

<b>Zeitschrift:</b>	Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen = Bulletin de l'Association suisse des électriciens, de l'Association des entreprises électriques suisses
<b>Herausgeber:</b>	Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen
<b>Band:</b>	86 (1995)
<b>Heft:</b>	1
<b>Artikel:</b>	Der Stromkunde im Zentrum : Qualität der Energielieferung aus der Sicht eines Netzbetreibers
<b>Autor:</b>	Biasiutti, Gianni
<b>DOI:</b>	<a href="https://doi.org/10.5169/seals-902408">https://doi.org/10.5169/seals-902408</a>

### Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. 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. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

### 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. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

### 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. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

**Download PDF:** 26.01.2026

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

Das Streben nach bestmöglicher Lieferqualität ist für die Elektrizitätsunternehmen eine der grundlegenden Selbstverständlichkeiten. Doch welches Qualitätsniveau wird den tatsächlichen Bedürfnissen der Kunden gerecht? Eine Qualitätsplanung könnte helfen, diese Frage zu beantworten und die Ressourcen nachhaltig einzusetzen.

# Der Stromkunde im Zentrum

## Qualität der Energielieferung aus der Sicht eines Netzbetreibers

■ Gianni Biasiutti

### Der Aspekt Qualität

Der Qualitätsaspekt nimmt heute auf breitestter Ebene eine massgebende Stellung ein; kaum eine Dienstleistung oder ein Produkt muss nicht einer bestimmten Qualitätsanforderung entsprechen. Beim Produkt Strom hingegen ist der Begriff der Qualität bislang eher abstrakt geblieben.

Die physikalischen Merkmale, welche die Qualität der Stromlieferung charakterisieren, sind zwar durchaus bekannt. Es ist auch ganz klar, welche Faktoren des Netzes und des Betriebs die Qualitätsmerkmale der Stromlieferung beeinflussen. Hingegen sind die quantitativen Vorgaben für die Qualitätsmerkmale nur ansatzweise festgelegt. Das bedeutet, dass die von den Elektrizitätsunternehmen anzustrebende Lieferqualität nicht wirklich spezifiziert ist. Als Anforderung gilt meist ein pauschales Axiom, welches lautet: Das Qualitätsniveau ist – durch Ausmerzen von Schwachstellen des Netzes – fortwährend zu steigern. Dieses Axiom wird auch gestützt durch zuweilen unrealistische Erwartungen seitens der Kundschaft, welche sich oft nicht bewusst ist, dass das gelieferte Produkt Strom niemals perfekt sein kann. Beim konkreten Fassen der Qualität von Stromlieferungen bestehen offensichtliche Schwierigkeiten:

- Im Gegensatz zu vielen Produkten und Dienstleistungen ist die Beschreibung

der Qualität von Stromlieferungen komplex und wenig anschaulich.

- Die verschiedenartigen Qualitätsmerkmale lassen sich nicht in einem gemeinsamen Qualitätsmassstab zusammenführen.
- Die Qualität der Stromlieferung ist bisher nicht monetierbar – von wenigen Ausnahmen abgesehen. Deshalb fehlt an der Schnittstelle zwischen Kunde und Lieferant eine auf Marktkräften beruhende Regulierung der Anforderungen und der qualitätsrelevanten Investitionen. Heute plant der Lieferant meist aus eigener Sicht, weitgehend nach technischen und betrieblichen Kriterien.
- Die oberste Zielgröße einer Qualitätsplanung, die Zufriedenheit der Kunden, richtet sich stark nach der subjektiv empfundenen Qualität der Stromlieferung. Diese kann erheblich von der tatsächlichen physikalischen Qualität abweichen und wird von nichttechnischen Faktoren mitbeeinflusst [1]. Zu letzteren zählen die begleitenden Dienstleistungen und die allgemeine Kundenorientierung des Elektrizitätswerkes sowie persönliche Erfahrungen der Kunden, zum Beispiel im Zusammenhang mit Störungen. So können etwa Kunden, die einen langen Lieferunterbruch erdulden mussten, dabei aber die intensiven Bemühungen des Werkes erlebt haben, durchaus zufrieden sein.

Unter den sich ändernden Rahmenbedingungen des Elektrizitätsgeschäfts wächst die Notwendigkeit, dem Aspekt Qualität des Produktes Strom Profil zu geben. Ein

Dieser Aufsatz ist hervorgegangen aus einem Vortrag, welchen der Autor an der ETG-Informationstagung vom 27. Oktober 1994 in Zürich hielt.

#### Adresse des Autors:

Dr. Gianni Biasiutti, Dipl. El.-Ing. ETH,  
Bernische Kraftwerke AG, Bern.

## Stromversorgung

entsprechender Handlungsbedarf besteht aus den folgenden Gründen:

- Die europäische Elektrizitätswirtschaft steht an der Schwelle zu einem liberalisierten Markt. Verzerrungsfreier Wettbewerb kann aber nur bestehen, wenn die Möglichkeit zum differenzierten Verkauf des Qualitätsniveaus gegeben ist.
- Die elektrische Energie unterliegt seit kurzem der Produkthaftpflicht. Im Schadensfall sind nun die Elektrizitätswerke haftbar, wenn die Stromlieferung die berechtigten Qualitätsansprüche eines privaten Kunden nicht erfüllt. Klarheit über die berechtigten Ansprüche kann nur eine sachgerechte Spezifikation der Stromlieferung schaffen.
- In technischer Hinsicht verschärft sich das Problem der elektromagnetischen Verträglichkeit. Auf der einen Seite werden immer mehr Verbraucher und Eigenerzeugungsanlagen an das Netz angeschlossen, welche erhebliche Störungen generieren, und auf der anderen Seite nimmt die Zahl der elektronischen Geräte mit hohen Anforderungen an die Qualität der Stromlieferung ständig zu.
- In wirtschaftlicher Hinsicht ruft die abgeflachte Expansion des Elektrizitätsgeschäfts zum Handeln auf. Qualitätsrelevante Investitionen, welche nicht den – bekannten oder unbekannten – Kundenbedürfnissen entsprechen, wirken kostentreibend. Vor allem Verteilnetze müssen deshalb in bezug auf eine vorgegebene, bedürfnisgerechte Lieferqualität geplant werden können.
- Schliesslich ist noch zu erwähnen, dass die Gewährleistung eines zu hohen Qualitätsniveaus die Wertschätzung der Kundschaft für das Produkt Strom herabsetzt.

Im folgenden wird es nun darum gehen, über die Möglichkeiten zur Festlegung umfassender und kundenorientierter Qualitätsanforderungen nachzudenken. Dazu wird vorerst ein Blick auf die technischen Gesichtspunkte geworfen.

### Qualitätsmerkmale

Die Spezifikation oder die Messung der physikalischen Qualität einer Stromlieferung erfordert Angaben zu verschiedenenartigen Parametern, jeweils bezogen auf den Verknüpfungspunkt zur Kundschaft. Diese Qualitätsmerkmale sind nachfolgend aufgeführt und kurz erläutert.

- Lieferunterbrechungen: störungsbedingte Ausfälle der Spannung während mehr als 1 Minute, charakterisiert durch Häufigkeit und Dauer

- Abschaltungen: einzelne geplante Abschaltungen zwecks Durchführung von Arbeiten oder regelmässige Abschaltungen zwecks Begrenzung der Leistung
- Sollspannungsabweichungen: stationäre Abweichung der Betriebsspannung vom Sollwert
- Spannungsunsymmetrien: stationäre Ungleichheit der Phasenspannungen oder der Phasenwinkel
- Spannungsänderungen: einzelne langsam ablaufende Änderungen der Spannung, üblicherweise im Rahmen von etwa 10% der Betriebsspannung
- Spannungsschwankungen: Folge von regelmässigen oder unregelmässigen Spannungsänderungen im Rahmen von 10% der Betriebsspannung. Spannungsschwankungen verursachen unter anderem Flicker (Flicker: spezifischer Begriff zur Beschreibung des subjektiven Eindrucks von Schwankungen der Helligkeit von Beleuchtungsanlagen)
- Spannungseinbrüche: plötzliche Reduktion der Spannung um 10 bis 100% der Betriebsspannung, gefolgt von einem Wiederkehren der normalen Spannung innerhalb von höchstens 1 Minute
- Oberschwingungen: der 50-Hz-Grundschwingung überlagerte harmonische oder interharmonische sinusförmige Schwingungen
- Temporäre Überspannungen: mittelfrequent schwingende, schwach gedämpfte Überspannungen
- Transiente Überspannungen: kurzzeitige, sich als Wanderwellen ausbreitende Überspannungen
- Frequenzabweichungen

Hinsichtlich ihrer praktischen Bedeutung gliedern sich diese Qualitätsmerkmale in zwei Gruppen, die mit den Begriffen Nichtverfügbarkeit und Nichtidealität bezeichnet werden können. Die beiden erstgenannten Merkmale, die Lieferunterbrechungen und die Abschaltungen, charakterisieren dabei die Nichtverfügbarkeit der Stromlieferung und die übrigen neun Merkmale die Nichtidealität.

Die Merkmale zur *Nichtidealität* beziehen sich ausnahmslos auf die Spannungskurve und beschreiben ihre Abweichungen von der idealen Sinusform und der nominalen Amplitude. Die praktische Bedeutung dieses Teilespekts der Qualität liegt hauptsächlich in der Sicherung der bestimmungsgemässen und schadenfreien Funktion der bei der Kundschaft versorgten Geräte. Übermässige Nichtidealität, also Überschreitung der Toleranzgrenzen und somit Fehlerhaftigkeit der Stromlieferung, ist letztlich Gegenstand der Produkthaftpflicht.

Die praktische Bedeutung der *Nichtverfügbarkeit* ist grundsätzlich anderer Art.

Die Nichtverfügbarkeit bezieht sich lediglich auf das Fehlen der Lieferung; von einer eigentlichen Fehlerhaftigkeit des Produkts darf hier – nach Auffassung des Bundesamtes für Justiz – nicht gesprochen werden. Dennoch hängt die Kundenzufriedenheit natürlich ganz wesentlich von diesem Qualitätsaspekt ab, zeitigt doch das Fehlen der Stromlieferung in jedem Fall unmittelbare Folgen.

An dieser Stelle erscheint der Hinweis wichtig, dass der allgemeine Begriff Störung in der Auseinandersetzung mit der Qualität wenig dient. Als Störung werden in den entsprechenden Statistiken nämlich sämtliche Ereignisse geführt, die entweder Lieferunterbrechungen und Abschaltungen oder Spannungseinbrüche (infolge Kurzunterbrechungen) nach sich ziehen. Dadurch fliessen die beiden Teilespekte Nichtverfügbarkeit und Nichtidealität zusammen. Abgesehen davon beziehen sich die Störungsstatistiken nur zum Teil auf die Verknüpfungspunkte mit den Kunden.

### Qualitätsbeeinflussende Faktoren

Das Qualitätsniveau, wie es anhand der genannten Merkmale beifert wird, ergibt sich aus dem Einfluss verschiedener Faktoren. Dabei handelt es sich um äussere Einwirkungen auf das Netz, betriebliche Vorgänge innerhalb des Netzes, das Versagen von Betriebsmitteln sowie um Rückwirkungen der Geräte und Anlagen der Kunden.

Aussere Einwirkungen, vor allem auf Leitungen, gehen einerseits von der Natur aus – es sind dies beispielsweise Blitz, Sturm und Eis – und andererseits von fremden Objekten oder Tätigkeiten wie Tieren, Bäumen oder Bauarbeiten. Als betriebliche Vorgänge sind Schalthandlungen und Fehlbedienungen zu nennen. Für das Versagen von Betriebsmitteln der Primär- und der Sekundärtechnik können Konstruktion, Fabrikation, Montage, Instandhaltung oder Material verantwortlich sein; die Folgen sind Fehlfunktionen oder Ausfall. Störende Rückwirkungen auf das Netz gehen von der Kundschaft aus, wenn Geräte mit Leistungselektronik oder Gleichrichtern oder solche mit grossem Blindleistungsbedarf betrieben werden oder wenn Schaltungen grosser Lasten erfolgen. In Tabelle I ist der Zusammenhang dieser Einflussfaktoren mit den einzelnen Qualitätsmerkmalen aufgezeigt.

Einzelne dieser Einflussfaktoren sind besonders bedeutsam. Bezüglich der Nichtverfügbarkeit lässt sich dies anhand von Störungsstatistiken belegen [2]. Hierzu interessiert vorerst der Anteil der verschiedenen Netzebenen an den Lieferunterbre-

Tabelle I  
Einflussfaktoren,  
welche die Qualität  
der Stromlieferung  
bestimmen

	Qualitätsmerkmale	Einflussfaktoren	Potentielle Störungen bei Kunden
Nichtverfügbarkeit	Lieferunterbrechungen	Blitze, Sturm, Versagen Betriebsmittel, Bauarbeiten usw.	Produktionsausfall
	Abschaltungen	Instandhaltung, Nachfrage Management	
	Sollspannungsabweichungen	Impedanz Leitung	Fehlfunktionen
	Spannungsunsymmetrien	Phasenverteilung Last, Phasenverteilung Blindlast	
	Spannungsänderungen	Laständerungen, Blindleistungsflüsse, Stufenschalter Trafo	
	Spannungsschwankungen	Schalten von Lasten, Schalten von Blindlasten	Flicker, Fehlfunktionen
	Spannungseinbrüche	Blitze, Sturm, Vögel usw.	Fehlfunktionen, Schäden
	Oberschwingungen	Nichtlineare Lasten	
	Temporäre Überspannungen	Schalthandlungen im Netz, Störungen im Netz	
	Transiente Überspannungen	Blitze	Schäden

chungen. Tabelle II zeigt eine Hochrechnung für die gesamte Schweiz im Vergleich zum Netz des EWZ [3]. Dabei wurden der Störungsstatistik die Anzahl Unterbrechungen und Abschaltungen in den verschiedenen Netzebenen entnommen. Zur Quantifizierung der Auswirkung von Unterbrechungen in oberen Netzebenen auf die Kundschaft wurden geschätzte Multiplikatoren eingeführt: 20 für Ereignisse im Feinverteilnetz und 200 für solche im Verbund- und Grobverteilnetz; sie basieren auf folgenden Leistungsannahmen: Niederspannungsleitung 0,1 MW, Mittelspannungsleitung 2 MW, Unterstation 20 MW.

Diese Zahlen zeigen, dass die *Nichtverfügbarkeit*, gesamtschweizerisch gesehen, vor allem durch die im Feinverteilnetz wirkenden Einflussfaktoren bestimmt wird. Daneben zeigt sich im Stadtnetz ein anderes Bild. Dank vollständiger Verkabelung der Verteileitungen sowie weitergehender Redundanz treten hier weniger Unterbrechungen auf.

Um das Gewicht der verschiedenen Einflussfaktoren auf die Nichtverfügbarkeit abzuschätzen, kann man sich folglich auf die Störungsdaten für die Feinverteilnetze stützen [2]. Daraus ergeben sich die in Tabelle III aufgeführten ungefähren Anteile der verschiedenen Einflussfaktoren an den Unterbrechungen. Von grosser Bedeutung sind demnach die Witterungseinflüsse, primär die Blitze, sowie das Verhalten der Betriebsmittel. Im Stadtnetz ist der Faktor Bauarbeiten dominierend: 60% der Unterbrechungen im Feinverteil- und im Niederspannungsnetz des EWZ gehen zu seinen Lasten [3].

Die wichtigsten Einflussfaktoren bezüglich der *Nichtidealität* sind einerseits die verschiedenen Rückwirkungen der versorgten Geräte (Oberschwingungen, Spannungsschwankungen) und andererseits wiederum die Blitze. Letztere verursachen im Feinverteilnetz rund 55% und im Verbund- und Grobverteilnetz rund 70% der auftretenden Spannungseinbrüche (Störungen ohne Unterbrechung [2]), und bei den Überspannungen dürften sie für einen noch grösseren Anteil verantwortlich sein.

## Technische Massnahmen

Zur Erhöhung des Qualitätsniveaus der Energielieferung sind Massnahmen geeignet, welche die Auswirkungen der vorhin genannten Einflussfaktoren begrenzen können. Aufgeteilt nach den beiden Teilaspekten der Qualität, Nichtverfügbarkeit und Nichtidealität, steht dabei folgendes im Vordergrund:

### Nichtverfügbarkeit:

- Ertüchtigung des Netzschatzes hinsichtlich Selektivität und Wiedereinschaltung
- Ausbau der funktionsbeteiligten Redundanz oder der Umschaltmöglichkeiten
- Verbesserung der Resistenz der Leitungen gegenüber äusseren Einflüssen durch Ersatz von Regelleitungen durch Weitspannleitungen, Auflegen von Erdseilen, Verkabelung usw.; verbesserter mechanischer Schutz von Kableleitung
- Ertüchtigung des Überspannungsschutzes

- Steigerung von Effizienz und Qualität der Instandhaltung
- Einsatz von qualitativ höherwertigen Betriebsmitteln
- Verbesserung der Betriebsführung mittels Fernsteuerung
- Schulung des Personals

### Nichtidealität:

- Senkung der Impedanzen durch Kompatierung der Leitungen, Vergrösserung der Leiterquerschnitte, Verkabelung, Erhöhung der Transformatormittel usw.
- Verbesserung des Blitzschutzes durch Verkabelung und Ausrüstung von Weitspannleitungen mit Erdseilen
- Verkleinerung der Versorgungsgebiete von Unterstationen und Transformatoren

	CH (%)	EWZ (%)
Verbund- und Grobverteilnetz	5	62
Feinverteilnetz	73	18
Niederspannungsnetz	22	20

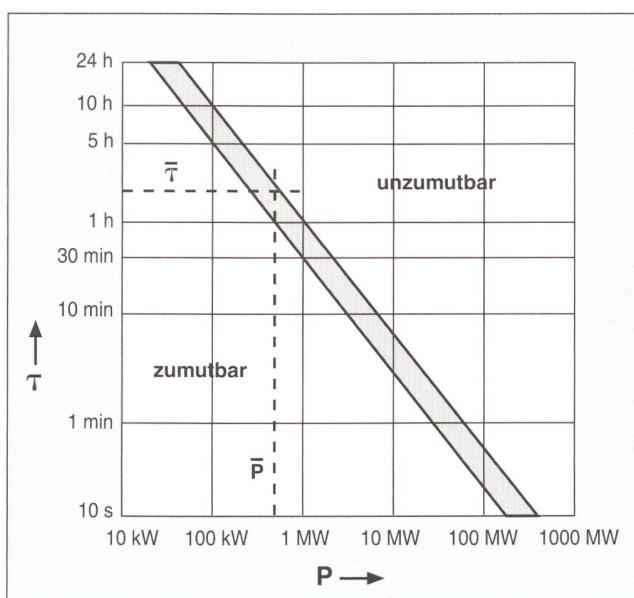
Tabelle II Anteil der verschiedenen Netzebenen an den Lieferunterbrechungen

Angaben für gesamte Schweiz sowie für das Netz des EWZ.

Blitze .....	38%
Versagen von Betriebsmitteln .....	15%
Sturmwind .....	14%
Bäume .....	9%
Bauarbeiten, Fahrzeuge .....	6%
Fehlbedienung .....	3%
Andere .....	15%

Tabelle III Dominierende Einflussfaktoren und ihre Anteile an den Unterbrechungen im Feinverteilnetz

## Stromversorgung



**Bild 1** Zumutbare Unterbrechungsdauer in Abhängigkeit von der Ausfalleistung [6]

Gestrichelt: durchschnittliche Unterbrechungsdauer  $\bar{\tau}$  und mittlere Ausfalleistung  $\bar{P}$  im Mittelspannungsnetz gemäss [2].

rungen. Das energieliefernde Werk hat die Pflicht, über die Einhaltung dieser Pegel zu wachen, damit eine gegenseitige Beeinflussung von Kunden vermieden werden kann. Darüber hinaus werden in dieser Norm die zu erwartenden Höchstwerte für die resultierenden Oberschwingungspegel im Niederspannungsnetz im Sinne eines Immunitätsniveaus für Geräte angegeben.

Anhaltswerte für zumutbare Unterbrechungszeiten gehen auf einen anlässlich der Cigré-Konferenz von 1968 geäusserten Vorschlag zurück (Punkt 6 in [6]). Wie in Bild 1 gezeigt, werden die zumutbaren Unterbrechungszeiten mit der Ausfalleistung in Zusammenhang gesetzt. Diese unverbindliche, aber breit akzeptierte Anforderung stützt die bewährte Praxis, dass Niederspannungsnetze ohne Redundanz als Strahlnetze, Feinverteilnetze mit Umschaltmöglichkeiten und Grobverteilnetze vermascht aufgebaut werden. Die Häufigkeit von Ausfällen ist jedoch nicht Gegenstand dieser Anforderung.

Die neue Europäische Norm EN 50160 (Punkt 7) beschreibt den allgemeinen Stand der Qualität von Energielieferungen. Sie definiert Qualitätsmerkmale und gibt typische Wertebereiche für diese Merkmale an. Die Norm hat informativen Charakter und ist eher unverbindlich gehalten. Mit den beiden letzten Punkten 8 und 9 sind qualitative Anforderungen angesprochen, die je nach Unternehmen mehr oder weniger wegweisend sein können.

### Einhaltung der Qualitätsanforderungen

Die Einhaltung dieser Qualitätsanforderungen – soweit sie überhaupt quantitativer Natur sind – dürfte in der Praxis meist hinreichend bis gut sein. Diese Vermutung stützt beispielsweise der in Bild 1 eingetragene Schnittpunkt der durchschnittlichen Unterbrechungsdauer mit der durchschnittlichen Ausfalleistung für das Feinverteilnetz gemäss Störungsstatistik des VSE [2]. Auch die Netznachwirkungen der einzelnen Kunden liegen in den meisten Fällen in-

stationen durch den Bau zusätzlicher Einheiten

- Ertüchtigung des Überspannungsschutzes
- Einbau von Oberschwingungsfilters
- verbesserter Ausgleich des Blindleistungsbedarfs

In den Verbund- und Grobverteilnetzen sind Massnahmen zur Begrenzung der Nichtverfügbarkeit allgemein wirksam umgesetzt, mit dem Ergebnis, dass Unterbrechungen nur selten auftreten. In den unteren Spannungsebenen besteht hingegen vielerorts noch ein erhebliches Verbesserungspotential hinsichtlich beider Qualitätsaspekte. Hier könnten technische Massnahmen erfolgreich ansetzen – falls entsprechende Anforderungen bestehen.

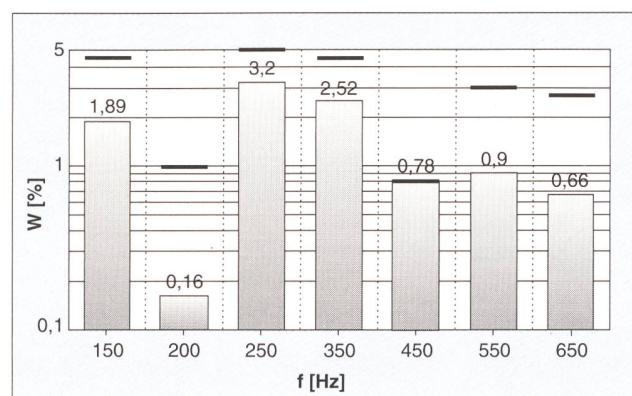
### Qualitätsanforderungen

Die Grundlagen der Qualitätsanforderungen, wie sie heute bestehen, sind in der folgenden Liste entsprechend ihren Prioritäten aufgeführt:

1. Versorgungspflicht (kantonale Energiegesetzgebungen sowie Lieferverträge)
2. Produktehaftpflicht (Bundesgesetz)
3. Technische Normen für die Betriebsmittel des Netzes
4. Norm SEV 3426, betreffend die Spannung im Niederspannungsnetz [4]
5. Norm SEV 3600, betreffend Oberschwingungen und Spannungsänderungen [5]
6. Unverbindliche Toleranzgrenzen für die Nichtverfügbarkeit (z. B. [6])
7. Europäische Norm EN 50160, betreffend alle Qualitätsmerkmale [7]
8. Qualitätsbewusstsein des Unternehmens
9. Wirtschaftlichkeit

Quantitative Anforderungen ergeben sich aus diesen Grundlagen allerdings nur für wenige der relevanten Qualitätsmerkmale. Die in den Energiegesetzen und Lieferverträgen verankerte Versorgungspflicht bildet gewissermassen die primäre Vorgabe für die Nichtverfügbarkeit; eine konkrete Anforderung leitet sich daraus aber nicht ab. Die Produktehaftpflicht betrifft den Teilaspekt der Nichtidealität. Dem Gesetz ist zwar ein hoher Stellenwert beschieden, es besitzt aber bis heute als Anforderung noch kein Profil.

Die einschlägigen Isolations- und Apparatenormen (Punkt 3) greifen vor allem mit ihren Toleranzgrenzen für Überspannungen in die Qualitätsanforderungen ein. Ein unmittelbarer Bezug auf die Verknüpfungspunkte zur Kundschaft besteht jedoch nicht. Konkrete Anforderungen stellt das unter Punkt 4 genannte Dokument. Es legt die Toleranzgrenzen für die Abweichungen von der Sollspannung auf  $\pm 10\%$  fest. Das Dokument unter Punkt 5 begrenzt die Netznachwirkungen der Kunden. Es definiert die am Verknüpfungspunkt maximal zulässigen Rückwirkungspegel von Oberschwingungen und von Spannungsände-



**Bild 2** Oberschwingungsanteil im Niederspannungsnetz des EWZ

Statistische Auswertung von 1632 Messwerten aus den Jahren 1989–92; horizontale Linie: Immunitätsniveau gemäss [5]. W Oberschwingungsanteil (95% Auftretenswahrscheinlichkeit) f Frequenz

nerhalb der zulässigen Grenzen. Jedoch können die resultierenden Oberschwingungspegel das in [5] angegebene Immunitätsniveau zuweilen überschreiten, weil die Zahl der störenden Geräte fortwährend ansteigt. Immerhin weisen aber städtische Netze, wo grössere Rückwirkungen besonders häufig sind, eine erhebliche Toleranz auf, da sie über vergleichsweise niedrige Impedanzen verfügen – dank vollständiger Verkabelung sowie kurzer und querschnittsstarker Leitungen. Bild 2 zeigt das Resultat einer umfangreichen Messung von Oberschwingungen im Niederspannungsnetz des EWZ unter Angabe der Immunitätsniveaus gemäss [5]. Aus der praktischen Erfahrung ist bekannt, dass über drei Viertel der von Kunden beklagten Beeinflusstellungen durch hausinterne Störquellen verursacht werden.

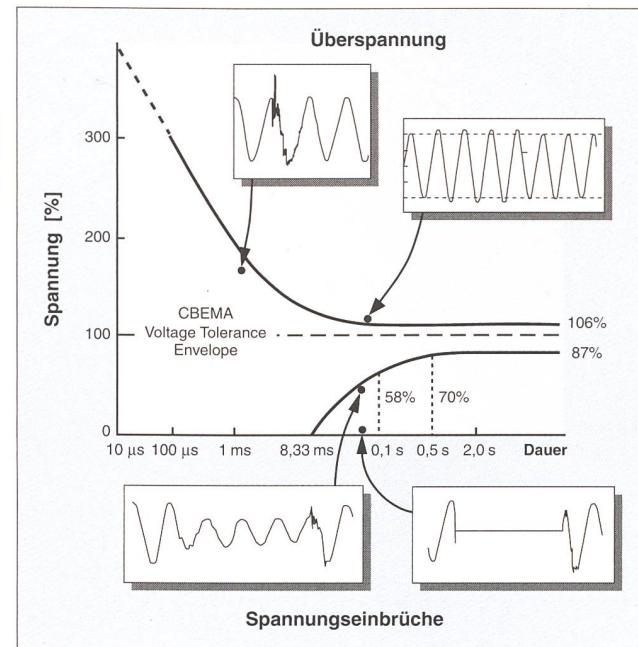
Die wenigen bestehenden Qualitätsanforderungen dürften somit in der Regel erfüllt sein. Offen ist jedoch, ob das resultierende Qualitätsniveau wirklich den Kundenbedürfnissen entspricht.

## Qualitätsplanung

Anfang dieses Jahres führten die Bernischen Kraftwerke eine Befragung von Haushaltkunden durch, die unter anderem den Aspekt Qualität betraf. Eine der Fragen lautete: «Sind Sie zufrieden mit den Leistungen der BKW, oder hatten Sie schon Stromunterbrüche oder andere Probleme?» Darauf antworteten 94% der Befragten mit «zufrieden». Und auf die Frage: «Wären Sie bereit, eine geringere Zuverlässigkeit der Stromlieferung in Kauf zu nehmen, wenn Sie dafür einen niedrigeren Preis pro Kilowattstunde bezahlen müssten?» antworteten 54% mit «ja», 40% mit «nein» und 6% mit «weiss nicht».

Inwieweit diese Umfrageergebnisse die tatsächlichen Kundenbedürfnisse wider spiegeln, lässt sich natürlich nur schwer beurteilen. Dies zu klären und geeignet umzusetzen ist die Aufgabe einer kundenorientierten Qualitätsplanung. Das Grundprinzip dieser Qualitätsplanung müsste eine marktwirtschaftliche Betrachtung der Qualität von Stromlieferungen inklusive der begleitenden Dienstleistungen sein. Und das Ziel wäre eine zwischen Kunden und Lieferanten ausgewogene Optimierung des gesamten Nutzens. In einem Punkt ist dies übrigens heute schon existent, nämlich beim Angebot abschaltbarer Lieferungen für Wärmeanwendungen. Für die Verwirklichung einer Qualitätsplanung bietet das Produkt Strom nur wenig Spielraum an. Die anschliessenden Gedanken sollen versuchen, mögliche Ansatzpunkte aufzuzeigen.

Bild 3 Spezifikation der Nichtidealität elektrischer Energie  
Spannungstoleranzkurve gemäss [10].



Grundsätzlich könnte eine Qualitätsplanung in den drei folgenden Schritten anlaufen: 1. Untersuchung des *bestehenden* Qualitätsniveaus, 2. Festlegung von Qualitätsvorgaben, 3. Einrichtung von *Regelmechanismen* möglichst marktwirtschaftlicher Natur. Diese drei Schritte müssten einen dynamischen Prozess anstoßen, bei welchem die Kundensignale in technische Massnahmen und Dienstleistungen umgesetzt und die Qualitätsvorgaben später angepasst werden.

Die zentrale technische Grundlage wäre dabei ein kostengünstiges Gerät, welches das Qualitätsniveau anhand der relevanten Merkmale registrieren kann. Würde es an zahlreichen kundennahen Messorten eingesetzt, liesse sich damit der Qualitätsstand untersuchen und überwachen. Mehrere Firmen befassen sich bereits mit der Entwicklung solcher Geräte [8, 9, 10].

Der erste der genannten Schritte, die Untersuchung des bestehenden Qualitätsniveaus, müsste zu einer Beschreibung der einzelnen Merkmale in Form von Durchschnittswerten und Streubändern führen. Wahrscheinlich wären dabei städtische und ländliche Bezirke zu unterscheiden. Auf der Basis dieser Situationsanalyse liessen sich dann im zweiten Schritt die zukünftigen Vorgaben für die Qualitätsmerkmale festlegen. Massgebend wären dabei einerseits die mutmasslichen oder eventuell bereits teilweise erhobenen Kundenanforderungen und andererseits das Vermögen des Netzes. Als Beispiel zeigt Bild 3 eine solche Festlegung, wie sie in den USA aus einer Zusammenarbeit zwischen Elektrizitätsgesellschaften und Computerherstellern hervorgegangen ist [11]. Die Merkmale Spannungsabweichun-

gen, -änderungen, -unsymmetrien und -einbrüche sowie Überspannungen werden hier durch ein geschlossenes Toleranzband beschrieben. Gemeinsam mit den bestehenden Normen betreffend Oberschwingungen und Spannungsschwankungen wäre damit der Aspekt Nichtidealität umfassend spezifiziert.

Der dritte Schritt, nämlich die Einführung marktwirtschaftlicher Regelmechanismen, ist ohne Zweifel der wichtigste – aber auch der schwierigste. Soweit man bei Grosskunden den Anforderungen durch lokale Massnahmen entsprechen kann, lässt sich dies natürlich wie bis anhin durch gerechte Kostenteilung lösen. Im allgemeinen Versorgungsnetz versagen jedoch die konventionellen Lösungsansätze. Hier muss das Hindernis überwunden werden, dass am Verknüpfungspunkt des Kunden – abgesehen von der Möglichkeit, teilweise abzuschalten – physikalisch gesehen nur ein einziges Produkt angeboten werden kann.

Ein denkbare neuer Ansatz wäre beispielsweise das Angebot von Produkten, die sich durch Garantien für verschiedene Qualitätsniveaus unterscheiden. So wären zwei oder drei verschiedene Niveaus zu definieren, wobei das tiefste unterhalb des bestehenden Niveaus und das höchste innerhalb dessen Streubereich liegen müsste (Bild 4). Wird dann ein bestelltes höheres Qualitätsniveau zu einem gewissen Zeitpunkt nicht eingehalten, kann der Kunde im Schadensfall eine Versicherungsleistung des Lieferanten beanspruchen. Rein physikalisch gesehen bleibt es dabei natürlich weiterhin beim einheitlichen Produkt.

In diesem Modell kann sich die Qualitätsplanung dann am Verkauf der unter-

## Stromversorgung

schiedlich teuren Produkte orientieren. Technische Massnahmen zur Qualitätssteigerung würden nur in jenen Leitungen oder Unterstationen ergriffen, in welchen sie unter Berücksichtigung der voraussichtlichen Versicherungsleistungen wirtschaftlich sind. Auf der anderen Seite müsste der Kunde entscheiden, ob eigene Schutzmassnahmen vorteilhafter sind als die Bestellung der höheren Lieferqualität. Als Ergebnis der nachfragegerechten Investitionstätigkeit sowie einer rollenden Qualitätsplanung würden neue höhere oder tiefere Qualitätsniveaus angeboten, so dass sich eine schrittweise Annäherung an die jeweils vorherrschenden Kundenbedürfnisse ergäbe.

Der zweite Gegenstand der Qualitätsplanung sind die begleitenden Dienstleistungen. Diese können sich von der Beratung bei der Produktwahl über die Anwendungstechnik bis hin zur Schadensanalyse als Teil der Versicherungsleistung erstrecken. Neue Kunden mit hohen Anforderungen müssten auch hinsichtlich des Standorts beraten werden.

Die Qualitätsplanung ruft außerdem nach angepassten Zielsetzungen für die Führung des Personals im Netzbetrieb. Das eindimensionale Streben nach grösster Verfügbarkeit müsste ersetzt werden durch eine Optimierung des Quotienten aus Verkaufserlös und Aufwand für Investitionen, Betrieb und Schadenersatz. Die Qualitätsplanung ist schliesslich auch ein geeignetes Mittel zum Umgang mit der Produkthaftpflicht. Die umfassenden Spezifikationen für die gelieferten Produkte definieren die Haftungsvoraussetzungen, und die kunden nahe messtechnische Überwachung der Qualitätsmerkmale liefert im Schadensfall die Grundlage für den Entscheid über Kausalität und folglich Eintritt der Haftpflicht.

### Zusammenfassende Schlussfolgerungen

Die Qualitätsvorgaben für Stromlieferungen sind bis heute lückenhaft geblieben und nehmen nur wenig Bezug auf die Kundschaft. Die Elektrizitätsunternehmen sind nicht in der Lage, die Qualität ihres Produkts differenziert zu verkaufen. Eine Qualitätsplanung könnte zukünftig diese Situation korrigieren.

Transparente und leichtverständliche Lieferspezifikationen sind ein wichtiges Mittel der Qualitätsplanung. Sie können unter anderem den Kunden aufzeigen, dass Strom wie jedes Produkt niemals perfekt ist und dass ein hohes Qualitätsniveau immer besondere Aufwendungen verlangt – dass Strom eben nicht gleich Strom ist. Damit

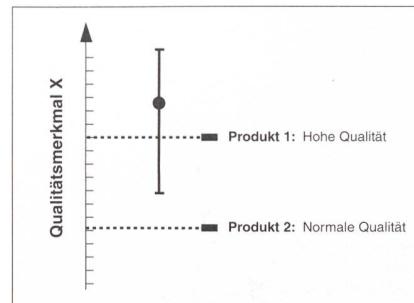


Bild 4 Beschreibung eines beliebigen Qualitätsmerkmals durch Mittelwert und Streubereich Spezifikation von unterschiedlichen Produkten.

würde den Kunden geholfen, ihre tatsächlichen Bedürfnisse zu konkretisieren.

Gerade der Einbezug der Kundschaft in die Festlegung der Qualitätsvorgaben ist aber eine schwierige Angelegenheit. In einem pragmatischeren Vorgehen kann dies vielleicht durch Bedürfnisabklärungen des Lieferanten erfolgen. Eine dynamische Kundenorientierung ist allerdings auf die Mobilisierung von Marktkräften angewiesen. Als Lösung ist denkbar, qualitativ unterschiedliche Produkte, deren Gewährleistung auf Versicherungen basiert, anzubieten. Der Blick in die Praxis zeigt aber sofort, dass einige Probleme zu bewältigen wären: Weil physikalisch gesehen sowieso nur ein einziges Produkt geliefert werden kann und weil sich dieses nur langsam an geänderte Vorgaben anpassen lässt, können nur behutsame und träge Marktkräfte toleriert werden.

Wie auch immer eine Qualitätsplanung verwirklicht wird, sie müsste zukünftig eine Richtschnur für die Investitionen in das Verteilnetz darstellen. Im Hinblick auf eine Öffnung des Elektrizitätsmarktes könnten sich in dieser Hinsicht konsequente Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen tatsächlich aufdrängen.

### Literatur

- [1] W. Day et A. Reese: Coupures de courant: ce qu'en pensent les abonnés. Cired, Bericht 2.4, 1993.
- [2] Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke: Störungsstatistik, 1988.
- [3] Elektrizitätswerk der Stadt Zürich: Geschäftsbericht, 1993.
- [4] Regeln für genormte Werte der Spannungen, Ströme und Frequenzen. SEV 3426.1979 und Änderung Nr. 1, SEV 3426/1.1989.
- [5] Leitsätze des SEV: Begrenzung von Beeinflussungen in Stromversorgungsnetzen. SEV 3600.1987.
- [6] K. Zollenkopf: Diskussionsbeitrag der Cigré-Konferenz 1968, Gruppe 32, Paris, 1968. H. Böcker und W. Kaufmann: Optimierung des Aufwands für die Zuverlässigkeit der Elektrizitätsversorgung in der Netzplanung zum Nutzen des Abnehmers. Elektrizitätswirtschaft, S. 218, 1975.
- [7] Voltage characteristics of electricity supplied by public distribution systems. Europäische Norm EN 50160:1994.
- [8] V. Biscaglia et al: Analyse de qualité de tension sur réseaux de distribution. Cired, Bericht 2.20, 1993.
- [9] J. Fouilloux et al: Qualité perçue et qualité physique du produit électrique: vers le Qualimat. Cired, Bericht 2.7, 1991.
- [10] H. Weldingh: An instrument for measurement of the quality of electricity. Cired, Bericht 2.21, 1993.
- [11] R. Hauth and D. Pileggi: The quality of electric power supply. Power Technology International, S. 29, 1994. IEEE Standard 446, 1980.

## Le consommateur de courant prime

### La qualité de la fourniture d'énergie du point de vue d'un exploitant de réseau

La poursuite de la meilleure qualité possible de fourniture est pour l'entreprise d'électricité un des objectifs fondamentaux allant de soi. Mais quel niveau de qualité répond aux besoins effectifs du consommateur? Pour répondre à cette question, un plan de qualité est proposé dans cet article en trois étapes: investigation du niveau de qualité existant, détermination des données préalables de qualité et enfin sur cette base, mise en place de mécanismes régulateurs d'économie de marché.

Sur le plan de leur signification pratique, les caractéristiques de qualité de fournitures de courant se divisent en deux groupes pouvant être désignés par les notions de non-idéalité et de non-disponibilité. Les caractéristiques de non-idéalité se réfèrent sans exception à la courbe de tension et décrivent ses écarts de la forme sinusoïdale idéale et de l'amplitude nominale (figures 2 et 3). La signification pratique de cet aspect partiel de la qualité se situe principalement dans la préservation de la fonction conforme aux prescriptions et exempte d'incident des appareils alimentés chez les clients. La non-disponibilité (figure 1) d'autre part, se réfère au manque de fourniture; on ne doit pas parler ici d'une responsabilité propre de défaut du produit, du point de vue légal. Cependant, elle constitue tout de même une caractéristique de qualité importante, la satisfaction du client ne dépend-elle pas essentiellement de cet aspect qualitatif?