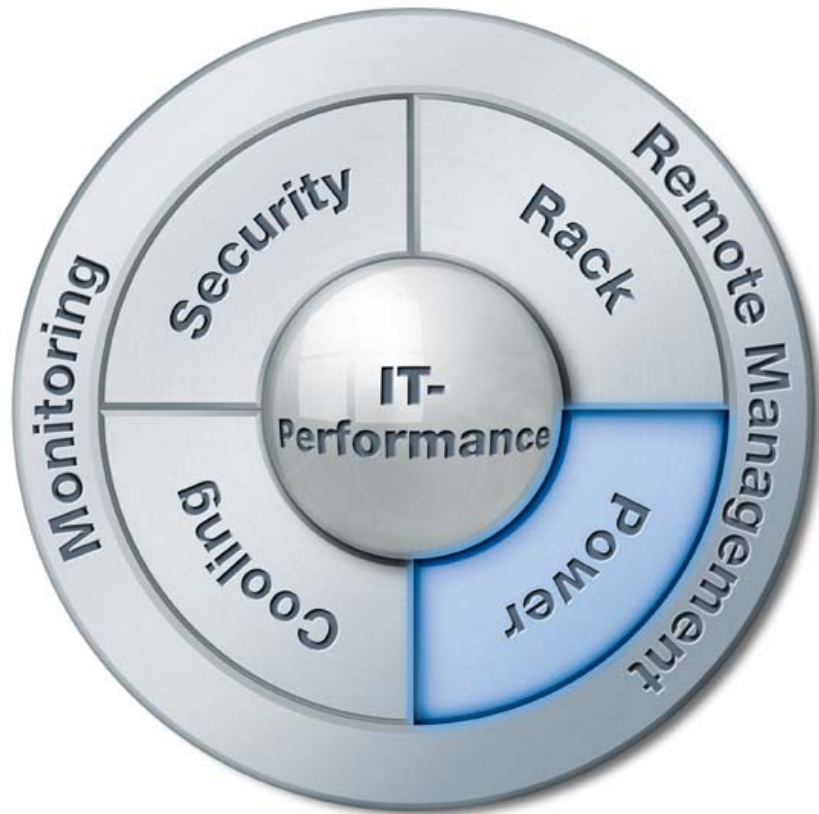


Energieabsicherung im Rechenzentrum durch modulare USV Anlagen

von Dipl.-Ing (FH) Jörg Kreiling

White Paper 01



Copyright © 2005
All rights reserved.

Rittal GmbH & Co. KG
Auf dem Stützelberg
D-35745 Herborn

Phone +49(0)2772 / 505-0
Fax +49(0)2772/505-2319
www.rittal.de
www.rimatrix5.com

RIMATRIX5[®]
DRIVING IT-PERFORMANCE



Inhaltsverzeichnis

1	Warum sind USV Anlagen so wichtig? _____	3
2	Komponenten einer USV Anlage _____	6
2.1	Der Gleichrichter _____	6
2.2	Der Gleichstromzwischenkreis _____	6
2.3	Der Energiespeicher _____	6
2.4	Der Wechselrichter _____	7
2.5	Der Bypass _____	7
3	Die Betriebsarten einer USV _____	7
3.1	Der Normalbetrieb _____	7
3.2	Der Batteriebetrieb _____	7
3.3	Der Bypassbetrieb _____	7
4	Netzfehler im öffentlichen Stromversorgungsnetz _____	8
5	Die verschiedenen USV Typen und deren Einteilung nach der Produktnorm EN 62040-3 _____	9
5.1	Stufe 1 des Klassifizierungscodes: Die Abhängigkeit des USV Ausgangs vom Netz 10	
5.2	Stufe 2 des Klassifizierungscodes: Die Spannungskurvenform des USV-Ausgangs _____	12
5.3	Stufe 3 des Klassifizierungscodes: Die dynamischen Toleranzkurven des Ausgangs _____	13
5.4	Welche USV Anlagen schützen vor welchen Netzfehlern? _____	14
5.5	Einordnung der alten Bezeichnungen für USV Anlagen in die Klassifikation nach EN 62040-3 _____	15
6	Die Batterie als Energiespeicher _____	15
7	Transformatorlose USV Anlagen _____	16
8	Redundanz der USV Anlage _____	18
9	Modulare USV Anlagen _____	18
10	Berechnung der Verfügbarkeit _____	19
11	Architektur von modularen USV Systemen _____	21
12	Auslegung von USV Anlagen _____	23
13	Einfluß des Wirkungsgrades auf die laufenden Kosten _____	25
14	Management der USV Anlage _____	27
15	Service und Wartung der USV Anlage _____	28
16	Resümee _____	30

1 Warum sind USV Anlagen so wichtig?

Unterbrechungsfreie Stromversorgungen gehören heute mit zu den wichtigsten Sicherheitskomponenten in betrieblichen Einrichtungen. Ohne Strom geht in unserer Zeit fast gar nichts mehr. Jede Fertigung steht ohne Strom still und auch in jeder Verwaltung kann ohne Strom und somit ohne PC kaum noch gearbeitet werden.

Über diese Stillstandsprobleme hinaus haben Stromausfälle in Rechenzentren weitere Folgen. Wichtige Daten können beschädigt werden oder gehen verloren. Noch verheerender ist die Unterbrechung der Stromversorgung im Krankenhaus, da hier Leib und Leben von Menschen in Gefahr ist.

Diese Beispiele zeigen wie wichtig eine verlässliche Stromversorgung ist und welche unterschiedlichen Folgen ein Ausfall der Stromversorgung hat. Die Abhängigkeit von einer funktionierenden Stromversorgung ist uns jedoch meist gar nicht bewußt. Dies liegt an der sehr hohen Versorgungsqualität in Mitteleuropa.

Die Abb. 1.1 zeigt die Stromausfälle einiger europäischer Länder aus dem Jahr 1999. Danach ist jeder deutsche Bundesbürger im Jahr 1999 im Schnitt 15 Minuten ohne Strom gewesen. In den Niederlande ist die Stromversorgung mit 25 Minuten Stromausfall pro Jahr ähnlich gut wie in Deutschland. Es folgen Frankreich und Großbritannien mit ca. 1 Stunde Stromausfall pro Jahr. In Norwegen und Italien ist die Stromversorgung weitaus instabiler. Die Bürger von Norwegen und Italien waren im Jahr 1999 im Durchschnitt etwa 3 Stunden ohne Strom.

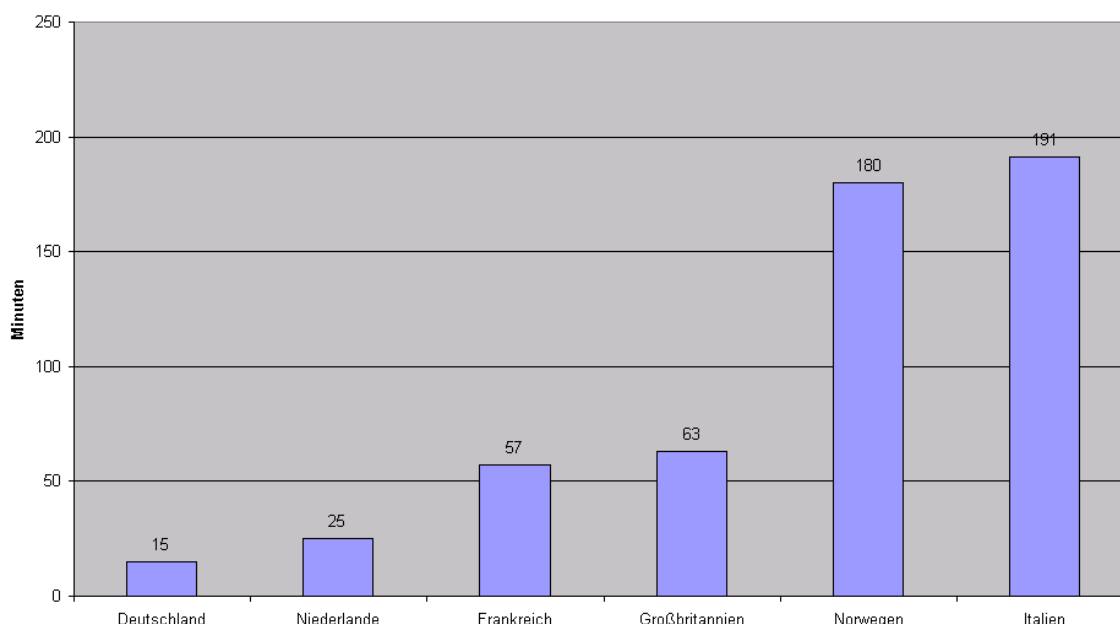


Abb. 1.1 Stromausfälle in Europa (Quelle: Stadtwerke Erlangen)

Eine Unterbrechungsfreie Stromversorgung hat über die Überbrückung von Stromausfällen hinaus auch noch die positive Eigenschaft, die Qualität der Stromversorgung zu verbessern. So werden z.B. Spannungseinbrüche, Überspannungen, Oberwellen, ... von den an der USV angeschlossenen Verbrauchern fern gehalten. Gute USV Anlagen liefern ihren Verbrauchern sogar bei Frequenzschwankungen des öffentlichen Netzes eine absolut stabile Frequenz.

Diese oft gar nicht wahrnehmbaren Netzfehler führen jedoch häufig zu Datenausfällen in Rechenzentren. Genau gesagt werden über 47% aller Datenausfälle durch Spannungsabweichungen verursacht. Nur knapp 16% der Datenausfälle werden durch die IT- Technik selber verursacht. Der Punkt IT- Technik beinhaltet auch die Ursachen Menschliches Versagen und Sabotage. Die verbleibenden knapp 37% der Datenausfälle werden durch verschiedene äußere Einwirkungen verursacht. Hierzu zählen Sturmschäden, Brände, Explosionen, Überschwemmungen, Wasserschäden, Erdbeben und andere. (Quelle: Contingency Planning, USA). Werden die Spannungsabweichungen die zu Datenausfällen führen weiter untersucht, so ist ersichtlich, dass fast zwei drittel der Spannungsabweichungen im Bereich < 0,5 Sekunden liegen. Die Abb. 1.2 zeigt die Häufigkeiten von Netzspannungsabweichungen sortiert nach der Zeitdauer der Abweichung.

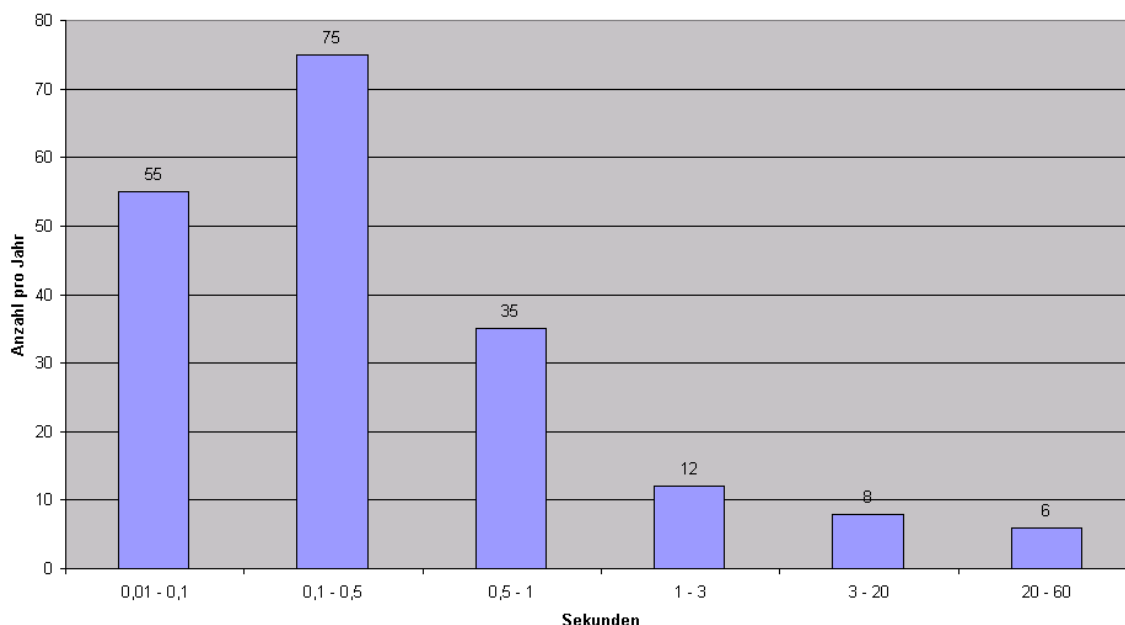


Abb. 1.2 Anzahl und Dauer von Netzspannungsabweichungen (Quelle: UNIPEDE-DISDIP)

Die obigen Ausführungen zeigen die aktuelle Sicherheit der Stromversorgung. Die Abb. 1.3 zeigt die Anzahl der jährlichen Störungen im 20 kV Netz der alten Bundesländer. Diese Zahlen zeigen, daß die Störungen im Netz in den letzten Jahren nicht kontinuierlich zurück gegangen sind.

Störungen je 100 km Leitungslänge im 20 kV Netz der alten Bundesländer

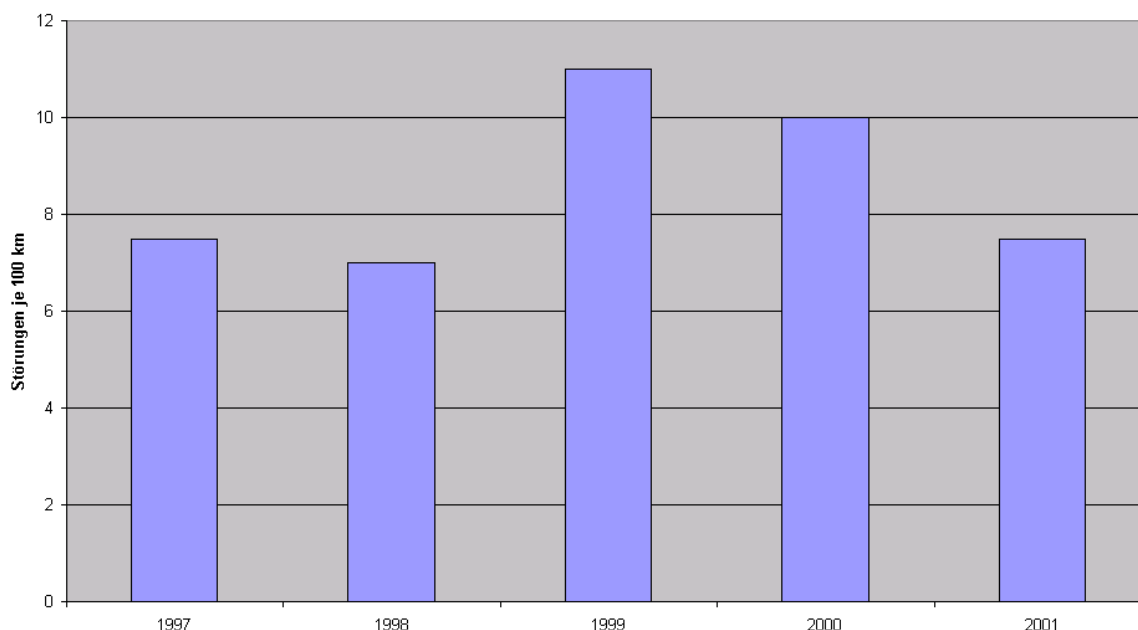


Abb. 1.3 Störungen je 100 km Leitungslänge im 20 kV Netz der alten Bundesländer (Quelle: VDN Störungsstatistik)

In einigen Bereichen wird der Sicherheitsanspruch an die Stromversorgung aus rein wirtschaftlichen Aspekten festgelegt. Natürlich betrifft dies nur Bereiche, bei denen allein Kosten durch einen Stromausfall verursacht werden und keine Menschenleben in Gefahr sind. Um in diesen Fällen beurteilen zu können, ob der Einsatz einer USV Anlage wirtschaftlich ist, müssen die Investitionskosten der USV Anlage mit den Folgekosten eines Stromausfalls in Zusammenhang gebracht werden. Meistens besteht das Problem bei der Beurteilung der Wirtschaftlichkeit darin, daß die Folgekosten des Stromausfalls nicht berechnet werden können. Eine Studie von Price Waterhouse Coopers zeigt, wie die befragten Unternehmen die Folgekosten von Systemabstürzen einschätzen. Eine Übersicht über die geschätzten Kosten zeigt die Abb. 1.4

Kosten je Systemabsturz	% der befragten Unternehmen
bis 12.000 €	27 %
12.000 – 250.000 €	33 %
250.000 – 1.000.000 €	25 %
über 1.000.000 €	15 %

Abb. 1.4 Geschätzte Kosten pro Systemabsturz (Quelle: Price Waterhouse Coopers)

Egal welche individuelle Sicherheitsstufe benötigt wird, auf eine USV Anlage kann heutzutage keine Unternehmung mehr verzichten. Selbst Unternehmen die ein

eigenes sehr sicheres, firmeninternes Stromversorgungsnetz haben, setzen heute USV Anlagen zur zusätzlichen Absicherung ein. Diese Unverzichtbarkeit auf eine USV Anlage spiegelt auch die Rechtsprechung wieder. Eine fehlende USV Anlage wird den IT-Entscheidern ebenso wie eine lückenhafte Datensicherung als Fahrlässigkeit vorgeworfen, für die sie persönlich haften müssen. (§ 93 Aktiengesetz; § 43 GmbH Gesetz; Landgericht Konstanz, Urteil vom 10.05.1996 – 1 S 292/95)

2 Komponenten einer USV Anlage

Nahezu alle auf dem Markt verfügbaren USV Anlagen bestehen aus den in diesem Abschnitt aufgeführten Komponenten. Um die Funktionen der einzelnen Komponenten besser zu verstehen sind die Komponenten alle einzeln erklärt.

2.1 Der Gleichrichter

Der Gleichrichter einer USV Anlage ist dafür zuständig den vom öffentlichen Stromversorgungsnetz bereitgestellten Wechsel- oder Drehstrom in einen Gleichstrom umzuwandeln.

2.2 Der Gleichstromzwischenkreis

Der Gleichstromzwischenkreis führt eine Gleichspannung. Wird als Speichermedium der USV Anlage eine Batterie eingesetzt, so wird diese aus dem Gleichstromzwischenkreis geladen. Im Normalbetrieb wird der Gleichstromzwischenkreis vom Gleichrichter versorgt. Bei Stromausfall wird der Gleichstromzwischenkreis aus der Batterie mit Energie versorgt.

2.3 Der Energiespeicher

Der Energiespeicher ist für die Energielieferung im Falle eines Stromausfalles verantwortlich. Das am häufigsten eingesetzte Speichermedium für USV Anlagen ist die Bleibatterie. Vereinzelt werden auch NiCd Batterien verwendet. Sollen mit der USV Anlage nur sehr kurze Stromausfälle überbrückt werden, so können auch Kondensatoren als Energiespeicher eingesetzt werden.

Für USV Anlagen mit Leistungen größer als 300 kVA werden auch Schwungmassenspeicher eingesetzt. Beim Schwungmassenspeicher wird kinetische Energie in einer sich drehenden Massen gespeichert. Fällt nun die Stromversorgung aus, so wird die Schwungmasse durch einen Generator abgebremst, der die kinetische Energie in elektrische Energie umformt. Die Schwungmassenspeicher werden des öfteren in Kombination mit Netzersatzanlagen betrieben. In dieser Kombination übernimmt die Schwungmasse die Energieversorgung bis beispielsweise ein Diesellaggregat angelaufen ist.

Ein weiterer denkbarer Energiespeicher ist die Brennstoffzelle. Die Brennstoffzelle produziert durch das Zusammenführen von Wasserstoff und Sauerstoff elektrische Energie. Mit dieser Energie kann dann eine USV Anlage betrieben werden. Noch ist der Einsatz von Brennstoffzellen als Energiespeicher für USV Anlagen nicht ausgereift. In der Praxis sind daher keine USV Anlage mit Brennstoffzellen Technologie zu finden.

2.4 Der Wechselrichter

Der Wechselrichter ist dafür zuständig, die vom Gleichstromzwischenkreis bereitgestellte Energie, in eine sinusförmige Wechselspannung mit Amplitude und Frequenz der Netzspannung umzuformen.

2.5 Der statische Bypass

Als letztes soll der sogenannte statische Bypass beschrieben werden. Der statische Bypass ist ein Strompfad vom öffentlichen Stromversorgungsnetz direkt auf den Ausgang der USV Anlage und somit an die kritische Last. Wird der statische Bypass aktiviert so ist der Wechselrichter außer Betrieb. Der statische Bypass wird bei zu hoher Belastung des Wechselrichters oder bei Defekt von Wechselrichter, Gleichrichter oder Batterie eingeschaltet. Die meisten USV Anlagen können zusätzlich noch manuell auf den statischen Bypass geschaltet werden.

3 Die Betriebsarten einer USV

Bei USV Anlagen wird zwischen Normalbetrieb, Batteriebetrieb und Bypassbetrieb unterschieden.

3.1 Der Normalbetrieb

Wie der Name schon sagt wird die USV meistens im Normalbetrieb laufen. Im Normalbetrieb wird der Gleichrichter mit Energie aus dem öffentlichen Stromversorgungsnetz gespeist und die Batterie wird aus dem Gleichstromzwischenkreis durch Erhaltungsladung voll gehalten.

3.2 Der Batteriebetrieb

Fällt der Strom aus dem öffentlichen Stromversorgungsnetzes aus, so schaltet die USV auf Batteriebetrieb um. Im Batteriebetrieb wird der Wechselrichter mit Energie aus der Batterie gespeist. Die USV Anlage arbeitet so lange im Batteriebetrieb bis die Energie der Batterien erschöpft ist.

3.3 Der Bypassbetrieb

Die dritte Betriebsart ist der Bypassbetrieb. Im Bypassbetrieb wird die kritische Last direkt über den Bypass aus dem öffentlichen Stromversorgungsnetz gespeist. Die

USV schaltet beispielsweise in den Bypassbetrieb, wenn zu viele Verbraucher angeschlossen sind und der Wechselrichter somit überlastet ist. Auch bei defekten an Gleichrichter, Wechselrichter oder Batterie wird in den Bypassbetrieb umgeschaltet.

4 Netzfehler im öffentlichen Stromversorgungsnetz

Nach der USV Produktnorm EN 62040-3 gibt es 10 verschiedene Netzfehler die durch den Einsatz einer USV Anlage abgefangen werden sollen. Der erste dieser 10 Netzfehler ist der Netzausfall. Jedem der sich mit dem Thema USV Anlagen beschäftigt, fällt der Netzausfall als Hauptaspekt für den Einsatz einer USV Anlage sofort ein. Wie jedoch später erläutert wird ist dies keinesfalls der am häufigsten auftretende Fehler der durch eine USV Anlage abgefangen werden muss. Als Netzausfall werden alle Fehler bezeichnet, bei denen die Versorgung durch das öffentliche Stromversorgungsnetz für mehr als 10 ms unterbrochen ist. Diese 10 ms entsprechen in unserem 50 Hz Netz genau einer halben Periodendauer.

Der zweite und dritte Fehler sind die Spannungseinbrüche und die Spannungsspitzen. Gründe für Spannungseinbrüche können beispielsweise schweranlaufende elektrische Antriebe mit großen Schwungmassen sein. Die Antriebe brauchen während des Hochlaufens überproportional hohe Ströme. Dies führt zu hohen Spannungsabfällen auf der Leitung und hat zur Folge, dass es zu Spannungseinbrüchen an den Verbrauchern kommt. Zu der Fehlerart Spannungseinbrüche zählen alle Spannungsabsenkungen die für weniger als 16 ms anliegen. Stromrichter und andere Leistungselektronik hingegen haben eine Vielzahl von Auswirkungen auf das Netz. Unter anderem verursachen diese elektronischen Schaltungen Spannungsspitzen. Zu diesen Spannungsspitzen zählen alle Fehler, bei denen die Spannung für weniger als 16 ms überhöht ist.

Zwei weitere Netzfehler sind Unter- und Überspannung. Unterspannung kann ähnlich wie auch bei Spannungseinbrüchen, durch starke Belastung des Netzes auftreten. Von Unterspannung spricht man jedoch im Gegensatz zu Spannungseinbrüchen wenn die Spannung kontinuierlich zu niedrig ist. Im Gegensatz zur kontinuierlichen Unterspannung steht die Überspannung. Von Überspannung wird nur gesprochen, wenn die Spannung dauerhaft überhöht ist. Diese Überspannungen können entstehen, wenn sich der Verbraucher sehr dicht am Transformator befindet und dieser nicht besonders stark belastet wird. Die Spannungshöhe wird durch die EVU's geregelt. Aufgrund von langen Leitungen und nicht stetigen Reglern können örtliche, kontinuierliche Überspannungen jedoch nicht ausgeschlossen werden.

Der nächste Netzfehler ist der Blitzeinschlag. Der Blitzeinschlag ist besonders kritisch, da er meist sehr hohe Spannungen auf die Netzleitungen bringt. Blitzeinwirkungen treten nur sporadisch auf und wirken im Zeitbereich kleiner 1 ms. Ein weiterer Netzfehler sind die Spannungsstöße. Spannungsstöße können beispielsweise durch Schaltoperationen der Netzbetreiber hervorgerufen werden. Bei den Schaltoperationen kommt es zu schnellen Stromänderungen. Die im Netz vorhandenen Induktivitäten erzeugen durch die hohen Stromänderungen starke Spannungsstöße. Spannungsstöße befinden sich im Zeitbereich kleiner 4 ms.

Die Netzqualität hängt nicht nur von der Spannungsgenauigkeit sondern auch von der Frequenzgenauigkeit ab. Frequenzschwankungen sind daher auch ein Netzfehler. Frequenzschwankungen können sporadisch auftreten und werden meist durch Lastschwankungen verursacht. Bei Lastschwankungen können sich die Drehzahlen der Generatoren leicht ändern und dadurch kommt es zu Frequenzschwankungen.

Weitere Netzfehler können periodische Spannungsverzerrungen oder kontinuierliche Spannungsüberschwingungen sein. Für diese beiden Netzfehler sind sehr häufig im Netz betriebene Stromrichter verantwortlich. Aber auch die heute häufig eingesetzten Schaltnetzteile verunreinigen das Stromversorgungsnetz mit Spannungsüberschwingungen.

5 Die verschiedenen USV Typen und deren Einteilung nach der Produktnorm EN 62040-3

Zum Schützen der kritischen Verbraucher vor Stromausfällen und Netzstörungen gibt es verschiedene USV Technologien. Die Begriffe „On- Line“, „Line- Interaktiv“ und „Offline“ wurden früher zur Abgrenzung der einzelnen USV Technologien verwendet. Für diese drei Begriffe gab es aber keine eindeutige Definition, so dass sich die USV Anwender nicht einfach auf diese Begriffe verlassen konnten. Hinzu kamen weitere Begriffe mit denen die Sprachverwirrung immer größer wurde. Die Produktnorm EN 62040-3 wurde erstellt um USV Anlagen unmissverständlich zu klassifizieren. Für diese Klassifizierung wurde in der EN 62040-3 ein dreistufiger Klassifizierungscode eingeführt. Im folgenden werden die Bezeichnungen der drei Stufen einzeln erläutert. Die Abb. 5.1 zeigt eine kurze Übersicht über die drei Stufen des Klassifizierungscode.

Klassifizierungscode									
V	F	I	—	S	S	—	1	2	3
Abhängig vom Ausgang	Ausgangsspannungskurve		dynamisches Verhalten des Ausgangs						
nur bei „Normalbetrieb“	1. Buchstabe: Normal oder Umgehung 2. Buchstabe: Batteriebetrieb		1. Ziffer: bei Ändern der Betriebsart 2. Ziffer: bei linearem Lastsprung (en: worst case) bei Normal- oder Batteriebetrieb 3. Ziffer: nichtlinearer Lastsprung (en: worst case) bei Normal- oder Batteriebetrieb						
Code-Bedeutungen	Code-Bedeutungen		Code-Bedeutungen						
VFI: USV-Ausgang unabhängig vom Netz-Spannungs- und Frequenzänderungen. Die Versorgungsspannung ist innerhalb der Grenzen nach IEC 61000-2-2. Das ist, weil die Versorgungsspannung nicht geregelt ist, und nach der Anmerkung unter dieser Tabelle legt IEC 61000-2-2 nur normale Oberschwingungs- und Verzerrungspegel der Spannung fest, und keine Frequenzänderungen. VFD: USV-Ausgang abhängig von Spannungs- und Frequenzänderungen des Netzes VI: USV-Ausgangsfrequenz abhängig von der Netzfrequenz, Spannung stabilisiert (elektronisch/passiv) innerhalb der Grenzwerte für Normalbetrieb	S: Kurvenform der Ausgangsspannung sinusförmig, Verzerrungsform $D < 0,08$. Oberschwingungen $< IEC 61000-2-2$ bei linearer und nichtlinearer ref. Last X: Kurvenform der Ausgangsspannung sinusförmig mit Güte wie für „S“ bei linearer Last. Bei nichtlinearer ref. Last ist Verzerrungsfaktor $D > 0,08$ bei Belastung über den vom Hersteller angegebenen Grenzen. Y: Spannungskurve nichtsinusförmig. Überschreitet die Grenzwerte nach IEC 61000-2-2 (siehe Herstellerangaben für Kurvenform).		1: \leq Bild 1 in 5.3.1 (unterbrechungsfrei) 2: \leq Bild 2 in 5.3.1 (Spannungsunterbrechung bis 1 ms) 3: \leq Bild 3 in 5.3.1 (Spannungsunterbrechung bis 10 ms) 4: Eigenschaften beim Hersteller erfragen.						
ANMERKUNG IEC 61000-2-2 legt normale Oberschwingungs- und Verzerrungspegel der Spannung fest, die in öffentlichen Netzen am Verbraucheranschluss erwartet werden können, bevor die Verbraucheranlage angeschlossen ist.									

Abb. 5.1 Übersicht über den Klassifizierungscode nach EN 62040-3

5.1 Stufe 1 des Klassifizierungscode: Die Abhängigkeit des USV Ausgangs vom Netz

Die erste Stufe des Klassifizierungscode nach EN 62040-3 gibt an, welche Abhängigkeit im Normalbetrieb zwischen dem Ausgang und dem Eingang der USV Anlage besteht. Im Normalbetrieb liegt am Eingang der USV die Wechselspannung des öffentlichen Stromversorgungsnetzes an und am Ausgang ist der kritische Verbraucher angeschlossen. Für die erste Stufe des Klassifizierungscode kann VFI, VI oder VFD eingesetzt werden. VFI steht für Voltage and Frequency Independent, was auf deutsch Spannungs- und Frequenz unabhängig bedeutet. Realisiert wird diese Spannungs- und Frequenzunabhängigkeit meist durch die in Abb. 5.1.1 dargestellte Technologie.

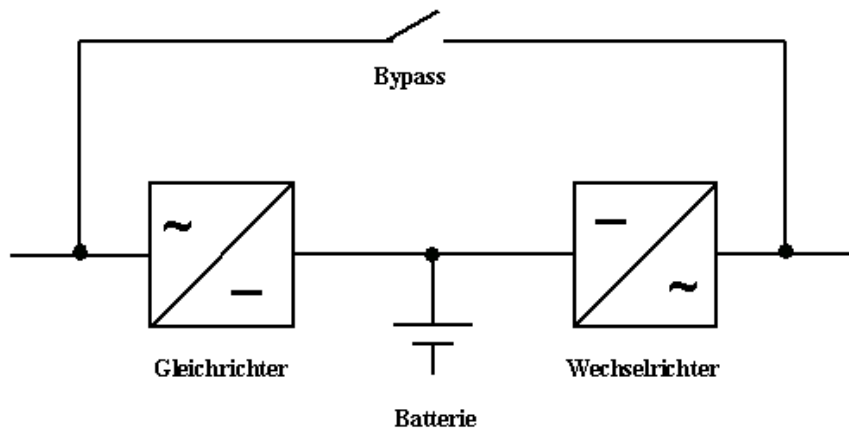


Abb. 5.5.1 Blockschaltbild einer VFI – USV Anlage

Die Wechselspannung des öffentlichen Stromversorgungsnetzes wird von dem auf der linken Seite der Abbildung zu sehenden Gleichrichter in eine Gleichspannung umgewandelt. Zwischen den beiden Wandlern ist die Batterie im sogenannten Gleichstromzwischenkreis angeschlossen. Auf der rechten Seite der Abbildung ist der Wechselrichter eingezeichnet. Der Wechselrichter erzeugt aus der Gleichspannung des Gleichstromzwischenkreises die für den Verbraucher benötigte Wechselspannung. Im Normalbetrieb wird der Gleichstromzwischenkreis vom Netz mit Energie versorgt. Mit dieser Energie wird der Wechselrichter gespeist und die Batterie geladen. Fällt der Strom aus, so wird die Energie für den Wechselrichter aus der Batterie entnommen. Nach diesem Prinzip aufgebaute USV Anlagen sind Spannungs- und Frequenzunabhängig, da Spannung und Frequenz im Normalbetrieb, wie auch im Batteriebetrieb durch den Wechselrichter der USV Anlage bestimmt werden.

Ein zweiter Code ist VI, er steht für Voltage Independent, was auf deutsch übersetzt Spannungsunabhängig bedeutet. USV Anlagen dieser Kategorie werden beispielsweise nach dem Schema der Abb. 5.1.2 realisiert.

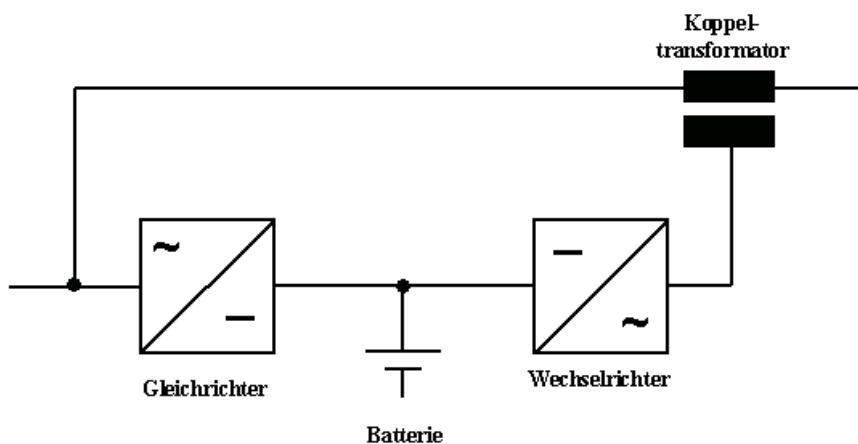


Abb. 5.1.2 Blockschaltbild einer VI – USV Anlage

Die Netzspannung wird bei diesen USV Anlagen über eine in Reihe geschaltete Spule direkt an die kritischen Verbraucher angeschlossen. Diese Spule gehört zu

einem Koppeltransformator, der primärseitig an den Wechselrichter angeschlossen ist. Der Koppeltrafo wird genutzt um Spannungsfehler der Netzspannung auszugleichen. Die hierfür benötigte Ausgleichsenergie wird aus dem Gleichstromzwischenkreis über den Wechselrichter geliefert. Der Gleichstromzwischenkreis mit der dazugehörigen Batterie wird vom Netz über den Gleichrichter gespeist. Die USV Anlage ist Spannungsunabhängig, da Sie mit Hilfe des Koppeltransformators Spannungsschwankungen abfangen kann. Frequenzschwankungen des Netzes können von dieser USV Anlage hingegen nicht abgefangen werden, da die Last auf direktem Wege mit dem versorgenden Netz gekoppelt ist.

Der letzte Code der Stufe 1 ist VFD. VFD steht für Voltage and Frequency Dependent, was auf deutsch Spannungs- und Frequenzabhängig heißt. Das in Abb. 5.1.3 gezeigte Blockschaltbild zeigt eine VFD USV.

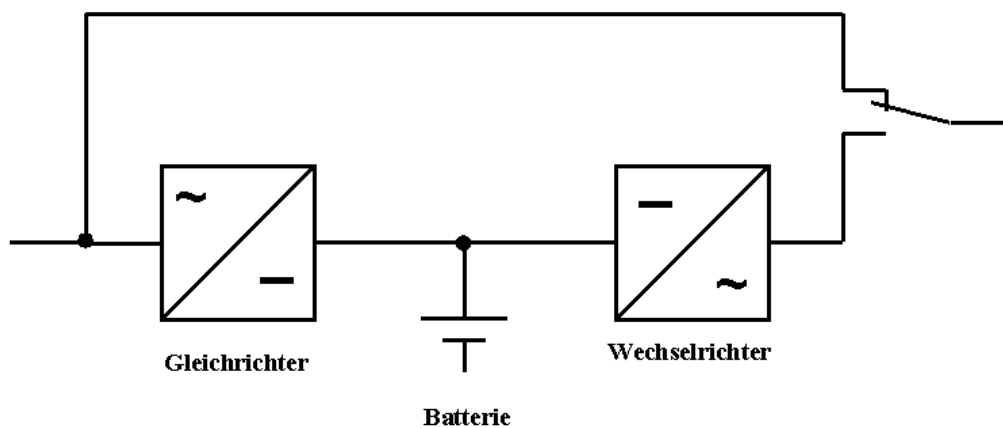


Abb. 5.1.3 Blockschaltbild einer VFD – USV Anlage

Im Normalbetrieb ist die Last komplett vom Wechselrichter getrennt und wird ausschließlich vom Netz gespeist. Die Batterie wird im Normalbetrieb vom Netz über den Gleichrichter geladen. Erst wenn es zu einem Stromausfall kommt wird die Last auf den Wechselrichter geschaltet. Der Klassifizierungscode der Stufe 1 bezieht sich wie bereits oben erwähnt nur auf den Normalbetrieb. Eine nach dem obigen Blockschaltbild aufgebaute USV Anlage versorgt die Last im Normalbetrieb direkt aus dem Netz. Daher sind die Spannung und die Frequenz am Ausgang direkt von den Eingangsparametern abhängig.

5.2 Stufe 2 des Klassifizierungscodes: Die Spannungskurvenform des USV- Ausgangs

Die Spannungskurvenform des USV- Ausgangs wird in der Stufe 2 des Klassifizierungscodes der Produktnorm EN 62040-3 betrachtet. Der Code setzt sich aus zwei aufeinanderfolgenden Buchstaben zusammen. Der erste Buchstaben macht dabei Angaben über die Kurvenform der Spannung, wenn sich die USV im Normalbetrieb befindet. Der zweite Buchstabe des Codes gibt Auskunft über die Kurvenform der Spannung im Batteriebetrieb. Zum Beschreiben der Kurvenform werden die Buchstaben S, X und Y eingesetzt. S steht für eine sinusförmige Spannung am Ausgang. Der Verzerrungsfaktor darf nach IEC 61000-2-2 nicht größer

als 0,08 sein. Dies gilt sowohl für den Fall das der Ausgang mit einer linearen oder einer nicht linearen Referenzlast betrieben wird. Der Kennbuchstabe X steht für eine sinusförmige Ausgangsspannung nach IEC 61000-2-2 mit einem Verzerrungsfaktor kleiner 0,08 bei linearer Last. Wird der Ausgang mit einer nicht linearen Last betrieben, so darf der Verzerrungsfaktor auch größer 0,08 sein. Der dritte Kennbuchstabe ist Y. Y steht für eine nicht sinusförmige Spannung, die die Grenzwerte nach IEC 61000-2-2 überschreitet. Steht in der Stufe 2 des Klassifizierungscode ein Y, so muss die Kurvenform der Ausgangsspannung den Herstellerangaben entnommen werden. Günstige USV Anlagen liefern oft rechteck- oder trapezförmige Ausgangsspannungen. Hier ist Vorsicht geboten, denn längst nicht alle Verbraucher kommen mit diesen Spannungsformen klar.

Die Erklärung der Stufe 2 des Klassifizierungscode soll mit einem kleinen Beispiel abgeschlossen werden. Hat eine USV Anlage die Kennbuchstaben SX für die Ausgangsspannungsform, so liefert die USV Anlage im Normalbetrieb eine sinusförmige Spannung mit einem Verzerrungsfaktor kleiner 0,08 nach IEC 61000-2-2, egal ob die angeschlossene Last linear oder nicht linear ist. Im Batteriebetrieb hingegen kann die USV nur bei linearer Last eine sinusförmige Ausgangsspannung mit einem Verzerrungsfaktor kleiner 0,08 nach IEC 61000-2-2 liefern. Bei nicht linearer Last ist die Ausgangsspannung im Batteriebetrieb nicht mehr sinusförmig.

5.3 Stufe 3 des Klassifizierungscode: Die dynamischen Toleranzkurven des Ausgangs

Die 3. Stufe des Klassifizierungscode nach EN 62040-3 macht Angaben über das dynamische Verhalten des USV Ausgangs. Beim Vergleich verschiedener USV Anlagen sollte der 3. Stufe des Klassifizierungscode besondere Beachtung geschenkt werden, denn hier zeigt sich ob die USV Anlage wirklich unterbrechungsfrei arbeitet. Der Code für die dynamische Toleranzkurve des Ausgangs besteht aus drei aufeinander folgenden Ziffern. Die erste Ziffer gibt dabei Auskunft über das Verhalten des Ausgangs bei einer Änderung der Betriebsart. Es wird also der Spannungsverlauf des Ausgangs betrachtet, wenn die USV Anlage vom Normalbetrieb in den Batteriebetrieb wechselt oder in irgendeiner anderen Form zwischen den Betriebsarten Normalbetrieb, Batteriebetrieb und Netzbetrieb wechselt. Die zweite Ziffer gibt an, wie der Ausgang der USV Anlage bei Lastsprüngen mit linearer Last reagiert. Die angegebene Toleranzgrenze für das Verhalten des Ausgangs muss bei Lastsprüngen mit linearer Last im Normalbetrieb und im Batteriebetrieb eingehalten werden. Die dritte Ziffer beschreibt wie schon die zweite Ziffer den Spannungsverlauf am USV Ausgang bei Lastsprüngen. Der Unterschied zur zweiten Ziffer besteht darin, das bei der dritten Ziffer ein Lastsprung mit einer nicht linearen Last zu beurteilen ist. Der Toleranzbereich muss ebenfalls im Normalbetrieb und Batteriebetrieb eingehalten werden.

Für die einzelnen Ziffern können nun Zahlen entsprechend der Klassifikation der Ausgangskurve eingesetzt werden. Die Abb. 5.3.4 zeigt die Toleranzkurven, in denen sich die Ausgangsspannung der USV Anlage bewegen muß, um die angegebenen Klassifikationskennziffern zu erhalten.

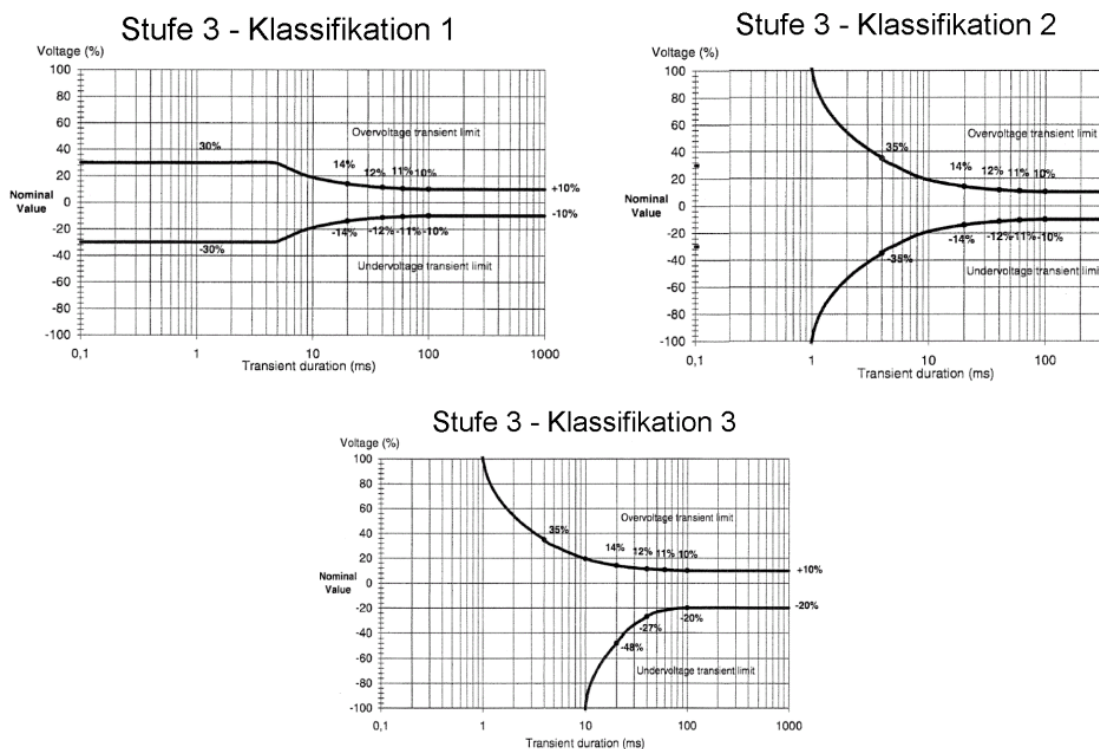


Abb. 5.3.4 Toleranzkurven für die USV Klassifikation der Stufe 3

Die Abbildungen zeigen, dass nur USV Anlagen mit der Klassifikation 1 wirkliche Unterbrechungsfreiheit garantieren. Bei USV Anlagen mit der Klassifikation 2 sind Unterbrechungen von bis zu einer ms zulässig. Die breiteste Toleranzkurve gibt die Klassifikation 3 vor. Innerhalb der Klassifikation 3 sind Unterbrechungen der Ausgangsspannung von bis zu 10 ms zulässig. Kann der Hersteller keine der Toleranzkurven einhalten, hat er die Möglichkeit eine 4 für die Klassifikation einzutragen. Ist dies der Fall muss der USV-Anwender den Hersteller nach dem dynamischen Verhalten der Anlage fragen. Zusammenfassend kann gesagt werden, dass die Stufe 3 des Klassifizierungscode eine Aussage über die Qualität der Ausgangsspannung unter allen Betriebsbedingungen macht.

5.4 Welche USV Anlagen schützen vor welchen Netzfehlern?

In den vorhergehenden Abschnitten wurden die möglichen Netzfehler behandelt und die Klassifizierung von USV Anlagen nach EN 62040-3 vorgenommen. Je nachdem gegen welche Netzfehler bestimmte Verbraucher geschützt werden sollen, geht es jetzt darum die passende USV Anlage auszuwählen. Nach Einführung der EN 62040-3 ist dies relativ einfach, da sich die USV Anlagen einfach den Netzfehlern zuordnen lassen. Diese Zuordnung der Netzfehler zu den einzelnen USV Anlagen ist in der Abb. 5.4.1 dargestellt.











Phänomene		Zeit	z. B.	IEC 62040-3	USV-Lösung	Ableiterlösung
1.	Netzausfälle	> 10 ms		VFD Voltage + Frequency Dependent	Klassifizierung 3 Offline	—
2.	Spgs.einbrüche	< 16 ms				—
3.	Spannungsspitzen	< 16 ms				—
4.	Unterspannungen	kontinuierlich		VI Voltage Independent	Klassifizierung 2 LineInteractive	—
5.	Überspannungen	kontinuierlich				—
6.	Blitzeinwirkungen	sporadisch		VFI Voltage + Frequency Independent	Klassifizierung 1 (true) Online real Double-Conversion	Blitz- und Überspannungsschutz (IEC 60364-5-534)
7.	Spannungsstöße (Surge)	< 4 ms				—
8.	Frequenzschwankungen	sporadisch				—
9.	Spgs.verzerrung (Burst)	periodisch				siehe 6 und 7
10.	Spgs.oberschwingungen	kontinuierlich				—

Abb. 5.4.1 Zuordnung der Netzfehler zu den USV Anlagen

VFI Anlagen schützen kritische Verbraucher gegen alle 10 möglichen Netzfehler. VI Anlagen schützen vor 5 von 10 Netzfehlern. VFD Anlagen sind die schlechtesten USV Anlagen. Sie schützen nur gegen 3 von 10 möglichen Netzfehlern.

5.5 Einordnung der alten Bezeichnungen für USV Anlagen in die Klassifikation nach EN 62040-3

Wie bereits erwähnt, waren die Begriffe zur Unterscheidung der verschiedenen USV Technologien nicht genau definiert. Dennoch sollen die Begriffe, so wie sie meist verwendet werden den Klassifikationen nach EN 62040-3 zugeordnet werden. Für VFD Anlagen werden oft die Begriffe Stand- by, Bereitschaftsbetrieb, passiver Mitlaufbetrieb oder Off- Line benutzt. Bei VI Anlagen spricht man auch von Single Conversion, aktivem Mitlaufbetrieb oder Line- Interactiven USV Anlagen. Die USV Anlagen die in der Kategorie VFI eingestuft werden, sind auch durch die Begriffe Dauerbetrieb, Dauerwandler oder On- Line bekannt.

6 Die Batterie als Energiespeicher

Die kritischste Komponente einer USV Anlage ist die Batterie. Auf dem Markt gibt es eine Vielzahl verschiedener Batterietypen. Für jede Anwendung muss der passende Batterietyp ausgewählt werden. Bei USV Anlagen sind folgende Eigenschaften maßgebend. Zu 99,9 % der Betriebszeit wird die USV Anlage mit Strom aus dem öffentlichen Netz gespeist. Für die Batterie bedeutet dies, das sie zu 99,9 % der Zeit lediglich mit einer Erhaltungsladung voll gehalten wird. Kommt es im Ausnahmefall zu einem Stromausfall der öffentlichen Stromversorgung, so wird die Batterie mit

sehr hohen Strömen innerhalb kurzer Zeit entladen. Im Anschluss an einen Stromausfall, wird die Batterie sofort wieder geladen.

Diese Anforderungen sind für alle Batterietypen recht problematisch, jedoch werden Bleibatterien diesen Anforderungen am ehesten gerecht. Anstelle der früher eingesetzten Bleisäurebatterien werden heute meist wartungsfreie Blei- Gel oder Blei- Vliesbatterien eingesetzt. Wartungsfrei bedeutet hierbei jedoch keinesfalls, daß den Batterien keinerlei Beachtung mehr geschenkt werden muß. Die Wartungsfreien Batterien müssen gegenüber den konventionellen Batterien lediglich nicht mehr in regelmäßigen Abständen mit Wasser befüllt werden. Nach wie vor sollte bei den Batterien genau auf das richtige Lademanagements und die geeignete Umgebungstemperatur geachtet werden.

Die Batteriehersteller bieten 10 Jahres-, 5 Jahres- und 3 Jahresbatterien an. Die Haltbarkeitsdauer ist aber auf eine Umgebungstemperatur von 20°C bezogen. Wird beispielsweise eine 10 Jahresbatterie bei 30°C Umgebungstemperatur betrieben, so hält die Batterie nur noch 5 Jahre. Den Zusammenhang zwischen Umgebungstemperatur und Gebrauchsdauer der Batterie zeigt die Abb. 6.1.

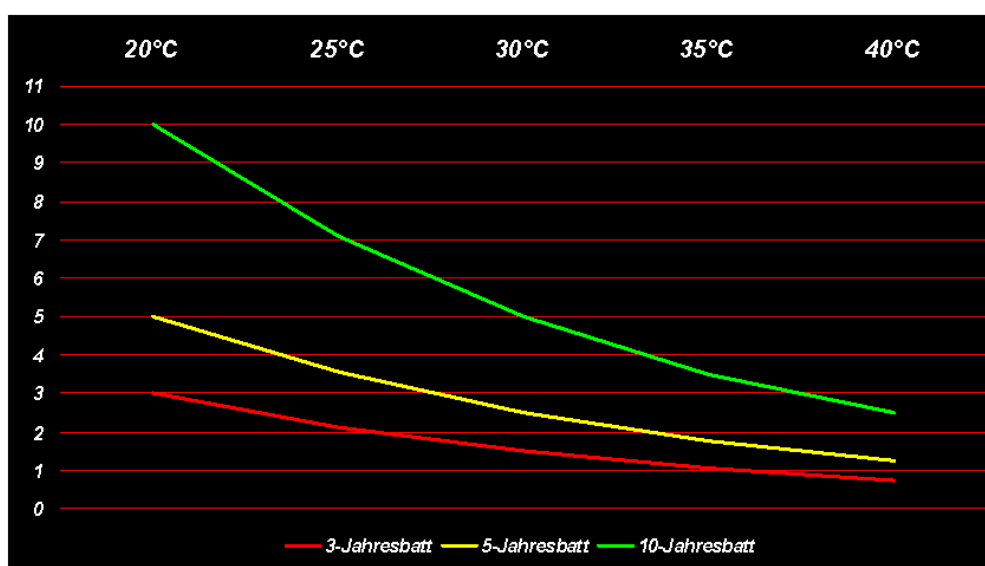


Abb. 6.1 Gebrauchsdauererwartung von VLRA Batterien in Abhängigkeit von der Umgebungstemperatur

7 Transformatorlose USV Anlagen

Traditionell haben USV Anlagen vor dem Wechselspannungsausgang noch einen Transformator geschaltet. Der Trafo ist dafür zuständig die Wechselspannung des Wechselrichterausgangs hoch zu transformieren. Erforderlich ist diese Transformation, da die Spannung im Gleichstromzwischenkreis nicht hoch genug ist, um eine Wechselspannung in der geforderten Höhe zu erzeugen. Die USV Anlagen

mit Transformator werden auch heute noch oft angeboten. Die Abb. 7.1 zeigt das Blockschaltbild einer USV Anlage mit Transformator.

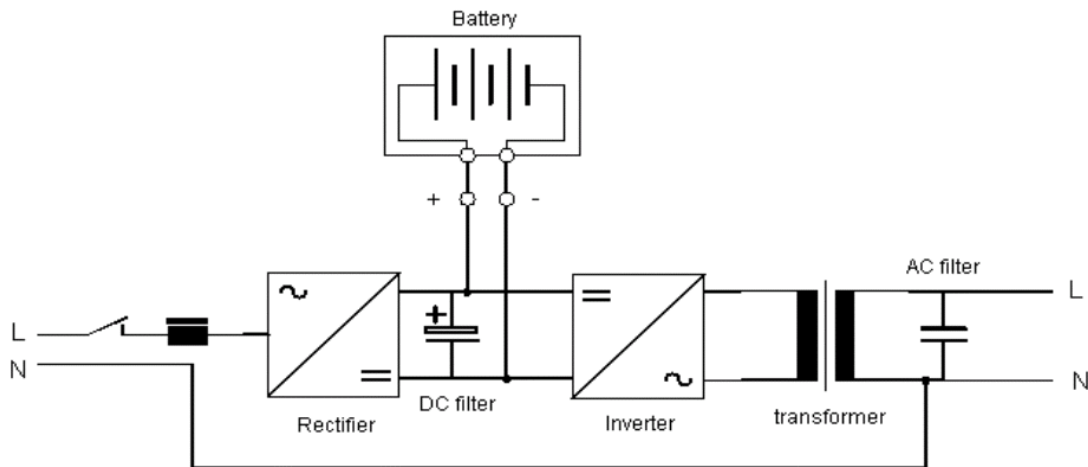


Abb. 7.1 Blockschaltbild einer USV Anlage mit Transformator

Durch den Fortschritt in der Halbleitertechnik ist es heute problemlos möglich USV Anlagen auch ohne Transformator zu bauen. Bei der Transformatorlosen Technologie wird ein sogenannter Booster eingesetzt. Der Booster ist ein DC/DC Wandler, der die Spannung hinter dem Gleichrichter auf eine wesentlich höhere Gleichspannung umsetzt. Aus der erhöhten Gleichspannung kann der Wechselrichter dann auch ohne nachgeschalteten Trafo eine Wechselspannung in ausreichender Höhe erzeugen. Die Abb. 7.2 zeigt das Blockschaltbild einer Transformatorlosen USV Anlage.

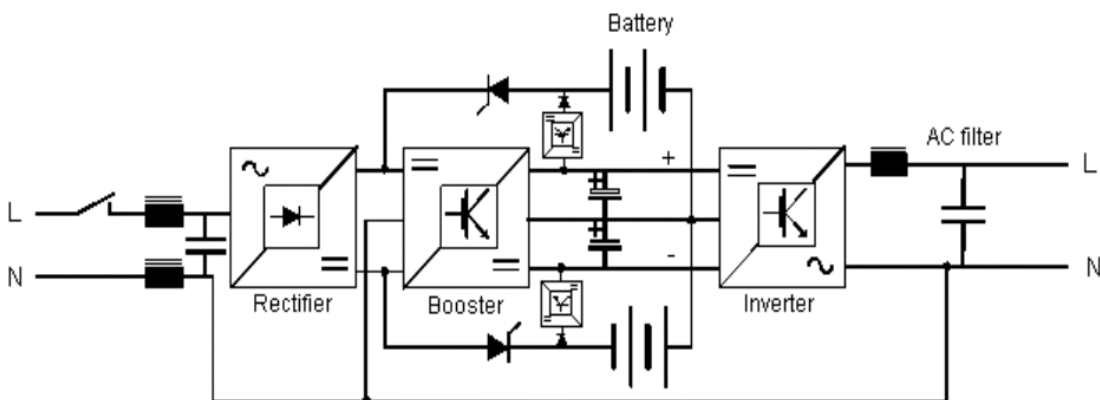


Abb. 7.2 Blockschaltbild einer Transformatorlosen USV Anlage

Die Transformatorlose Technologie bietet einige Vorteile. Zum ersten können USV Anlagen ohne Transformator von den Abmessungen her sehr kompakter gebaut werden. Zweitens hat der Transformator ein nicht gerade unerhebliches Gewicht. Daher sind die Transformatorlosen Anlagen wesentlich leichter als konventionelle Anlagen mit Trafo. Weiter ist eine USV Anlage ohne Transformator von der akustischen Geräusentwicklung wesentlich leiser als eine Anlage mit

Transformator. Der Wirkungsgrad ist über den gesamten Lastbereich bei der Transformatorlosen Technologie besser, als bei USV Anlagen mit Transformator.

Auch beim Gleichrichter unterscheiden sich die beiden Technologien. Den Transformatorlosen Anlagen reicht ein un geregelter Gleichrichter. Die Anlagen mit Transformator brauchen hingegen einen gesteuerten Gleichrichter, um die Spannung im Gleichstromzwischenkreis in richtiger Höhe zur Verfügung zu stellen. Der gesteuerte Gleichrichter bringt jedoch weitere Nachteile mit sich. So ist der gesteuerte Gleichrichter für die Verunreinigung des speisenden Netzes und eine größere Blindleistung verantwortlich. Bei den USV Anlagen mit Transformator wird die Batterie direkt im Gleichstromzwischenkreis angeschlossen. Für die Batterie ist dies nachteilig, da im Gleichstromzwischenkreis immer noch eine bestimmte Restwelligkeit vorhanden ist. Die Restwelligkeit ist für eine verkürzte Batterielebensdauer verantwortlich. Bei den Transformatorlosen Anlagen wird die Batterie von einem separaten Ladegerät geladen. Dieses Ladegerät liefert eine glatte Spannung und strapaziert somit nicht die Batterie.

Gegen die Transformatorlosen USV Anlagen wird oft eingewandt, das sie keine galvanische Trennung von Eingang und Ausgang haben. Dies stimmt, jedoch bieten auch die USV Anlagen mit Ausgangstransformator keine galvanische Trennung. Die galvanische Trennung die der Trafo erzeugt, wird nämlich durch durchschleifen des Neutralleiter bis zum Wechselspannungsausgang, wieder aufgehoben. Somit sind auch bei den USV Anlagen mit Transformator Ein- und Ausgang nicht galvanisch getrennt.

8 Redundanz der USV Anlage

Um die Stromversorgung so sicher wie nur irgendwie möglich zu machen, ist es sinnvoll die USV Systeme Redundant aufzubauen. Dies bedeutet, das für den Fall, das eine USV ausfällt eine zweite USV vorhanden ist. Soll die Last also redundant geschützt werden, so muss jede der zwei USV Anlagen alleine in der Lage sein die gesamte kritische Last mit Strom zu versorgen.

Weiter ist es auch möglich durch den Einsatz einer modularen USV Anlage Redundanz zu erreichen. Hierfür muß mindestens ein Modul mehr als eigentlich benötigt eingesetzt werden. Durch dieses zusätzlich eingesetzte Modul ist die USV selbst bei Ausfall eines Moduls noch in der Lage, die gesamte kritische Last zu versorgen. Der Einsatz von modularen USV Anlagen wird jedoch im folgenden Abschnitt noch näher erläutert.

9 Modulare USV Anlagen

Ein weiterer wichtiger Punkt bei der Auswahl der richtigen USV ist die Skalierbarkeit. Skalierbar bedeutet, daß die USV Anlage nicht aus einer großen Anlage besteht, sondern sich aus mehreren Modulen zusammen setzt. Die Skalierbarkeit bietet

mehrere Vorteile. So kann eine skalierbare Anlage mit der angeschlossenen Leistung wachsen. Bei einer nicht skalierbaren USV muss bereits bei Kauf der Anlage berücksichtigt werden, welche Verbraucherlast die USV Anlage in Zukunft einmal speisen soll. Diese Leistung mit den entsprechenden Batterien wird dann gleich von Anfang an im Rechenzentrum installiert. Bei der skalierbaren USV werden hingegen zum Zeitpunkt der Errichtung des Rechenzentrums nur so viele USV Module installiert, wie aktuell benötigt werden. Auch die Anzahl der Batteriemodule kann nach aktuell installierter Leistung und benötigter Autonomiezeit beliebig gewählt werden. Aufgrund der modularen Bauweise wird anstelle von skalierbaren USV Anlagen auch der Begriff modulare USV Anlage benutzt. Eine Modulare USV Anlage kann daher bei Errichtung wesentlich kleiner ausgelegt werden, als eine nicht Modulare USV Anlage, die bereits alle zukünftigen Leistungserweiterungen berücksichtigt.

Weiter kommt hinzu, daß die Batterien der USV nur eine begrenzte Lebenserwartung haben. Somit ist bei nicht Modularen USV Anlagen zu Anfang sehr viel Batteriekapazität installiert, die eventuell gar nicht benötigt wird und somit nur unnötig Geld kostet. Weiter kann die Redundanz bei einer modularen USV mit weniger Leistung realisiert werden, als bei einer konventionellen USV. Bei einer modular aufgebauten USV ist die redundante Leistung, die Leistung die bei Ausfall eines USV Moduls noch zur Verfügung steht.

Diesen Sachverhalt soll ein kleines Beispiel verdeutlichen. Das Rechenzentrum welches mit einer USV Anlage ausgestattet werden soll hat eine Gesamtanschlussleistung von 115 kVA. Wollen wir dieses Rechenzentrum mit einer redundanten konventionellen USV Anlage ausstatten, so müssen wir zwei USV Anlagen mit jeweils 120 kVA installieren. Somit ist dann eine gesamte USV Leistung von 240 kVA installiert. Die Leistung der an den USV Anlagen angeschlossenen Batterien würde somit auch reichen um die gewünschte Autonomiezeit bei 240 kVA Last bereitzustellen.

Soll hingegen die im Rechenzentrum installierte Leistung von 115 kVA mit einer modularen USV Anlage aus 40 kVA Modulen aufgebaut werden, so ist wie folgt vorzugehen. Die Anlage ist aus vier 40 kVA Modulen aufzubauen. Somit ergibt sich eine Gesamtleistung der USV von 160 kVA. Fällt nun ein 40 kVA Modul aus, so ist die Anlage mit drei 40 kVA Modulen immer noch in der Lage die installierte Leistung von 115 kVA aufzubringen. Die hier verwendete USV Anlage aus vier 40 kVA Modulen hat also eine Gesamtleistung von 160 kVA oder aber eine Redundante Leistung von 120 kVA. Der Vorteil der modularen USV ist hier klar zu erkennen. Die gesamte installierte Leistung der modularen USV Anlage liegt deutlich unter der Leistung der redundanten konventionellen USV Anlage. Damit muss auch nicht so viel überflüssige Batterieleistung bereitgestellt werden, die nur für die Redundanz benötigt wird.

10 Berechnung der Verfügbarkeit

Um Angaben darüber zu machen wie sicher eine USV Anlage gegen Stromausfälle schützt, wird die Verfügbarkeitsrechnung genutzt. Die Verfügbarkeit ergibt sich aus

der Formel in Abb. 10.1. $MTBF_{USV}$ steht für MeanTime Between Failures. Die MTBF ist die durchschnittliche Zeit in der die USV Anlage fehlerfrei arbeitet. Diese Zeit wird meist in Stunden angegeben. $MTTR_{USV}$ steht für Mean Time To Repair. Dies ist die durchschnittliche Zeit, die benötigt wird, um die USV Anlage nach einem Fehler wieder in Betrieb zu setzen.

$$V = \frac{MTBF_{USV}}{MTBF_{USV} + MTTR_{USV}}$$

Abb. 10.1 Formel zur Berechnung der Verfügbarkeit

Die Verfügbarkeit ist eine Zahl kleiner eins. Je näher die Zahl an eins heran kommt, desto höher ist die Verfügbarkeit der USV. An dieser Stelle wird nun als Beispiel die Verfügbarkeit für eine Redundante (1+1) Konfiguration und die Verfügbarkeit für eine Modular Redundante (3+1) Konfiguration berechnet. Wird davon ausgegangen das die einzelnen USVs die gleichen Komponenten (Gleichrichter, Batterien, Wechselrichter, Bypass, ...) mit der gleichen Ausfallwahrscheinlichkeit beinhalten, so würden sich beispielsweise folgende Werte ergeben. Würden für die Redundante (1+1) Konfiguration eine MTBF von 1.250.000 Stunden ermittelt, so würde sich für die Modular Redundante (3+1) Konfiguration eine MTBF von 625.000 Stunden ergeben. Dies kommt daher, weil ein Fehler an einem der 4 Module der (3+1) Konfiguration wahrscheinlicher ist, als ein Fehler an den 2 USV Anlagen der (1+1) Konfiguration. Für die MTTR Zeit nehmen wir für beide Anlagen einen Wert von 6 Stunden an. Damit ergeben sich für die beiden Anlagen nach obenstehender Formel die in Abb. 10.2 zu sehenden Verfügbarkeiten.

Beispiel 1:	Redundante (1+1) Konfiguration	Modular- Redundante (3+1) Konfiguration
$MTBF_{USV}$	1.250.000 [h]	625.000 [h]
$MTTR_{USV}$	6 [h]	6 [h]
Verfügbarkeit	$V = \frac{1.250.000}{1.250.000 + 6}$	$V = \frac{625.000}{625.000 + 6}$
Verfügbarkeit	= 0,9999952	= 0,9999904

Abb. 10.2 Rechenbeispiel 1 zur Verfügbarkeitsrechnung

Nach der Rechnung in Beispiel 1 hat die Redundante (1+1) Konfiguration eine höhere Verfügbarkeit als die Modular Redundante (3+1) Konfiguration. Die in Beispiel 1 berechneten Werte sind aber nicht realistisch, da die für beide Anlagen gleich angenommenen MTTR Zeiten in der Praxis nicht gleich sein werden. Geht

eine Redundante (1+1) Anlage kaputt muss diese zuerst abgeklemmt werden und dann vor Ort oder aber auch beim Hersteller repariert werden. Modular Redundante USV Anlagen haben den Vorteil, das sich ein Modul sehr schnell und einfach aus der Anlage entfernen lässt. Für das kaputte Modul kann dann einfach ein neues Modul eingesetzt werden. Während des Modulaustausches bleibt der Rest der Anlage in Betrieb. Die USV Anlage ist somit während der Reparatur des defekten Modules wieder mit allen Sicherheiten betriebsbereit.

Realistischer sind daher die im zweiten Rechenbeispiel angenommenen MTTR Zeiten. Für die Redundante (1+1) Konfiguration wird weiterhin einen MTTR Zeit von 6 Stunden eingesetzt. Wegen der oben genannten Gründe, kann bei der Modular Redundanten (3+1) Konfiguration jedoch von einer MTTR Zeit von 30 Minuten ausgegangen werden. Damit ergeben sich für die Verfügbarkeit die in der Abb. 10.3 zu sehenden Ergebnisse.

Beispiel 2:	Redundante (1+1) Konfiguration	Modular- Redundante (3+1) Konfiguration
MTBF_{USV}	1.250.000 [h]	625.000 [h]
MTTR_{USV}	6 [h]	0,5 [h]
Verfügbarkeit	$V = \frac{1.250.000}{1.250.000 + 6}$	$V = \frac{625.000}{625.000 + 0,5}$
Verfügbarkeit	= 0,9999952	= 0,9999992

Abb. 10.3 Rechenbeispiel 2 zur Verfügbarkeitsrechnung

Unter den in Beispiel 2 realistisch angenommenen MTTR Zeiten zeigt sich, daß die Modular Redundante (3+1) Konfiguration eine höhere Verfügbarkeit hat. Aus Verfügbarkeitsgründen sollte daher eine Modular Redundante (n+1) Konfiguration einer Redundanten (1+1) Konfiguration bevorzugt werden. Nachträglich muss zur Verfügbarkeitsrechnung noch angemerkt werden, daß sie bedacht angegangen werden muss. Die von den Herstellern gelieferten MTBF Zeiten sind oft nicht vergleichbar. So kann es vorkommen, daß manche Hersteller ihre MTBF Zeiten für Idealbedingungen angeben, andere geben sie für normale Bedingungen an und wiederum andere geben ihre MTBF Zeiten für den worst- case an.

11 Architektur von modularen USV Systemen

Modulare USV Systeme werden häufig eingesetzt um Redundanz zu erreichen und dabei nicht zuviel überflüssige Leistung zu installieren. Ob eine modulare USV

Anlage nahezu uneingeschränkte Redundanz gewährleistet oder nicht hängt entschieden von der Architektur der USV ab. Eine auf dem Markt zu findende modulare Architektur ist in der Abb. 11.1 schematisch dargestellt.

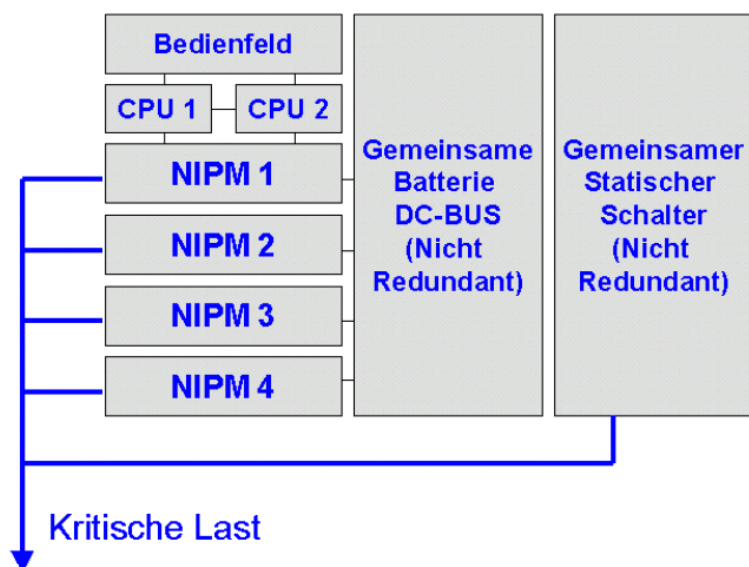


Abb. 11.1 Aufbau einer modularen USV Anlage

Die USV Anlage hat ein Bedienfeld für alle USV Module. Die CPU ist doppelt vorhanden und somit redundant. Fällt eine CPU aus, so kann die gesamte USV, gesteuert von der noch intakten CPU, weiter laufen. Darunter sind die vier Leistungsmodul angeordnet. Auch hier ist Redundanz vorhanden, da beim Ausfall eines Modules die anderen Module weiterarbeiten können. Alle vier Leistungsmodul beziehen ihre Energie aus einem gemeinsamen Batterie DC- Bus. Auch der statische Bypass ist nur einmal vorhanden. Hersteller der oben beschriebenen USV Anlagen bezeichnen diese als redundante Anlagen. Leider ist dies nur bedingt richtig, da das Bedienfeld, der Batteriebus und der statische Bypass nicht redundant vorhanden sind. Fällt also eine dieser Komponenten aus, ist die Funktion der gesamten USV Anlage beeinträchtigt. In bestimmten Fällen kann die gesamte USV Anlage sogar komplett ausfallen.

Soll also das größtmögliche Maß an Ausfallsicherheit durch Redundanz gewährleistet werden, muß eine USV Anlage ausgewählt werden, die möglichst alle Komponenten einmal pro Modul beinhaltet. Diese Architektur ist in der Abb. 11.2 schematisch dargestellt. Sie ist auch unter dem Namen Dezentrale- Parallel- Architektur (DPA) bekannt.

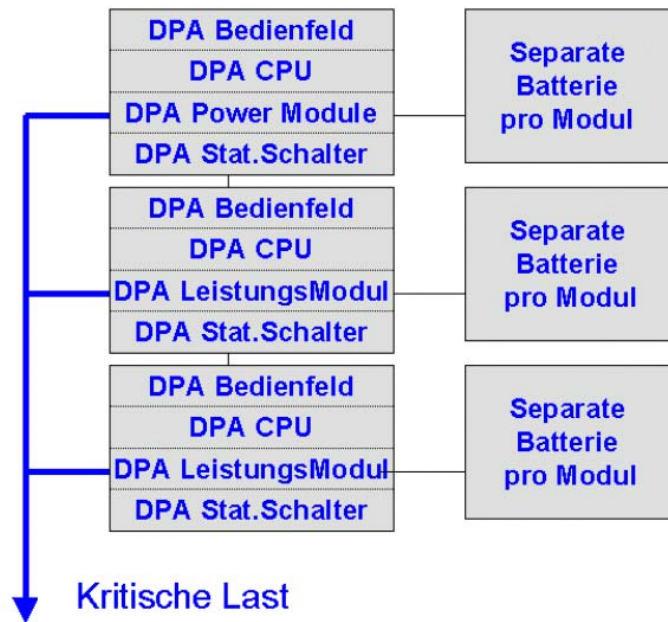


Abb. 11.2 Aufbau einer USV Anlage mit Dezentraler Parallel Architektur

Bei DPA USV Anlagen der Firma Rittal ist in jedem Modul ein Bedienfeld, eine CPU, ein Leistungsmodul und ein statischer Bypass integriert. Außerdem besitzen diese USV Anlagen für jedes Modul eine Separate Batterie. DPA USV Anlagen der Rimatrix Baureihe bieten daher Redundanz bei allen Komponenten und damit ein Höchstmaß an Verfügbarkeit.

12 Auslegung von USV Anlagen

Nachdem in den vorhergehenden Abschnitten grundsätzliche Unterscheidungsmerkmale zwischen den verschiedenen USV Technologien erläutert wurden, wird in diesem Abschnitt die Auslegung der USV Leistung und der Batterieautonomiezeit behandelt. Die kleinste auf dem Markt verfügbare Leistungsstufe ist die der Einphasigen USV Anlagen. Einphasige USV Anlagen werden im Bereich von 0,3 bis 8 kVA angeboten. Wird eine größere USV Anlage benötigt werden meist Dreiphasige USV Anlagen mit Batterien verwendet. Dreiphasige USV Anlagen mit Batterie werden sinnvollerweise im Bereich von 8 bis 300 kVA eingesetzt. Ist die abzusichernde Last größer als 300 kVA, so kann es sinnvoll sein dynamische USV Anlagen mit Schwungmassenspeicher einzusetzen.

Um eine USV Anlage auszulegen muss zwangsläufig die an die USV Anlage anzuschließende Leistung ermittelt werden. Sind die Geräte die durch die USV geschützt werden sollen bereits vorhanden und in Betrieb, so ist es am sichersten die Leistungsaufnahme der Geräte zu messen. Bei der Messung sollten Scheinleistung (VA), Wirkleistung (W) und die Art der Last ermittelt werden. Mit Art der Last ist gemeint, das festgestellt werden muss, ob die Geräte sich in der Gesamtheit induktiv oder kapazitiv verhalten. Aus den Angaben von Schein- und Wirkleistung kann dann auch der $\cos \phi$ berechnet werden. Die Formel zur Berechnung des $\cos \phi$ ist in Abb. 12.1 dargestellt.

$$\cos \varphi = \frac{P}{S}$$

Abb. 12.1 Formel zur Berechnung des cos phi

Kann aus irgendwelchen Gründen die Leistung nicht gemessen werden, so können auch die Einzelleistungen der angeschlossenen Geräte abgelesen werden. Das Problem beim Ablesen der einzelnen Werte ist, dass oft nur die Scheinleistung angegeben wird, aber weder die Wirkleistung, noch die Art der Last. Sind alle Scheinleistungen erfasst, so können diese zusammenaddiert werden um einen groben Überblick über die Gesamtscheinleistung zu erhalten. Die einzelnen Werte zu erfassen und anschließend zusammen zu addieren, ist problematisch und sollte nur im Notfall gemacht werden. Die Angaben auf den Geräten sind meist Maximalwerte von denen die tatsächliche Leistungsaufnahme stark abweichen kann. Daher kann mit dieser Methode der Leistungsbestimmung, die USV Anlage schnell überdimensioniert werden.

Ein anderer Fall liegt vor, wenn die zu schützenden Komponenten noch gar nicht vor Ort sind. Dies könnte beispielsweise der Fall sein, wenn sich ein Rechenzentrum noch in der Planungsphase befindet. Hier können nur die Hersteller der einzelnen Geräte kontaktiert werden, um die Leistungsangaben von ihnen zu beziehen.

Auf die ermittelte Leistung der zu schützenden Geräte wird im Normalfall noch eine Reserve von 30% aufaddiert. Diese 30% Reserve sind immer auf die ermittelte Leistung heraufzurechnen, egal ob die Leistung gemessen oder auf anderem Wege bestimmt wurde. Auch wenn eine modulare USV eingesetzt werden soll, die später ohne Probleme mit weiteren Modulen erweitert werden kann, sollte diese Reserve berücksichtigt werden. Die 30 % Leistungsreserve sind jedoch noch nicht für die Redundanz der Anlage bestimmt. Um Redundanz sicherzustellen müsste ein weiteres USV Modul hinzugefügt werden.

Eine weitere wichtige Größe bei der Auslegung der USV Anlage ist die Batterieautonomiezeit. Die Hersteller der USV Anlagen geben verschiedene Batterieautonomiezeiten Ihrer Systeme zu verschiedenen Belastungen an. Grundsätzlich gilt, je größer die Belastung, desto geringer die verfügbare Batterieautonomiezeit. Dieser Zusammenhang ist aber nicht proportional, wie die Abb. 12.2 zeigt. Eine USV Anlage die bei 100% Belastung eine Autonomiezeit von 10 Minuten hat, könnte somit bei 50% Belastung beispielsweise eine Autonomiezeit von 22 Minuten haben.

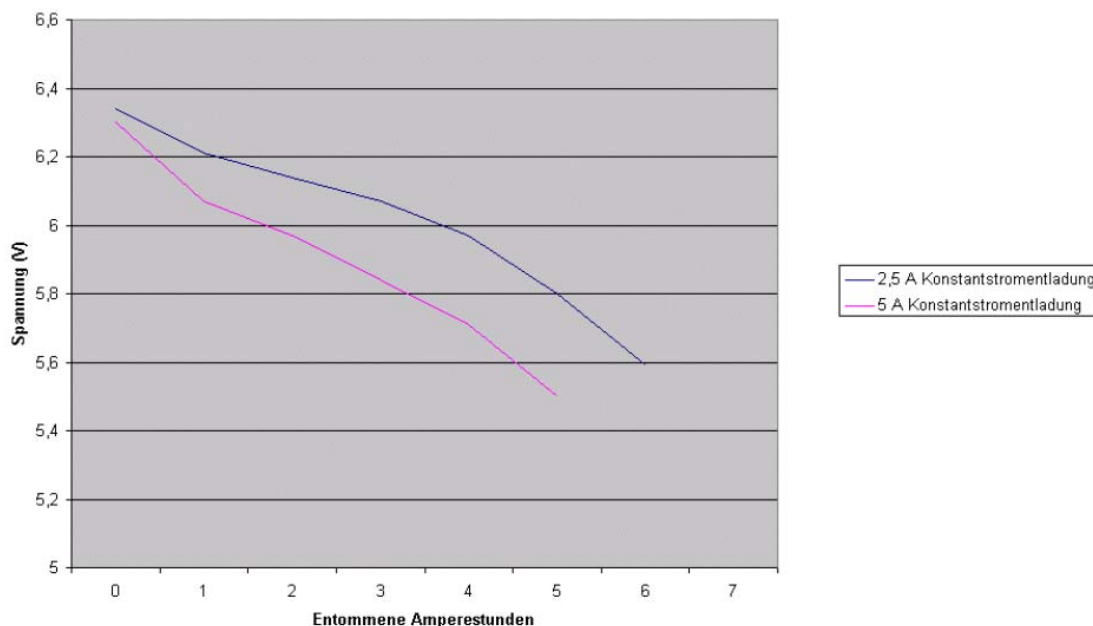


Abb. 12.2 Entnehmbare Kapazität einer Batterie bei unterschiedlicher Belastung

Einige USV Anbieter stellen für Ihre USV Anlagen Konfigurationsprogramme zur Verfügung. In ein solches Programm muss z.B. die Leistung der kritischen Verbraucher, der cos phi, die gewünschte Leistungsreserve und die gewünschte Batterieautonomiezeit eingegeben werden. Anhand dieser Parameter stellt der Konfigurator dann eine USV Anlage mit der gewünschten Leistung zusammen.

13 Einfluß des Wirkungsgrades auf die laufenden Kosten

Eine USV Anlage verursacht über die einmaligen Anschaffungskosten hinaus weitere laufende Kosten. Hier sollen die höheren Energiekosten, die durch Einsatz einer USV Anlage entstehen, analysiert werden. Diese Mehrkosten entstehen, weil die USV Anlage für sich selbst auch Leistung benötigt. Diese Verlustleistung entsteht im Gleich- und Wechselrichter, bei der Erhaltungsladung der Batterien und bei der Steuerung der USV Anlage. Der Wirkungsgrad einer USV Anlage ist die technische Größe, die beschreibt wie effektiv die Anlage arbeitet. Der Wirkungsgrad gibt das Verhältnis von zugeführter zur abgegebenen Leistung an. Die Abb. 10.3 zeigt die Formel zur Berechnung des Wirkungsgrades, meist wird dieser in % angegeben.

$$\eta = \frac{P_{ab} \cdot 100\%}{P_{zu}}$$

Abb 10.3 Formel zur Berechnung des Wirkungsgrades

Der Wirkungsgrad der verschiedenen USV Anlagen ist stark von der eingesetzten Technologie abhängig. VFD Anlagen haben meist den besten Wirkungsgrad. Dieses ist damit zu begründen, daß die Anlage nur bei Stromausfall einspringt und der Wechselrichter somit nur bei Stromausfall arbeiten muss. Somit verursacht der Wechselrichter auch nur bei Netzausfall Verlustleistung. Trotz des relativ guten Wirkungsgrads darf jedoch nicht vergessen werden, dass VFD Anlagen lediglich gegen 3 von 10 Netzfehlern schützen. Der Wirkungsgrad von VI Anlagen ist schon deutlich schlechter als der von VFD Anlagen aber trotzdem meist noch besser als der von VFI Anlagen.

Trotz des relativ schlechten Wirkungsgrades sind VFI Anlagen in Rechenzentren auf Grund des hohen Schutzgrades gegen Netzstörungen unumgänglich. Der Wirkungsgrad kann aber auch unter den VFI Anlagen recht unterschiedlich sein. Die Spanne unter den VFI Anlagen reicht von unter 94% bei schlechten Anlagen bis zu 96% bei energiesparsamen Anlagen. Auf den ersten Blick sehen die 2% sehr klein aus, so daß man meint diese vernachlässigen zu können. Die Abb. 10.4 zeigt jedoch das durch eine 2%ige Verschlechterung des Wirkungsgrades die Kosten für die jährliche Verlustleistung um über 50% ansteigen.

PCO (Power Cost of Ownership)		Fabrikat A	Fabrikat B	Ersparnis
				beim Einsatz der Anlage des Fabrikanten B
Leistung in kW	35	35	35	
Wirkungsgrad in %		94,0%	96,0%	
Eingangsleistung in kW		37,2	36,5	
Verlustleistung der USV in kW		2,23	1,46	
kWh pro Jahr		19.570	12.775	
EUR pro kWh	0,15 €	0,15 €	0,15 €	
Zusatzkosten pro Jahr (ohne Kühlung)		2.935,53 €	1.916,25 €	
Kühlkosten pro Jahr (über Kühlfaktor)	0,35	1.027,44 €	670,69 €	
Zusatzkosten pro Jahr inkl. Kühlung		3.962,97 €	2.586,94 €	1.376,03 €
Über 5 Jahre		19.814,84 €	12.934,69 €	6.880,15 €
Über 10 Jahre		39.629,68 €	25.869,38 €	13.760,31 €

Abb. 10.4 Einfluß des Wirkungsgrads auf die jährlichen Betriebskosten der Anlage

Die Abb. 10.4 stellt die zusätzlichen jährlichen Kosten durch den Betrieb zweier VFI USV Anlagen mit unterschiedlichem Wirkungsgrad gegenüber. Die Beispielrechnung geht von einer angeschlossenen Leistung von 35 kW aus. Für die Berechnung der Verlustleistung ist nur die Wirkleistung ausschlaggebend. Mit der abgegebenen Leistung und dem Wirkungsgrad kann die Eingangsleistung der USV Anlage berechnet werden. Hierfür wird die abgegebene Leistung mit 100% multipliziert und das ganze durch den Wirkungsgrad geteilt. Die Verlustleistung der USV Anlage ergibt sich aus der Differenz von Eingangsleistung und Ausgangsleistung.

Um die jährlichen Kosten der Verlustleistung beziffern zu können muss die Verlustleistung aufs Jahr hochgerechnet werden. Es ist davon auszugehen, das die USV Anlage das ganze Jahr über Tag und Nacht in Betrieb ist. Deshalb muss die Verlustleistung mit 24 (für Stunden pro Tag) und 365 (für Tage pro Jahr) multipliziert

werden. Das Ergebnis gibt die Anzahl der für die Verlustleistung verbrauchten kWh pro Jahr an.

Für die Kostenbetrachtung wird ein Preis von 15 cent für eine kWh Strom angesetzt. Bei der derzeitigen Trendentwicklung der Energiepreise ist davon auszugehen, daß die Preise für eine kWh Strom in den nächsten Jahren noch deutlich steigen werden. Um auf die jährlichen Zusatzkosten der USV Anlage ohne Kühlleistung zu kommen müssen die Anzahl der kWh mit den Kosten für eine kWh multipliziert werden.

Die Verlustleistung der USV Anlage wird zum aller größten Teil in Wärm umgesetzt. Damit die Temperatur nicht zu groß wird und die eingesetzten Geräte nicht den Hitzetod sterben, muss der Raum in dem die USV Anlage untergebracht ist gekühlt werden. Die Kühlung bringt weitere Energiekosten mit sich, die sich proportional zur Verlustleistung der USV Anlage verhalten. Auf Grund der Proportionalität kann bei der Berechnung der Kühlkosten einfach mit einem Faktor gearbeitet werden. Die Kosten für die Kühlung ergeben sich durch Multiplikation der Zusatzkosten ohne Kühlung mit dem Kühlfaktor. In der Beispielrechnung wurde ein realistischer Wert von 0,35 für den Kühlfaktor eingesetzt. Die Zusatzkosten pro Jahr inklusive der Kühlkosten ergeben sich aus der Summe von Zusatzkosten pro Jahr (ohne Kühlung) und den Kühlkosten.

Das obenstehende Beispiel zeigt, das sich bereits bei einem Unterschied im Wirkungsgrad von nur 2 Prozentpunkten die Kosten deutlich unterscheiden. Genauer gesagt müssen für den Betrieb der Anlage des Fabrikanten A über 53% mehr Energiekosten bezahlt werden als für den Betrieb der Anlage des Fabrikanten Bs. Schon bei der in der Beispielrechnung verwendeten relativ geringen Anschlussleistung bringt die USV Anlage mit dem besseren Wirkungsgrad eine jährliche Energiekostensparnis von fast 1400 €. Beim Betrieb der USV Anlage über 5 oder 10 Jahre hinweg ergeben sich entsprechend größere Summen. An dieser Stelle wird deshalb noch einmal ausdrücklich darauf hingewiesen, daß der Wirkungsgrad bei der Auswahl einer USV Anlage eine wichtige Größe für die Wirtschaftlichkeit ist.

14 Management der USV Anlage

Da die USV Anlage eine kritische Sicherheitskomponente ist, sollte sie auch gemanagt werden. Die meisten USV Anlagen lassen sich über drei Schnittstellen managen. Die erste Schnittstelle sind die potentialfreien Kontakte. Über die potentialfreien Kontakte können ein paar Statusmeldungen von der USV weitergegeben werden. Üblicherweise werden über je einen Kontakt die Meldungen Netzausfall, Last wird vom Wechselrichter versorgt, Batterie ist entladen, USV ist im Bypassbetrieb und eine Sammelalarm Meldung abgegeben. Weiter kann die USV über einen Eingang in den Bypassbetrieb geschaltet werden.

Weiter verfügen die meisten USV Anlagen über eine serielle Schnittstelle. Über diese serielle Schnittstelle kann ein PC angeschlossen werden, der mit Hilfe eines USV Managementprogramms eine Vielzahl von Informationen von der USV bekommen kann. Das Managementprogramm zeigt an, in welcher Betriebsart sich die USV

momentan befindet. Es können der Ladestrom, die momentane Batteriekapazität, die Eingangsspannung, die Temperatur und die Batterie Autonomiezeit bei der aktuell angeschlossenen Last eingesehen werden. Diese Werte sind auch in der Abb. 14.1 zu sehen.

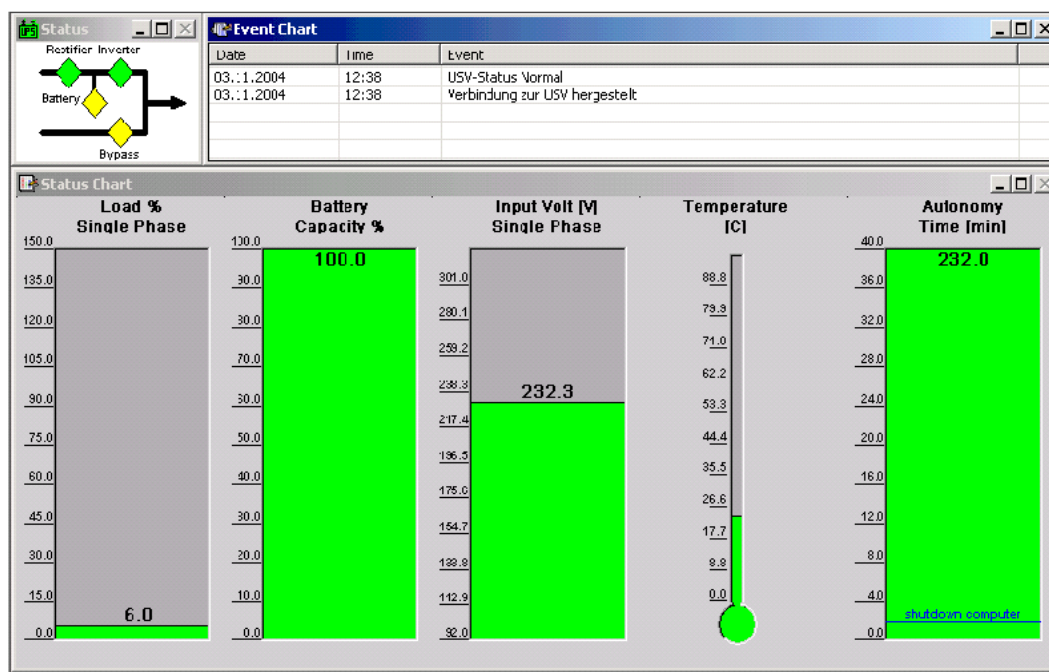


Abb. 14.1 Managementsoftware zur Kommunikation über serielle Schnittstelle

Weiter ermöglicht die USV Managementsoftware das Testen einiger USV Funktionen. Ist eine bestimmte Batteriekapazität unterschritten, so kann die Managementsoftware über das Netzwerk Befehle an andere Server und PCs senden, so dass diese herunter fahren.

Die dritte Möglichkeit des USV Managements funktioniert über das SNMP Protokoll. Hierfür wird eine SNMP Erweiterungskarte in die USV gesteckt. Mit Hilfe der Erweiterungskarte wird eine direkte Verbindung zum Netzwerk hergestellt. Mit dem SNMP Protokoll können über das Netzwerk die gleichen Werte abgefragt und die gleichen Funktionen ausgeführt werden, wie mit der Managementsoftware die über eine serielle Verbindung mit der USV kommuniziert. Das Managen der USV über das SNMP Protokoll hat lediglich den Vorteil, das alle SNMP fähigen Geräte im Netzwerk mit einer einzigen Managementsoftware überwacht werden können. Eine bekannte Software um sämtliche verschiedene SNMP Geräte zu Managen ist HP OpenView Network Node Manager.

15 Service und Wartung der USV Anlage

Bei guten USV Lieferanten beginnt der Service schon vor der Auswahl der USV Anlage mit einer Begehung vor Ort. In diesem Schritt werden Leistungsmessungen vorgenommen, eine Elektroinstallationsplanung gemacht und diese mit dem

Hauselektriker abgestimmt. Der nächste Serviceschritt der USV Anbieter ist der Installationservice. Ein guter Installationservice beginnt mit der Logistiksteuerung und dem mechanischen Aufbau der USV. Der zweite Teil des Installationservices ist die Inbetriebnahme der Anlage. Hierbei wird die Anlage angeschlossen und deren Funktionen getestet. Weiter wird das Personal vor Ort in die Bedienung der Anlage eingewiesen. Der dritte Teil des Installationservices ist die Softwareinbetriebnahme. Die Software wird installiert und an das System angepaßt. Danach wird die Software ins Netzwerk integriert und die IT Verantwortlichen werden in die Bedienung der Software eingewiesen.

Ist der Installationservice erledigt muß über eine kontinuierliche, vorbeugende Wartung nachgedacht werden. Vorbeugende Wartung ist bei allen Sicherheitsrelevanten Betriebseinrichtungen unerlässlich. Insbesondere bei USV Anlagen sollte auf keinen Fall am Service gespart werden. Die Abb. 15.1 macht deutlich wie schnell der Sicherheitsgrad einer USV Anlage sinkt, wenn diese nicht vorbeugend gewartet wird. Wird eine USV jährlich vorbeugend gewartet, so bleibt der Sicherheitsgrad über mehrere Jahre kontinuierlich erhalten. Im Durchschnitt wird eine regelmäßig gewartete Anlage erst im 5. Jahr Reparaturbedürftig. Wird die USV Anlage auch über die erste Reparatur hinaus weiter jährlich gewartet, so ist der Grad der Sicherheit auch weiterhin kontinuierlich auf hohem Niveau.

Die gestrichelte Linie zeigt den Verlauf des Sicherheitsgrades einer USV Anlage, bei der keine vorbeugenden Wartungsarbeiten erfolgen. Es ist zu sehen, daß der Sicherheitsgrad kontinuierlich abnimmt. Durchschnittlich wird eine nicht gewartete USV Anlage bereits zu Beginn des dritten Jahres ausfallen. Auch nach der Reparatur wird der Sicherheitsgrad der USV Anlage weiterhin abnehmen. Weitere Ausfälle sind abzusehen. Durchschnittlich ist eine USV Anlage die nicht regelmäßig gewartet wird bereits im sechsten Betriebsjahr zum dritten mal Reparaturbedürftig.

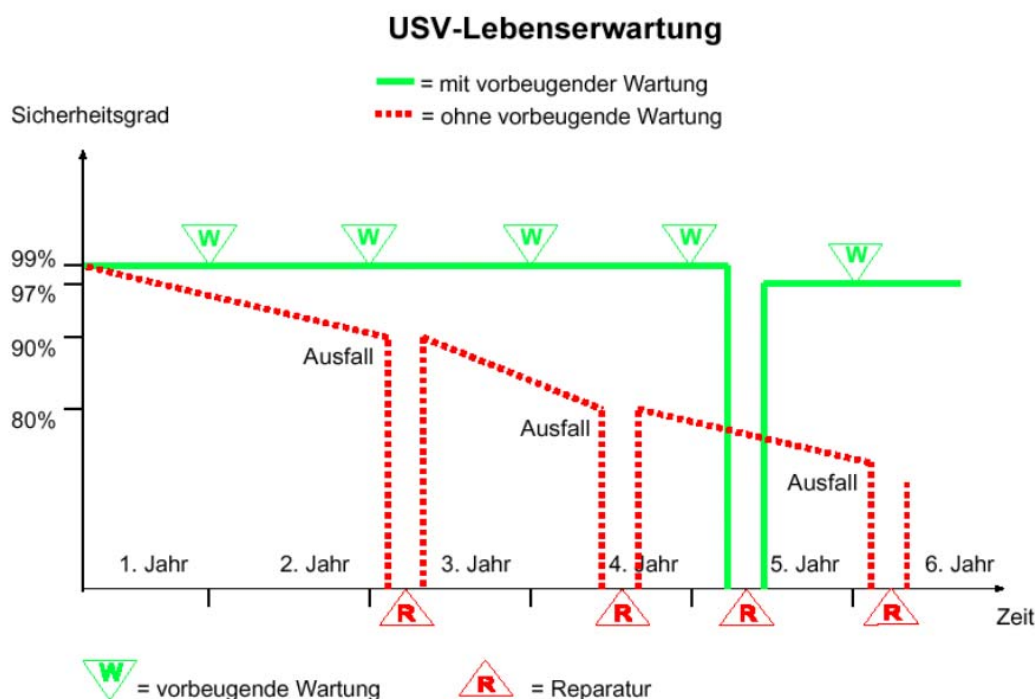


Abb. 15.1 Einfluß der vorbeugenden Wartung auf den Sicherheitsgrad der USV Anlage

Damit die Kunden der USV Anbieter vor dem Verfall des Sicherheitsgrades ihrer Anlagen geschützt sind, wird von Seiten des USV Lieferanten meist auch ein Wartungspaket mit angeboten. Die Wartungspakete sind meist in verschiedene Versionen erhältlich. Die einfachsten Wartungs- bzw. Servicepakete enthalten lediglich den Reparaturservice. Diese einfachste Stufe des Servicepaketes ist nur bei relativ geringem Sicherheitsbedarf empfehlenswert.

Bessere Wartungspakete enthalten auf jeden Fall eine jährliche vorbeugende Wartung. Weiter können die Wartungspakete unterschiedliche Reparaturreaktionszeiten beinhalten. Die Reparaturreaktionszeit ist die Zeit, die vom Eintreffen der Fehlermeldung beim Serviceunternehmen bis zum Reparaturbeginn beim USV Anlagen Kunden vergeht. Für Hochverfügbarkeit gibt es Wartungspakete mit Reaktionszeiten von 4 Stunden. Aber auch bei einfacheren Servicepaketen sollte die Reaktionszeit 48 Stunden nicht überschreiten. Bei den besten Wartungspaketen sind die Arbeits- und Anfahrtszeit ebenso inklusive wie die benötigten Verschleißteile. Die USV Anbieter geben Ihren Kunden mit den verschiedenen Versionen der Wartungspakete somit die Möglichkeit das auf Ihren individuellen Bedarf passende Paket zu kaufen.

16 Resümee

Die ersten Abschnitte dieses White Papers haben aufgezeigt, das in vielen Bereichen eine USV Anlage unverzichtbar ist. Die weiteren Abschnitte haben verdeutlicht, welche Eigenschaften die heute auf dem Markt vorhandenen Systeme unterscheiden und warum auf welche Eigenschaften besonders Wert gelegt werden muß. In allen kritischen Bereichen sind heutzutage nur noch USV Anlagen empfehlenswert, die nach EN 62040-3 der Klasse VFI SS 111 entsprechen. Der Einsatz von Transformatorlosen Ausführungen ist empfehlenswert, da die Anlagen hierdurch leichter und kompakter gebaut werden können und wesentlich leiser im Betrieb sind. Weiter hat die Transformatorlose Technologie meist einen wesentlich besseren Wirkungsgrad als USV Anlagen mit Transformator. Wie wichtig ein guter Wirkungsgrad beim Sparen von Betriebskosten der USV Anlage ist, hat die Beispielsrechnung ja bereits zweifelsfrei aufgezeigt.

Damit die Investition in die USV Anlage auch zukunftssicher ist, sollte auf jeden Fall eine skalierbare USV Anlage ausgewählt werden. Somit kann die USV Leistung mit der Leistung der angeschlossenen kritischen Last wachsen. Um die Sicherheitsstufe durch die USV Anlage weiter zu erhöhen sollte Redundanz vorhanden sein. Die Redundanz kann am sinnvollsten durch modulare n+1 Systeme erreicht werden. Bei der Redundanz ist es wichtig, das wirklich alle Komponenten pro Modul ein mal vorhanden sind. Dies ist nur bei Anlagen mit einer sogenannten Dezentralen Parallel Architektur (DPA), wie sie von Rittal angeboten werden gegeben.

Bei der Auslegung der Größe der USV Anlage können die USV Anbieter Unterstützung leisten. Auch die von verschiedenen Herstellern angebotenen Konfiguratoren können bei der Auslegung der USV Anlage hilfreich sein. Um den Sicherheitsgrad der Anlage auch über die Jahre zu sichern, sollte beim Kauf der USV Anlage ein gutes Wartungs- und Servicepaket mit geordert werden.

Die Firma Rittal stellt mit RimatriX5 ein Systemlösungskonzept vor, welches die gesamte physikalische IT Infrastruktur bereitstellt. Mit diesem Lösungssystem deckt Rittal die Bereiche Rack, Power, Colling und Security ab. Im Bereich Power bietet Rittal mit dem Power Modular Concept (PMC) ein modernes USV System an. Das Power Modular Concept genügt allen Ansprüchen einer flexiblen und hoch verfügbaren USV Anlage.

Deutschlands größtes Planungsbüro für IT Rechenzentren, hat eine Studie über das RimatriX5 Konzept angefertigt. Darin heißt es: „Ferner bekommt der Markt eine durchgängig durchdachte und qualitativ hochwertige Lösung von der Niederspannungshauptverteilung bis zu den Stromanschlüssen für die Endgeräte“.

Über die USV Anlage schreibt das führende Planungsbüro: „Die Modulbauweise ermöglicht eine einfache Anpassung an die tatsächlich benötigte Leistung. Das wirkt sich positiv auf die Energiebilanz und damit auf die Wirtschaftlichkeit aus. Die Erweiterung mit einzelnen USV-Modulen ist wesentlich einfacher als bei konventionellen Lösungen und kann ohne Beeinträchtigung des laufenden Systems durchgeführt werden.“

Zusammenfassend urteilt das unabhängige Planungsbüro: „Wir sehen das Rittal PMC- System gegenüber konventionellen Systemen als eine interessante und innovative Lösung mit guten Marktchancen.“