Spannungserhöhung von 220/380 V auf 230/400 V : Auswirkung auf die Stromverbraucher

Autor(en): **Popelis, Ivan**

Objekttyp: **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): **87 (1996)**

Heft 12

PDF erstellt am: **28.05.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-902336

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.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

Die erhöhte Nenn-Netzspannung von 230/400 V wurde plangemäss am 1. Januar 1996 in Kraft gesetzt, ohne nennenswerte Reaktionen seitens der Energieverbraucher oder der Energielieferanten. Das gut durchgedachte Vorgehen in zwei Schritten nahm Rücksicht auf die Gerätehersteller und die Benutzer. Die Übergangszeit vom 1. Januar 1996 bis 1. Januar 2003, wobei die erhöhte Nennspannung mit Toleranzen von –10% bis +6% praktisch keine Erhöhung des Maximalwertes bringt, reduziert die Übergangsprobleme. Trotzdem herrscht vielerorts Unsicherheit betreffend des Betriebs von älteren Stromgeräten an der neuen Netzspannung. Aus diesem Anlass wurden an der Ingenieurschule Grenchen-Solothurn (IGS) mit finanzieller Unterstützung von AEK Energie AG, Solothurn, und Bernische Kraftwerke AG, Bern, die Auswirkungen der Spannungserhöhung auf die Stromverbraucher untersucht.

Spannungserhöhung von 220/380 V auf 230/400 V

Auswirkung auf die Stromverbraucher

■ Ivan Popelis

Einleitung

Die Harmonisierung der Netzspannung weltweit, die Ende der achtziger Jahre beschlossen wurde, trat in der Schweiz am 1. Januar 1996 in Kraft. Der erste Schritt, Anhebung der Nennspannung von 220/380 V auf 230/400 V mit Toleranzen von +6/–10%, erstreckt sich bis zum 1. Januar 2003. Nachher wird die volle Toleranzbandbreite von ±10% gelten. Obwohl in den Fachzeitschriften schon vor einigen Jahren über diese Problematik informiert wurde, zeigten die Umfragen, dass sich die Verbraucher und auch Energielieferanten bei verschiedenen Fragen unsicher fühlen. Dieser Artikel will eine Informationslücke beheben, sie befasst sich hauptsächlich mit den Auswirkungen der Spannungserhöhung auf verschiedene im Einsatz befindliche Geräte und Anlagen. Die Stromverbraucher wurden anhand des Lastcharakters in entsprechende Gruppen zusammengefasst und aufgrund der physikalischen Gesetze und der in der Praxis gesammelten Angaben einzeln untersucht. Der Schwerpunkt wurde auf die Glühlampen, Leuchtstofflampen, Vorschaltgeräte, Transforma-

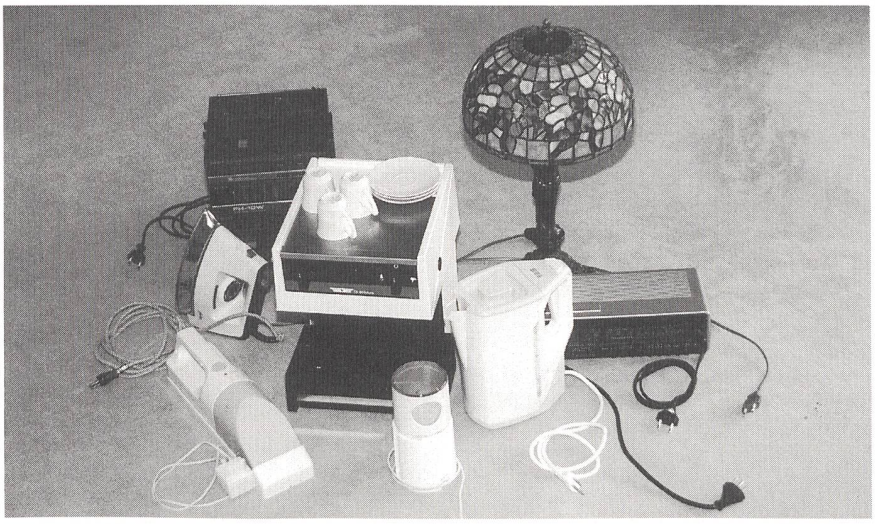

Bild 1 Diverse Haushaltgeräte: Umstellung auf erhöhte Nenn-Netzspannung ohne nennenswerte Probleme.

Adresse des Autors:
Ivan Popelis, dipl. El.-Ing. STH,
Wissenschaftlicher Mitarbeiter an der HTL,
Ingenieurschule Grenchen-Solothurn,
Abt. Elektrotechnik, Sportstrasse 2, 2540 Grenchen.

toren, Elektromotoren, Blindleistungskompensation und Haushaltsgeräte gelegt, da bezüglich dieser Verbrauchergruppen ein gewisser Informationsmangel besteht. Die Schlussfolgerungen sind mit Empfehlungen für die Anwender ergänzt. Generell lässt sich festhalten, dass mit der Spannungserhöhung keine grossen Umstellungen und Betriebserschwernisse zu erwarten sind, wenn die Umstellung entsprechend dem vorgeschriebenen Stufenplan (SEV 3426/1.1989) vorgenommen wird. Mit der erhöhten Nennspannung ist, im Gegensatz zu verschiedentlich geäusserten Meinungen, praktisch kein höherer Energieverbrauch zu erwarten.

Die Auswirkungen der Spannungserhöhung werden in den folgenden Abschnitten für die repräsentativen Gerätegruppen einzeln untersucht.

Stromverbraucher mit «reinem» Wirkwiderstand

Charakteristische Verbraucher

In diese Gruppe gehören hauptsächlich Geräte zur Wärmeerzeugung, von den kleinsten Aquariumheizungen über Kochplatten bis zu Elektroöfen und Raumheizungen. Diese Geräte sind in folgende zwei Untergruppen einzuteilen:

- *Mit Temperaturregelung*: Diese Geräte haben einen Temperaturregler, der die Umgebungs- oder Oberflächentemperatur auf dem eingestellten Wert hält.
- *Ohne Temperaturregelung*: Diese Geräte werden im Normalfall vom Anwender überwacht und beim Erreichen des gewünschten Effektes (Temperatur) abgeschaltet.

Aufgrund ihres Lastcharakters gehören die Glühlampen auch dazu, sie werden aber in einem separaten Abschnitt behandelt.

Auswirkung auf Funktion, elektrische Parameter, Energieverbrauch und Lebensdauer

Die Spannungserhöhung hat bei allen Geräten (mit/ohne Temperaturregelung) eine schnellere Erwärmung des gewünschten Mediums zur Folge. Bei den geregelten Geräten bedeutet das kürzere Einschaltzeiten und eventuell auch kurzzeitige Übersteigungen der eingestellten Temperatur (abhängig vom Regler). Auch bei den nichtgeregelten Geräten, solange sie durch den Anwender überwacht werden oder die Leistung des verwendeten Gerätes für den Einsatz nicht wesentlich überdimensioniert ist, kommt es nur zur schnelleren Erwärmung des Mediums. Bei Geräten ohne Temperaturregelung kann es, wenn diese leistungsmässig überdimensioniert sind und ohne Überwachung betrieben werden, zu einer Überhitzung kommen.

Die von der Spannungserhöhung direkt betroffenen Parameter sind Wirkstrom und Wirkleistung. Indirekt kann die Spannungserhöhung die Stromkreissicherung und Isolation beeinflussen. Es gilt bei der Nennspannungserhöhung um 5% (220 V auf 230 V) für den Strom:

$I = U / R$; Strom steigt proportional mit der Spannung $\rightarrow \boldsymbol{I_{230} = I_{220} + 5\%}$

und für die Leistung:

$P = U^2 / R$; Leistung steigt mit Quadrat der Spannung $\rightarrow \boldsymbol{P_{230} = P_{220} + 10\%}$

Auf die standardmässige Absicherung der Stromanschlüsse hat die erwartete Stromerhöhung keinen Einfluss, und die Sicherung der einzelnen Geräte wird im Normalfall auch ausreichend bleiben.

Aufgrund des Leistungsanstiegs steigt der momentane Energieverbrauch um etwa 10%. Die Hauptfunktion dieser Gerätegruppe, Erwärmung eines Mediums auf eine bestimmte Temperatur, verlangt aber nur eine bestimmte Energiemenge. Das heisst, dass bei den geregelten Geräten immer und bei den ungeregelten Geräten, wenn diese richtig überwacht werden, der gesamte Energieverbrauch gleich bleibt.

Nur die ungeregelten und nicht überwachten Geräte werden einen um etwa 10% höheren Energieverbrauch verursachen. Es handelt sich hier in erster Linie um ältere Raumheizungsgeräte, die vielmals über längere Zeit eingeschaltet bleiben. Dieses Problem können die Energielieferanten durch gezielte Kundeninformation beseitigen.

Die Heizkörper werden durch den erhöhten Strom kurzfristig mehr belastet. Andererseits werden die Einschaltperioden kürzer und die Ausschaltzustände häufiger. Die meist kurzzeitige Temperaturerhöhung der Heizkörper, Isolation und Zuleitungen beeinflusst die Lebensdauer nur geringfügig oder gar nicht. Nur bei ungeregelten Heizgeräten, bei denen durch lange Übertemperaturen die Isolation und andere Bestandteile beschädigt werden, kann sich die Lebensdauer verkürzen.

Auswirkung auf Stromverteilungsnetz

Im allgemeinen haben Geräte dieser Gruppe keine negativen, durch die Spannungserhöhung verursachten Auswirkungen auf das Stromverteilungsnetz. Der Einsatz alter ungeregelter Heizgeräte kann in Einzelfällen (z. B. bei provisorischem Anschluss zur Baustelle) wie bisher die installierten Zuleitungen überlasten. Ausserdem können aufgrund der erhöhten Verluste in den Zuleitungen eventuell die Energietransportkosten anwachsen.

Glühlampen

Die Glühlampen unterscheiden sich von den übrigen Stromverbrauchern mit reinem Wirkwiderstand-Lastcharakter hauptsächlich durch die Dimensionierung der «Heizspirale». Die Spirale wird für eine möglichst gute Lichtausbeute auf eine sehr hohe Temperatur erhitzt. Diese sehr hohe Arbeitstemperatur ist der Grund, dass die Glühlampen auf die Spannungsschwankungen so empfindlich reagieren. Auf dem Markt befinden sich Glühlampen in sehr vielen Form- und Leistungsausführungen. Eine detaillierte Aufteilung wäre hier nicht sinnvoll. Einzig die Niedervolt-Halogenlampen, die immer in Verbindung mit Transformatoren arbeiten, muss man separat erwähnen.

Auswirkung auf die Funktion, die elektrischen Parameter, den Energieverbrauch und die Lebensdauer

Die Umwandlung von der elektrischen Energie in sichtbares Licht geschieht, wie erwähnt, durch Erhitzen des Leuchtkörpers (Spirale) auf eine so hohe Temperatur, dass ausser der Wärme auch eine elektromagnetische Strahlung im sichtbaren Bereich entsteht. Die Energiezufuhr (Strom) und die Verluste (Wärme- und Lichtstrahlung) müssen im Gleichgewicht gehalten werden, was durch die Konstruktion und die einigermassen konstante Spannung gewährleistet ist. Die Glühlampen sind daher für eine bestimmte «Bauspannung» ausgelegt. Für die Standardbaureihe von Glühlampen galt bisher die Bauspannung 228 V (Spannungsbereich 220 V bis 235 V), was der bisherigen mittleren Versorgungsspannung entspricht. Durch die Spannungserhöhung ergibt sich erwartungsgemäss eine Bauspannung von etwa 235 V, um die Lichtsausbeute und Lebensdauer beizubehalten. Generell kann man sagen, dass die Spannungserhöhung, ohne Ergreifen der erwähnten Massnahmen, eine Erhöhung des Lichtstromes und der Lichtausbeute sowie eine massive Absenkung der Lebensdauer mit sich bringt (Tabelle I).

Parameter/Spannungsänderung	+5%	−5%
Leistung	+8%	−7%
Lichtstrom	+22%	−18%
Lichtausbeute	+12%	−12%
Lebensdauer	−50%	+100%

Tabelle I Auswirkung von Spannungsänderung auf Glühlampen (Quelle: Osram).

Die Halogenlampen, die direkt an die Netzspannung angeschlossen werden, verhalten sich wie normale Glühlampen. Die Spannungserhöhung kann auf die Niedervolt-Halogenlampen, die einen Transformator benötigen, mehr Einfluss haben. Erstens haben die niederohmigen Lampen bedeutend höhere Arbeitsströme, die proportional mit der Spannung steigen, und belasten zusätzlich die Zuleitungen. Zweitens werden die Transformatoren oft aus Preisgründen mit wenig Reserven gebaut. Beides hat eine Überhitzung der Lichtanlage zur Folge. Die neuen im Handel erhältlichen Transformatoren sind schon für 230 V dimensioniert.

Entladungslampen, Leuchtstofflampen

Die Speziallampen (Niederdruck-Natriumdampflampen, Hochdruck-Natriumdampflampen, Hochdruck-Quecksilberdampflampen, Hochdruck-Halogen-Metalldampflampen usw.) werden nur von spezialisierten Firmen installiert und überwacht. Die möglichen Auswirkungen der Spannungserhöhung wurden durch entsprechende Massnahmen (z. B. Vorschaltgeräte mit abgestuften Spannungsanschlüssen für Hochdruckentladungslampen) bereits abgefangen.

Die Situation bei den Leuchtstofflampen ist leider nicht so einfach, da diese praktisch überall zum Einsatz kommen. Bezüglich der Form und Konstruktion kann man die Leuchtstofflampen in die folgenden zwei Gruppen einteilen:

- stabförmige Standard-Leuchtstofflampen
- Kompakt-Leuchtstofflampen (Sparlampen)

Am meisten sind die stabförmigen Leuchtstofflampen verbreitet, wobei diese mit verschiedenen Vorschaltgeräten arbeiten können und eine Auswechslung der Lampe, ähnlich wie bei den Glühlampen, möglich ist. Bei den Kompakt-Leuchtstofflampen ist die Situation besser, da sie mit einem elektronischen Vorschaltgerät fest verbunden sind. Die Hersteller haben die Sparlampen schon seit einiger Zeit für 230 V dimensioniert.

Es ist anzunehmen, dass nur die stabförmigen Leuchtstofflampen in alten Beleuchtungsanlagen mit konventionellen induktiven Vorschaltgeräten von der Spannungserhöhung betroffen sind. Im weiteren wird dieser Fall näher untersucht.

Auswirkung auf die Funktion, die elektrischen Parameter, den Energieverbrauch und die Lebensdauer

Die Spannungserhöhung bewirkt eine gewisse Temperaturerhöhung der Leuchtschicht, was eine kleinere Lichtausbeute zur Folge hat (Bild 2).

Die gesamte Leistungserhöhung (Leuchtstofflampe und Vorschaltgerät) beträgt etwa 11% für 5% Spannungserhöhung. Der Lichtstrom steigt aber nur unwesentlich, da die zusätzliche Energie hauptsächlich durch Erwärmung des Vorschaltgerätes und teilweise auch der Lampe absorbiert wird.

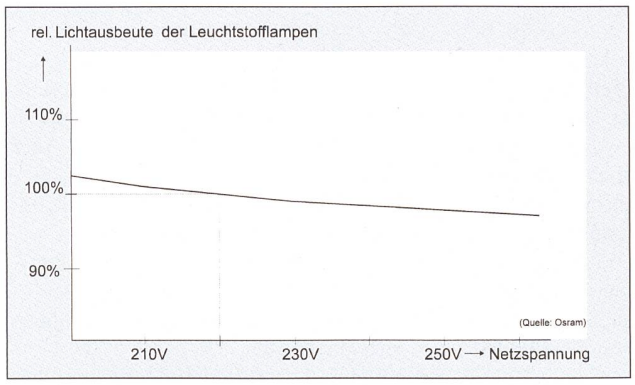

Bild 2 Abhängigkeit der relativen Lichtausbeute von der Netzspannung.

Die Lebensdauer der Leuchtstofflampe wird durch den höheren Strom verkürzt; aber bedeutend weniger als bei den Glühlampen (im Mittel weniger als 10% für 5% Spannungserhöhung).

Vorschaltgeräte

Der Betrieb von Entladungslampen ist nur zusammen mit einem Vorschaltgerät möglich. Die konventionellen Vorschaltgeräte (Drossel, Kompensationskondensator, Starter) wurden nur für einen schmalen Spannungsbereich dimensioniert. Aus Kostengründen müssen der Eisenquerschnitt und die Spulengrösse so klein wie möglich gehalten werden. Folglich wird eine höherliegende Spannung eine überproportionale Strom- und Leistungserhöhung verursachen.

Die elektronischen Vorschaltgeräte neuerer Konstruktion (HF-Betrieb mit Regelung) sind für einen breiten Spannungsbereich dimensioniert, so dass hier eine Spannungserhöhung, auch von mehr als 15%, keine Probleme mit sich bringt. Im weiteren werden die konventionellen Vorschaltgeräte näher untersucht.

Auswirkung auf Funktion, elektrische Parameter, Energieverbrauch und Lebensdauer

Die Arbeit und Funktion des Vorschaltgerätes wird grundsätzlich durch die erhöhte Spannung nicht gestört. Allerdings steigt der Strom, nach Überschreitung der maximal erlaubten Spannung, überproportional. Zudem bewirken schon die 5% Spannungserhöhung etwa 11% Leistungserhöhung, die hauptsächlich als Wärme verlorengeht.

Diese zusätzliche Erwärmung kann, wenn Leuchtenkonstruktion und -einbau wenig Luftzirkulation erlauben, zu verminderter Lebensdauer und Materialbeschädigung führen. Da die alten konventionellen Vorschaltgeräte bedeutend höhere Verluste als die neuen haben, wird empfohlen, sie auszuwechseln.

Elektromotoren

Elektromotoren kommen in den verschiedensten Anwendungsbereichen elektrischer Energie zum Einsatz. Aus der Vielfalt elektromotorischer Antriebe werden hier hauptsächlich die Universalmotoren und asynchronen Drehstrommotoren kleiner und mittlerer Leistung untersucht. Die Gleichstrommotoren haben meistens verschiedene Anschlussspannungen und können nicht direkt an das Netz angeschlossen werden. Bei den synchronen Drehstrommotoren handelt es sich meistens um Maschinen höherer Leistung.

Universalmotoren

Die Einphasen-Reihenschlussmotoren sind Kommutatormotoren, die im Prinzip gleich wie Gleichstrom-Reihenschlussmotoren aufgebaut sind. Aus dem folgt, dass

Ankerstrom und Drehmoment (evtl. auch Drehzahl) durch die Anschlussspannungserhöhung ebenfalls erhöht werden.

Universalmotoren werden hauptsächlich in den elektromotorischen Haushaltsgeräten, Handwerkzeugen, Ventilatoren usw. eingesetzt.

Auswirkung auf Funktion, elektrische Parameter, Energieverbrauch und Lebensdauer

Wie erwähnt, kommt es bei Spannungserhöhung zu einem proportionellen Stromanstieg:

$$I = \frac{U - c.\Phi_B.n}{R}$$

Das Drehmoment steigt quadratisch mit dem Strom

$$M = \frac{k}{2\pi}.I^2$$

Die Drehzahl stellt sich dann durch das höhere Drehmoment und die tatsächliche mechanische Belastung ein.

Der höhere Strom hat eine grössere Wärmeentwicklung zur Folge, wobei eine höhere Drehzahl wieder für eine bessere Lüftung und Kühlung des Motors sorgt. Bei den billigen Kleinmotoren kann man aber mehrheitlich mit einer Temperaturerhöhung der Wicklung rechnen. Hauptsächlich bei den Anwendungen, wo das höhere Drehmoment auch tatsächlich beansprucht wird (mit steigender Drehzahl steigende mechanische Belastung), stellt sich eine höhere Temperatur der Wicklungen ein und somit auch eine Lebensdauerverkürzung. Die quantitativen Angaben über die Stromerhöhung und Lebensdauerverkürzung sind praktisch unmöglich, da diese immer von der jeweiligen Motorbauart und den Arbeitsbedingungen abhängig sind. Für Antriebe, bei denen die Universalmotoren über einen PWM-Umrichter angetrieben werden, oder welche eine Temperaturüberwachung beinhalten, hat die Spannungserhöhung praktisch keinen Einfluss.

Die Lebensdauerverkürzung bei den Haushalts- und Handwerksgeräten ist nicht problematisch, da diese Geräte sehr oft für eine kurze Lebensdauer konstruiert sind und in einigen Jahren ausgewechselt werden.

Probleme sind bei den «explosionsgeschützten Motoren» zu erwarten. Bei dieser Motorenbauart wird der maximal zulässige Strom auf dem Typenschild ausgedruckt, und er darf auf keinen Fall überschritten werden. Diese Motoren muss man, wenn nach der Spannungserhöhung ein grösserer Strom als am Typenschild angegeben fliesst, unbedingt auswechseln (Sicherheitsvorschriften).

Die Motorenanlaufkondensatoren, Blindleistungskompensation und Kondensatoren in den Umrichtern und Vorschaltgeräten werden in einem separaten Abschnitt behandelt.

Asynchrone Drehstrommotoren

Das häufigste Antriebselement in der Industrie ist der asynchrone Drehstrommotor mit Käfigläufer. Von der Auslegung her kann man zwei Gruppen unterscheiden. Die erste Gruppe betrifft die IEC-Norm-Motoren, die in standardisierten Leistungs-, Mass- und Formreihen für Normanschlussspannung gebaut sind. In die zweite Gruppe gehören Motoren mit der sogenannten Weitspannungsauslegung (220–230 V und 380–420 V), die selbstverständlich für 230/400 V geeignet sind.

Auswirkung auf Funktion, elektrische Parameter, Energieverbrauch und die Lebensdauer

Unter der Voraussetzung, dass die Leistungsabgabe des Motors konstant bleibt, treten durch die Spannungserhöhung folgende Erscheinungen auf:

- der Läuferstrom und der belastungsabhängige Anteil des Nennstromes werden im entgegengesetzten Verhältnis zur Spannung abfallen
- der Magnetisierungsstrom, die Induktion und die Eisenverluste steigen
- der Anzugstrom wird etwa verhältnisgleich ansteigen
- das Anzugs- und Kippmoment erhöhen sich quadratisch
- der Leistungsfaktor wird bei gleicher Leistung kleiner. Die Ursachen sind der grössere Magnetisierungsstrom und der kleinere Wirkstrom.
- die Wicklungserwärmung wird geringer
- die Gesamterwärmung des Motors ist abhängig davon, ob die Auswirkung der Eisen- oder Kupfererwärmung überwiegt
- der Wirkungsgrad wird sich ebenfalls nur wenig ändern, steigen oder fallen, je nachdem, ob die Kupferverlustabnahme oder Eisenverlustzunahme überwiegt
- die Drehzahl wird entsprechend den geringeren Läuferverlusten etwas steigen

Bei einer grösseren Spannungserhöhung kommt es aber in jedem Fall zu einer Übertemperatur des Motors. Folglich wird auch die Lebensdauer vermindert. Bei den IEC-Norm-Motoren darf man davon ausgehen, dass bei Abweichungen um ±5% von der Nennspannung die Nennleistung noch abgegeben werden kann. Der Einfluss der Spannungsänderung in grösserem Bereich ist anhand einiger charakteristischer Beispiele in den Bildern 3 und 4 dargestellt.

Für die explosionsgeschützten Drehstrommotoren gelten dieselben Beschränkungen wie für die Einphasen-Universalmotoren.

Transformatoren

Die Transformatoren dienen in der Elektroenergieversorgung zur Herunter- oder Herauftransformierung von Spannungen oder zur galvanischen Trennung der Verbraucher vom Netz. Die grossen Leistungstransformatoren sind hauptsächlich bei der Energieumwandlung und in den Verteilungsnetzen eingesetzt und sind nicht Bestandteil dieser Arbeit.

Die Verteiltransformatoren wurden schon Anfang der achtziger Jahre von den Trafoherstellern im Branchenverband TRAFOSWISS untersucht. Die Resultate sind in einer internen Schrift «Betriebsverhalten von bestehenden Verteiltransformatoren bei der neuen Netzspannung von 400 V» zusammengefasst. Weiter werden nur die Kleintransformatoren untersucht.

Vom Funktionsprinzip her ist der Transformator durch die Primärspannungserhöhung nicht gefährdet. Die eigenen Verluste (Erwärmung im Leerlauf durch den Magnetisierungsstrom und Eisenverluste) liegen weit unter der Verlustleistung von Primär- und Sekundärstrom bei Nennlast.

Die Normtransformatoren nach DIN 0550/51 waren schon immer für eine Netzspannungstoleranz von ±10% ausgelegt, so dass für die erste Phase der Spannungserhöhung (230 V +6/–10%) keine Anpassung nötig ist. Untersuchungen an den überwiegend unbelasteten Kleinsttransformatoren (Klingeltransformatoren usw.), die oft sehr sparsam dimensioniert sind, haben ergeben, dass es auch hier zu keinen bedeutenden Temperaturerhöhungen kommt.

Vorsicht ist aber bei Transformatoren für Niedervolt-Halogenlampen geboten. Hier geht es hauptsächlich um den Anstieg des Sekundärstromes und somit um die leistungsbedingte Überlastung des Transformators. Diese Transformatoren sind meistens aus Preisgründen nur mit wenig Reserven ausgelegt, so dass eine Überschreitung der Nennleistung eine starke Temperaturerhöhung verursachen kann.

Ausserdem soll man auch bei den Steuertransformatoren, die in Schaltschränken oder anderen thermisch ungünstigen Stellen betrieben werden, überprüfen, ob eine unerlaubte Temperaturerhöhung im oberen Spannungstoleranzbereich stattfindet.

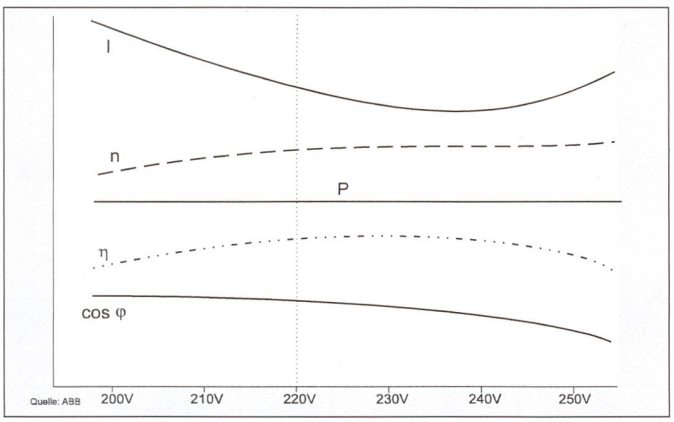

Bild 3 Einfluss der Spannungsabweichung auf die Nenndaten bei konstanter Leistung (Beispiele für: Strom *I*; Drehzahl *n*; Leistung *P*; Wirkungsgrad *η*; Leistungsfaktor cos*φ*).

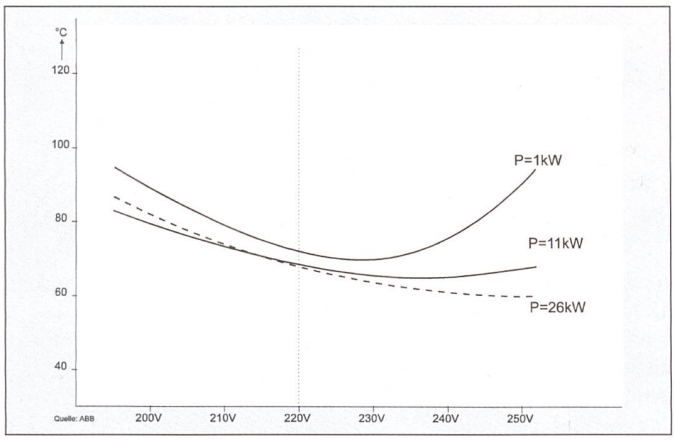

Bild 4 Einfluss der Spannungsabweichung auf die Erwärmung des Motors für drei Motoren im unterschiedlichen Leistungsniveau.

Kondensatoren, Blindleistungskompensation

In der Energieverteilung und Energienutzung werden Kondensatoren als Blindleistungskompensation, Überspannungsschutz, Motorenanlass-, Kopplungs-, Vorschaltgeräte- und Glättungskondensatoren eingesetzt. Die hier untersuchte Spannungserhöhung betrifft hauptsächlich Kondensatoren für die Blindleistungskompensation, für den Motorenanlass und für die Vorschaltgeräte.

Blindleistungskompensation

Alle induktiven Verbraucher wie Einphasen- und Drehstrommotoren, Transformatoren und Stromrichtergeräte belasten das Netz mit Blindleistung. Sie dient zum Auf- und Abbau des magnetischen Wechselfeldes und pendelt zwischen dem Energieerzeuger und Verbraucher mit doppelter Frequenz hin und her. Die Bereitstellung und der Transport der Blindleistung verursachen Mehrkosten und zusätzliche Verluste. Um dies zu vermeiden, schaltet man an den Verbrauchern Leistungskondensatoren zu. Die Blindleistung pendelt dann nur zwischen dem Verbraucher und Leistungskondensator. Den Kondensatoren kommen folgende Aufgaben zu:

- Leistungsfaktorverbesserung; cosφ wird erhöht durch Reduktion der Blindleistung
- Absaugen von Oberschwingungen mit zusätzlichem Oberwellenfilter

Die Kompensation kann als Einzel-, Gruppen- oder Zentralkompensation durchgeführt werden. Üblicherweise kompensiert man auf einen Leistungsfaktor von etwa $\cos\varphi_2 = 0{,}9$. Die benötigten Kompensationsleistungen und deren entsprechende Kapazitäten erreichen je nach Verbraucher oft beachtliche Werte. Deshalb müssen hier grosse und teure Kondensatoren eingesetzt werden.

Auswirkung auf Funktion, elektrische Parameter, Energieverbrauch und Lebensdauer

Die Spannungserhöhung hat auf die Kondensatoren für Blindleistungskompensation keine funktionelle Auswirkung. Auch die elektrischen Parameter und der Energieverbrauch werden nicht beeinflusst. Einzig bei Lebensdauer und Betriebssicherheit können einige Probleme auftreten. Die Konstruktion und hauptsächlich die Dielektrikum-Materialien von Leistungskondensatoren wurden mit der Zeit oft geändert.

Bis zum Jahre 1950 wurden für diese Anwendungen meistens die sogenannten «Ölkondensatoren» verwendet. Das Dielektrikum, ölgetränktes Papier, ist auf die Spannungserhöhungen bis zu 15% nicht besonders empfindlich, weil die sich ergebende Temperaturerhöhung für die verwendeten Öle nicht gefährlich ist.

Später wurden Kondensatoren mit PCB-Dielektrikum eingeführt. Dieses Material erträgt höhere Temperaturen schlecht. Es kommt zur Lebensdauerverkürzung, und bei allfälligem Spannungsdurchschlag kommt es zur gefährlichen Gasentwicklung. Zum Glück wurde dieses Material in der Industrie verboten. Kunden, bei denen noch alte Anlagen oder Geräte existieren, sollen informiert werden, dass diese Kondensatoren unbedingt auszuwechseln sind.

Ab 1970 wurden Kondensatoren mit Polypropylen-Dielektrikum eingeführt. Diese Kondensatoren wurden aber meistens für eine kürzere Lebensdauer konstruiert, daher sollten sie schon längst ersetzt worden sein.

Seit etwa vier Jahren steigen praktisch alle Leistungskondensator-Hersteller auf die erhöhten Spannungen (230/400 V +10%) um. Somit sind bei den neuen Blindleistungskompensationsanlagen keine Probleme zu erwarten.

Kondensatoren für Motorenanlass und Vorschaltgeräte

Für diese Kondensatoren gelten praktisch dieselben Überlegungen wie im vorherigen Absatz mit der Ausnahme, dass hier nicht immer Leistungskondensatoren benötigt werden. Bei den kleineren Motoren und Vorschaltgeräten werden oft Kondensatoren aus den Standard-Baureihen verwendet. Hier kommt es alleine auf den Konstrukteur an, ob er Kondensatoren mit genügender Spannungsreserve eingesetzt hat.

Bei den billigen älteren Geräten kann es vorkommen, dass die Kondensatoren nur für die damalige maximale Spannung ausgelegt wurden, was eine Lebensdauerverkürzung zur Folge haben kann.

Es kommt auch hier auf das Material des Dielektrikums an, wobei die neuere Generation der metallisierten Papierkondensatoren, die für diese Anwendungen bevorzugt eingesetzt wurden, die erste Stufe der Spannungserhöhung problemlos verträgt.

Gerät	Nenn-spannung	*Änderung der Leistungsaufnahme bei: 220 V +5%	220 V ±10%	230 V +6/–10%	230 V ±10%
Heizlüfter	220 V	+10%	+21 /–18%	+23 /– 9%	+32 /– 9%
Kochplatte	220 V	+ 9%	+20 /–16%	+21 /– 8%	+30 /– 8%
Staubsauger (etwa 1/2 Last)	220 V	+ 6%	+14 /–12%	+15 /– 7%	+24 /– 7%
Bohrmaschine (etwa 1/2 Last)	220 V	+ 6%	+13 /–10%	+14 /– 6%	+23 /– 6%
Glühlampe	220–235 V	+ 7%	+15 /–14%	+16 /– 7%	+23 /– 7%
Halogenlampe mit Trafo	220 V/12 V	+ 8%	+16 /–15%	+17 /– 8%	+27 /– 8%
Stab-Leuchtstofflampe mit induktiven VG (konventionell)	220 V	+10%	+21 /–20%	+22 /–10%	+31 /–10%
Spar-Leuchtstofflampe mit elektronischen VG	220 V	+ 5%	+10 /– 7%	+11 /– 4%	+15 /– 4%
Fernsehapparat	220 V	+ 2%	+ 4 /– 3%	+ 4 /– 1%	+ 6 /– 1%
Computer	220 V	+ 1%	+ 2 /– 1%	+ 2 /– 0%	+ 4 /– 0%

* Alle Leistungsänderungen sind auf die Leistungsaufnahme bei 220 V bezogen.

Tabelle II Leistungsaufnahme in Abhängigkeit von Spannungsänderung.

Die elektrischen Parameter und der Energieverbrauch werden nicht beeinflusst, solange der Kondensator gleichzeitig als Blindleistungskompensation wirkt. Wenn aber der kapazitive Lastcharakter überwiegt, steigt die Leistung ähnlich wie bei den reinen Wirkwiderstands-Verbrauchern.

Haushalts- und Handwerksgeräte

In diese Gruppe gehören sehr unterschiedliche Elektrogeräte mit komplexen, meistens induktiven und weniger auch kapazitiven Lastcharakter. Bezüglich der Funktion sind hier die Geräte zur Umwandlung der elektrischen Energie in mechanische Energie, Wärme und in Licht eingeteilt. Die Palette dieser Geräte reicht von den kleinen Körperpflegegeräten (elektrische Zahnbürste, Massagegeräte usw.) über die Haushaltsgeräte (Mixer, Kaffeemaschine, Mikrowellenofen, Staubsauger, Kühlschrank, Luftreinigung und -befeuchtung, Waschmaschinen usw.) bis zu Handwerksgeräten kleiner bis mittlerer Leistung (Handbohrmaschinen, Schleifmaschinen, elektrische Sägen usw.).

Auswirkung auf die wesentlichen Funktionsparameter

Die Funktion der Geräte mit drehzahlgeregeltem elektromotorischem Antrieb wird nicht beeinflusst. Ohne Drehzahlregelung, es handelt sich hier meistens um Einphasen-Universalmotoren, erhöht sich die Drehzahl und mit ihr prinzipiell auch die Intensität der Arbeitswirkung. Zudem steigt mit der steigenden Drehzahl oft auch die mechanische Belastung des Gerätes, was dem Drehzahlanstieg entgegenwirkt. Bei Ventilatoren kann zusätzlich ein erhöhter Lärmpegel auftreten. Dies kann sich nur bemerkbar machen bei Ventilatoren mit sehr niedrigem Geräuschpegel, die nahe unter der Resonanzdrehzahl arbeiten.

Bei Geräten, wo die mechanische Arbeit mit der Wärme, Strahlung oder anderer Energieform kombiniert wird, kann es auch zu gewisser Intensivierung der Arbeitswirkung kommen.

Allgemein ist aber zu erwarten, dass die Funktion dieser Geräte gar nicht oder nur sehr gering beeinflusst wird.

Auswirkung auf die elektrischen Parameter

Die von der Spannungserhöhung direkt betroffenen Parameter sind hier Wirkstrom, Blindstrom, Wirkleistung und Blindleistung. Indirekt kann die Spannungserhöhung auch die Stromkreissicherung und Isolation beeinflussen. Es gilt bei Spannungserhöhung um 5% (220 V auf 230 V) für den Strom:

$I = U / Z$; Strom steigt proportional mit der Spannung $\rightarrow I_{230} = I_{220} + 5\%$, wobei das Verhältnis zwischen dem Wirk- und Blindstrom vom Phasenwinkel abhängt.

Für die Leistung ist die Abhängigkeit durch folgende Beziehung gegeben:

$$P = P_{Nen} \cdot \left[\frac{U}{U_{Nen}} \right]^K$$

P = Wirkleistung bei erhöhter Spannung

der Exponent K beträgt:

$K \approx$ 0 für Motoren (bei konstanter Belastung)
$K =$ 1,6 für Glühlampen
$K =$ 2 für Wirkwiderstände und Kondensatoren

Der Leistungsfaktor $\lambda = \cos\varphi$ liegt bei Kleinmotoren sowieso sehr tief (0,6 bis 0,7) und wird bei Spannungsänderungen von dieser Ordnung nur sehr gering beeinflusst.

Auswirkung auf den Energieverbrauch

Aufgrund des Leistungsanstiegs steigt der momentane Energieverbrauch um 5 bis 10% (ungeregelte Geräte). Bei den Geräten mit überwachter Einschaltdauer ist die Vergrösserung des Energieverbrauches vernachlässigbar, weil mit erhöhter Arbeitswirkung oft auch die gewünschte Arbeit in kürzerer Zeit erledigt wird.

Bei den Geräten mit Dauerbetrieb, wie Ventilatoren oder Luftbefeuchter, muss man aber mit einem erhöhten Energieverbrauch rechnen. Das heisst, dass bei den geregelten Geräten immer und bei den ungeregelten Geräten, wenn sie richtig über-

Gerätetyp	was kann passieren?	bei welchen Bedingungen?	Empfehlung
Ungeregelte Heizgeräte	Beschädigung der Isolation und Deformation der Heizspirale durch Überhitzung	generell im oberen Spannungsbereich	Betrieb nur mit Überwachung oder Einbau einer thermischen Sicherung: evtl. Gerät ersetzen
Glühlampen, Bauspannung 228 V	erhebliche Verkürzung der Lebensdauer	Betrieb oberhalb 235 V	Einkauf neuer Glühlampen nur mit Bauspannung 235 V
Lichtanlagen mit Niedervolt-Halogenlampen	Überhitzung der Anlage, Verkürzung der Lebensdauer	beim längeren Betrieb im oberen Spannungsbereich	Transformator ersetzen (Primärspannung nach neuer Norm 230 V)
Stabförmige Leuchtstofflampen mit induktiven VG alter Bauart	erhöhter Stromverbrauch; Überhitzung des VG bei thermisch ungünstigem Einbau	beim längeren Betrieb im oberen Spannungsbereich	Vorschaltgerät ersetzen mit neuem verlustarmem VG für 230 V
Universalmotoren, explosionsgeschützte Ausführung	Betriebsstrom höher als max. erlaubter Strom gemäss Typenschild	Betrieb oberhalb 242 V	Motor unbedingt ersetzen!
Drehstrommotoren nach IEC-Norm alter Ausführung	Überhitzung des Motors, Verkürzung der Lebensdauer	beim längeren Betrieb im oberen Spannungsbereich	Zustand des Motors öfters überprüfen, wenn nötig ersetzen
Drehstrommotoren, explosionsgeschützte Ausführung	Betriebsstrom höher als max. erlaubter Strom gemäss Typenschild	Betrieb oberhalb 242 V oder 415 V	Motor unbedingt ersetzen!
Transformatoren nach DIN-0550/51 alter Ausführung	Überhitzung des Transformators, Verkürzung der Lebensdauer	Dauerbetrieb oberhalb 242 V	Zustand des Transformators überprüfen, wenn nötig Trafo ersetzen
Leistungskondensatoren mit PCB-Dielektrikum	Überhitzung des Kondensators, Verkürzung der Lebensdauer; eventuell Durchschlag	beim längeren Betrieb im oberen Spannungsbereich	Kondensatoren unbedingt ersetzen!

Tabelle III Kritische Gerätetypen mit Aufzählung der möglichen Probleme, den dazu führenden Umständen und Empfehlungen zur Vorbeugung.

wacht werden, der gesamte Energieverbrauch etwa gleich bleibt. Nur die ungeregelten und nicht überwachten Geräte werden je nach Lastcharakter einen um 5 bis 10% höheren Energieverbrauch verursachen.

Auswirkung auf die Lebensdauer

Der höhere Strom und die höhere Drehzahl verursachen allgemein eine Temperaturerhöhung. Die meist kurzzeitigen Temperaturerhöhungen der Wicklung, Isolation und Zuleitungen beeinflussen die Lebensdauer aber nur geringfügig. Die kleine Lebensdauerverkürzung bei den Haushalts- und Handwerksgeräten soll nicht stark ins Gewicht fallen, da diese Geräte meistens für eine relativ kurze Lebensdauer konstruiert sind und in einigen Jahren ausgewechselt werden.

Büro- und Heimelektronik

In diese Gruppe gehören hauptsächlich Geräte mit Stromversorgung über ein Netzteil. Die Speisespannung dieser Geräte wird praktisch immer stabilisiert. Aus diesem Grund wirkt sich die Spannungserhöhung primär auf die Netzteile aus. Von der Funktion her kann man folgende Hauptgruppen der Stromversorgungen unterscheiden:

- getaktete Stromversorgungen
- Netzteile mit einem Längsregler

Auswirkung auf die Funktion der Geräte

Die Funktion der Geräte wird wegen der stabilisierten Speisespannung nicht beeinflusst.

Auswirkung auf elektrische Parameter, Energieverbrauch und Lebensdauer

Bei Geräten mit getakteter Stromversorgung tritt praktisch keine Stromerhöhung oder Leistungserhöhung auf.

Die Netzteile mit einfachem Längsregler reagieren aber auf eine Netzspannungserhöhung mit entsprechendem Strom- und Leistungsanstieg, was zu einer bedeutenden Temperaturerhöhung des Netzteils führt. Man muss aber vermerken, dass dieses Problem ausschliesslich die alten Geräte betrifft. Der Netztransformator wurde ausserdem bei solchen Geräten meistens mit mehreren Abzweigungen auf der Primärseite (210 V, 220 V, 240 V) ausgerüstet, und so ist es möglich, auch diese Geräte auf die höhere Spannung anzupassen. Bei alten Billiggeräten, wo die Netzteile aus Preisgründen oft unterdimensioniert wurden, kann es zur Lebensdauerverkürzung und eventuell zur Beschädigung des Netzteils kommen.

Zusammenfassung

Beispiele von Verhalten verschiedener Geräte

Tabelle II zeigt die Auswirkung der Spannungsänderung auf die Leistungsaufnahme von verschiedenen Stromverbrauchern, die für Nennspannung 220 V gebaut wurden. Die Messergebnisse haben nur informativen Charakter, da zwischen den Geräten einer Gruppe, von verschiedenen Herstellern, grosse konstruktive Unter-

schiede bestehen. Ausserdem können auch momentane Belastung und Umgebungsbedingungen (Wärmeaustausch) die Messungen stark beeinflussen.

Übersicht der problematischen Geräte

In Tabelle III sind die meisten Gerätetypen, bei denen mit Problemen beim Betrieb im oberen Spannungsbereich zu rechnen ist, zusammengefasst.

Reale Versorgungsspannung im Niederspannungsnetz

Unter der Normspannung versteht man lediglich den theoretischen Mittelwert. Je nach der Entfernung des Anschlussortes von der Transformatorstation und je nach der momentanen Belastung der Leitung kann sich die Spannung örtlich und zeitlich stark ändern. Bis jetzt wurde ein Toleranzband von ±10% um die Normspannung angestrebt. Das heisst, die Spannung an der Steckdose darf zwischen 198 V und 242 V schwanken. Die Spannung wurde eher über 220 V gehalten, um in entfernten Ortschaften nicht unter 200 V zu fallen. Deshalb sind Spannungen über 230 V schon heute üblich. Die abgestufte Einführung der neuen Normspannung von 230 V, wenn sie richtig gehandhabt wird, bringt in der ersten Phase (230 V +6/–10% → 207 V bis 243,8 V) eine nur sehr kleine Überschreitung des bisherigen Toleranzbandes. In der zweiten Phase, ab 1. Januar 2003, wird dann der volle Toleranzbereich (207 V bis 253 V) gültig.

Praktische Auswirkungen der Spannungsumstellung

- **Auswirkungen auf Geräte und Anlagen**

  Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass beim Betrieb angeschlossener Geräte in den 230/400-V-Netzen, die bisher mit der Nennspannung 220/380 V betrieben wurden, kaum nachteilige Auswirkungen zu erwarten sind. Mit dem für die erste Phase bis zum Jahre 2003 vorgegebenen Toleranzband wird erreicht, dass die meisten Geräte und Anlagen, die für 220/380 V ausgelegt sind, bis zum Ende ihrer Lebensdauer sicher betrieben werden können. Bei grossen Geräten und Anlagen, deren Lebensdauer über das Jahr 2003 hinausreicht, ist es wichtig, diese an den heutigen Stand von DIN/IEC 38 anzupassen. Bei Glühlampen, die noch für die Bauspannung 228 V ausgelegt wurden, kommt es zu einer massiven Verkürzung der mittleren Lebensdauer.

- **Auswirkungen auf das elektrische Netz**

  Die Spannungserhöhung bringt im Durchschnitt keinen Energiemehrverbrauch mit sich. Wo eine erhöhte Leistungsaufnahme (z. B. Heizgeräte) eintritt, ergibt sich meistens eine Verkürzung der Betriebszeit. So bleibt die Belastung des Stromversorgungsnetzes im Durchschnitt fast gleich. Ausserdem wächst der Anteil der Verbraucher, die für 230/400 V gebaut sind, ständig. Prinzipiell steigen während der erhöhten Leistungsaufnahme auch die Verluste auf den Netzzuleitungen zum Verbraucher. Die Dimensionierung der Anschlussleitungen ist aber für Stromerhöhungen dieser Grösse in jedem Fall ausreichend. Einzig die Energietransportkosten aufgrund der erhöhten Verluste in den Zuleitungen können eventuell anwachsen. Die Erfahrungen aus der Praxis zeigen keine negativen Auswirkungen der Spannungserhöhung auf das Stromversorgungsnetz. Das Elektrizitätswerk der Stadt Zürich (EWZ) hat seit Anfang der neunziger Jahre mit der Spannungsumstellung begonnen, und im September 1992 wurde ein kurzes Informationsblatt herausgegeben. Auf unsere jetzige Befragung haben uns die verantwortlichen Mitarbeiter vom EWZ bestätigt, dass die Spannungsumstellung bis jetzt keine Probleme mit sich brachte.

Literatur

G. Müller: Elektrische Maschinen: Grundlagen, Aufbau, Wirkungsweise. VDE-Verlag GmbH, Berlin/Offenbach 1985.

Walthert + Koll.: Strom rationell nutzen: Ravel Handbuch, Verlag der Fachvereine, Zürich 1992.

H. J. Hentschel: Licht und Beleuchtung: Theorie und Praxis der Lichttechnik, Dr. Alfred Hüting Verlag, Heidelberg 1992.

W. Hartmann: Einführung der Netzspannung 230/400 V: Elektropraktiker, Berlin 1990.

A. Mastrocola: Spannungserhöhung auf 230/400 V – Auswirkungen auf Geräte. Infel-info.

Kollektiv: Neue Euro-Spannung 230/400 V: ABB (interne Schrift K 8614), 1990.

H.R. Ris: Blindleistungskompensation: Elektrotechnik, Nr. 9, 1993.

Conséquences pour le consommateur de l'augmentation de la tension de 220/380 V à 230/400 V

La nouvelle tension nominale du réseau (230/400 V) est entrée, comme prévu, en vigueur le 1er janvier 1996 sans soulever de réaction particulière de la part des consommateurs ou des fournisseurs d'électricité. L'action bien préparée, en deux étapes, a tenu compte à la fois des fabricants d'appareils et des utilisateurs. La période transitoire, allant du 1er janvier 1996 au 1er janvier 2003, devrait atténuer les problèmes liés à ce changement. Durant cette période, la tension nominale plus élevée avec une plage de tolérance allant de –10% à seulement + 6% n'entraîne pour ainsi dire aucune augmentation de la valeur maximale admise. Il existe toutefois en de nombreux endroits une incertitude relative à l'exploitation d'anciennes installations électriques avec la nouvelle tension de réseau. C'est la raison pour laquelle les conséquences de l'augmentation de la tension pour les consommateurs ont été examinées par l'IGS, avec le soutien financier de l'AEK Soleure et de la FMB Energie S.A.