

# Messung der Netzqualität : neue Möglichkeiten im deregulierten Markt

Autor(en): **Detroz, Tanguy / Kahn, Thomas**

Objektyp: **Article**

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 (Jahr): **90 (1999)**

Heft 15

PDF erstellt am: **12.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-901963>

## **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

## **Haftungsausschluss**

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

# Messung der Netzqualität

## Neue Möglichkeiten im deregulierten Markt

Im Zuge der Liberalisierung kommt dem Wissen über die Qualität des elektrischen Netzes immer grössere Bedeutung zu. Moderne Messsysteme können die Spannungsqualität an verschiedenen Punkten des Stromnetzes erfassen und in einer zentralen Datenbank speichern. Durch Korrelation der relevanten Messgrössen unter Berücksichtigung des zeitlichen Verlaufs lassen sich die Störungsursachen im Netz lokalisieren.

Die wachsende Bedeutung der Netzqualität, die in den letzten zwanzig Jahren beobachtet werden konnte, hat verschiedene Gründe:

- Der zunehmende Einsatz von nicht-linearen oder gepulsten Lasten erzeugt Netzzrückwirkungen.
- Mehr und mehr elektronisch gesteuerte Geräte sind empfindlich auf Netzverunreinigungen und benötigen für den einwandfreien Betrieb eine klar definierte Qualität der Versorgungsspannung.
- Mit der Liberalisierung des Marktes entsteht vermehrt Konkurrenzdruck zwischen den einzelnen Energieanbietern. Dieser führt dazu, dass der Beziehung Kunde-Lieferant eine entscheidende Bedeutung zukommen wird.

In der Vergangenheit war die Bestimmung der Spannungsqualität in der Regel eine lokale Angelegenheit: Ein Kunde beschwerte sich über eine mangelnde Qualität, Messungen wurden veranlasst und die Resultate ausgewertet. Falls während der Messzeit keine speziellen Ereignisse wie Netzausfälle auftraten, konnte niemand beweisen, was wirklich geschehen war und was zur Reklamation geführt hatte.

Heute ist aufgrund der erhöhten Sensibilität der Kunden und der Anforderun-

gen an eine umfassende Qualitätskontrolle die permanente Überwachung und Aufzeichnung der Spannungsqualität der richtige Weg. Die Messung liefert:

- eine Übersicht über die Spannungsqualität, den aktuellen Grad an Netzstörungen und über Trends
- Qualitätsreports
- eine detaillierte, zeitlich aufgeschlüsselte Aufzeichnung von Störungen. Damit kann auf die Ursache der Störung geschlossen und Ereignisse zugeordnet werden, ungewöhnliche Situationen können von saisonbedingten Trends unterschieden werden
- Predictive Maintenance – vorsorgliche Instandhaltung. Störungen können frühzeitig aufgrund von Indikatoren vorausgesagt werden

In diesem Artikel wird eine Lösung zur permanenten Überwachung der Spannungsqualität präsentiert, die in Belgien entwickelt wurde und dort bereits vom Elektrizitätswerk Electrabel auf breiter Basis angewendet wird.

### Netzstörungen

Bevor wir von Netzstörungen sprechen, muss zuerst der Begriff der Netzqualität definiert werden. Man unterscheidet hierbei die Qualität der Strom-

versorgung, das heisst die Zuverlässigkeit der Energieversorgung und die Qualität der Spannung, also die Übereinstimmung der angebotenen Spannung mit der sinusförmigen Idealspannung. Die Netzqualität wird als die Summe dieser beiden Kriterien angesehen.

### Spannungseinbrüche

Die Höhe der Spannung ist der entscheidende Faktor der Spannungsqualität. Bricht die Spannung ein oder verschwindet sie ganz, spricht man von einem Spannungseinbruch (oder kürzer aus dem Englischen von einem Dip) oder einem Spannungsunterbruch. Die Einbruchtiefe und die Dauer dienen dabei als Grössen zur Beschreibung eines solchen Ereignisses.

Ein Spannungseinbruch ist ein plötzliches Absinken des Effektivwertes unter 90% der Nennspannung, gefolgt von einem Wiederanstieg über die 90%, in einem Zeitraum zwischen 10 ms und 60 s. Normalerweise dauert ein Dip im Mittel- oder Hochspannungsnetz weniger als 0,2 s.

Kurze Dips können unangenehme Folgen haben wie etwa den Ausfall von Maschinensteuerungen (Produktionsverluste) oder die Beschädigung von Motoren durch den schnellen Wechsel des Drehmomentes.

In den meisten Fällen werden Dips durch Isolationsfehler im Mittel- oder Hochspannungsverteilstromnetz verursacht. Externe Faktoren wie Schnee, Gewitter und Frost oder auch Äste, die Leitungen berühren, sind ebenfalls häufige Verursacher. Tritt ein solcher Fehler auf, nehmen alle Kunden, die von diesem übergeordneten Netz gespeist werden, einen Dip wahr.

Viele Spannungseinbrüche werden auch vom Verbraucher selbst verursacht. Das Zuschalten einer grossen Last kann zu einem Spannungseinbruch führen, wenn die Kurzschlussleistung am Übergabepunkt zu gering ist. Neben Kurzschlüssen können Spannungseinbrüche auch durch das Einschalten von grossen

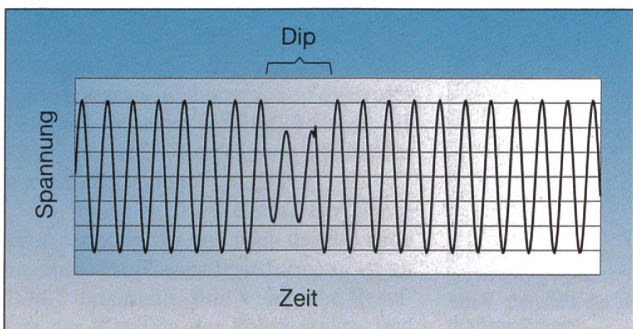


Bild 1 Spannungseinbruch (Dip)

#### Adressen der Autoren

Tanguy Detroz, Actlem S.A.  
B-1420 Braine-l'Alleud  
Thomas Kahn, Dipl. El.-Ing. ETH  
LEM Elmes AG, 8808 Pfäffikon SZ

Motoren oder Kondensatorbanken verursacht werden.

**Flicker**

Flicker bezieht sich auf die Reaktion des menschlichen Gehirns auf Leuchtdichteschwankungen von Lichtquellen. Flicker (beschrieben in der Norm IEC 61000-4-15, vormals IEC 868) ist abhängig von der Empfindung und der Reaktion einzelner Menschen. Deshalb kann nur ein statistischer Wert eine brauchbare Aussage liefern, ein Wert, der durch geeignete Experimente mit einer statistisch relevanten Zahl an Menschen bestimmt wurde. Flicker kann unter anderem Kopfweg oder sogar epileptische Anfälle auslösen.

Flicker wird durch Spannungsänderungen verursacht, die von gepulsten oder veränderlichen Lasten, wie zum Beispiel Lichtbogenöfen, Laserdruckern oder Mikrowellengeräten, stammen.

Die Verarbeitung optischer Reize durch das Gehirn ist sehr kompliziert, und eine detaillierte Erklärung würde den Rahmen dieser Zusammenfassung sprengen. Wichtig ist zu wissen, dass die Empfindlichkeit des menschlichen Gehirns mit der Frequenz der Reize variiert und bei rund 8 Hz ein Maximum erreicht. Der Auswertebereich erstreckt sich von 0,01 bis 33 Hz.

Gemessen werden der Kurzzeitflicker  $P_{st}$  und der Langzeitflicker  $P_{lt}$ , der als kubischer Mittelwert aus 12 Kurzzeitwerten gemäss

$$P_{lt} = \sqrt[3]{\left(\sum_{i=1}^{12} P_{sti}^3\right) / N} \quad (1)$$

berechnet wird. Damit die Mehrzahl der Menschen nicht gestört wird, muss der  $P_{st}$ -Wert unter 1,00 liegen.

Die einzigen Methoden, Flicker zu reduzieren, sind die Erhöhung der Kurzschlussleistung am Übergabepunkt (grössere Kabel oder Transformatoren) oder die flickererzeugende Last von anderen Lasten, insbesondere dem Licht, zu trennen.

**Transienten**

Transienten haben verschiedene Ursachen wie etwa Gewitter (bei Freileitungen), Abschalten induktiver Lasten oder Zuschalten von Kondensatorbanken. In diesen Fällen sind die Transienten zufällig und können als einzelne, flüchtige Ereignisse klassiert werden. Mit Leistungselektronik getaktete Lasten hingegen können beim Ein- und Ausschalten des Leistungshalbleiters regelmässige transiente Vorgänge erzeugen, die durch geeig-

Bild 2 Transiente durch Ausschaltvorgang im Niederspannungsnetz

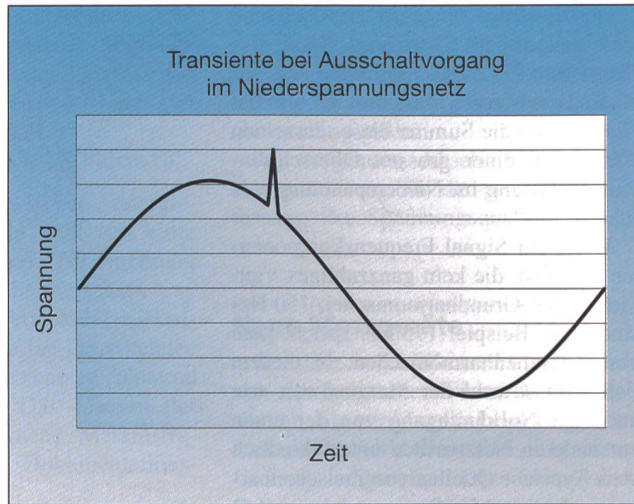


Bild 3 Transiente durch Schaltvorgang einer Kondensatorbank

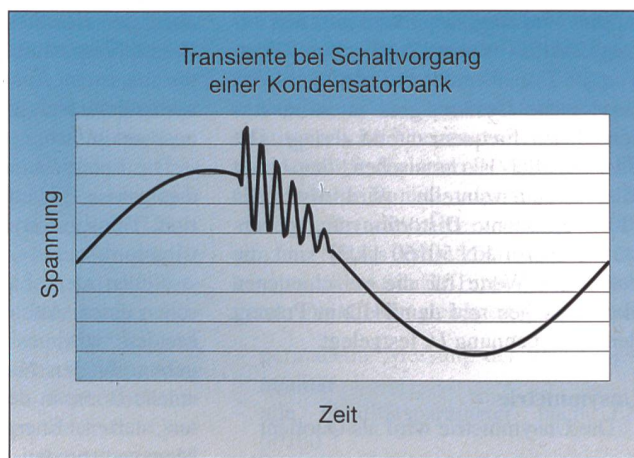
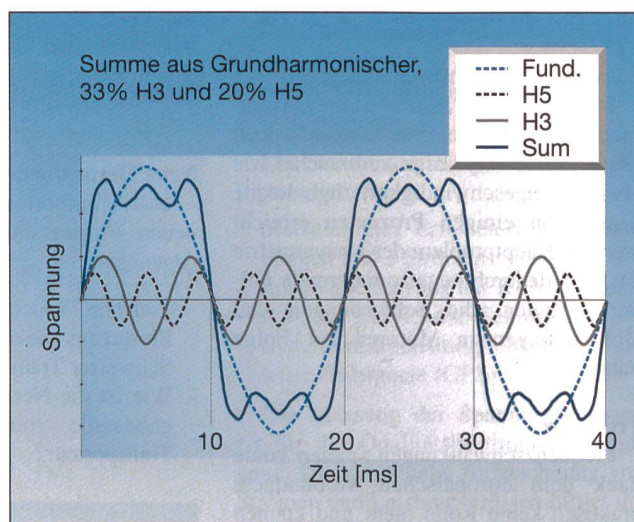


Bild 4 Harmonische eines rechteckförmigen Stromes



nete schaltungstechnische Massnahmen zu minimieren sind.

**Harmonische und Zwischenharmonische**

Immer öfter weicht der von einer Last aufgenommene Strom stark von der Sinusform ab. Über die Netzimpedanz werden diese verzerrten Ströme auf die Spannung abgebildet. Vorzeitiges Altern von Transformatoren oder eine Erhöhung

des Stroms im Neutralleiter sind nur zwei Beispiele für die negativen Auswirkungen von verzerrten Netzspannungen, die sich als Überlagerung der (50-Hz-) Grundwelle mit ganzzahligen Vielfachen der Grundfrequenz, den sogenannten Harmonischen, darstellen lassen. Eine Last beispielsweise, die einen rechteckförmigen Wechselstrom bezieht, erzeugt grosse Anteile der dritten (150 Hz) und der fünften (250 Hz) Harmonischen.

Im Haushalt oder im Bürogebäude sind es vor allem Stromsparlampen, TV-Geräte und PC, die Harmonische verursachen. Durch die grosse Anzahl solcher Geräte kann die Summe dieser einzelnen Anteile zu einer grossen Oberschwingungsbelastung im Niederspannungsnetz führen.

Wenn ein Signal Frequenzkomponenten aufweist, die kein ganzzahliges Vielfaches der Grundharmonischen (50 Hz) sind, zum Beispiel 175 Hz, spricht man von Zwischenharmonischen. In diesem Fall wird sowohl der Maximalwert wie auch der Nulldurchgang von der einen zur anderen Netzperiode unterschiedlich sein. Typische Quellen von Zwischenharmonischen sind Frequenzumrichter.

Die Messung der Harmonischen erfolgt mittels einer sogenannten Fast-Fourier-Transformation. Dabei wird das periodische Gesamtsignal in seine verschiedenen Frequenzanteile zerlegt. Die Summe aller Harmonischen, das heisst aller Frequenzanteile, wird als THD (Total Harmonic Distortion) angegeben. In der Norm EN 50160 [1,2] sind die zulässigen Werte für die verschiedenen Harmonischen und den THD in Prozent der Nennspannung  $U_n$  festgelegt.

### Unsymmetrie

Die Unsymmetrie wird als Quotient

$$\frac{\text{Gegensystem}}{\text{Mitsystem}}$$

berechnet und in Prozent angegeben.

In europäischen Netzen ist die Unsymmetrie generell klein; es können jedoch durch grosse einphasige Verbraucher wie etwa Hochgeschwindigkeitszüge lokale Werte von einigen Prozenten erreicht werden. Hauptproblem der Unsymmetrie ist, dass dadurch negativ rotierende Felder auftreten, die Schwebungen und Überhitzungen in Motoren zur Folge haben.

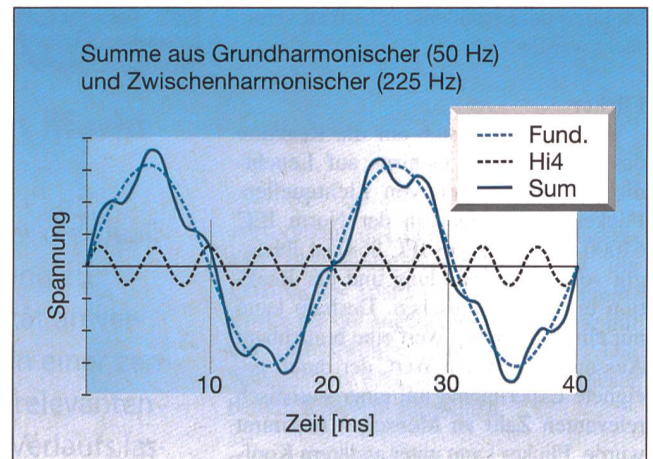
### Frequenz

Frequenzschwankungen spielen heute dank dem europäischen Verbundnetz praktisch keine Rolle mehr und können weitgehend vernachlässigt werden.

## Netzqualität und Liberalisierung

Infolge der Liberalisierung erhalten technische Probleme aus der Sicht des Marketings eine erhöhte Bedeutung. Zunächst werden Grosskunden ihren Energielieferanten frei wählen können. Das heisst zwar nicht, dass ein Kunde in der Schweiz direkt mit dem Lieferanten aus Frankreich verbunden ist. Es heisst

Bild 5 Zwischenharmonische



aber zum Beispiel, dass ein Kunde, der Produktionszentren in ganz Europa hat, nur mit einem Anbieter für alle Standorte verhandeln und so einen besseren Preis aushandeln kann.

Die Energieversorgung wurde dazu in drei grosse Einheiten aufgeteilt: Produktion, Transport und Feinverteilung (Distribution).

Neben den Langzeitverträgen zwischen einem Anbieter und einem Grosskunden wird es auch Elektrobörsen geben. In den Niederlanden wird eine solche Börse in den kommenden Monaten starten. Energielieferanten werden Megawattstunden anbieten, die Händler für einen Grosskunden zu einem Preis kaufen können, der von der jeweiligen Nachfrage abhängt. Eine ähnliche Börse gibt es schon heute in Skandinavien.

### Neue Herausforderungen

Das Transportmanagement sieht sich neuen Fragen und Herausforderungen gegenüber:

- Welchen Preis muss ein ausländischer Produzent bezahlen, wenn er das Schweizer Transportnetz braucht?
- Wie ist die Netzqualität an der Übergabestelle vom Produzenten zum Transporteur?

- Wie ist die Netzqualität an der Übergabestelle vom Transporteur zum Distributor?
- Wer hat die Qualität verbessert oder verschlechtert? Wer zahlt dafür und wieviel?

Das Distributionsmanagement muss die gleichen Fragen an den Schnittstellen Transport – Distribution – Endverbraucher beantworten.

### Neue Regeln

Die Spannungsqualität in öffentlichen Verteilnetzen wird seit 1994 durch die europäische Norm EN 50160 festgelegt. Technische Reports wie IEC 61000-3-6 und 61000-3-7 definieren die zulässige Verunreinigung in der Mittel- und Hochspannungsebene [3,4].

Die EN 50160 legt Grenzwerte und Messvorschriften für Spannung, Flicker, Harmonische, Unsymmetrie und Frequenz für Nieder- und Mittelspannungsnetze fest. Die EN 50160 bestimmt jedoch nicht, wie Dips und Unterbrechungen ausgewertet werden sollen. Aufgrund praktischer Messungen hat eine Gruppe von Experten der Unipede (International Union of Producers and Distributors of Electrical Energy) einen Applikationsführer zur EN 50160 veröffentlicht, der unter anderem eine Klassifizierung für

Tiefe		Dauer					
		[ms]	[ms]	[s]	[s]	[s]	[s]
Von	bis	10 < 100	100 < 500	0,5 < 1	1 < 3	3 < 20	20 < 60
0	10						
10	30		3	9			
30	60						
60	99					1	

Tabelle 1 Erfassung von Spannungseinbrüchen



Bild 6 Topologie der Messorte I und II

Dips und Unterbrechungen in Abhängigkeit von deren Dauer und Tiefe vornimmt [5]. Tabelle I umfasst 24 Klassen, in welchen jeder Dip und jede Unterbrechung während der Messzeit (bis zu einem Jahr) gezählt wird.

Dasselbe Prinzip gilt auch für Überhöhungen (15 Klassen) und Unterbrüche (3 Klassen).

Auf der einen Seite definieren diese Normen messbare Grössen der Spannungsqualität. Auf der anderen Seiten geben sie dem Kunden neue Rechte, die er bis anhin nicht kannte. So kann sich nach EN 50160 ein Kunde beschweren,

falls die gelieferte Qualität am Übergabepunkt nicht dem Standard entspricht. Falls er mit der gelieferten Qualität und dem Service nicht zufrieden ist, kann er den Lieferanten wechseln.

Dies lässt die folgenden Schlüsse zu:

- Die Beziehung zwischen Energieanbieter und Kunde wird von einer rein kommerziellen Vereinbarung mehr und mehr zur Partnerschaft.
- Die Qualität des Produktes «elektrische Energie» sollte bei Grosskunden und wichtigen Netzknoten dauernd überprüft werden. Das Messen der Qualität erfordert neue Messinstrumente und neue Dokumentationsmittel.

Bis anhin wurde die elektrische Energie nach Kilowattstunden und Tageszeit verrechnet. Heute wird in verschiedenen Ländern damit begonnen, einen Teil der Kosten qualitätsabhängig zu verrechnen (z.B. abhängig von der Anzahl aufgetretener Dips). Daher wird die permanente Überwachung sowohl für das EVU als auch für den Grossverbraucher zunehmend zur Pflicht werden. Da die verschiedenen Bezüger untereinander verbunden sind und Störungen, die von einem Kunden verursacht wurden, Auswirkungen auf andere weit entfernte Kunden haben können, darf die Qua-

litätsmessung nicht auf einen einzelnen Messpunkt beschränkt bleiben. Das Netz sollte deshalb immer als Ganzes betrachtet und an seinen wichtigsten Punkten überwacht werden.

Im folgenden Abschnitt wird eine Komplettlösung für die permanente Erfassung der Spannungsqualität präsentiert.

### Neue Messgeräte

Die hier beschriebene Lösung wurde von der belgischen Firma Actlem entwickelt. Sie wird bereits beim belgischen Elektrizitätswerk Electrabel in grossem Umfang eingesetzt. Das Messsystem Q-Wave kann sowohl von Elektrizitätswerken als auch von grossen Industriefirmen für die Überwachung der Netzqualität eingesetzt werden.

Die neuen Instrumente bieten eine kontinuierliche Überwachung der Spannungsqualität. Sie sind als Messgeräte für ausgewählte Punkte oder als Gesamtsystem für die Überwachung eines ganzen Netzes einsetzbar. Die Geräte sind multifunktionale Einheiten, die folgende Funktionen gleichzeitig ausführen:

- permanente Messung der Spannungsqualität
- alle Qualitätsparameter nach EN 50160
- Erfassen statistischer Netzgrössen
- Detailaufzeichnung von Spannungseinbrüchen
- Strom- und Leistungsgrössen
- Online-Daten

Die Messgeräte selbst haben folgende Eigenschaften:

- potentialfreie Erfassen von 3 Spannungen und 3 Strömen
- lokale Speicherung auf RAM-Karten
- RS-232- und RS-485-Schnittstelle
- Synchronisationsmöglichkeit auf externe Zeitsignale (GPS)

Die Messung der Spannungsgrössen ist für die Qualitätsbestimmung genügend. Die zusätzliche Aufzeichnung von Strömen und Leistungsgrössen öffnet die Tür für weitergehende Analysen. Die auf einer SQL-Datenbank basierende Betriebs- und Auswertesoftware erlaubt die Vorteile des vernetzten Messsystems zu nutzen. Die Software umfasst folgende Funktionalitäten:

- Verwaltung der Messgeräte (Programmierung, Datenübertragung, automatische Fernabfrage, Auswertung)
- Vergleich von Daten mehrerer Geräte
- Erstellen von Qualitätsreports
- diverse grafische Auswertetools
- statistische Analyse

QWave	From Date...	...To Date	Elec Value	Module	Phase	Elec Source
Orval	19/03/98 10:02:04	19/03/98 10:02:34	DIP	EN50160	L3	V
Orval	19/03/98 10:02:04	19/03/98 10:02:34	DIP	EN50160	L2	V
Orval	19/03/98 10:02:04	19/03/98 10:02:34	DIP	EN50160	L1	V
Chimay	19/03/98 10:02:01	19/03/98 10:02:32	DIP	EN50160	L3	V
Chimay	19/03/98 10:02:01	19/03/98 10:02:32	DIP	EN50160	L2	V
Chimay	19/03/98 10:02:01	19/03/98 10:02:32	DIP	EN50160	L1	V
Grimbergen	19/03/98 10:01:59	19/03/98 10:02:30	DIP	EN50160	L3	V
Grimbergen	19/03/98 10:01:59	19/03/98 10:02:30	DIP	EN50160	L2	V
Grimbergen	19/03/98 10:01:59	19/03/98 10:02:30	DIP	EN50160	L1	V

Bild 7 Ereigniskorrelation nach Zeitfilter

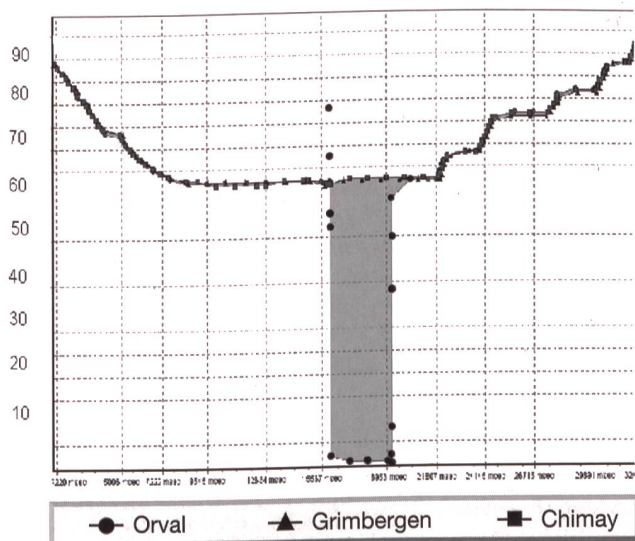


Bild 8 Zeitsynchrone Anzeige eines Dips an drei Messorten

Für den Kunden ist ein Übersichtsreport über die Qualität der gelieferten Spannung in der Regel genügend. Das Elektrizitätswerk dagegen braucht einen detaillierteren Beschrieb, denn es muss zum Beispiel den Zusammenhang zwischen einem hohen Oberschwingungsanteil und dem Zu- oder Wegschalten einer Last erkennen können.

Saisonale Trends werden mit einem statistischen datenreduzierten Modell visualisiert. So kann der Verlauf einer Grösse über mehrere Jahre betrachtet werden. Kurze Ereignisse werden getrennt erfasst und ausgegeben.

### Beispiel

Die Messgeräte Q-Wave wurden gemäss der in Bild 6 abgebildeten Topographie installiert. Überwacht wurden drei Bierbrauereien in Orval, Grimbergen und Chimay. Tritt ein Dip in Chimay auf, so kann der Benutzer einfach mittels eines Zeitfilters die zeitgleichen Daten der anderen Brauhäuser herausfiltern. Er kann auch feststellen, ob der Dip in Chimay auf allen drei Phasen aufgetreten ist (Bild 7). Wichtig ist es auch zu untersuchen, wie tief der Spannungseinbruch an den verschiedenen Messpunkten war. Mit dem Zeitfilter wird ersichtlich, dass der Dip an allen Messorten aufgetreten ist. Während die Spannung in Chimay und Grimbergen auf 61% der Nennspannung  $U_n$  einbrach, wurde in Orval jedoch ein vollständiger Unterbruch von 3 s beobachtet (Bild 8). Daraus lässt sich schliessen, dass ein Fehler in Orval die Dips in

Chimay und Grimbergen verursacht hat. Die Korrelation mit dem Strom zeigt, dass der Maximalstrom, der zum Zeitpunkt des Fehlers in Orval registriert wurde, ungewöhnlich hoch war.

Weitergehende Abklärungen durch den Kunden müssen nun getätigt werden, um die Ursache zu finden. Auf jeden Fall lässt sich aussagen, dass weder Chimay noch Grimbergen für den Fehler verantwortlich sind.

### Schlussfolgerung

Im Zuge der Liberalisierung kommt dem Wissen über die Qualität des elektrischen Netzes immer grössere Bedeutung zu. Es gilt die notwendigen Messungen kostengünstig und effektiv durchzuführen, bei Störungen schnell und kompetent zu reagieren und so dem Kunden bestmögliche Unterstützung und Service zu bieten. Das Dienstleistungsangebot ist ein zentraler Faktor für die Kundenzu-

friedenheit und somit mitentscheidend für den Erfolg des Energieanbieters.

Das Messsystem Q-Wave ist für diese Aufgabe ein geeignetes Werkzeug. Mit dem zugehörigen Datenbanksystem lassen sich die verschiedenen Messgeräte zentral überwachen und die Messdaten auf einem System speichern. Die Datenbankstruktur lässt spezifische Auswertungen nach geographischen, zeitlichen und grössenabhängigen Kriterien zu und liefert schnell aussagekräftige Resultate.

### Literatur

- [1] EN 50160: Voltage characteristics of electricity supplied by public distribution systems.
- [2] *Thomas Kahn*: Die Qualität der Netzspannung wird messbar, Bulletin SEV/VSE 86(1995)1, S. 28–32.
- [3] IEC 1000-3-6: Assessment of emission limits for distorting loads in MV and HV power systems.
- [4] IEC 1000-3-7: Assessment of emission limits for fluctuating loads in MV and HV power systems.
- [5] Unipede: application guide to the European standard EN 50160.

## Mesure de la qualité du réseau

### De nouvelles possibilités sur le marché déréglementé

A l'heure de la libéralisation, il devient de plus en plus important de pouvoir évaluer la qualité d'un réseau électrique. Des systèmes de mesure modernes peuvent saisir la qualité de la tension en plusieurs points du réseau et en stocker les résultats dans une banque de données centrale. Moyennant la corrélation des grandeurs de mesure considérées et dans un contexte chronologique, on arrive à localiser les causes de défaillances dans le fonctionnement d'un réseau.