

# Ausbildungsprogramm für Studienaussteiger/innen

## Wechsel- und Drehstromtechnik

*Skript*

Helmut Windschiagl  
OTH mind - BMBF Verbundprojekt  
**#aufstieggestalten**

2017



Dieses Material ist lizenziert unter einer Creative Commons Namensnennung - Weitergabe unter gleichen Bedingungen 4.0 International Lizenz (CC BY-SA 4.0). Bei einer Weitergabe soll der Name des Urhebers wie folgt genannt werden: „Helmut Windschiagl, OTH mind #aufstieggestalten, OTH Amberg-Weiden“.

# 1. GRUNDLAGEN DER WECHSELSTROMTECHNIK

## 1.1 Wechselstrom

*Wechselstrom bezeichnet elektrischen Strom, der seine Richtung (Polung) in regelmäßiger Wiederholung ändert und bei dem sich positive und negative Augenblickswerte so ergänzen, dass der Strom im zeitlichen Mittel null ist.*

*Abzugrenzen ist der Wechselstrom von Gleichstrom, der sich (abgesehen von Schaltvorgängen oder Einflusseffekten) zeitlich nicht ändert, und von Mischstrom als einer Überlagerung von beiden.*

*Wechselstrom und Wechselspannung werden durch die Kurzbezeichnung AC gekennzeichnet.*

Weltweit wird die elektrische Energieversorgung am häufigsten mit sinusförmigem Wechselstrom vorgenommen.

Die Gründe für diese Bevorzugung sind die einfache Erzeugung und einfache Transformation der Wechselspannung.

Im Haushaltsbereich ist der **Einphasenwechselstrom** üblich.

Daneben gibt es verkettete **Dreiphasenwechselstrom-Systeme** zur verlustarmen Fernübertragung mit hochgespanntem Wechselstrom und für einfache Motoren mit hohem Wirkungsgrad.

Für die Energieübertragung sind am Wechselstrom dessen Wirkstrom- und Blindstromanteile zu beachten.

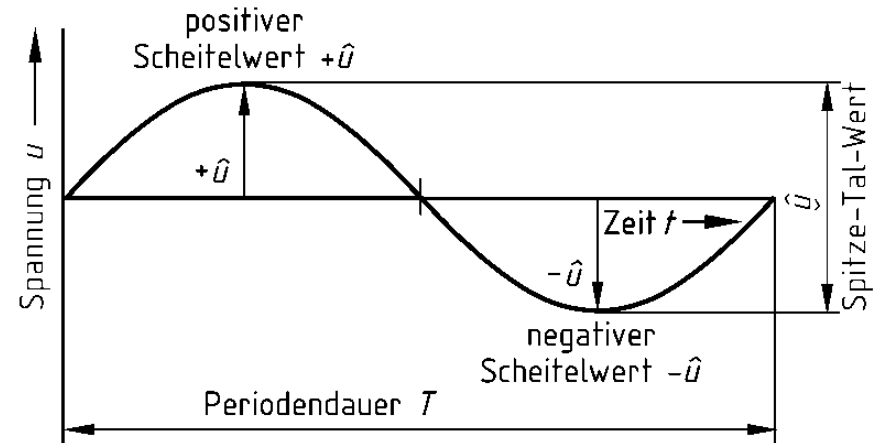
Hochfrequente Wechselströme werden in der Nachrichtentechnik und in der Elektromedizin verwendet.

## 1.2 Kenngrößen der Wechselstromtechnik (1)

### Periode und Scheitelwert:

Die Wechselspannung ändert sich ständig zwischen einem positiven und einem negativen Höchstwert.

Der Höchstwert wird als Scheitelwert (auch Spitzenwert, Maximalwert oder Amplitude) bezeichnet.



Zeitlicher Verlauf einer Wechselspannung

### Frequenz und Periodendauer:

Die Anzahl der Perioden je Sekunde nennt man Frequenz  $f$  (Häufigkeit).

Die Einheit der Frequenz ist Hertz.

Die Frequenz ist der Kehrwert der Periodendauer  $T$ .

Eine Periode besteht aus zwei Halbperioden.

Die Zeitdauer einer Periode bezeichnet man als Periodendauer oder Schwingungsdauer  $T$ .

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

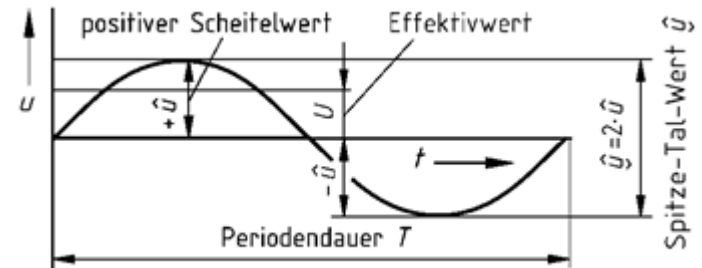
## 1.2 Kenngrößen der Wechselstromtechnik (2)

*Der Effektivwert gibt denjenigen Wert einer Gleichgröße an, der an einem ohmschen Verbraucher in einer repräsentativen Zeitspanne dieselbe elektrische Energie, also auch im Gleichwert dieselbe elektrische Leistung, umsetzt.*

*Effektivwerte werden wie Gleichstromgrößen mit Großbuchstaben bezeichnet.*

Unter dem Effektivwert versteht man in der Elektrotechnik den quadratischen Mittelwert einer zeitlich veränderlichen physikalischen Größe.

Der Effektivwert hängt sowohl vom Scheitelwert als auch von der Kurvenform ab.



$$U = U_{eff} = \frac{\hat{u}}{\sqrt{2}} = 0,707 * \hat{u}$$

$$I = I_{eff} = \frac{\hat{i}}{\sqrt{2}} = 0,707 * \hat{i}$$

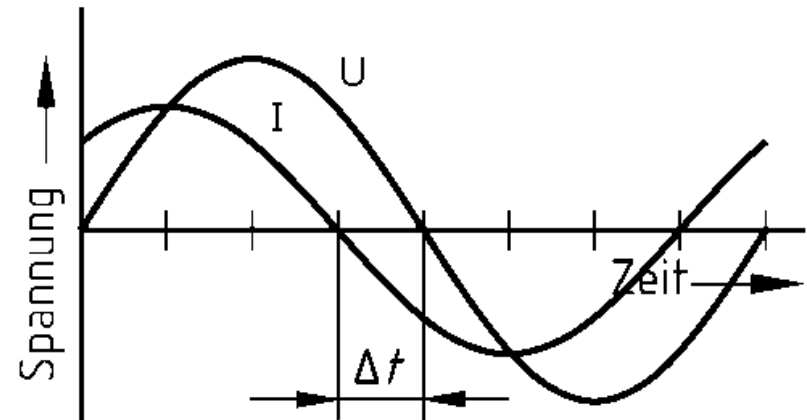
## 1.2 Kenngrößen der Wechselstromtechnik (3)

*Zwischen Sinusstrom und Sinusspannung besteht eine Phasenverschiebung, wenn Strom und Spannung zu verschiedenen Zeitpunkten ihre positiven Scheitelwerte erreichen.*

Die Größe der zeitlichen Verschiebung nennt man Phasenverschiebung.

Sie wird in der Praxis durch den **Phasenverschiebungswinkel  $\varphi$**  angegeben.

Eine Verschiebung tritt immer dann auf, wenn ein mit Wechselstrom betriebener Widerstand induktive oder kapazitive, differenzierende oder verzögernde Eigenschaften besitzt.



## 1.3 Spule im Wechselstromkreis

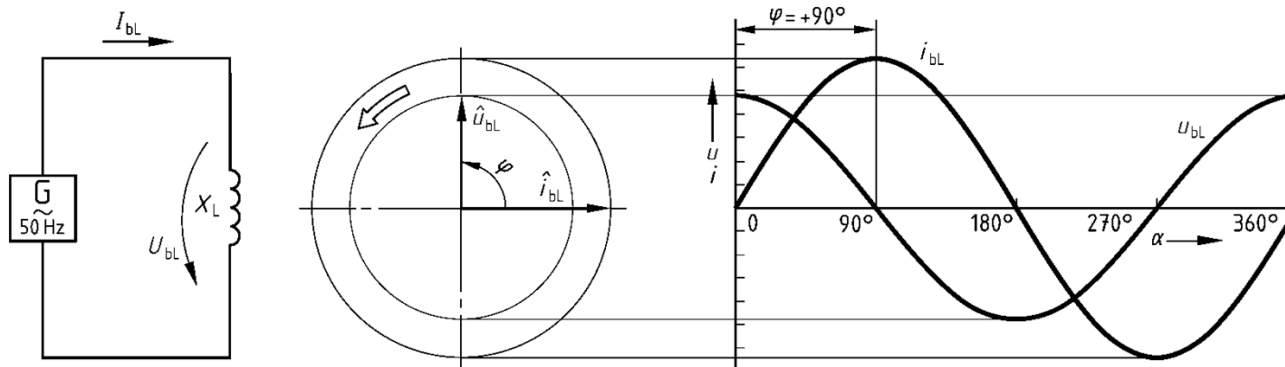
Eine Spule im Wechselstromkreis hat einen induktiven Blindwiderstand, der durch Selbstinduktion entsteht.  
 Am induktiven Blindwiderstand eilt der Wechselstrom der Wechselspannung um  $90^\circ$  nach.

Die Stromaufnahme einer Spule an Wechselspannung ist kleiner als an Gleichspannung.

Ursache dafür ist der induktive Blindwiderstand  $X_L$ .

Der induktive Blindwiderstand entsteht durch die Selbstinduktionsspannung in der Spule, die auf den Sinusstrom  $I$  hemmend wirkt.

Der induktive Blindwiderstand  $X_L$  einer Spule ist umso größer, je größer die Induktivität  $L$  der Spule und je höher die Frequenz  $f$  bzw. die Kreisfrequenz  $\omega$  ist.



## 1.4 Kondensator im Wechselstromkreis

Beim kapazitiven Blindwiderstand  $X_C$  eilt der Sinusstrom der Sinusspannung um  $90^\circ$  voraus.

Durch den Sinusstrom wird der Kondensator ständig umgeladen.

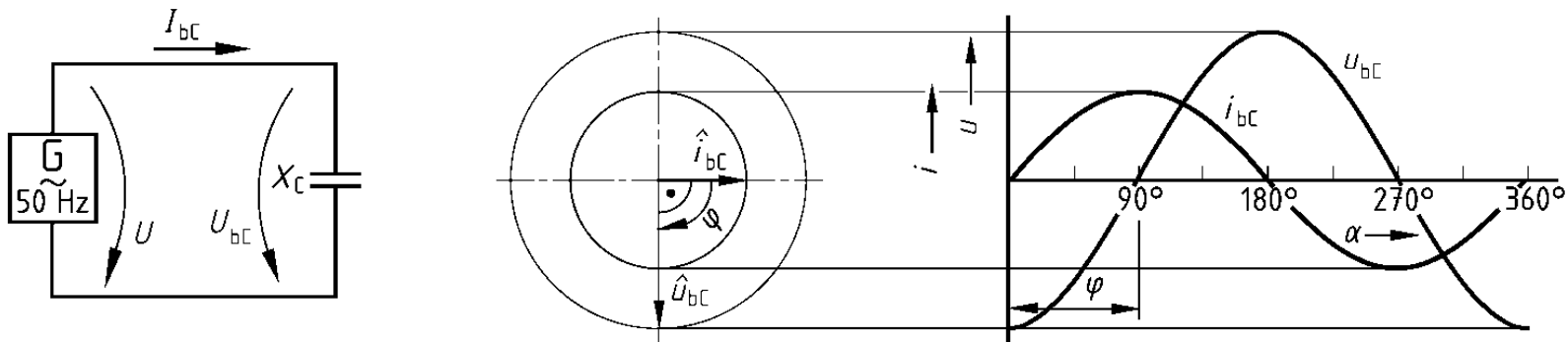
Am Kondensator entsteht eine Sinusspannung  $U_C$  mit gleicher Frequenz wie die des Sinusstromes und somit auch ein Widerstand.

Die Spannung  $U_C$  am Kondensator erreicht den Scheitelwert, wenn der Kondensatorstrom  $I_C = 0$  A ist.

Der Strom der Spannung um  $90^\circ$  voraus.

Das Verhältnis von Kondensatorspannung  $U_C$  zum Strom  $I_C$  nennt man kapazitiven Blindwiderstand  $X_C$ .

Der kapazitive Blindwiderstand eines Kondensators ist umso kleiner, je höher die Frequenz und je größer die Kapazität des Kondensators ist.





# 2. LEISTUNG IM WECHSELSTROMKREIS / EINFÜHRUNG IN DIE DREHSTROMTECHNIK

## 2.1 Leistungen im Wechselstromkreis (1)

Verwendet man einen ohmschen Widerstand, z. B. ein Heizgerät, in einem Wechselstromkreis, so sind Spannung und Strom phasengleich.

Durch Multiplikation zusammengehöriger Augenblickswerte von Strom und Spannung erhält man die Augenblickswerte der Leistung bei Wechselstrom.

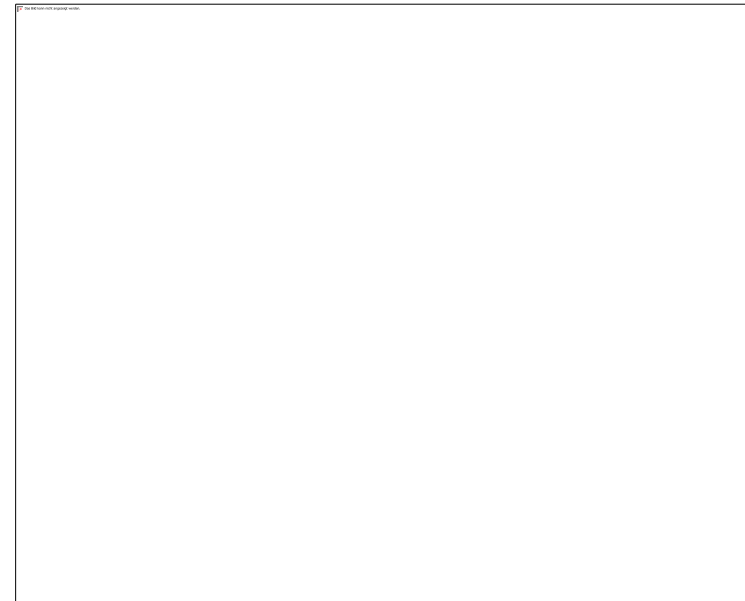
Das Linienbild der Wirkleistung  $P$  ist immer positiv.

Die Leistung hat allerdings die doppelte Frequenz wie die Spannung.

*Positive Leistung bedeutet einen Energiefluss vom Erzeuger zum Verbraucher.*

*Negative Leistung bedeutet, dass Energie an den Erzeuger zurückgeliefert wird.*

*Zur Bestimmung der Wechselstromleistung rechnet man immer mit Effektivwerten.*



Wechselstromleistung an einer ohmschen Last

## 2.1 Leistungen im Wechselstromkreis (2)

Bei Leistungen im Wechselstromkreis unterscheidet man drei Leistungsarten:

### **Wirkleistung:**

- Die Wirkleistung ist die elektrische Leistung, die für die Umwandlung in andere Leistungen (z. B. mechanische, thermische oder chemische) verfügbar ist.
- Die Wirkleistung  $P$  wird in der Einheit Watt [1 W] angegeben.

### **Blindleistung:**

- Eine Blindleistung ist eine Leistung, die keine Wirkung erzielt.
- Aus energetischer Sicht pendelt die Energie zwischen Verbraucher und Erzeuger hin und her.
- Für die Blindleistung wird die Einheit Var [1 VAR] benutzt.

### **Scheinleistung:**

- Die Multiplikation der Spannung und der Stromstärke ergibt eine scheinbare Leistung, die Scheinleistung.
- Während der Periodenabschnitte mit positiver Leistung wird Energie aus dem Netz entnommen.
- Die Differenz zwischen der Positiven Energie und der negativen Energie wird im Verbraucher in Wirkarbeit umgesetzt.
- Für die Scheinleistung wird die Einheit Voltampere [1 VA] verwendet.

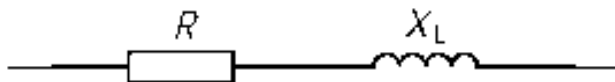
## 2.2 Leistung bei induktiver Last

Bei Spulen wird ein Teil der elektrischen Energie in unerwünschte Wärme umgesetzt.

Dadurch ist die vom Netz aufgenommene Leistung größer als die ins Netz zurückgegebene elektrische Leistung.

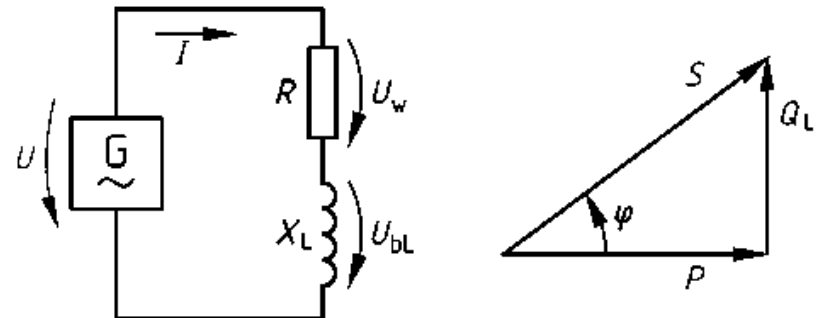
Die Differenz zwischen aufgenommener Leistung und abgegebener Leistung wird als Verlustleistung der Spule bezeichnet.

Im Ersatzschaltbild einer realen Spule werden alle Verluste, die in der Spule entstehen, in einem zusätzlichen Wirkwiderstand  $R$  zusammengefasst, weil die Spulenverluste in Wärme umgesetzt werden.



Ersatzschaltbild einer realen Spule

Der Zusammenhang zwischen der am Widerstand wirksam werdenden Wirkleistung und die an der Induktivität entstehende Blindleistung kann in einem rechtwinkligem Dreieck dargestellt werden.



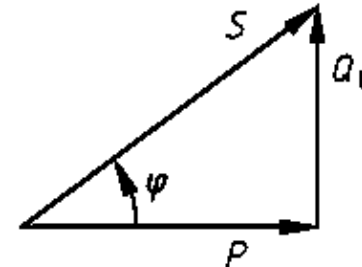
Leistungsdreieck einer realen Spule

## 2.3 Leistungsfaktor, Wirkfaktor und Blindfaktor

Der Wirkfaktor  $\cos \varphi$  gibt das Verhältnis von Wirkleistung  $P$  zur Scheinleistung  $S$  an.

Leistungsfaktor  $\lambda$  gilt für alle Wechselgrößen und berücksichtigt neben der Grundschwingung auch die Oberschwingungsblindleistung.

Das Verhältnis von Blindleistung zu Scheinleistung nennt man Blindfaktor.



$$\cos \varphi = \frac{P}{S} \quad \sin \varphi = \frac{Q_L}{S} \quad \lambda = \frac{P}{S}$$

$\cos \varphi$	Wirkfaktor
$P$	Wirkleistung
$S$	Scheinleistung
$\sin \varphi$	Blindfaktor
$Q_L$	induktive Blindleistung
$\lambda$	Leistungsfaktor

Leistungsfaktoren am Beispiel einer realen Spule

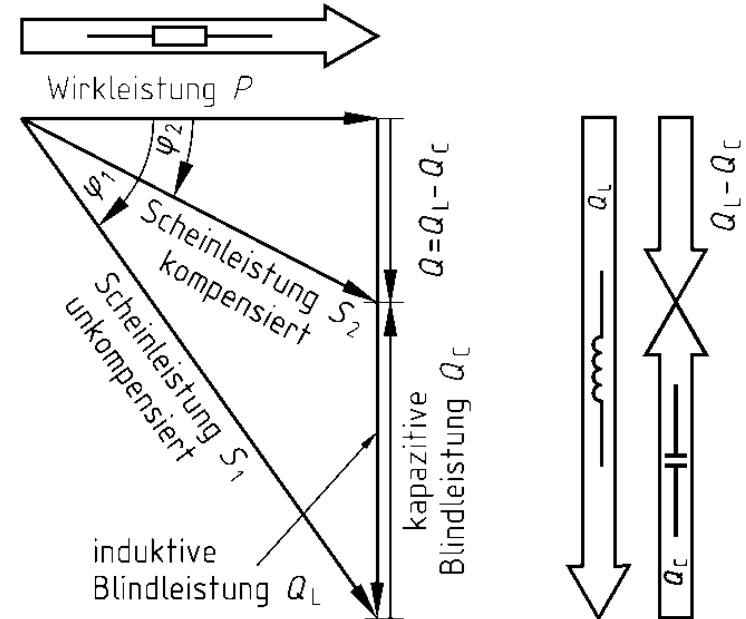
## 2.4 Kompensation

Bei der Blindleistungskompensation, auch Blindstromkompensation genannt, wird in Wechselspannungsnetzen die unerwünschte Verschiebungsblindleistung und der damit verbundene Blindstrom von elektrischen Verbrauchern reduziert.

Die Blindleistungskompensation erfolgt durch den Ausgleich induktiver oder kapazitiver Blindleistung mittels kapazitiver oder induktiver Verbraucher.

Kompensiert wird mit Kondensatoren oder Filterkreisdrosseln.

*Durch Kompensation der induktiven Blindleistung  $Q$  werden Energieübertragungseinrichtungen, z. B. Leitungen, entlastet.*



Zeigerbild bei Parallelkompensation

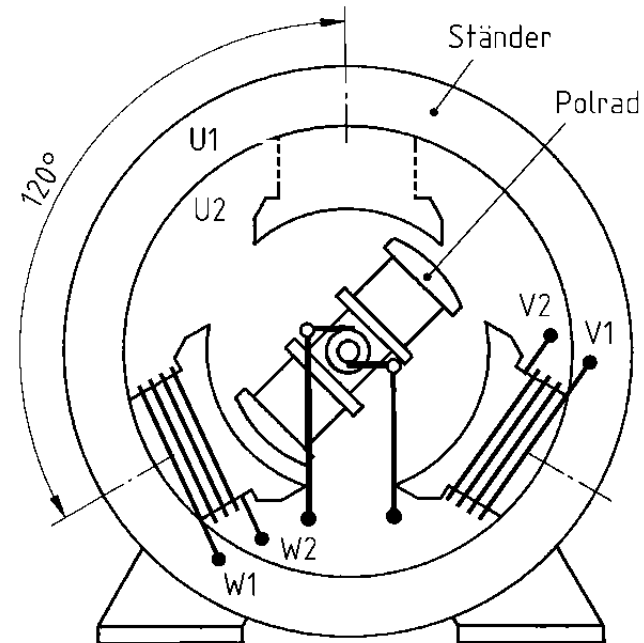
## 2.5 Dreiphasenwechselstromkreis

*Drei um  $120^\circ$  phasenverschobene und verkettete Wechselspannungen nennt man Dreiphasenwechselspannung.*

Dreht sich ein Magnet zwischen drei gleichen, um  $120^\circ$  räumlich versetzten Spulen, dann wird in jeder Spule eine Wechselspannung mit gleicher Amplitude und Frequenz induziert.

Setzt man die Spannung zwischen zwei Außenleitern, z. B.  $U_{12} = 400 \text{ V}$ , zur Spannung zwischen Außenleiter und Neutraleiter N, z. B.  $U_{1N} = 230 \text{ V}$ , ins Verhältnis, so erhält man den Verkettungsfaktor.

*Bei Drehstrom ist der Verkettungsfaktor  $\sqrt{3}$ .*



Erzeugung von Drehstrom

## 2.6 Sternschaltung

In der Sternschaltung werden die drei Außenleiterstränge eines Drehstromsystems an jeweils einem Ende zusammengeschaltet.

Der so entstandene Zusammenschluss bildet den Mittelpunkt, der auch Sternpunkt oder Neutralpunkt genannt wird.

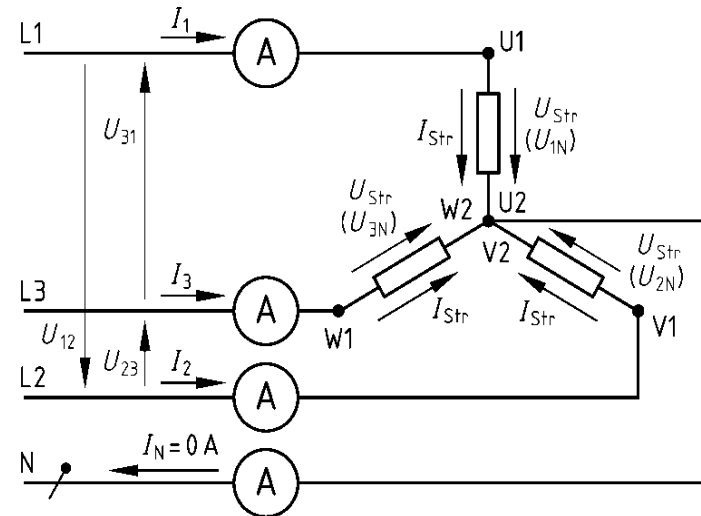
Bei Drehstrommotoren und anderen symmetrischen Lasten kann auf die Verbindung von Sternpunkt und Neutralleiter verzichtet werden, da sich hier die Ströme im Sternpunkt aufheben.

Die freien Enden werden dann mit den Außenleitern (L1, L2 und L3) verbunden.

*Bei der Sternschaltung sind die Leiterströme so groß wie die Strangströme.*

*Die Spannung an einem Strang nennt man Strangspannung  $U_{Str}$  oder Sternspannung.*

*Bei der Sternschaltung ist die Leiterspannung  $\sqrt{3}$ -mal so groß wie die Strangspannung.*



Spannungen und Ströme bei Sternschaltungen



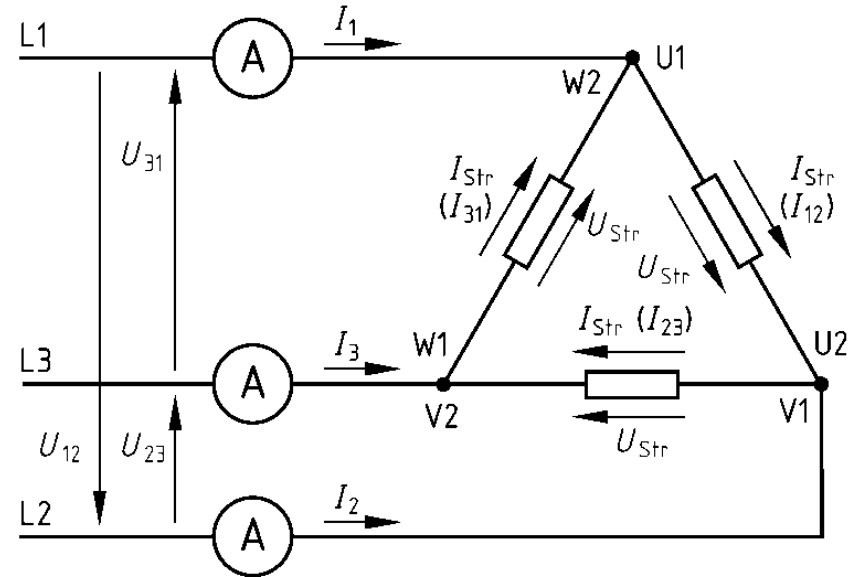
## 2.7 Dreiecksschaltung (1)

In der Dreiecksschaltung werden die drei Phasenstränge eines Drehstromsystems in Reihe geschaltet.

Das heißt, das Ende eines Phasenstrangs wird mit dem Anfang des nächsten Phasenstrangs verbunden.

Hierdurch entstehen drei Eckpunkte, an denen die Außenleiter L1, L2 und L3 angeschlossen werden.

Im Gegensatz zur Sternschaltung wird bei dieser Schaltung kein Neutralleiter N benötigt und es ist kein physischer Sternpunkt vorhanden.



Spannungen und Ströme in der Dreiecksspannung

*Bei der Dreieckschaltung ist die Strangspannung gleich der Leiterspannung.*

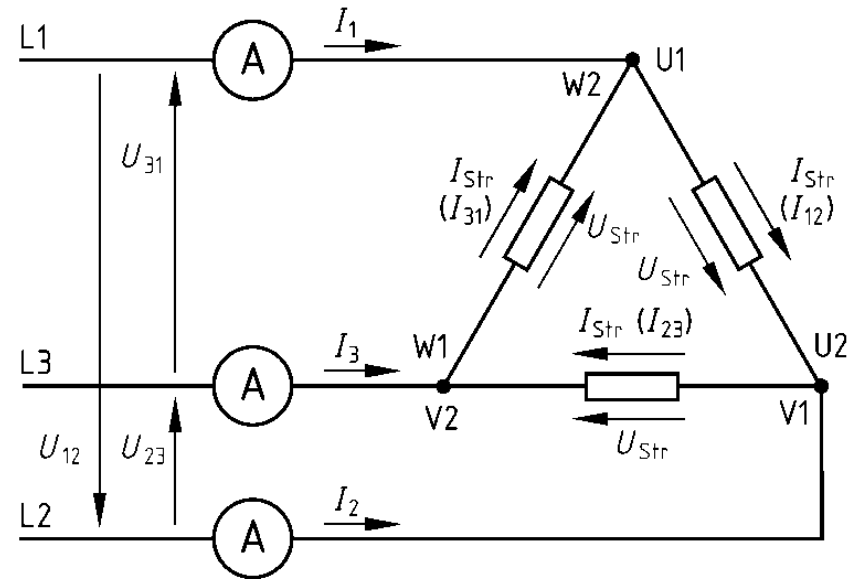
*Der Leiterstrom  $I$  ist  $\sqrt{3}$ -mal so groß wie der Strangstrom  $I_{Str}$ .*

## 2.7 Dreiecksschaltung (2)

Die Dreieckschaltung wird unter anderem bei leistungsstarken elektrischen Maschinen eingesetzt.

Zum Anlaufen dieser Maschinen wird beispielsweise die Stern-Dreieck-Anlaufschaltung verwendet.

Da die Leistung in Sternschaltung auf  $1/3$  der Leistung der Dreieckschaltung sinkt (die Widerstände der Motorwicklungen sind unveränderlich), vermeidet man hohe Anlaufströme.



Spannungen und Ströme in der Dreiecksspannung

Bei der Dreieckschaltung ist die Strangspannung gleich der Leiterspannung.

Der Leiterstrom  $I$  ist  $\sqrt{3}$ -mal so groß wie der Strangstrom  $I_{Str}$ .

## Literatur

- Arzberger, Paul; Beilschmidt, Linus; Ellerckmann, Horst; Guse, Reiner; Schwenner, Hartmut; Stobinski, Hans-Jürgen (2014): Tabellenbuch Elektroberufe. 3. Auflage. Troisdorf, Troisdorf: Bildungsverlag EINS.
- Bumiller, Horst (2016): Fachkunde Elektrotechnik. 30. überarbeitete und erweiterte Auflage. Hg. v. Klaus Tkotz. Haan-Gruiten: Verlag Europa-Lehrmittel (Europa-Lehrmittel).
- Bumiller, Horst (2016): Fachkunde Elektrotechnik. 30. überarbeitete und erweiterte Auflage. Hg. v. Klaus Tkotz. Haan-Gruiten: Verlag Europa-Lehrmittel (Europa-Lehrmittel).
- Bumiller, Horst; Tkotz, Klaus (2014): Aufgaben und Lösungen zur Fachkunde Elektrotechnik. Die Seiten "Wiederholen, Anwenden, Vertiefen". 5., überarb. und erw. Aufl. Haan-Gruiten: Europa-Lehrmittel (Europa-Fachbuchreihe für elektrotechnische Berufe).
- Dzieia, Michael (2010): Elektrotechnik - Industrieelektriker/-in. Betriebstechnik. 1. Aufl. Braunschweig: Westermann.
- Dzieia, Michael (2016): Elektronik Tabellen Betriebs- und Automatisierungstechnik. 2. Auflage. Braunschweig: Westermann.
- Elektrotechnik (2006). 2. Aufl. Braunschweig: Westermann.

# Impressum

**Autor:** Dipl.-Ing. (Univ.) Helmut Windschiegl

**Herausgegeben durch:** Teilprojekt #aufstieggestalten der OTH Amberg-Weiden aus dem Verbundprojekt „OTH mind“ mit der OTH Regensburg des Bund-Länder-Wettbewerbs „Aufstieg durch Bildung: offene Hochschulen“

**Kontakt:** Hetzenrichter Weg 15, 92637 Weiden in der Oberpfalz  
othmind@oth-aw.de  
[www.oth-aw.de/oth-mind](http://www.oth-aw.de/oth-mind)

**Copyright:** Dieses Kursmaterial ist lizenziert unter einer Creative Commons Namensnennung – Weitergabe unter gleichen Bedingungen 4.0 International Lizenz (CC BY-SA 4.0). Bei einer Weitergabe soll der Name des Urhebers wie folgt genannt werden: „Helmut Windschiegl, OTH mind #aufstieggestalten, OTH Amberg-Weiden“.

**Hinweis:** Diese Publikation wurde im Rahmen des vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) geförderten Bund-Länder-Wettbewerbs „Aufstieg durch Bildung: offene Hochschulen“ erstellt. Die in dieser Publikation dargelegten Inhalte liegen in der alleinigen Verantwortung des Autors.