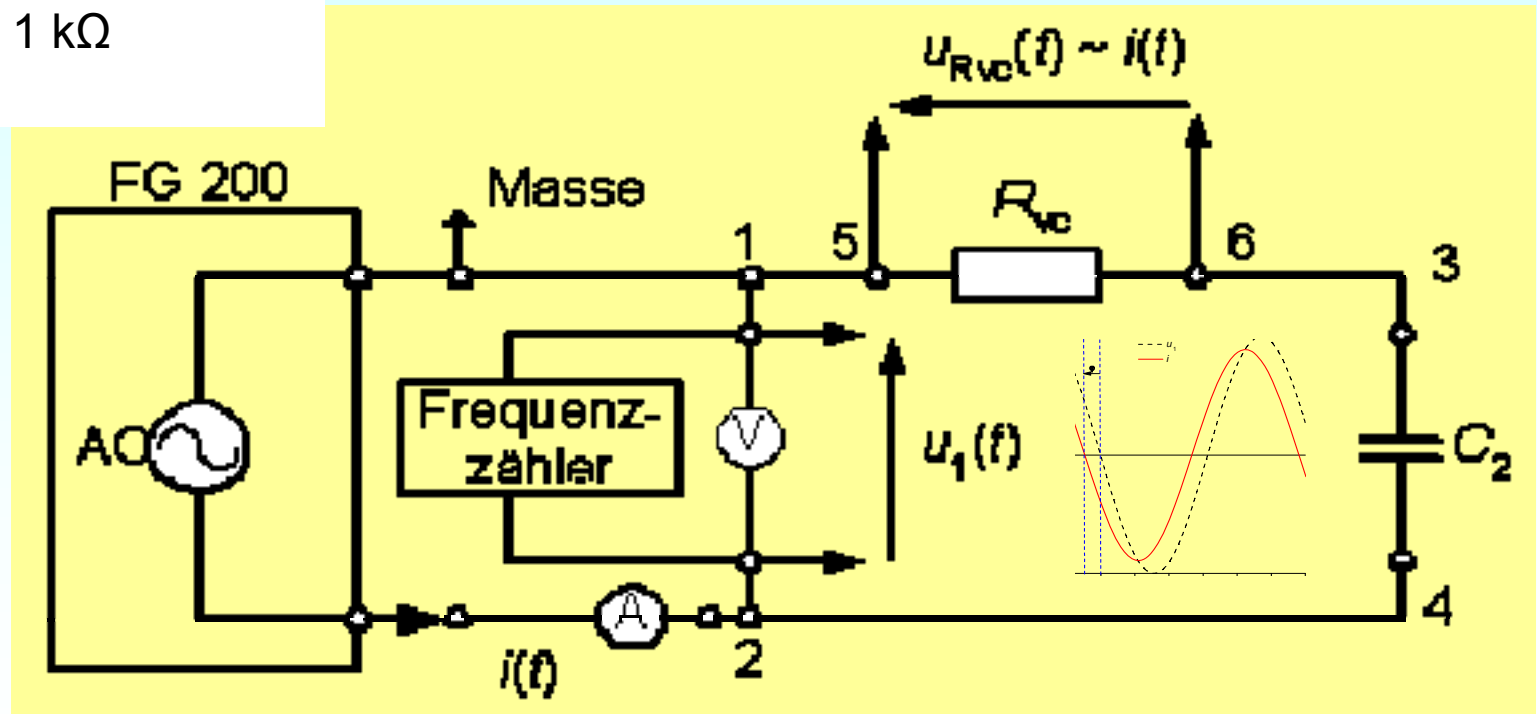
# Kapazitäten und Induktivitäten

## 2.6.2 Bestimmung der Ortskurve $I(\omega)$ , Vergleich mit der Rechnung

### Verwendete Messgeräte:

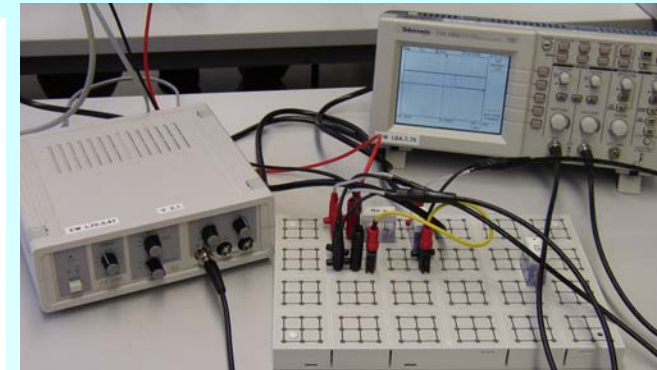
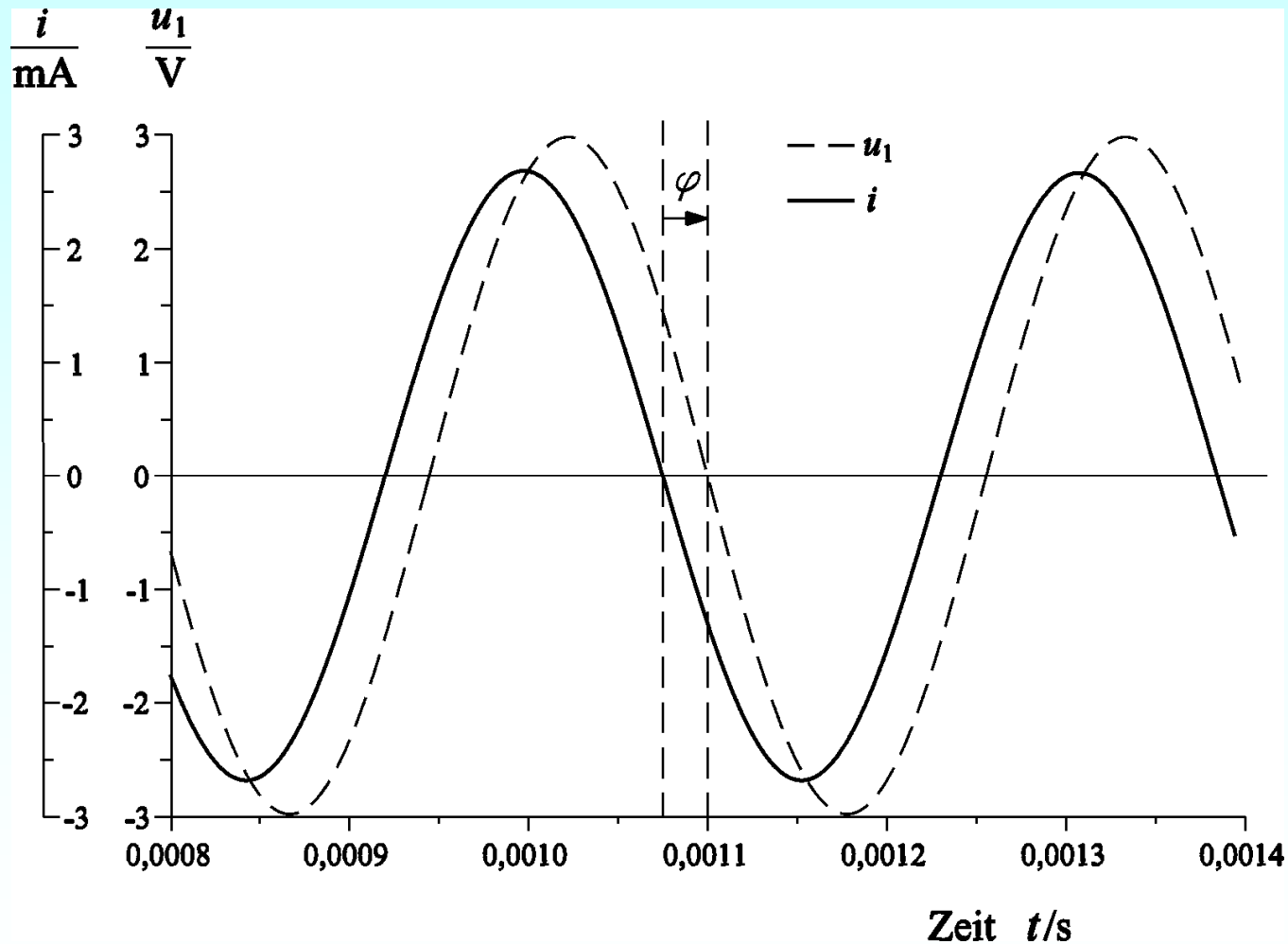
- Funktionsgenerator FG200
- Oszilloskop TDS 1002
- Frequenzzähler
- Volt- & Amperemeter
- Widerstand  $R_{VC} = 1 \text{ k}\Omega$
- Kondensator  $C_2$

### Messschaltung



# Kapazitäten und Induktivitäten

## Bestimmung der Ortskurve $I(\omega)$ , Vergleich mit der Rechnung



# Kapazitäten und Induktivitäten

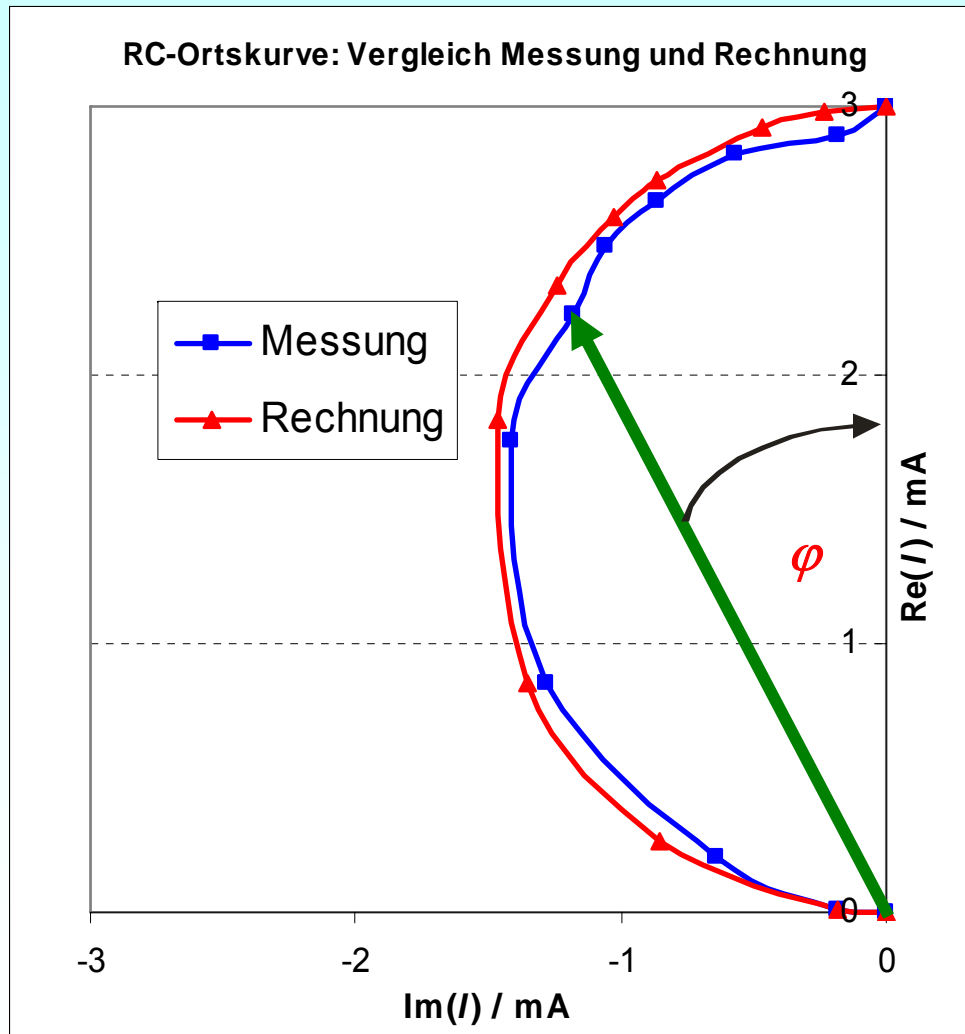
## Bestimmung der Ortskurve $I(\omega)$ , Vergleich mit der Rechnung

$f_{\text{soll}} / \text{Hz}$	$f_{\text{ist}} / \text{Hz}$	$\omega / \text{s}^{-1}$	$U_{\text{R}} / \text{V}$	$I_{\text{Ampermetr}} / \text{mA}$	$U_{\text{R}} / R_{\text{VC}}$	$\Delta t / \text{ms}$	$\varphi / ^{\circ}$	$U_1 / \text{V}$
10								
50								
100								
200								
300								
400								
500								
1000								
2000								

Messwerttabelle

# Kapazitäten und Induktivitäten

## RC-Glied: Ortskurve: Vergleich Rechnung - Messung



### Auswertung:

Berechnen Sie die Ortskurve:

$$R = R_{vc} = 1 \text{ k}\Omega$$

$$C = C_2 = 1 \text{ }\mu\text{F}$$

$$U_1 = 3 \text{ V}$$

Der Phasenwinkel  $\varphi$  wird vom Strom  $I$  zur Spannung  $U_1$  gezählt.

Positiver Zählsinn = Gegen-  
Uhrzeigersinn = Rechtsdreh Sinn

Er ist daher hier negativ.

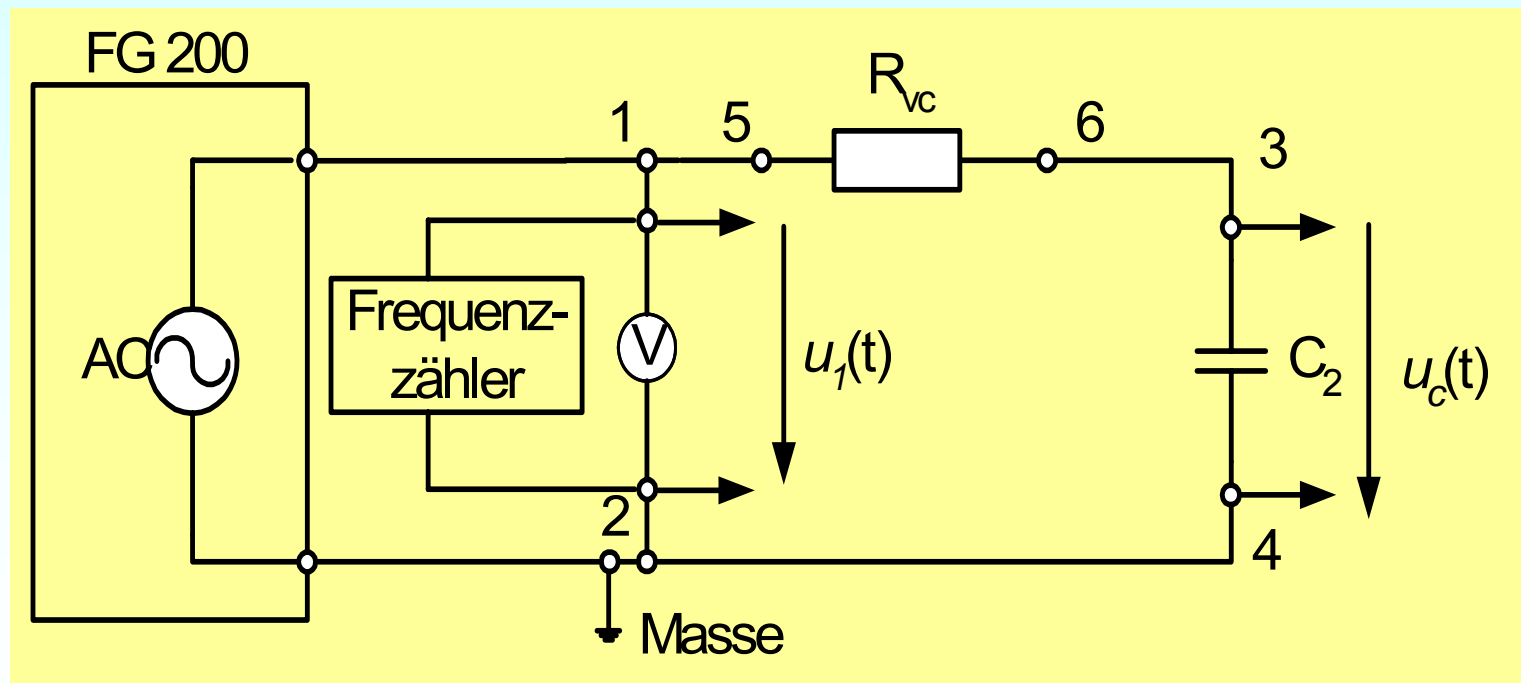
$$\varphi = f \times \Delta t \times 360^\circ$$

# Kapazitäten und Induktivitäten

## 2.6.3 Bestimmung des BODE-Diagramms mit Amplituden- und Phasengang

### Verwendete Messgeräte:

- Funktionsgenerator
- Oszilloskop
- Frequenzzähler
- Voltmeter
- Widerstand  $R_{VC}$
- Kondensator  $C_2$



### Messschaltung

# Kapazitäten und Induktivitäten

$$L = 20 \cdot \lg \frac{U_C}{U_1}$$

## Messwerttabelle

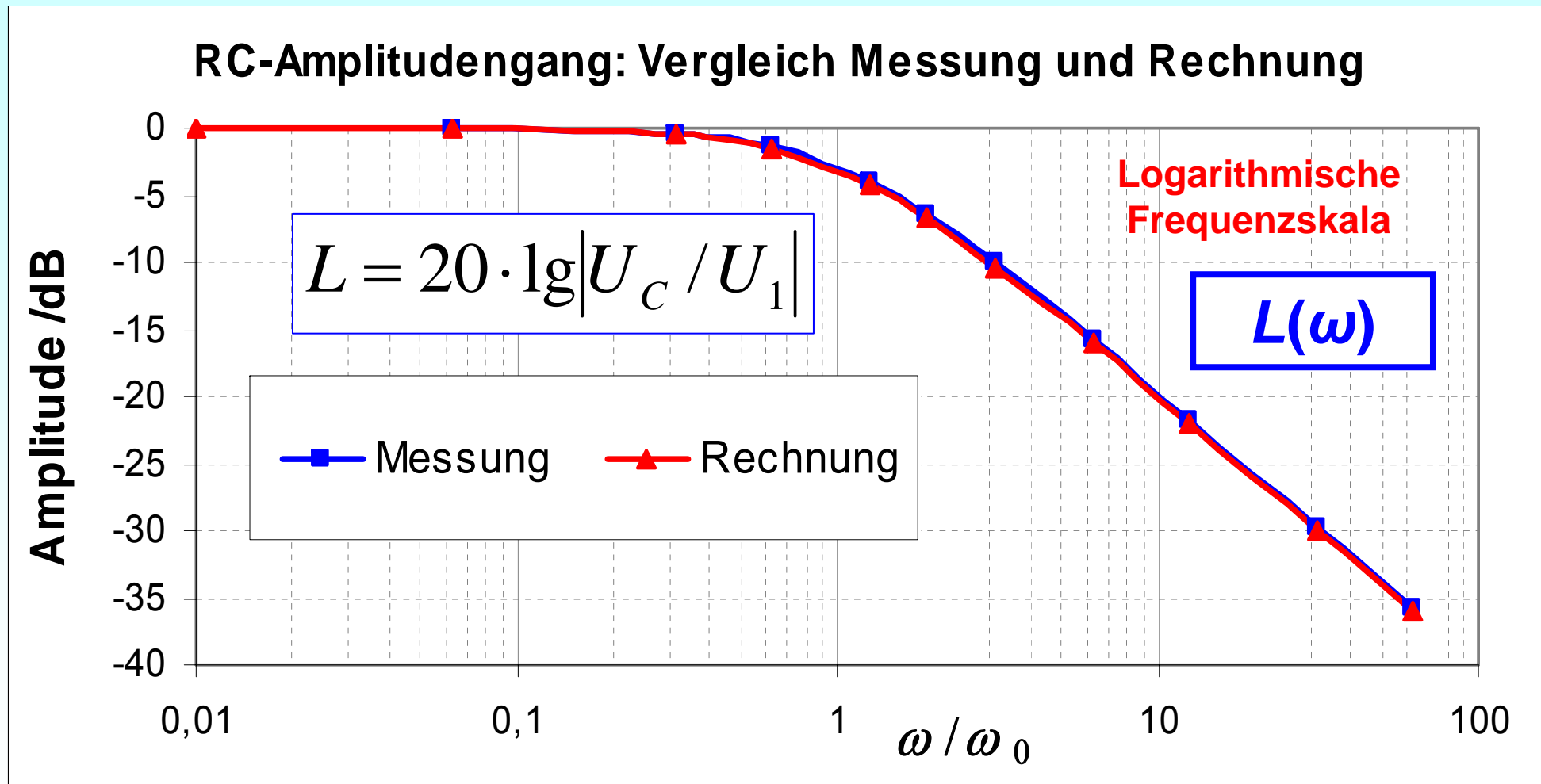
$$\psi = f \times \Delta t \times 360^\circ$$

$$\psi = \angle(\underline{U}_1, \underline{U}_C)$$

$f_{\text{soll}} / \text{Hz}$	$f_{\text{ist}} / \text{Hz}$	$\omega / \text{s}^{-1}$	$U_1 / \text{V}$	$U_C / \text{V}$	$\Delta t / \text{ms}$	$\psi / ^\circ$
10						
50						
100						
200						
300						
500						
1000						
2000						
5000						
10000						

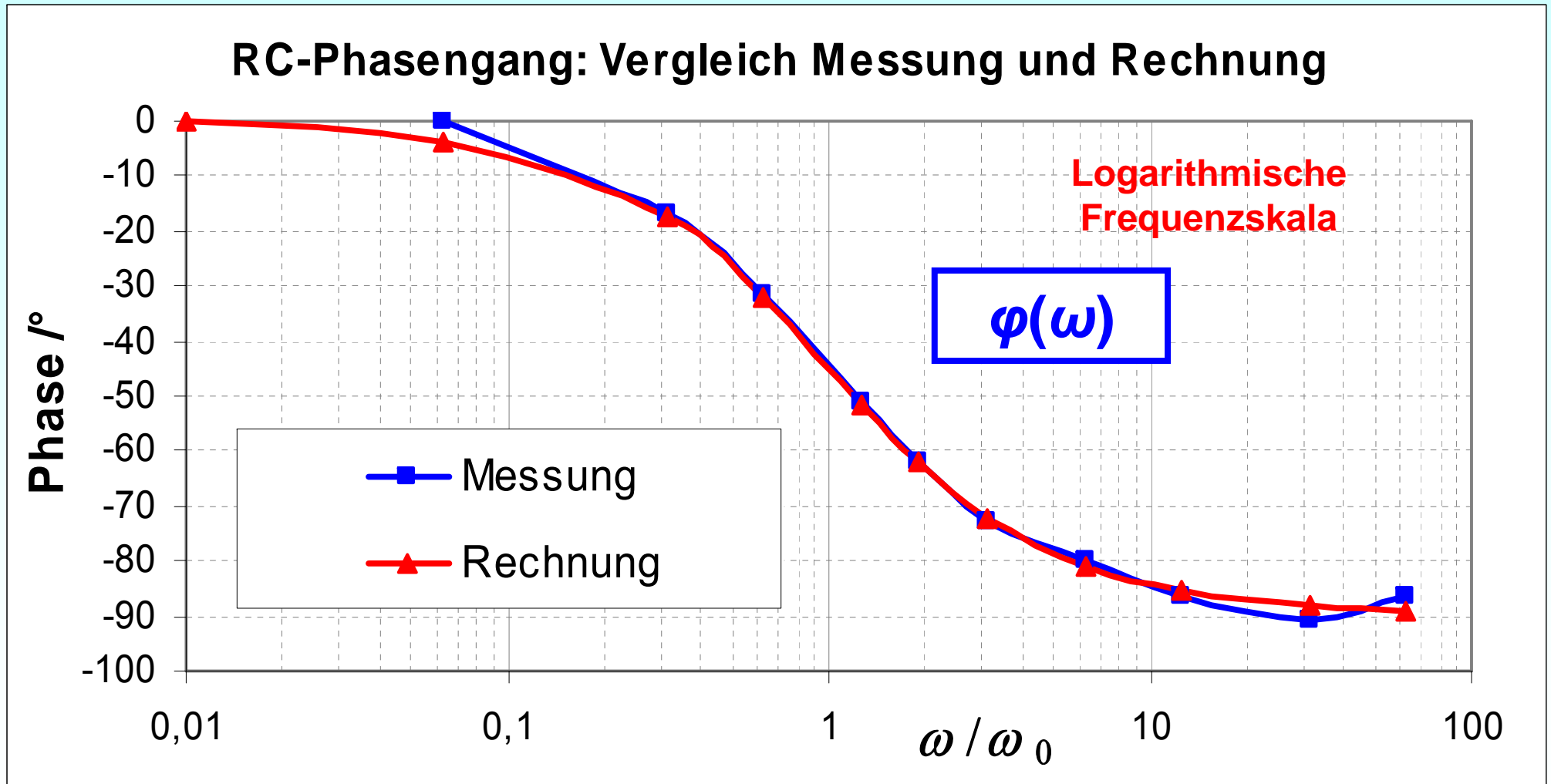
# Kapazitäten und Induktivitäten

## RC-Glied: BODE-Diagramm - Amplitudengang



# Kapazitäten und Induktivitäten

## RC-Glied: BODE-Diagramm - Phasengang





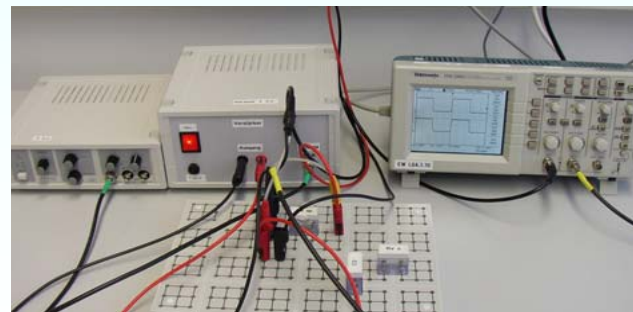
# Kapazitäten und Induktivitäten

## 2.7 *R-L-Glied*: Zeitkonstante, Frequenzgang, Stromortskurve, BODE-Diagramm

2.7.1 Bestimmung der Induktivität aus der Zeitkonstanten

2.7.2 Bestimmung der Ortskurve  $I(\omega)$ , Vergleich mit der Rechnung

2.7.3 Bestimmung des BODE-Diagramms mit Amplituden- und Phasengang

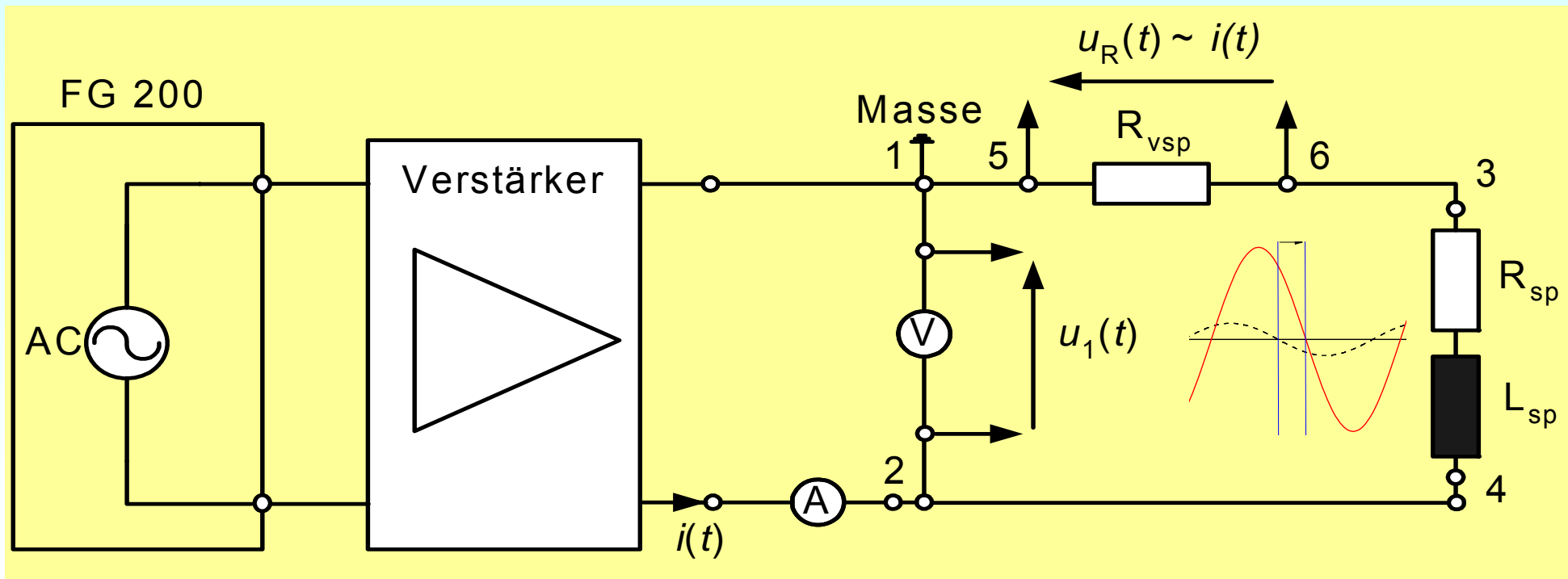


# Kapazitäten und Induktivitäten

## 2.7.1 Bestimmung der Induktivität aus der Zeitkonstanten

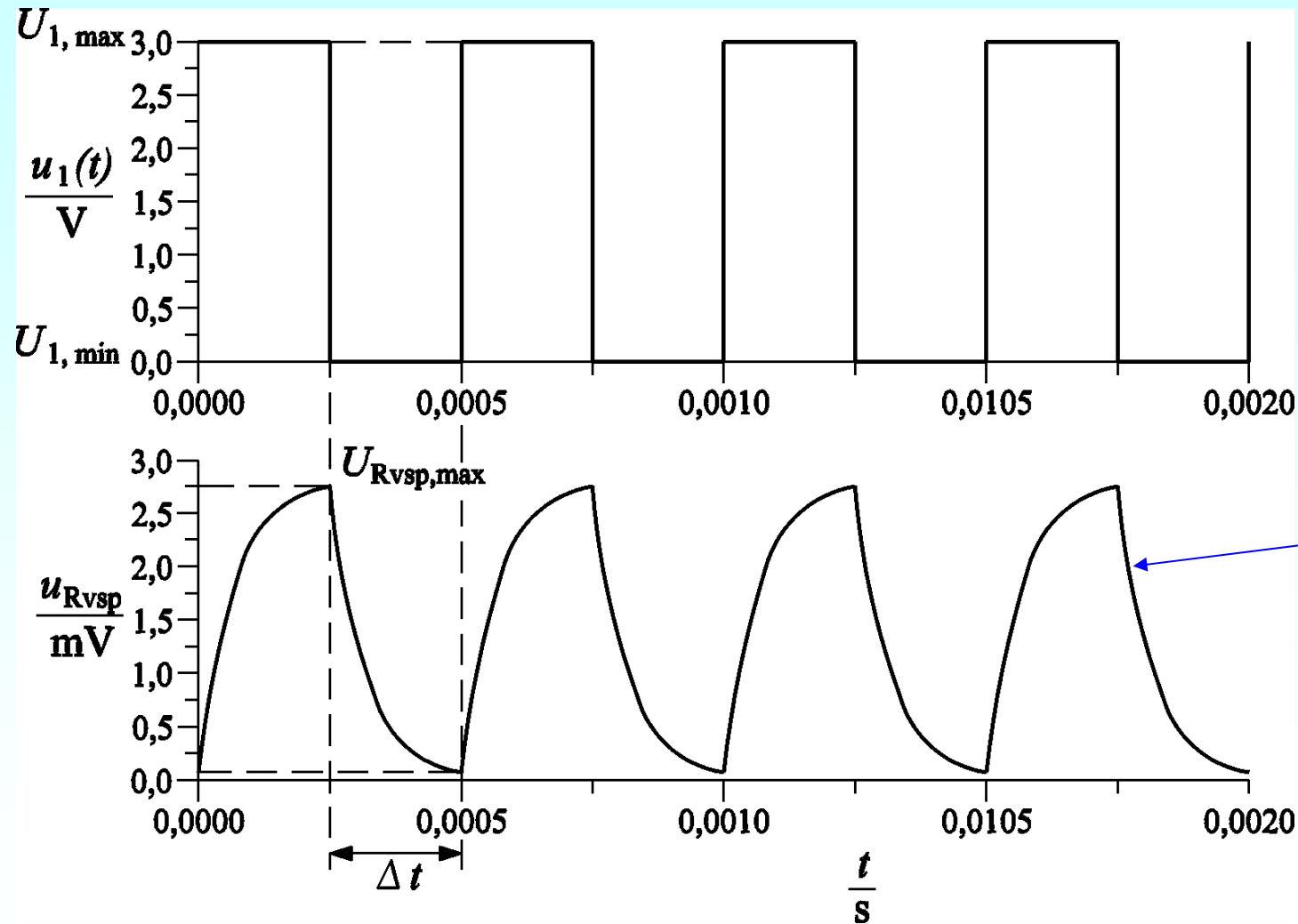
### Messgeräte:

- Funktionsgenerator
  - Verstärker
  - Widerstand  $R_{VSP}$
- Oszilloskop
  - Volt- & Amperemeter
  - Luftspule



# Kapazitäten und Induktivitäten

## Bestimmung der Induktivität aus der Zeitkonstanten



Entspricht dem  
Spulenstrom!



# Kapazitäten und Induktivitäten

## Bestimmung der Induktivität aus der Zeitkonstanten

### Auswertung:

Berechnen Sie die Induktivität  $L_{Sp}$ .

Wie groß ist die Zeitkonstante des  $RL$ -Gliedes? Zeichnen Sie diese in den Ausdruck des Oszilloskops ein.

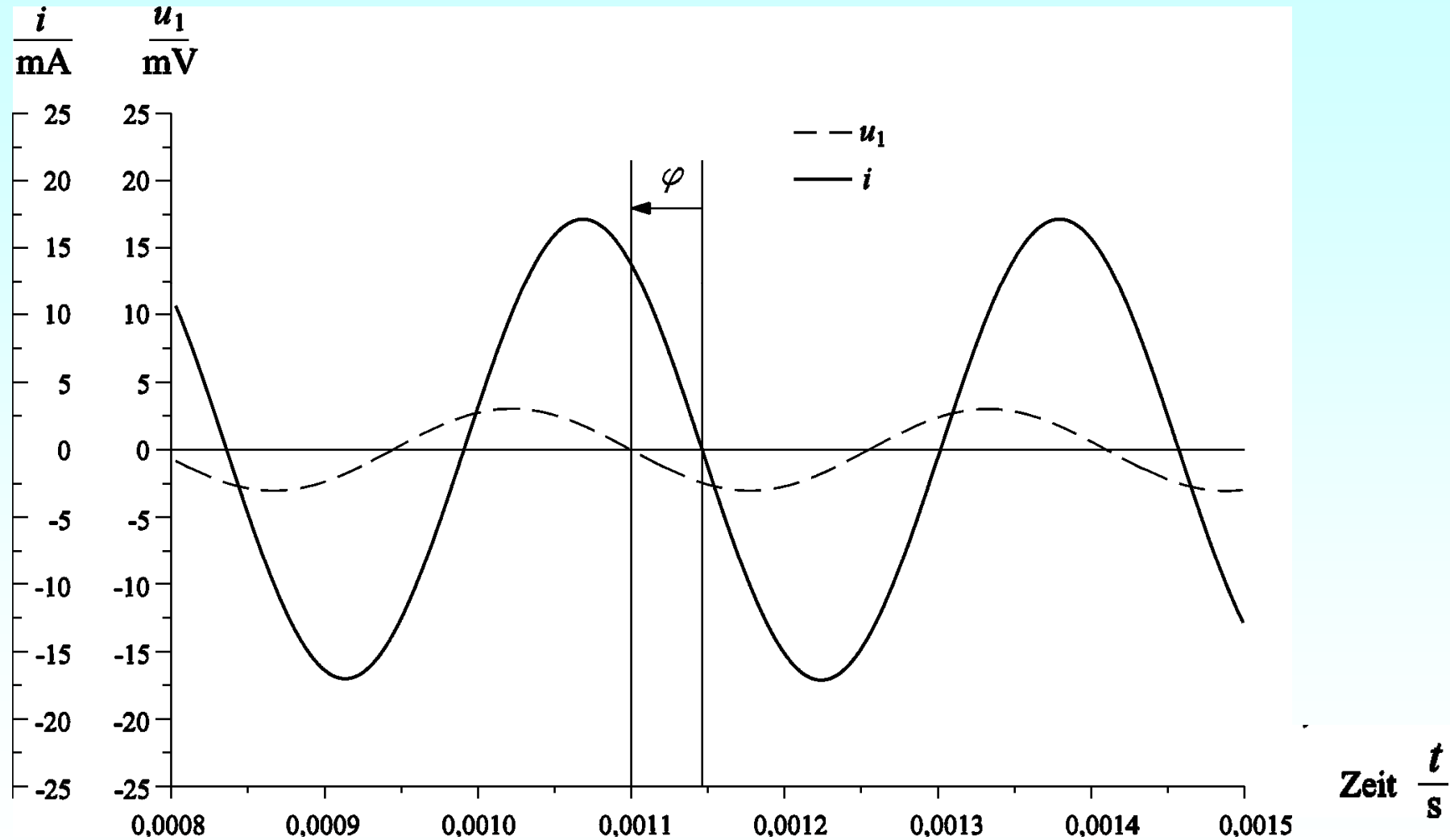
Vergleichen Sie die oben bestimmten Werte  $L_{Sp}$  mit dem in der Vorbereitung berechneten theoretischen Wert.

$$L_{sp} = \frac{\Delta t \cdot (R_{vsp} + R_{sp})}{\ln(U_{Rvsp,max} / U_{Rvsp,min})}$$

$f_{ist} / \text{Hz}$	$\Delta t / \text{ms}$	$L_{Sp} / \text{mH}$	$T / \text{ms}$
4004	0.125	6.54	0.062
7009	0.070	6.10	0.058
10080	0.050	5.63	0.051

# Kapazitäten und Induktivitäten

## Strom- und Spannungszilogramm



# Kapazitäten und Induktivitäten

## Messwerttabelle für die Ortskurve $I(\omega)$

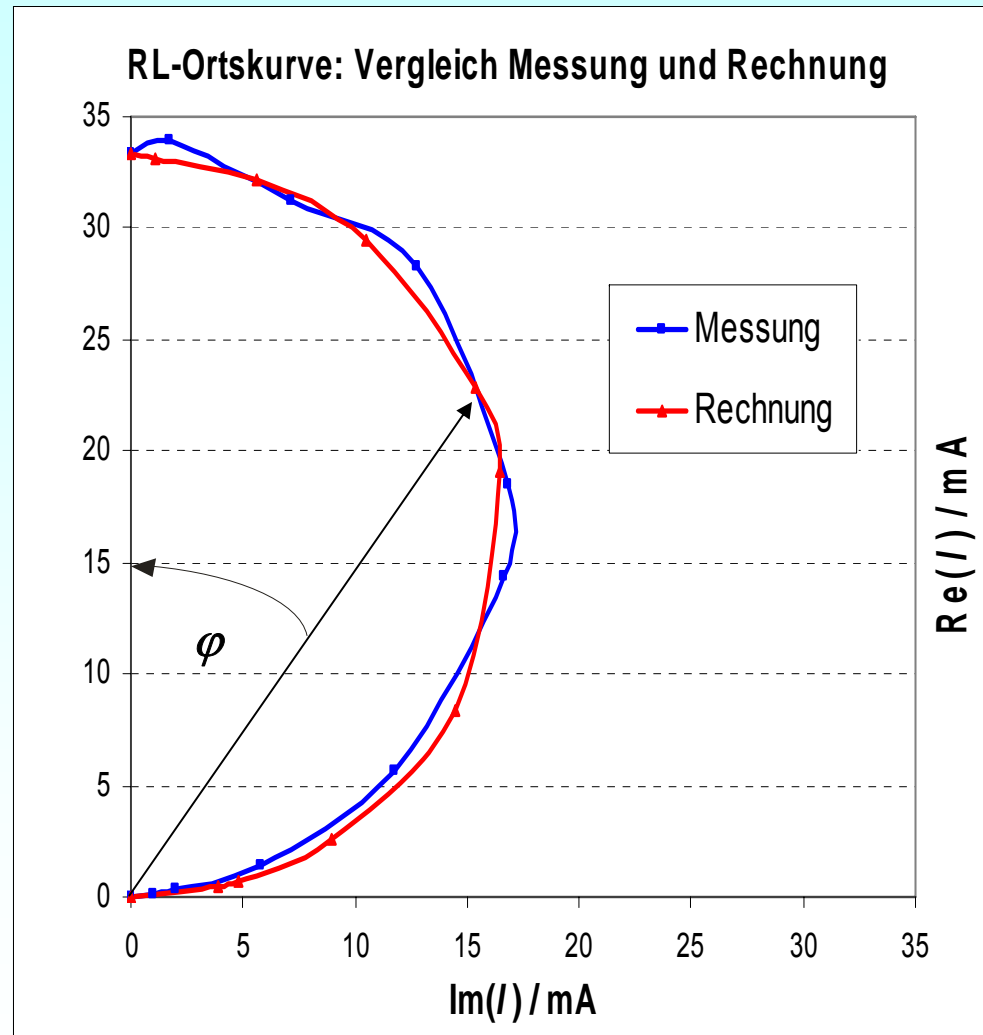
$f_{\text{soll}} / \text{Hz}$	$f_{\text{ist}} / \text{Hz}$	$\omega / \text{s}^{-1}$	$U_{\text{R}} / \text{V}$	$I_{\text{Ampermetr}} / \text{mA}$	$U_{\text{R}} / R_{\text{vsp}}$	$\Delta t / \text{ms}$	$\varphi / ^{\circ}$	$U_1 / \text{V}$
100								
500								
1000								
2000								
2500								
5000								
10000								
20000								
25000								

# Kapazitäten und Induktivitäten

## 2.7.2 Bestimmung der Ortskurve $I(\omega)$ , Vergleich mit der Rechnung

$$I = \frac{U_1}{|(R_{vsp} + R_{sp}) + j\omega L_{sp}|}$$

$$\varphi = \arctan \frac{\omega \cdot L_{sp}}{R_{vsp} + R_{sp}}$$

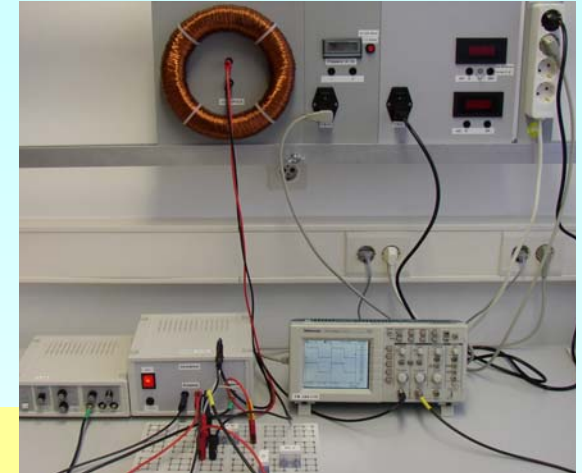


# Kapazitäten und Induktivitäten

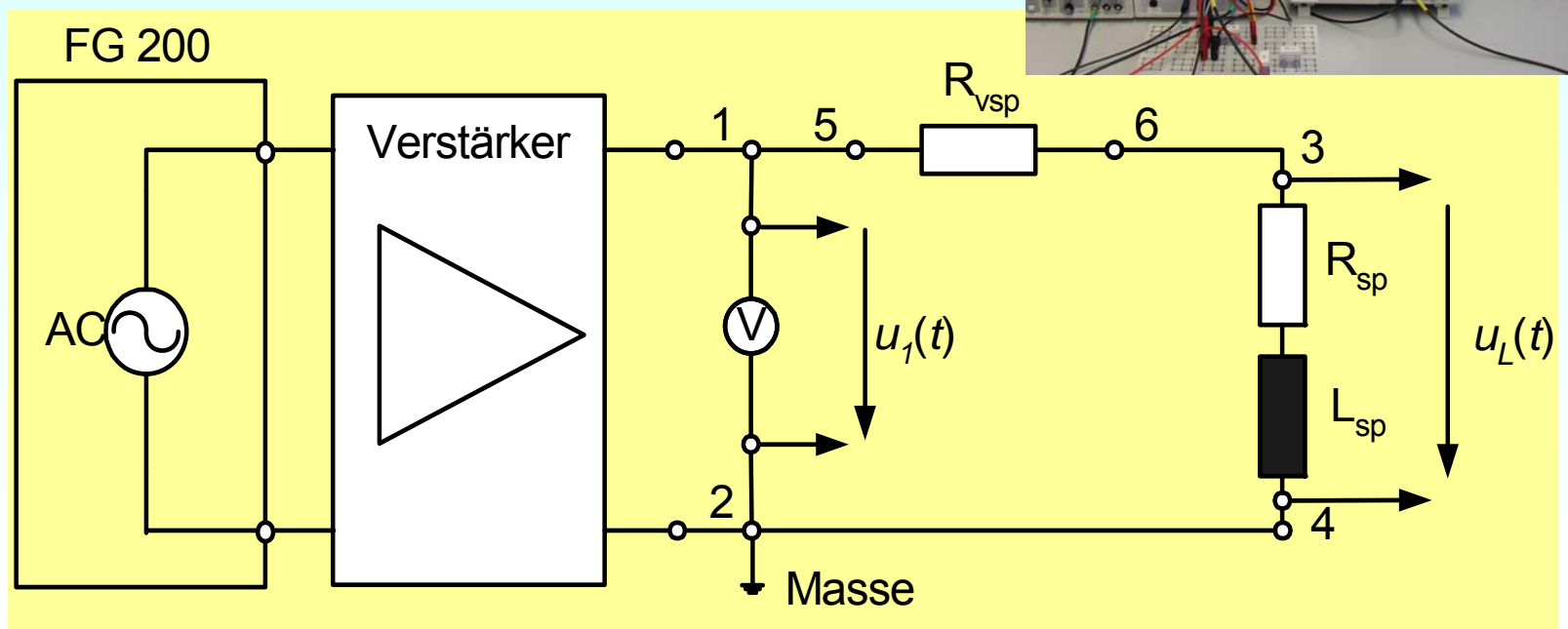
## 2.7.3 Bestimmung des BODE-Diagramms mit Amplituden- und Phasengang

### Verwendete Messgeräte:

- Funktionsgenerator
- Oszilloskop
- Verstärker
- Voltmeter
- Widerstand  $R_{VSP}$
- Luftspule



### Messschaltung





# Kapazitäten und Induktivitäten

## Messwerttabelle für das BODE-Diagramm

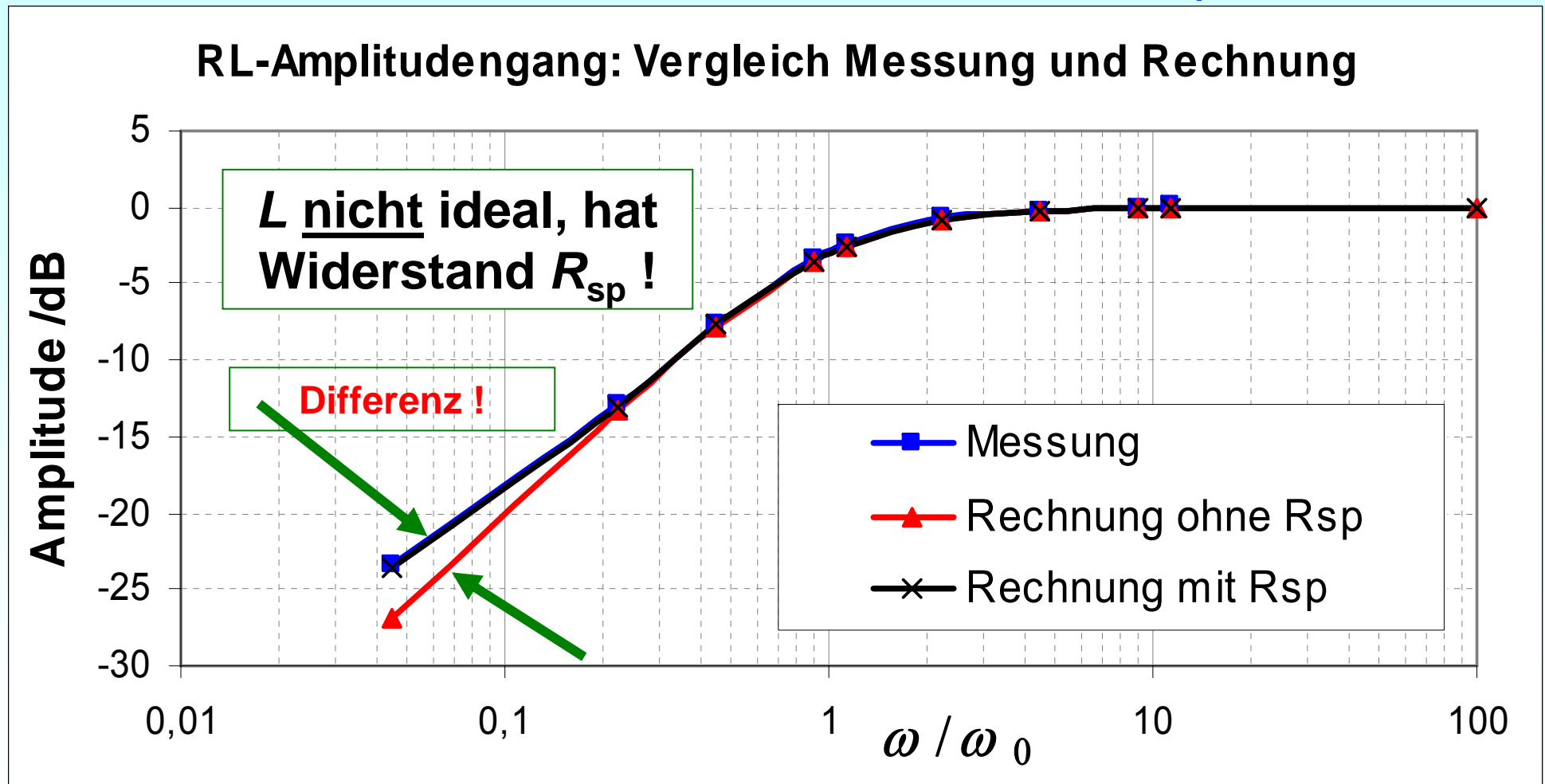
$$L = 20 \cdot \lg \left| \frac{U_L}{U_1} \right|$$

$$\psi = \angle(\underline{U}_1, \underline{U}_L)$$

$f_{\text{soll}} / \text{Hz}$	$f_{\text{ist}} / \text{Hz}$	$\omega / \text{s}^{-1}$	$U_1 / \text{V}$	$U_L / \text{V}$	$\Delta t / \text{ms}$	$\psi / ^\circ$
100						
500						
1000						
2000						
2500						
5000						
10000						
20000						
25000						

# Kapazitäten und Induktivitäten

## RL-Glied: Amplitudengang BODE-Diagramm Einfluss des Spulenwiderstands $R_{sp}$



# Kapazitäten und Induktivitäten

## RL-Glied: Phasengang BODE-Diagramm Einfluss des Spulenwiderstands $R_{sp}$

