



*Elektrische Leistung  
– korrekte Begriffe*

**Elektrische Leistung**  
**- korrekte Begriffe**

Vereinigung Deutscher Elektrizitätswerke

Bezeichnung von Begriffen im Zusammenhang mit elektrischen Leistungen

26. April 1999

HR/-

In der Praxis werden - historisch bedingt - häufig technisch-physikalische Begriffe der Elektrotechnik nicht korrekt verwendet. In wissenschaftlichen Betrachtungen und Untersuchungen führen diese Unkorrektheiten zunehmend zu Problemen, da sie zu Mißverständnissen Anlaß geben. Der Fachausschuß „Elektrotechnik“ der VDEW empfiehlt daher, zukünftig die korrekten Begriffe zu gebrauchen.

Der AA „Spannungsqualität“ dankt Herrn Prof. Depenbrock (Universität Bochum), Herrn Prof. Gretsch (Universität Erlangen) und Herrn Prof. Winkler (Technische Universität Dresden) für die Durchsicht der hiermit vorgelegten Darstellung und hofft auf deren Beachtung bei der Formulierung zukünftiger Texte im Rahmen der elektrischen Energieversorgung.

Vereinigung Deutscher Elektrizitätswerke - VDEW - e.V.,  
Stresemannallee 23, 60596 Frankfurt am Main  
Telefon 069/6304-242

**Bezeichnungen von**

**Begriffen**

**im Zusammenhang mit elektrischen Leistungen**

**Eine Veröffentlichung**

**des**

**VDEW-Arbeitsausschusses (AA) „Spannungsqualität“**

## Inhaltsverzeichnis

1. Allgemeines .....	6
2. Leistungen .....	6
3. Leistungsfaktor $\lambda$ .....	7
4. Verschiebungsfaktor $\cos \varphi$ .....	8
5. Grundswingungsgehalt $g$ .....	9
6. Verhältnis zwischen Verschiebungsfaktor und Leistungsfaktor .....	11
7. Beispiel .....	12
8. Empfehlung.....	15
9. Ein Vergleich mit einschlägigen Normen.....	15
10. Abschließender Hinweis .....	16
11. Stellungnahme.....	16

## 1. Allgemeines

Im Zusammenhang mit Aussagen über elektrische Leistungen und damit verwandte Begriffe werden in der Praxis verschiedene Bezeichnungen mit oft nicht eindeutiger Bedeutung gebraucht. Beispielsweise wird in der „Verordnung über Allgemeine Bedingungen für die Elektrizitätsversorgung von Tarifkunden“ (AVBEltV) der Ausdruck „Leistungsfaktor  $\cos \varphi$ “ verwendet. Die derzeit gültigen „Technische Anschlußbedingungen für den Anschluß an das Niederspannungsnetz“ (TAB) vermeiden die Bezeichnung „Leistungsfaktor“ und sprechen nur noch von einem „ $\cos \varphi$ “. Durch den unreflektierten Sprachgebrauch solcher und verwandter Bezeichnungen werden in zunehmendem Maße Mißverständnisse verursacht. Im folgenden sollen daher die korrekten Bezeichnungen mit den dazu notwendigen Erläuterungen gegeben werden.

## 2. Leistungen

*Wirkleistung*  $P$  ist die während eines Zeitraumes übertragene elektrische Energiemenge, dividiert durch diesen Zeitraum. Im Fall einer festgelegten Leistungsflußrichtung kann die Wirkleistung sowohl positive als auch negative Werte annehmen.

*Scheinleistung*  $S$  ist das Produkt aus Effektivspannung und Effektivstrom - wobei der allein sinnvolle Fall stationärer Wechselgrößen angenommen wird - und ist in dem hier betrachteten Fall definitionsgemäß immer positiv. Bei Mehr-

phasensystemen, wie z. B. im Fall des in den Versorgungsnetzen üblichen Drehstroms, ist die Gesamt-Scheinleistung, unter der Voraussetzung symmetrischer Spannungen und Ströme, die Summe der Scheinleistung aller Leiter.

Während die Wirkleistung eine physikalisch eindeutig interpretierbare Größe darstellt, ist die Scheinleistung ein mehr oder weniger künstlich geschaffener Begriff, der dazu dient, die Belastung der Übertragungsmittel zu kennzeichnen. Die (geometrische) Differenz zwischen Wirk- und Scheinleistung wird bekanntlich als *Blindleistung*  $Q$  bezeichnet. Deren Bedeutung und vor allem deren mögliche Bestandteile unterliegen in noch höherem Maße vielfältigen Definitionsmöglichkeiten, was die Schwierigkeiten im praktischen Umgang mit diesen Begriffen erklärt. Die folgende Darstellung beschränkt sich daher auf wenige, praktisch relevante Gesichtspunkte.

### 3. Leistungsfaktor $\lambda$

Der Leistungsfaktor  $\lambda$  gibt das Verhältnis des Betrages der Wirkleistung  $P$  zur Scheinleistung  $S$  an:

$$\lambda = \frac{|P|}{S} \quad (1)$$

Der Leistungsfaktor  $\lambda$  ist also immer positiv und  $\leq 1$ . Er kennzeichnet in ähnlicher Art wie der Wirkungsgrad bei energetischen Umsetzungen das

Verhältnis von Nutzen zu Aufwand bei der Leistungsübertragung mit Wechselgrößen.

Dabei bezieht sich  $\lambda$ , siehe (1), auf die Gesamtheit der betrachteten Wechselgrößen, also auf die Summen aus Grundschwingung und allen Oberschwingungen von P und S.

#### **4. Verschiebungsfaktor $\cos \varphi$**

Der Verschiebungsfaktor  $\cos \varphi$  ist der Cosinus des Phasenwinkels  $\varphi$  zwischen den Sinus-Schwingungen der Spannung und des Stromes **derselben** Frequenz. Zur genaueren Bezeichnung ist daher ggf. ein Index entsprechend der jeweiligen Frequenz bzw. Ordnungszahl hinzuzufügen.

Entsprechend der Cosinus-Funktion kann der Verschiebungsfaktor  $\cos \varphi$  jeden Wert von  $\geq -1$  bis  $\leq +1$  (entsprechend  $0^\circ \leq \varphi \leq 360^\circ$ ) annehmen. Es ist aber üblich, die Zählpfeile für Spannung und Strom so zu wählen, bzw. Leistungsmesser und Zähler so anzuschließen, daß der Phasenwinkel  $\varphi$  im Normalbetrieb im Bereich von  $-90^\circ$  bis  $+90^\circ$  bleibt und sich damit ein positiver Verschiebungsfaktor und eine positive Wirkleistung P ergeben.

**Anmerkung:**

Bei einer solchen Zählrichtung bzw. Anschlußart wird die von einem induktiven Verbraucher aufgenommene Blindleistung als positiv definiert.

Wenn in der Praxis lediglich ein „cos  $\varphi$ “ ohne Index angegeben wird, dann bezieht er sich üblicherweise nur auf die Grundschiwingung von Spannung und Strom. Ein solcher Verschiebungsfaktor müßte jedoch exakt mit „cos  $\varphi_1$ “ bezeichnet werden, da die Grundschiwingung die Fourierkomponente erster Ordnung ist.

## 5. Grundschiwingungsgehalt g

Der Grundsatzschwiwingungsgehalt g ist das Verhältnis des Effektivwertes der Grundschiwingung einer Wechselgröße zum Gesamteffektivwert der Wechselgröße (also incl. Grund- und Oberschiwingungen). Daher ist immer:  $g \leq 1$ .

Da heutzutage in der Stromversorgung vor allem Ströme stark verzerrt auftreten, ist der Grundschiwingungsgehalt des Stromes  $g_i$  von besonderer praktischer Bedeutung:

$$g_i = \frac{I_1}{I_{\text{eff}}} \quad (2)$$

Ist der Strom ohne Oberschiwingungen, d. h. rein sinusförmig, dann ist  $g_i = 1$ .

**Anmerkung:**

Mit dem Oberschwingungsgehalt oder Klirrfaktor  $d$  (früher  $k$ ), dem Verhältnis des Effektivwertes aller Oberschwingungen zum Gesamteffektivwert, steht der Grundschwingungsgehalt  $g$  in eindeutiger Beziehung:

$$g^2 + d^2 = 1. \quad (3)$$

Für die Leistungsbetrachtung ist der Grundschwingungsgehalt  $g$  jedoch von weit größerer Bedeutung als der Klirrfaktor.

## 6. Verhältnis zwischen Verschiebungsfaktor und Leistungsfaktor

Im Sonderfall, wenn Spannung und Strom beide rein sinusförmig und somit keine Oberschwingungen vorhanden sind, gilt:

$$\lambda = |\cos \varphi_1| \quad (4)$$

Da in einem solchen Fall keine Verwechslung mit Oberschwingungen möglich ist und die Zählpeile für Strom und Spannung in der Praxis immer so gewählt werden, daß  $P > 0$ , kann in diesem speziellen Fall auch geschrieben werden:

$$\lambda = \cos \varphi \quad (5)$$

Das ist der Grund, weshalb man in der Vergangenheit, als Oberschwingungen in den Versorgungsnetzen noch keine Rolle spielten, oft vom „Leistungsfaktor  $\cos \varphi$ “ sprach. Diese Gleichsetzung ist aber für allgemeingültige Betrachtungen falsch.

In der heutigen Zeit einer zunehmenden Verbreitung der Leistungselektronik müssen Oberschwingungen jedoch grundsätzlich berücksichtigt werden. Unter dem Gesichtspunkt der Leistungsübertragung betrachtet, kann man allerdings die vereinfachende Annahme treffen, daß Oberschwingungen nichts zur Wirkleistungsübertragung beitragen, daß also Wirkleistung nur durch die Grundschiwingung übertragen wird oder - was in diesem Zusammenhang auf dasselbe hinausläuft - daß Oberschwingungen nicht gleichzeitig in Strom und Spannung, sondern nur im Strom auftreten. Diese Oberschwingungen im

Strom erhöhen aber die Belastung der Übertragungsleitungen und damit die Netzverluste, d. h. sie erhöhen die Scheinleistung. Man kann auch sagen, daß sie zur Blindleistung beitragen, wobei ihr Anteil im Gegensatz zur Grundschwingungs- oder Verschiebungsblindleistung als „Verzerrungsblindleistung“ zu bezeichnen ist.

Entsprechend diesen Überlegungen wird bei Auftreten von Oberschwingungen (im Strom) der Leistungsfaktor  $\lambda$  verkleinert. Unter der Voraussetzung einer praktisch sinusförmigen Spannung ergibt sich dann mit Hilfe der o. e. Begriffe aus (1):

$$\lambda = \frac{|P|}{S} \approx \frac{U_1 I_1 \cos \varphi_1}{U_1 I_{\text{eff}}} = g_i \cdot \cos \varphi_1 = g_i \cdot \cos \varphi \quad (6)$$

**Anmerkung:**

Im Fall eines Dreiphasensystems gilt diese Beziehung nur bei symmetrischen Verhältnissen. Andernfalls tritt eine weitere Blindleistung aufgrund der Unsymmetrie auf.

## 7. Beispiel

Bei stark nichtlinearen Verbrauchern, wie z. B. bei den immer häufiger eingesetzten Kompakt-Leuchtstofflampen (den sog. „Energiesparlampen“), treten in der Nähe der Spannungmaxima kurze, hohe Stromimpulse auf. Bei einer

Fourier-Analyse des Netzstromes zeigt sich, daß dessen Grundschiwingung praktisch in Phase mit der Netzspannung liegt, d. h. daß dafür  $\cos \varphi = 1$  gilt. Der Effektivwert der Oberschwiungsströme dagegen übersteigt oft sogar denjenigen der Grundschiwingung. Beispielsweise läßt sich in einem typischen Fall ermitteln:

$$I_{\Sigma v} = 1,5 I_1 \quad (7)$$

$$I_{\text{eff}} = \sqrt{(I_1^2 + I_{\Sigma v}^2)} = 1,8 I_1. \quad (8)$$

Daraus ergibt sich ein Grundschiwingungsgehalt

$$g_i = \frac{1}{1,8} = 0,55 \quad (9)$$

und ein Leistungsfaktor

$$\lambda \approx g_i \cdot \cos \varphi = 0,55 \cdot 1 = 0,55 \quad (10)$$

Die unterschiedlichen Zahlenwerte für  $\cos \varphi$  und  $\lambda$  in diesem Beispiel belegen, daß ein Gleichsetzen von  $\cos \varphi$  und  $\lambda$  hier ein völlig falsches Bild ergäbe und daher nur in Ausnahmefällen zulässig ist.

**Anmerkung:**

In DIN 40 110, "Wechselstromgrößen", wird anstelle des hier gebrauchten Index „ $\Sigma$ “ der Index „d“ verwendet, was aber die Gefahr der Verwechslung mit dem international üblichen Index für Gleichgrößen beinhaltet.

## **8. Empfehlung**

Da die Bedeutung von Oberschwingungen in der Stromversorgung in Zukunft weiter zunehmen wird und damit auch ihr Einfluß auf die zulässige Auslastung der Netze und die Verluste in diesen, wird empfohlen, in Zukunft auch die mit der Beschreibung von Leistungen zusammenhängenden Begriffe korrekt anzuwenden, um Mißverständnisse bei der Interpretation des jeweiligen technischen Sachverhaltes zu vermeiden.

## **9. Ein Vergleich mit einschlägigen Normen**

Die hier gegebenen Erläuterungen stimmen weitgehend mit den entsprechenden Definitionen und Erklärungen in den DIN-VDE-Bestimmungen, vor allem mit denjenigen in der DIN 40110, überein. Allerdings lassen sich auch Widersprüche zwischen einzelnen Normen finden. So wird der Grundschwingungsgehalt vereinzelt mit dem Ausdruck „Verzerrungsfaktor“ bezeichnet. Jedoch sollte man letzteren hierfür vermeiden, da der Ausdruck „Grundschwingungsgehalt“ den damit bezeichneten Begriff besser kennzeichnet.

### **Anmerkung:**

In diesem Zusammenhang wird empfohlen, den international gebräuchlichen Begriff des „THD“ (Total Harmonic Distortion), des Verhältnisses des Effektivwertes aller Oberschwingungen zur

Grundschiwingung (ein Begriff, für den es bisher keine deutsche Bezeichnung gibt), künftig im Deutschen mit „Verzerrungsfaktor“ zu bezeichnen.

## **10. Abschließender Hinweis**

Die hier gegebenen Erläuterungen und Festlegungen haben Bedeutung für die energetische bzw. energiewirtschaftliche Seite der Elektrizitätsversorgung. Weitere Begriffe, die z. B. für Probleme der EMV (Störungen durch Flicker und Oberschwingungen, Dämpfung von Resonanzen aufgrund von Oberschwingungswirkleistungen etc.) von Bedeutung sind, sind nicht Gegenstand dieser Ausführungen.

## **11. Stellungnahme**

Der Fachausschuß (FA) „Elektrotechnik“ der VDEW hat der obigen Ausarbeitung zugestimmt, da vielfach in technischen Publikationen, wie Richtlinien, Empfehlungen, Fachartikeln, der Sprachgebrauch bei einigen Begriffen physikalisch nicht korrekte Ausdrücke bzw. Bezeichnungen verwendet. Der nicht korrekte Sprachgebrauch ist jedoch historisch gewachsen und findet sich im Verordnungstext, in Verträgen z.T. sogar in Fachbüchern.

Für rechtliche und stromwirtschaftliche Überlegungen ist der unter physikalischen Gesichtspunkten falsche Gebrauch bestimmter Begriffe in der Regel irrelevant. In technischen Betrachtungen führt die sprachliche

Unkorrektheit jedoch zunehmend zu Problemen und Mißverständnissen bei der Analyse und Betrachtung technischer Gegebenheiten und Vorgänge. Unter diesen Gesichtspunkten hielt es der FA „Elektrotechnik“ für erforderlich, zumindest für den Gebrauch im technischen Bereich eine saubere Definition verschiedener Begriffe vorzulegen, um so zukünftig den Ingenieuren eine klare, eindeutige und physikalisch korrekte Basis für ihre Arbeit an Hand zu geben.

Der FA „Elektrotechnik“ ist sich dabei darüber im klaren, daß sich der gegenwärtige Sprachgebrauch mittelfristig nicht ändern wird. Im Interesse einer Klarstellung für den technischen Bereich hält er eine solche „Zweigleisigkeit“ jedoch für vertretbar. Für technische Publikationen empfiehlt der FA „Elektrotechnik“ daher, zukünftig die korrekten Ausdrücke bzw. Bezeichnungen anzuwenden.