

Versorgungssicherheit durch unterbrechungsfreie Stromversorgung

D. Eisermann, Fredersdorf bei Berlin

Gebäude und andere empfindliche Anlagen werden in der Regel durch ein Energieversorgungsunternehmen (EVU) mit elektrischer Energie beliefert. Wegen der nicht immer ausreichenden Energiequalität der Stromversorger, aber auch z. B. des hauseigenen Blockheizkraftwerkes (BHKW), kann das Betreiben sensibler Verbraucher am Netz zu Problemen führen. Gegen auf diese Weise hervorgerufene Störungen schützt eine unterbrechungsfreie Stromversorgung (USV). Diese wichtige Komponente zum Erhöhen der Anlagenverfügbarkeit gilt es, richtig auszuwählen.

Wer hat es noch nicht erlebt – mitten bei einer wichtigen Arbeit geht das Licht aus. Das Resultat: schwarze Bildschirme, die Telefonanlage funktioniert nicht mehr usw., usw. Das sind die direkt zu bemerkenden Folgen eines schweren Versorgungsfehlers in Gestalt einer Lücke in der Versorgungsspannung.

Weitere Ereignisse wie Über- und Unterspannungen, Spannungseinbrüche und -spitzen, Übergangsvorgänge (transiente Vorgänge), z.B. Schaltspitzen, Störspannungen und/oder Oberschwingungen im speisenden Netz, führen lediglich zu Abweichungen gegenüber der idealen Sinusform von Strom und Spannung. Ggf. verursachen aber auch solche Funktionsstörungen Schäden an Hard- und Software, die einen stabilen Betrieb von empfindlicher elektronischer Technik unmöglich machen. Studien von Forschungsinstituten, Schadensversicherern und Herstellern von USV-Technik belegen eindrucksvoll die Dauer von solchen Störungen (Bild 1) sowie die hohen Kosten, die Systemabstürze wegen Defekten in der Stromversorgung erzeugen.

Eine repräsentative Umfrage unter führenden Unternehmen lieferte folgende Ergebnisse:

- Jede der befragten Firmen hatte durchschnittlich neun Systemausfälle im Jahr.
- Die Betriebsbereitschaft nach einem Ausfall war erst nach ca. vier Stunden wiederhergestellt.
- Für die Erneuerung der verloren gegangenen Daten muss man je MB mindestens mit 1000 DM Aufwand rechnen.

Autor

Dipl.-Ing. (FH) Dieter Eisermann ist geschäftsführender Gesellschafter der Firma PEES, Fredersdorf bei Berlin.

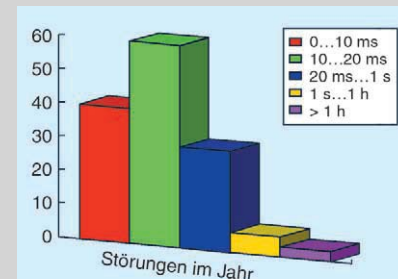
Zunehmend erwarten aber Nutzer von Gebäuden und anderen Einrichtungen in Büro und Industrie den sicheren Betrieb selbst ihrer sensiblen Verbraucher 24 Stunden täglich und 365 Tage im Jahr.

Anerkanntermaßen ist die USV (engl.: UPS – Uninterruptable Power Supply) das geeignete technische Mittel, all die erwähnten Störungen aus dem Versorgungsnetz auszugleichen. Bereits die Planungsphase muss grundlegende Überlegungen über die interne Stromversorgung von Unternehmen und Gebäuden einschließen. Es ist schädlich, die Anforderungen an eine gesicherte Stromversorgung nebenher zu betrachten. Späteren kostenintensiven Störungen würde damit Tür und Tor offen gehalten.

1 Forderungen an eine moderne USV und Kennwerte zur Beurteilung

Eine sichere, unterbrechungsfreie Stromversorgung hinsichtlich stabiler Frequenz, Amplitude und Sinusform soll für eine bestimmte Zeit den Betrieb der angeschlossenen Technik bei Netzausfall oder –störung ohne Unterbrechung garantieren, die Voraussetzung für eine Sicherung der Daten bieten und selbstverständlich die Hardware vor Schäden bewahren. Um diese Ziele zu erreichen, sind eine Reihe von Forderungen und Kennwerte zu erfüllen. Dazu zählen:

- minimale Installationskosten
- wenig Platzbedarf für die Aufstellung
- geringe Wärmeabgabe an die Umwelt
- keine Netzurückwirkungen auf das speisende Netz
- optimale Leistungsanpassung an die zu versorgende Last



1 Dauer und Häufigkeit von Störungen in der Stromversorgung der öffentlichen Versorger

Summe: > 150 Störungen/Jahr

(Quelle: FTZ Darmstadt)

Tafel 1 Wichtige Auswahlkriterien und Bemessungskennwerte einer USV

- **Ausgangsleistung**
Bemessungsgröße der Leistung ist die anzuschließende Last bei einer Leistungsreserve von ca. 25%. Dabei sind die Besonderheiten der Verbraucher (ohmsch mit $\cos \varphi = 1$, motorisch unter Beachtung des Anlaufverhaltens oder stark kapazitiv wegen der auftretenden Spitzenströme) zu beachten.
- **Autonomiezeit**
Erforderliche Versorgungszeit der angeschlossenen Verbraucher mit Nennlast im Störfall. Der Wert wird ausschließlich vom Energiespeicher im Gleichspannungs-Zwischenkreis bestimmt.
- **Überlastfähigkeit**
Für einen definierten Zeitraum zulässiges Verhältnis von Maximal-/Überlast zum Nennwert. Diese Eigenschaft ist wichtig, um Überlasten durch Einschaltmomente motorischer Verbraucher (Einschaltspitzen, Anlaufströme) und das Abschmelzen bzw. Auslösen von Schutzelementen (Sicherungen, Schutzschalter) auf der USV-Sekundärseite zu beherrschen.
- **Crest-Faktor (>3)**
Verhältnis aus Spitzen- und Effektivwert des Ausgangsstromes. Diese Größe ist unbedingt beim Anschluss von Schaltnetzteilen (z.B. bei PC) zu beachten.
- **Wirkungsgrad**
- **Verlustleistung**
Maß für die Wärmeabgabe an die Umgebung und die Höhe der zusätzlichen Elektroenergiekosten, Grundlage für die Dimensionierung von Belüftungs- und Klimaanlage
- **Netzurückwirkungen**
Größe der in das Netz zurückgespeisten Oberwellen
- **Shutdown**
Fähigkeit zum kontrollierten Herunterfahren von angeschlossenen Verbrauchern nach einer bestimmten Autonomiezeit oder einer bestimmten Restkapazität der Batterie. Diese Eigenschaft wird erheblich von der USV-Software beeinflusst. Sie bestimmt ganz wesentlich die Kaufentscheidung.
- **Geräuscentwicklung**

- niedriger Wartungsaufwand für den Betreiber
- Fernüberwachung über die Gebäudeleittechnik oder Internet
- automatischer Shut Down (vg. Tafel ①) der angeschlossenen Komponenten.

Die wichtigsten Kennwerte, die für Auswahl und Bemessung einer USV maßgebend sind, zeigt die Tafel ①. Die richtige Auswahl einer unterbrechungsfreien Stromversorgung (USV) anhand der genannten und weiterer Kriterien verlangt Spezialkenntnisse, die in der Regel nur ein Fachplaner besitzt. Er sollte deshalb bei jedem konkreten Anwendungsfall konsultiert werden.

2 USV-Technologien

2.1 Übersicht

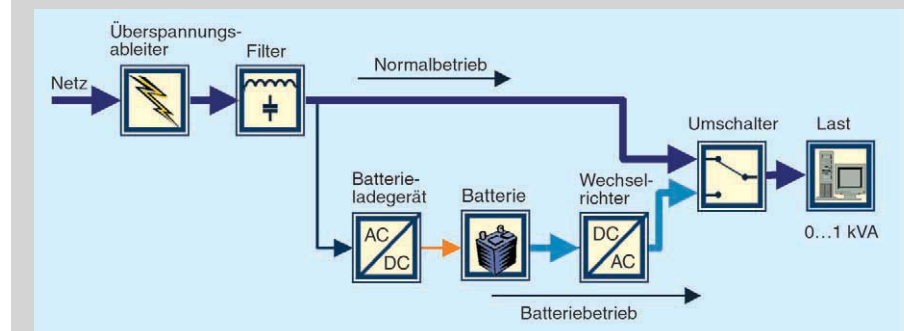
Die Grundschaltung jeder USV bildet der bekannte aus Gleich-, Wechselrichter und Gleichspannungszwischenkreis bestehende Umrichter. Die dazugehörige Steuer- und Regelelektronik ist grundsätzlich in Mikroprozessor-gesteuerter Technik ausgeführt. Darüber hinaus bietet der Markt eine Vielzahl verschiedener Modifikationen bzw. Technologien, die in den jeweiligen Anwendungsbereichen die Bedingungen des Abschnittes 1 erfüllen.

Zum wichtigsten Unterscheidungsmerkmal zählt die Betriebsart. Man unterscheidet zwischen

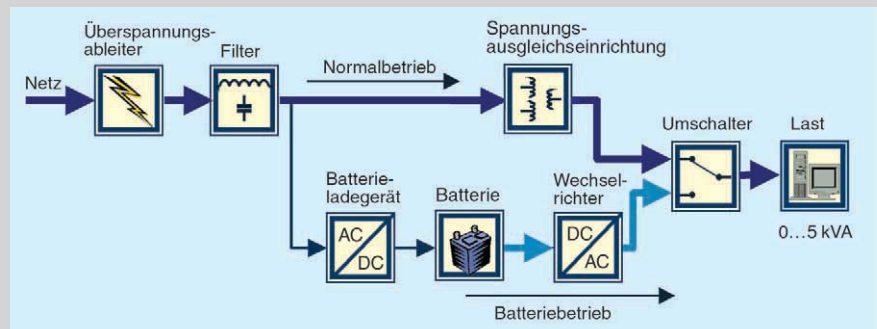
- Off-Line-Systemen und
- On-Line-Systemen.

Off-Line-System. Diese USV (Bild ②) befindet sich während des störungsfreien Betriebes im Ruhezustand und ist vom Verbraucher getrennt. Die Versorgung der Last übernimmt direkt das Netz. Erst bei Verlassen eines definierten Eingangsspannungsfensters wird der Wechselrichter gestartet und zugeschaltet (Cold-Stand-by). Oder der bereits arbeitende Wechselrichter wird auf den Verbraucher geschaltet (Hot-Stand-by bzw. Mitlaufbetrieb). Off-Line-Systeme filtern sehr häufig Netzereignisse wie transiente Vorgänge, regeln aber die Spannung an ihrem Ausgang nicht aus. Diese Arbeitsweise besitzt den Vorteil, preiswert zu sein. Vorteilhaft werden solche USV deshalb bei der Absicherung von einzelnen PCs oder Workstations eingesetzt. Allerdings besteht im Off-Line-Betrieb immer ein Restrisiko. Die unvermeidliche Unterbrechnung von 2 bis 7 msec während des Umschaltens muss vom Verbraucher verkraftet werden.

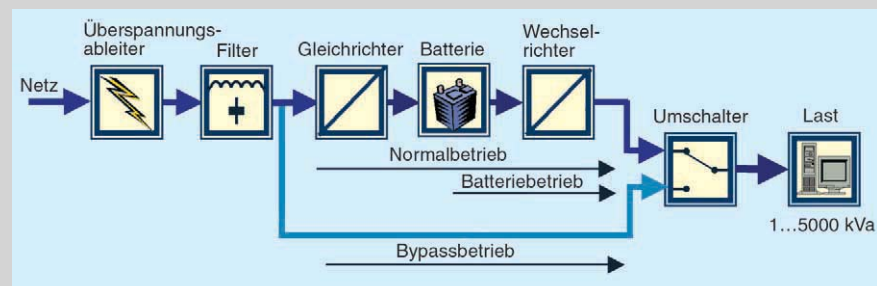
Line-Interaktiv-USV. Das ist eine spezielle Bauform für Leistungen bis zu 5 kVA (Bild ③). Sie bietet einen besseren Schutz als die Variante Off-Line, ist aber gegenüber der On-Line-USV kostengünstiger. In der Umgehung wird bei dieser Betriebsweise ein grobstufiger Spannungsausgleich mit einem



② Off-Line-USV mit Umgehung für den Normalbetrieb



③ Line-Interaktiv-System



④ Doppelwandler-USV

Stufentransformator eingesetzt. Erst wenn die zulässigen Spannungstoleranzen überschritten werden, erfolgt die Umschaltung auf Dauerbetrieb der USV. Diese Bauform eignet sich insbesondere für kleinere Datenetze oder Kommunikationsanlagen.

On-Line-System. Die On-Line-USV versorgt den Verbraucher im Dauerbetrieb. Verschiedenste Regelmechanismen beeinflussen ständig die Ausgangsspannung der USV. Die Anlage stellt eine ungestörte, sinusförmige Spannung gewünschter Amplitude und Frequenz zur Verfügung. Diese Variante wird von verschiedensten Herstellern angeboten. Ihr technischer Hauptunterschied liegt in den Ausregeigenschaften, die das Güte Merkmal gut bis ausgezeichnet verdienen. Da On-Line-USV besonders verbreitet sind, werden die möglichen Lösungen im Folgenden ausführlicher vorgestellt.

2.2 On-Line-USV

Doppelwandler-USV. Diese klassische Bauweise (Bild ④) besteht aus der Grundschaltung mit einem Gleichrichter im Netzeingang, einem Gleichstromzwischenkreis

mit angeschlossener Batterie, einem pulswerten-modulierten (PWM) Wechselrichter mit Ausgangstrafo und einer elektronischen Umgehung (Bypass-Einrichtung, EUE). Im Unterschied zur Off-Line-USV speist der Wechselrichter ständig die Last. Bei Ausfall oder im Falle der Wartung wird die Umgehung EUE eingesetzt.

Im Normalbetrieb synchronisiert sich die USV-Anlage auf das Netz im Bypass-Zweig. Demzufolge schwankt die Ausgangsfrequenz mit zulässiger Toleranz. Verlässt die Frequenz den erlaubten Bereich, wird eine mögliche Umschaltung auf den Bypass-Zweig blockiert und die USV-Anlage richtet sich nach der internen Referenzfrequenz. Diese Verfahrensweise erlaubt jederzeit Umschaltungen auf den Bypass-Zweig, ohne dass die Last oder die USV beanspruchende Ausgleichsvorgänge auftreten.

Die Ausgangsspannung einer USV entspricht immer dem eingestellten, netzunabhängigen Sollwert. Sollte die Eingangsspannung den zugelassenen Schwankungsbereich verlassen, den Extremfall stellt der Netzausfall dar, wechselt die Einrichtung in

den Pufferbetrieb. Die Verbraucher werden aus der im Gleichstromzwischenkreis vorhandenen Batterie über den Wechselrichter unterbrechungsfrei weiterversorgt. Die Dauer dieses Betriebszustandes hängt von der Dimensionierung des Energiespeichers ab.

Auch die On-Line-USV besitzt Nachteile:

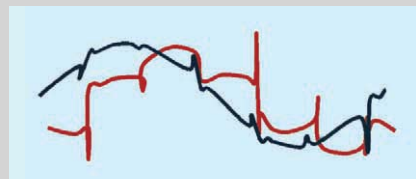
- erzeugte Netzrückwirkungen in Gestalt von Oberschwingungen durch den Thyristorgleichrichter in 6-Puls-/B6- oder 12-Puls-/B12-Schaltung (Bild 5)
 - $\cos \varphi \approx 0,9$ am Netzeingang
 - $\eta = 80$ bis 92% infolge der Grundsaltung mit doppelter Energieumwandlung AC zu DC und anschließend DC zu AC.
- Zur Optimierung dieser USV-Anlagen eingesetzte Zusatzeinrichtungen vermindern zwar die Netzrückwirkungen, verschlechtern jedoch den Wirkungsgrad.

Delta-Umrichter-USV. Dieses On-Line-System besteht aus zwei Wechselrichtern, die an eine gemeinsame Batterie angeschlossen sind (Bild 6). Typisch ist der Delta-Wechselrichter lediglich auf 20% des Ausgangsstromes der USV bemessen und über eine Eingangsinduktivität (Delta-Umwandler) mit dem speisenden Netz verbunden. Die Last wird im Normalbetrieb direkt vom Netz versorgt. Im Störfall übernimmt der Haupt-Wechselrichter die Versorgung der Verbraucher. Deshalb ist er auch für die volle Leistung der USV-Anlage ausgelegt. Die Ausgangsgrößen Strom und Spannung beider Wechselrichter können positiv oder negativ werden. Die Stromrichter sind also in der Lage, sowohl Leistung abzugeben als auch aufzunehmen. Der Haupt-Wechselrichter sorgt dafür, dass die Ausgangsspannung stets präzise ausgeglichen wird. Sie bleibt in allen Betriebsarten, Netz- oder Batteriebetrieb, Wechsel von einer Betriebsart in die andere, stabil.

Der leistungsschwächere Delta-Wechselrichter regelt die Eingangsspannung am Delta-Umwandler aus. Gleichzeitig beeinflusst er auch den Eingangsleistungsfaktor so, dass der vom Netz aufgenommene Strom sinusförmig und phasengleich mit der Netzspannung ist, die USV mit $\cos \varphi \approx 1$ arbeitet. Darüber hinaus reguliert der Delta-Wechselrichter das Laden der Batterie. Das Intelligente an diesem System ist, dass die Wechselrichter nur aktiv werden, wenn die Eingangsspannung vom Nennwert abweicht. Das heißt für den Normalbetrieb, dass für das Ausregeln der Ausgangsspannung im Fall von Über- oder Unterspannung nur der erforderliche Differenzstrom durch die beiden Wechselrichter fließt. Gegenüber dem Doppelwandler sinkt die Verlustleistung erheblich.

Zusammengefasst ergeben sich folgende Vorzüge:

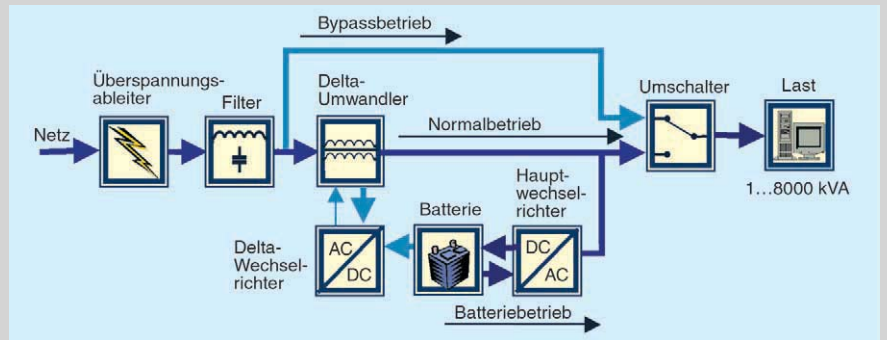
- keine Netzrückwirkungen (Bild 7)
- $\cos \varphi \approx 1$ am Netzeingang
- hoher Wirkungsgrad (Verluste < 4%).



5 Oberwellenhaltige Netzspannung der Doppelwandler-USV mit B6-Gleichrichter
rot Strom
blau Spannung



7 Oberwellenfreie Netzspannung der Delta-USV
rot Strom
blau Spannung



6 USV mit Delta-Umrichter

3 Betriebsarten von USV-Anlagen

Die beschriebenen Bauformen können in unterschiedlichen Betriebsarten arbeiten. **Monoblockbetrieb.** Bei dieser klassischen Betriebsart (Bild 8) wird zwischen das unregulierte Netz (Energieversorger- bzw. Hausnetz) und den stabil zu versorgenden Verbraucher eine der beschriebenen USV-Anlagen geschaltet. Auf der Sekundärseite wird so ein völlig unabhängiges Versorgungsnetz aufgebaut. Seine erforderliche Leistung und Ausdehnung bestimmt die Größe der USV.

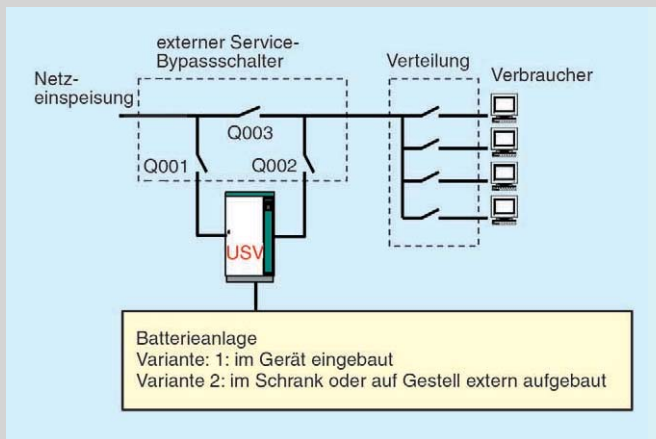
Zur Erhöhung der Verfügbarkeit sollte ein externes Bypass-System installiert werden, so dass die Möglichkeit der völligen Freischaltung der USV-Anlage zu Wartungsarbeiten, Reparaturen und Testläufen besteht, ohne dass die Verbraucher abgeschaltet werden müssen.

Parallelbetrieb. Um die Leistung einer Anlage zu erhöhen, kann eine neue größere USV-Anlage eingesetzt werden. Günstiger ist es oft, die Leistungssteigerung durch Parallelschaltung von Monoblock-Anlagen zu erreichen. Moderne USV-Systeme sind mit Hilfe zusätzlicher Steuerkomponenten zu Leistungsaufteilung und gegenseitiger Kontrolle des Betriebszustandes parallelschaltbar (Bild 9). Die Teil-USV, die sich zuerst mit dem Netz synchronisiert hat, übernimmt immer die Funktion des Masters. Ein externes Bypass-System erhöht ebenfalls die Verfügbarkeit, so dass die USV-Anlagen für die oben beschriebenen Arbeiten freigeschaltet werden können, ohne die Verbraucher vom Netz trennen zu müssen.

Skalierbare USV-Anlagen. Mit solchen USV-Anlagen kann man jederzeit Leistungserhöhungen oder -minderungen vornehmen, ohne die Versorgung der Verbraucher zu beeinträchtigen. Sie zeichnen sich somit durch hohe Flexibilität bei der Leistungsbereitstellung aus.

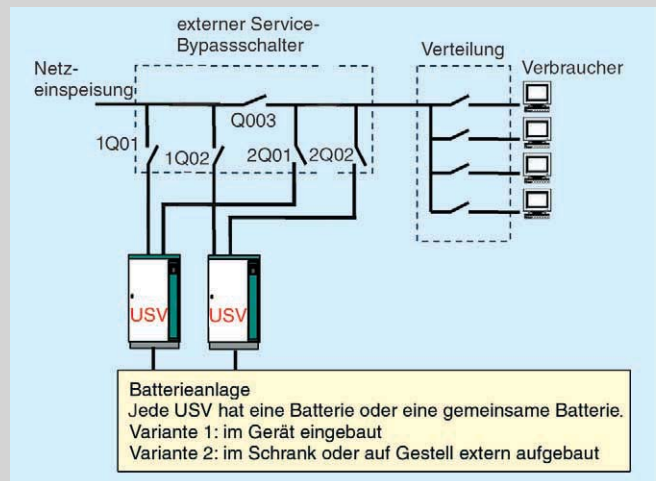
Skalierbare USV bestehen aus einem mechanischen Grundgerüst mit einer redundanten Steuerelektronik zur Überwachung der einzelnen Module. Dieses Gestell nimmt je nach Bedarf USV-Module kleiner Leistung (ca. 2 – 5 kVA) und zusätzliche Batteriepacks zum Erhöhen der Autonomiezeit auf. Dieses Prinzip gestattet natürlich den Aufbau von n+1-Redundanzen. Ihr Leistungsbereich ist zur Zeit auf ca. 20 kVA begrenzt.

Redundanter Halblast-Parallelbetrieb. Zur Versorgung besonders wichtiger technologischer Prozesse ist es erforderlich, zusätzliche Sicherheitsvorkehrungen bei der Stromversorgung vorzunehmen. Als geeignete Lösung unterscheidet sich der redundante Halblast-Parallelbetrieb vom Parallelbetrieb lediglich in der Dimensionierung der aktiven Komponenten. Die erforderliche Ausgangsleistung übersteigt die maximale Nennlast einer einzigen USV nicht. Bei Ausfall oder Abschalten einer Teilanlage kann so die in Betrieb bleibende die volle Leistung übernehmen. Bei einer Vollredundanz müssen dazu beide Batterien für die Nennlast der USV-Anlage ausgelegt werden. Wird nur eine gemeinsame Batterieanlage für beide USV installiert, ist in die richtige Dimensionierung zusätzlich zur Nennlast die Verlustleistung der zweiten USV einzubeziehen.

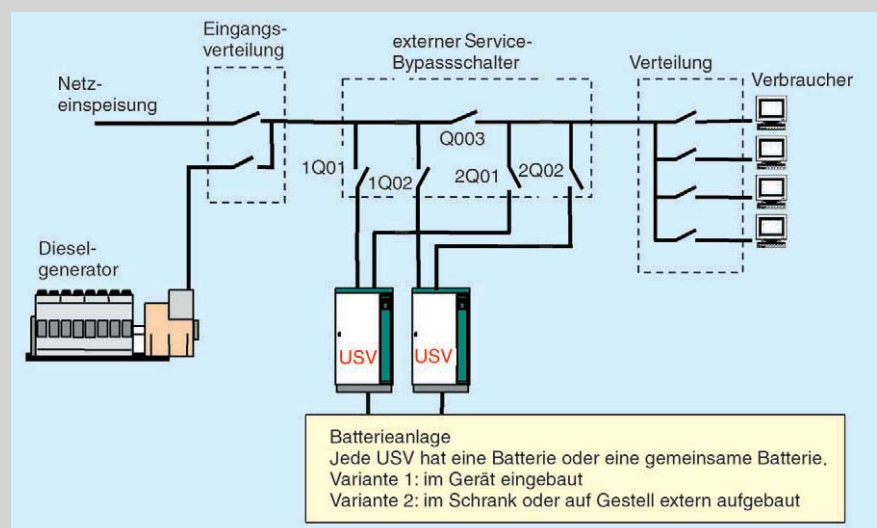


8 USV im Monoblockbetrieb

Batterie kann im Gerät (kleinere Leistung) sowie im Schrank oder auf Gestell (größere Leistung) untergebracht sein.



9 Parallelbetrieb von 2 USV



10 Kombination USV – Notstromanlage (Dieselgenerator)

Tafel 2 Leistungsbereiche und Anwendungsgebiete

Charakteristik/ Technologie	Leistungs- bereich (kVA)	Anforderungen an die Qualität der Ausgangs- spannung	Wirkungs- grad	Wechsel- richter On-Line Betrieb	Haupt- anwendung
Off-Line	0 – 1,0	niedrig	sehr hoch	nein	Einzel- arbeitsplätze
Line interactive	0,5 – 3	konstruktions- abhängig	sehr hoch	konstruktions- abhängig	kleine Netzwerke
Doppelwandler	5 – 1000	hoch	niedrig	ja	Gebäudetechnik und Industrie im gesamten Leistungs- bereich
Delta-Umrichter Online	5 – 800	hoch	hoch	ja	

USV- und Notstromanlage (Dieselgenera-

tor). Übersteigen die geforderten Autonomiezeiten die wirtschaftliche Batteriegröße, bietet sich die Kombination mit einer Notstromanlage (Dieselgenerator) an (Bild 10). Die Umschaltzeit (ca. 15 bis 30 sec.) zwischen Netzausfall und der Versorgung durch das Dieselaggregat überbrückt die USV. Außerdem lässt die Konfiguration Fehlstarts des Diesels zu, ohne dass die Verbraucher in der Versorgung beeinträchtigt werden. Der Vorteil dieser Kombination drückt sich in der kurzen Autonomiezeit der USV (5 – 10 min.) und somit einer kleinen Batterie aus. Bei der Bemessung des Dieselgenerators sind die Eingangsdaten der USV-Anlage zu berücksichtigen. Dazu zählen:

- Einschaltströme der Gleichrichter
- Netzzrückwirkungen
- Eingangsleistungsfaktor.

Überschlägig entspricht die erforderliche Generatorleistung etwa der 2,5-fachen USV-Leistung. Bei dem Delta-Wandler kann auf Grund seiner besonderen Eigenschaften die Generatorleistung sogar mit der USV-Leistung übereinstimmen.

4 Anwendungsempfehlungen und Kommunikation

Tafel 2 fasst für die beschriebenen Technologien die Leistungsbereiche und die bevorzugten Anwendungsgebiete zusammen. Für die Gebäudetechnik und die Bürokommunikation eignen sich insbesondere die Online-Varianten (Bild 11).

Moderne USV-Systeme besitzen unabhängig von ihrer Ausführung leistungsfähige, standardisierte Kommunikationsschnittstellen. Über sie erfolgt in Verbindung mit zusätzlicher Hard- und Software mit allen gängigen Betriebssystemen der Datenverarbeitung eine intelligente Kommunikation. Die Fernüberwachung über Telefon bzw. Funk oder Internet werden dadurch zu selbstverständlichen Praktiken.



11 Online-USV Smart-UPS® DP (4,6,8,10 kVA), Lösung für Netzwerke und Rechenzentren

(Foto: PEES, APC)