Leitfaden Netzqualität

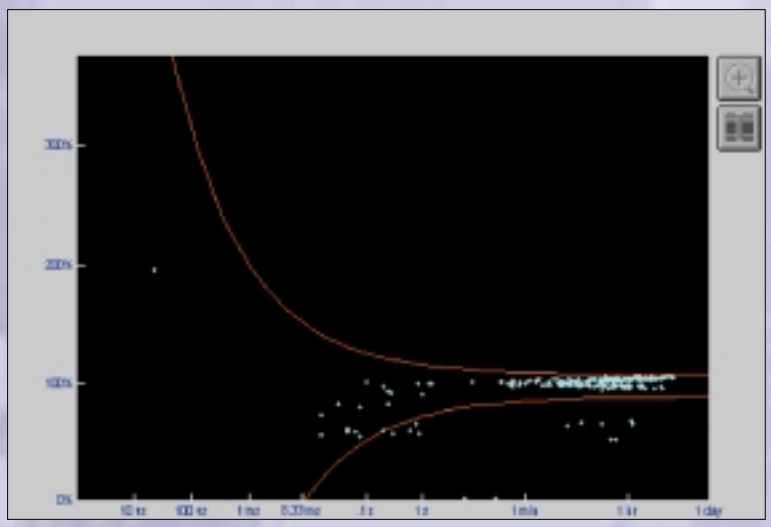
Leonardo da Vinci

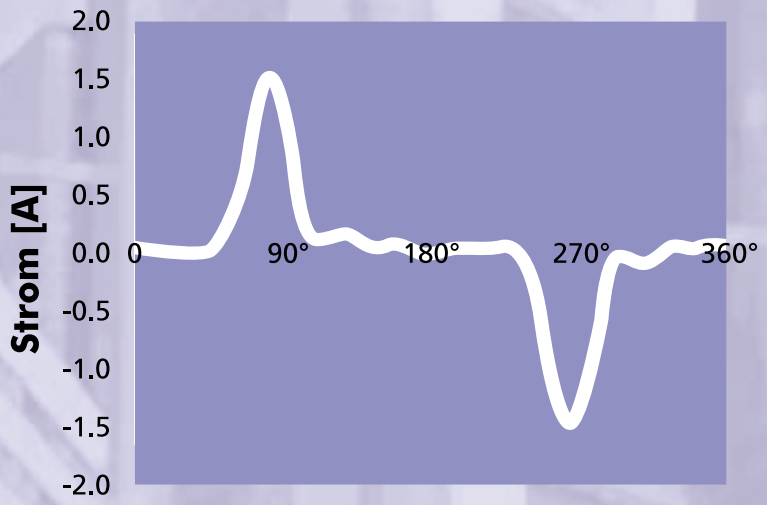
Education and Culture

Kosten

Kosten schlechter Netzqualität

2.1





Deutsches Kupferinstitut

European COPPER INSTITUTE

Kosten

Kosten

Kosten schlechter Netzqualität

David Chapman
Copper Development Association
March 2001

Übersetzung: Deutsches Kupferinstitut, Mai 2002

Europäisches Kupferinstitut (ECI)
Das Europäische Kupferinstitut wird getragen von Mitgliedswerken der ICA (International Copper Association) und dem IWCC (International Wrought Copper Council, einem Zusammenschluss der Halbzeugwerke). Auf Basis dieser Mitgliederschaft handelt das ECI im Interesse der weltgrößten Kupfer-Erzeuger und der führenden europäischen Halbzeugwerke für den Einsatz von Kupfer. Seit seiner Gründung im Januar 1996 bündelt es die Aktivitäten eines Netzwerks aus 10 nationalen Kupferzentren in Benelux, Deutschland, Frankreich, Griechenland, Großbritannien, Italien, Polen, Skandinavien, Spanien und Ungarn und setzt die Aktivitäten fort, die 1959 von der Copper Products Development Association und 1961 von der INCRA (International Copper Research Association) begonnen wurden.

Deutsches Kupferinstitut (DKI)
Das Deutsche Kupferinstitut wurde 1927 als zentrale technisch-wissenschaftliche Auskunfts- und Beratungsstelle für Kupfer und Kupferlegierungen in Deutschland gegründet. Gegenstand und Anliegen seiner Beratungstätigkeit ist die Verwendung von Kupfer und Kupferlegierungen. Hier geht es um die Erhaltung herkömmlicher und um die Erschließung neuer Anwendungsgebiete.

Das Deutsche Kupferinstitut sammelt und verbreitet zu diesem Zweck alle zugänglichen Informationen aus Wissenschaft, Technologie und Praxis. Sein Ziel ist es, die dort gewonnenen Kenntnisse und Erfahrungen einem breiten Publikum bekannt zu machen und zu erläutern und somit den allgemeinen Wissensstand und die Wertschätzung von Kupfer und Kupferlegierungen zu fördern und zu festigen.

Das Deutsche Kupferinstitut ist seit 1995 auch im Internet unter www.kupferinstitut.de und bei direkten Fragen per E-mail unter info@kupferinstitut.de zu erreichen. So können Informationen und Daten zum Werkstoff Kupfer und seinen Legierungen rund um die Uhr direkt abgefragt werden.

Danksagung
Diese Schrift wurde im Rahmen der Leonardo Power Quality Initiative (LPQI) erstellt, eines europäischen Ausbildungs- und Übungsprogramms unter der Schirmherrschaft und mit Unterstützung des Leonardo da Vinci Programms der Europäischen Union und der ICA International Copper Association.

Weitere Informationen finden Sie unter: **www.lpqi.org.**

Haftungsausschluss
Der Inhalt dieses Projektes gibt nicht notwendigerweise die Meinung der Europäischen Union wieder, noch zeichnet diese in irgendeiner Weise hierfür verantwortlich.

ECI und DKI übernehmen keine Verantwortung für irgendwelche direkte oder indirekte Folge- oder Zufallsschäden, die aus dem sachgemäßen oder unsachgemäßen Gebrauch der in dieser Veröffentlichung enthaltenen Informationen und Daten entstehen.

Copyright© European Copper Institute und Deutsches Kupferinstitut.

Ungekürzte Reproduktion bei korrekter Angabe der Quelle erlaubt.

Deutsches Kupferinstitut
Am Bonneshof 5
D-40474 Düsseldorf

Tel.: +49 211 4796300
Fax: +49 211 4796310
E-Mail: info@kupferinstitut.de
Internet: www.kupferinstitut.de

European Copper Institute
Tervurenlaan 168 / b 10
B-1150 Brussel

Tel.: +32 2 7777070
Fax: +32 2 7777079
E-Mail: eci@eurocopper.org
Internet: www.eurocopper.org

Kosten schlechter Netzqualität

Elektrische Energie ist ein wichtiger Rohstoff für alle wirtschaftlichen Aktivitäten, und wie bei jedem anderen Rohmaterial ist die Versorgungsqualität von entscheidender Bedeutung. Die Art und Ursachen der Qualitätsmängel wurden in Band 1 umrissen und werden in späteren Bänden im Einzelnen diskutiert. Dieser Band konzentriert sich auf die Auswirkungen von Mängeln auf den Produktionsprozess und auf die Folgekosten. Wie in Band 1 erläutert, gibt es fünf Grundtypen von Störungen, die alle verschiedene Ursachen und Wirkungen haben und natürlich auch verschiedene Kosten mit sich bringen.

Die Kosten der Qualitätsprobleme in Versorgungsnetzen von Industrie und Handel können auf ungefähr **zehn Milliarden Euro** pro Jahr geschätzt werden, während für Vorbeugungsmaßnahmen weniger als 5 % dieser Summe aufgewendet werden. Die Frage ist offensichtlich: „Wie viel Geld lohnt in Vorbeugung zu investieren, um das Risiko von Störungen und Ausfällen zu mindern?“, und die Antwort hängt von der Art des Betriebes ab. Der erste Schritt ist das richtige Verständnis für die Art der Probleme und eine genaue Einschätzung, wie jedes dieser Probleme mit dem Betrieb und seinen Abläufen in Verbindung steht und welche Kosten entstehen könnten. In den folgenden Bänden werden die Probleme der Netzgüte vom Gesichtspunkt ihres Potenzials diskutiert, Betriebsausfälle zu verursachen; Informationen über ihre Ursachen, Wirkungen und Möglichkeiten, sie zu verhindern oder zu beheben, finden sich in späteren Abschnitten dieser Einführung.

1 Verzerrungen der Kurvenform

Verzerrungen der Kurvenform, die durch nicht lineare Lasten im Stromversorgungssystem verursacht werden, erzeugen auf Grund ihrer Zusammenstetzung aus Oberschwingungen unerwartet große Ströme im Netz. Diese Ströme können von den billigeren, tragbaren Messgeräten, wie sie von Installations- und Wartungstechnikern üblicherweise benutzt werden, nicht angemessen erfasst werden. Dies führt zu einer mitunter starken Unterschätzung der Stromstärke – gelegentlich bis zu 40 %. Bereits diese Fehleinschätzung der Größe kann mit unterdimensionierten Leitungen enden. Selbst wenn sich die Ströme unterhalb des Nennstroms der Leitungsschutzschalter bewegen, so erwärmen sich die Leitungen doch stärker als erwartet und verschwenden Energie – typischerweise 2 % bis 3 % der Last. Häufig liegen die Nennwerte der Leitungsschutzschalter zu dicht an dem tatsächlichen Effektivstrom der Last (weil dieser unterschätzt wurde), und der Stromkreis wird anfällig gegen vermeintliche Fehlauslösungen.

In Transformatoren verursachen die Oberschwingungs-Anteile der Ströme stark erhöhte Verluste durch Wirbelströme, da diese Verluste im Quadrat zur Frequenz steigen. Da die Verluste höher sind, sogar noch deutlich höher als selbst dem korrekt gemessenen Betriebsstrom entsprechen würde, ist auch die Betriebstemperatur des Transformators höher, und seine Lebensdauer verkürzt sich beträchtlich. Selbst mäßig ausgelastete Transformatoren, die informationstechnische Anlagen speisen, haben eine viel kürzere Lebensdauer als erwartet, sofern keine angemessenen Vorkehrungen getroffen werden.

Die wirtschaftlichen Folgen der Oberschwingungen sind eine kürzere Lebensdauer der Betriebsmittel, ein verringerter Wirkungsgrad und Anfälligkeit gegen vermeintliche Fehlauslösungen. Die Kosten solcher Fehlauslösungen, ebenso wie die jeder anderen unvorhergesehenen Unterversorgung, können recht hoch sein und werden im Band über Spannungseinbrüche behandelt. Eine verkürzte Lebensdauer der Betriebsmittel kann sehr teuer werden. Für Betriebsmittel wie Transformatoren wird normalerweise eine Lebensdauer von 30 oder 40 Jahren angenommen, und es stellt einen ernsthaften finanziellen Schaden dar, wenn sie bereits nach 7 bis 10 Jahren ersetzt werden müssen. Die Kosten, um dies zu vermeiden, sind hiergegen relativ gering, da lediglich eine gute Stromversorgung und die Auswahl angemessener Betriebsmittel erforderlich sind. Bemisst man Leitungen und Kabel auch nur ein oder zwei Größen stärker als zum Einhalten der thermischen Grenzen erforderlich, reduzieren sich die Verluste und damit die Betriebskosten bei nur sehr geringer Erhöhung der Investitionskosten erheblich. Hierauf weist sogar die VDE 0298 Teil 100 schon seit Jahr und Tag hin und bietet ein ausführliches Berechnungsverfahren zur Minimierung der Gesamtkosten über die erwartete Lebensdauer, doch wenn Planer und Elektriker, wie gewohnt, „nach VDE“ auslegen, meinen sie stets die Vermeidung der Überhitzung, weiter nichts – wobei heute, wie ausgeführt, selbst dies oft misslingt.

2 Totalausfälle

Totalausfälle, die wenige Sekunden, aber auch, wie in einem berühmten Extremfall, mehrere Monate dauern können, sind das elementarste aller Netzqualitätsprobleme. Die VDEW (Vereinigung deutscher Elektrizitätswerke) gibt für den Bereich der EU folgende durchschnittliche Ausfallzeiten an:

Deutschland	15 min/a
Niederlande	25 min/a
Frankreich	57 min/a
Großbritannien	63 min/a
Schweden	152 min/a
Norwegen	180 min/a
Italien	190 min/a

(nach Bulletin SEV / VSE 25/2001). Leider sagt dies nichts über den einzelnen Ausfall aus. Der kann sehr kurz sein und dafür sehr viel häufiger auftreten. Die öffentliche Stromversorgung selbst ist natürlich nicht die einzige Quelle für Totalausfälle. Innerhalb der Kunden-Anlage in einem Gebäude oder einer Produktionsstätte wird es immer zahlreiche Bereiche geben, in denen das Versagen eines einzelnen Bauteils, eines Kabels oder einer Leitung zum vollständigen Stillstand führt.

Der Schutz vor vollständigen Stromausfällen erfordert zwei verschiedene Arten von Maßnahmen. Das Netz muss so geplant werden, dass einzelne Schwachpunkte, die zu einem Ausfall führen könnten, vermieden werden, oder dass die identifizierten Schwachpunkte wenigstens in einer Risikoabwägung als größtes Risiko eingestuft werden, und es muss festgestellt werden, welche Art von Notstromversorgung benötigt wird. Die Planung redundanter Betriebsmittel wird in Band 4 detailliert behandelt. Die notwendigen Techniken sind weder kompliziert noch besonders teuer, können jedoch allein für sich genommen von beträchtlichem Nutzen sein. Wie immer ist es bei Weitem billiger, diese schon von vornherein mit einzuplanen als sie nachzurüsten. Sowohl der Erwerb als auch der Unterhalt alternativer Energiequellen kann sehr teuer werden – es hat zum Beispiel wenig Sinn, einen Notfallgenerator vorzuhalten, wenn er nicht jederzeit betriebsbereit ist –, und es muss sorgfältig abgewogen werden, welcher Bedarf für eine Notfallversorgung besteht und wie diese aussehen sollte. Bei der Beurteilung, ob sich die Investition in eine Eigenerzeugung im Betrieb wirtschaftlich rechnet, sollte man bedenken, dass diese Anlage nebenbei für viele Jahre einen Schutz vor Stromausfällen bieten wird, wenn sie erst einmal installiert ist.

Große, energieintensive Industriezweige wie die Stahl- oder Papierherstellung erfordern eine zweite Stromversorgung, die aus einem anderen Teil des Stromnetzes gespeist wird, so dass ein gleichzeitiger Ausfall beider Versorgungsquellen sehr unwahrscheinlich wird. Als Alternative könnte eine Stromerzeugung im Betrieb für den gesamten Bedarf denselben Zweck erfüllen, wenn die notwendige Treibstoffversorgung zur Verfügung steht. In beiden Fällen sind die anfänglichen Investitionen wahrscheinlich sehr hoch, aber die Kosten bei einem möglichen Netzausfall sind es auch. Papier zum Beispiel wird in einem kontinuierlichen Prozess hergestellt, der präzise geregelte Drehzahlen für Hunderte von Walzen und Rollen in einer Maschine erfordert, die über 500 Meter lang sein kann. Jeder Ausfall der Stromversorgung, sogar ein Spannungseinbruch kann die Synchronisation aus dem Takt und den Produktionsprozess zum Halten bringen. Das gesamte halb fertige Papier und die Pulpe müssen aus der Maschine und ihrer Umgebung entfernt werden, bevor der Prozess wieder aufgenommen werden kann. Dies kann mehrere Stunden dauern. Abgesehen vom Produktionsverlust sind auch die Verschwendung von Rohmaterial und Arbeitskraft sowie die Unmöglichkeit, den Kunden zu beliefern, von großer Bedeutung. Beispielsweise wird Zeitungspapier in solch großen Mengen gebraucht, dass es weder für den Hersteller noch für den Kunden möglich ist, ein Vorratslager zu halten. Es wird „just in time“ benötigt und innerhalb weniger Tage hergestellt, verbraucht und entsorgt. Wenn der Papierhersteller nicht liefern kann, bedeutet es, dass der Zeitungsverleger nicht drucken kann, und da die Nachrichten von gestern keinen Wert haben (aber beträchtliche Kosten verursachen), ergeben sich ernste finanzielle Folgen. Dies kann zu einem Wechsel des Lieferanten oder zu einer Änderung in den Vertragsbedingungen führen, wie zum Beispiel Konventionalstrafen.

Für kleinere Betriebe mit niedrigerem Energiebedarf kann es sinnvoll sein, eine Stromerzeugungsanlage vorzuhalten, um während eines Stromausfalls die wesentlichen Betriebsanlagen in Gang zu halten und Bedarfsspitzen zu reduzieren. Dies ist viel billiger, aber die Kosten müssen dennoch gegen die Ausfallrisiken abgewogen werden – was das Unternehmen nur selbst beurteilen kann. Dabei darf die Hochlaufzeit des Notfallgenerators nicht vergessen werden. Für empfindliche Lasten / Verbraucher muss daher eine andere Stromversorgung, beispielsweise eine USV-Anlage, zur Verfügung gestellt werden. Eine USV-Anlage hat eine begrenzte Leistung und sollte nur für die wichtigsten Lasten eingesetzt werden, wie die Server des EDV-Netzwerks und empfindliche Produktionsstätten, sonst nichts. Wie immer ist auch hier eine gute Wartung von Ausschlag gebender Bedeutung.

3 Spannungseinbrüche

Spannungseinbrüche sind kurzzeitige Rückgänge des Effektivwerts der gelieferten Spannung, die von einem Sekundenbruchteil bis zu mehreren Sekunden dauern können. Einbrüche werden durch ihre Dauer und die Restspannung beschrieben, das heißt, durch den prozentualen Anteil der Nennspannung (Effektivwert), der

während des Ereignisses erhalten bleibt. Man beachte, dass ein sehr kurzer, aber vollständiger Netzausfall eine Unterbrechung darstellt, jedoch häufig fälschlicherweise Spannungseinbruch genannt wird.

Die Kurve des „Information Technology Industry Council“ (ITIC), vormals auch bekannt als die Kurve der „Computer and Business Equipment Manufacturers Association“ (CBEMA), die in Bild 1 dargestellt ist, beschreibt die Toleranz von Betriebsmitteln gegenüber allen Typen von Spannungsstörungen. Die durchgezogenen Linien stellen die Maximal- und Minimalspannungen in Abhängigkeit von der Zeit dar, die ohne Fehlfunktionen toleriert werden können. Datenverarbeitungsanlagen sollten beispielsweise eine Überspannung in Höhe der fünffachen Nennspannung für eine Dauer von 100 µs überstehen, jedoch nur 20 % Überspannung für 10 ms. Im Falle einer Unterspannung hingegen sollte ein vollständiger Spannungsausfall für bis zu 20 ms (eine Netzperiode) toleriert werden, aber für 100 ms muss die minimale verbleibende Spannung mindestens 70 % der Nennspannung betragen. Die Kurve wurde ursprünglich erstellt, um Nutzern der Informationstechnologie (IT) zu helfen, Probleme der Netzqualität mit den EVU zu lösen. Durch die Normierung der Anforderungen an die Betriebsmittel wurde es viel einfacher, durch Messungen vor Ort festzustellen, ob die Stromversorgung angemessen war oder nicht. Wie noch gezeigt werden wird, stellt die ITIC-Kurve eine ziemlich optimistische Sicht der Leistungsfähigkeit der Versorgungsnetze dar!

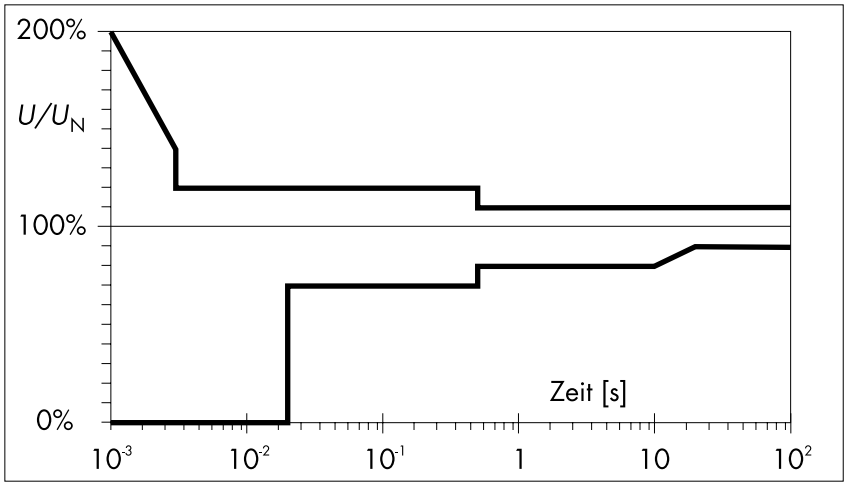


Bild 1: ITIC-Kurve

Viele Spannungseinbrüche werden durch Fehler im Netz des EVU verursacht, wobei das Ausmaß des Einbruchs von der relativen Position von Generator, Fehler und Messpunkt abhängt (Für eine vollständige Beschreibung siehe Band 5). Es gibt keine offiziellen Statistiken über Ausmaß und Verteilung von Spannungseinbrüchen, aber gegenwärtig werden verschiedene Messungen im mittleren Bereich durchgeführt, die in absehbarer Zeit wertvolle Informationen erwarten lassen. In einer Studie, die von einem bedeutenden EVU durchgeführt wird, wurden Spannungsstörungen in zwölf Betrieben mit Anschlussleistungen zwischen 5 MVA und 30 MVA gemessen. In einem Zeitraum von zehn Monaten wurden 858 Störungen registriert, von denen 42 zu Betriebsschäden und finanziellen Verlusten geführt haben. Obwohl es sich in allen zwölf Fällen um technisch einfache Produktionsstätten handelte, die Produkte mit nur geringem Mehrwert herstellten, belief sich der finanzielle Verlust insgesamt auf **600.000 € (durchschnittlich 14.300 € pro Ereignis oder 50.000 € pro Betrieb),** wobei **der höchste Einzelverlust 165.000 €** betrug. Mit Sicherheit würden Betriebe, die hochwertige Produkte herstellen, und solche, die mehrstufige Produktionsprozesse benötigen, wie zum Beispiel Halbleiter-Produzenten, viel höhere Verluste erleiden. Die nachfolgende Liste führt einige typische Zahlen auf.

Branche	Typischer finanzieller Verlust pro Ereignis
Halbleiter-Produktion	3.800.000 €
Finanzhandel	6.000.000 € pro Stunde
Rechenzentrum	750.000 €
Telekommunikation	**30.000 €** pro Minute
Stahlwerk	350.000 €
Glasindustrie	250.000 €

Für trivial erscheinende Ereignisse, die weniger als eine Sekunde dauern, sind dies riesige Kosten. Das Problem ist die Unmöglichkeit, das Verhalten eines Systems vorherzusagen oder zu steuern, da die Reaktion einzelner Teile wie etwa einer Datenverarbeitungsanlage oder der Drehzahlverstellung von Motorantrieben auf Spannungseinbrüche nicht definiert ist. Für kontinuierliche Prozesse wie etwa die Papierherstellung sind die Auswirkungen eines Spannungseinbruchs ebenso schwer wiegend wie ein vollständiger Netzausfall, mit denselben Reinigungskosten, Verlusten an Rohmaterial und Produktionsausfällen. Bei computerbasierten Unternehmen kann es mehrere Stunden dauern, eine große Zahl von Arbeitsplätzen neu zu starten und laufende Vorgänge und ungesicherte Dateien zu retten. Die Halbleiter-Industrie ist besonders verwundbar, da die Herstellung von Wafers rund 25 Produktionsschritte erfordert, die über mehrere Tage verteilt durchgeführt werden müssen. Wenn ein Wafer gegen Ende des Produktionsprozesses verdorben wird, ist die gesamte Wertschöpfung bis dort verloren. Die Entwicklungsgeschwindigkeit in der Halbleitertechnik ist heutzutage so hoch, der Wettbewerb so scharf und der Lebenszyklus der Produkte so kurz, dass Produktionsverluste nicht nur für die Lieferanten, sondern auch für ihre Kunden, die ihre eigenen Produkte nicht bauen und ausliefern können, eine Hauptsorge darstellen.

Online-USV-Anlagen, in welchen der Laststrom kontinuierlich aus einem netzgespeisten Puffer-Akkumulator erzeugt wird, bieten von Natur aus mehr Schutz vor Spannungseinbrüchen. Offline-Anlagen sind weniger sicher, weil das Fehlen der Stromversorgung festgestellt werden muss, bevor die Last auf den internen Umrichter umgeschaltet wird. Wenn der Schwellwert zu hoch ist, wird die USV-Anlage häufig und unnötigerweise ein- und ausgeschaltet, während schädigende Spannungseinbrüche auf die Geräte durchschlagen, wenn der Grenzwert zu niedrig ist. Es sollten genaue technische Anleitungen herangezogen und beachtet werden, bevor man sich für ein bestimmtes Modell entscheidet.

4 Transienten

Transienten sind Spannungsstörungen von sehr kurzer Dauer (bis zu einigen Millisekunden), aber hoher Amplitude (bis zu mehreren Kilovolt) mit einer sehr steilen Anstiegsflanke. Die meisten Transienten entstehen als Auswirkung von Blitzschlägen oder beim Umschalten von starken Lasten, vor allem Blindlasten. Wegen der hohen Frequenzen, die dabei auftreten, werden Transienten bei ihrer Ausbreitung im Netz stark gedämpft, so dass diejenigen, die in der Nähe des betroffenen Ortes auftreten, viel stärker ausfallen als jene, die weiter entfernt entstehen. Schutzeinrichtungen im Netz stellen sicher, dass Transienten im Allgemeinen auf einen erträglichen Pegel begrenzt werden, und die meisten Probleme entstehen, weil die Transientenquelle sich in der Nähe oder innerhalb der elektrischen Anlage befindet. Transienten werden in Band 5 im Detail behandelt.

Der resultierende Schaden kann sofort auftreten, wie etwa der plötzliche und vollständige Ausfall von elektrischen Anlagen und Geräten oder die Zerstörung von Daten in Computern oder Datennetzwerken, oder er kann sich langsam aufbauen, indem jedes Ereignis das Isolationsmaterial ein wenig mehr schädigt, bis es schließlich zum katastrophalen Ausfall kommt. Dabei sind sowohl die Kosten für den Ersatz der beschädigten oder zerstörten Betriebsmittel als auch für die ausgefallene Betriebszeit in Betracht zu ziehen.

Die Schutzmaßnahmen sind verhältnismäßig preiswert. Es ist vor allem erforderlich, das Erdungssystem der Anlage so auszulegen, dass es über ein weites Frequenzband eine niedrige Impedanz aufweist und über einen niedrigen Erdungswiderstand verfügt. Erdungssysteme werden im Einzelnen in Band 6 diskutiert. Das Blitzschutzsystem sollte unter Berücksichtigung örtlicher Faktoren, wie etwa der Zahl der Gewittertage pro Jahr, angemessen geplant werden. Der Transientenschutz sollte an den Verbindungen zu allen ankommenden Stromleitern errichtet werden, einschließlich der Leitungen für Telefon und andere Telekommunikations-Einrichtungen, auch gegen Transienten, die von Schaltvorgängen innerhalb der Anlage herrühren. Regelmäßige Wartung sollte den Erhalt der Wirksamkeit solcher Maßnahmen sicherstellen.

5 Schlussfolgerungen

Das Geschäftsrisiko durch Probleme mit der Netzqualität ist auch für „Low-Tech“-Branchen eine Tatsache, da ihnen ernste finanzielle Verluste drohen. Andererseits sind die Vorbeugungsmaßnahmen verhältnismäßig billig und reichen von der sorgfältig geplanten Installation einer Anlage bis zum Einsatz überall erhältlicher Schutzeinrichtungen.

Leonardo Netzwerk-Partner:

Copper Benelux
Tervurenlaan 168
B-1150 Brussels
Belgien

Tel.: 0032 / 2 / 7777090
Fax: 0032 / 2 / 7777099
E-Mail: mail@copperbenelux.org
Internet: http://www.copperbenelux.org

Kontakt: Herr B. Dôme

Copper Development Association
5 Grovelands Business Centre
Boundary Way
Hemel Hempstead HP2 7TE
Großbritannien

Tel.: 0044 / 1442 / 275700
Fax: 0044 / 1442 / 275716
E-Mail: copperdev@compuserve.com
Internet: http://www.cda.org.uk
www.brass.org

Kontakt: Frau A. Vessey

Deutsches Kupferinstitut e.V.
Am Bonneshof 5
D-40474 Düsseldorf
Deutschland

Tel.: 0049 / 211 / 4796-300
Fax: 0049 / 211 / 4796-310
E-Mail: sfassbinder@kupferinstitut.de
Internet: http://www.kupferinstitut.de

Kontakt: Herr S. Fassbinder

ECD Services
Via Pietro Rondoni 11
I-20146 Milano
Italien

Tel: 0039 / 02 / 4237041
Fax: 0039 / 02 / 48309976
E-Mail: baggini@ecd.it

Kontakt: Dr. A. Baggini

European Copper Institute
Tervurenlaan 168 / b 10
B-1150 Brussel
Belgien

Tel.: 0032 / 2 / 7777070
Fax: 0032 / 2 / 7777079
E-Mail: eci@eurocopper.org
Internet: www.eurocopper.org

Kontakt: Herr H. De Keulenaer

HTW Hochschule für Technik und Wirtschaft des Saarlandes
Goebenstraße 40
D-66117 Saarbrücken
Deutschland

Tel: 0049 / 681 / 5867-0
Fax: 0049 / 681 / 5867-302
E-Mail: wlang@htw.uni-sb.de

Kontakt: Herr Prof. W. Langguth

Istituto Italiano del Rame
Via Corradino d'Ascanio 4
I-20142 Milano
Italien

Tel.: 0039 / 02 / 8930-1330
Fax: 0039 / 02 / 8930-1513
E-Mail: vloconsolo@iir.it
Internet: http://www.iir.it

Kontakt: Herr V. Loconsolo

KU Leuven
Kasteelpark Arenberg 10
B-3001 Leuven-Heverlee
Belgien

Tel: 0032 / 16 / 321021
Fax: 0032 / 16 / 321985
E-Mail: ronnie.belmans@esat.kuleuven.ac.be

Kontakt: Herr Prof. R. Belmans

Polskie Centrum Promocji Miedzi SA
Pl. 1 Maja 1-2
PL-50-136 Wroclaw
Polen

Tel.: 0048 / 71 / 7812502
Fax: 0048 / 71 / 7812504
E-Mail: copperpl@wroclaw.top.pl

Kontakt: Herr P. Jurasz

TU Bergamo
Viale G Marconi 5
I-24044 Dalmine (BG)
Italien

Tel: 0039 / 035 / 277307
Fax: 0039 / 035 / 562779
E-Mail: graziana@unibg.it

Kontakt: Prof R. Colombi

TU Wroclaw
Wybrzeze Wyspianskiego 27
PL-50-370 Wroclaw
Polen

Tel: 0048 / 71 / 3280192
Fax: 0048 / 71 / 3203596
E-Mail: i8@elektryk.ie.pwr.wroc.pl

Kontakt: Herr Prof. H. Markiewicz

David Chapman

Copper Development Association

5 Grovelands Business Centre
Boundary Way
Hemel Hempstead HP2 7TE
Großbritannien

Tel.: 0044 / 1442 / 275700
Fax: 0044 / 1442 / 275716
E-Mail: copperdev@compuserve.com
Internet: http://www.cda.org.uk
www.brass.org

Deutsches Kupferinstitut

Deutsches Kupferinstitut
Am Bonneshof 5
D-40474 Düsseldorf

Tel.: +49 211 4796300
Fax: +49 211 4796310
E-Mail: info@kupferinstitut.de
Internet: www.kupferinstitut.de

European COPPER Institute

European Copper Institute
Tervurenlaan 168 / b 10
B-1150 Brussel

Tel.: +32 2 7777070
Fax: +32 2 7777079
E-Mail: eci@eurocopper.org
Website: www.eurocopper.org