ETH zürich

# Elektrotechnik 1

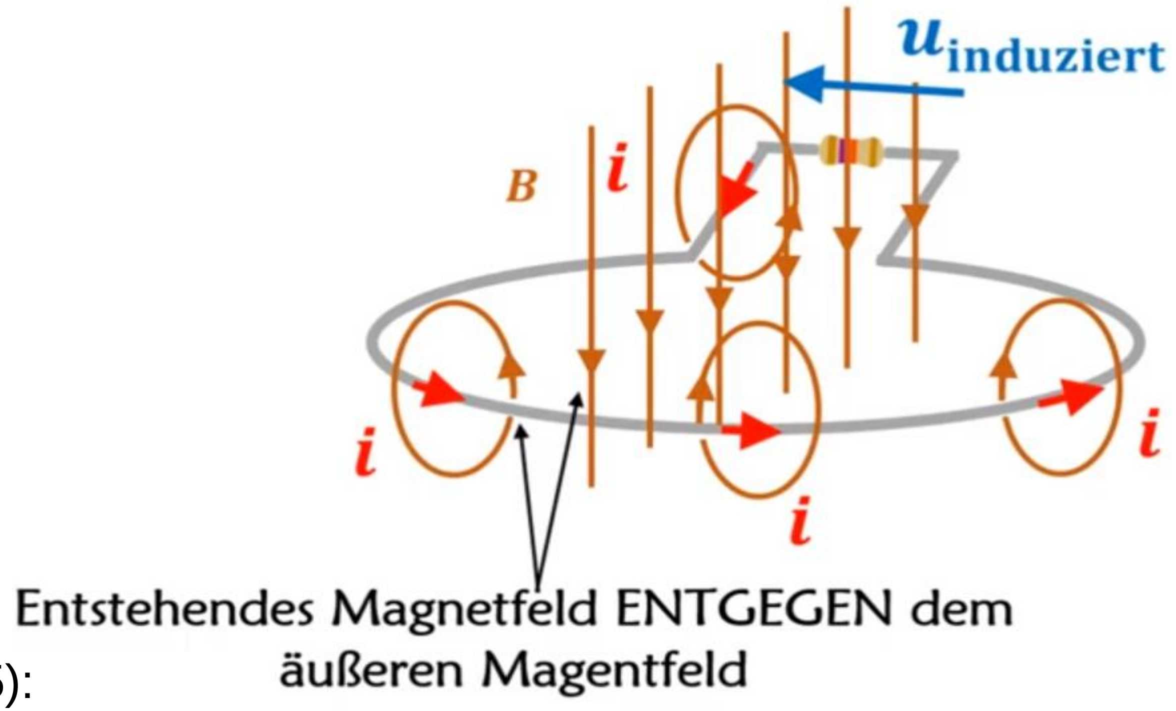
## Übung 8 – Zeitlich veränderliches EM-Feld 2

# Recap: Induzierte Spannung / Lenzsche Regel

1. Vorzeichen

2. Vorzeichen!

$$U_{ind} = -\frac{d\,\Phi}{dt}$$




Lenz'schen Regel (nach H. F. E. Lenz, 1804 – 1865):

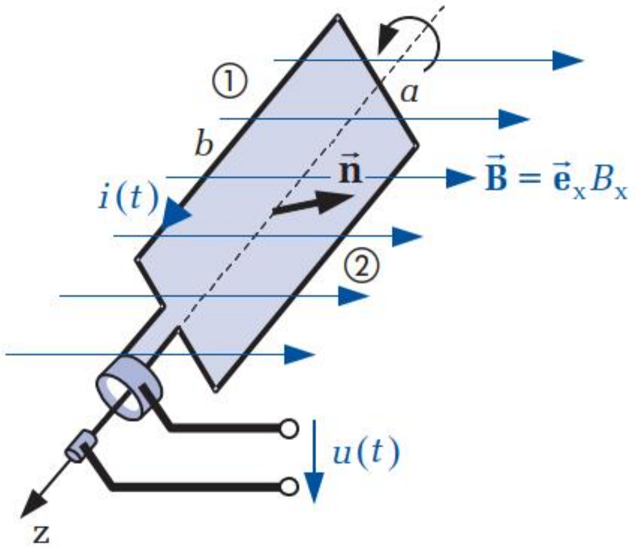
**Merke**

Der induzierte Strom ist so gerichtet, dass er die Ursache seines Entstehens zu verhindern sucht.

# Beispiel: Generator

Prinzip der Änderung der Fläche

$$U_{ind}(t) = -N \cdot B\,\frac{dA}{dt}$$




Drehbewegung einer Leiterschleife in einem homogenen Magnetfeld

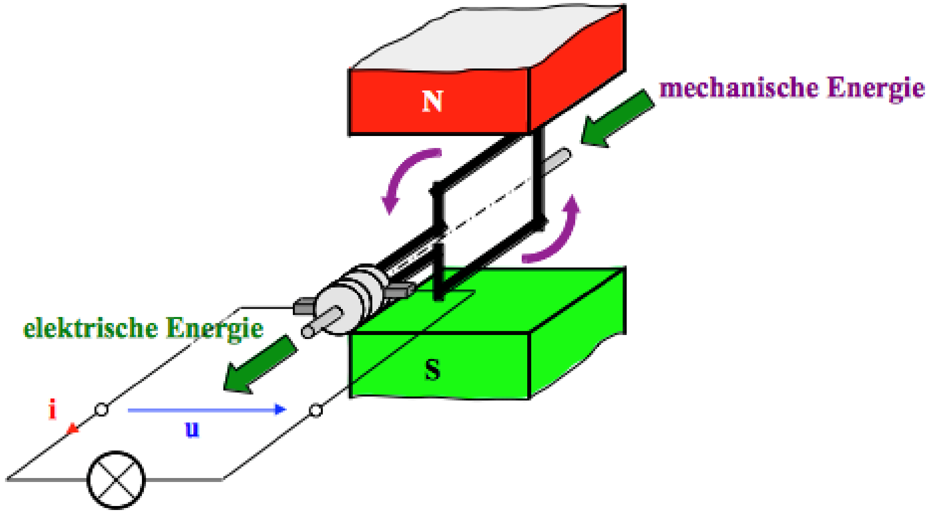
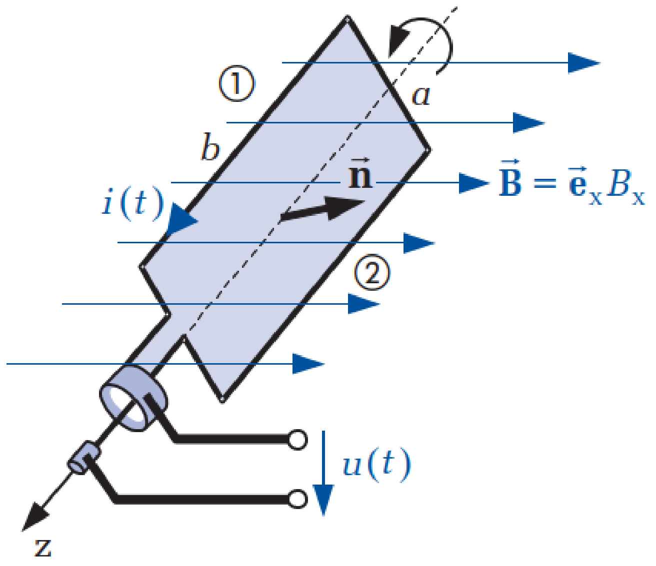


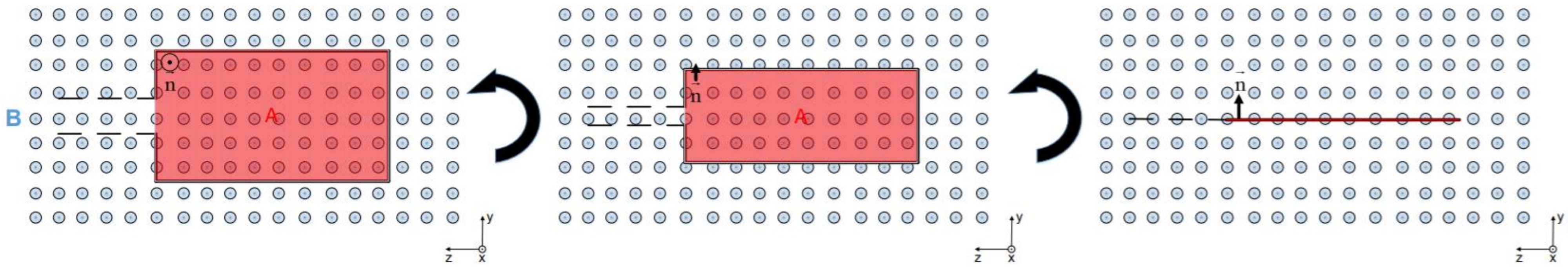

**Bild 17-1:** Prinzipielle Wirkungsweise eines Wechselspannungsgenerators

Das selbe gilt für Elektromotoren

# Theorie: Bewegungsinduktion

- Rotation um die z-Achse mit konstanter Geschwindigkeit
- Die Wirksame Fläche verändert sich aufgrund dieser Rotation
- Eine Spannung u(t) wird an den Klemmen der Leiterschleife induziert (sinusförmig)
- Dieses Prinzip nutzt man für einen Wechselstromgenerator



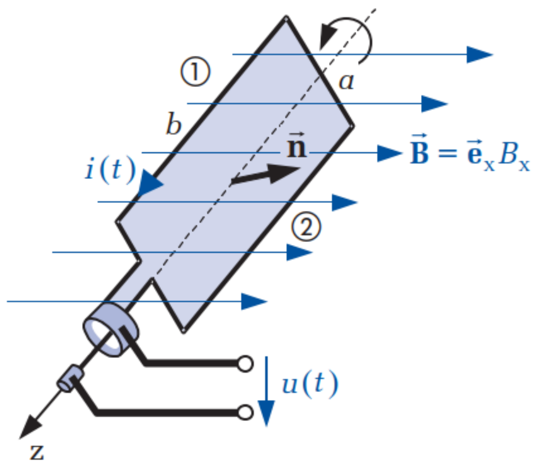
# Theorie: Generator

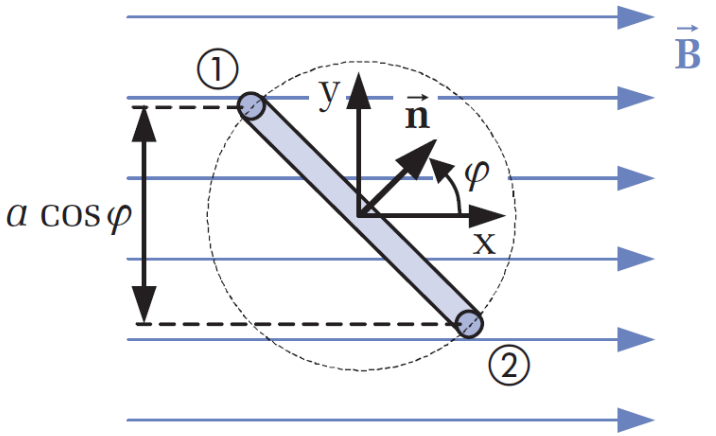
$$\Phi = \iint_A \vec{B} \cdot d\vec{A}$$

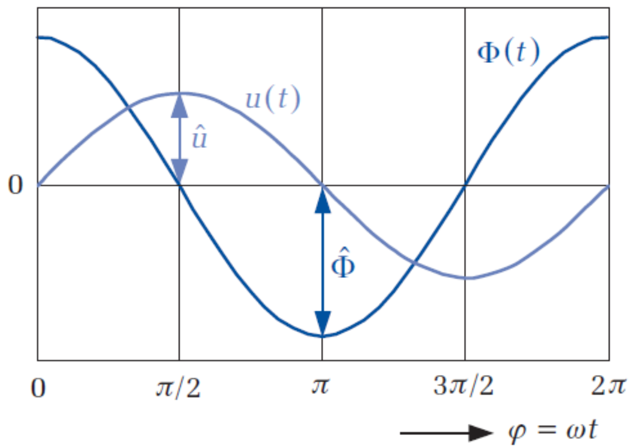
$$\Rightarrow \boxed{\Phi\,(t) = B_x \cdot b \cdot a \cdot \cos\varphi = \hat{\Phi}\cos(\omega t)}$$

$$u_{ind}(t) = -\frac{d}{dt}\Phi(t)$$

$$\Rightarrow \boxed{u(t) = \omega \cdot \hat{\Phi} \cdot \sin(\omega t) = \hat{u}\sin(\omega t)}$$



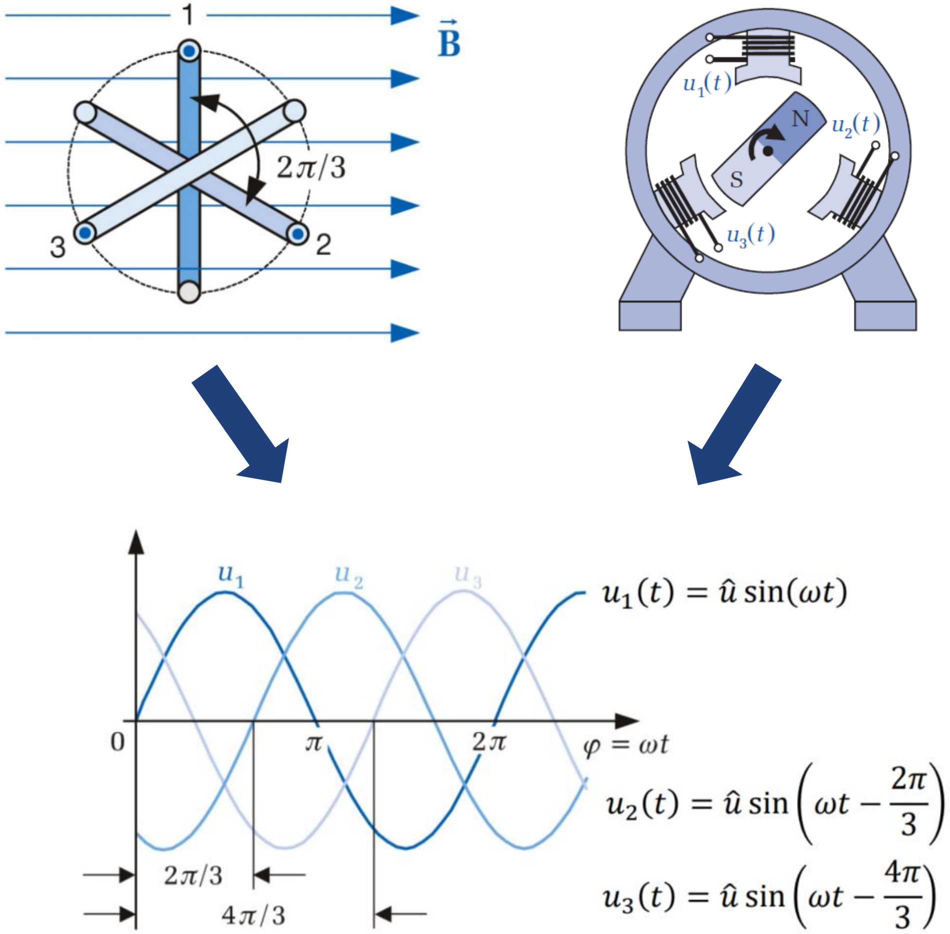



# Theorie: Drehstromsystem

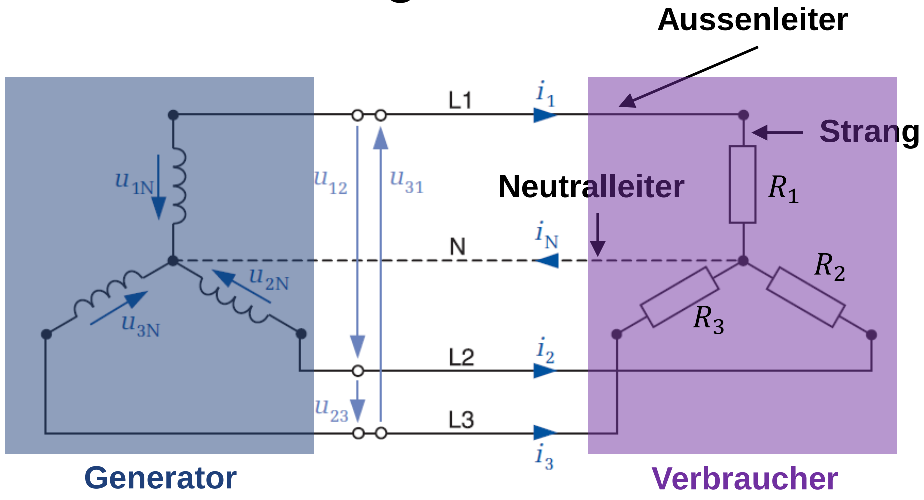
- 3 Leiterschleifen in einem Magnetfeld
- Die 3 Leiterschleifen sind um 120° $\left(\frac{2\pi}{3}\right)$ phasenverschoben

Vorteile:
- Einfacher Aufbau
- Zeitlich konstante Leistungsabgabe

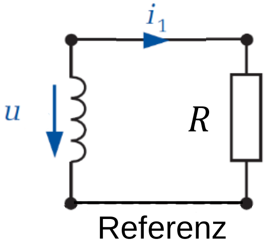


# Theorie: Dreiphasensysteme

## Sternschaltung

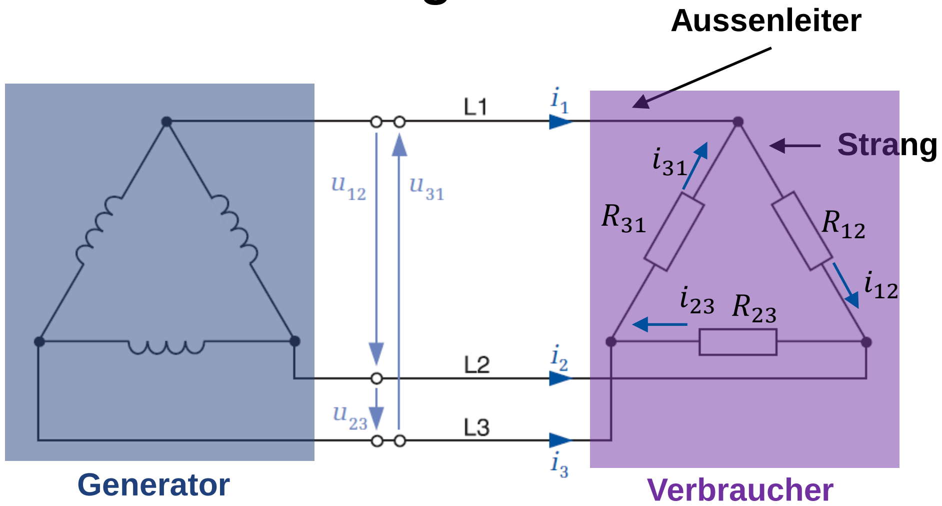



| | |
|---|---|
| Aussenleiterstrom ($i_1, i_2, i_3$) | $\sqrt{3}\hat{\imath}$ (Amplitude) |
| Aussenleiterspannung ($u_{1N}, u_{2N}, u_{3N}$) | $\hat{u}$ (Amplitude) |
| Widerstand ($R_1, R_2, R_3$) | $R$ |

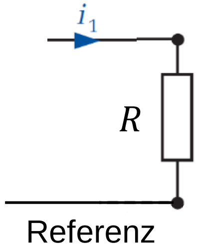



Gilt nur für symmetrische Quellen/Belastung

## Dreieckschaltung




| | |
|---|---|
| Aussenleiterstrom ($i_{12}, i_{23}, i_{31}$) | $\hat{\imath}$ (Amplitude) |
| Aussenleiterspannung ($u_{12}, u_{23}, u_{31}$) | $\sqrt{3}\hat{u}$ (Amplitude) |
| Widerstand ($R_1, R_2, R_3$) | $3 \cdot R$ |




Gilt nur für symmetrische Quellen/Belastung

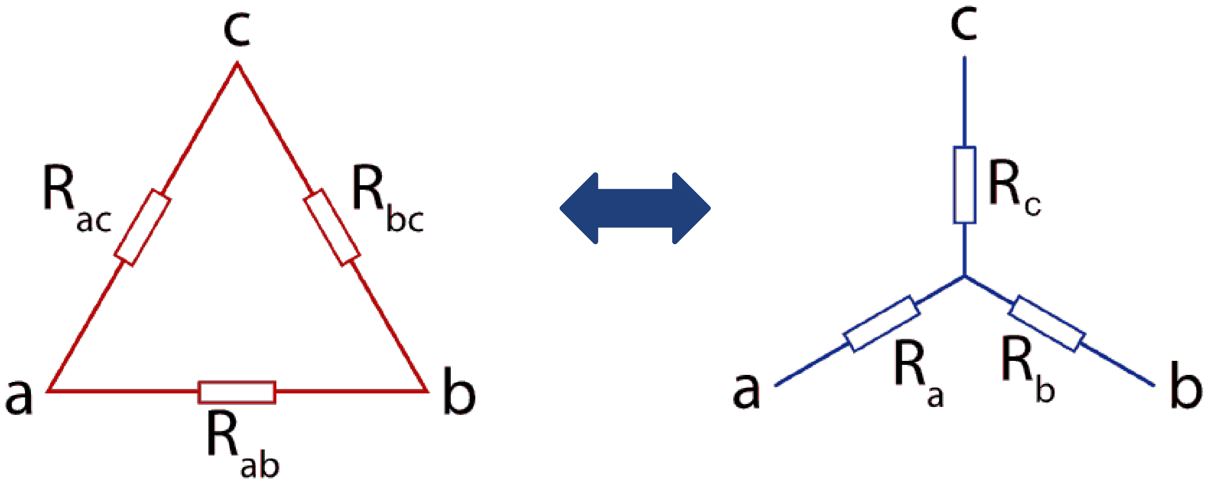
# Theorie: Stern – Dreieck Transformation

Man kann auch eine Dreieckanordnung in eine Sternanordnung transformieren (und umgekehrt), ohne dass man von aussen eine Veränderung im Verhalten sieht. Dazu muss man aber die Widerstände anpassen.

$$R_{ac} = \frac{R_a R_b + R_b R_c + R_c R_a}{R_b}$$

$$R_{ab} = \frac{R_a R_b + R_b R_c + R_c R_a}{R_c}$$

$$R_{bc} = \frac{R_a R_b + R_b R_c + R_c R_a}{R_a}$$



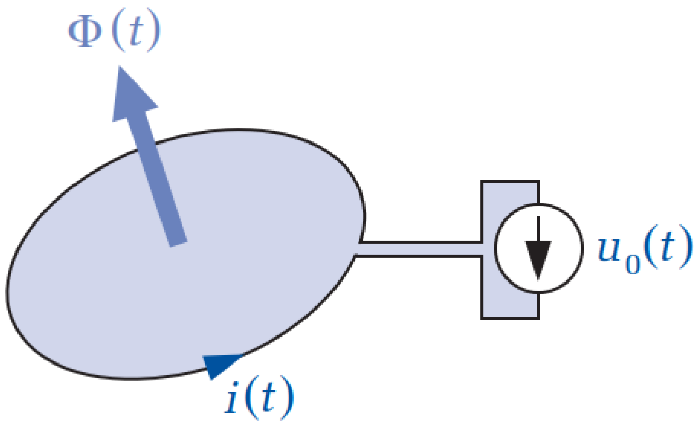

$$R_a = \frac{R_{ac} R_{ab}}{R_{ac} + R_{ab} + R_{bc}}$$

$$R_b = \frac{R_{ab} R_{bc}}{R_{ac} + R_{ab} + R_{bc}}$$

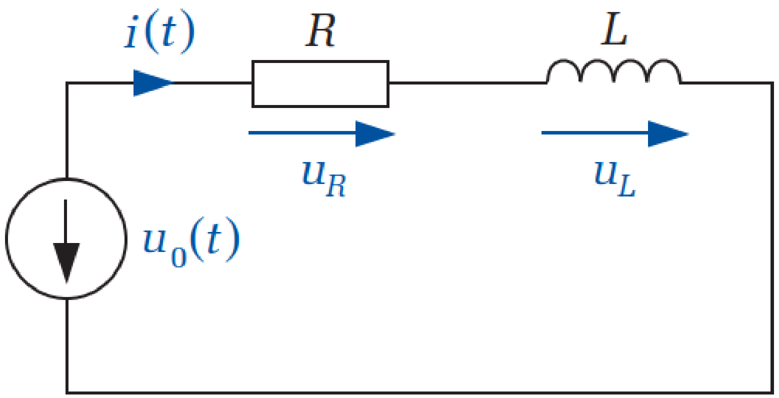
$$R_c = \frac{R_{ac} R_{bc}}{R_{ac} + R_{ab} + R_{bc}}$$

Herleitung: https://de.wikipedia.org/wiki/Stern-Dreieck-Transformation

# Recap: Selbstinduktion




$$u_L(t) = L\frac{d\,i(t)}{dt}$$

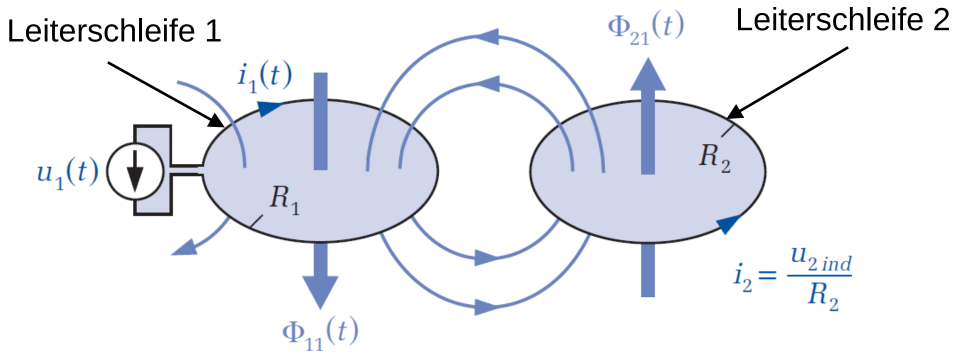



Bei Gleichstrom fällt keine Spannung über der Spule ab, die Spule verhält sich wie ein Kurzschluss

# Theorie: Gegeninduktion

$$\Phi_{\mathrm{xy}}(t)$$

Leiterschleife    Verursachender Strom



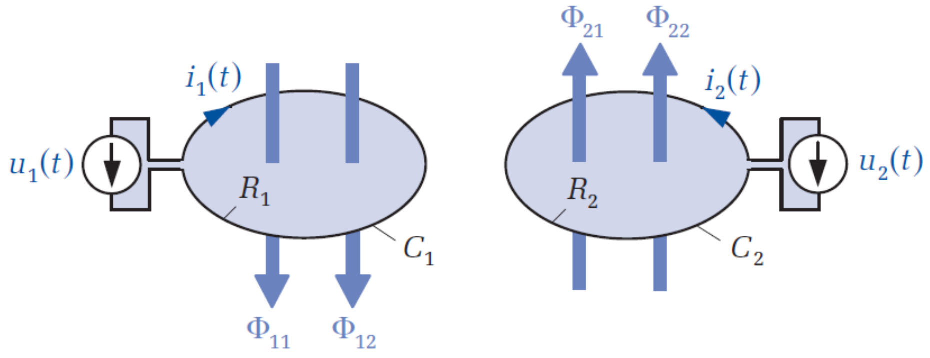

Leiterschleife 1:

$$\boxed{u_1(t) = R_1 i_1 + \frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}t}\left(\Phi_{11}(t) + \Phi_{12}(t)\right) = R_1 i_1 + L_{11}\frac{\mathrm{d}i_1}{\mathrm{d}t} + L_{12}\frac{\mathrm{d}i_2}{\mathrm{d}t}}$$

Selbstinduktivität    Gegeninduktivität

Leiterschleife 2:

$$\boxed{u_2(t) = R_2 i_2 + \frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}t}\left(\Phi_{21}(t) + \Phi_{22}(t)\right) = R_2 i_2 + L_{21}\frac{\mathrm{d}i_1}{\mathrm{d}t} + L_{22}\frac{\mathrm{d}i_2}{\mathrm{d}t}}$$




Kopplungsfaktoren

$$k_{12} = \frac{\Phi_{12}}{\Phi_{22}} = \frac{M}{L_{22}}$$

$$k_{21} = \frac{\Phi_{21}}{\Phi_{11}} = \frac{M}{L_{11}}$$

$$k = \pm\sqrt{k_{12}k_{21}}$$

Streuung $\sigma = 1 - k^2$

$k$, Kopplungsfaktor

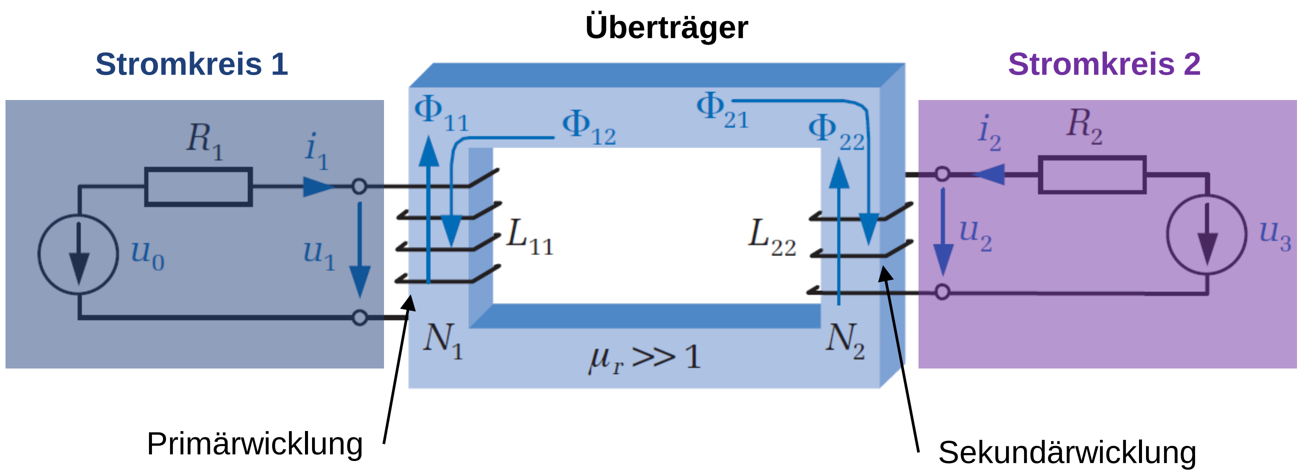
# Theorie: Transformator

- Umwandlungen von Spannungen ~ Anzahl Wicklungen der Spulen
- galvanisch getrenntes System (keine elektrische Verbindung zwischen den Stromkreisen)

$$\boxed{u_0 = R_1 i_1 + u_1 = R_1 i_1 + L_{11}\frac{\mathrm{d}i_1}{\mathrm{d}t} - M\frac{\mathrm{d}i_2}{\mathrm{d}t}}$$

$M = L_{12} = L_{21}$, da Streufeld vernachlässigbar klein ist

$$\boxed{u_3 = R_2 i_2 + u_2 = R_2 i_2 - M\frac{\mathrm{d}i_1}{\mathrm{d}t} + L_{22}\frac{\mathrm{d}i_2}{\mathrm{d}t}}$$



# Theorie: Der ideale Transformator

Ideal: $\boxed{R_m = 0;\ \mu_r \to \infty}$

$$ü = \frac{N_p}{N_s}$$

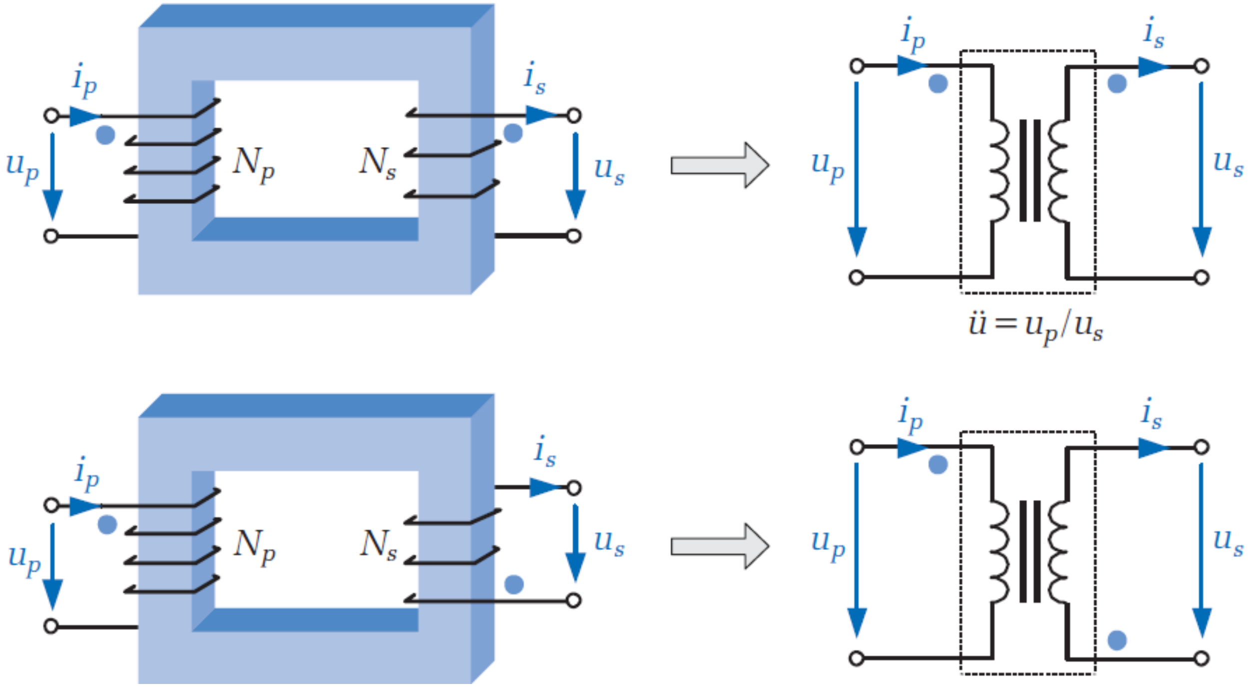
$$\pm ü = \frac{u_p}{u_s} = \frac{i_s}{i_p}$$

ü: Übersetzungsverhältnis

**Punktnotation:**
Der Punkt gibt an, an welchem Ende die Wicklung 'vorne herum' geht. Es gilt:

- Die Punkte sind gleich (beide oben/unten) $\rightarrow +ü$
- Die Punkte sind verschieden $\rightarrow -ü$

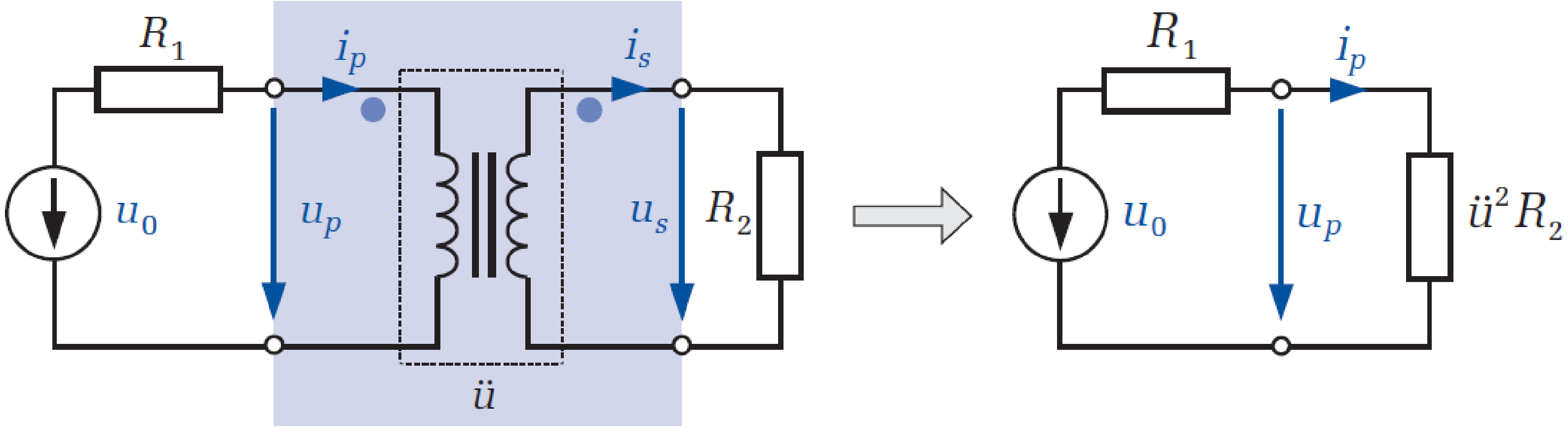
Das gilt natürlich nur, wenn man die Ströme und Spannungen immer gleich einzeichnet und zwar so wie im Bild rechts



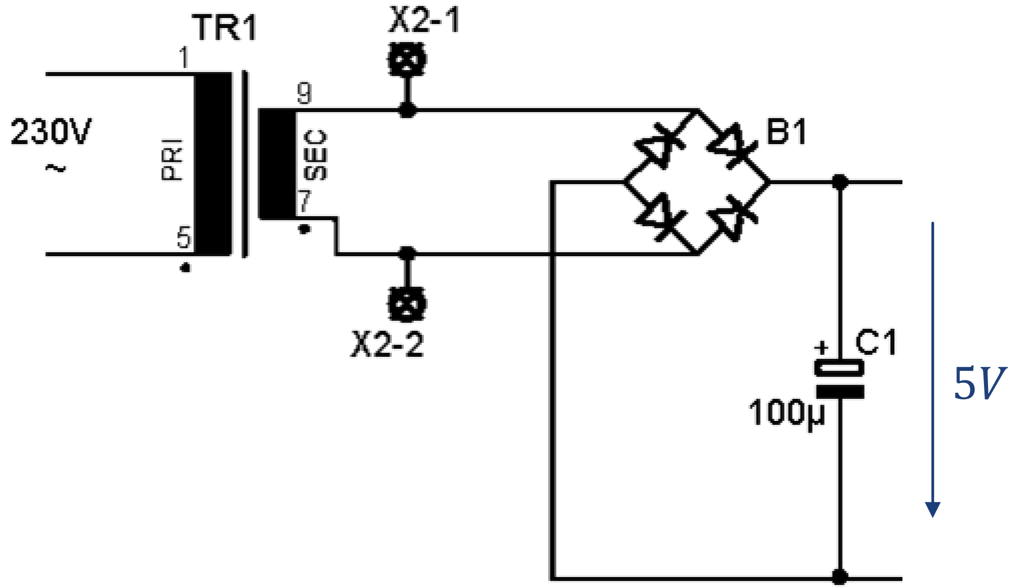
# Theorie: Widerstandstransformation

Man kann auch ein Ersatzschaltbild so zeichnen, dass man das Netzwerk der sekundärseite auf die Primärseite transformieren, indem man die Widerstände anpasst. Von der Primärseite aus merkt man dann keinen Unterschied im Verhalten.

$$R' = \ddot{u}^2 R$$



# Beispiel: Handy Netzteil




- Gegeben $Np = 690$. Berechne $Ns$ und ü.
- Wofür sind die Bauteile rechts vom Transformator?