

Whitepaper

**Netzurückwirkungen**

# NETZRÜCKWIRKUNGEN

Normative Grundlagen, Oberschwingungen und Netzanalysen



**KBR.** Weil Energie kostbar ist.



**KBR**  
Energy Management

# Netzurückwirkungen

GRUNDLAGEN Durch die zunehmende Anzahl von elektronischen Netzteilen und Vorschaltgeräten steigen auch die dadurch verursachten Netzstörungen. Dieser Beitrag zeigt Auswege aus der Misere auf.

Abgesehen von Spannungsschwankungen gab es in früheren Zeiten nicht viele Kriterien, die man an die Qualität der elektrischen Spannung stellte. Mit fortschreitender Elektrifizierung gab es allerdings immer mehr einphasige Betriebsmittel, die bei schlechter Aufteilung auf alle drei Phasen Spannungsunsymmetrien zur Folge hatten.

## Problemfall Leistungselektronik

Nicht zuletzt nahm auch die Anzahl an elektronischen Verbrauchern stark zu. Immer häufiger steuern Frequenzumrichter Motoren und die Glühlampe ist mittlerweile der (Kompakt-) Leuchtstoffröhre oder LED mit elektronischem Vorschaltgerät (EVG) gewichen. Fast alle modernen Verbraucher wie PCs, Laptops, Drucker, Ladegeräte und Fernseher arbeiten fast ausnahmslos mit elektronischen Netzteilen.

Alle diese neuen Betriebsmittel haben eines gemeinsam: Sie folgen mit ihrer Stromaufnahme nicht mehr der Sinuskurvenform der Netzspannung,

sondern bünden dem Netz ihre verzerrte Stromkurvenform auf (Bild 1 und Bild 2). Man spricht von Verbrauchern mit einer nicht-linearen U/ I -Kennlinie. Der Trend wird sich in Zukunft durch die politisch geforderten Energieeinsparmaßnahmen noch verschärfen, wie beispielsweise durch das Glühlampenverbot oder den Wirkungsgradklassen bei Elektromotoren.

## Auswirkungen auf das Netz

Der verzerrte Strom der elektronischen Betriebsmittel muss zurück bis zur Quelle (z. B. Kraftwerksgenerator) und durchfließt dabei diverse Netzimpedanzen wie Kabel und Transformatoren (Bild 3). Jetzt kommt das ohmsche Gesetz zu tragen, welches aussagt, dass sich mit einem Strom, der eine Impedanz durchfließt, immer ein Spannungsfall ergeben muss.

Dieser Spannungsfall ist nun aber nicht mehr sinusförmig, wie er bei der Spannung des Energieversorgers wäre, sondern proportional zur verzerrten Stromkurvenform der Verbraucher. Der verzerrte Spannungsfall überlagert sich der zumeist sehr guten Spannungskurvenform des Energieversorgers, wodurch alle Betriebsmittel an diesem Anschlusspunkt mit einer verzerrten Versorgungsspannung zurechtkommen müssen. Bis zu einem

gewissen Grad sind die Verzerrungen in der Spannung tolerierbar, danach kommt es zu Funktionsstörungen und in Extremfällen auch zu akuten Defekten an Betriebsmitteln. Insbesondere unverdrosselte oder nicht gewartete Kompensationsanlagen sind hiervon stark betroffen.

## Normative Grundlagen

Die Normen EN 50160, EN/ IEC 61000-2-2 und -2-4 geben Verträglichkeitspegel an, welche als Richtlinie für den Grad an zulässiger Verzerrung gelten. Die EN 50160 beschreibt die »Merkmale der Spannung in öffentlichen Elektrizitätsversorgungsnetzen« und wird meist von Energieversorgungsunternehmen zur Beurteilung von Übergabepunkten verwendet.

Etwas konkreter wird die EN/IEC 61000-2-2, welche »Verträglichkeitspegel für niederfrequente leitungsgeführte Störgrößen und Signalübertragung in öffentlichen Niederspannungsnetzen« beschreibt. Beide Normen gelten jeweils für den Verknüpfungspunkt zwischen Kunde und Energieversorger. Speziell für die Industrie gibt es die EN/ IEC 61000-2-4, mit welcher auch anlageninterne Verknüpfungspunkte bewertet werden können. Bei dieser Norm wird in drei elektromagnetische Umgebungsklassen unterschieden:

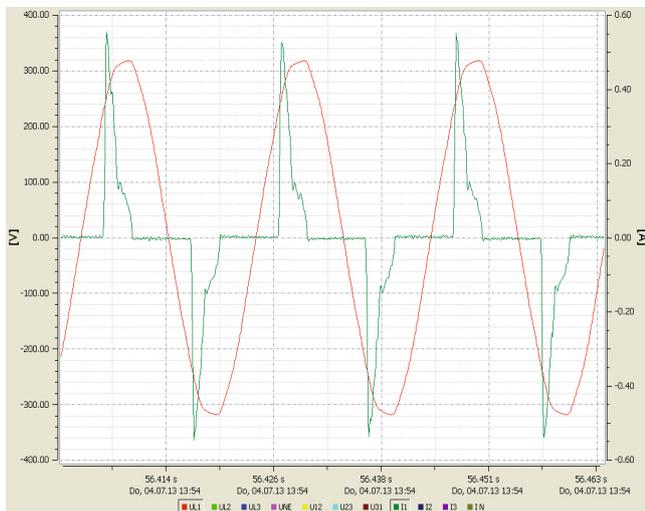


Bild 1: Strom einer Energiesparleuchte

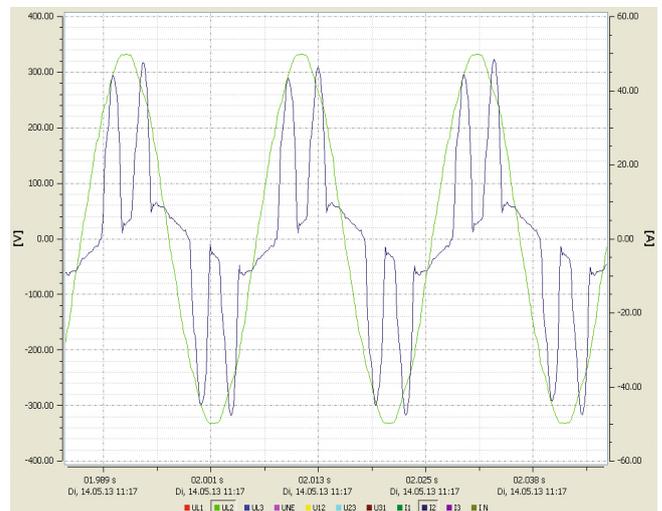


Bild 2: Strom eines Frequenzumrichters

- **Klasse 1** steht für geschützte Versorgungsnetze wie z.B. in Laboratorien, Automatisierungs- und Datenverarbeitungseinrichtungen
- **Klasse 2** ist identisch mit der EN/IEC 61000-2-2 und gilt für die allermeisten Betriebsmittel am öffentlichen Netz
- **Klasse 3** reglementiert die Verträglichkeitspegel für Schwerlastnetze mit vielen Stromrichtern, Schweißmaschinen oder großen Motoren. Betriebsmittel in diesen Netzen müssen eine erhöhte Störfestigkeit aufweisen

Zu beachten ist, dass alle vorgenannten Normen nur die Störpegel in der Spannung beschreiben. Die Definition der Störaussendung und Störfestigkeit von einzelnen Verbrauchern ist in den verschiedenen Produktnormen hinterlegt, welche sich aber an den Verträglichkeitspegeln der Netze orientieren. Zur Bewertung der Störaussendung einer Gesamtanlage kann die Richtlinie der D-A-CH-CZ »Technische Regeln zur Beurteilung von Netzurückwirkungen« herangezogen werden.

**Was sind Oberschwingungen (Harmonische)?**

Grundsätzlich bezeichnet man damit die Vielfachen der Grundfrequenz von 50Hz. Die 3. Harmonische entspricht somit einer Frequenz von 150Hz, die 5. Harmonische einer Frequenz von 250Hz usw. Bleibt die Frage, wie diese Frequenzen zustande kommen. Dazu entwickelte der französische Mathematiker und Physiker Joseph Fourier ein Verfahren, mit dem man jede periodische Funktion in ein Spektrum mit einer Grundfrequenz und deren Vielfachen übersetzen kann. Dieses Verfahren trägt den Namen Fourier-Transformation (**Bild 4**).

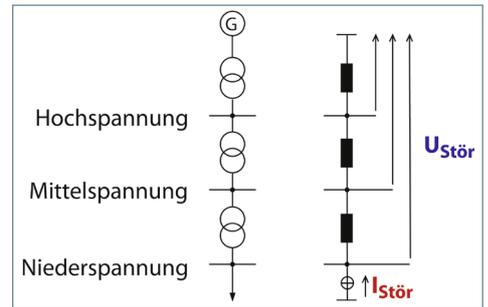
Ausgehend von einer reinen Sinusschwingung mit 50Hz erhält man durch die mathematische Transformation in den Frequenzbereich ge-

nau eine Spektrallinie bei 50Hz. Ist die Sinusschwingung verzerrt, addieren sich zur dominanten Grundfrequenz noch eine Vielzahl weiterer Frequenzen, welche grundsätzlich ein Vielfaches der Grundfrequenz sind (**Bild 5**). Es treten Spektrallinien bei 150Hz, 250Hz, 350Hz und folgend auf. Da es sich immer um ganzzahlige Vielfache handelt, vergibt man diesen Ordnungszahlen, welche dem Multiplikator mit der Grundfrequenz entsprechen. Eine 11. Harmonische wäre dem entsprechend eine Frequenz von 550Hz.

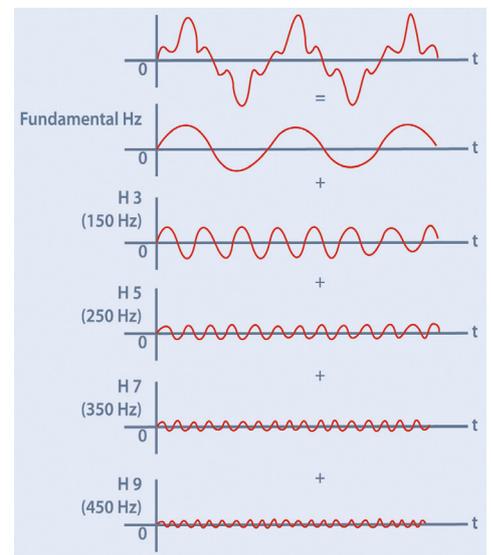
Die Überführung der verzerrten Sinuskurvenform (Spannung oder Strom) in ein Spektrum hilft bei der Qualifikation und Bewertung des Grades an Verzerrungen im Netz. Im Fall von Spannungsharmonischen werden diese gerne als prozentualer Wert im Verhältnis zur Grundschwingungsspannung angegeben, was sich mit den Angaben der Normen deckt. Hier werden konkrete maximal zulässige Pegel für jede einzelne Harmonische angegeben. Die EN 50160 gibt Grenzwerte bis zur 25. Harmonischen und die Normen der EN/ IEC 61000 Grenzwerte bis zur 50. Harmonischen an.

Es treten fast ausschließlich nur ungeradzahlige Vielfache der Grundschwingung auf. Begründet ist dies in der Achsensymmetrie des Sinus. Positive und negative Halbwelle ergeben um die Nullachse gespiegelt den gleichen Verlauf. Ist dies nicht der Fall, treten geradzahlige Harmonische meist in Verbindung mit einem Gleichanteil auf. Dies ist unerwünscht, weshalb die geradzahligen Harmonischen sehr strenge Grenzwerte besitzen.

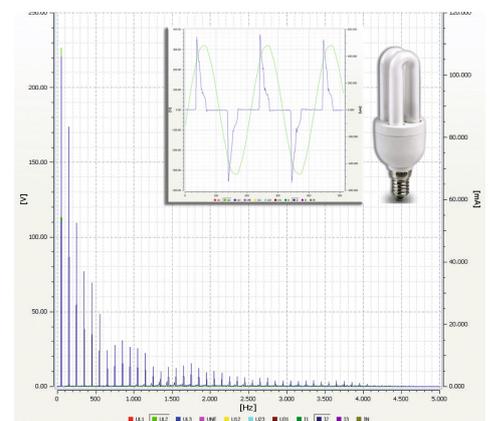
Auch der Gesamtüberschwingungsgehalt ist reglementiert. Es kann durchaus vorkommen, dass zwar jede einzelne Harmonische ihren jeweiligen Grenzwert einhält, jedoch die Summe aller Harmonischen den zulässigen Gesamtpegel von zumeist 8% übersteigt. Dieser Wert ist weit-



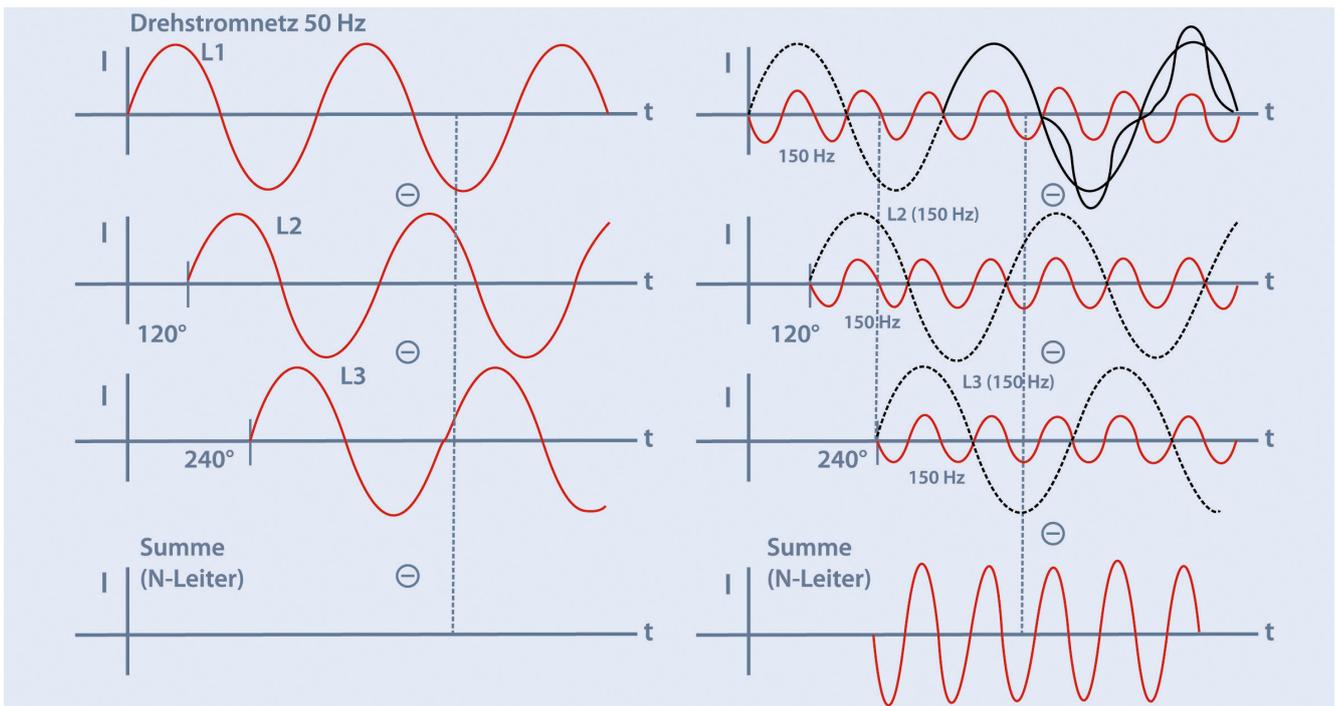
*Bild 3: Spannungsfall an Impedanzen durch verzerrten Strom elektrischer Betriebsmittel*



*Bild 4: Zerlegung einer periodischen Funktion nach Fourier*



*Bild 5: Spektrum des Stroms durch eine Energiesparleuchte*



läufig als Klirrfaktor bekannt, jedoch in der heutigen internationalen Normung als Total Harmonic Distortion (THD) bezeichnet. Für die Spannung wird nachfolgend noch der Formelbuchstabe U bzw. I

für den Strom angehängt. Es ist üblich, den THD-U wieder in Prozent zur Grundschwingung und den THD-I als absolute Größe in Ampere anzugeben. Manchmal werden auch die Ströme relativ zur Grundschwingung betrachtet. Dies ist aber nur dann sinnvoll, wenn der Bezugswert, also der Grundschwingungsstrom, annähernd konstant ist.

### Folgen von Oberschwingungen

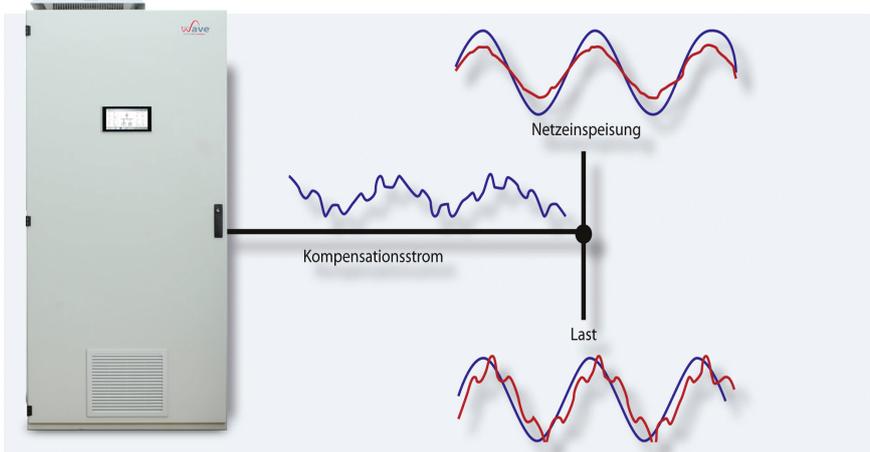
Generell belasten Oberschwingungen das Netz und die daran angeschlossenen Verbraucher. Der Oberschwingungsstrom führt zur starken Erwärmung von Leitungen und Transformatoren. Überstromschutz-einrichtungen lösen lange vor dem eingestellten Sollwert aus. Durch die 3. Harmonische treten hohe Neutralleiterströme auf, unabhängig davon, ob das Netz symmetrisch belastet ist (**Bild 6**).

Oberschwingungen in der Spannung können zu Funktionsstörungen und

Defekten an Betriebsmitteln führen. In jedem Fall wird die angestrebte Betriebsdauer deutlich gesenkt. Eine regelmäßige Kontrolle an zentralen Punkten der Energieversorgung ist deshalb entscheidend für den sicheren und zuverlässigen Betrieb aller Verbraucher.

### Überprüfung der Oberschwingungsbelastung

Zunächst einmal gilt es, das richtige Prüfmittel auszuwählen. Prädestiniert für das Aufspüren und Qualifizieren von Netzstörungen ist die Messgeräteklasse der Netzanalysatoren. Sie erfassen umfangreich alle relevanten Netzparameter und können diese zeitgleich mit der im Messgerät hinterlegten Norm abgleichen. Treten Grenzwertverletzungen auf, wird dies im Ereignisspeicher und als Störschrieb dokumentiert. Nebenbei stehen auch die Langzeitdaten von Spannung, Strom, Leistung und Arbeit zur Verfügung. Um eine Aussage zur Normkonformität treffen zu können und um vergleichbare Messwerte wie der Energieversorger zu erhalten, ist die Messgenauigkeit der Klasse A nach EN/ IEC 61000- 4-30 einzuhalten.



Als erster Messpunkt wird häufig der Übergabepunkt zum Energieversorger gewählt. Das Messintervall ist laut Norm mit 10 Minuten zu wählen. Der Messzeitraum sollte einen typischen Betriebszyklus abbilden, der sich über einen ein- oder mehrwöchigen Zeitraum erstreckt. Eine solche Messung verhilft zu einer Aussage über die Normkonformität der Spannungsqualität in der Hauptverteilung. Bei weitläufigen Niederspannungsnetzen kann es durchaus sein, dass in den Netzausläufern ganz andere Störparameter auftreten, als es in der Hauptverteilung der Fall ist. Treten Störungen an Geräten auf, ist es sinnvoll, direkt an den Anschlussklemmen bzw. an der unmittelbar vorgelagerten Unterverteilung zu messen. Ziel ist die Störaufklärung mit den Grenzwerten der Norm als Anhaltswert.

Da für die Analyse von Netzstörungen fundiertes Hintergrundwissen und Erfahrung notwendig sind, gibt es einige Firmen, die spezialisierte Dienstleistungen für den Bereich Power Quality anbieten und ihre Mitarbeiter als Power-Quality-Sachkundige (VDE) ausbilden lassen. In einem Gespräch mit dem Anlagenbetreiber sollten die Störungen analysiert und die Messpunkte im Netz festgelegt werden. Es folgt die Messauswertung mit Empfehlung und Dimensionierung von möglichen Lösungsmaßnahmen. Eine Nachweismessung über die Effektivität der Maßnahmen ist ebenfalls empfehlenswert.

Die Lösungsmöglichkeiten zur Behebung der Störungen können sehr vielfältig sein. Angefangen bei der Entstörung von Umrichtern durch EMV-Filter und Netzdrosseln, über den Ausbau der Infrastruktur, bis zu Kompensationsmaßnahmen durch eine Blindleistungskompensation oder ein aktives Oberschwingungsfilter (**Bild 7**). Letzteres setzt man auch zur Symmetrierung der Last und als Flickerkompensation (z.B. bei Schweißmaschinen) ein.

*KBR Power Quality Team*

## Messen wie die Profis – mit KBR Messtechnik

### POWER QUALITY

Mieten oder kaufen?  
Im Lauf der Zeit lässt sich einiges sparen.  
Sprechen Sie uns an,  
wir beraten Sie gerne.



### POWER QUALITY – Mobiler Netzanalysator für Nieder-, Mittel- und Hochspannungsnetze

- Komplette Erfassung aller elektrischer Parameter, parallel und lückenlos
- Einbau der Messung ohne vorherige Parametrierung
- Energieversorgung über Messleitungen
- Displayinformationen über den richtigen Geräteanschluss und aktuelle Messwerte
- Bewertung der Spannungsqualität nach Norm EN 50160 und IEC 61000-2-2
- Umfangreiche und dennoch einfache Auswertefunktionen
- Eigene Firmen- und Projektangaben auf jedem Ausdruck
- Genauigkeitsklasse A nach EN 61000-4-30

**Ressourcen schonen, Energieeffizienz steigern und Kosten senken:  
KBR ist der Experte für optimierte Energienutzung.**

Als familiengeführtes Unternehmen unterstützen wir bereits seit 1976 Betriebe weltweit dabei, Energie jeglicher Form, wie Strom, Gas, Wasser u.v.m., effizienter einzusetzen. Mit maßgeschneiderten Lösungen begleiten wir unsere Kunden auf ihrem Weg zu einer nachhaltigen und wettbewerbsfähigen Zukunft.

Unsere Hard- und Softwareprodukte entwickeln und produzieren wir in unserem Werk in Schwabach selbst. Wir legen all unser Knowhow, unsere Kreativität und Kraft in die Weiterentwicklung des betrieblichen Energiemanagements.

Weil Energie kostbar ist.

**Das betriebliche Energiemanagement für jede Anforderung.**

- Energiekosten senken
- Betriebssicherheit steigern
- Ressourcen schonen
- CO<sub>2</sub> reduzieren
- System flexibel erweitern

**KBR Kompensationsanlagenbau GmbH**

Am Kieferschlag 7  
D-91126 Schwabach

T +49 (0) 9122 6373 -0  
E [info@kbr.de](mailto:info@kbr.de)

[www.kbr.de](http://www.kbr.de)