

Veranstaltungsprozesse

2.4.3.6 Energieversorgung

Datum	Dozent	Revision
05.01.2021	Lars Remke	1.0
03.01.2022	Lars Remke	1.1
03.01.2023	Lars Remke	1.2
02.01.2024	Lars Remke	1.3
17.12.2024	Lars Remke	1.4
17.11.2025	Lars Remke	1.5

Inhaltsverzeichnis

1. SQ P4.....	3
2. Lineare Lasten:.....	5
a. Ohmsche Verbraucher.....	5
b. Induktive Verbraucher.....	6
c. Kapazitive Verbraucher.....	7
3. Nicht lineare Lasten	8
a. Theoretische Grundlagen.....	8
b. Mathematische Grundlagen.....	10
c. Auswirkungen in der Praxis.....	11
d. Relevante Normen.....	12

1. SQ P4

Der SQ P4-Standard soll das Qualitätsniveau beim Errichten von mobilen elektrischen Anlagen in der Veranstaltungstechnik auf Grundlage der aktuellen Rechtsnormen und des Arbeits- & Gesundheitsschutzes definieren.

Gemeinsamkeiten mit Festinstallation:

- 5 Sicherheitsregeln (DIN VDE 0105 – 100)
- Schutz gegen direktes / indirektes Berühren (DIN VDE 0100 - 410)
- Auswahl geeigneter Betriebsmittel (DIN VDE 0100 Gruppe 500)
- Dimensionierung von Leitungen (DIN VDE 0298 – 4)
- Anlagenprüfung (DIN VDE 0100 – 600)
- Geräteprüfung (DIN EN 50678 & DIN EN 50699)

Unterschiede zur Festinstallation:

- Auswahl von Personal (SQ Q1)
- Spannungsfall: max 5% (Festinstallation: max. 3%)
- Potentialausgleich: 16mm² / 25mm² (SQ P4, DIN 15700)
- Gleichzeitigkeitsfaktor: 0,7 – 1,0 (in Festinstallation im Wohnbereich: ca. 0,3)
- Dimensionierung von Leitungen: keine Festverlegung, daher Anwendung anderer Tabellen aus der DIN VDE 0298 - 4

Zusätzliche Anforderungen:

Erhöhtes Gefährdungspotential entsteht z. B. durch Auf- /Abbau; Zeitdruck, Veranstaltungsgröße, Personal und besondere Umgebungsbedingungen. Auf Grundlage der DGUV Vorschriften 1, 3 und 17 und der BetrSichV sollten u.U. folgende zusätzliche Vorschriften und Rechtsnormen zur Anwendung kommen:

- Brandschutz: VStättV (z.B. Verwendung von H07 RN-F, o.ä.)
- Besondere Orte: DIN VDE 0100 Gruppe 700:
 - Theater (Teil 718)
 - fliegende Bauten (Teil 711)
 - mobile elektrische Anlagen (Teil 740, teilweise deckungsgleich mit SQ P4)
- Spezifische Leitungs- & Steckverbindungsnormen (DIN 15765, DIN 15766, DIN 15767)
- Redundanz bei der Stromversorgung:
 - Not- & Sicherheitsstromversorgung (siehe Teil 718 & 711)
 - Aggregate (siehe Teil 717)
 - Notstrom-Aggregate (DIN 14685; Teil1 & Teil 2))

2. Lineare Lasten

a. Ohmsche Verbraucher

Einen Großteil der ohmschen Verbraucher machen Leuchtmittel mit Glühwendel aus. Gasentladungslampen sind technisch gesehen auch ohmsche Verbraucher, sie wirken im Zusammenspiel mit Drosseln als Zündgeräte jedoch induktiv aus.

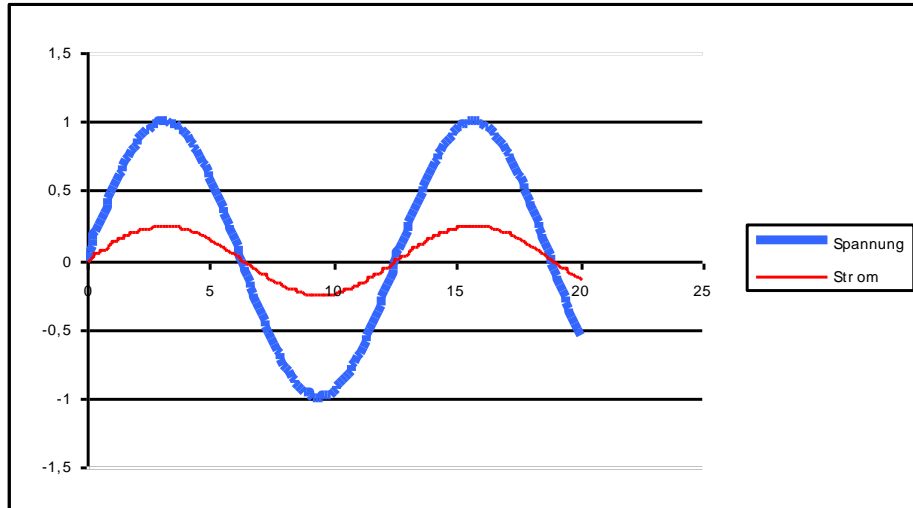


Es wird keine Blindleistung erzeugt, die komplette Leistung wird im Verbraucher umgesetzt. Der Leistungsfaktor (oder Verschiebungsfaktor) beträgt 1,0.

$$P = S$$

$$Q = 0 \text{ var}$$

$$\cos \varphi = 1,0$$



b. Induktive Verbraucher

Zu den induktiven Verbrauchern zählen Motoren und Transformatoren und konventionelle Vorschaltgeräte (Drosseln) zum Zünden von Gasentladungslampen.

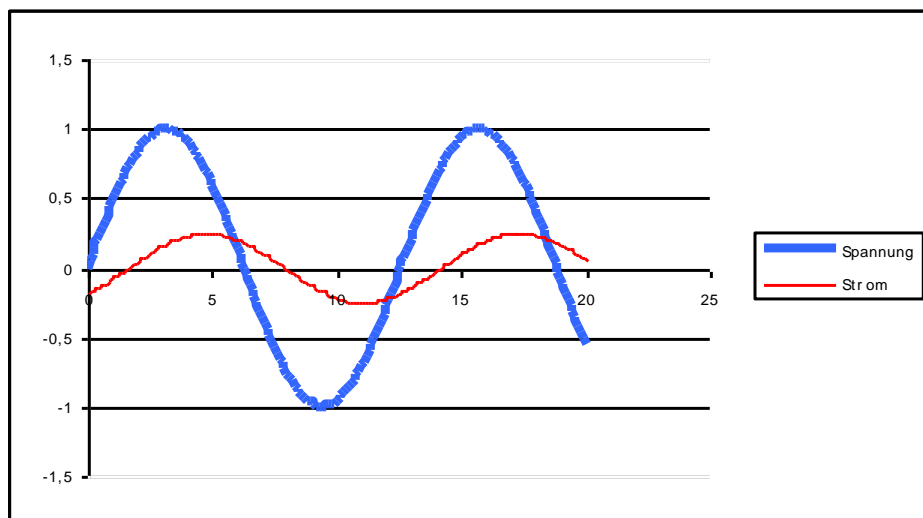


Durch die Phasenverschiebung von Spannung und Strom (Strom eilt nach) wird die erzeugte elektrische Leistung nur teilweise im (hier) Motor umgesetzt, es entsteht auch Blindleistung.

$$P = S \times \cos \varphi$$

$$Q^2 = S^2 - P^2$$

$$\cos \varphi < 1,0 \text{ (ca. } 0,5 - 0,8) \text{ induktiv}$$

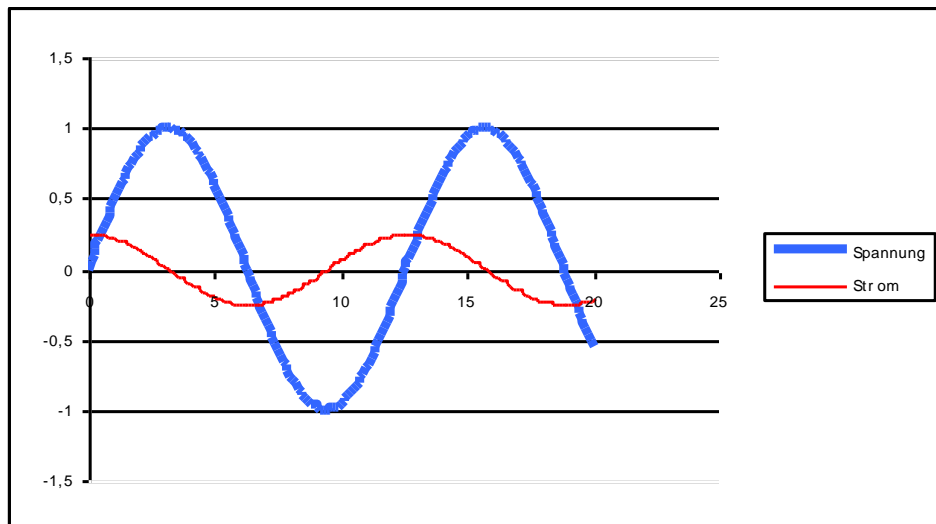


c. Kapazitive Verbraucher

Kondensatoren sind kapazitive Verbraucher. Sie erzeugen keine Wirkleistung, sondern reine Blindleistung. Ein Kondensator in Betrieb erwärmt sich nicht.

$$P = Q \text{ [var]}$$

$$\cos \varphi = 0$$



Anm.: Kondensatoren werden in der Veranstaltungstechnik zur Kompensation in Lampenzündkreisen (Gasentladungslampen) in Parallel- oder Reihenschaltung eingesetzt. Sie werden so dimensioniert, dass die kompensierten Einheiten leicht induktiv ($\cos \varphi$ ca. 0,9) beträgt.

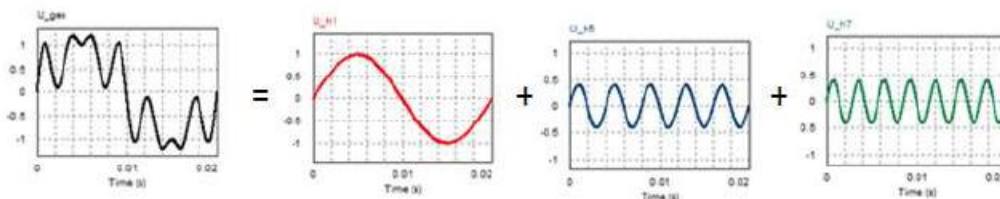
3. Nicht lineare Lasten

a. Theoretische Grundlagen

Oberwellen oder Oberschwingungen entstehen durch Betriebsmittel mit nichtlinearer Kennlinie wie etwa Transformatoren, Leuchtstofflampen sowie leistungselektronische Betriebsmittel wie Gleichrichter, Triacs, Thyristoren usw. Weiterhin entstehen Oberwellen in Schaltnetzteilen in Fernsehgeräten, Computer, Halogenbeleuchtungen usw. die mit zunehmendem Einsatz betrieben werden. Die nichtsinusförmigen Ströme dieser Verbraucher verursachen an der Netzimpedanz einen Spannungsfall, der die Netznennspannung verzerrt.

Oberwellen sind zusätzliche Frequenzen, die ganzzahlige Vielfache der Grundwelle mit 50 Hz sind.

Um den Grad der Verzerrung mathematisch erfassen zu können, werden die nicht sinusförmigen Verläufe von Strömen oder Spannungen mit Hilfe der Fouriertransformation in sinus- und cosinusförmige Anteile zerlegt. Die Abbildung unten zeigt ein Beispiel für eine verzerrte Signalform, die in ihre harmonischen Anteile zerlegt wird. Diese Anteile werden Oberschwingungen oder Harmonische genannt.



Veranschaulichung einer Fourier-Zerlegung

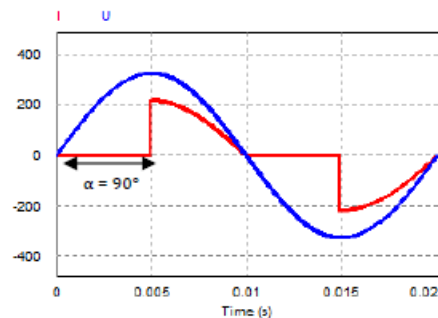
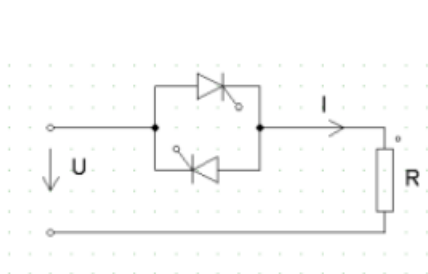
- Immer dann, wenn eine Kurvenform von der Sinusform abweicht, sind Oberschwingungen im Spiel
- Nur die reine Sinusschwingung kommt einzeln vor und ist nicht zerlegbar
- Alle anderen Kurvenformen sind nichts anderes als die Summe von zahlreichen Sinusschwingungen unterschiedlicher Frequenz und Amplitude
- Oberschwingungen haben eine Frequenz, die (meistens) ein ganzzahliges Vielfaches der Frequenz der Grundschwingung ist.
- Ist das Signal symmetrisch zur Nulllinie, so besteht es nur aus ungradzahligen Vielfachen der Grundschwingung

Oberwellen entstehen z.B. beim Schalten des Stromes mittels Halbleiterbauteilen. Die Abweichung von der Sinusform führt zur Entstehung von Oberwellen.

Im Folgenden werden einige typische Schaltungen aufgezeigt, die zu einer verzerrten Stromform führen.

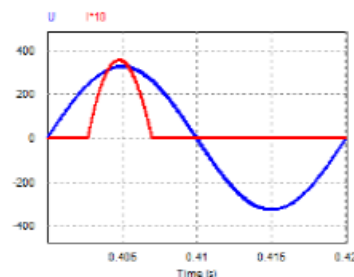
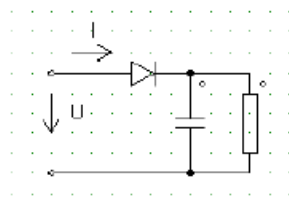
Phasenanschnittsteuerungen:

Mit Hilfe von Phasenanschnittsteuerungen (z.B. in Dimmern) kann die Leistungsaufnahme von Verbrauchern geregelt werden, indem ein Teil des sinusförmigen Stromverlaufes „abgeschnitten“ wird. Dies geschieht mit Hilfe eines Triacs, der aus zwei gegenläufig parallel geschalteten Thyristoren besteht. Je nach Zeitpunkt des Einschaltens (Zündwinkel α) kann hiermit die Leistungsaufnahme des Verbrauchers eingestellt werden (vgl. Abbildung)

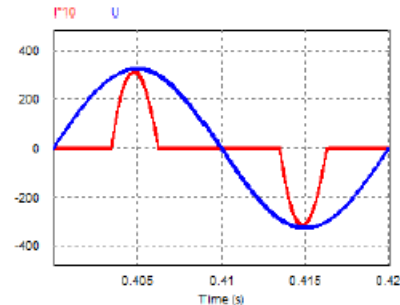
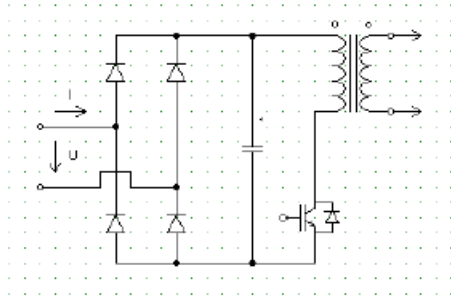


Gleichrichter:

Die einfachste Schaltung, um Wechselgrößen gleichzurichten, ist der Einweggleichrichter. Mit Hilfe einer Diode wird dabei der Stromfluss nur in eine Richtung ermöglicht. Während der negativen Halbwelle sperrt die Diode (vgl. Abbildung). Dabei ist zu beachten, dass ein Strom nur dann fließen kann, wenn die Wechselspannung U größer ist als die Gleichspannung am Kondensator. Dies ist nur während der Scheitelpunkte der Netzspannung U der Fall, sodass eine pulsformige Stromentnahme entsteht.

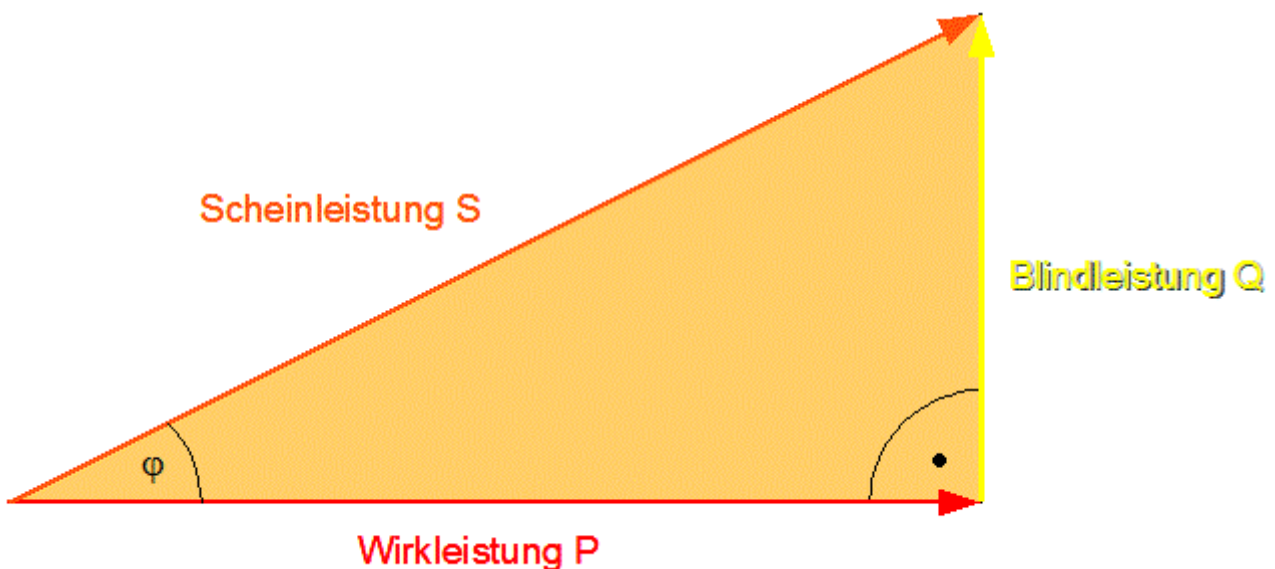


Nach dem gleichen Prinzip arbeitet der Zweiweggleichrichter (oder auch Brückengleichrichter). Durch die Verschaltung der vier Dioden wird hier allerdings auch die negative Halbwelle durchgelassen. Wieder ist ein Stromfluss nur während der Scheitelpunkte der Netzspannung U möglich (vgl. Abbildung).



b. Mathematische Grundlagen

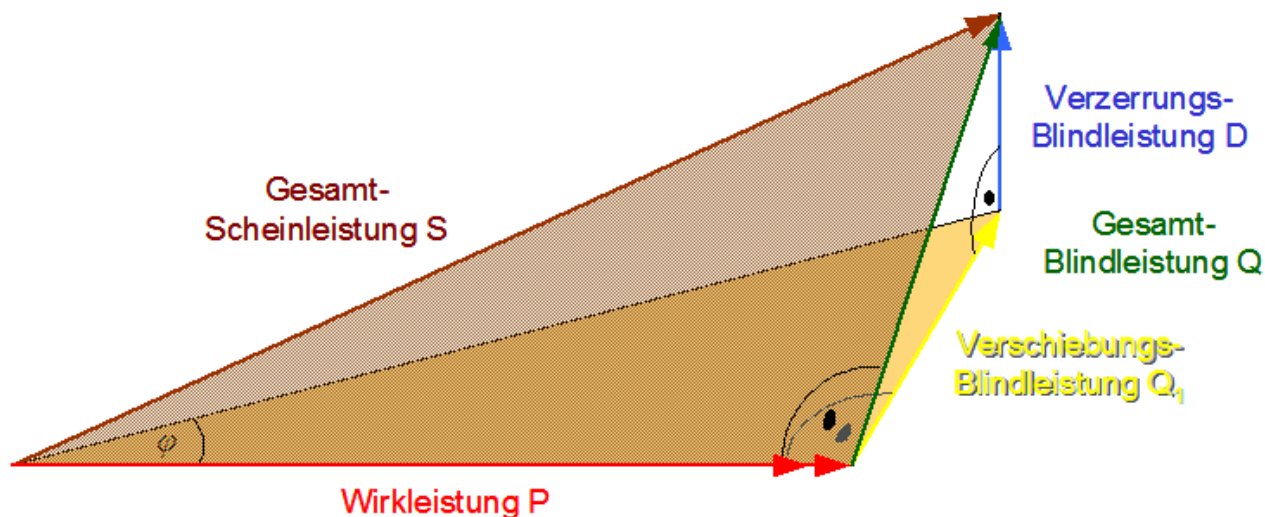
Bei sinusförmiger Kurvenform von Spannung und Strom kann sich aufgrund der Phasenverschiebung φ durch induktive oder kapazitive Komponenten eine - relativ einfach kompensierbare - (Verschiebungs-) Blindleistung Q ergeben. Es entsteht das wohlbekannte Leistungsdreieck mit der Beziehung $P = U \times I \times \cos \varphi$.



Bei verzerrten Kurvenformen entsteht neben der Verschiebungsblindleistung Q_1 auch Verzerrungsblindleistung D , die sich geometrisch zur Gesamt-Blindleistung Q addieren. Nun existiert nur noch die allgemein gültige Beziehung

$$P = \sqrt{S^2 - Q^2} \quad \text{wobei} \quad Q = \sqrt{Q_1^2 + D^2} .$$

Der $\cos \varphi$ ist tot! Es lebe der Leistungsfaktor $PF = P/S$!



c. Auswirkungen in der Praxis

Oberschwingungsströme verursachen sowohl im Versorgungsnetz als auch innerhalb der Anlage Probleme. Die Auswirkungen und ihre Lösungen sind sehr unterschiedlich und müssen getrennt betrachtet werden. Die geeigneten Maßnahmen, um die Auswirkungen von Oberschwingungen innerhalb der Anlage zu beherrschen, müssen nicht unbedingt auch die im Netz verursachten Verzerrungen reduzieren und umgekehrt. Es gibt mehrere verbreitete Probleme, die durch Oberschwingungen verursacht werden.

Durch Oberschwingungsströme in Anlagen verursachte Probleme:

- Überlastung von Neutralleitern
- Überhitzung von Transformatoren
- Fehlauflösung von Leitungsschutzschaltern / Leistungsschaltern
- Überbeanspruchung von Kompensations-Kondensatoren
- Skinneffekte

Außerdem verstärken Oberschwingungsströme die Probleme mit magnetischen Wechselfeldern, die sich durch eine nicht EMV-gerechte Elektroinstallation ergeben können.

Durch Oberschwingungsspannungen verursachte Probleme:

- Spannungsverzerrungen
- Überhitzung und Hochlaufschwierigkeiten von Drehfeldmotoren
- Nulldurchgangsstörungen (bei elektronischen Betriebsmitteln, die sich an den Nulldurchgängen orientieren)

Begrenzungsmethoden für Oberschwingungen in Anlagen

Die Begrenzungsmethoden lassen sich grob in drei Gruppen einteilen:

- Passive Filter
- Trenntransformatoren und Oberschwingungs-Reduktionstransformatoren
- Aktive Filter

Jeder dieser Ansätze hat Vor- und Nachteile, so dass es keine Einzellösung gibt, die besser wäre als alle anderen.

d. Relevante Normen

Grenzwerte von Spannungs- und Stromverzerrungen, hervorgerufen durch oberwellenbehaftete Geräte sind in einigen EU-Richtlinien (EMV-Richtlinien) niedergeschrieben.

- DIN EN 61000-3-2 (Geräte bis 16 A je Außenleiter)
- DIN EN 61000-3-12 (Geräte über 16 A bis 75 A je Außenleiter)

Quellen:

- www.evomex.de
- Technische Universität Dortmund
- „Dirty Power“ - *Oberschwingungen durch nichtlineare Verbraucher*
- DIN EN 61000-3-2 & DIN EN 61000-3-12