

Strom auf dem Prüfstand

Die Qualität der Netzspannung im Rechenzentrum erfordert innovative Lösungen

Norbert Zeißler

Fragt man den Betreiber eines kommerziellen Rechenzentrums nach den wichtigsten Punkten für den operativen Betrieb, so nennt er drei Begriffe – Sicherheit, Verfügbarkeit und die Versorgung mit elektrischer Energie. Die Bedeutung der Stromversorgung wird im Wesentlichen mit der Redundanz aller wichtigen Komponenten für die Hochverfügbarkeit der IT-Systeme der Kunden interpretiert. Zieht man die weiteren Eckdaten für die Beschaffenheit der Stromversorgung wie die Anschlussleistung, die gesamte Fläche der Gebäude und Kollokationsflächen für das Housing sowie die Auswirkung der Netzspannung auf die Empfindlichkeit der eingesetzten Rechner mit in Betracht, gerät die Qualität der Stromversorgung immer stärker in den Blickpunkt.

Auf dem im Vorspann beschriebenen, ausgefeilten und detaillierten Niveau beschäftigte sich die Databurg GmbH, ein professioneller Rechenzentrumsbetreiber und -dienstleister, mit der Stromversorgung und deren Qualität für ihre derzeitige, 15.000 m² umfassende in Betrieb befindliche Kollokationsfläche. Über die Prämisse, sauberen Strom einzusetzen hinausgehend, galt es, die Gefahr von Netzrückwirkungen auf die Verbraucher, wie z.B. Server, Computer und Netzteile der Kunden, zu eliminieren. Daher legt man Wert darauf, dass die in gesetzlichen DIN-Normen und VDE-Vorschriften vorgegebenen Standards für die Qualität im operativen Rechenzentrumsbetrieb übertroffen werden.

Die Netzspannungsqualität kann folgendermaßen beeinflusst werden:

- Der übliche Weg besteht im Aufbau eines entsprechend dimensionierten Stromnetzes mit großen Querschnitten der eingesetzten Kupferkabel und mit Transformatoren, die die Oberschwingungen ohne Gefahr für das eigene Netz wieder in die öffentlichen Stromnetze zurückspeisen. Diese Form der Ableitung wird jedoch durch die Vorgaben der lokalen Energieversorgungsunternehmen nach oben begrenzt.
- Es gibt die Möglichkeit, die Oberschwingungen bereits an der Quelle aufzunehmen und deren Auswirkung durch geeignete technische Maßnahmen, insbesondere spezielle Filtersysteme, zu kompensieren.

Die Unterschiede beider Lösungsansätze lassen sich gut mit einem Krankheitsverlauf bei einem Menschen veranschaulichen. Der erste Ansatz ignoriert die Symptome und bekämpft die Folgen der „Krankheit“. Der „Erreger“ bleibt aktiv. Man hält zwar das geforderte Qualitätsniveau, steigert es aber nicht. Der zweite, noch selten beschrittene Weg, bedingt verantwortungsvolles Denken und Handeln im Umgang mit den Ressourcen und der Energie.

Detaillierte Analysen mit der Vorgabe, die „Erreger“ der Verunreinigung zu eliminieren, bilden die Basisarbeit. Die verbesserte Netzspannungsqualität kommt den Kunden zugute, da ihre IT-Systeme geschont werden.

Bei Dauerlasten um 5.000 kVA, einer Verfügbarkeit nahe 100 % und dem Betrieb empfindlicher Hochleistungsrechner ist für ein Rechenzentrum nicht nur die unterbrechungsfreie Stromversorgung, sondern auch deren Qualität von enormer Bedeutung. In den vergangenen zwanzig Jahren hat sich jedoch gerade die Netzspannungsqualität drastisch verschlechtert. Wir kennen Begriffe wie Luft- und Wasserverschmutzung und die in diesem Zusammenhang stehenden Emissionen. Ebenso muss man sich mittlerweile auch mit der Qualität unserer elektrischen Versorgung auseinandersetzen. Die Qualität der Stromversorgung ist nicht auf den ersten Blick sichtbar oder auch messbar. Der Verbrauch der Elektroenergie, z.B. einer unterbrechungsfreien Stromversorgung (USV), wird in den professionellen Rechenzentren nachgehalten, jedoch ihre Beschaffenheit, also ihr Qualitätszustand, bisher kaum.

Im Rahmen einer groß angelegten Analyse durch den Dienstleister Lambda Engineering wurde zunächst die aktuelle Situation der Spannungsqualität festgestellt. Ausgehend von dem sehr guten Ergebnis, wurde dann vor allem die Wirkung und Nachhaltigkeit der bisher getroffenen Maßnahmen zur Verbesserung der Spannungsqualität auch in Hinblick auf zukünftige Netzausbauten betrachtet.

Typische Einflussfaktoren

Im Databurg-Rechenzentrum werden zu fast 100 % nichtlineare Verbrau-

Dr. Norbert Zeißler ist geschäftsführender Gesellschafter der Databurg GmbH in Frankfurt a.M.

cher eingesetzt. Dies sind die betriebenen Hochleistungsrechner, die erforderlichen Motoren mit Frequenzumformern, z.B. in den Kühlanlagen, und viele weitere Lasten. Ausgelöst durch die Identifikation einer Hauptquelle für eine übermäßig hohe Netzverunreinigung, die in einer Kundensuite eines Webhosters durch eine Vielzahl installierter Personalcomputer mit deren Netzteilen verursacht wurde, war klar, es besteht Handlungsbedarf.

Jedoch ist nicht nur das interne elektrische Netz zu beachten, denn die Stromversorgung für den Betrieb wird vom Energieversorger zur Verfügung gestellt. Und auch hier hat sich die Spannungsqualität in den letzten Jahren nicht zum Besseren entwickelt. Der weiter steigende Anteil an geregelten Antrieben (Umrichter) in Industrienetzen, aber auch der massive Einsatz elektronisch geregelter Netzteile oder Energiesparlampen im privaten Bereich, tragen zur Verschmutzung der Netze bei. Diese Lasten haben eine Eigenschaft gemeinsam: Sie nehmen den Strom nicht sinusförmig auf und sorgen so für eine Verzerrung des Spannungsverlaufs. Der Grundschwingung überlagern sich daher die sog. Oberschwingungen. Dieser Effekt kann noch dadurch verstärkt werden, dass diese induktiven, nichtlinearen Verbraucher in schwingungsfähigen Netzen betrieben werden. Dann kann es zusätzlich zu extremen Verzerrungen durch Resonanzen kommen. Mit Hilfe der Fourier-Analyse lassen sich die Oberschwingungen in eine Grundschwingung (50 Hz) und deren Vielfache zerlegen. Dabei dominieren die 3. (150 Hz), die 5. (250 Hz), die 7. (350 Hz), die 9. (450 Hz), die 11. (550 Hz) und die 13. (650 Hz) Vielfache.

Welche Folgen können Oberschwingungen haben?

Typische Auswirkungen einer unzureichenden Netzspannungsqualität können beispielsweise sein:

- Störungen in der Produktion;
- Ausfall von EDV oder Steuerungen;
- zerstörte Netzteile oder Glättungskondensatoren;
- Notstrombetriebe funktionieren nicht;

- Überhitzung von Neutralleitern, Kabeln und/oder Transformatoren;
- Ausfall von Kondensatoren und Kompensationen;
- Auslösen von Sicherungen und/oder Leistungsschaltern;
- Spannungsänderungen und Lichtschwankungen (Flicker).

Gerade in dem sensiblen Bereich des Hochverfügbarkeits-Housings und auch in unternehmenseigenen Rechenzentren mit unternehmenskritischen Daten und Anwendungen, in

Bild 1: Typische Oberschwingungsströme bei den dominierenden Frequenzen im analysierten Rechenzentrum

v	3	5	7	9	11	13	15	17
$i_v \% I_1$	95	80	70	65	62	60	50	45
$g_i = 0,46$								
THD _i = 191 %								
$\cos\varphi_1 = 0,99$								
$\lambda = 0,46$								
$S_{\text{netz}} = 2,18\text{-fach der bezogenen Wirkleistung}$								

denen es keine Netzausfälle geben darf, werden USV-Anlagen und Notstromgeneratoren mit hohen Leistungen installiert, um allen Eventualitäten vorzubeugen. Diese empfindlichen Geräte gilt es ebenso bei allen erdenklichen Netzzuständen zu schützen, damit sie jederzeit einwandfrei arbeiten. In dem hier analysierten Rechenzentrum sind Netze mit nahezu 100 % nichtlinearen Lasten installiert. Bild 1 zeigt die hier typischen Oberschwingungsströme bei den dominierenden Frequenzen. Wie ersichtlich ist, würde das Netz mit einem nahezu doppelten Strom (THD = 191 %) belastet. Die am Transformator bzw. der USV-Anlage abgenommene Scheinleistung wäre doppelt so hoch ($S_{\text{netz}} = 2,18$). Eine Besonderheit tritt hier noch zusätzlich auf. Die Oberschwingungsbelastung bei 150 Hz ist besonders problematisch, da sie sich in voller Höhe auch auf dem Nullleiter zeigt. Die Sicherungen können, da sie sich in ihrer Dimensionierung an den Außenleitern orientieren, den überlasteten Nullleiter nicht mehr schützen.

Welche Abhilfe gibt es?

Früher wurde die Kompensation der 50-Hz-Grundschwingungsblindleistung mit Hilfe von Kondensatoren ermöglicht. Mit zunehmender Belastung durch Oberschwingungen

schützte man die Kondensatoren durch Vorschalten von Antiresonanz- bzw. Schutzdrosseln und verhinderte dadurch Netzresonanzen. Vereinzelt wurden auf dominante Oberschwingungsströme abgestimmte Filterkreise eingesetzt, um eine Verbesserung der Netzspannungsqualität zu erzielen. Die einfachste Lösung ist oftmals noch der Einsatz besonders dicker und zahlreicher Kupferkabel, um die Netzverhältnisse zu verbessern. Sie kann jedoch verhältnismäßig teuer

sein und ist keinesfalls ressourcenschonend.

Heutzutage stehen eine Vielzahl moderner Kompensations- und Filtertechniken zur Verfügung, wie z.B.:

- dynamische, Flicker- und Motoranlaufkompensationen;
- Passiv- und Aktivfilter;
- Hybrid- und Nullleiterfilter;
- Tonfrequenzentstörfilter;
- Kommutierungsfiler.

Diese Techniken haben neben der Kompensation der Grundschwingungsblindleistung die Verbesserung der Netzspannungsqualität durch Kompensation der Verzerrungsleistung oder Spannungsschwankungen zum Ziel, die durch nichtlineare Lasten oder hochdynamische Lastwechsel verursacht werden. Dem Betreiber eines modernen Rechenzentrums ist allerdings mit der alleinigen Verfügbarkeit dieser Anlagen nur wenig geholfen.

Die Erfahrung aus den letzten Jahren zeigt, dass sich eine individuell abgestimmte Applikation von modernen Kompensationsmethoden in Verbindung mit der Nutzung bewährter herkömmlicher Techniken durchgesetzt hat und sehr gute Ergebnisse liefert.

Welche Lösung ist am besten geeignet?

Die Leistungsaufnahme eines Rechenzentrums schwankt mit kleineren Am-

plituden recht konstant um einen Mittelwert. Größere Schalt- und/oder Anlaufvorgänge sind recht selten. Besonders zu berücksichtigen sind allerdings die Netzzustände im USV- oder Generatorbetrieb. Diese Szenarien müssen unbedingt bei der Entscheidung für eine Lösung und deren Auslegung in die Gesamtbetrachtung mit einbezogen werden. Um ein möglichst gutes Bild der alltäglichen Netzzustände zu erhalten, ist eine Messung – gegebenenfalls über mehrere Tage – das beste Analysemittel. Eine Messung wäh-

Nullleiter wurde ebenfalls vollständig eliminiert. In *Bild 3* sind zeitgleich die Stromverläufe in der Phase L1 an der USV-Anlage sowie des Aktivfilters und der angeschlossenen Rechnerlast zu sehen.

Fazit für die Netzspannungsqualität

Durch den Einsatz von aktiven Oberschwingungsfiltern, insbesondere in dem Mietbereich des Hosting-Kunden, wird die gesamte USV-Anlage

schaftlichkeit der eingesetzten Lösung a priori zu erreichen, sollten auch zukünftige Netzkonstellationen betrachtet werden. Die Fläche des Rechenzentrums der Databurg wächst weiter, und die Lösung soll auch bei steigendem Leistungsbedarf eine stabile Stromversorgung bei hoher Netzqualität absichern. Daher wurden durch eine umfangreiche Simulation mehrere mögliche und erwartete Ausbaustände mit betrachtet und im nachfolgenden Prozess aufbereitet. Mit dem Ergebnis, dass auch der heu-

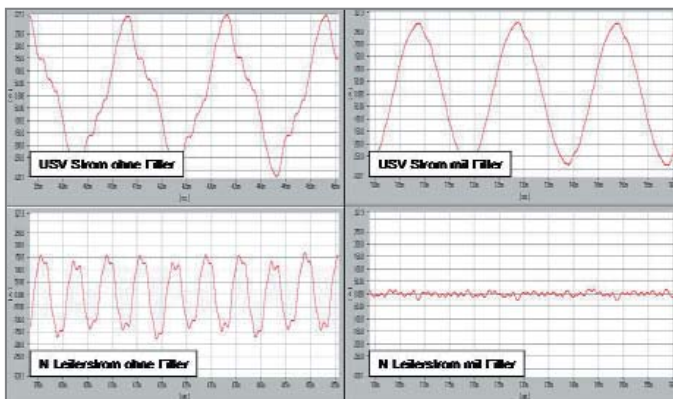


Bild 2: Zeitlicher Verlauf der Ströme in Phase L1 und im Nullleiter – ohne Aktivfilter (links) und mit Aktivfilter (rechts)

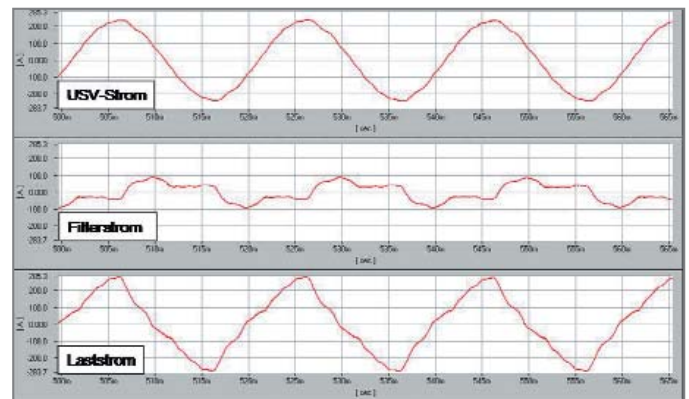


Bild 3: Zeitliche Verläufe der jeweiligen Ströme in Phase L1 mit Filter: USV-Strom (oben), Filterstrom (Mitte), Laststrom (unten)

rend des simulierten Netzausfalls bei Betrieb der USV-Anlagen und der Notstromgeneratoren bringt sicherlich ein sehr gutes Bild aller möglichen Netzzustände.

Bei der Auswertung der vorliegenden Messergebnisse wurde deutlich, dass der Einsatz eines individuell abgestimmten Aktivfilters die beste Lösung darstellen sollte. Dies wurde im Vorfeld mit Hilfe einer Simulation eindrucksvoll bestätigt. Ein Aktivfilter verringert die Oberschwingungsbelastung dadurch sehr deutlich, dass es Oberschwingungsströme in gleicher Frequenz und Größe, aber umgekehrter Richtung abgibt. Diesen Effekt kennt man von sich gegenseitig auslöschenden Wellen im Wasser.

Wie sich die Netzverhältnisse mit dem Einsatz eines Aktivfilters im USV-Netz verbessern, zeigt *Bild 2* recht deutlich. Die nichtsinusförmige Stromaufnahme der Last wird durch die Befilterung soweit linearisiert, dass die USV-Anlage nur noch einen sauberen, rein sinusförmigen Strom liefern muss. Die Oberschwingungsstrombelastung im

nicht nur entlastet, sondern indirekt auch die Netzqualität verbessert. Zudem kommt es nicht mehr zu einer unkontrollierten Nullleiterbelastung durch Oberschwingungen. Gerade beim Betrieb empfindlicher Geräte wird somit die Störanfälligkeit erheblich verringert und die Betriebssicherheit für alle angeschlossenen Betriebsmittel erhöht.

Eine regelmäßige Überprüfung ist in der Unternehmensstrategie Pflicht, nicht nur, um die Simulationen zu interpretieren, sondern auch, um Änderungen im laufenden Rechenzentrumsbetrieb mit angemessenen Maßnahmen für die Energieversorgung im Sinne der Stromqualität abzufangen.

Umfassender Analyse- und Lösungsansatz

Eine Lösung kann nur so gut sein, wie die vorherige Analyse der möglichen Netzzustände ist. Diese Aussage bezieht sich auf die untersuchte Situation. Um eine möglichst große Wirt-

te in der Regel bei Rechenzentrumsbetreibern verbreiteten Lösung des Oberschwingungsproblems (Einsatz entsprechend vieler Kupferkabel) mit der Aktivfilterlösung begegnet werden kann. Die langfristig positive Auswirkung dieser Maßnahme auf die Netzspannungsqualität spiegelt sich auch im Kosten-Nutzen-Verhältnis wider. Zudem bietet sie sich, basierend auf der Analyse der Verursacher und Simulationsmodelle für die individuelle Dimensionierung, für Unternehmen an, die ihre eigenen Rechenzentren betreiben.

„Ein hohes Qualitätsniveau der Stromversorgung auch zukünftig zu sichern ist das Ziel. Unsere Lösungsvorschläge für geeignete zusätzliche Maßnahmen haben wir durch zuverlässige Simulationen belegt, die bestätigen, dass die Databurg mit der Implementierung für zukünftige Erweiterungen der Fläche sehr gut ausgerüstet ist“, bestätigt Manfred Daldrup, Geschäftsführer der Lambda Engineering GmbH in Nottuln, das operative Ergebnis dieses Projektes. (bk)