

## ET I Übung 9

### Aufbau:

- Fragen zu letzter Woche
- Nachbesprechen alter Serie
- Theorie Repetition

(Pause)

- Alte Prüfungsaufgabe zusammen
- Selber lösen + Fragen + Tipps



[n.ethz.ch/~kursulovic](https://n.ethz.ch/~kursulovic)

# ZEITLICH VERÄNDERLICHES ELEKTROMAGNETISCHES FELD 2

Formelsammlung, S. 77-78

ETH zürich

## Mindmap

Lorentz Kraft:  $\vec{F} = Q(\vec{E} + \vec{v} \times \vec{B})$   
Induktionsgesetz  $u = -\frac{d\Phi_V}{dt}$

$$\Phi_V = \iint_{A_V} \vec{B} d\vec{A}$$

$$\Phi_V = LI$$

### Induktion allgemein

Faraday'sche Induktionsgesetz

$$u = \oint_C \vec{E}' d\vec{s} = -\frac{d}{dt} \iint_{A_V} \underbrace{\vec{B} d\vec{A}}_{\Phi_V} \longleftrightarrow \text{rot } \vec{E}' = -\frac{d}{dt} \vec{B}$$

Lenz'sche Regel

Ampère'sches Durchflutungsgesetz

$$\oint_C \vec{H} d\vec{s} = \iint_A \vec{J} d\vec{A} \longleftrightarrow \text{rot } \vec{H} = \vec{J}$$

$$\vec{J} = \kappa \vec{E}$$
$$\vec{B} = \mu_0 \mu_r \vec{H}$$

### Induktion im Leiter

Selbstinduktion:

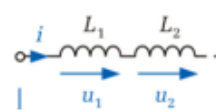
$$u_L = L \frac{di}{dt}$$

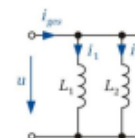
Kopplungsfaktor:

$$k = \pm \sqrt{k_{12} k_{21}} = \frac{M}{\sqrt{L_{11} L_{22}}}$$

Gegeninduktion:

$$L_{12} = L_{21} = M$$


$$L_{ges} = \sum_{k=1}^n L_k$$


$$\frac{1}{L_{ges}} = \sum_{k=1}^n \frac{1}{L_k}$$

### Magnetische Energie

Energiedichte

$$W_m = V \int_0^B H dB = V w_m$$

Energie von Spulen:

Einer Spule:

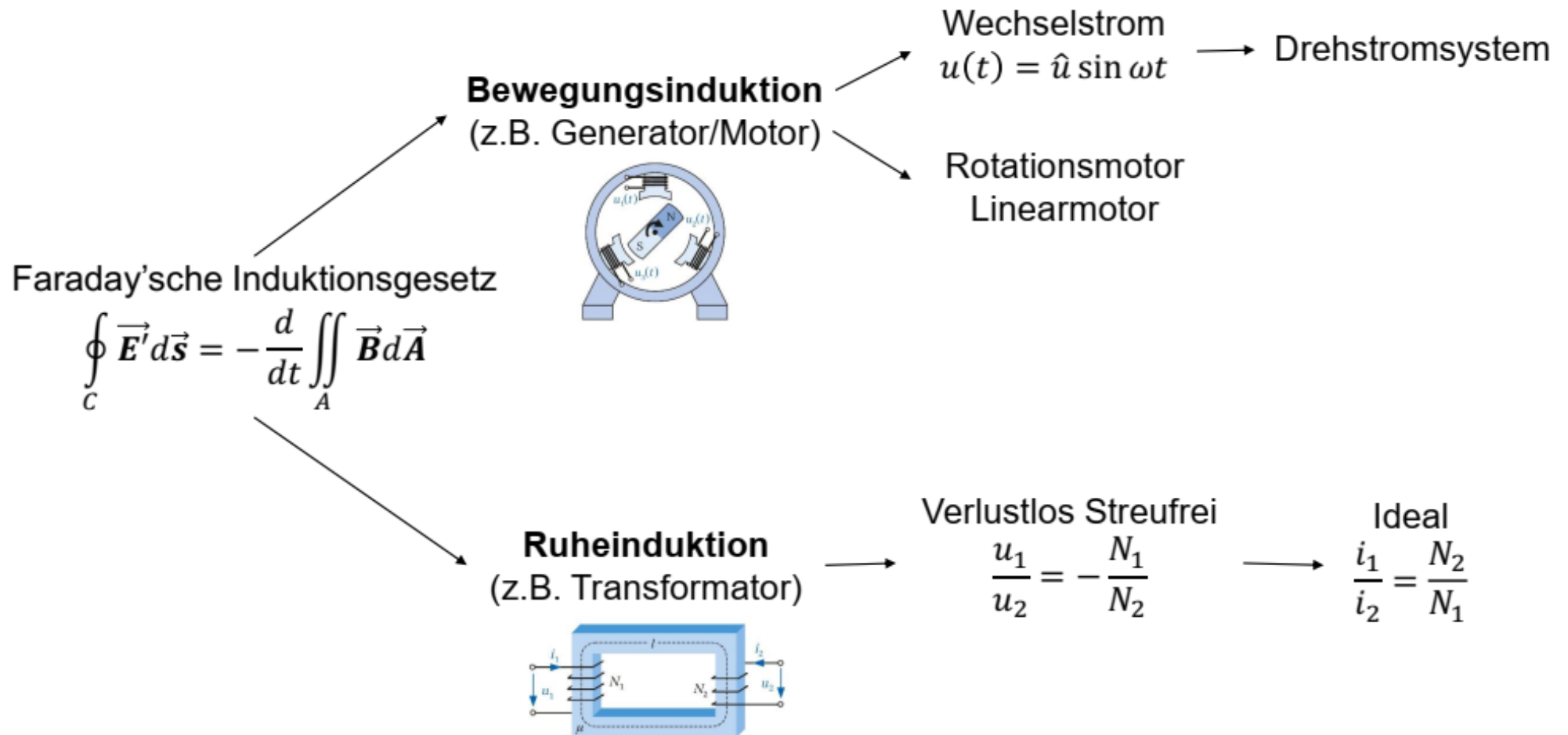
$$W_m = \frac{1}{2} LI^2 = \frac{1}{2} \Phi_V I$$

Gekoppelter Spulen:

$$W_m = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^n L_{ik} I_i I_k$$

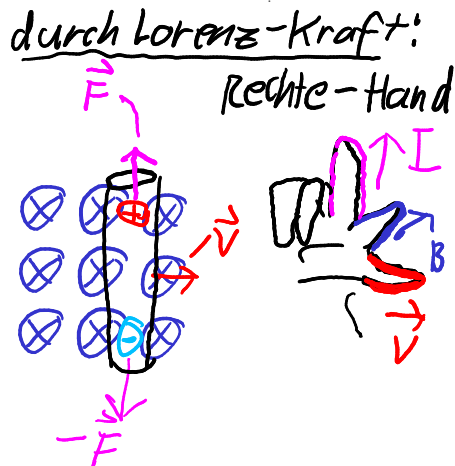
Hysteresis

# Mindmap



# Repetition

2 Wege  
um  
Induktion  
zu  
bestimmen...



$\Phi_{\text{ges}} = \Phi_{\text{ind}} + \Phi_{\text{Ext}}$   
durch Lenz'sche Regel:

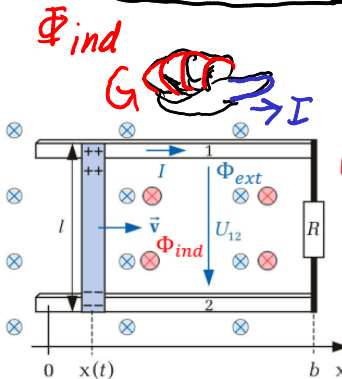


Abbildung 6.2: Teilweise bewegte Leiterschleife

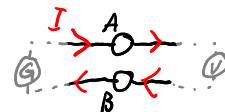
(induzierter Fluss  $\Phi_{\text{ind}}$  in gleicher  
Richtung um abnahme von  $\Phi_{\text{ext}}$   
Entgegen zu wirken)

$$U = - \frac{d\Phi}{dt}$$

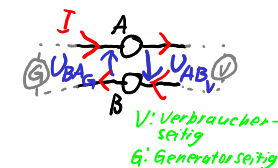
$$U = \frac{d\Phi_V}{dt} \approx - \frac{dN\phi}{dt}$$

U positiv oder negativ?

- Stromfluss bestimmen
- Strom und Anschluss Klemmen zeichnen:



- Spannung einzeichnen (Strom fließt vom höheren Potential zum niedrigeren)



- Seiten ermitteln:  $U_{AB_V} > 0, U_{BA_V} < 0$   
 $U_{AB_G} < 0, U_{BA_G} > 0$

## Farradaysches

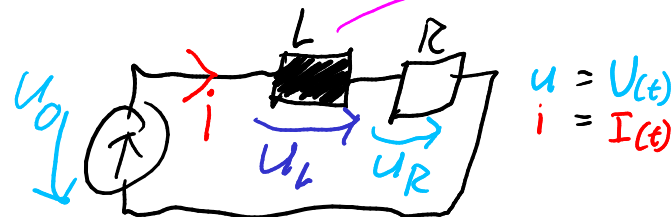
Induktionsgesetz: Allgemeiner! (zeitabhängig)

$$\oint_C \vec{E} \cdot d\vec{s} = - \frac{d}{dt} \iint_{A_V} \vec{B}_{(t)} \cdot d\vec{A}_{(t)} \leftrightarrow \text{rot } \vec{E} = - \frac{d}{dt} \vec{B}_{(t)}$$

zeitabhängig      differenziell

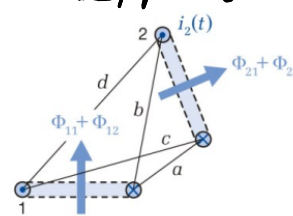
## Selbstinduktion:

$$U_L = L \frac{di}{dt}$$



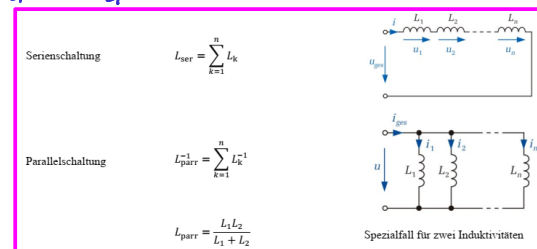
"auf Leiter 1 von Leiter 2"

Kopplung!

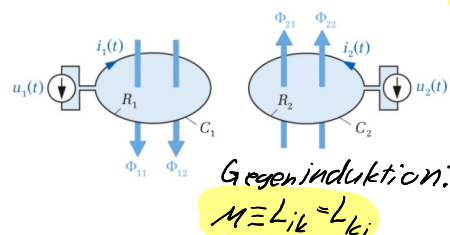


l, Länge des Leiterabschnitts

zeitlich veränderliche Stromkreise  
⇒ entstehung Induktionsspannung



## Gegeninduktion:



$$U_1 = R_1 i_1 + L_{11} \frac{di_1}{dt} + L_{12} \frac{di_2}{dt}$$

selbstind.      Gegenind.

$$U_2 = R_2 i_2 + L_{22} \frac{di_2}{dt} + L_{21} \frac{di_1}{dt}$$

Kopplungsfaktoren:

$$k_{21} = \frac{\Phi_{V21}}{\Phi_{11}} = \frac{M}{L_{11}} \quad \text{bzw.} \quad k_{12} = \frac{\Phi_{V12}}{\Phi_{22}} = \frac{M}{L_{22}}$$

Geom. Mittel:

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

Streuung:

$$\sigma = 1 - k^2$$

$$L_{12} = \frac{\mu_0 l}{2\pi} \ln \left( \frac{bc}{ad} \right)$$

# ENERGIE IN FELDERN

Kondensator:

$$W_e = \frac{1}{2} C U^2 = \dots = \frac{1}{2} \vec{E} \cdot \vec{D} \cdot V$$

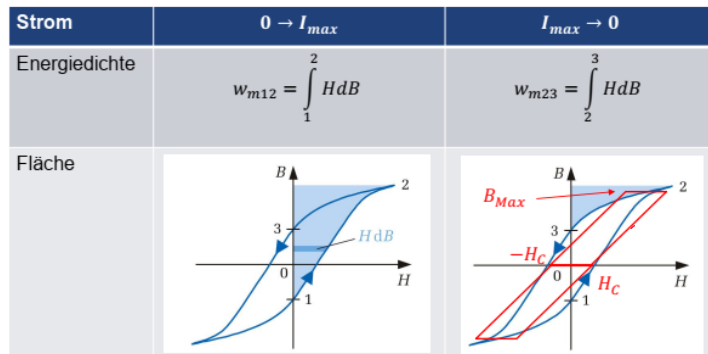
Volumen des Plattenkondensators

$w_e$ : Energiedichte

⇒ Allgemein elektrische Energie:

$$W_e = \frac{1}{2} \iiint_V w_e dV = \frac{1}{2} \iiint_V \vec{E} \cdot \vec{D} dV$$

⇒ Die Energie wird im Feld gespeichert!



Die verlorene Energie ist in etwa proportional zur Fläche:

$$w_{m12} - w_{m23} \approx 2 H_C B_{Max}$$

$H_C$ : Koerzitivitäts-Koeffizient

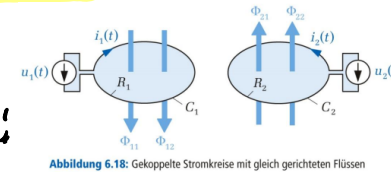
Man findet:  $w_{m12} > w_{m23}$

Induktivität! ~~Induktivität~~

$w = p \cdot t, p = U \cdot I, U = \frac{d\Phi}{dt}$   
 $dW_m = L I_L di_L \Rightarrow \text{integrieren}$

$$W_m = \frac{1}{2} L I^2 = \frac{1}{2} \Phi_V I$$

In gekoppelten Leiter Schleifen:



$$W_m = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^n L_{ik} I_i I_k$$

Bsp. 2 Leiter Schleifen:

$$W_m = \frac{1}{2} L_{11} I_1^2 + \underbrace{L_{12} I_1 I_2}_{L_{12}=L_{21}} + \frac{1}{2} L_{22} I_2^2$$

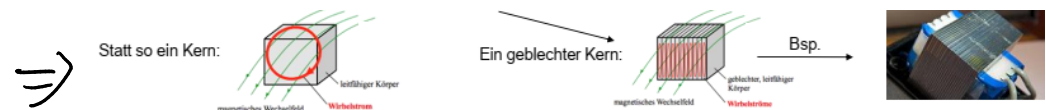
aus selbstind.

aus Gegenind.

Allgemein magnetische Energie:

$$W_m = \iiint_V w_m dV = \frac{1}{2} \iiint_V \vec{H} \cdot \vec{B} dV$$

⇐ Siehe Vorlesungsskides für Bsp. mit Hysterese



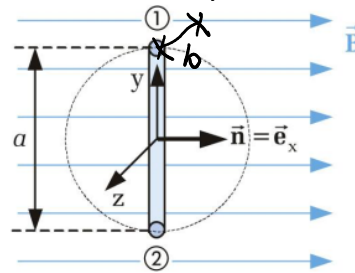
Wirbelstromverluste im Eisen ⇒ "Eisenverluste"

# GENERATORPRINZIP – WECHSELSTROM

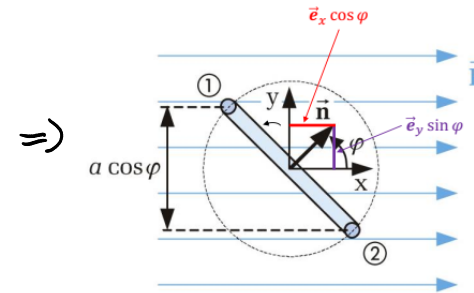
Wir wissen!

$$u = \oint_C \vec{E}' \cdot d\vec{s} = - \frac{d}{dt} \iint_A \vec{B} \cdot d\vec{A} = - \frac{d\Phi}{dt}$$

Ausgangslage  $t=0$



$$\Phi_{(t=0)} = B \cdot A = B \cdot a \cdot b$$



$\Rightarrow$  Projizierte Fläche

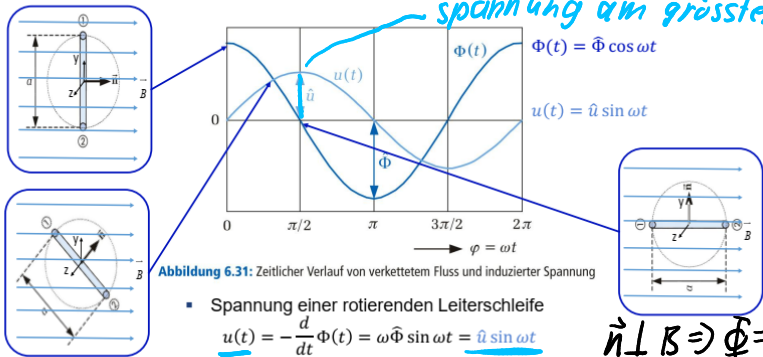
$$\Rightarrow \Phi_{(t)} = B \cdot a \cdot b \cos(\varphi_{(t)})$$

$$\varphi = \omega t = 2\pi f t$$

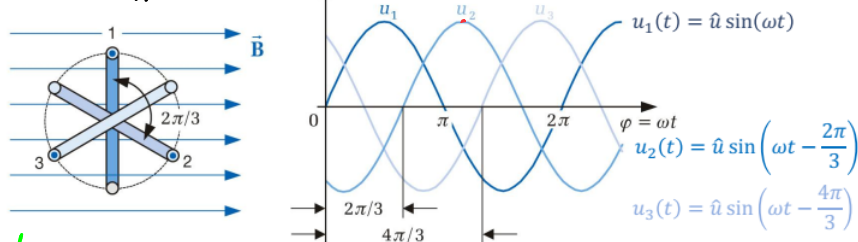
ETH zürich

## Generatorprinzip: Induzierte Spannung

Albach 6.6



Drehstrom: 3 um  $120^\circ$  versetzte Leiter Schleifen  
"3 Phasen Wechselstrom"



$\rightarrow$  Dies nutzt unser Strom Netz

Rotor erzeugt Strom im Stator

Aufbau eines einfachen Generators mit rotierendem Magnetfeld

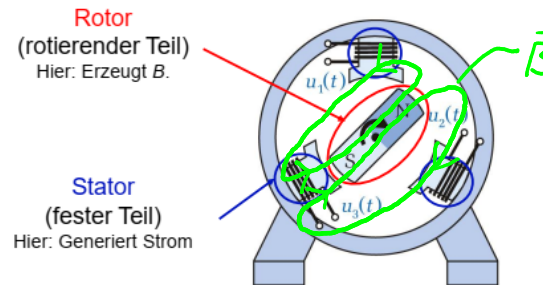
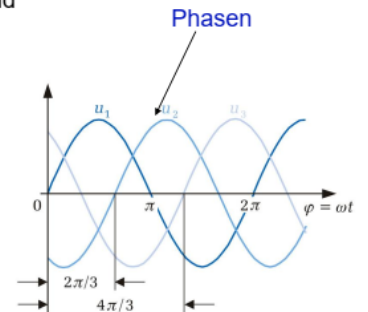


Abbildung 6.33: Erzeugung der drei um  $120^\circ$  phasenverschobenen Wechselspannungen



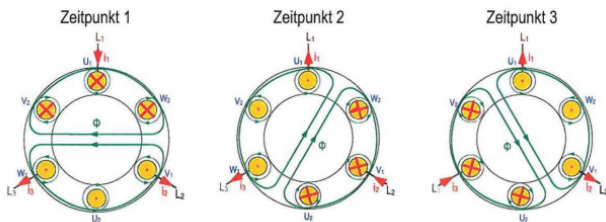
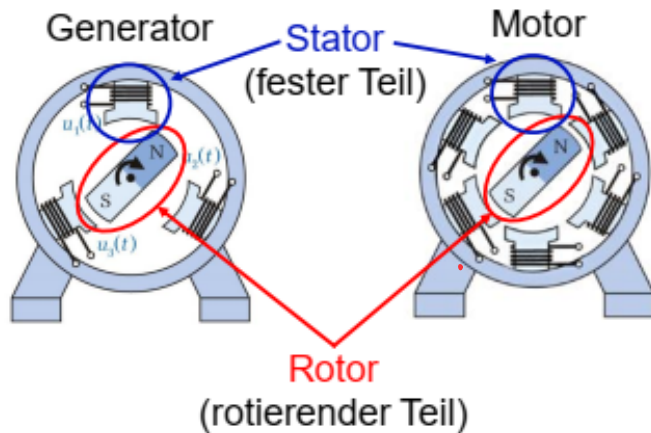
Die Vorteile des Drehstroms (Drei-Phasen-Strom):

- Einfacher Aufbau
- Zeitlich konstante Leistungsabgabe  $\rightarrow$  Konstantes Drehen  $\Rightarrow$  Motor läuft schöner

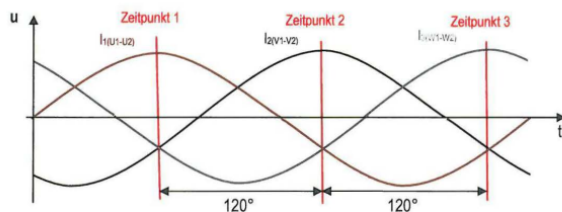
# MOTOREN (Drehstrommaschinen)

## Synchronmaschinen:

- Rotor konstant magnetisiert  
 $\Rightarrow$  Abnehmer/Permanentmagnet
- Synchron mit Netzfrequenz,  
 kein "Schlupf"
- Industrie, Elektroautos



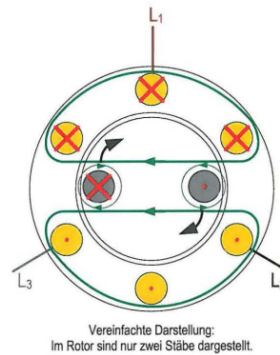
Liniendiagramm



Stator bewegt Rotor (Nicht Prüfungsrelevant)

## Asynchronmaschine! (Induktivität)

- Wicklungen im Rotor
- Magnetfeld im Rotor durch Flussänderung im Stator  
 $\Rightarrow$  Rotor & Stator bewegen sich Asynchron  $\Rightarrow \frac{d\Phi}{dt} > 0$
- Meist benutzt, da praktisch Wartungsfrei (keine Bürsten)



Nicht Wichtig!

Schlupfberechnung

$$s = \frac{(n_s - n_R) \cdot 100\%}{n_s}$$

s: Schlupf in %  
 $n_s$ : Drehfeldfrequenz in 1/min (synchron)  
 $n_R$ : Rotordrehzahl in 1/min (asynchron)

Frequenz des Rotorstromes

$$f_R = \frac{f \cdot (n_s - n_R)}{n_s}$$

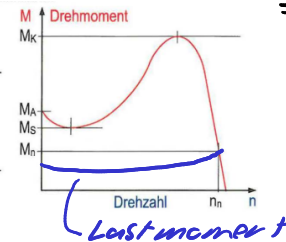
$f_R$ : Frequenz des Rotorstromes  
 $f$ : Netzfrequenz  
 $n_s$ : Drehfeldfrequenz in 1/min  
 $n_R$ : Rotordrehzahl in 1/min

$M_A$  Anzugsmoment:  
 Im Stillstand entwickeltes Drehmoment.

$M_S$  Sattelmoment:  
 Nach dem Anlauf kleinstes auftretendes Drehmoment.

$M_K$  Kippmoment:  
 Höchstes Drehmoment in der Kennlinie.

$M_N$  Bemessungsmoment (Nennmoment):  
 Abgegebenes Drehmoment bei Bemessungsdrehzahl  $n_n$  (Nennfrequenz).



$\Rightarrow$  Asynchronmotoren haben ein veränderliches Moment je nach Drehzahl

# DREHSTROMSYSTEM

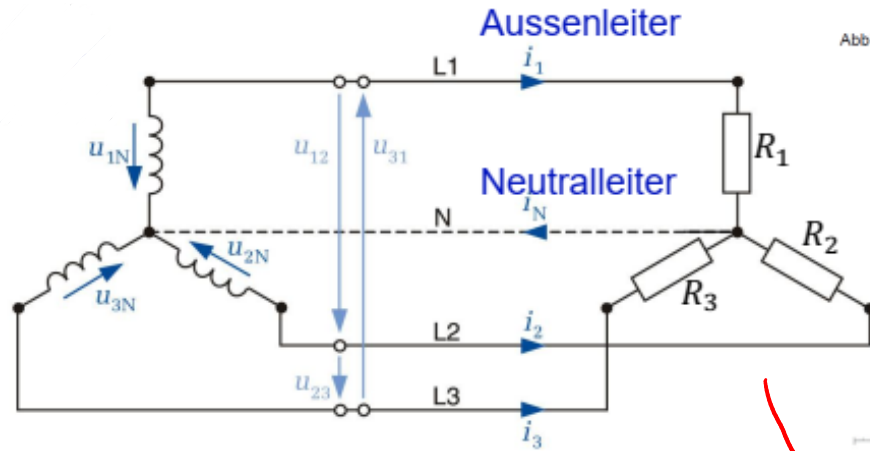


Abbildung 6.34: Sternschaltung beim Drei-Phasen-System

→ Neutraleiter wird nur bei unsymmetrischer Last benötigt.

→ Vorteile: Bis zur Hälfte der Leitungen eingespart & Verluste halbiert!

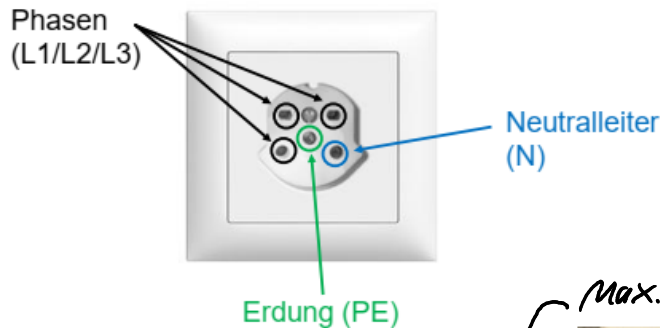
$$u_{12} = u_{1N} - u_{2N} \quad u_{12} = 2\hat{u} \sin\left(\frac{\pi}{3}\right) \cos\left(\omega t - \frac{\pi}{3}\right) = \sqrt{3}\hat{u} \cos\left(\omega t - \frac{\pi}{3}\right) = \sqrt{3}\hat{u} \sin\left(\omega t + \frac{\pi}{6}\right)$$

→ Die Spannung der Aussenleiter ist um  $\sqrt{3}$  höher als die Strangspannung z.B.:  $\sqrt{3} * 230 \text{ V} \approx 400 \text{ V}$

Der Anwender kann die Strangspannung (230 V) oder Leiterspannung (400V) nutzen

→ Die Leiterströme und Strangströme haben gleiche Amplitude

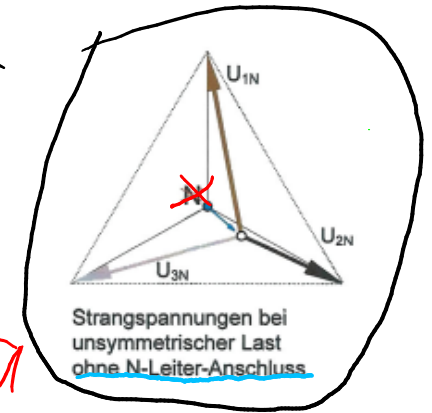
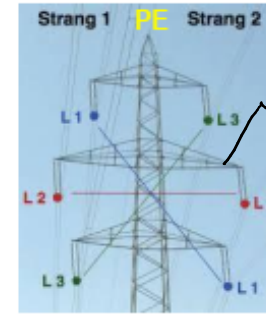
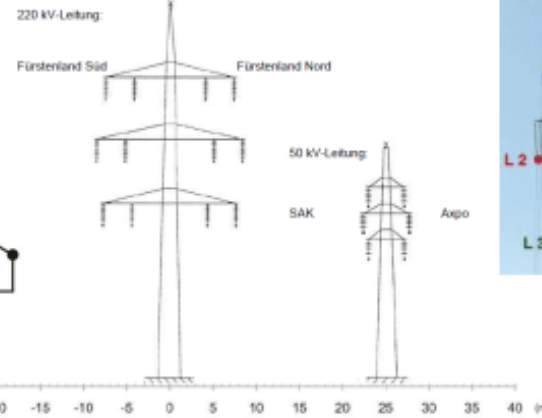
T25 Steckdos-inder Schweiz



max. Belastungsstrom



Abbildung 16: 220 kV-Leitung und 50 kV-Leitung



This would be very Bad!

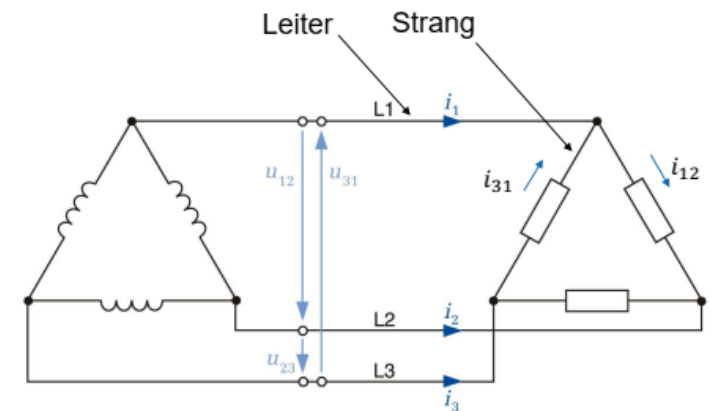


Abbildung 6.35: Dreieckschaltung beim Drei-Phasen-System

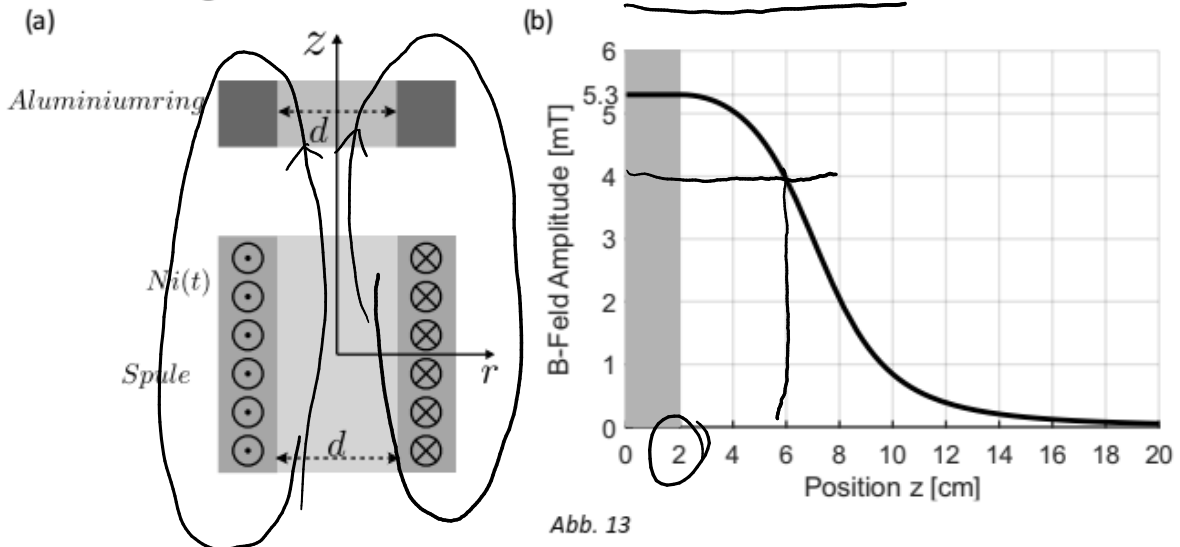
→ Der Leiterstrom  $i_i$  ist ein Faktor  $\sqrt{3}$  höher als der Strangstrom  $i_{ij}$

→ Strang- und Leiterspannung sind identisch auf 400 V.

Wird zum Betrieb von leistungsstarken Motoren verwendet.

**4. Zeitlich veränderliche Magnetfelder****8 Punkte**

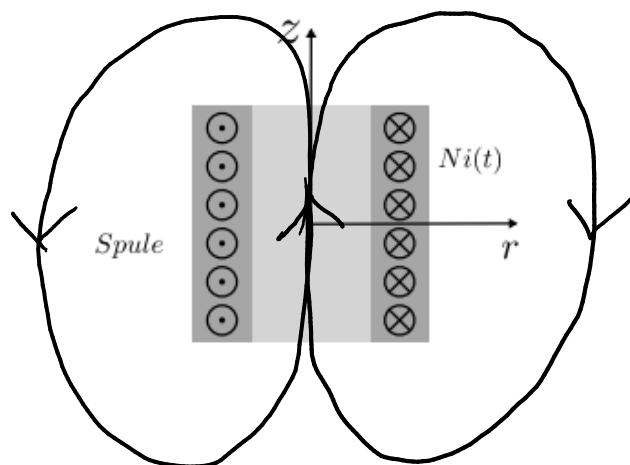
Durch eine Spule mit  $N = 100$  Wicklungen fließt ein Strom  $i(t) = 9A \cdot \sin(\omega t)$  mit  $\omega = 10\text{ s}^{-1}$ . Über die Spule wird ein Aluminiumring gehalten. Der Querschnitt der Anordnung ist in Abb. 13(a) gegeben. Durch  $i(t)$  wird ein B-Feld erzeugt, dessen Amplitude entlang der z-Achse für  $r = 0$  in Abb. 13(b) gezeichnet wurde. Du kannst annehmen, dass das B-Feld im Innern des Aluminiumrings (für  $r < d/2$ ) homogen ist, ausserdem ist das Feld im Bereich der Spule (grau schattiert) konstant. Die Spule, sowie der Aluminiumring umschliessen eine Kreisfläche mit Durchmesser  $d = 6\text{ cm}$ .



(a) Zeichne die Feldlinien des B-Feldes in die folgende Skizze ein.

**(1 P)**

Lösung:



(b) Berechne die Selbstinduktivität der Spule

(2 P)

$$L_{11} = \frac{\Phi_v}{I} = \frac{N \cdot \Phi}{I} = \frac{N \cdot B \cdot d^2 \eta}{4 \cdot I} = \frac{700 \cdot 5,3 \text{ mT} \cdot 36 \text{ cm}^2 \cdot \eta}{4 \cdot I}$$

$$\Phi = B \cdot A = B \cdot \frac{d^2}{4} \eta$$

$$B = 5,3 \text{ mT}$$

$$= 530 \eta \cdot \frac{\text{mT} \cdot \text{cm}^2}{\text{A}}$$

$$= \frac{530 \eta \cdot \text{T} \cdot \text{m}^2}{100 \cdot 10000 \text{ A}}$$

$$= 0,530 \dots$$

$$\Rightarrow \underline{\underline{53 \eta \mu\text{H}}}$$

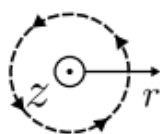
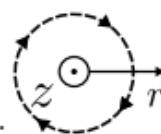
- ☐  $0,53\pi \mu\text{H}$ 
☐  $2,12\pi \mu\text{H}$ 
☐  $5,3\pi \text{ mH}$ 
☐  $21,2\pi \mu\text{H}$ 
☐  $53\pi \mu\text{H}$
- ☐  $212\pi \mu\text{H}$ 
☐  $2,40 \mu\text{H}$ 
☐  $5,89 \mu\text{H}$ 
☐  $240 \mu\text{H}$ 
☐  $589 \mu\text{H}$

(c) Der Ring wird zum Zeitpunkt  $t = 0$  bei  $z = 8 \text{ cm}$  über die Spule gehalten, wie in Abb. 13(a) gezeigt. Dadurch wird ein Strom im Aluminiumring erzeugt. In welche Richtung fließt der Strom, wenn wir von oben durch den Aluminiumring blicken?

(1 P)

Alu Ring fällt  $\Rightarrow \Phi_{\text{Ex}}$  wird grösser  $\Rightarrow \Phi_{\text{ind}}$  muss entgegen wirken  $\Rightarrow$  damit  $\Phi_{\text{tot}} = \Phi_{\text{Ex}} + \Phi_{\text{ind}}$  hält

$\Rightarrow$

☐ Im Gegenuhrzeigersinn:

☒ Im Uhrzeigersinn:


(d) Der Aluminiumring hat nun einen Luftspalt und wird bei  $z = 6 \text{ cm}$  über die Spule gehalten, wie in Abb. 13(a) gezeigt wird. Wie gross ist der Betrag der Spannung  $u_{\text{ind}}(t = \pi/\omega)$  zum Zeitpunkt  $t = \frac{\pi}{\omega}$ , die im Ring induziert wird? (2 P)

$$u_{\text{ind}} = - \frac{d\Phi}{dt}$$

$$\Phi = \vec{B} \cdot \vec{A} = B(t) \cdot \frac{36 \text{ cm}^2}{4} \cdot \eta$$

$$B(t) = \underbrace{\beta \sin(\omega t)}_{\substack{\text{Da durch Strom} \\ \text{erzeugt}}}, \quad \beta = 4 \text{ mT}$$

$$\Rightarrow - \frac{36 \text{ cm}^2}{4} \cdot \eta \cdot 4 \text{ mT} \cdot \underbrace{\frac{d}{dt} \sin(\omega t)}_{\substack{\omega \cos(\omega t) \\ \left. \begin{array}{l} \frac{1}{20} \text{ s} \\ f = \frac{\eta}{\omega} \end{array} \right\} - ?}}$$

$$\Rightarrow \underline{36 \text{ cm}^2 \cdot 10^{-4} \text{ mT}} = 360 \eta \cdot (\text{cm}^2 \text{ mT}) = \frac{360 \text{ m} \cdot \text{T}}{10000 \cdot 1000}$$

☐ 0 V☐ 53 mV☐ 40 mV☐ 18  $\pi$  mV☐ 24  $\pi$  mV☐ 36  $\pi$  mV☐ 53  $\pi$  mV☐ 53  $\mu$ V☐ 18  $\mu$ V☐ 24  $\mu$ V☒ 36  $\mu$ V☐ 18 mV

Gemäss Abb. 14 bewegt sich eine dreieckige Leiterschleife mit Seitenlänge  $a$  mit der Geschwindigkeit  $v$  nach rechts (+x-Richtung). Zum Zeitpunkt  $t = 0$  tritt sie in ein Gebiet mit Magnetfeld  $\vec{H} = H \vec{e}_z$  ein. Die gesamte Situation ist in Luft ( $\mu_1 = 1$ )

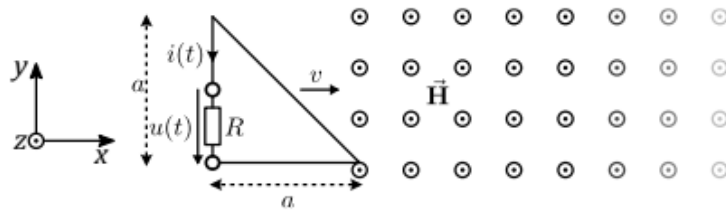


Abb. 14

(e) Berechne die induzierte Spannung  $u(t)$ .

(2 P)

$$\underline{u(t)} = - \frac{d\Phi}{dt} = - \frac{\mu_0 \vec{H} \cdot v^2}{2} \cdot \frac{d\epsilon^2}{dt} = \underline{\underline{-\mu_0 \vec{H} v^2 t}}$$

$$\Phi = \vec{B} \cdot \vec{A}(t)$$

$$\vec{B} = \mu \vec{H} = \mu_1 \cdot \mu_0 \cdot \vec{H} = \mu_0 \vec{H}$$

$$A = \frac{(vt)^2}{2}$$

$$\Rightarrow \text{für } t < 0, u = 0$$

$$\text{und } t > \frac{a}{v}, u = 0$$

sonst

Lösung:

# Tips!

1. b) Was passiert mit  $d\vec{r}/dt$ ?

- Lösung der DGL gibt etwas eklige Terme

2. • Windungszahl nicht vergessen

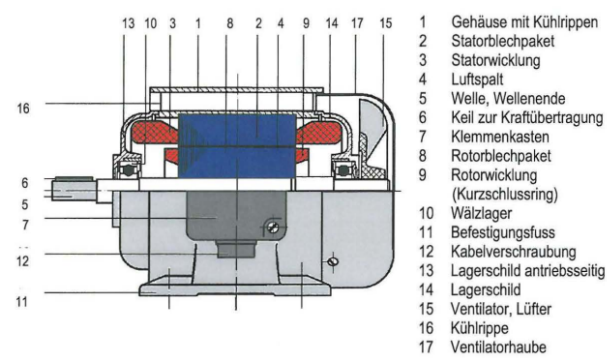
- Moment à la mech.

- Lorenz wenn  $B \perp E \Rightarrow ?$

3. Ähnlich wie thermodyn.

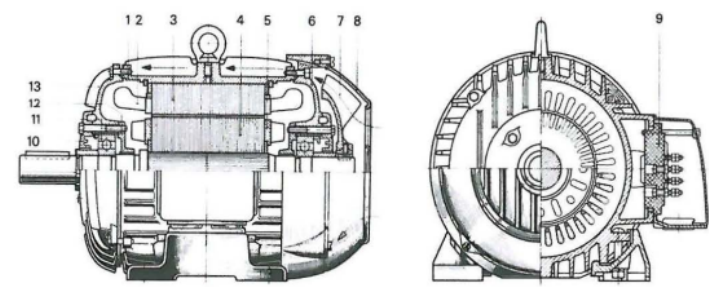
# MEHR INFOS (Nicht Prüfungsrelevant) Anhang

## Genereller Aufbau eines Elektromotors Asynchronmotoren!



**Kurzschlussankermotoren** (Kurzschlussläufer-, Käfigankermotoren) sind heute die wichtigsten Drehstrommotoren, deshalb werden der Aufbau, die Funktionsweise usw. ganz genau betrachtet.

Aufbau



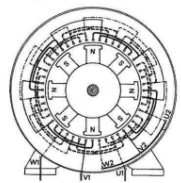
Legende

- |                     |                                  |
|---------------------|----------------------------------|
| 1. Gehäuse          | 8. Ventilatorhaube               |
| 2. Statorwicklung   | 9. Klemmenbrett                  |
| 3. Statorblechpaket | 10. Lagerdeckel                  |
| 4. Rotorblechpaket  | 11. Wälzlager                    |
| 5. Kurzschlussring  | 12. Lagerdeckel                  |
| 6. Lagerschild      | 13. Lagerschild (antriebsseitig) |
| 7. Ventilator       |                                  |

## Generator Arten

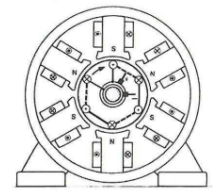
Synchrongeneratoren

Innenpolmaschine



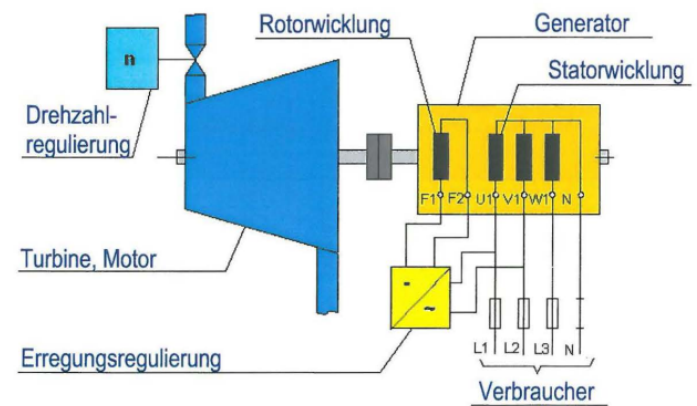
Der Rotor trägt die Erregerwicklung.

Aussenpolmaschine

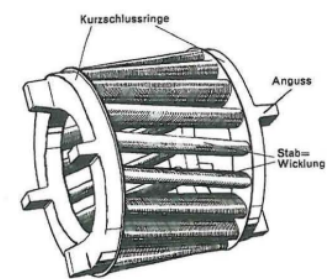


Die Erregerwicklung ist im Stator.

## Generator aufbau



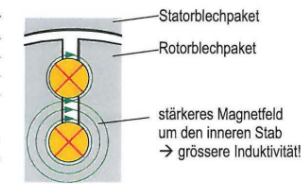
## Kurzschlussanker



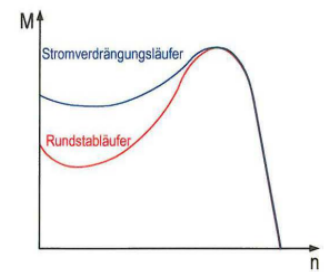
Stromverdrängungsläufer

Es gibt Kurzschlussläufermotoren, deren Läufer (Rotor) beim Einschalten einen grossen Widerstand haben, der aber beim Hochlaufen abnimmt. Bei derartigen Kurzschlussläufermotoren sind der Einschaltstrom klein und das Anzugsmoment gross.

Zur Erhöhung des Läuferwiderstandes beim Einschalten sind in den Läufermitten zwei Stäbe angeordnet.

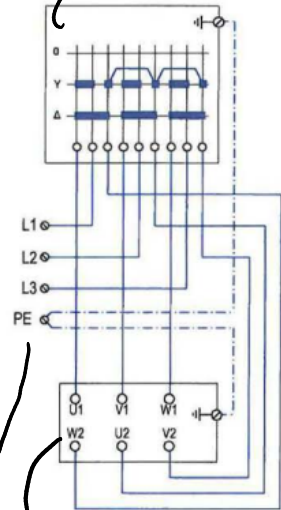


Um den unteren Läuferstab ist das Magnetfeld stärker, weil hier die magnetischen Feldlinien nur einmal den Luftspalt überwinden müssen. Dies bedeutet, dass der untere Stab eine grössere Induktivität  $L$  hat und demzufolge der induktive Blindwiderstand  $X_L$  für diesen Stab auch grösser ist. Da in beiden Stäben die gleiche Spannung induziert wird, fliesst im unteren Stab beim Hochlaufen ein kleinerer Strom! Der Strom wird also in die äusseren Stäbe gedrängt, von da stammt die Bezeichnung dieser Maschine. Hat der Motor die Bemessungsdrehzahl erreicht, ist der Einfluss von  $X_L$  praktisch verschwunden, da die Frequenz des Rotorstromes bekanntlich nur noch einige Hertz beträgt (Siehe Übung 16.1).



Stern - Dreieck - Anlauf \*

↪ schalter

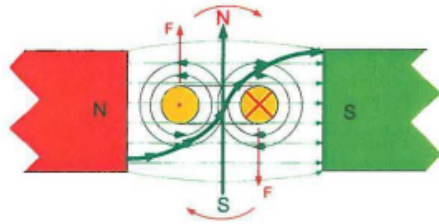


Motor Klemmen Netzanschluss

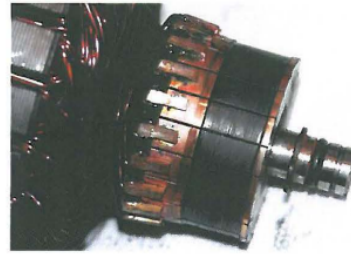
\*  $\lambda$ - $\Delta$ -Anlauf um Anlaufströme zu reduzieren  $\Rightarrow 230V \rightarrow 400V$

$\Rightarrow$  Heutzutage Elektronisch mit Sanftanlasser + FU Frequenz Umformer

# Einphasen Serie Motor (Universalmotor)



Quelle: www.groschopp.com

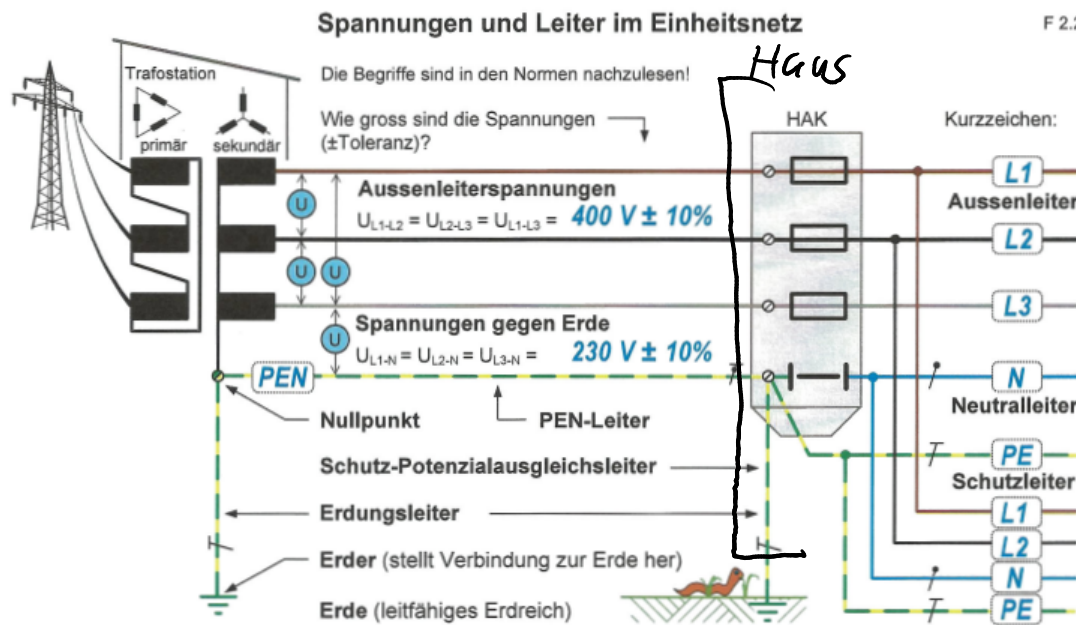


Quelle: www.uwermann.de

## Funktionsweise

Die Stator- und Rotorwicklungen sind bei dieser Maschine in Serie geschaltet (daher auch die Bezeichnung Seriendomotor). Die Rotorwicklungen werden via Kohlebürsten über den Kollektor eingespeist. Die magnetischen Pole des Stators und des Rotors stoßen sich gegenseitig ab. Durch diese Kraftwirkung entsteht die Drehbewegung des Rotors.

## Unser Drehstromnetz:

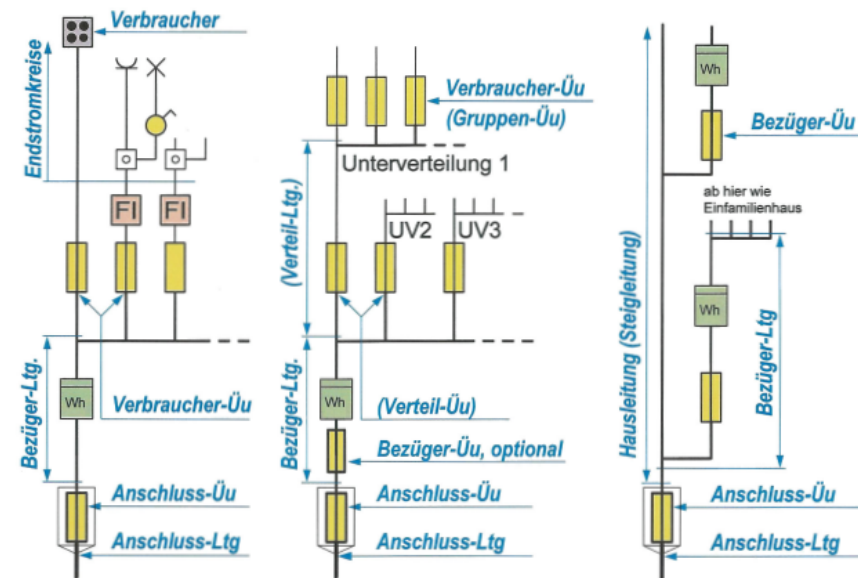


F 2.2.3

Einzelgebäude mit einem  
Bezüger: Einfamilienhaus;

Einzelgebäude mit mehreren Bezügem  
Fabrik oder Warenhaus:

Mehrfamilienhaus:

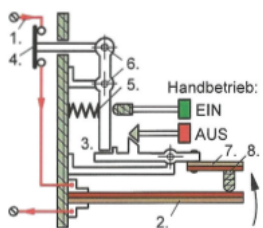


Üu = Überstrom unterbrecher (sicherung)

Auslöse kennlinie nach Sicherungsart

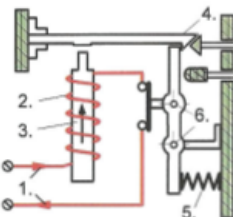
## Ein Leitungsschutzschalter (Leitungs sicherung) besteht aus:

### Thermischer Auslöser



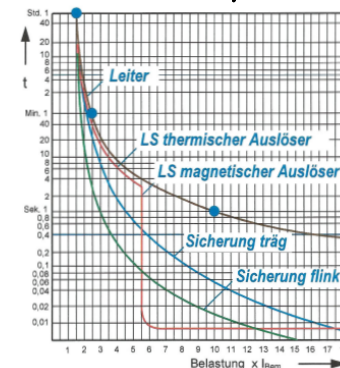
Funktion des **thermischen** Auslösers:  
**Bei Überlast erwärmt sich das Bimetall, biegt sich in der Folge durch und öffnet die Klinke. Der Hauptkontakt löst aus und der Stromkreis wird unterbrochen.**

### Elektromagnetischer Auslöser

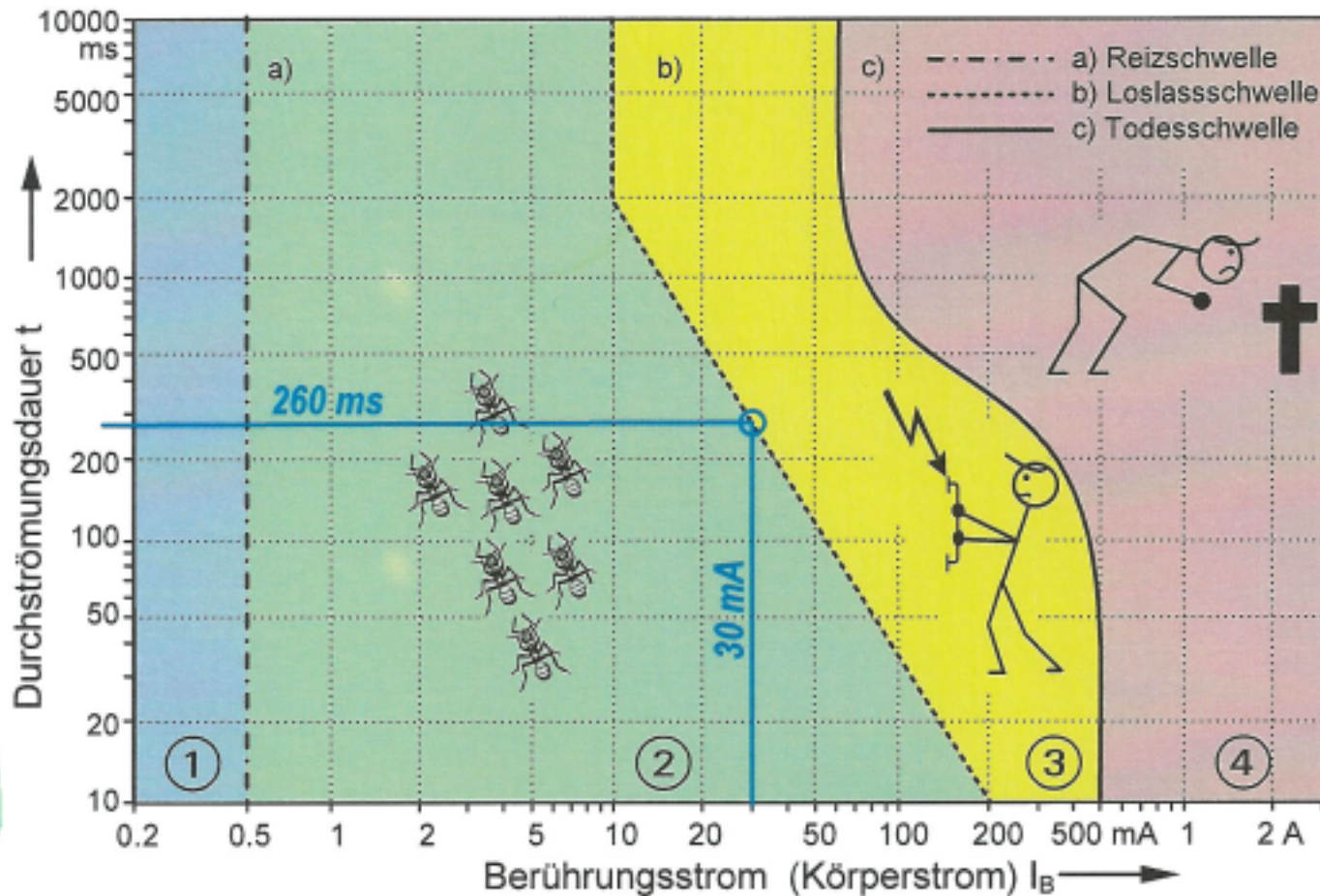


Funktion des **elektromagnetischen** Auslösers:  
**Bei Kurzschluss stösst der Eisenkern gegen die Klinke. Der Hauptkontakt löst aus und der Stromkreis wird unterbrochen.**

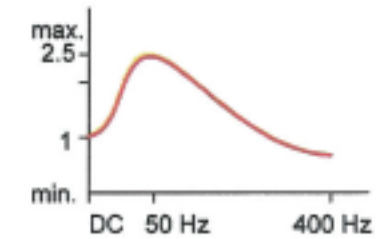
RI 5.5.4



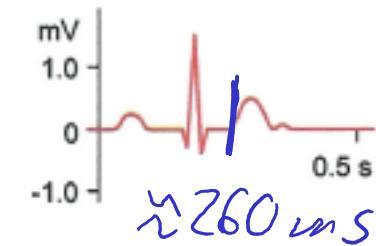
Bei 50 Hz, (It's not the Volts that kill you it's the Amps)



Die Gefährdung ist von der Frequenz abhängig:



Elektrokardiogramm einer Herzspannung



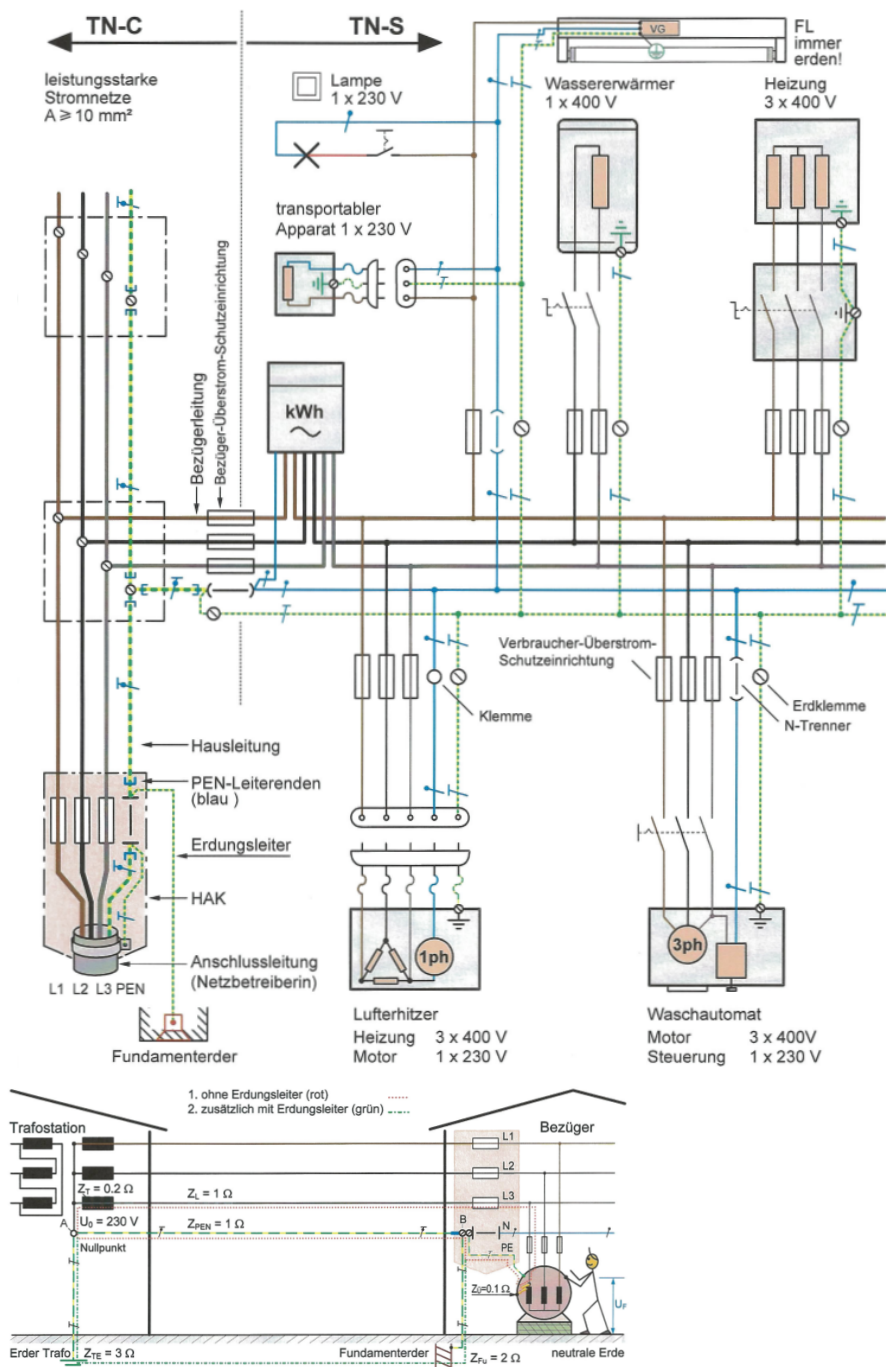
- ① bis 0.5 mA: Wahrnehmbarkeit mit der Zunge
- ② ab 0.5 mA: Kribbeln, Ameisenlaufen, meist ungefährlich
- ③ ab 10 mA: Muskelverkrampfung und Atemnot
- ④ ab 50 mA Herzkammerflimmern, ab 200 mA / 0.4 s Lebensgefahr

# Aufbau eines Hausnetzes

## Ausführung System TN-C-S

Fig. 4.1.1.4.3.1 B+E - F 2.3.2.3

Die Neutralleiter und Schutzleiter sind farbig einzuzeichnen. Der Anschlussüberstromunterbrecher ist mittels Erdungsleiter mit dem Fundamenterder zu verbinden.

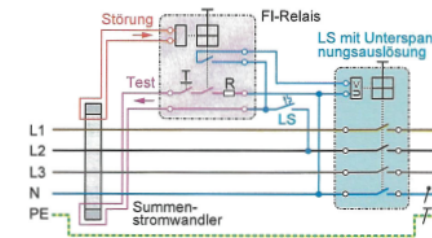
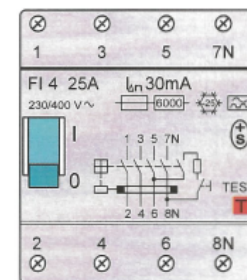
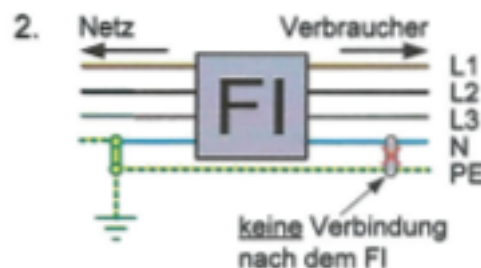


## Historische Entwicklung der Leiterfarben

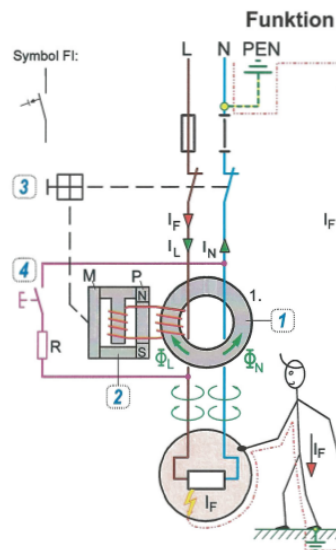
	NIN 2010	HD 308 ab 2001	CENELEC	CH vor 2005	vor 1970
PE	Schutzleiter grün/gelb	Schutzleiter grün/gelb	Schutzleiter grün/gelb	Schutzleiter grün/gelb	Erde rot/gelb
N	Neutralleiter blau	Neutralleiter hellblau (CH) oder blau	Neutralleiter hellblau	Neutralleiter hellblau	Nulleiter gelb
L1	Aussenleiter 1 braun	Polleiter 1 braun	Polleiter 1 schwarz	Polleiter 1 schwarz	Phase R rot
L2	Aussenleiter 2 schwarz	Polleiter 2 schwarz	Polleiter 2 braun	Polleiter 2 rot	Phase S blau
L3	Aussenleiter 3 grau	Polleiter 3 grau	Polleiter 3 schwarz	Polleiter 3 weiss	Phase T weiss

Bei mehr als 6 Adern sind numerische Zeichen anzubringen. N an der Ader mit tiefster Nummer an den Enden blau kennzeichnen. PE immer durchgehend grün/gelb.

## FI (Fehlerstrom) Schutzschalter (Personenschutz)



EU 11.7.3



### Die Funktion der fehlerfreien Anlage

Der Stromfluss ( $I_L$  und  $I_N$ ) ist grün einzuzeichnen.

Der Aussenleiterstrom ist gleich gross wie der Neutralleiterstrom. Da sich  $I_L$  und  $I_N$  entgegenwirken, wird der Summenstromwandler nicht magnetisiert:  $\Phi_L = \Phi_N$ .

Was hat dies zur Folge: Der FI löst nicht aus!

### Die Funktion im Fehlerfall

Der Fehlerstrom ( $I_F$ ) ist rot einzuzeichnen!

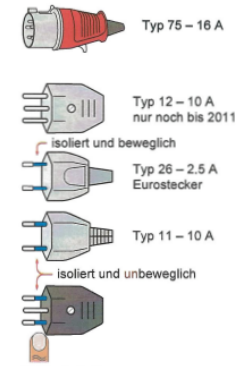
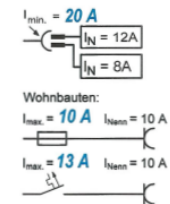
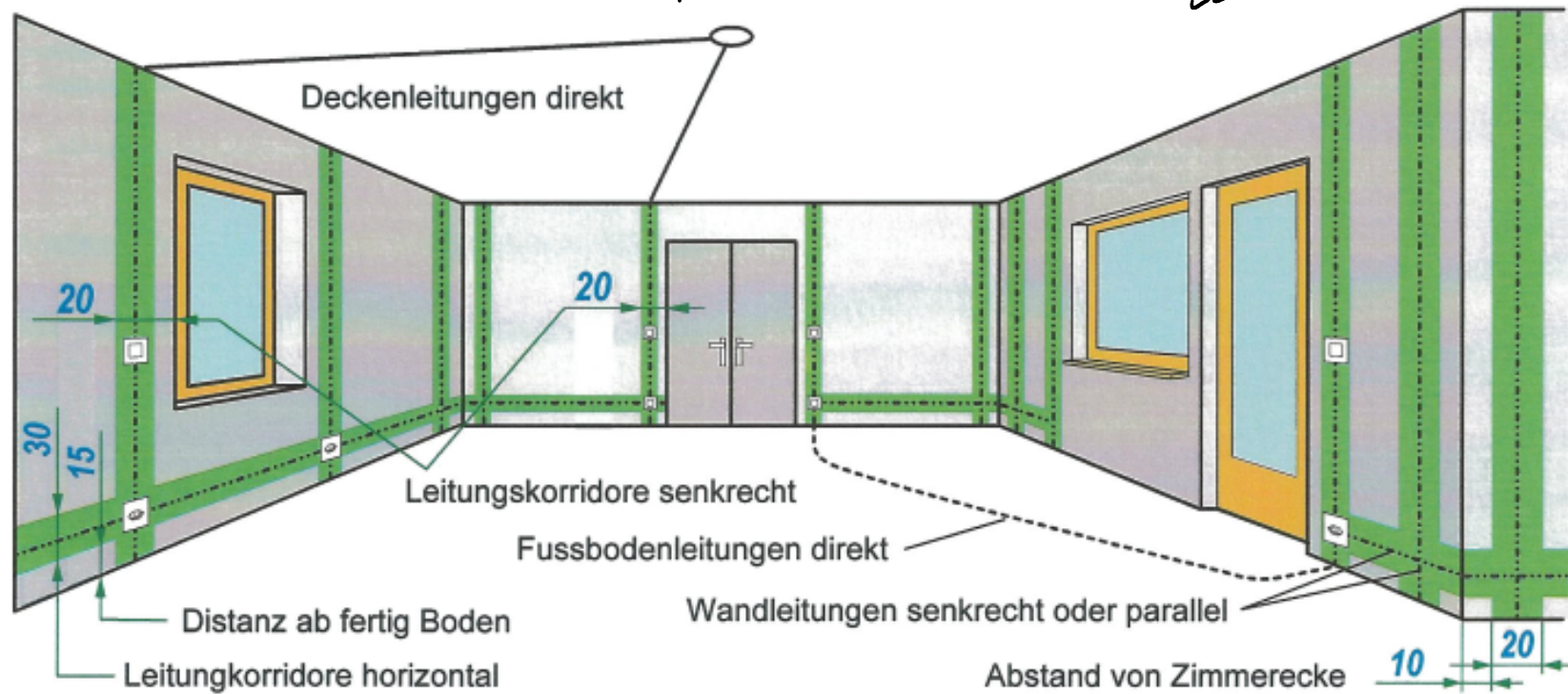
Der Fehlerstrom fliesst nicht durch den Summenstromwandler zurück. Da  $I_L \neq I_N$ , wird der Summenstromwandler magnetisiert:  $\Phi_L > \Phi_N$ . Die in der Sekundärwicklung entstehende Spannung wirkt auf den Magnetauslöser, welcher wiederum auf den Freilauf wirkt.

Was hat dies zur Folge: Der FI löst aus!

Der Prüfstromkreis ist zu beschreiben (violett): Mit der Prüftaste (4.) kann über den Widerstand R ein Fehlerstrom simuliert werden.

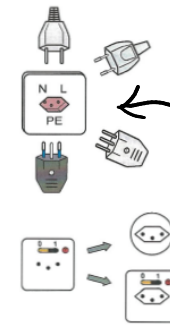
Was hat dies zur Folge: Der FI löst aus!

Good to know beim Bohren, (wo Leitungen im Weg)



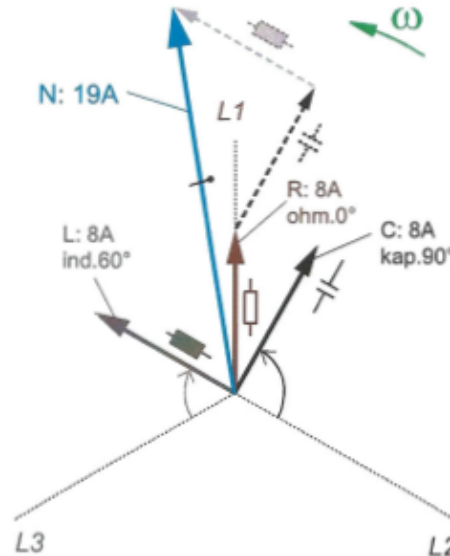
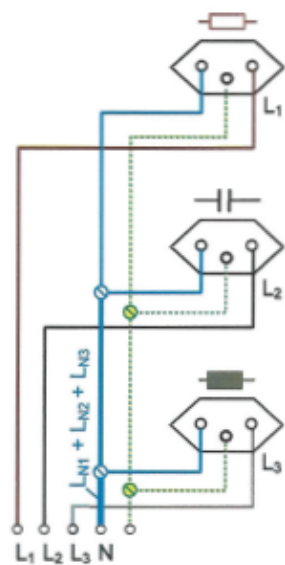
Teilsolierte Steckerstifte an Steckern T11 und T12:  
- ab sofort möglich  
- ab 2012 obligatorisch

Heutzutage nur noch T13 Steckdosen



T12 Steckdosen

Anschluss der Steckdosen an Drehstrom mit separaten Klemmen für den Neutralleiter.

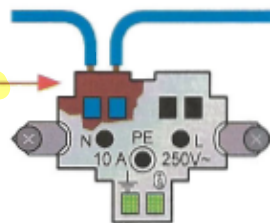


Beim Anschliessen verschiedener einpoliger Verbraucher (R, L und C) an den gleichen Neutralleiter besteht bei Drehstrom die Gefahr, dass der **Neutralleiter** und dessen Verbindungsstelle infolge **Unsymmetrie überlastet** werden können.

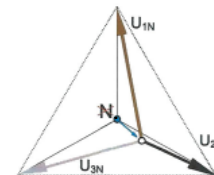
Ausserdem können bei elektronischen Verbrauchern, die vor allem mit 150 Hz **Oberwellen** behaftet sind, **Neutralleiterströme** entstehen, die zuweilen **über dem Phasenstrom liegen**.

Diese beiden Effekte ergänzen sich!

**Überlastungsgefahr!**



Verdrahten Sie die Steckdosen in der linken Spalte so, dass der Neutralleiter nicht über die Steckdose L<sub>2</sub> und Steckdose L<sub>2</sub> geschlaucht wird.



Strangspannungen bei unsymmetrischer Last ohne N-Leiter-Anschluss