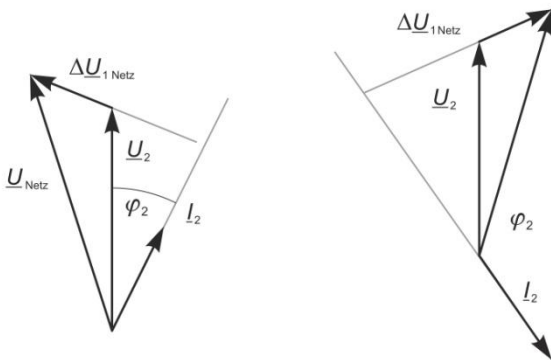
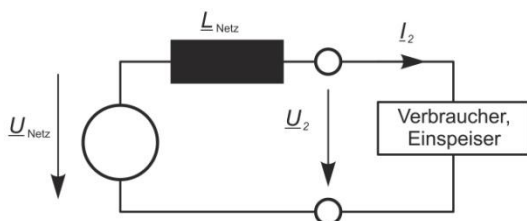


## Info-Brief Nr. 23

### Richtung von Harmonischen

### Verursacher von Harmonischen im Energienetz

Die Leistungsflussrichtung von Oberschwingungen ist durch das Vorzeichen in der Wirkleistung bestimmt. Die Abbildung zeigt das Ersatzschaltbild einer Netz-/Verbraucheranordnung (einphasig); die Abbildungen zeigen die dazu gehörigen Zeigerdiagramme für zwei Energieflussrichtungen, Bezug und Rückspeisung.



Zeichnung berücksichtigt nur den induktiven Teil des Netzes

**Die Wirkleistung berechnet sich bei reinen sinusförmigen Größen nach:**

$$P_2 = U_2 \cdot I_2 \cdot \cos \varphi_2$$

Im Winkelbereich  $0 \leq \varphi_2 \leq 90^\circ$  sowie  $270^\circ \leq \varphi_2 \leq 0^\circ$  liegt eine Verbraucherstruktur vor und  $P$  erhält ein positives Vorzeichen.

Für  $\varphi_2 = 90^\circ \leq \varphi_2 \leq 270^\circ$  errechnet sich  $P$  mit negativen Vorzeichen, es wird Leistung eingespeist.

#### Oberschwingungserzeuger in einem sauberen Netz

Der Verbraucher ist in einem "reinen" Sinusnetz angeschlossen. Die Fouriertransformation liefert an den Messpunkten sowohl die Amplitude als auch den Winkel der jeweiligen Harmonischen. Ist der Winkel zwischen Strom und Spannung  $> \pm 90^\circ$  wirkt der Verbraucher bei dieser Harmonischen als Generator, d.h. er speist die Harmonische ins Netz (verseucht das Netz)

#### Sinusförmige Netzspannung – überschwingungsbehafteter Strom

Aus der Definition der Wirkleistung ergibt sich mit einem überschwingungsbehafteten Strom die Wirkleistung entsprechend:

$$P = U \cdot \frac{i_1}{\sqrt{2}} \cdot \cos \varphi_1$$

mit

$$i_{(t)} = i_1 \cdot \sin(\omega_1 t) + \sum_{h=2}^{\infty} i_h \cdot \sin(h \cdot \omega_1 t + \varphi_h)$$

Daraus ist ersichtlich, dass nur die Stromgrundschwingung  $i_1(t)$  die Wirkleistung bestimmt.

#### Strom und Spannung sind überschwingungsbehaftet

Mit dem Ansatz der nicht sinusförmigen Strombelastung (d.h. der Strom  $I$  besteht aus Grundschwingung und Oberschwingungen) wird die Leistungsberechnung aufwendiger.

Die Spannung ist in diesem Fall analog dem Strom mit Grundschwingung und Oberschwingungen zu beschreiben.

$$u_{(t)} = u_1 \cdot \sin(\omega_1 t + \varphi_{u1}) + \sum_{h=2}^{\infty} u_h \cdot \sin(h \cdot \omega_1 t + \varphi_{uh})$$

$$i_{(t)} = i_1 \cdot \sin(\omega_1 t + \varphi_{i1}) + \sum_{h=2}^{\infty} i_h \cdot \sin(h \cdot \omega_1 t + \varphi_{ih})$$

Nur Spannungsharmonische und Stromharmonische gleicher Frequenz ergeben zusammen eine Wirkleistung.

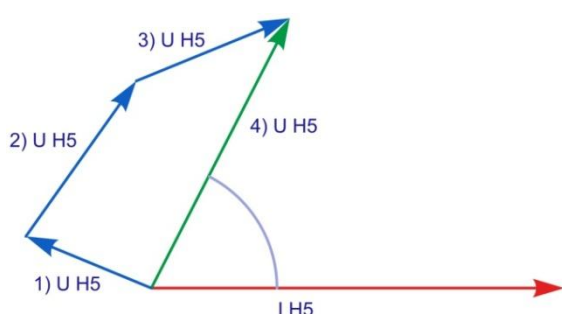
#### Oberschwingungserzeuger im "verschmutzten" (realen) Netz

Ist ein Verbraucher in einem Industrienetz angeschlossen, so erzeugen parallele Netze sowie benachbarte Verbraucher Oberschwingungen. Die Oberschwingungsspannung der einzelnen Harmonischen entsteht durch eine Überlagerung der einzelnen Komponenten. Dies beeinflusst sowohl die Amplitude als auch den Winkel des Vektors der Oberschwingungsspannung. Die nun gemessene Oberschwingungsleistung und damit die Richtung der Harmonischen wird von benachbarten Netzen und Verbrauchern mehr beeinflusst, als vom gemessenen Verbraucher selbst.

– Das Ergebnis dieser Messung ist sehr unzuverlässig. –

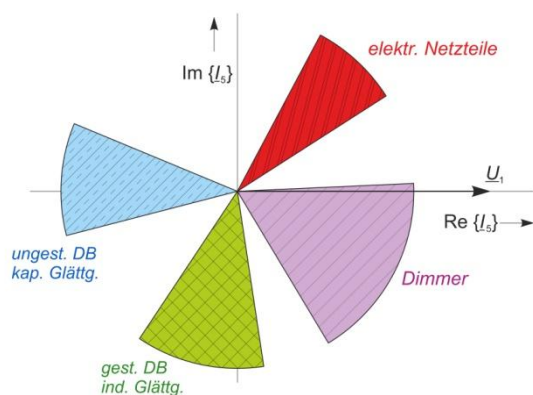
**Beispiel:**

Der Anlagenstrom  $I_{H5}$  erzeugt an einer Netzimpedanz den Spannungsabfall „1)  $U_{H5}$ “. Zu diesem Wert addieren sich aber noch die 5. Spannungsharmonische vom vorgelagerten Netz „2)  $U_{H5}$ “ sowie der Spannungsabfall der anderen Verbraucherströme im Netz „3)  $U_{H5}$ “. Der resultierende Spannungsabfall an der Messstelle ist im Beispiel grün gekennzeichnet „4)  $U_{H5}$ “. Der Winkel  $\varphi$  der 5. Harmonischen wird in diesem Fall durch die anderen Verbraucher im Netz vom Quadranten II in den Quadranten I verschoben, was eine Umkehr des Leistungsflusses für diese Frequenz bedeuten würde.



Die Frage ist nicht die Richtung von Harmonischen-Leistungen im Netz, sondern vielmehr wie werden sich verschiedene Stromharmonische im Netz günstig oder ungünstig addieren.

Die Abbildung zeigt als Beispiel, den Winkel der Stromharmonischen der 5. Ordnungszahl in Bezug auf die Grundschwingung der Spannung  $U_1$ . Die meisten elektronischen Verbraucher verursachen Stromharmonische im Netz. Die Phasenlage der unterschiedlichen Geräte kann aber in verschiedenen Quadranten liegen, so dass sich diese Stromharmonischen in einem günstigen Fall auch auslöschen können.

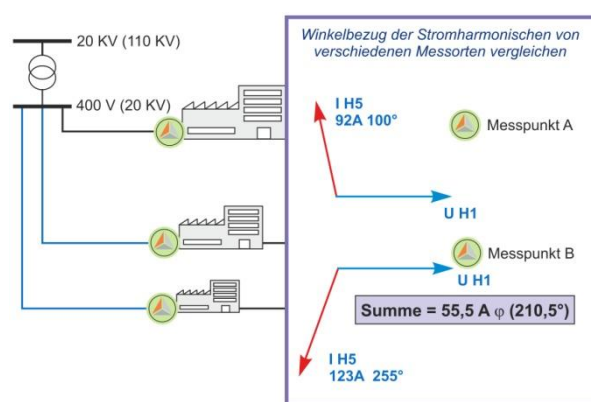


Alle mobilen und festinstallierten Power Quality Geräte von A. Eberle berechnen den Winkel der Stromharmonischen in Bezug zur jeweiligen Spannungsgrundschwingung. So ist es möglich die Rückwirkungen von mehreren Verbrauchern auf den gemeinsamen Netzanschluss zu bewerten.

Ein Beispiel für die 5. Harmonische wird in der Grafik unten beschrieben.

Wird vom Kunden „A“ der Stromwert  $92\text{ A } \varphi (100^\circ)$  und vom Kunden „B“ der Stromwert  $123\text{ A } \varphi (255^\circ)$  am jeweiligen Übergabepunkt ermittelt, so kann die Belastung des gemeinsamen Transformators über die Addition der Komplexen Zahlen berechnet werden.

Das Resultat ergibt dann eine Belastung von  $55,5\text{ A } \varphi (210,5^\circ)$ . Dies wäre ein günstiger Fall für das Netz, da sich die verschiedenen Verbrauchergruppen hier teilweise kompensieren.



Die Reihe wird fortgesetzt.  
Fehlende Info-Briefe liefern wir Ihnen jederzeit gerne nach.