

Elektrizität im Alltag

Physikalische Schulversuche

Mag. Otto Dolinsek



Netzsysteme

Ein Netzsystem ist die Gesamtheit aller Leitungen von der Stromquelle (**Niederspannungsverteilungssystem**) bis zu den Verbrauchern.

Die Netzsysteme unterscheiden sich nach folgenden Kriterien.

- Art der Erdung am Speisepunkt
(Transformator oder Generator)
- Art der Erdung des Schutzleiters in der Verbraucheranlage

Netzsysteme

Ein Netzsystem ist die Gesamtheit aller Leitungen von der Stromquelle (**Niederspannungsverteilungssystem**) bis zu den Verbrauchern.

Die Netzsysteme unterscheiden sich nach folgenden Kriterien.

- Art der Erdung am Speisepunkt (Transformator oder Generator)
- Art der Erdung des Schutzleiters in der Verbraucheranlage

Netzsysteme

Ein Netzsystem ist die Gesamtheit aller Leitungen von der Stromquelle (**Niederspannungsverteilungssystem**) bis zu den Verbrauchern.

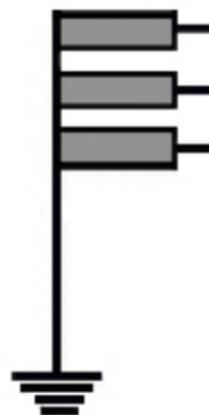
Die Netzsysteme unterscheiden sich nach folgenden Kriterien.

- Art der Erdung am Speisepunkt (Transformator oder Generator)
- Art der Erdung des Schutzleiters in der Verbrauchieranlage

Erdungsverhältnisse der Stromquelle

Die Netzsysteme werden durch Großbuchstaben gekennzeichnet. Der erste Buchstabe steht für die Art der Erdung am Speisepunkt (Transformator oder Generator).

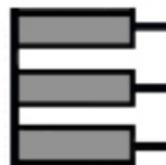
- **T** (Terra=Erde)
Die direkte Erdung eines Systemleiters (Sternpunktterdung ist üblich)
- **I** (Isolated=getrennt)
Isolierung aller aktiven Teile gegenüber Erde oder die Verbindung eines aktiven Teils mit der Erde über eine Impedanz.



Erdungsverhältnisse der Stromquelle

Die Netzsysteme werden durch Großbuchstaben gekennzeichnet. Der erste Buchstabe steht für die Art der Erdung am Speisepunkt (Transformator oder Generator).

- **T** (Terra=Erde)
Die direkte Erdung eines Systemleiters (Sternpunktterdung ist üblich)
- **I** (Isolated=getrennt)
Isolierung aller aktiven Teile gegenüber Erde oder die Verbindung eines aktiven Teils mit der Erde über eine Impedanz.

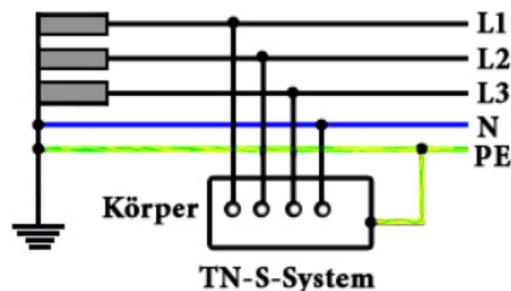


Erdungsverhältnisse des Verbrauchers

Der zweite Buchstabe steht für die Art der Erdung des Schutzleiters in der Verbrauchieranlage.

- **N** (N-Neutral)

Der Schutzleiter ist mit dem Betriebserder der Stromquelle verbunden (2 Möglichkeiten: Separate, Combine).

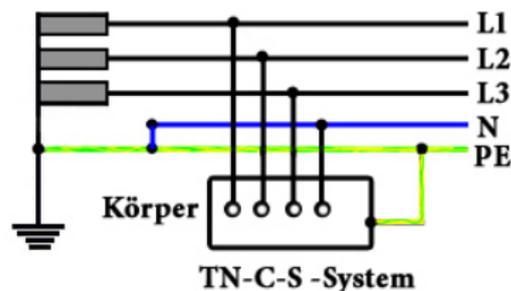


Erdungsverhältnisse des Verbrauchers

Der zweite Buchstabe steht für die Art der Erdung des Schutzleiters in der Verbraucheranlage.

- **N** (N-Neutral)

Der Schutzleiter ist mit dem Betriebserder der Stromquelle verbunden (2 Möglichkeiten: Separate, Combine).

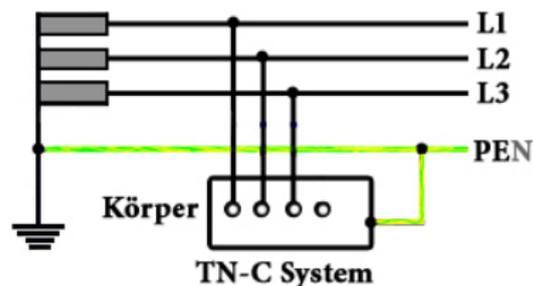


Erdungsverhältnisse des Verbrauchers

Der zweite Buchstabe steht für die Art der Erdung des Schutzleiters in der Verbrauchieranlage.

- **N** (N-Neutral)

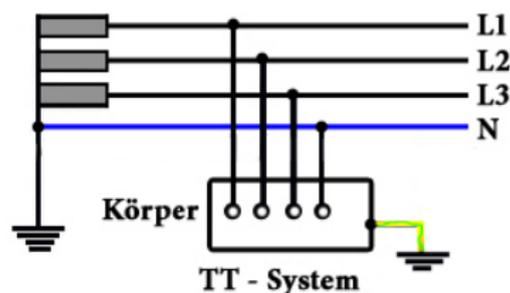
Der Schutzleiter ist mit dem Betriebserder der Stromquelle verbunden (2 Möglichkeiten: Separate, Combine).



Erdungsverhältnisse des Verbrauchers

Der zweite Buchstabe steht für die Art der Erdung des Schutzleiters in der Verbrauchieranlage.

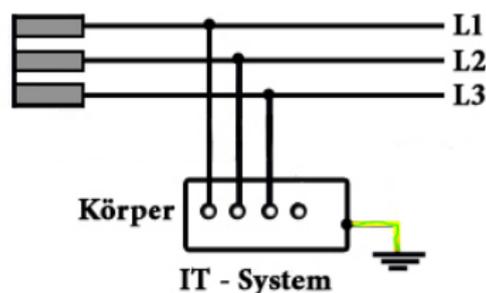
- **T** (Terra=Erde)
Der Körper wird direkt geerdet - unabhängig von der Erdung der Stromquelle.



Erdungsverhältnisse des Verbrauchers

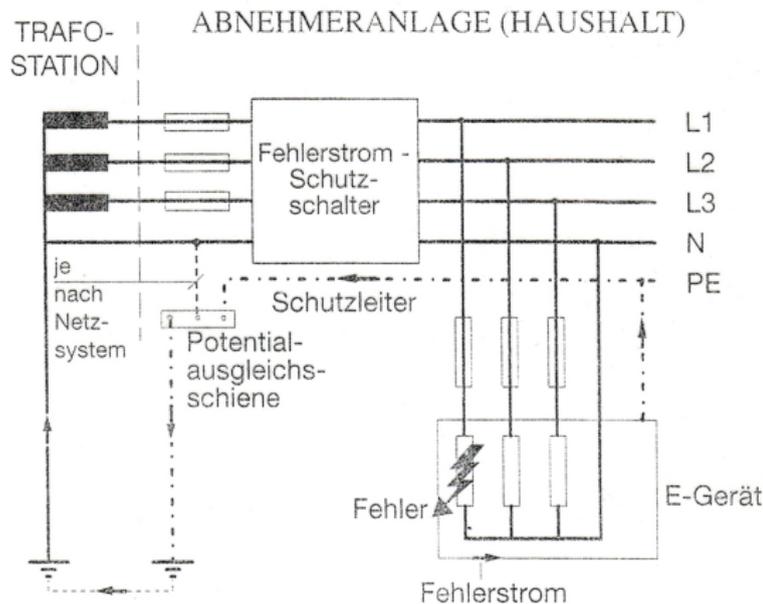
Der zweite Buchstabe steht für die Art der Erdung des Schutzleiters in der Verbrauchieranlage.

- **I** (Isolated=getrennt)
Die Körper der elektrischen Verbrauchieranlagen sind mit Erden verbunden, die unabhängig vom Betriebserder sind.



Der Fehlerstromschutzschalter - FI

Für Wohnungen kommt nur die Netzform mit separatem Schutzleiter in Frage.



Funktionsschema des FI-Schalters

Der FI schaltet den Stromkreis innerhalb von $t=0,2\text{s}$ allpolig ab, wenn $I > I_N$.

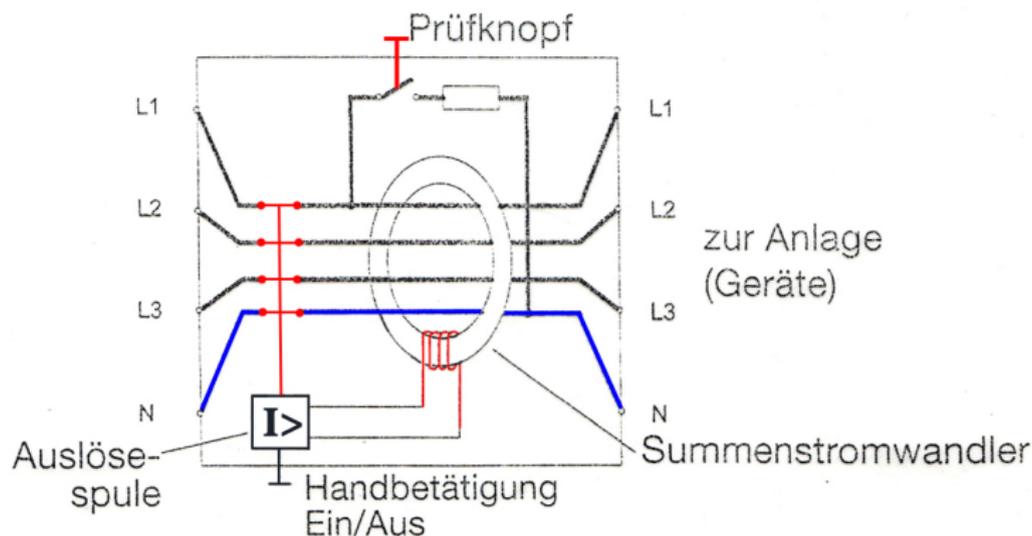


Abbildung: FI

Leistungsschutzschalters - LS

Der elektromagnetische Schnellauslöser ($I_K > 5 * I_N$) öffnet innerhalb von 0,1 Sekunden den Stromkreis.

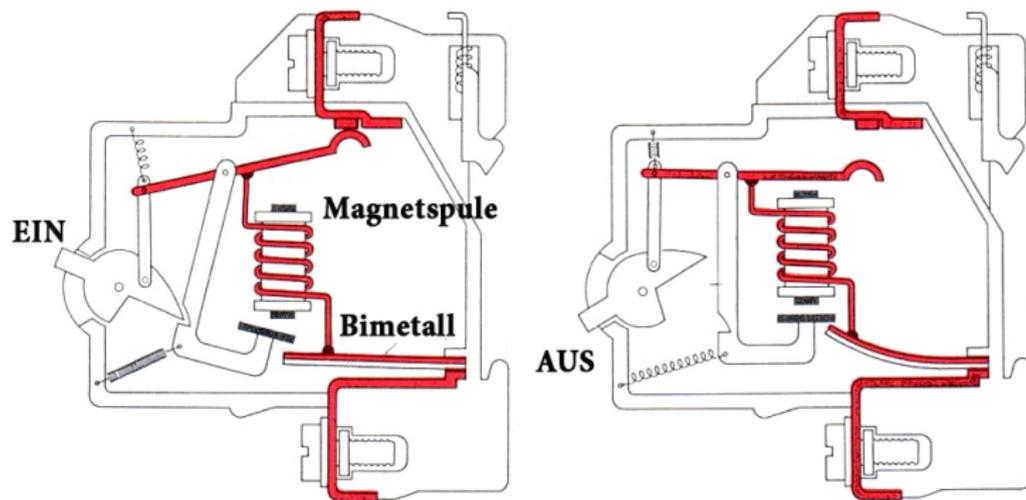
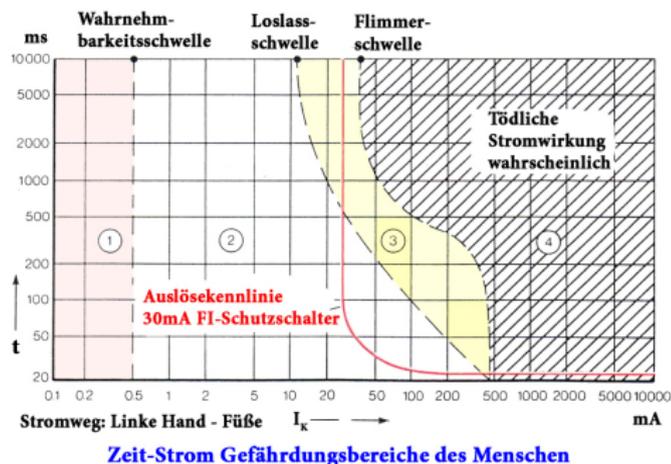


Abbildung: Funktionsschema des LS-Schalters

Stromverträglichkeitskurve

Gilt für $f=50\text{Hz}$ und mindestens 50 kg Körpergewicht.

- 1 Einwirkung beliebig ohne Schädigungen
- 2 leichte Muskelreizungen bis schmerzhafte Verkrampfungen
- 3 Muskelverkrampfungen, Unregelmäßigkeiten beim Herzschlag
- 4 Gefahr des Herzkammerflimmerns, tödliche Stromwirkung wahrscheinlich

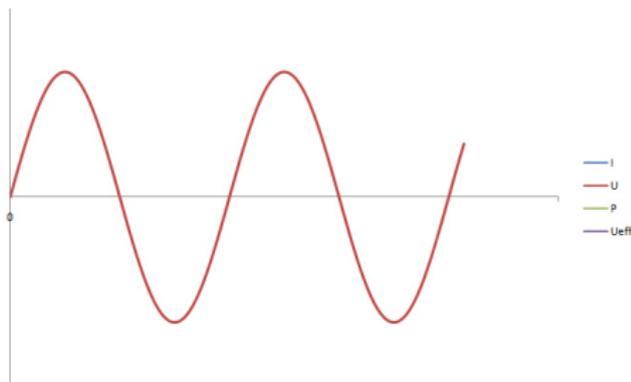


Der Effektivwert des Wechselstromes

Der technische Wechselstrom:

$$U_S = 311V, U_{eff} = \frac{U_S}{\sqrt{2}} = 220V, f = 50Hz$$

- **U-t-Diagramm**
- I-t-Diagramm
- P-t-Diagramm
- Arbeit des Wechselstromes
- Umwandlung in Rechtecksfläche



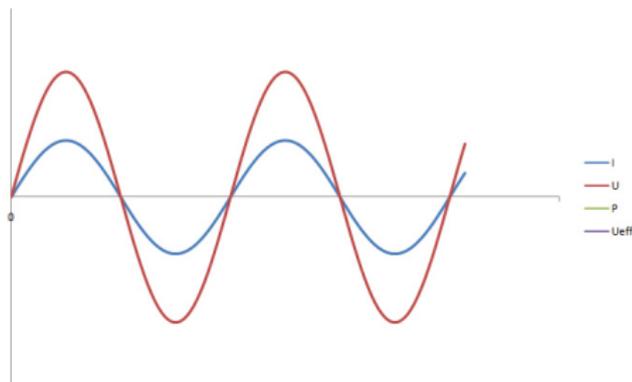
$$W = \int_0^T P(t) dt = \frac{U_S \cdot I_S \cdot T}{2} \Rightarrow P = \frac{W}{T} = \frac{U_S \cdot I_S}{\sqrt{2} \cdot \sqrt{2}} = U_{eff} \cdot I_{eff}$$

Der Effektivwert des Wechselstromes

Der technische Wechselstrom:

$$U_S = 311V, U_{\text{eff}} = \frac{U_S}{\sqrt{2}} = 220V, f = 50\text{Hz}$$

- U-t-Diagramm
- I-t-Diagramm
- P-t-Diagramm
- Arbeit des Wechselstromes
- Umwandlung in Rechtecksfläche



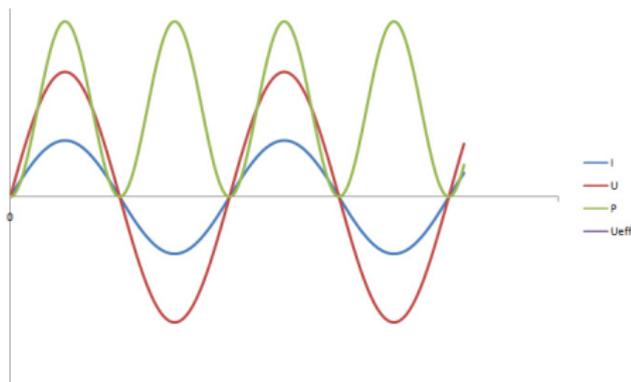
$$W = \int_0^T P(t) dt = \frac{U_S \cdot I_S \cdot T}{2} \Rightarrow P = \frac{W}{T} = \frac{U_S \cdot I_S}{\sqrt{2} \cdot \sqrt{2}} = U_{\text{eff}} \cdot I_{\text{eff}}$$

Der Effektivwert des Wechselstromes

Der technische Wechselstrom:

$$U_S = 311V, U_{\text{eff}} = \frac{U_S}{\sqrt{2}} = 220V, f = 50\text{Hz}$$

- U-t-Diagramm
- I-t-Diagramm
- **P-t-Diagramm**
- Arbeit des Wechselstromes
- Umwandlung in Rechtecksfläche



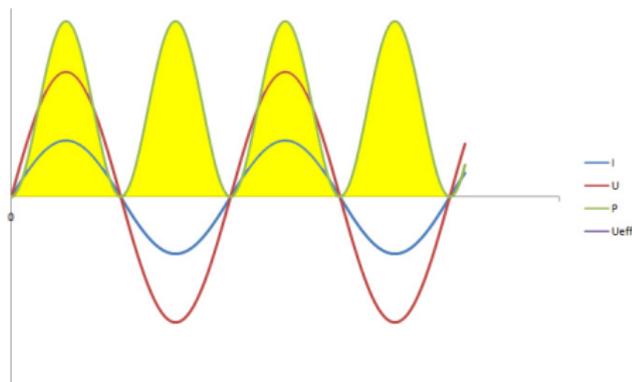
$$W = \int_0^T P(t) dt = \frac{U_S \cdot I_S \cdot T}{2} \Rightarrow P = \frac{W}{T} = \frac{U_S \cdot I_S}{\sqrt{2} \cdot \sqrt{2}} = U_{\text{eff}} \cdot I_{\text{eff}}$$

Der Effektivwert des Wechselstromes

Der technische Wechselstrom:

$$U_S = 311V, U_{eff} = \frac{U_S}{\sqrt{2}} = 220V, f = 50Hz$$

- U-t-Diagramm
- I-t-Diagramm
- P-t-Diagramm
- Arbeit des Wechselstromes
- Umwandlung in Rechtecksfläche



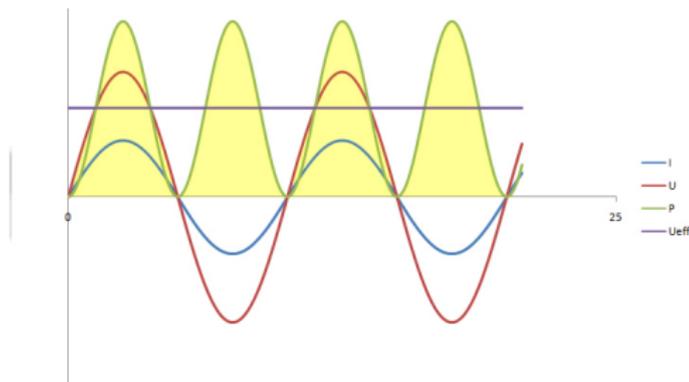
$$W = \int_0^T P(t) dt = \frac{U_S \cdot I_S \cdot T}{2} \Rightarrow P = \frac{W}{T} = \frac{U_S \cdot I_S}{\sqrt{2} \cdot \sqrt{2}} = U_{eff} \cdot I_{eff}$$

Der Effektivwert des Wechselstromes

Der technische Wechselstrom:

$$U_S = 311V, U_{\text{eff}} = \frac{U_S}{\sqrt{2}} = 220V, f = 50\text{Hz}$$

- U-t-Diagramm
- I-t-Diagramm
- P-t-Diagramm
- Arbeit des Wechselstromes
- Umwandlung in Rechtecksfläche



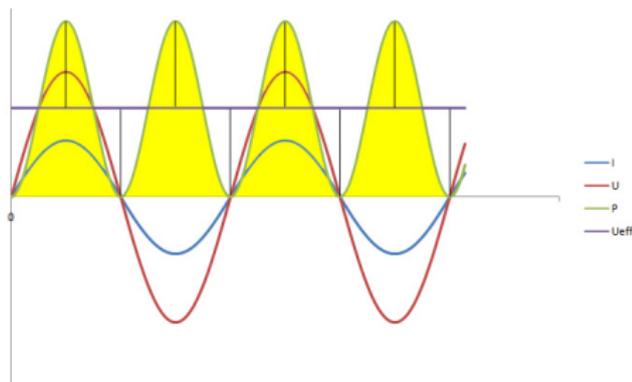
$$W = \int_0^T P(t) dt = \frac{U_S \cdot I_S \cdot T}{2} \Rightarrow P = \frac{W}{T} = \frac{U_S \cdot I_S}{\sqrt{2} \cdot \sqrt{2}} = U_{\text{eff}} \cdot I_{\text{eff}}$$

Der Effektivwert des Wechselstromes

Der technische Wechselstrom:

$$U_S = 311V, U_{\text{eff}} = \frac{U_S}{\sqrt{2}} = 220V, f = 50\text{Hz}$$

- U-t-Diagramm
- I-t-Diagramm
- P-t-Diagramm
- Arbeit des Wechselstromes
- Umwandlung in Rechtecksfläche



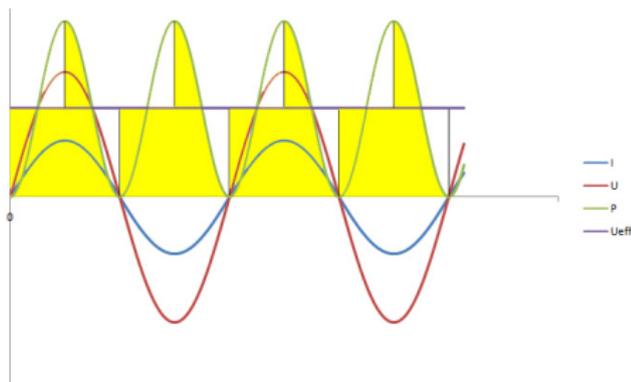
$$W = \int_0^T P(t) dt = \frac{U_S \cdot I_S \cdot T}{2} \Rightarrow P = \frac{W}{T} = \frac{U_S \cdot I_S}{\sqrt{2} \cdot \sqrt{2}} = U_{\text{eff}} \cdot I_{\text{eff}}$$

Der Effektivwert des Wechselstromes

Der technische Wechselstrom:

$$U_S = 311V, U_{\text{eff}} = \frac{U_S}{\sqrt{2}} = 220V, f = 50\text{Hz}$$

- U-t-Diagramm
- I-t-Diagramm
- P-t-Diagramm
- Arbeit des Wechselstromes
- Umwandlung in Rechtecksfläche



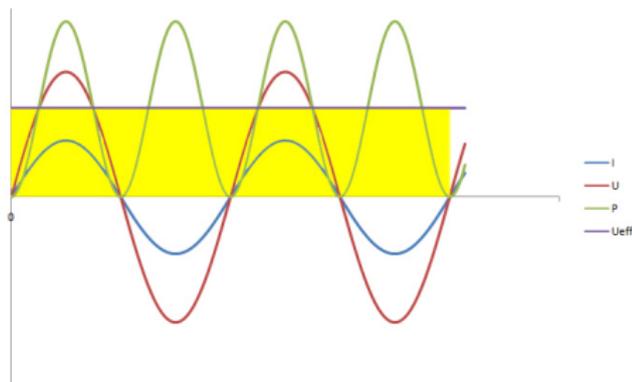
$$W = \int_0^T P(t) dt = \frac{U_S \cdot I_S \cdot T}{2} \Rightarrow P = \frac{W}{T} = \frac{U_S \cdot I_S}{\sqrt{2} \cdot \sqrt{2}} = U_{\text{eff}} \cdot I_{\text{eff}}$$

Der Effektivwert des Wechselstromes

Der technische Wechselstrom:

$$U_S = 311V, U_{\text{eff}} = \frac{U_S}{\sqrt{2}} = 220V, f = 50\text{Hz}$$

- U-t-Diagramm
- I-t-Diagramm
- P-t-Diagramm
- Arbeit des Wechselstromes
- Umwandlung in Rechtecksfläche



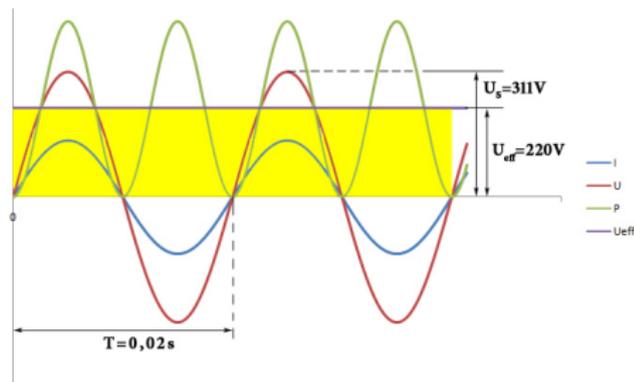
$$W = \int_0^T P(t) dt = \frac{U_S \cdot I_S \cdot T}{2} \Rightarrow P = \frac{W}{T} = \frac{U_S \cdot I_S}{\sqrt{2} \cdot \sqrt{2}} = U_{\text{eff}} \cdot I_{\text{eff}}$$

Der Effektivwert des Wechselstromes

Der technische Wechselstrom:

$$U_S = 311V, U_{eff} = \frac{U_S}{\sqrt{2}} = 220V, f = 50Hz$$

- U-t-Diagramm
- I-t-Diagramm
- P-t-Diagramm
- Arbeit des Wechselstromes
- Umwandlung in Rechtecksfläche



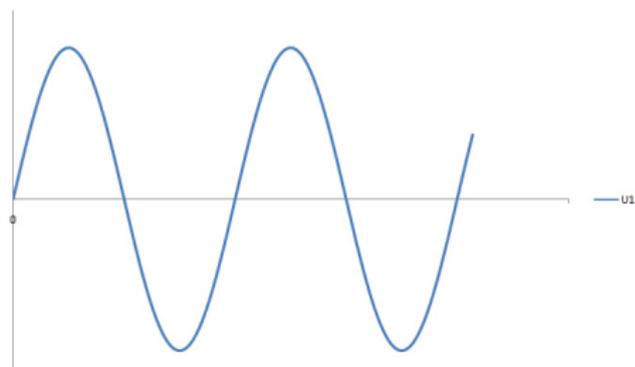
$$W = \int_0^T P(t) dt = \frac{U_S \cdot I_S \cdot T}{2} \Rightarrow P = \frac{W}{T} = \frac{U_S \cdot I_S}{\sqrt{2} \cdot \sqrt{2}} = U_{eff} \cdot I_{eff}$$

Der Drehstrom

Spannung zwischen Phasenleiter und Nullleiter:

$$U_S = 311V, U_{eff} = \frac{U_S}{\sqrt{2}} = 220V, f = 50Hz$$

- $U_1, \varphi = 0^\circ$
- $U_2, \varphi = 120^\circ$
- $U_3, \varphi = 240^\circ$
- $U_2 - U_1 = U_S \cdot \sqrt{3}$
- Beweise!
 $U_2 - U_1 = U_S \cdot \sqrt{3}$



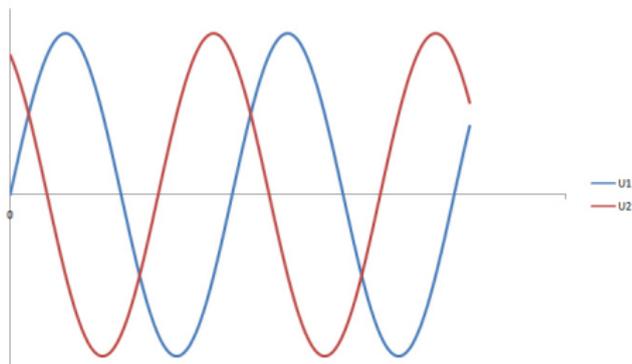
$$h = \sqrt{U_S^2 - \left(\frac{U_S}{2}\right)^2} = \frac{U_S \cdot \sqrt{3}}{2} \Rightarrow U_2 - U_1 = 2 \cdot h = U_S \cdot \sqrt{3}$$

Der Drehstrom

Spannung zwischen Phasenleiter und Nullleiter:

$$U_S = 311V, U_{eff} = \frac{U_S}{\sqrt{2}} = 220V, f = 50Hz$$

- $U_1, \varphi = 0^\circ$
- $U_2, \varphi = 120^\circ$
- $U_3, \varphi = 240^\circ$
- $U_2 - U_1 = U_S \cdot \sqrt{3}$
- Beweise!
 $U_2 - U_1 = U_S \cdot \sqrt{3}$



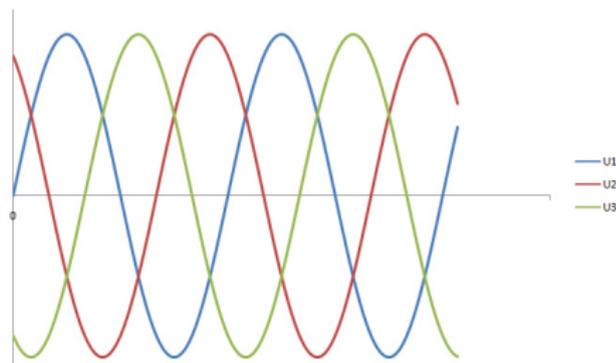
$$h = \sqrt{U_S^2 - \left(\frac{U_S}{2}\right)^2} = \frac{U_S \cdot \sqrt{3}}{2} \Rightarrow U_2 - U_1 = 2 \cdot h = U_S \cdot \sqrt{3}$$

Der Drehstrom

Spannung zwischen Phasenleiter und Nullleiter:

$$U_S = 311V, U_{eff} = \frac{U_S}{\sqrt{2}} = 220V, f = 50Hz$$

- $U_1, \varphi = 0^\circ$
- $U_2, \varphi = 120^\circ$
- $U_3, \varphi = 240^\circ$
- $U_2 - U_1 = U_S \cdot \sqrt{3}$
- Beweise!
 $U_2 - U_1 = U_S \cdot \sqrt{3}$



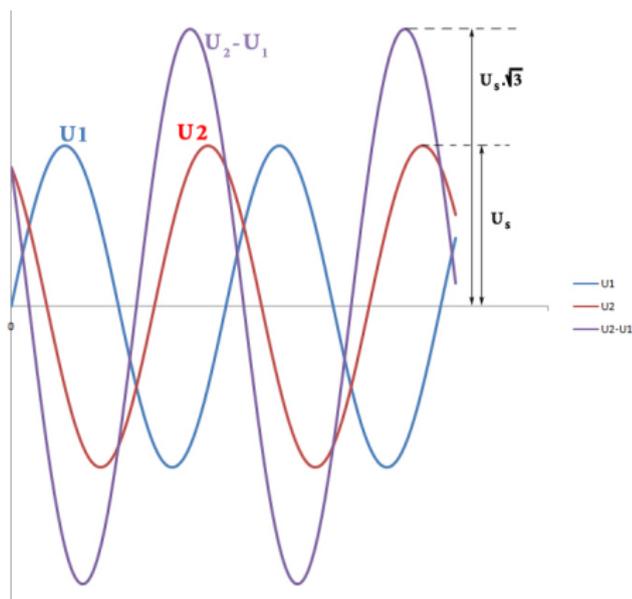
$$h = \sqrt{U_S^2 - \left(\frac{U_S}{2}\right)^2} = \frac{U_S \cdot \sqrt{3}}{2} \Rightarrow U_2 - U_1 = 2 \cdot h = U_S \cdot \sqrt{3}$$

Der Drehstrom

Spannung zwischen Phasenleiter und Nullleiter:

$$U_S = 311\text{V}, U_{\text{eff}} = \frac{U_S}{\sqrt{2}} = 220\text{V}, f = 50\text{Hz}$$

- $U_1, \varphi = 0^\circ$
- $U_2, \varphi = 120^\circ$
- $U_3, \varphi = 240^\circ$
- $U_2 - U_1 = U_S \cdot \sqrt{3}$
- Beweise!
 $U_2 - U_1 = U_S \cdot \sqrt{3}$

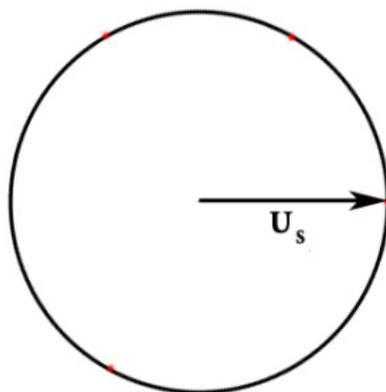


Der Drehstrom

Spannung zwischen Phasenleiter und Nullleiter:

$$U_S = 311V, U_{eff} = \frac{U_S}{\sqrt{2}} = 220V, f = 50Hz$$

- $U_1, \varphi = 0^\circ$
- $U_2, \varphi = 120^\circ$
- $U_3, \varphi = 240^\circ$
- $U_2 - U_1 = U_S \cdot \sqrt{3}$
- **Beweise!**
 $U_2 - U_1 = U_S \cdot \sqrt{3}$



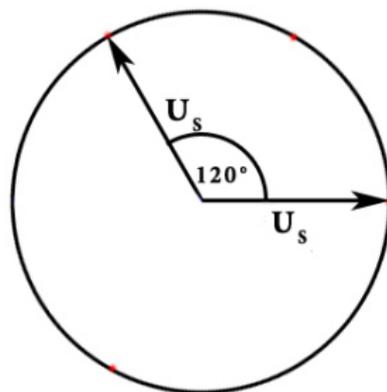
$$h = \sqrt{U_S^2 - \left(\frac{U_S}{2}\right)^2} = \frac{U_S \cdot \sqrt{3}}{2} \Rightarrow U_2 - U_1 = 2 \cdot h = U_S \cdot \sqrt{3}$$

Der Drehstrom

Spannung zwischen Phasenleiter und Nullleiter:

$$U_S = 311V, U_{eff} = \frac{U_S}{\sqrt{2}} = 220V, f = 50Hz$$

- $U_1, \varphi = 0^\circ$
- $U_2, \varphi = 120^\circ$
- $U_3, \varphi = 240^\circ$
- $U_2 - U_1 = U_S \cdot \sqrt{3}$
- Beweise!
 $U_2 - U_1 = U_S \cdot \sqrt{3}$



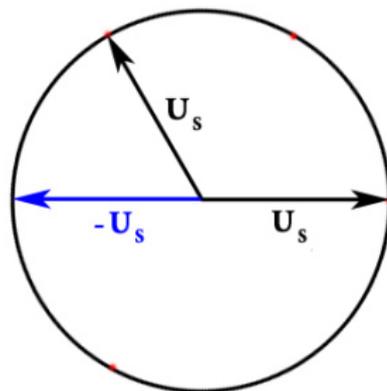
$$h = \sqrt{U_S^2 - \left(\frac{U_S}{2}\right)^2} = \frac{U_S \cdot \sqrt{3}}{2} \Rightarrow U_2 - U_1 = 2 \cdot h = U_S \cdot \sqrt{3}$$

Der Drehstrom

Spannung zwischen Phasenleiter und Nullleiter:

$$U_S = 311V, U_{eff} = \frac{U_S}{\sqrt{2}} = 220V, f = 50Hz$$

- $U_1, \varphi = 0^\circ$
- $U_2, \varphi = 120^\circ$
- $U_3, \varphi = 240^\circ$
- $U_2 - U_1 = U_S \cdot \sqrt{3}$
- **Beweise!**
 $U_2 - U_1 = U_S \cdot \sqrt{3}$



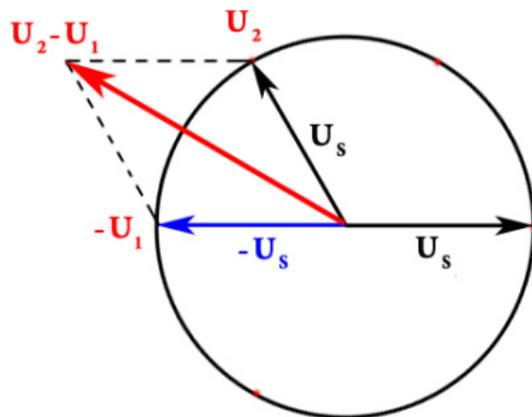
$$h = \sqrt{U_S^2 - \left(\frac{U_S}{2}\right)^2} = \frac{U_S \cdot \sqrt{3}}{2} \Rightarrow U_2 - U_1 = 2 \cdot h = U_S \cdot \sqrt{3}$$

Der Drehstrom

Spannung zwischen Phasenleiter und Nullleiter:

$$U_S = 311V, U_{eff} = \frac{U_S}{\sqrt{2}} = 220V, f = 50Hz$$

- $U_1, \varphi = 0^\circ$
- $U_2, \varphi = 120^\circ$
- $U_3, \varphi = 240^\circ$
- $U_2 - U_1 = U_S \cdot \sqrt{3}$
- **Beweise!**
 $U_2 - U_1 = U_S \cdot \sqrt{3}$



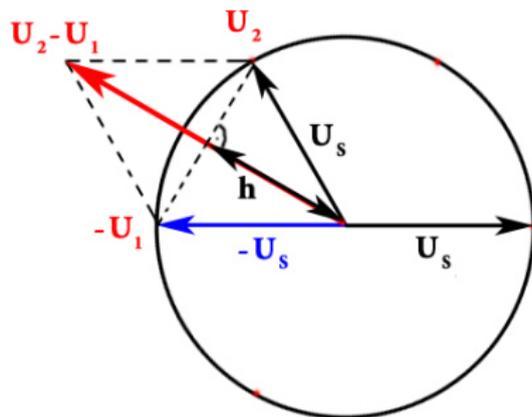
$$h = \sqrt{U_S^2 - \left(\frac{U_S}{2}\right)^2} = \frac{U_S \cdot \sqrt{3}}{2} \Rightarrow U_2 - U_1 = 2 \cdot h = U_S \cdot \sqrt{3}$$

Der Drehstrom

Spannung zwischen Phasenleiter und Nullleiter:

$$U_S = 311V, U_{eff} = \frac{U_S}{\sqrt{2}} = 220V, f = 50Hz$$

- $U_1, \varphi = 0^\circ$
- $U_2, \varphi = 120^\circ$
- $U_3, \varphi = 240^\circ$
- $U_2 - U_1 = U_S \cdot \sqrt{3}$
- **Beweise!**
 $U_2 - U_1 = U_S \cdot \sqrt{3}$



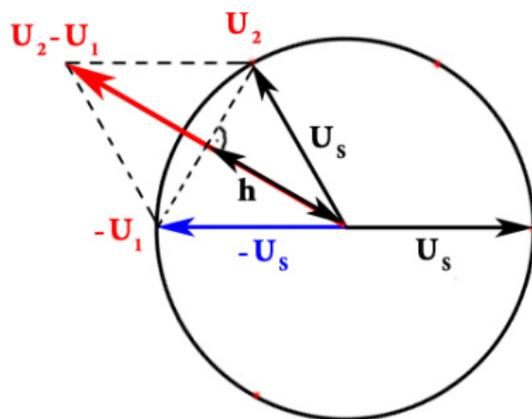
$$h = \sqrt{U_S^2 - \left(\frac{U_S}{2}\right)^2} = \frac{U_S \cdot \sqrt{3}}{2} \Rightarrow U_2 - U_1 = 2 \cdot h = U_S \cdot \sqrt{3}$$

Der Drehstrom

Spannung zwischen Phasenleiter und Nullleiter:

$$U_S = 311V, U_{\text{eff}} = \frac{U_S}{\sqrt{2}} = 220V, f = 50\text{Hz}$$

- $U_1, \varphi = 0^\circ$
- $U_2, \varphi = 120^\circ$
- $U_3, \varphi = 240^\circ$
- $U_2 - U_1 = U_S \cdot \sqrt{3}$
- **Beweise!**
 $U_2 - U_1 = U_S \cdot \sqrt{3}$

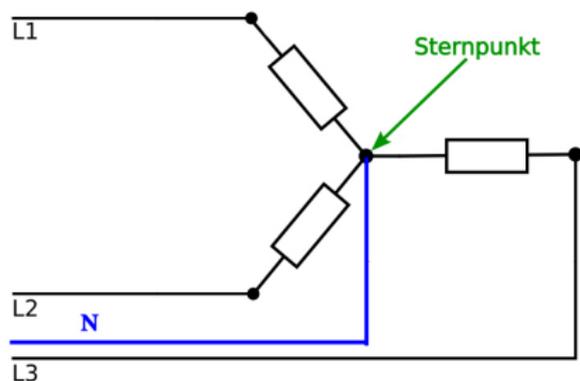


$$h = \sqrt{U_S^2 - \left(\frac{U_S}{2}\right)^2} = \frac{U_S \cdot \sqrt{3}}{2} \Rightarrow U_2 - U_1 = 2 \cdot h = U_S \cdot \sqrt{3}$$

Die Sternschaltung

- $U_L - U_N = 220\text{ V}$
- $U_2 - U_3 = U_{LN} \cdot \sqrt{3}$
- 2 Spannungen stehen zur Verfügung
- Neutraleiter fast stromlos, bei gleichmäßiger Belastung der Phasen!

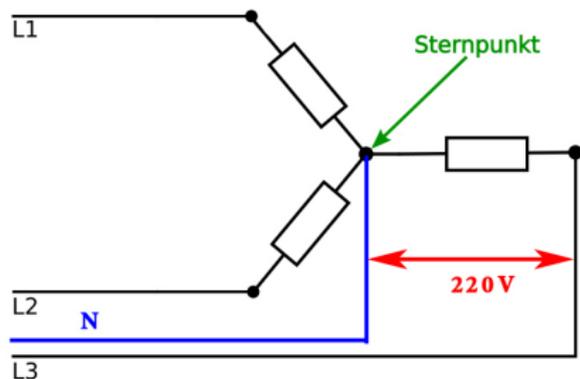
$$I_N = I_1 + I_2 + I_3 = 0$$



Die Sternschaltung

- $U_L - U_N = 220\text{V}$
- $U_2 - U_3 = U_{LN} \cdot \sqrt{3}$
- 2 Spannungen stehen zur Verfügung
- Neutralleiter fast stromlos, bei gleichmäßiger Belastung der Phasen!

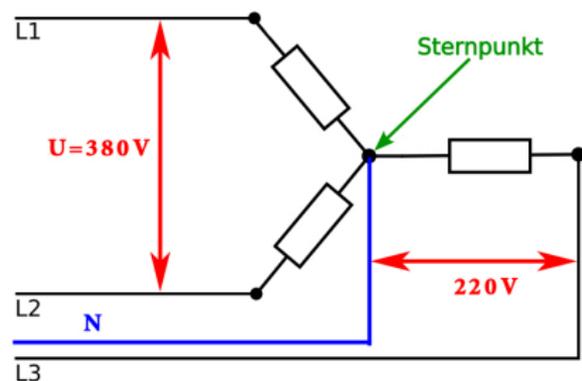
$$I_N = I_1 + I_2 + I_3 = 0$$



Die Sternschaltung

- $U_L - U_N = 220\text{V}$
- $U_2 - U_3 = U_{LN} \cdot \sqrt{3}$
- 2 Spannungen stehen zur Verfügung
- Neutraleiter fast stromlos, bei gleichmäßiger Belastung der Phasen!

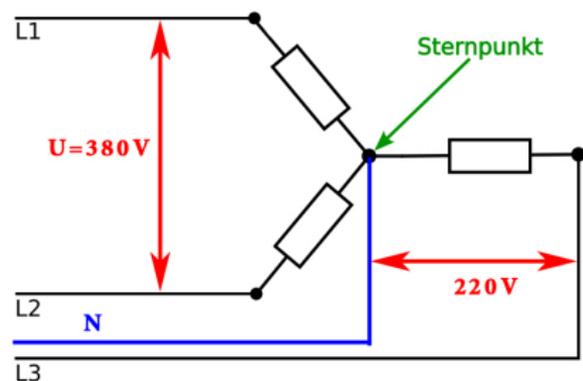
$$I_N = I_1 + I_2 + I_3 = 0$$



Die Sternschaltung

- $U_L - U_N = 220\text{V}$
- $U_2 - U_3 = U_{LN} \cdot \sqrt{3}$
- 2 Spannungen stehen zur Verfügung
- Neutralleiter fast stromlos, bei gleichmäßiger Belastung der Phasen!

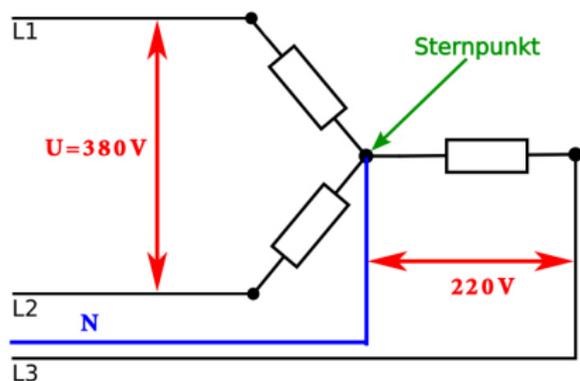
$$I_N = I_1 + I_2 + I_3 = 0$$



Die Sternschaltung

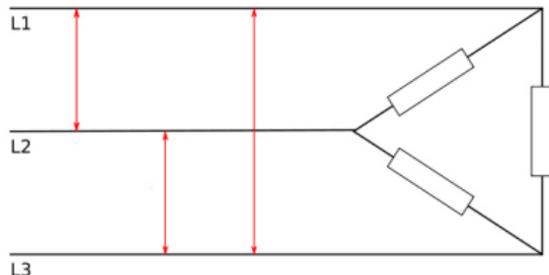
- $U_L - U_N = 220\text{V}$
- $U_2 - U_3 = U_{LN} \cdot \sqrt{3}$
- 2 Spannungen stehen zur Verfügung
- Neutraleiter fast stromlos, bei gleichmäßiger Belastung der Phasen!

$$I_N = I_1 + I_2 + I_3 = 0$$



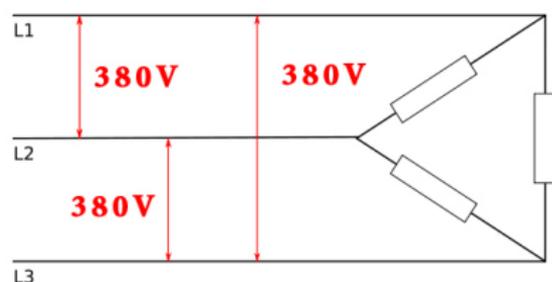
Die Dreieckschaltung

- Neutralleiter entfällt!
- $U_{1,2} = U_2 - U_1 = 380\text{ V}$
- $I_{1,2} = I_2 - I_1 = I_{\text{eff}} \cdot \sqrt{3}$
Die Ströme sind verkettet.
- $P = U_{1,2} \cdot I_{1,2} =$
 $U_{\text{eff}} \cdot \sqrt{3} \cdot I_{\text{eff}} \cdot \sqrt{3} = 3 \cdot U_{\text{eff}} I_{\text{eff}}$
- 3-fache Leistung gegenüber
der Sternschaltung,
für den Betrieb
leistungsstarker Geräte
geeignet



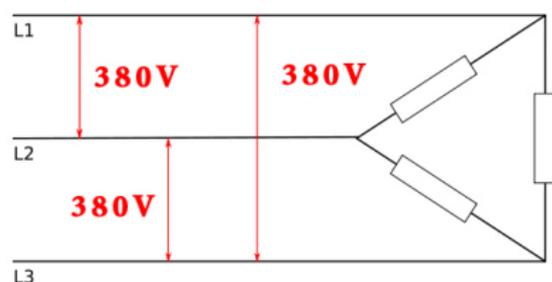
Die Dreieckschaltung

- Neutralleiter entfällt!
- $U_{1,2} = U_2 - U_1 = 380\text{V}$
- $I_{1,2} = I_2 - I_1 = I_{\text{eff}} \cdot \sqrt{3}$
Die Ströme sind verkettet.
- $P = U_{1,2} \cdot I_{1,2} =$
 $U_{\text{eff}} \cdot \sqrt{3} \cdot I_{\text{eff}} \cdot \sqrt{3} = 3 \cdot U_{\text{eff}} I_{\text{eff}}$
- 3-fache Leistung gegenüber
der Sternschaltung,
für den Betrieb
leistungsstarker Geräte
geeignet



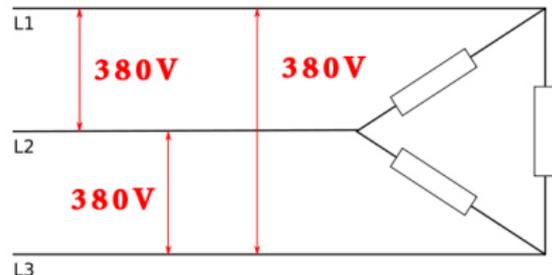
Die Dreieckschaltung

- Neutralleiter entfällt!
- $U_{1,2} = U_2 - U_1 = 380\text{V}$
- $I_{1,2} = I_2 - I_1 = I_{\text{eff}} \cdot \sqrt{3}$
Die Ströme sind verkettet.
- $P = U_{1,2} \cdot I_{1,2} =$
 $U_{\text{eff}} \cdot \sqrt{3} \cdot I_{\text{eff}} \cdot \sqrt{3} = 3 \cdot U_{\text{eff}} I_{\text{eff}}$
- 3-fache Leistung gegenüber
der Sternschaltung,
für den Betrieb
leistungsstarker Geräte
geeignet



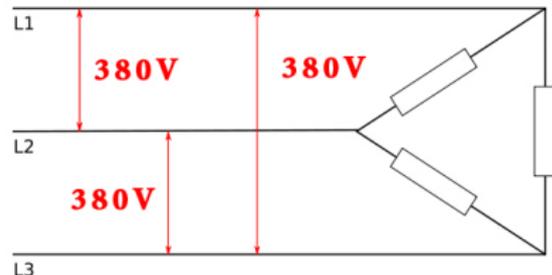
Die Dreieckschaltung

- Neutralleiter entfällt!
- $U_{1,2} = U_2 - U_1 = 380\text{V}$
- $I_{1,2} = I_2 - I_1 = I_{\text{eff}} \cdot \sqrt{3}$
Die Ströme sind verkettet.
- $P = U_{1,2} \cdot I_{1,2} =$
 $U_{\text{eff}} \cdot \sqrt{3} \cdot I_{\text{eff}} \cdot \sqrt{3} = 3 \cdot U_{\text{eff}} I_{\text{eff}}$
- 3-fache Leistung gegenüber
der Sternschaltung,
für den Betrieb
leistungsstarker Geräte
geeignet



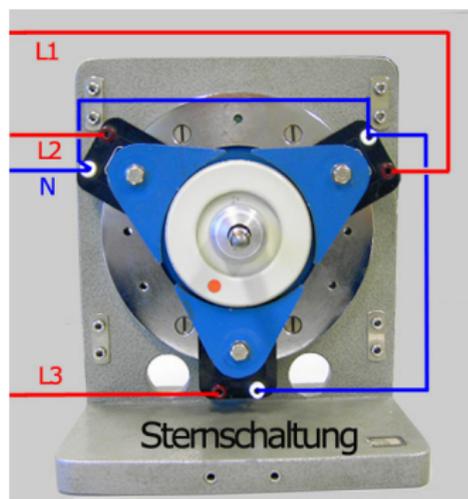
Die Dreieckschaltung

- Neutralleiter entfällt!
- $U_{1,2} = U_2 - U_1 = 380\text{V}$
- $I_{1,2} = I_2 - I_1 = I_{\text{eff}} \cdot \sqrt{3}$
Die Ströme sind verkettet.
- $P = U_{1,2} \cdot I_{1,2} =$
 $U_{\text{eff}} \cdot \sqrt{3} \cdot I_{\text{eff}} \cdot \sqrt{3} = 3 \cdot U_{\text{eff}} I_{\text{eff}}$
- 3-fache Leistung gegenüber
der Sternschaltung,
für den Betrieb
leistungsstarker Geräte
geeignet



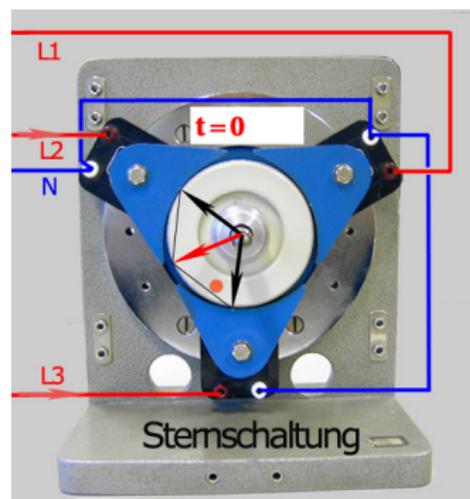
Der Drehstrommotor

- Sternschaltung
 - $t = 0 \Rightarrow I_1 = 0, I_2 \neq 0, I_3 \neq 0$
 - $t = \frac{T}{3} \Rightarrow I_1 \neq 0, I_2 \neq 0, I_3 = 0$
 - $t = \frac{2 \cdot T}{3} \Rightarrow I_1 \neq 0, I_2 = 0, I_3 \neq 0$
 - Rotierender Magnetfeldvektor induziert Spannung im Käfiganker.
 - Auf den Leiter l wirkt durch das Magnetfeld B die Lorentzkraft F .
 - Der Anker (ω) dreht sich langsamer als das Magnetfeld (ω_0).
 - Durch den „Schlupf“ entsteht eine gut Leistungsanpassung.



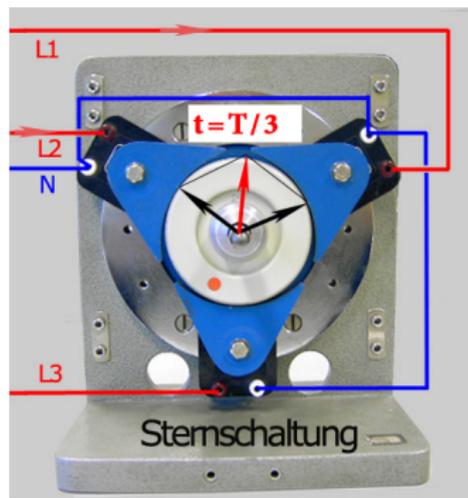
Der Drehstrommotor

- Sternschaltung
- $t = 0 \Rightarrow I_1 = 0, I_2 \neq 0, I_3 \neq 0$
- $t = \frac{T}{3} \Rightarrow I_1 \neq 0, I_2 \neq 0, I_3 = 0$
- $t = \frac{2 \cdot T}{3} \Rightarrow I_1 \neq 0, I_2 = 0, I_3 \neq 0$
- Rotierender Magnetfeldvektor induziert Spannung im Käfiganker.
- Auf den Leiter I wirkt durch das Magnetfeld B die Lorentzkraft F.
- Der Anker (ω) dreht sich langsamer als das Magnetfeld (ω_0).
- Durch den „Schlupf“ entsteht eine gut Leistungsanpassung.



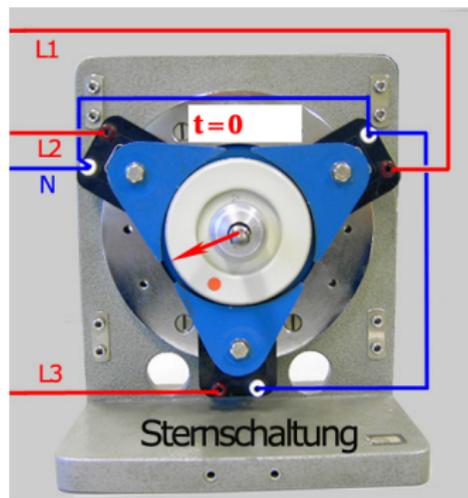
Der Drehstrommotor

- Sternschaltung
 - $t = 0 \Rightarrow I_1 = 0, I_2 \neq 0, I_3 \neq 0$
 - $t = \frac{T}{3} \Rightarrow I_1 \neq 0, I_2 \neq 0, I_3 = 0$
 - $t = \frac{2 \cdot T}{3} \Rightarrow I_1 \neq 0, I_2 = 0, I_3 \neq 0$
- Rotierender Magnetfeldvektor induziert Spannung im Käfiganker.
- Auf den Leiter l wirkt durch das Magnetfeld B die Lorentzkraft F .
- Der Anker (ω) dreht sich langsamer als das Magnetfeld (ω_0).
- Durch den „Schlupf“ entsteht eine gut Leistungsanpassung.



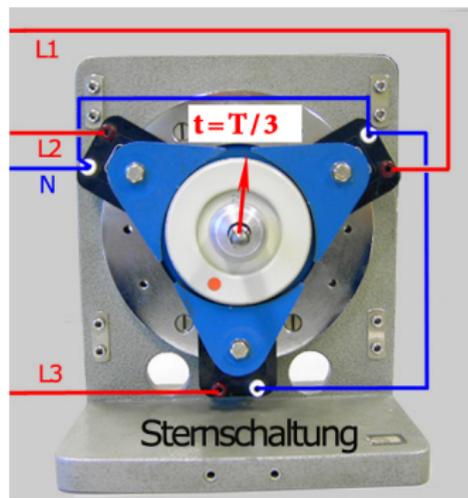
Der Drehstrommotor

- Sternschaltung
 - $t = 0 \Rightarrow I_1 = 0, I_2 \neq 0, I_3 \neq 0$
 - $t = \frac{T}{3} \Rightarrow I_1 \neq 0, I_2 \neq 0, I_3 = 0$
 - $t = \frac{2 \cdot T}{3} \Rightarrow I_1 \neq 0, I_2 = 0, I_3 \neq 0$
- **Rotierender Magnetfeldvektor induziert Spannung im Käfiganker.**
- Auf den **Leiter I** wirkt durch das **Magnetfeld B** die **Lorentzkraft F**.
- Der Anker (ω) dreht sich langsamer als das Magnetfeld (ω_0).
- Durch den „Schlupf“ entsteht eine gut Leistungsanpassung.



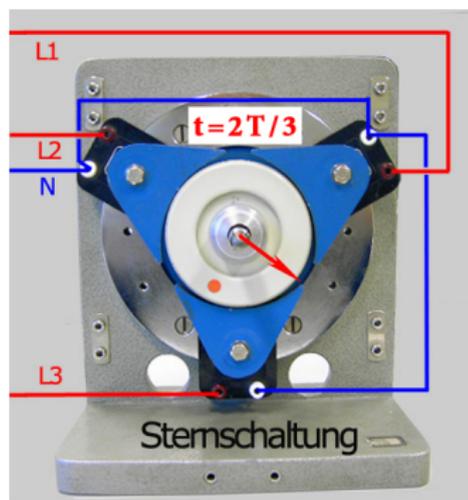
Der Drehstrommotor

- Sternschaltung
 - $t = 0 \Rightarrow I_1 = 0, I_2 \neq 0, I_3 \neq 0$
 - $t = \frac{T}{3} \Rightarrow I_1 \neq 0, I_2 \neq 0, I_3 = 0$
 - $t = \frac{2 \cdot T}{3} \Rightarrow I_1 \neq 0, I_2 = 0, I_3 \neq 0$
- **Rotierender Magnetfeldvektor induziert Spannung im Käfiganker.**
- Auf den **Leiter I** wirkt durch das **Magnetfeld B** die **Lorentzkraft F**.
- Der Anker (ω) dreht sich langsamer als das Magnetfeld (ω_0).
- Durch den „Schlupf“ entsteht eine gut Leistungsanpassung.



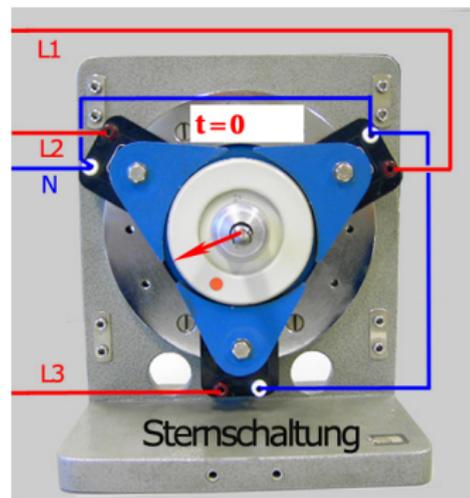
Der Drehstrommotor

- Sternschaltung
 - $t = 0 \Rightarrow I_1 = 0, I_2 \neq 0, I_3 \neq 0$
 - $t = \frac{T}{3} \Rightarrow I_1 \neq 0, I_2 \neq 0, I_3 = 0$
 - $t = \frac{2 \cdot T}{3} \Rightarrow I_1 \neq 0, I_2 = 0, I_3 \neq 0$
- **Rotierender Magnetfeldvektor induziert Spannung im Käfiganker.**
- Auf den **Leiter I** wirkt durch das **Magnetfeld B** die **Lorentzkraft F**.
- Der Anker (ω) dreht sich langsamer als das Magnetfeld (ω_0).
- Durch den „Schlupf“ entsteht eine gut Leistungsanpassung.



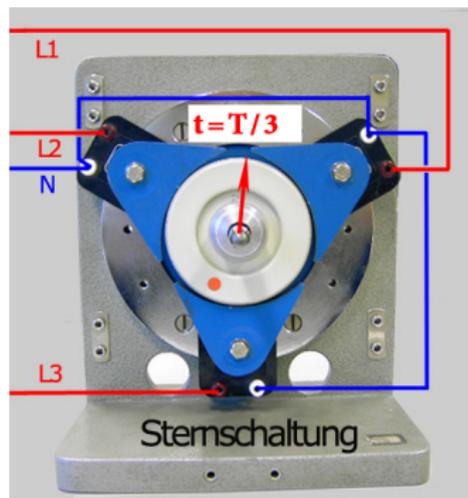
Der Drehstrommotor

- Sternschaltung
 - $t = 0 \Rightarrow I_1 = 0, I_2 \neq 0, I_3 \neq 0$
 - $t = \frac{T}{3} \Rightarrow I_1 \neq 0, I_2 \neq 0, I_3 = 0$
 - $t = \frac{2 \cdot T}{3} \Rightarrow I_1 \neq 0, I_2 = 0, I_3 \neq 0$
- **Rotierender Magnetfeldvektor induziert Spannung im Käfiganker.**
- Auf den **Leiter l** wirkt durch das **Magnetfeld B** die **Lorentzkraft F**.
- Der Anker (ω) dreht sich langsamer als das Magnetfeld (ω_0).
- Durch den „Schlupf“ entsteht eine gut Leistungsanpassung.



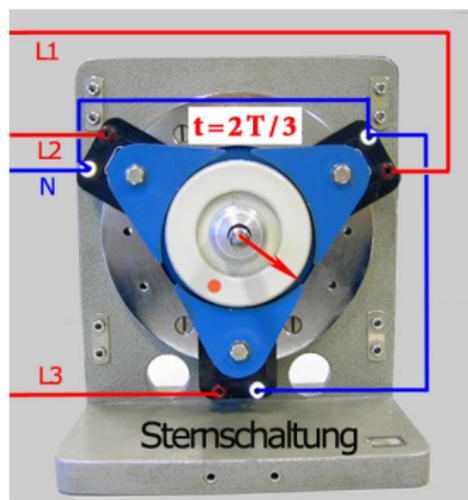
Der Drehstrommotor

- Sternschaltung
 - $t = 0 \Rightarrow I_1 = 0, I_2 \neq 0, I_3 \neq 0$
 - $t = \frac{T}{3} \Rightarrow I_1 \neq 0, I_2 \neq 0, I_3 = 0$
 - $t = \frac{2 \cdot T}{3} \Rightarrow I_1 \neq 0, I_2 = 0, I_3 \neq 0$
- **Rotierender Magnetfeldvektor induziert Spannung im Käfiganker.**
- Auf den **Leiter I** wirkt durch das **Magnetfeld B** die **Lorentzkraft F**.
- Der Anker (ω) dreht sich langsamer als das Magnetfeld (ω_0).
- Durch den „Schlupf“ entsteht eine gut Leistungsanpassung.



Der Drehstrommotor

- Sternschaltung
 - $t = 0 \Rightarrow I_1 = 0, I_2 \neq 0, I_3 \neq 0$
 - $t = \frac{T}{3} \Rightarrow I_1 \neq 0, I_2 \neq 0, I_3 = 0$
 - $t = \frac{2 \cdot T}{3} \Rightarrow I_1 \neq 0, I_2 = 0, I_3 \neq 0$
- **Rotierender Magnetfeldvektor induziert Spannung im Käfiganker.**
- Auf den **Leiter I** wirkt durch das **Magnetfeld B** die **Lorentzkraft F**.
- Der Anker (ω) dreht sich langsamer als das Magnetfeld (ω_0).
- Durch den „Schlupf“ entsteht eine gut Leistungsanpassung.



Der Drehstrommotor

- Sternschaltung
 - $t = 0 \Rightarrow I_1 = 0, I_2 \neq 0, I_3 \neq 0$
 - $t = \frac{T}{3} \Rightarrow I_1 \neq 0, I_2 \neq 0, I_3 = 0$
 - $t = \frac{2 \cdot T}{3} \Rightarrow I_1 \neq 0, I_2 = 0, I_3 \neq 0$
- **Rotierender Magnetfeldvektor induziert Spannung im Käfiganker.**
- Auf den **Leiter l** wirkt durch das **Magnetfeld B** die **Lorentzkraft F**.
- Der Anker (ω) dreht sich langsamer als das Magnetfeld (ω_0).
- Durch den „Schlupf“ entsteht eine gut Leistungsanpassung.



Der Drehstrommotor

- Sternschaltung
 - $t = 0 \Rightarrow I_1 = 0, I_2 \neq 0, I_3 \neq 0$
 - $t = \frac{T}{3} \Rightarrow I_1 \neq 0, I_2 \neq 0, I_3 = 0$
 - $t = \frac{2 \cdot T}{3} \Rightarrow I_1 \neq 0, I_2 = 0, I_3 \neq 0$
- **Rotierender Magnetfeldvektor induziert Spannung im Käfiganker.**
- Auf den **Leiter l** wirkt durch das **Magnetfeld B** die **Lorentzkraft F**.
- Der Anker (ω) dreht sich langsamer als das Magnetfeld (ω_0).
- Durch den „Schlupf“ entsteht eine gut Leistungsanpassung.



Der Drehstrommotor

- Sternschaltung
 - $t = 0 \Rightarrow I_1 = 0, I_2 \neq 0, I_3 \neq 0$
 - $t = \frac{T}{3} \Rightarrow I_1 \neq 0, I_2 \neq 0, I_3 = 0$
 - $t = \frac{2 \cdot T}{3} \Rightarrow I_1 \neq 0, I_2 = 0, I_3 \neq 0$
- Rotierender Magnetfeldvektor induziert Spannung im Käfiganker.
- Auf den Leiter l wirkt durch das Magnetfeld B die Lorentzkraft F .
- Der Anker (ω) dreht sich langsamer als das Magnetfeld (ω_0).
- Durch den „Schlupf“ entsteht eine gut Leistungsanpassung.



Der Drehstrommotor

- Sternschaltung
 - $t = 0 \Rightarrow I_1 = 0, I_2 \neq 0, I_3 \neq 0$
 - $t = \frac{T}{3} \Rightarrow I_1 \neq 0, I_2 \neq 0, I_3 = 0$
 - $t = \frac{2 \cdot T}{3} \Rightarrow I_1 \neq 0, I_2 = 0, I_3 \neq 0$
- **Rotierender Magnetfeldvektor induziert Spannung im Käfiganker.**
- Auf den Leiter l wirkt durch das Magnetfeld B die Lorentzkraft F .
- Der Anker (ω) dreht sich langsamer als das Magnetfeld (ω_0).
- Durch den „Schlupf“ entsteht eine gut Leistungsanpassung.



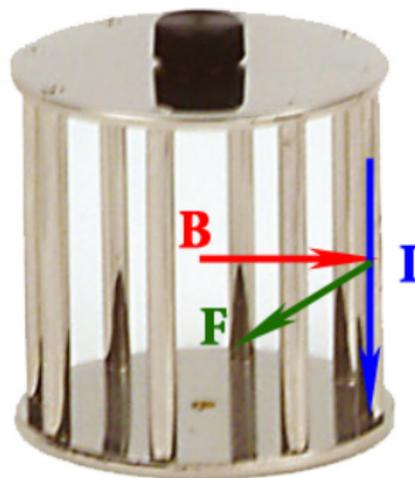
Der Drehstrommotor

- Sternschaltung
 - $t = 0 \Rightarrow I_1 = 0, I_2 \neq 0, I_3 \neq 0$
 - $t = \frac{T}{3} \Rightarrow I_1 \neq 0, I_2 \neq 0, I_3 = 0$
 - $t = \frac{2 \cdot T}{3} \Rightarrow I_1 \neq 0, I_2 = 0, I_3 \neq 0$
- **Rotierender Magnetfeldvektor induziert Spannung im Käfiganker.**
- Auf den **Leiter l** wirkt durch das **Magnetfeld B** die **Lorentzkraft F**.
- Der Anker (ω) dreht sich langsamer als das Magnetfeld (ω_0).
- Durch den „Schlupf“ entsteht eine gut Leistungsanpassung.



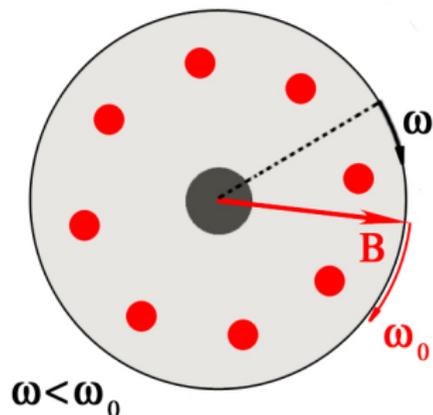
Der Drehstrommotor

- Sternschaltung
 - $t = 0 \Rightarrow I_1 = 0, I_2 \neq 0, I_3 \neq 0$
 - $t = \frac{T}{3} \Rightarrow I_1 \neq 0, I_2 \neq 0, I_3 = 0$
 - $t = \frac{2 \cdot T}{3} \Rightarrow I_1 \neq 0, I_2 = 0, I_3 \neq 0$
 - Rotierender Magnetfeldvektor induziert Spannung im Käfiganker.
- Auf den Leiter I wirkt durch das Magnetfeld B die Lorentzkraft F.
- Der Anker (ω) dreht sich langsamer als das Magnetfeld (ω_0).
- Durch den „Schlupf“ entsteht eine gut Leistungsanpassung.



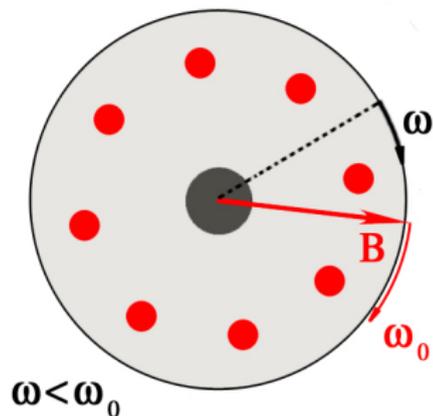
Der Drehstrommotor

- Sternschaltung
 - $t = 0 \Rightarrow I_1 = 0, I_2 \neq 0, I_3 \neq 0$
 - $t = \frac{T}{3} \Rightarrow I_1 \neq 0, I_2 \neq 0, I_3 = 0$
 - $t = \frac{2 \cdot T}{3} \Rightarrow I_1 \neq 0, I_2 = 0, I_3 \neq 0$
 - Rotierender Magnetfeldvektor induziert Spannung im Käfiganker.
 - Auf den Leiter l wirkt durch das Magnetfeld B die Lorentzkraft F.
- Der Anker (ω) dreht dich langsamer als das Magnetfeld (ω_0).
- Durch den „Schlupf“ entsteht eine gut Leistungsanpassung.



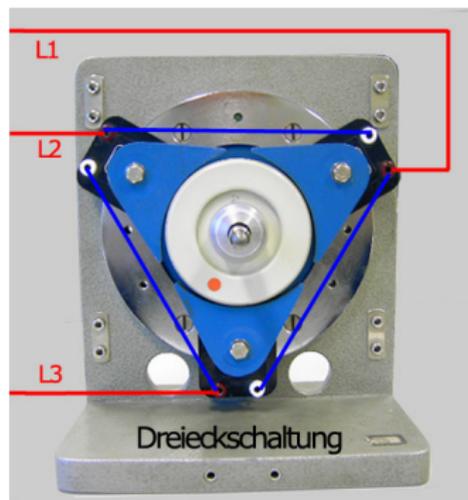
Der Drehstrommotor

- Sternschaltung
 - $t = 0 \Rightarrow I_1 = 0, I_2 \neq 0, I_3 \neq 0$
 - $t = \frac{T}{3} \Rightarrow I_1 \neq 0, I_2 \neq 0, I_3 = 0$
 - $t = \frac{2 \cdot T}{3} \Rightarrow I_1 \neq 0, I_2 = 0, I_3 \neq 0$
- Rotierender Magnetfeldvektor induziert Spannung im Käfiganker.
- Auf den Leiter l wirkt durch das Magnetfeld B die Lorentzkraft F.
- Der Anker (ω) dreht dich langsamer als das Magnetfeld (ω_0).
- Durch den „Schlupf“ entsteht eine gut Leistungsanpassung.



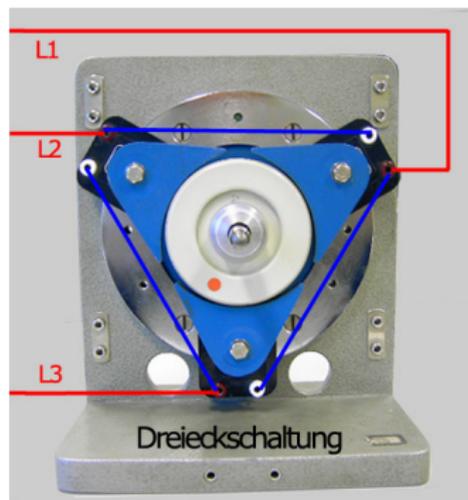
Der Drehstrommotor

- Dreieckschaltung
- Erzielt höhere Leistung
($P = 3 * U_{eff} * I_{eff}$)
- Besonders geeignet für leistungsstarke Antriebe (z.B.: ÖBB - Taurus, $f=16,7\text{Hz}$, $U=15\text{kV}$)!
- Vorteile: robuste Bauweise, hohe Leistung, kein Kommutator, keine Kohlebürsten, wartungsfrei
- Nachteile: Problematisch ist das Starten des Motors mit Kurzschlüpfen, Steuerung über Elektronik schwierig, Verluste bei Stromumwandlung.



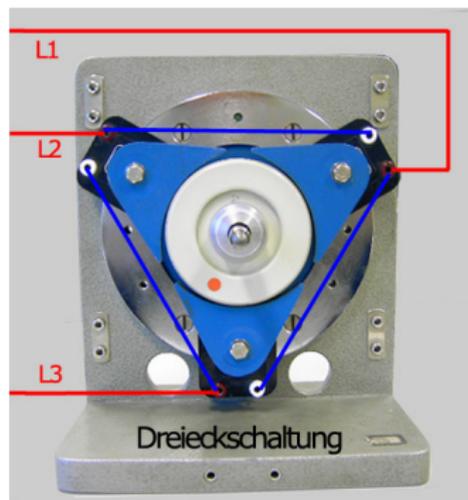
Der Drehstrommotor

- Dreieckschaltung
- Erzielt höhere Leistung
($P = 3 * U_{eff} * I_{eff}$)
- Besonders geeignet für leistungsstarke Antriebe (z.B.: ÖBB - Taurus, $f=16,7\text{Hz}$, $U=15\text{kV}$)!
- Vorteile: robuste Bauweise, hohe Leistung, kein Kommutator, keine Kohlebürsten, wartungsfrei
- Nachteile: Problematisch ist das Starten des Motors mit Kurzschlauer, Steuerung über Elektronik schwierig, Verluste bei Stromumwandlung.



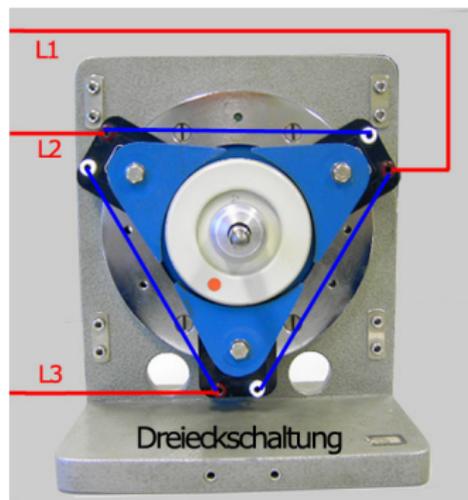
Der Drehstrommotor

- Dreieckschaltung
- Erzielt höhere Leistung
($P = 3 * U_{eff} * I_{eff}$)
- Besonders geeignet für leistungsstarke Antriebe (z.B.: ÖBB - Taurus, $f=16,7\text{Hz}$, $U=15\text{kV}$)!
- Vorteile: robuste Bauweise, hohe Leistung, kein Kommutator, keine Kohlebürsten, wartungsfrei
- Nachteile: Problematisch ist das Starten des Motors mit Kurzschlüpfen, Steuerung über Elektronik schwierig, Verluste bei Stromumwandlung.



Der Drehstrommotor

- Dreieckschaltung
- Erzielt höhere Leistung
($P = 3 * U_{eff} * I_{eff}$)
- Besonders geeignet für leistungsstarke Antriebe (z.B.: ÖBB - Taurus, $f=16,7\text{Hz}$, $U=15\text{kV}$)!
- Vorteile: robuste Bauweise, hohe Leistung, kein Kommutator, keine Kohlebürsten, wartungsfrei
- Nachteile: Problematisch ist das Starten des Motors mit Kurzschlauer, Steuerung über Elektronik schwierig, Verluste bei Stromumwandlung.



Der Drehstrommotor

- Dreieckschaltung
- Erzielt höhere Leistung
($P = 3 * U_{eff} * I_{eff}$)
- Besonders geeignet für leistungsstarke Antriebe (z.B.: ÖBB - Taurus, $f=16,7\text{Hz}$, $U=15\text{kV}$)!
- Vorteile: robuste Bauweise, hohe Leistung, kein Kommutator, keine Kohlebürsten, wartungsfrei
- Nachteile: Problematisch ist das Starten des Motors mit Kurzschlüfer, Steuerung über Elektronik schwierig, Verluste bei Stromumwandlung.

