

Grundlagenreihe Stromversorgungen und Verbraucher besonderer Art – Teil 3 Unterbrechungsfreie Stromversorgungsanlagen (USV)

Verfügbarkeit und Versorgungssicherheit elektrischer Leistung

Die zuvor beschriebenen Störungen können Einfluss haben auf:

- die Sicherheit von Personen
- die Sicherheit von Sachen
- die Wirtschaftlichkeit eines Unternehmens oder den Produktionsprozess.

Demzufolge ist eine Störungsbeseitigung unverzichtbar.

Zur Störungsbeseitigung stehen einige technische Lösungen mit unterschiedlicher Effektivität zur Verfügung. Diese Lösungen können hinsichtlich zweier Kriterien miteinander verglichen werden:

- Verfügbarkeit der gelieferten Leistung
- Qualität der gelieferten Leistung

Die Verfügbarkeit elektrischer Leistung kann betrachtet werden als die Zeit pro Jahr, in der Spannung an den Verbraucherklammern vorhanden ist. Die Verfügbarkeit wird hauptsächlich durch Spannungsunterbrechungen aufgrund von Netzausfällen oder Störungen des elektrischen Netzes beeinträchtigt.

Es gibt einige Lösungen zur Risikobegrenzung:

- Aufteilung der Anlage unter Verwendung von nicht nur einer Stromversorgung, sondern mehrerer Stromversorgungen.
- Unterteilung der Anlage in ersatzstromberechtigte und nichtersatzstromberechtigte Stromkreise, wobei die Spannungsversorgung ersatzstromberechtigter Stromkreise ggf. durch eine andere verfügbare Stromversorgung übernommen werden kann.
- Lastabwurf, so dass (ggf.) eine kleinere verfügbare Bemessungsleistung zur Ersatzstromversorgung verwendet werden kann.
- Wahl eines Netzsystems, das auf die Betriebskontinuität ausgelegt ist, z.B. das IT-System.
- Selektivität der Schutzeinrichtungen (selektive Auslösung) zur Begrenzung der Auswirkungen eines Fehlers auf den mit einem Fehler behafteten Anlagenteil.

Es sei darauf hingewiesen, dass die einzige Möglichkeit, die Verfügbarkeit elektrischer Leistung bei Netzausfall zu gewährleisten, darin besteht, zusätzlich zu den oben genannten Maßnahmen zumindest für ersatzstromberechtigte Verbraucher eine eigenständige Stromquelle einzusetzen (siehe **Abb. N15**).

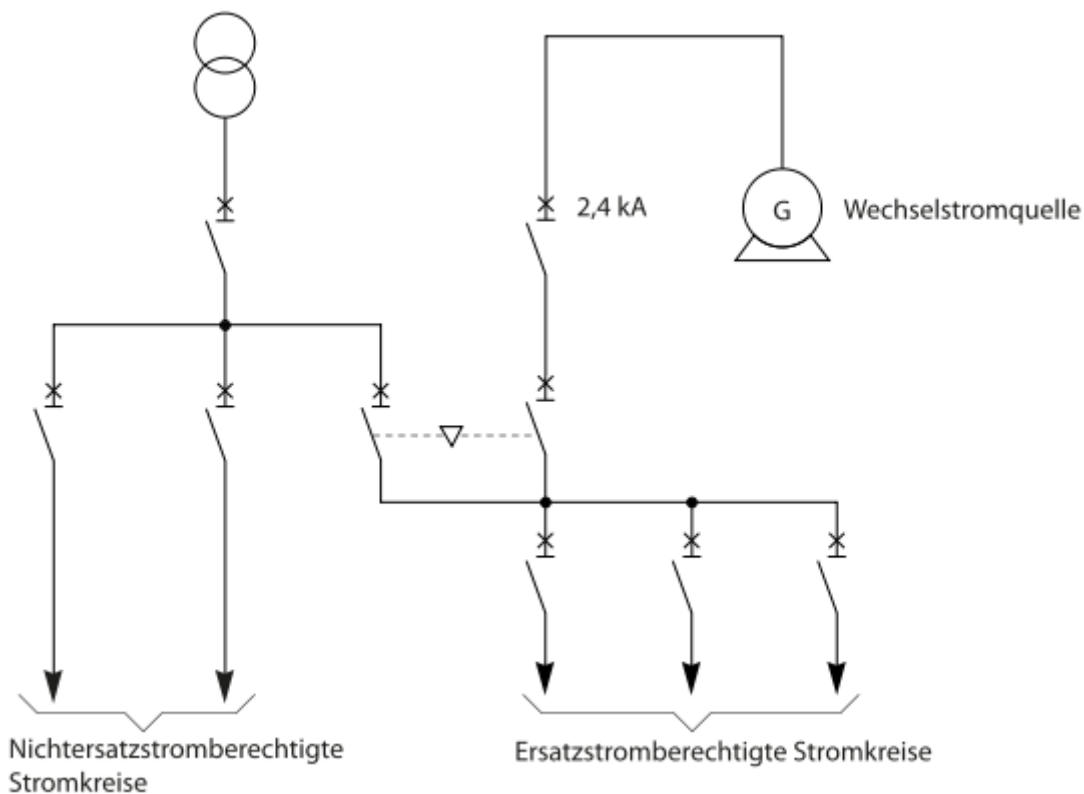


Abb. N15: Verfügbarkeit elektrischer Leistung

Diese Stromquelle übernimmt die Versorgung bei Ausfall des Versorgungsnetzes eines Netzbetreibers, wobei zwei Faktoren berücksichtigt werden müssen:

- Die Umschaltzeit (erforderliche Zeit für die Übernahme vom Netzbetreiber), die für die Verbraucher zulässig sein muss.
- Die Betriebszeit, während der die Verbraucher versorgt werden können.

Die Verfügbarkeit elektrischer Leistung wird maßgeblich bestimmt durch die Beseitigung von Störungen an den Anschlussklemmen der Verbraucher.

Eine Netzeinspeisung ist ein Mittel zur Gewährleistung der Verfügbarkeit elektrischer Leistung an den Anschlussklemmen der Verbraucher, sie gewährleistet jedoch in vielen Fällen nicht die vollständige Verfügbarkeit der gelieferten Leistung hinsichtlich der zuvor genannten Störungen.

Heutzutage benötigen viele empfindliche elektronische Geräte eine elektrische Energieversorgung, die nahezu störungsfrei ist, d.h. ohne Ausfälle, mit engeren Toleranzwerten als die Versorgung durch den Netzbetreiber.

Dies gilt z.B. für Rechenzentren, Telefonzentralen und viele industrielle Steuerungs und Überwachungssysteme.

Diese Anwendungen erfordern Lösungen, die sowohl die Verfügbarkeit als auch die Qualität des elektrischen Netzes gewährleisten.

Lösung durch eine USV-Anlage

Die Lösung für empfindliche Verbraucher besteht in der Zwischenschaltung einer leistungsstarken Ersatzstromversorgung zwischen dem Netzbetreiber und den betreffenden Verbrauchern, die eine Spannungsversorgung gewährleistet, die:

- frei ist von allen in der Versorgungsspannung des Netzbetreibers vorhandenen Störungen und die die strengen Toleranzwerte der Verbraucher einhält,
- verfügbar ist im Fall eines Netzausfalls (innerhalb der festgelegten Toleranzwerte): USV-Anlagen (Unterbrechungsfreie Stromversorgungsanlagen) erfüllen diese Anforderungen hinsichtlich der Verfügbarkeit und Qualität der elektrischer Leistung durch:
 - die Versorgung von Verbrauchern mit Spannung, die den strengen Toleranzwerten entspricht (unter Verwendung eines Wechselrichters),
 - die Bereitstellung einer eigenständigen Ersatzstromquelle (unter Verwendung einer Batterie),
 - den Einsatz beim Ausfall der Netzversorgung des Netzbetreibers und zwar ohne Umschaltzeit, d.h. ohne jegliche Unterbrechung der Stromversorgung des Verbrauchers (unter Verwendung eines statischen Schalters).

Diese Eigenschaften machen USV-Anlagen zur idealen Backup-Versorgung für alle empfindlichen Anwendungen, da sie die Qualität und Verfügbarkeit elektrischer Leistung gewährleisten und dies unabhängig von der Netzversorgung des Netzbetreibers.

Eine USV-Anlage besteht aus folgenden Hauptkomponenten:

- Gleichrichter/Ladegerät zur Erzeugung einer Gleichspannung zum Laden einer Batterie und zur Versorgung eines Wechselrichters
- Wechselrichter zur Erzeugung elektrischer Leistung hoher Qualität, d.h. sie
 - ist frei von allen in der Spannungsversorgung des Netzbetreibers vorhandenen Störungen, besonders von kurzzeitigen Unterbrechungen,
 - liegt innerhalb der erforderlichen Toleranzwerte für empfindliche elektronische Geräte (z.B. die für Rechenzentren vorgesehene USV-Anlage für hohe Leistungen von Schneider Electric vom Typ Galaxy, mit einer Amplitudentoleranz $\pm 0,5\%$ und Frequenztoleranz $\pm 1\%$, verglichen mit $\pm 10\%$ und $\pm 5\%$ in Versorgungssystemen des Netzbetreibers. Dies entspricht einem Verbesserungsfaktor von jeweils 20 und 5).
- Batterie. Sie ermöglicht eine ausreichende Überbrückungszeit (von 8 Minuten bis zu 1 Stunde oder länger) zur Gewährleistung der Sicherheit von Mensch und Maschine, indem sie die Versorgung aus dem Netz des Netzbetreibers bei Bedarf ersetzt.
- Statischer Schalter. Ein Halbleiter-Gerät zur Übertragung der elektrischen Leistung vom Wechselrichter zum Verbraucher und zurück und dies ohne jegliche Unterbrechung der Spannungsversorgung.

Ausführungen statischer USV-Anlagen

Die Ausführungen statischer USV-Anlagen werden in den Norm der Reihe IEC 62040-1 (VDE 0558-510) festgelegt. In der IEC 62040-3 (VDE 0558-530) werden drei Klassen unterschieden:

- VFD (Voltage and Frequency Dependant) (Standby- oder Offline-USV)
- VI (Voltage Independent) (Line-Interactive-, Single-Conversion-USV)
- VFI (Voltage and Frequency Independent) (Online-, Double-Conversion-USV)

Diese Definitionen beziehen sich auf den USV-Anlagenbetrieb hinsichtlich der Stromquelle, die das der USV vorgeschalteten Verteilungssystem beinhaltet.

IEC 62040-3 (VDE 0558-530) definiert folgende Ausdrücke:

- Primärleistung: Normalerweise stets verfügbare Leistung, die im Allgemeinen von einem Netzbetreiber geliefert wird, jedoch manchmal auch vom Kunden erzeugt wird.
- Reserveleistung: Leistung, die die Primärleistung im Fall eines Primärleistungsausfalls ersetzen soll.
- Bypass-Leistung: über die Bypass-Schaltung gelieferte Leistung.

Eine USV-Anlage verfügt praktisch über zwei Wechselstromeingänge, die in diesem Planungskompandium als „normaler Wechselstromeingang“ und „Bypass-Wechselstromeingang“ bezeichnet werden.

- Der „normale Wechselstromeingang“ (Netzeinspeisung 1) wird über ein Kabel oder eine Leitung mit Primärleistung versorgt, die entweder mit einer Einspeisung aus dem Verteilnetz des Netzbetreibers oder über ein kundeneigenes Verteilnetz verbunden ist.
- Der „Bypass-Wechselstromeingang“ (Netzeinspeisung 2) wird im Allgemeinen mit einer Reserveleistung versorgt, z.B. über ein Kabel oder eine Leitung, die mit einer anderen als für den „normalen Wechselstromeingang“ verwendeten Einspeisung aus dem Verteilnetz oder über eine Einspeisung aus einer Netzersatzanlage (Generator oder weitere USV) verbunden wird.

Steht keine Netzersatzanlage zur Verfügung, wird der „Bypass-Wechselstromeingang“ über ein weiteres Kabel oder eine Leitung mit Primärleistung versorgt (parallel zum „normalen Wechselstromeingang“).

Der „Bypass-Wechselstromeingang“ dient zur Versorgung der Bypass-Leitungen der USV-Anlage (falls vorhanden). Folglich werden die Bypass-Leitungen mit Primär- oder Reserveleistung versorgt, je nachdem ob eine Netzersatzanlage vorhanden ist oder nicht.

USV-Anlagen im passiven Standby

Funktionsprinzip

Der Wechselrichter ist parallel zum Wechselstromeingang geschaltet (s. **Abb. N16**).

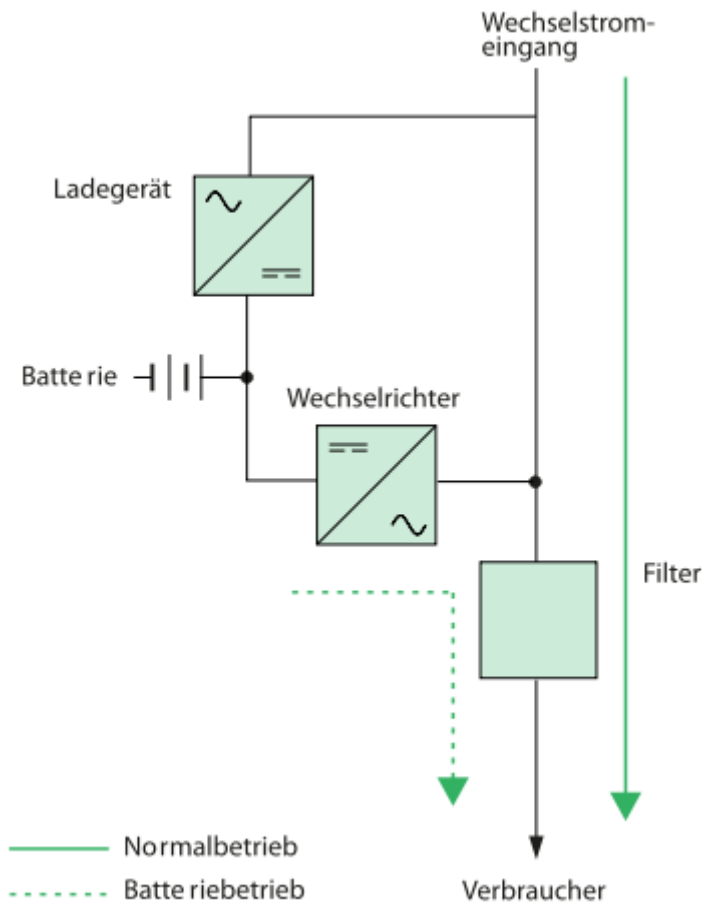


Abb. N16: USV-Anlage im passiven Standby „VFD“

- **Normalbetrieb**
Der Verbraucher wird über einen Filter durch das Verteilnetz des Netzbetreibers versorgt. Der Filter beseitigt bestimmte Störungen und übernimmt einen Teil der Spannungsregelung (in der Norm wird von „zusätzlichen Geräten ... zur Leistungsverbesserung“ gesprochen). Der Wechselrichter kommt im Ersatzbetrieb zum Einsatz.
- **Batteriebetrieb**
Liegt die Wechselstromeingangsspannung außerhalb festgelegter Toleranzwerte der USV-Anlage oder tritt ein Netzausfall auf, kommen der Wechselrichter und die Batterie zum Einsatz, um für den Verbraucher nach einer sehr kurzen Umschaltzeit (< 10 ms) eine unterbrechungsfreie Stromversorgung zu gewährleisten. Die USV-Anlage läuft weiterhin im Batteriebetrieb bis zum Ende der Überbrückungszeit der Batterie oder bis zum Ende des Netzausfalls, wodurch die Last wieder mit der Netzspannung versorgt wird (Normalbetrieb).

Verwendung

Diese Ausführung ist ein Kompromiss zwischen einem ausreichenden Schutz bei Netzstörungen und niedrigen Kosten. Sie kann nur bei niedrigen Bemessungsleistungen ($< 2 \text{ kVA}$) eingesetzt werden.

Sie wird ohne statischen Schalter betrieben, so dass eine gewisse Zeit erforderlich ist, um die Last zum Wechselrichter zu übertragen. Diese Zeit ist zwar für bestimmte einzelne Anwendungen zulässig, jedoch nicht für die erforderliche Leistung hochentwickelter, empfindlicher Systeme (große Rechenzentren, Telefon-zentralen usw.).

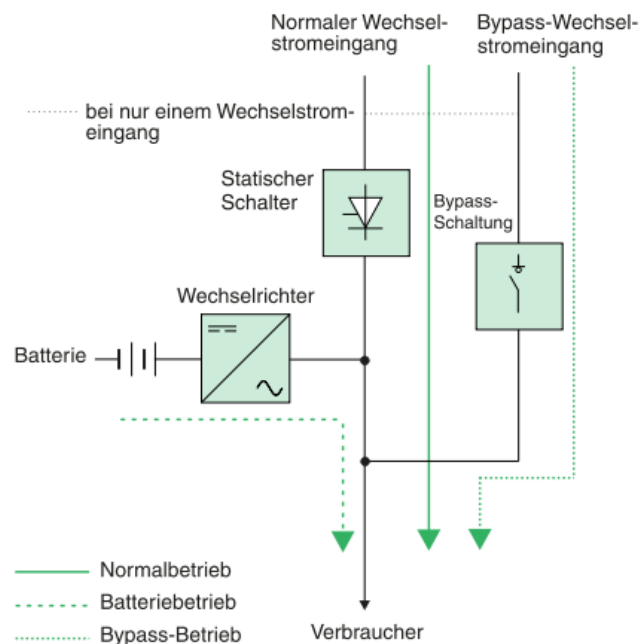
Desweiteren wird die Frequenz nicht geregelt und es ist keine Bypass-Schaltung enthalten.

Anmerkung: Im Normalbetrieb fließt der Versorgungsstrom des Verbrauchers nicht durch den Wechselrichter, daher wird diese USV-Ausführung manchmal auch als „Offline-USV“ bezeichnet. Dieser Ausdruck ist allerdings irreführend, denn er weist ebenso auf „keine Versorgung durch das Verteilnetz des Netzbetreibers“ hin, auch wenn der Verbraucher vom Netzbetreiber über den Wechselstromeingang während des Normalbetriebs versorgt wird. Daher empfehlen die Normen der Reihe IEC 62040 (VDE 0558) den Ausdruck „Standby-USV“.

USV-Anlagen im Parallelbetrieb

Funktionsprinzip

Der Wechselrichter ist parallel zum Wechselstromeingang geschaltet und lädt die Batterie. Daher wirkt er zusammen mit der Stromquelle des Wechselstromeingangs (Umkehrbetrieb)



(siehe **Abb. N17**).

Abb. N17: USV-Anlage im Parallelbetrieb „VI“

- **Normalbetrieb**
Der Verbraucher wird mit bereits entstörter Leistung über einen parallelen Anschluss des Wechselstromeingangs und des Wechselrichters versorgt. Der Wechselrichter übernimmt die Entstörung der Ausgangsspannung und/oder das Laden der Batterie. Die Ausgangsfrequenz hängt von der Wechselstromeingangsfrequenz ab.
- **Batteriebetrieb**
Liegt die Wechselstromeingangsspannung außerhalb festgelegter Toleranzwerte der USV-Anlage oder tritt ein Netzausfall auf, kommen der Wechselrichter und die Batterie zum Einsatz, um für den Verbraucher eine unterbrechungsfreie Stromversorgung zu gewährleisten. Dies geschieht nach einer unterbrechungsfreien Umschaltung mit Hilfe eines statischen Schalters, der ebenso den Wechselstromeingang trennt, um zu verhindern, dass Leistung vom Wechselrichter zu vorgeschalteten Anlagenteilen fließt. Die USV-Anlage läuft im Batteriebetrieb bis zum Ende der Überbrückungszeit der Batterie oder bis zum Ende des Netzausfalls, wodurch die Last zurück zum Wechselstromeingang übertragen wird (Normalbetrieb).
- **Bypass-Betrieb**
Diese USV-Ausführung kann mit einer Bypass-Schaltung ausgestattet sein. Bei Fehlern in einer USV kann die Last zum Bypass-Wechselstromeingang übertragen werden (versorgt durch Netzbetreiber oder Ersatzstromversorgung, je nach Anlage).

Verwendung

Diese Ausführung ist nicht gut geeignet zur Regelung empfindlicher Verbraucher mit mittlerem bis hohem Leistungsbedarf, da keine Frequenzregelung möglich ist.

Aus diesem Grund wird sie am häufigsten für niedrige Bemessungsleistungen eingesetzt.

USV-Anlagen im Dauerbetrieb (mit einem gemeinsamen Gleichrichter für Wechselrichter und Batterie)

Funktionsprinzip

Der Wechselrichter ist in Reihe zwischen Wechselstromeingang und Anwendung geschaltet.

- **Normalbetrieb**
Der Wechselrichter versorgt dauernd die Last und wird entweder aus der Wechselstromversorgung über den Gleichrichter oder aus der Batterie gespeist. Der Gleichrichter muss für das Laden und die Erhaltungsladung der Batterie geregelt ausgeführt sein.
- **Batteriebetrieb**
Liegt die Wechselstromeingangsspannung außerhalb festgelegter Toleranzwerte der USV-Anlage oder tritt ein Netzausfall auf, kommen der Wechselrichter und die Batterie zum Einsatz, um für den Verbraucher eine unterbrechungsfreie Stromversorgung zu gewährleisten. Dies geschieht nach einer unterbrechungsfreien Umschaltung mit Hilfe eines statischen Schalters. Die USV-Anlage läuft im Batteriebetrieb bis zum Ende der

Überbrückungszeit der Batterie oder bis zum Ende des Netzausfalls, wodurch die Last wieder über das Normalnetz versorgt wird (Normalbetrieb).

- Bypass-Betrieb

Diese USV-Ausführung ist im Allgemeinen mit einer statischen Bypass-Schaltung ausgestattet, die auch als statischer Schalter bezeichnet wird (siehe **Abb. N18**).

Die Last kann unterbrechungsfrei zum Bypass-Wechselstromeingang übertragen werden (versorgt durch Netzbetreiber oder Ersatzstromanlage, je nach Anlage), wenn Folgendes eintritt:

- o Ausfall der USV-Anlage,
- o kurzzeitige Überlastströme (oder Fehlerströme),
- o Lastspitzen.

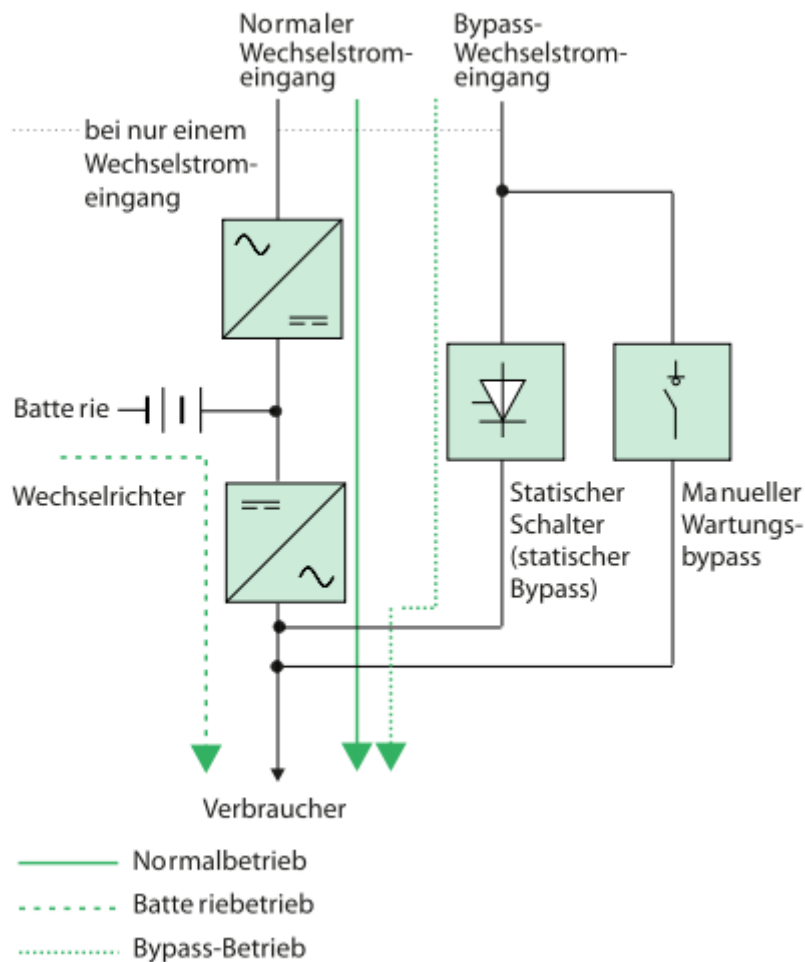


Abb. N18: USV-Anlage im Dauerbetrieb „VFI“

Dennoch setzt eine vorhandene Bypass-Schaltung voraus, dass die Eingangs- und Ausgangsfrequenzen identisch sind. Sind die Spannungswerte nicht identisch, ist ein Bypass-Transformator erforderlich.

Für bestimmte Verbraucher muss die USV-Anlage mit der Einspeisung vom Bypass synchronisiert werden, um eine unterbrechungsfreie Stromversorgung zu gewährleisten. Weiterhin kann im Bypass-Betrieb der USV-Anlage eine Störung an der Stromquelle des Wechselstromeingangs direkt zum Verbraucher übertragen werden, weil der Wechselrichter nicht mehr länger zum Einsatz kommt.

Anmerkung: Häufig ist eine weitere Umgehung für Wartungszwecke verfügbar (häufig als Wartungsbypass bezeichnet). Sie wird über einen Handschalter geschlossen.

Verwendung

In dieser Ausführung ist die erforderliche Zeit zur Übertragung der Last zum Wechselrichter aufgrund des statischen Schalters vernachlässigbar.

Ebenso hängen Ausgangsspannung und -frequenz nicht von Eingangsspannung und -frequenz ab. Das bedeutet, dass die USV-Anlage ggf. als Frequenzumrichter betrieben werden kann.

Hier handelt es sich praktisch um die wichtigste Ausführung für den Mittel- und Hochleistungsbereich (10 kVA und höher). Im restlichen Kapitel wird nur diese Ausführung betrachtet.

Anmerkung: Diese USV-Ausführung wird häufig als „Online-USV“ bezeichnet. Das heißt, dass der Verbraucher stets über den Wechselrichter versorgt wird, unabhängig von den Bedingungen an der Einspeisung des Wechselstromeingangs. Dieser Ausdruck ist allerdings irreführend, denn „On-Line“ bedeutet auch am Netz des Netzbetreibers. Nach IEC 62040-3 (VDE 0558-530) sollte der Ausdruck „On-Line“ nicht gebraucht werden, sondern „USV im Dauerbetrieb“.