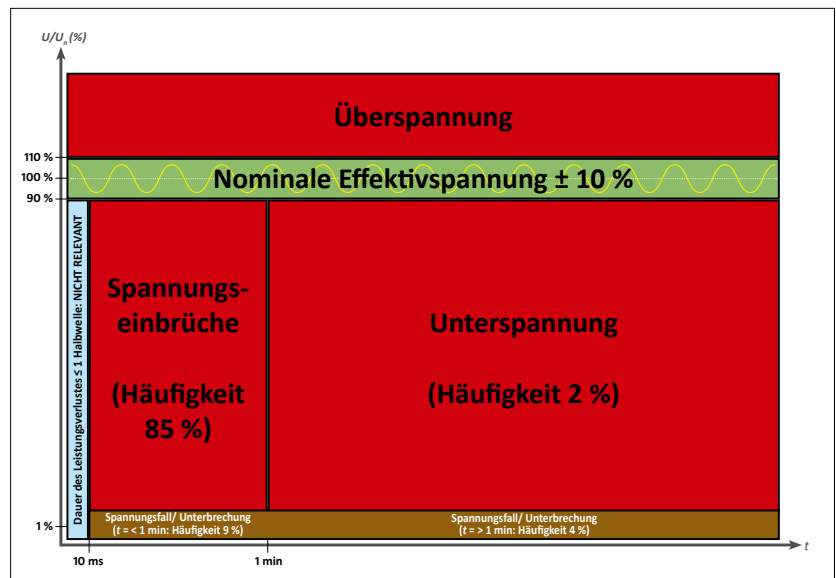


Offline- bzw. Online-USV-Systeme und aktive Netzspannungsregler

## Spannungseinbrüchen kostenoptimiert entgegenwirken

Das deutsche Energieversorgungsnetz ist, im weltweiten Vergleich, eines der stabilsten und zuverlässigsten in Bezug auf die Versorgungssicherheit. Trotzdem treten immer mehr Probleme und willkürliche Störungen auf, die zu kurzzeitigen Unterbrechungen in Fertigungsprozessen oder zu langen Ausfallzeiten von Produktionsanlagen führen.



**Bild 1.** Übersicht der Arten von Über- und Unterspannungen (nach EN 50160) in Kombination der Häufigkeit dieser Ereignisse in Abhängigkeit von Spannungsniveau und Zeitdauer (Werte aus Unipede Disdip Survey [2] Messkampagnen entnommen)

Ein Beispiel für eine solche Störung ist ein abgefallenes Relais in einer Zeitungs-Druckmaschine. Dieses außer Betrieb genommene kleine Bauteil kann im Druckprozess zu langen Ausfallzeiten führen. Addiert man die Zeiten für Neurüsten und Anfahren der Druckmaschine einschl. aller Peripherieaggregate (z. B. Falzwerk, Schneidtrimmer usw.), kommt der Zeitungsherstel-

ler, je nach Maschine, schnell auf eine sechsstellige Schadenssumme und zu einem gewaltigen Imageproblem, falls die Tageszeitung nicht pünktlich an die Haushalte geliefert werden kann. Auch bei Herstellern von Erzeugnissen mit einer langen Stückfertigungszeit wie Drahtseile für Seilbahnen oder komplizierte Werkstücke aus CNC-Fräsen oder industriellen High-End-3D-Druckern, kann es zu kostenintensiven Störungen kommen. Im ungünstigsten Fall muss das, im Fertigungsprozess unterbrochene Bauteil, eingeschmolzen und neu gefertigt werden. Die daraus resultierenden Kosten für ungeplante Rüst- und Liegezeiten steigen progressiv an. Des Weiteren verlangen die Produktionsketten in der Lebensmittel- und Pharmaindustrie unterbrechungsfreie Prozesse, um jeder Zeit eine durchgängige, gleichbleibende und nachweisbare Qualität der Produkte zu gewährleisten. Diese zuvor genannten Störungen sind oftmals auf »Netzanomalien« bzw. häufig

auf tretende Spannungseinbrüche zurückzuführen.

Um diese »Netzanomalien« zahlenmäßig zu fassen, gibt es Normen und Standards wie die EN 50160 [1], die Spannungsgrenzen und zulässige Abweichungen festlegen. Unter dem Titel »Merkmale der Spannung in öffentlichen Elektrizitätsversorgungsnetzen« definiert die europäische Norm EN 50160 die wesentlichen Merkmale der Netzspannung unter normalen Betriebsbedingungen, um für ein stabiles europäisches Verbundnetz zu sorgen. Die Abweichung von der Sollvorgabe für die Versorgungsspannung differenziert zwischen Spannungseinbrüchen, Unterspannungen, Spannungsunterbrechungen sowie Überspannungen. Jeder dieser Begriffe definiert sich über das Spannungsniveau ( $V$ ) in Abhängigkeit von der Zeit ( $t$ ).

Zur besseren Veranschaulichung stellt **Bild 1** die erwähnten Phänomene nach Definition in der EN 50160 abhängig von Spannungsniveau und Zeitdauer dar.



**Marvin Rolle**, M. Sc., Projektingenieur, Condensator Dominit GmbH, Brilon

## Spannungseinbrüche ( $t < 1 \text{ min}$ )

Eine Vorhersage über das Auftreten und die Häufigkeit von Spannungseinbrüchen ist, aufgrund ihres stochastischen Charakters, nur schlecht möglich. Typische Ereignisse, die das Energieversorgungsnetz außergewöhnlich belasten und zu Spannungseinbrüchen führen, sind:

- atmosphärische Ereignisse wie Blitze und Stürme, Schnee, Eis, Ablagerungen von Salz oder anderen Luftschadstoffen auf in Umspannwerken oder Überlandleitungen verbauten Isolatoren, windbedingte Verschmutzungen,
- mechanische Störereignisse und Schäden an Stromleitungen, z. B. durch Kontakt mit Fahrzeugen, Bau- und Aushubgeräten, Tieren (Vögel), wachsenden Bäumen, Vandalismus und bösartigen Schäden,
- Störereignisse an Betriebsmittel im Energieversorgungsnetz durch Abnutzung, Korrosion oder Konstruktionsfehler,
- hervorgerufene Störungen durch mangelhafte Wartungen oder fehlerhafter Betrieb elektrischer Anlagen.

Primär entstehen Spannungseinbrüche durch Kurzschlüsse im Energieversorgungsnetz oder nach dem Netzanschlusspunkt intern in der unternehmenseigenen Stromversorgung. Die Häufigkeit sowie die Einbruchtiefe können dabei regional und saisonal sehr unterschiedlich ausfallen. Schon in den 1970er Jahren wurde, durch das Implementieren der ersten EDV-Rechenanlagen, zum ersten Mal die Aufmerksamkeit auf die Netzqualität der Energieversorgung gelenkt. Damals mussten beträchtliche Anstrengungen unternommen werden, um den kontinuierlichen Betrieb von Computeranlagen zu gewährleisten. Aus diesem Umstand heraus schlossen sich damals die führenden amerikanischen Computerhersteller zu einem Verband zusammen (Information Technology Industry Council, kurz ITIC) und verabschiedeten gemeinsam Immunitätsanforderungen an elektrische Anlagen, um Spannungseinbrüchen effektiv entgegenzuwirken. Auf dieser Grundlage

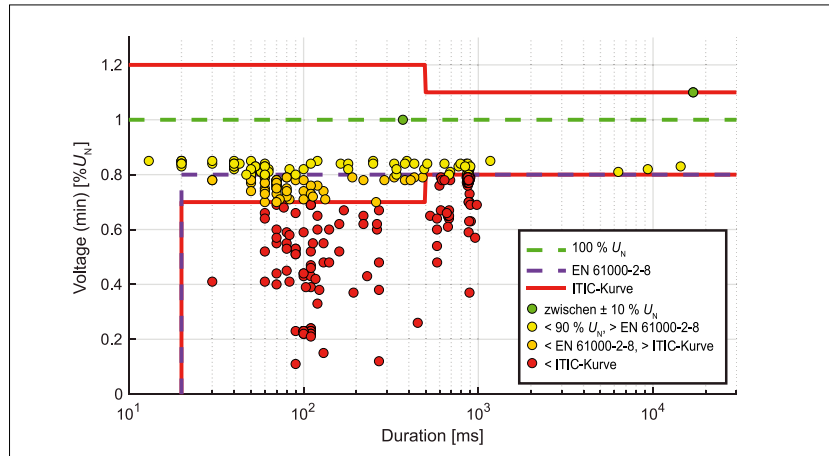


Bild 2. Tiefe von Spannungereignisse über die Zeitdauer

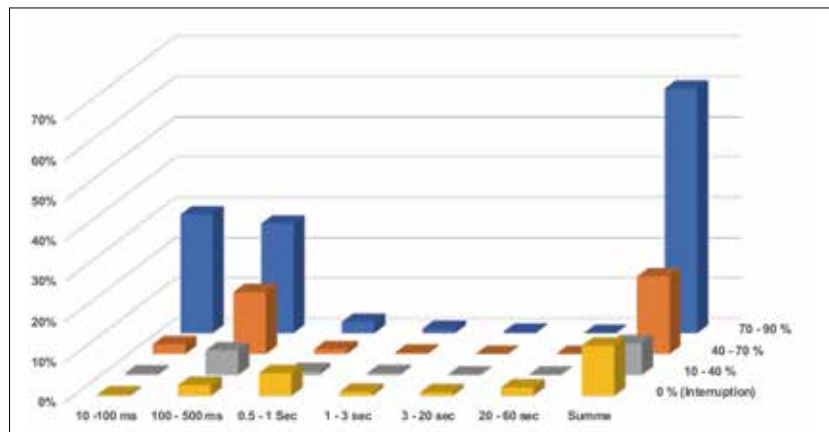


Bild 3. Verteilung von Spannungsevents abhängig von Nennspannung zu Restspannung (Werte aus Unipede Disdip Survey [2] Messkampagnen entnommen)

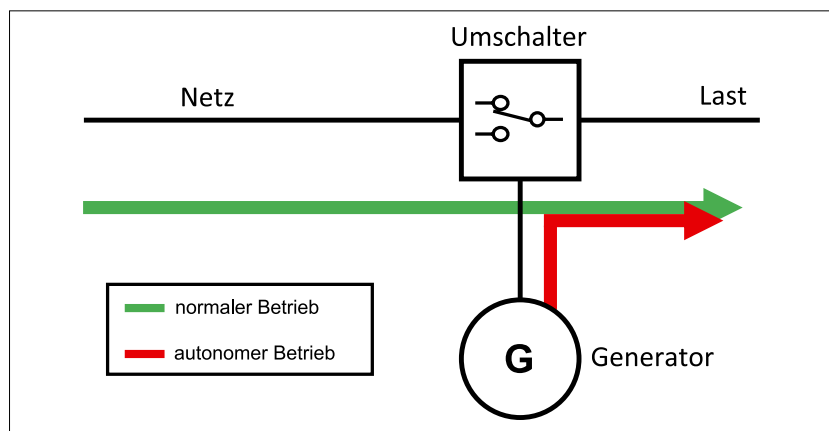


Bild 4. Schematischer Aufbau einer statischen Offline-USV

wurden weitere Normen wie die IEC 61000-4-34 (EMV Verträglichkeit), die IEC 61-000-2-8 (Auswir-

kungen von Spannungereignissen) und die SEMI F 470200 (Spezifikation für die Spannungsfallfestigkeit

von Halbleitern), speziell für die Halbleiterherstellende Industrie abgeleitet.

Um Abweichungen von den genannten Normen zu analysieren wurden von der ITIC in Nord-Mazedonien über zwei Jahre in einem neu errichteten Industriegebiet Messungen vorgenommen. In diesem Zeitraum wurden 259 Normabweichungen gemessen, die zum Großteil zu Produktionsstillständen führten. Die Messwerte und die sich daraus ergebenden Normabweichungen werden in *Bild 2* dargestellt. Die Häufigkeit der Ereignisse an diesem Standort gehört, gegenüber dem deutschen Energieversorgungsnetz, zu den Extremfällen. Trotzdem zeigen die gemessenen Spannungseignisse eine typische Verteilung, wie sie auch in anderen Messkampagnen durchgeführt von Unipede [2] (International Union of Producers and Distributors of Electrical Energy) oder EPRI (Electrical Power Research Institute, USA) zu sehen sind. Die Mehrzahl der Spannungseignisse sind kürzer als 1 s und die Restspannung ( $U_R$ ) oft nur leicht größer als 40 % der Nennspannung ( $U_N$ ).

$$U_R = U_N - 0,60U_N = 138 \text{ V,}$$

$$\text{bei } U_N = 230 \text{ V}$$

### Auswirkungen durch Spannungseinbrüche

Die Auswirkungen von Spannungseinbrüchen auf Produktionsanlagen und anderen elektrischen Verbrauchern werden u. a. in der IEC 61000-2-8 [3] (Auswirkungen von Spannungseignissen) näher beschrieben. Nach dieser Norm dürfen u. a. Relais oder Schütze abfallen, sobald die Spannung für die Dauer von mehr als einer Netzperiode unter 80 % der Nennspannung fällt. Folgen sind, wie anfangs erwähnt, Not-Stopps und ungeplante Produktionsstillstände von Fertigungsanlagen. Selbst große Verbraucher, wie Asynchronmotoren, reagieren negativ auf Spannungseinbrüche. Im Falle dieses Ereignisses wird das Drehmoment des Motors signifikant reduziert, so dass es dann, bei anspruchsvollen Fertigungsprozessen, zu fehlerhaften Produkten kommt. Aber nicht nur

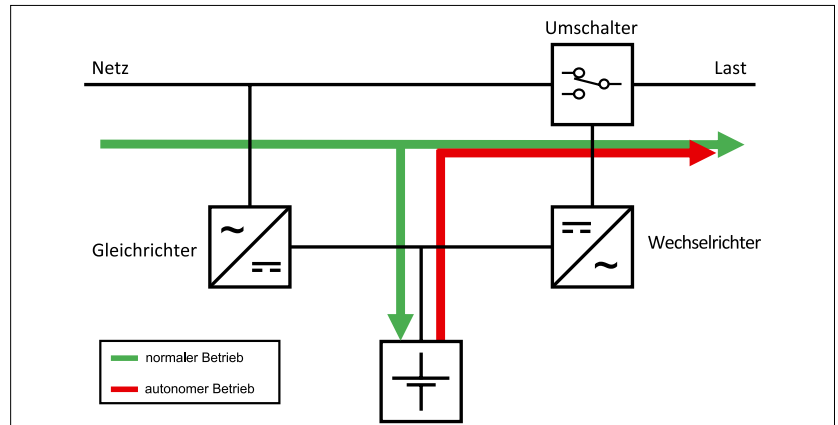


Bild 5. Schematischer Aufbau einer dynamischen Offline-USV

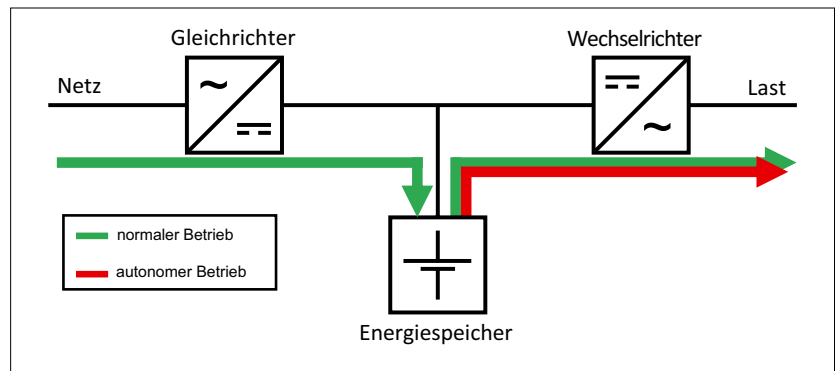


Bild 6. Schematischer Aufbau einer Online-USV

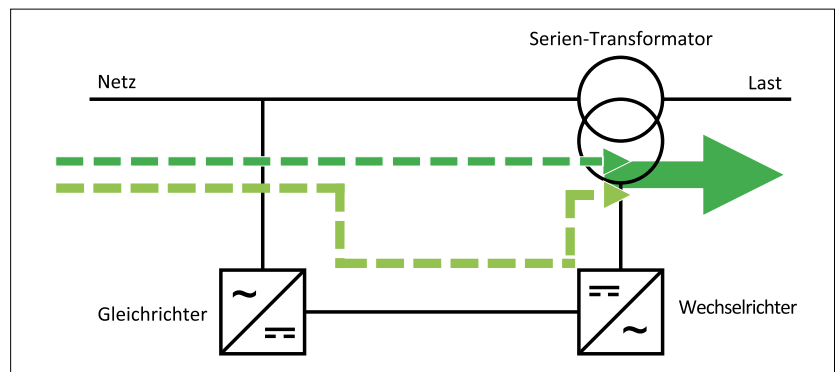


Bild 7. Schematischer Aufbau eines Aktiven Netzspannungsreglers

der Spannungseinbruch selbst ist im Fall des Asynchronmotors ein Netzstörfaktor, sondern auch das Wiederkehren der Spannung. Unter der Annahme eines »schwachen« Netzes mit geringer Kurzschlussfestigkeit und einer großen Anzahl an Verbrauchern, entstehen bei Wiederkehr der Spannung hohe Anlaufströme, die wiederum zu einem

Spannungseinbruch führen können und damit das Anlaufen der Motoren verzögern oder gar vollständig verhindern.

### Lösungen zum Durchfahren von Spannungseinbrüchen

Um die kostenintensiven Folgen von Spannungseinbrüchen zu min-

	dynamische Offline-USV	Statische Offline-USV	Online-USV	Aktiver Netzspannungsregler
Anwendung	Notstrom (Stundenbereich)	Notstrom (Sekunden – Minutenbereich)	Notstrom (Sekunden – Minutenbereich)	Gegen schnelle Spannungsänderungen inkl. Einbrüchen
Ausregelzeit	1,5 – 2,5 Sekunden (umschalten) bis zu 30 Sekunden (starten)	< eine Halbwelle (< 10 ms) (umschalten)	< eine Halbwelle (< 10 ms)	< eine Halbwelle (< 10 ms)
Spannungskorrektur	Nein	Nein	Ja	Ja
Absicherung bei Unterbrechung	Nur nach dem Umschalten	Nur nach dem Umschalten	Ja	Nein
Effizienz	85 – 95 % lastabhängig	95 % im Notstrombetrieb	90 – 96 %	> 98,5 %
Kurzschlussleistung / Selektivität des nachgeschalteten Schutzes	Abhängig von der Einbindung des Systems	Abhängig von der Einbindung des Systems	Nicht definiert ( $1,5 \times S_N$ )	Unverändert
Verschleiß und Wartung	Hoch (mechanischer Verschleiß und wartungsintensive Arbeiten)	Mittel (Energiespeicher)	Mittel (Energiespeicher)	Gering (kein Energiespeicher oder mechanische Komponenten)
Gesamtkosten	Hoch (nicht erweiterbar)	Mittel (erweiterbar)	Hoch (erweiterbar)	Gering erweiterbar

Tafel 1. Gegenüberstellung der marktführenden Lösungsmöglichkeiten für Spannungseinbrüche

dern bzw. zu beseitigen gibt es eine große Bandbreite an unterschiedlichen Lösungsmöglichkeiten. Die Vor- und Nachteile der einzelnen Konzepte werden im Folgenden analysiert und gegenübergestellt. Die Einteilung der einzelnen Systeme wird über die Anbindung der netzstabilisierenden Anlagen an das Kundennetz definiert. Der an das System angegliederte Energiespeicher, der das Kundennetz im Spannungsfall speist, wird zur Unterscheidung nicht in Betracht gezogen. Um die angebotenen Lösungen technisch voneinander zu trennen, wird unterschieden zwischen Ausregelzeit, Spannungskorrektur, Absicherung bei Unterbrechung, Effizienz, Kurzschlussleistung/Selektivität des nachgeschalteten Schutzes, Gesamtkosten sowie den Punkt Verschleiß und Wartung.

Gegenübergestellt werden die vier marktbeherrschenden Systeme wie »Offline-USV-Systeme« mit ihren zwei Untergruppierungen »statische« und »dynamische Anlagen«, »Online-USV-Systeme« und der Gruppe der »Aktiven Netzspannungsregler«.

### Offline-USV-Systeme

Die Gruppe der Offline-USV-Systeme gliedert sich in zwei Untergruppen: die »statische« und die »dynamische«. Sie sind die einfachste Form zur Absicherung von Spannungseinbrüchen. Die technische Basis der Anlagen ist, dass wenn im Spannungsfall die Versorgungsspannung unter einen vorher definierten Wert sinkt, die Versorgung schnellstmöglich auf ein anderes System umgelenkt und die Last komplett von dieser versorgt wird.

### Statische Offline-USV-Systeme

In Bild 4 ist der schematische Aufbau einer statischen Offline-USV dargestellt. Bei dieser Anlage wird über einen Gleichrichter der Energiespeicher aufgeladen. Im Fehlerfall speist der Wechselrichter nach dem Umschalten die Last aus dem Energiespeicher. Hiermit ist es nicht möglich, Langzeitunterbrechungen zu durchfahren, die eine Zeit von mehreren Minuten bis Stunden haben, so dass diese Art der USV vorwiegend zum kontrollierten Herunterfahren von Prozes-



## Kabelschonende Zustandsbewertung mit dem portablen TE-Diagnosesystem PD-TaD

- Umfassende Zustandsbewertung von Kabeln durch Teilentladungs- und gleichzeitiger Verlustfaktormessung
- Leicht und kompakt – für den mobilen Einsatz vor Ort und platzsparend im Kabelmesswagen
- Messabläufe nach der eigenen Diagnosephilosophie mit der neuen BAUR Software 4



Mehr Infos unter [www.baur.eu/de/pd-tad62](http://www.baur.eu/de/pd-tad62)  
[www.baur.eu/de/pd-tad80](http://www.baur.eu/de/pd-tad80)



BAUR Prüf- und Messtechnik GmbH  
vertrieb@baur-germany.de



**Bild 8.** Effiziente Spannungsstabilisierung durch das aktive Netzspannungsreglersystem Oskar (Online Spannungs-Korrektur mit adaptiver Regelung) – als Schranklösungen von 300 bis 2 400 kVA, bis hin zu Leistungen von 5 400 kVA als Oskar-HV im 40-Fuß-Container erhältlich

sen oder Anlagen (Server, EDV, IT-Infrastrukturen) verwendet wird. Ein großer Nachteil dieses Systems ist die geringe Leistung entgegen der Kurzschlussleistung des Netzes. Dies hat zur Folge, dass die den Lasten vorgelagerten Absicherungen gegen Sicherungen mit einer höheren Empfindlichkeit ausgetauscht werden müssen. Bei einer nachträglichen Integration von statischen Offline-USV-Systemen in ein bestehendes Firmennetz entstehen somit, um ein funktionierendes Schutzkonzept zu gewährleisten, ungeplante hohe Investitionskosten.

#### Dynamische Offline-USV-Systeme

Der schematische Aufbau einer dynamischen Offline-USV-Anlage ist in *Bild 5* zu sehen. Entgegen einem statischen-Offline-System mit angeschlossenem Energiespeicher wird hier die Notstromspannungsversorgung über einen Generator abgedeckt. Die zur Notstromversorgung überwiegend in Krankenhäusern und militärischen Ein-

richtungen eingesetzten Stromaggregate bieten die längsten Überbrückungszeiten. Die Ausregelzeit von 1,5 bis 2,5 s Umschalten zzgl. den 30 s Anlaufzeit (im Kaltzustand des Generators) ist zu lang, um kurze Spannungseinbrüche auszugleichen. Somit sind dynamische Offline-USV-Systeme zur Absicherung von anspruchsvollen Fertigungsprozessen gänzlich ungeeignet. Des Weiteren müssen die Anlagen, um im Versorgungsnetz einen sicheren Notstrombetrieb zu gewährleisten, sehr kostenintensiven regelmäßigen Wartungen, Prüfungen sowie Testläufen unterzogen werden.

#### Online-USV

Den größtmöglichen Schutz vor Spannungseinbrüchen und KUs bietet die Online-USV. In *Bild 6* ist der grundlegende Aufbau einer Online-USV dargestellt. Der große Vorteil ist die Unabhängigkeit des vorgelagerten Netzes hinsichtlich dessen Spannung und Frequenz. Dies geht einher mit dem Nachteil, dass der Laststrom mehrfach umgeformt wird. Die dadurch resultie-

renden thermische Verluste führen zu einem typischen Wirkungsgrad von 90 bis 95 %. Des Weiteren hat die dauerhafte Belastung des Energiespeichers negative Auswirkungen auf dessen Lebensdauer. Daher sind jährliche Inspektionen notwendig, um die Bereitschaft der USV jeder Zeit zu gewährleisten. Weiter muss im Schnitt alle drei bis vier Jahre der Energiespeicher gegen einen kostenintensiven Neuen gewechselt werden. Ähnlich wie bei Offline-USV-Systemen weisen Online-USV-Systeme eine reduzierte Kurzschlussleistung auf. Die Folge ist, dass das neue Schutzkonzept sicherungstechnisch auf das neue Netz abgeglichen werden muss.

#### Spannungsstabilisierung durch den Einsatz eines aktiven Netzspannungsreglers

Ein aktiver Netzspannungsregler, wie in *Bild 7* dargestellt, ermöglicht die kontinuierliche Korrektur von Spannungsabweichungen in Betrag und Phase. Die Stabilisierung der Spannung an der Last erfolgt mit Leistungselektronik kombiniert mit

einem Boost- bzw. Serien-Transformator. Anders als bei den USV-Systemen wird die benötigte Energie nicht von einem Energiespeicher bereitgestellt. Die benötigte Energie wird aus dem vorgelagerten Versorgungsnetz bezogen.

Der fehlende Speicher führt zu geringeren Investitions- und Wartungskosten gegenüber anderen Systemen. Des Weiteren wird die vom vorgelagerten Netz bereitgestellte Kurzschlussleistung nur minimal verringert (typ.  $U_k < 3\%$ ), so dass im Allgemeinen keine Änderungen am bestehenden Schutzkonzept notwendig sind.

## Fazit

In *Tafel 1* ist eine kurze Gegenüberstellung der vorgestellten Lösungsmöglichkeiten dargestellt. Bei kritischen Anwendungen, wo eine 100-prozentige Absicherung nötig ist, gibt es momentan keine adäquate Alternative zu einem Online-USV-System. In einem Krankenhaus dürfen überlebenswichtige Systeme, wie die Lungen- oder Herzmaschine, auf keinen Fall ausfallen, da hier Menschenleben auf dem Spiel stehen. Ebenso ist in der heutigen weltweit vernetzten Welt für den reibungslosen Ablauf in Un-

ternehmen ein funktionierendes IT-System unabdingbar. Besonders in der Finanzindustrie, mit ihren großen Rechenzentren, sind die Auswirkungen fatal, und die Kosten können bei einem einzigen Ausfall in Millionenhöhe gehen. Bei diesen Anwendungen ist es keine Frage des Geldes, ob sich die Investition rentiert, sondern die Investition ist zwingend erforderlich. Im Gegensatz dazu spielen im industriellen Bereich wirtschaftliche Aspekte eine größere Rolle, so dass zwar eine 100-prozentige Absicherung oft gewünscht ist, aber in den meisten Fällen, aufgrund der Gesamtkosten, nicht sinnvoll ist. Hier bietet der aktive Netzspannungsregler Oskar (*Bild 8*) eine ideale Alternative zu den bestehenden USV-Systemen, um die Spannungsqualität zu verbessern. Daher ist es im Vorfeld wichtig, die genauen Anforderungen und Anwendungen zu kennen. Ist eine 100-prozentige Absicherung wirklich notwendig oder ist es ausreichend, einen Großteil der Störfälle zu korrigieren? Hier bewahrheitet sich die Weisheit: »so viel wie nötig und so wenig wie möglich«. Um die Anlagen auch für die letzten Prozentpunkte abzuschern, sind um ein Vielfaches höhere Investitionen notwendig. Die Ge-

samtkosten von USV-Systemen steigen schnell progressiv, betrachtet man die regelmäßig wiederkehrenden Wartungs- und Prüfeinsätze oder ungeplante Zusatzkosten für die zu überarbeitenden Schutzkonzepte.

## Literatur

- [1] DIN EN 50160, Merkmale der Spannung in öffentlichen Elektrizitätsversorgungsnetzen, Februar 2011.
- [2] Disdip Group: Voltage dips and short interruptions in medium voltage public electricity supply systems, Report from the International Union of Producers and Distributors of Electrical Energy (Unipede), 1990.
- [3] IEC 61000-2-8, Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 2-8: Environment – Voltage dips and short interruptions on public electric power supply systems with statistical measurement results, November 2002.

[marvin.rolle@condensator-dominit.eu](mailto:marvin.rolle@condensator-dominit.eu)

[www.condensator-dominit.de](http://www.condensator-dominit.de)

Anzeige