

**Zeitschrift:** Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen = Bulletin de l'Association Suisse des Electriciens, de l'Association des Entreprises électriques suisses

**Band:** 84 (1993)

**Heft:** 1

**Artikel:** Qualität der elektrischen Energieversorgung : Merkmale der Netzspannung und Netzurückwirkungen

**Autor:** Weiler, Jean / Schreiber, Rolf

**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-902650>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

**Download PDF:** 22.11.2024

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

Elektronische Leistungssteuerungen haben einen wesentlichen Einfluss auf die Qualität der Netzspannung. Die durch die Leistungssteuerungen resultierenden Störgrößen sowie die Störfestigkeit der elektrischen Betriebsmittel sind so aufeinander abzustimmen, dass «elektromagnetische Verträglichkeit» in den Versorgungsnetzen besteht. Zu diesem Zweck sind die Bestimmungen der einschlägigen Normen einzuhalten; ebenso ist eine Zusammenarbeit zwischen Kunde, Elektroplaner und dem zuständigen Elektrizitätswerk unabdingbar.

# Qualität der elektrischen Energieversorgung

## Merkmale der Netzspannung und Netzurückwirkungen

■ Jean Weiler und Rolf Schreiber

Die elektronische Leistungssteuerung mit nichtlinearen Bauelementen, wie zum Beispiel Thyristoren, findet heute breite Anwendung. Der Einsatz reicht von Haushaltgeräten wie Kochplatten, Waschmaschinen und Heizgeräten, Fernsehempfänger und PC bis hin zu Industrieanlagen mit drehzahlregulierten Antrieben. Als Verfahren der Leistungssteuerung sind Phasenanschnitt- und Schwingungspaketsteuerungen sowie Netzgleichrichter mit kapazitiver Glättung (Choppernetzgeräte) üblich.

Der Verlauf des dem Netz entnommenen Verbraucherstromes weicht bei elektronischer Leistungssteuerung von der Sinusform ab und weist mehr oder weniger starke Oberschwingungen auf. Der formverzerrte Strom verursacht wegen der endlichen Netzimpedanz Verzerrungen der Netzspannung. Die verzerrte Netzspannung kann ihrerseits bei anderen am gleichen Netz angeschlossenen Anlagen und Geräten Funktionsstörungen hervorrufen. Der unerwünschte Oberschwingungsgehalt der verzerrten Netzspannung hängt zum einen von der Formverzerrung und Stärke des Verbraucherstromes ab und zum anderen von der Netzanschlussimpedanz.

An der Entstehung der Netzspannungsverzerrungen eines beliebigen Netzanschlus-

ses sind alle in Betrieb befindlichen ober-schwingungserzeugenden Verbraucher beteiligt. Wegen der zwangsläufigen Belastungsänderungen in den Netzen unterliegt der resultierende Oberschwingungsgehalt der Versorgungsspannung statistischen Schwankungen. Mit wachsendem Einsatz der Leistungselektronik wird es immer dringlicher, die Verzerrung der Spannung in den Netzen

---

**«Die Qualitätssicherung für die Netzspannung ist auch deshalb wichtig, weil damit zu rechnen ist, dass die elektrische Energie (öffentliche Stromversorgungsnetze) der Produkthaftpflicht unterstellt wird.»**

---

zu überwachen und Massnahmen zu ihrer Eindämmung zu ergreifen. Dies auch deshalb, weil damit zu rechnen ist, dass die elektrische Energie (öffentliche Stromversorgungsnetze) der Produkthaftpflicht unterstellt wird. Demnach müssen die Elektrizitätswerke gegenüber ihren Abnehmern die Qualitätsnormen der Versorgungsspannung garantieren.

### Adressen der Autoren

Prof. Dr. Jean Weiler, Professur für Leistungselektronik und Messtechnik, ETH-Zentrum/ETL, 8092 Zürich, und Rolf Schreiber, Elektrizitätswerke des Kantons Zürich (EKZ), Postfach, 8022 Zürich.



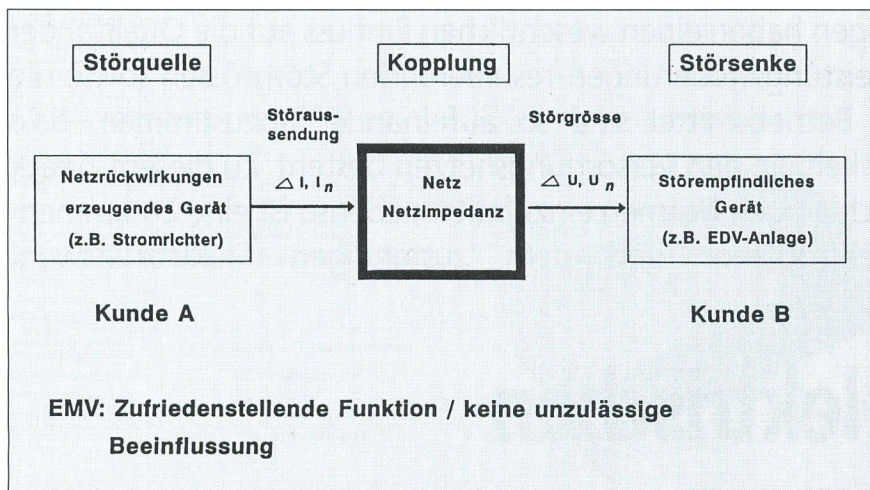


Bild 1 EMV-Modell für Stromversorgungsnetze

## Verträglichkeitsbetrachtungen

### Allgemeines

Durch den Einsatz von elektrischen Betriebsmitteln mit nichtlinearer oder nichtstationärer Betriebscharakteristik entstehen Rückwirkungen auf die Versorgungsnetze, die Einfluss nehmen auf die Qualität der Netzspannung in Form von:

- Spannungsänderungen
- Spannungsunsymmetrien im Drehstromnetz
- Oberschwingungsspannungen und
- Spannungen bei Zwischenharmonischen.

Um die Auswirkungen auf ein verträgliches Mass zu beschränken, sind bei elektrischen Betriebsmitteln Grenzwerte für Netzurückwirkungen zu beachten. Zu diesem Zweck wurde die Schweizer Norm SN 413600 «Begrenzung von Beeinflussungen in Stromversorgungsnetzen» erstellt und 1987 in Kraft gesetzt. Diese Norm gibt allen

von Beeinflussungsfragen betroffenen Partnern die Bedingungen an, die erfüllt sein müssen, um die gegenseitige Beeinflussung von Geräten und Anlagen im Stromversorgungsnetz in tragbaren Grenzen zu halten. Ferner soll damit eine einheitliche Beurteilung der Netzbeeinflussungsprobleme erreicht werden.

Grundsätzlich sind Geräte und Anlagen so zu betreiben, dass Störungen anderer Kunden und störende Rückwirkungen auf Einrichtungen der Elektrizitätswerke oder Dritter ausgeschlossen sind. Dieses ist sichergestellt, wenn auch bei Berücksichtigung der Summenwirkung der Störaussendungen aller an einem Netz möglicherweise gleichzeitig betriebenen Verbrauchsgereäte der Verträglichkeitspegel eingehalten wird. Das setzt voraus, dass der einzelne Abnehmer nur einen Anteil der insgesamt zulässigen Netzurückwirkungen verursachen darf. Störaussendungen und die dadurch entstehenden Störgrößen sowie die Störfestigkeit der elektrischen Betriebsmittel sind so aufeinander abzustim-

men, dass die Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) in den Versorgungsnetzen garantiert werden kann. Bild 1 zeigt das EMV-Modell für Stromversorgungsnetze.

### Kompatibilitätspegel

Unter dem Begriff Kompatibilitätspegel verbirgt sich eine Angabe über die zu erwartenden Pegel der Verzerrungen der Netzspannung, gegeben durch die maximal zulässigen Werte der Oberschwingungen und der nichtharmonischen Komponenten (Interharmonische).

Die derzeit gültigen Kompatibilitätspegel für *Harmonische* sind von Cigré, Unipede, IEC, Cenelec usw. festgelegt worden. Es handelt sich um statistische Grössen, d.h. um Werte, welche mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit (hier 95%-Werte, d.h. in 5% der Zeit können sie überschritten werden) auftreten. Einige wichtige Werte für das Niederspannungsnetz (im Mittel- und Hochspannungsnetz gelten andere, kleinere Werte) können der Tabelle I entnommen werden.

Einzelne der Pegel nach Tabelle I sind heute an vielen Orten nahezu erreicht, zeitweise schon überschritten. Verschiedene Elektrizitätswerke führen seit Jahren in ihren Netzen entsprechende Messungen durch und stellen die Ergebnisse dem Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke (VSE) für eine schweizerische Auswertung zur Verfügung. In Bild 2 sind die Ergebnisse graphisch dargestellt.

*Interharmonische* sind noch nicht definitiv normiert. Es gibt lediglich von Land zu Land Angaben, welche Werte mit Rücksicht auf Rundsteuersignale nicht überschritten werden dürfen. Cenelec hat eine Norm in Vorbereitung, welche sinngemäss enthalten könnte, dass Interharmonische nicht grösser sein dürften als benachbarte Harmonische. Global ist vorgesehen, dass die *gesamte Verzerrung*, gegeben durch den Klirrfaktor *k*

Ungeradzahlig, nicht Vielfaches von 3		Ungeradzahlig, Vielfaches von 3		Geradzahlig	
Ordnungszahl <i>n</i>	Pegel in % der Grundschwingung	Ordnungszahl <i>n</i>	Pegel in % der Grundschwingung	Ordnungszahl <i>n</i>	Pegel in % der Grundschwingung
5	6	3	5	2	2
7	5	9	1,5	4	1
11	3,5	15	0,3	6	0,5
13	3	21	0,2	8	0,5
17	2	>21	0,2	10	0,5
19	1,5			12	0,2
23	1,5			>12	0,2
>23	abnehmend mit 1/ <i>n</i>				

Tabelle I Kompatibilitätspegel für einzelne Harmonische nach Norm IEC 1000-2-2

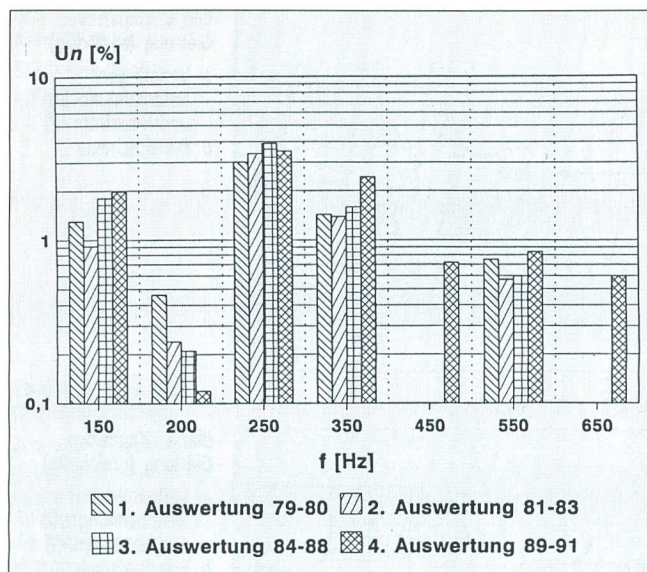


(Englisch: THD, Total Harmonic Distortion) den Wert von 8% nicht überschreiten sollte.

$$k = THD = \frac{\sqrt{\frac{\sum_{n=2}^{40} U_n^2}{2}}}{\sqrt{\frac{\sum_{n=1}^{40} U_n^2}{2}}} = \frac{\sqrt{\frac{\sum_{n=2}^{40} U_n^2}{2}}}{U_{eff}} \leq 0,08$$

**Immunitätspegel**

Unter diesem Begriff wird ausgeführt, bei welchen Störungen (im vorliegenden Fall Abweichungen bei der Netzspannung) ein Gerät noch fehlerfrei funktioniert. Meist liegen die Immunitätspegel, welche von jedem Hersteller gesondert festgelegt werden können, etwa 50% über den entsprechenden Kompatibilitätspegeln.



**Bild 2** Harmonische in NS-Netzen

95%-Auftrittswahrscheinlichkeit der Spannungsamplitude  $U_n$  der Harmonischen  $n$  der Netzfrequenz (bezogen auf 230 V)

**Emissionen**

**Oberschwingungen**

Die internationalen Normen (IEC 555-2 und Cenelec 60555-2) haben zum Ziel, die Emissionen, d.h. die von einem Verbraucher erzeugten Verzerrungen der Netzspannung, zu begrenzen. Sie basieren auf der Annahme, dass jedes Netz am Anschlusspunkt der Last eine bestimmte Impedanz  $Z_N$  aufweist und über dieser Impedanz Spannungsabfälle durch den Laststrom hervorgerufen werden. Im europäischen Niederspannungsnetz wird angenommen, dass diese Impedanz in 95% der Fälle (zeitlich und örtlich betrachtet) bei 50 Hz die Werte

$$Z_L \text{ (Polleiter)} = (0,24 + j \cdot 0,15) \Omega$$

$$Z_N \text{ (Neutralleiter)} = (0,16 + j \cdot 0,10) \Omega$$

nicht überschreitet. Zur Einhaltung der zulässigen Verzerrungen wird in IEC/Cenelec vorgeschrieben, welche Oberschwingungsanteile der *Strom* einer Last maximal aufweisen darf, wobei in der heute gültigen Norm angenommen wird, dass die Phasenlage dieser Komponenten so ist, dass eine gewisse gegenseitige Auslöschung auftritt. Diese Annahme ist aber, wie später bei den Störquellen ausgeführt wird, bei modernen Geräten

nicht mehr gerechtfertigt. Eine Anpassung der Norm ist in Bearbeitung.

National hat die Schweizer Norm SN 413600 einen anderen Weg beschritten. Sie geht von den gleichen Kompatibilitätspegeln aus, legt aber fest, wieviel Spannungsverzerrung ein individueller Verbraucher in Abhängigkeit der Gegebenheiten am Verknüpfungspunkt (Anschlusspunkt an das öffentliche Stromversorgungsnetz) hervorrufen darf.

**Spannungsschwankungen und Flicker**

Jede Last verursacht beim Einschalten eine Spannungsabsenkung, beim Ausschalten eine entsprechende Spannungserhöhung am Verknüpfungspunkt. Mit Rücksicht auf andere Verbraucher, insbesondere Helligkeitsschwankungen von Glühlampen, Drehmomentschwankungen bei elektrischen Maschinen usw. müssen diese Spannungsabsenkungen begrenzt werden, wobei zwischen einmaligem Einschalten und wiederholtem Einschalten unterschieden werden muss. Das Mass für die Störungsempfindung bei periodischem oder quasiperiodischem Schalten ist die Flickerdosis (als Flicker bezeichnet man die optischen Auswirkungen von schnelleren Spannungsschwankungen), welche mit einem standardisierten Messgerät gemäss IEC 868 aufgrund von physiologischen

Überlegungen (siehe IEC 555-3) gemessen wird.

In Bearbeitung befindliche Vorschriften sehen vor, dass langfristig die Netzspannung bei gegebenem Flickerwert in Grenzen von  $\pm 10\%$  eingehalten werden muss. Über kurzzeitige Spannungseinbrüche (einige Millisekunden bis etwa 3 Minuten Dauer, Absenkungen zwischen 10% und 100%), welche durch schnell behebbare Störungen verursacht werden, lässt sich wegen des sporadischen Auftretens und ihrer Abhängigkeit von der Netzkonfiguration (Kabel, Freileitungen, Mischungsanteil) und dem Anschlussort derzeit noch wenig aussagen. Auch hier hat der VSE eine entsprechende Messkampagne gestartet.

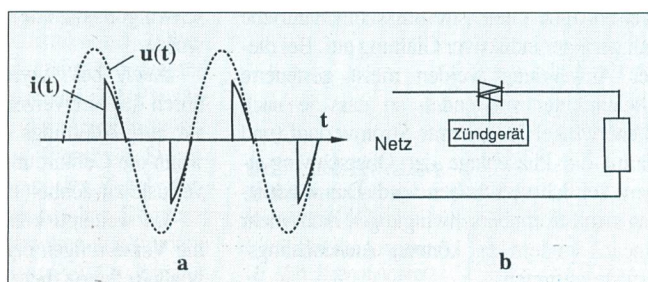
**Störquellen**

**Allgemeines**

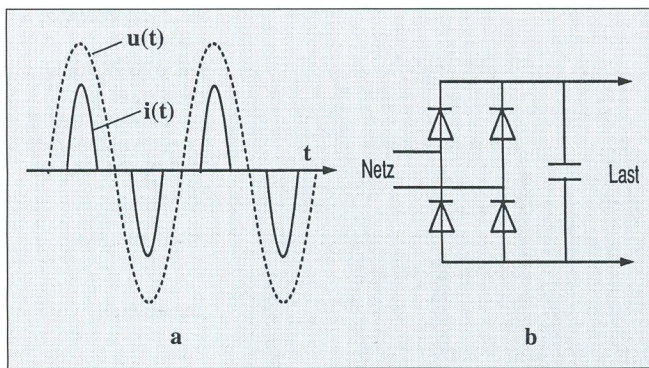
Störquellen sind im weitesten Sinn alle Schaltvorgänge, seien es nun vereinzelte oder häufige (zum Beispiel ein oder mehrere Male pro Netzperiode, wie dies in der Leistungselektronik der Fall ist). Vereinzelte Schaltvorgänge äussern sich durch Stromänderungen und dadurch verursachte Spannungsschwankungen oder Spannungseinbrüche oder Spannungsspitzen. Wiederholte Schaltvorgänge können entweder *netzsynchron*, womit im Netz ein nichtsinusförmiger Strom fliesst, oder aber *netzasynchron* (d.h. mit beliebiger Frequenz) ablaufen. Im ersten Fall treten charakteristische Oberschwingungen (Harmonische) im Netz auf, im zweiten Fall können prinzipiell beliebige Frequenzen (Interharmonische) auftreten. Im folgenden werden einige charakteristische Schaltungen, welche Netzrückwirkungen verursachen, aufgeführt.

**Bild 3** Phasenanschnittsteuerung

- a Verlauf von Netzspannung  $u(t)$  und Netzstrom  $i(t)$
- b Prinzipschema

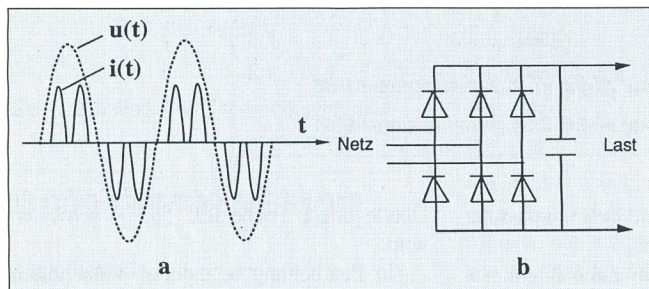






**Bild 4 Kapazitive Glättung (einphasig)**

- a Verlauf von Netzspannung  $u(t)$  und Netzstrom  $i(t)$
- b Prinzipschema



**Bild 5 Kapazitive Glättung (dreiphasig)**

- a Verlauf von Netzspannung  $u(t)$  und Netzstrom  $i(t)$
- b Prinzipschema

## Phasenanschnittsteuerung (einphasig)

Phasenanschnittsteuerungen werden bei Massengeräten wie zum Beispiel Elektrowerkzeugen, Haushaltsmaschinen und Dimmer (Lichtregler) eingesetzt (Bild 3). Bei Lichtreglern werden oft mehrere einphasige Geräte auf alle drei Polleiter verteilt. Dabei können die Anschlussleistungen beachtliche Werte erreichen; zum Beispiel im Opernhaus Zürich wird über Lichtregler eine Leistung von insgesamt 1500 kW gesteuert.

Charakteristisch ist, dass die Stromober-schwingungen in Grösse und Phasenlage stark vom Anschnittwinkel abhängen. Damit kann eine gegenseitige Verstärkung oder Auslöschung auftreten. Im Normalfall treten hier nur ungeradzahlige Harmonische auf.

## Netzgeräte mit kapazitiver Glättung (einphasig)

Praktisch sämtliche netzseitigen Einspeisungen von elektronischen Geräten weisen Netzgleichrichter mit kapazitiver Glättung (Choppernetzgeräte) auf (Bild 4). Charakteristisch ist, dass die Stromimpulse in Breite und Lage bei verschiedenen Geräten weitgehend identisch sind. Die zugehörigen Oberschwingungen addieren sich praktisch linear. Werden mehrere einphasige Geräte (Anschluss Polleiter-Neutralleiter) auf alle drei Polleiter verteilt, so addieren sich die Stromkomponenten der ungeraden durch drei teilbaren Ordnungszahlen im Neutralleiter. Primär ist hier die dritte Harmonische interessant, deren Amplitude 80–90% derjenigen der Grundschwingung beträgt; dies kann im Neutralleiter einen Strom ergeben,

der um einen Faktor 2,7 grösser ist als derjenige im Polleiter. Im Transformator (Stern-Dreieck) werden diese Komponenten als Nullkomponente kurzgeschlossen, so dass zusätzliche Verluste und Erwärmungen (bis zu einigen 10%) auftreten.

## Dreiphasige Netzgeräte mit kapazitiver Glättung

Bei dreiphasigen Lasten treten vor allem bei neuen drehzahlvariablen Antrieben (Frequenzumformer) mit Asynchronmaschinen netzseitig Schaltungen mit kapazitiver Glättung auf (Bild 5).

Die bei dreiphasigen Netzgleichrichtern mit kapazitiver Glättung entstehenden Stromüberschwingungen addieren sich auch hier weitgehend linear. Physikalisch bedingt können hier keine Stromüberschwingungen mit durch drei teilbarer Ordnungszahl entstehen; es entstehen nur Oberschwingungen bei den Ordnungszahlen 5, 7, 11, 13 usw. Netzseitig treten bei drehzahlvariablen Antrieben und nichtidealer Glättung auch Modulationsprodukte und damit interharmonische Komponenten auf.

Ähnliche Kurvenformen des Stromes weisen auch Gleichstrommaschinenantriebe mit geringer induktiver Glättung auf. Bei dieser Anwendung werden meist gesteuerte Gleichrichter verwendet, so dass je nach Steuerwinkel der gesamte Stromverlauf (und damit die Phasenlage der Oberschwingungen) zeitlich verschoben wird. Damit addieren sich Stromüberschwingungen nicht mehr linear, sondern es können Auslöschungseffekte auftreten.

## Schwingungspaketsteuerung

Die Schwingungspaketsteuerung ist ein Verfahren zur Leistungssteuerung von Heizelementen (zum Beispiel Haartrockner, Kochplatten usw.), bei welchem der Stromfluss während einer Anzahl aufeinanderfolgender Spannungsschwingungen freigegeben und während einer Anzahl aufeinanderfolgender Spannungsschwingungen gesperrt wird. Dadurch entstehen Pakete des Stromes, welche immer eine ganze Anzahl Perioden enthalten müssen (Bild 6).

Die mittlere Leistungsaufnahme lässt sich durch Veränderungen des Verhältnisses der pro Zyklusdauer durchgeschalteten ganzen Halbschwingungen steuern. Da hier im Spannungsnulldurchgang geschaltet wird und ohmsche Lasten vorliegen, entstehen keine Oberschwingungsströme. Die Leistungsschwankungen verursachen jedoch Spannungsschwankungen am Verknüpfungspunkt.

*Hinweis:* Zur Vermeidung von Gleichstromkomponenten sollte immer eine gerade Anzahl Halbschwingungen durchgeschaltet oder gesperrt werden. Bei Haartrocknern wird häufig die Heizleistung in zwei Stufen mittels einer vorgeschalteten Diode variiert: hier treten Gleichströme im Netz auf, welche sich allerdings statistisch (Polung der Netzstecker) gegenseitig weitgehend aufheben.

## Auswirkungen der Netzverzerrungen

Über die Auswirkungen der Netzverzerrungen besteht im Moment vielfach noch ziemliche Unklarheit. Sicher ist, dass die Verzerrungen der Spannungsform zu zusätzlichen Strömen in Kompensationskondensatoren führen, und dass damit zusätzliche Verluste entstehen. In diesem Zusammenhang ist auch die Norm SN 413724 «Kompensations- und Saugkreisanlagen in Niederspannungsnetzen» zu sehen, welche vorgibt, dass Kompensationsleistungen von >25 kvar grundsätzlich zu verdrosseln sind. Dadurch wird erreicht, dass keine unkontrollierten Resonanzstellen, wie dies bei herkömmlichen Kompensationsanlagen mit vorgeschaltetem Sperrkreis für die Rundsteuerfrequenz der Fall ist, entstehen und damit die Oberschwingungsspannungen keine unzulässigen Werte erreichen. Schon manche Kompensationsanlage herkömmlicher Bauart hat Schaden erlitten, weil das elektrische Umfeld (Oberschwingungsströme) zu wenig beachtet wurde.

Auch bei Asynchronmaschinen treten durch die Netzverzerrung zusätzliche Verluste auf. Allerdings ist nicht ganz klar, ab wann die Gefährdungen durch diese Zusatzverluste tatsächlich akut werden.

Im weiteren können Steuerungen durch die Verzerrungen der Netzspannung, welche ja als Referenz dient, gestört werden.



Als Anhaltspunkt mag für reale Störungen gelten, dass Spannungsverzerrungen durch Harmonische oberhalb 10% THD potentiell zu Störungen führen; Interharmonische können bereits bei wesentlich kleineren Pegeln problematisch werden und zum Beispiel zu Fehlfunktionen bei Rundsteuerempfängern führen.

Eigentliche *Schaltvorgänge* verursachen neben den Spannungsabsenkungen auch noch transiente Überspannungen (Spitzen), welche bei ungenügender Auslegung der Netzteile in die eigentliche Elektronik eindringen und dort Fehlfunktionen bis hin zur Zerstörung verursachen können.

### Schweizer Normen

#### Allgemeines

In der Schweiz sind im Bereich Netzrückwirkungen folgende Normen anzuwenden:

SN 413600 Begrenzung von Beeinflussungen in Stromversorgungsnetzen

SN 413724 Kompensations- und Saugkreisanlagen in Niederspannungsnetzen

In der SN 413600 ist die zulässige Beeinflussung (Oberschwingungen und Spannungsänderungen) der Netze durch Verbraucher festgelegt; die SN 413724 enthält Bestimmungen, wie Kompensations- und Saugkreisanlagen auszuführen sind, damit im Netz keine unkontrollierten Resonanzstellen entstehen und wie die Oberschwingungsspannungen durch Saugkreise auf die zulässigen Werte reduziert werden.

Die Bestimmungen dieser beiden Normen sind zwingend vorgeschrieben; darüber hinaus sind die Werkvorschriften des jeweiligen (energieliefernden) Elektrizitätswerkes zu beachten. Beide Normen sind in zwei Teile gegliedert:

Teil 1: Bestimmungen (Definitionen, zulässige Werte, Ausführungsvorschriften usw.)

Teil 2: Berechnungen und Erläuterungen (Berechnungsbeispiele, Informationen zu den Bestimmungen).

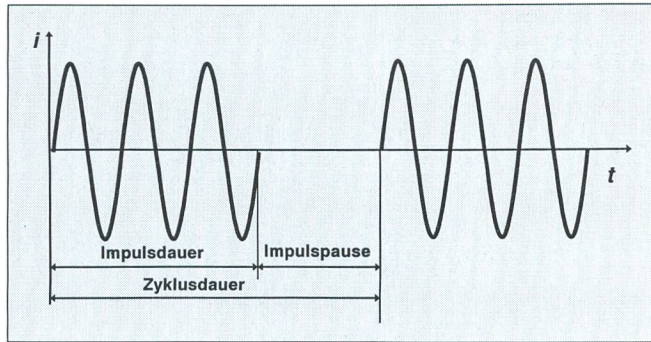
In den nachfolgenden Abschnitten werden die wesentlichen Punkte dieser beiden Normen aufgezeigt.

#### SN 413600: Begrenzung von Beeinflussungen in Stromversorgungsnetzen

Die Beurteilung der Emissionen (Oberschwingungen und Spannungsänderungen) erfolgt am Verknüpfungspunkt (VP). Der Verknüpfungspunkt ist die Anschlussstelle eines Abnehmers an das öffentliche Stromversorgungsnetz und ist in der Regel identisch mit der Energiemessstelle. Demnach liegt der VP für «Niederspannungskunden» auf der Niederspannungsseite, für Kunden

**Bild 6 Schwingungspaketsteuerung**

Beispiel für Stromverlauf  $i(t)$



**Tabelle II Zulässige Oberschwingungen**

Zulässige Oberschwingungsspannungsbeiträge  $b_n$  von Geräten und Anlagen, bezogen auf die Netzspannung, am Verknüpfungspunkt; nach Norm SN 413600

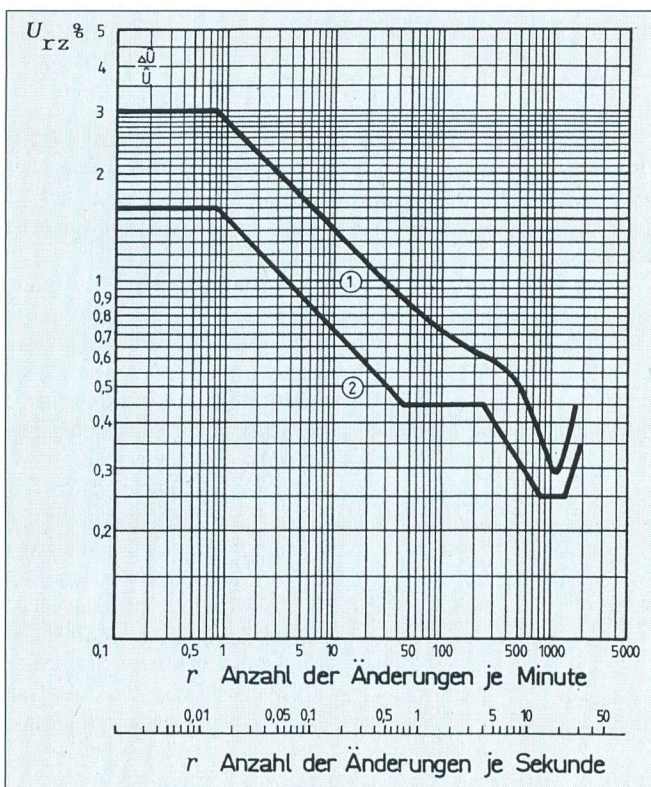
Ungeradzahlige Ordnungszahl der Oberschwingungen		Geradzahlige Ordnungszahl der Oberschwingungen	
$n$	$b_n$ [%]	$n$	$b_n$ [%]
3	0,85	2	0,3
5	0,65	4-40	0,2
7	0,6		
9, 11	0,4		
13	0,3		
15-39	0,25		

mit eigener Transformatorenstation auf der Mittelspannungsseite. Die Tabelle II zeigt die prozentualen Oberschwingungsspannungsbeiträge, bezogen auf die Nennspannung, welche pro Abnehmer am VP zulässig sind.

In Bild 7 ist die zulässige relative Spannungsänderung  $U_{rz}$  in Funktion der Häufigkeit

des Auftretens für Nieder- und Mittelspannungsnetze nach SN 413600 angegeben. Die beiden Kurven basieren auf rechteckförmigen Spannungsänderungen.

Ohne spezielle Bewilligung dürfen Haushaltgeräte (Massengeräte) und ähnliche elektrische Einrichtungen angeschlossen werden, die bezüglich Oberschwingungen der IEC



**Bild 7 Zulässige relative Spannungsänderung  $U_{rz}$  nach SN 413600**

(1) Niederspannungsnetz  
(2) Mittelspannungsnetz



# Elektrische Energieverteilnetze

Tabelle III Zulässige Anschlussleistungen ohne spezielle Bewilligung

Nennspannung [V]	Anschlussart	Leistung			
		Phasenanschnitt Gleichrichter 1)	Motoren		Übrige Geräte 4)
			2)	3)	
230	L-N	0,7 kVA	1,5 kW	0,75 kW	0,7 kVA
400/230	L-L-N	1,0 kVA	–	–	1,4 kVA
400/230	L1-L2-L3-N	1,2 kVA	–	–	2,1 kVA
400	L-L	2,0 kVA	2,2 kW	1,1 kW	2,0 kVA
400	L1-L2-L3	3,6 kVA	4,0 kW	2,2 kW	3,6 kVA

1) Maximale Leistung bezüglich Oberschwingungen  
 2) Nennleistung der Motoren für  $r$  bis 0,8 /min; z.B. Motoren in der Landwirtschaft, Motoren für Pumpen und Ventilation  
 3) Nennleistung der Motoren für  $r$  über 0,8 /min; z.B. Liftmotoren  
 4) Maximale Leistung der Geräte für  $r$  bis 120 /min; z.B. Schweissmaschinen, Schwingungspaketsteuerungen  
 $r$  Anzahl Änderungen je Zeiteinheit; Ein- und Ausschaltung zusammen ergeben zwei Änderungen

Norm 555-2 und bezüglich Spannungsänderungen der IEC-Norm 555-3 entsprechen. Andere Geräte, deren Leistungen die in Tabelle III aufgeführten Werte nicht übersteigen, dürfen in der Schweiz ebenfalls ohne spezielle Bewilligung angeschlossen werden. Für den Anschluss von Geräten und Anlagen, welche die obgenannten Bestimmungen oder die Werte gemäss Tabelle III überschreiten, ist dem stromliefernden Elektrizitätswerk, unabhängig einer allfälligen Installationsanzeige, ein Anschlussgesuch *Formular VSE 1.18* einzureichen. Aufgrund der Abnehmer- und Netzdaten kann das Elektrizitätswerk beurteilen, ob die Grenzwerte bezüglich den Emissionen eingehalten werden oder ob allenfalls besondere technische Massnahmen zu treffen sind, um einem Anschlussgesuch entsprechen zu können.

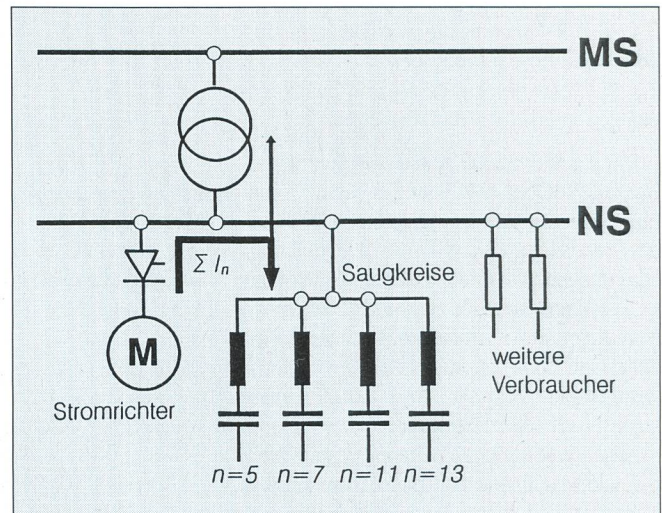
Für Abnehmer mit eigener Transformatorstation liegt in der Regel die Kontrollpflicht nicht beim Elektrizitätswerk, sondern beim Starkstrominspektorat. Da sich die Emissionen beim Anschluss von Geräten und Anlagen auch auf das Mittelspannungsnetz auswirken, wird empfohlen, den Anschluss von Geräten mit einer Leistung >100 kW dem energieliefernden Werk anzumelden, so dass eine Beurteilung dieser Emissionen am Verknüpfungspunkt auf der Mittelspannungsseite vorgenommen werden kann. Dar-

Rundsteuerfrequenz [Hz]	Verdrosselungsfrequenz [Hz]
165–250	≤130
251–350	≤185
>350	≤214

Tabelle IV Wahl der Verdrosselungsfrequenz

### Bild 8 Saugkreisanlage

Beispiel für das Absaugen von Oberschwingungsströmen mit Saugkreisanlage



über hinaus ist darauf zu achten, dass auf der Niederspannungsseite die Kompatibilitätspegel für einzelne Harmonische gemäss Tabelle I nicht überschritten werden.

### SN 413724: Kompensations- und Saugkreisanlagen in Niederspannungsnetzen

Für die Beurteilung von Emissionen am Verknüpfungspunkt ist die Charakteristik des anzuschliessenden Gerätes sowie die Netzimpedanz massgebend. Bei überschwingungserzeugenden Geräten ist die Impedanz in Funktion der Frequenz für die Berechnungen heranzuziehen, denn die im Netz vorhandenen Kapazitäten (Kompensationskondensatoren, Leitungskapazitäten) führen zusammen mit den Induktivitäten (Transformatoren und anderen Netzinduktivitäten) zu einem Schwingkreis. Liegt die Resonanzfrequenz dieses Schwingkreises bei oder in der Nähe einer Oberschwingungsfrequenz, so können durch die Oberschwingungsströme hohe Oberschwingungsspannungen auftreten,

welche zu Störungen von anderen Verbrauchern, zur Überlastung der Kompensationsanlagen und zum Ansprechen der Schutzeinrichtungen führen.

Für Tonfrequenzsignale, die von Rundsteueranlagen ins Mittelspannungsnetz eingespeist werden, bildet die Kapazität von Kompensationsanlagen, zusammen mit der Induktivität von Verteiltransformatoren, einen Serieschwingkreis. Liegt die Resonanzfrequenz dieses Schwingkreises bei einer Rundsteuerfrequenz oder in deren Nähe, so kann die Tonfrequenzspannung der Rundsteueranlage im Niederspannungsnetz auf unzulässig hohe Werte angehoben werden, während die Tonfrequenzimpedanz im Mittelspannungsnetz reduziert wird, wodurch sich für die Rundsteueranlage eine zusätzliche Belastung ergibt. Liegt die Resonanzfrequenz des Schwingkreises weit unterhalb der Rundsteuerfrequenz, so kann die Rundsteuerspannung auf unzulässige Werte abgesenkt werden. Zur Vermeidung von Resonanzere-



scheinungen durch Oberschwingungen im Netz gilt:

*Kompensationsanlagen mit einer Leistung von >25 kvar pro Abnehmer sind zu verdrosseln.*

Die Verdrosselungsfrequenz ist gemäss Tabelle IV so zu wählen, dass durch die Verdrosselung keine Rundsteueranlagen gestört werden.

Nachteilige Auswirkungen von Kompensationsanlagen auf Rundsteueranlagen können durch Sperrkreise oder Sperrdrosselspulen verhindert werden. Solche Massnahmen sind nur bei Kompensationsanlagen von >10 kvar und  $\leq 25$  kvar und Steuerefrequenzen über 350 Hz erforderlich. Da Kompensationsanlagen mit einer Leistung von mehr als 25 kvar generell zu verdrosseln sind, erübrigen sich zusätzliche Massnahmen. Die Wahl der entsprechenden Verdrosselungsfrequenz geht ebenfalls aus Tabelle IV hervor.

Durch beim Oberschwingungs-Erzeuger angeordnete Saugkreise können die Oberschwingungsströme weitgehend vom Netz ferngehalten werden (Bild 8). Saugkreisanlagen sind aus Serieschwingkreisen aufgebaut. Die Saugkreise werden so abgestimmt, dass sie, bezogen auf die Netzimpedanz, für Oberschwingungsströme relativ kleine Impedanzen darstellen. Die Oberschwingungsströme werden somit weitgehend von den Saugkreisen aufgenommen. Nur noch ein kleiner Teil der Ströme fliesst in das Netz und die übrigen Verbraucher.

Das in Bild 9 gezeigte Ablaufschema illustriert, welche Art von Kompensations- oder Saugkreisanlage für einen bestimmten Anwendungsfall zu wählen ist.

**Anmerkung**

Die zur Überwachung der Netze notwendigen Messungen stellen grosse Anforderungen

an die Elektrizitätswerke; sie werden das Thema eines binnen kurzem erscheinenden Artikels sein.

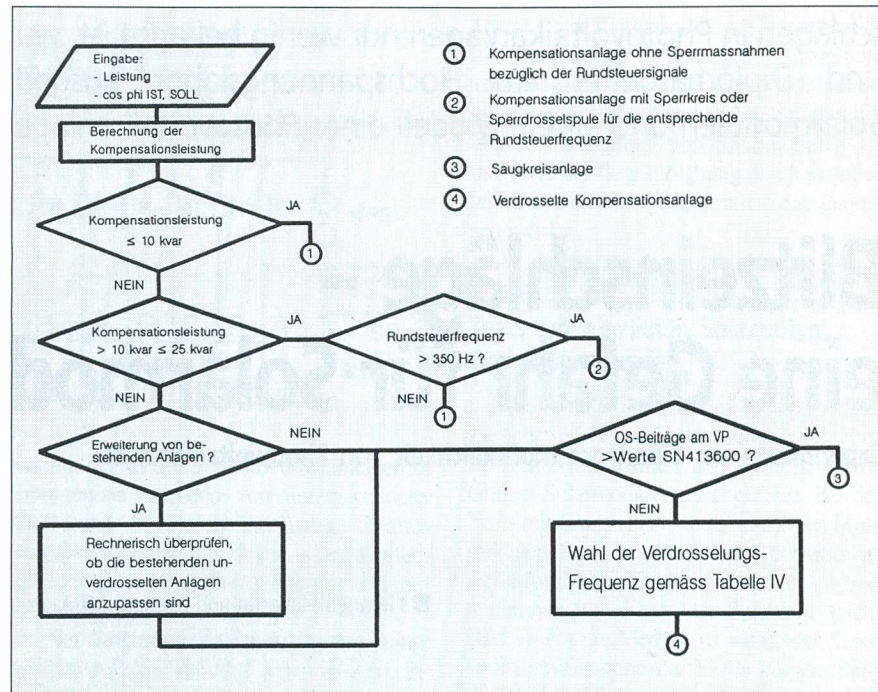


Bild 9 Ablaufschema zur Dimensionierung von Kompensations- und Saugkreisanlagen

**Schlussfolgerungen**

Leistungselektronische Systeme sind heute in praktisch allen Geräten im Haushalt sowie im Dienstleistungs- und Industriesektor vertreten. Neben unbestreitbaren Vorteilen, wie feinstufige Leistungssteuerung und Energieersparnis, weisen sie aber auf der Netzseite derzeit noch gravierende Nachteile in Hinsicht auf verzerrte Netzströme und damit Verzerrung der Netzspannung auf. Sie verschlechtern damit die Qualität der Energieversorgung und können potentiell sich selbst und andere Verbraucher beeinflussen. Es ist daher die Pflicht der Werke, die Qualität der Netzspannung zu überwachen, damit sie den Zustand ihrer Netze kennen. Bei Bedarf müssen sie geeignete Massnahmen ergreifen (zum Beispiel Installation einer Saugkreisanlage), so dass die in den Normen vorgegebenen Grenzwerte eingehalten werden.

**Qualité de l'approvisionnement en électricité**

**Caractéristiques de la tension de réseau et perturbations des réseaux**

Les systèmes électroniques de puissance sont aujourd'hui présents pratiquement dans tous les appareils domestiques et dans tous ceux des secteurs industriels et des services. A part des avantages incontestés tels la commande à régulation sensible de la puissance et des économies d'énergie, ils présentent d'autre part encore des inconvénients sérieux côté réseau en ce qui concerne les courants de ligne distordus entraînant une distorsion de la tension de réseau (fig. 3-6). Ils détériorent la qualité de l'approvisionnement en électricité et peuvent se perturber eux-mêmes et d'autres consommateurs. Les grandeurs perturbatrices qui en résultent ainsi que la résistance antiparasite des moyens de production doivent être harmonisés de manière à obtenir une «compatibilité électromagnétique» dans les réseaux d'ap-

provisionnement; les normes déterminantes sont citées dans l'article.

Aujourd'hui, dans beaucoup de réseaux, les niveaux de compatibilité pour les harmoniques (tableau 1) fixés par les organismes (Cigré, Unipede, CEI, Cénélec, etc.) sont pratiquement atteints voire déjà surpassés (fig. 2: statistique UCS). Les entreprises d'électricité sont donc tenues de surveiller la qualité de la tension de réseau, pour qu'elles connaissent l'état de leurs réseaux. Si besoin est, elles doivent prendre les mesures qui s'imposent (par exemple l'installation d'un circuit piège; fig. 8) de manière à respecter les valeurs limites fixées par les normes. Un article suivant rapportera les méthodes de mesure utilisées pour la surveillance de la qualité des réseaux.