

# Optimierter Einsatz von USV-Anlagen

Merkblatt für Planer und Betreiber von USV-Anlagen



Programm  
Elektrizität

USV-Anlagen werden zum Schutz der Verbraucher vor Störungen im Netz oder dem Ausfall der Netzversorgung sowie zur Reduktion von Netzurückwirkungen eingesetzt. Die detaillierte Kenntnis der Anforderungen und der Qualität von Verbrauchern und des Netzes bilden die Basis für einen optimierten und Kosten sparenden Einsatz der USV-Anlagen.

## Anforderungen der Verbraucher und des versorgenden Netzes berücksichtigen!

USV-Anlagen sind mehr als nur eine sichere Stromversorgung. Die Aufgaben, die eine USV-Anlage erfüllen muss, sind abhängig von den Anforderungen der Verbraucher sowie von der Qualität und den Anforderungen des versorgenden Netzes. Eine diesbezüglich differenzierte Betrachtung bildet die Voraussetzung für einen optimierten Einsatz von USV-Anlagen und führt somit zur Reduktion von Investitions- und Betriebskosten.

## Die drei Funktionen der USV-Anlagen

a) Bei einem Ausfall oder Unterbruch der Netzversorgung schaltet die USV-Anlage automatisch auf den Batteriebetrieb um und stellt dadurch die Stromversorgung sicher (Fig. 1).

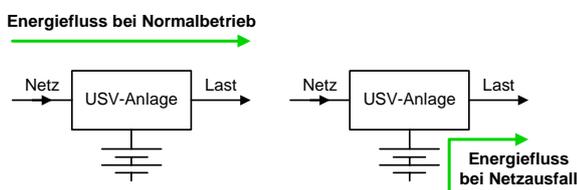


Fig. 1 Energiefluss im Normalbetrieb und bei Netzausfall oder Netzunterbruch

b) Abhängig vom Aufbauprinzip der USV-Anlage schirmt sie Netzstörungen (Fig. 2) ab, so dass die Verbraucher in ausreichender Spannungsqualität versorgt werden.

Netzstörungen	Mögliche Ursachen
	Netzunterbruch, Netzeinbruch
	Über- und Unterbelastung des Netzes
	Grosse Laständerungen
	Selten im europäischen UCTE-Netz; Möglich im Inselbetrieb
	Oberschwingungen durch Gleich- und Wechselrichter sowie Getaktete Netzteile
	Blitzeinschläge; Gleich- und Wechselrichter; Kurzschlüsse

Fig. 2 Mögliche Netzstörungen und ihre Ursachen

c) Nichtlineare Lasten erzeugen Netzurückwirkungen wie z.B. durch Oberschwingungsströme verursachte Spannungsverzerrungen. Diese Netzurückwirkungen der Verbraucher können durch USV-Anlagen vom versorgenden Netz entkoppelt werden.

Die drei Funktionen a) bis c) der USV-Anlagen müssen nicht bei allen Verbrauchern im gleichen Masse erfüllt werden. Dies ist abhängig von der Qualität und den Anforderungen des versorgenden Netzes sowie von den Verbrauchern. Eine differenzierte Betrachtung der Qualität und der Anforderung des Netzes sowie der Verbraucher zeigt auf, wie weit die einzelnen Funktionen einer USV-Anlage erbracht werden müssen. Erst dadurch kann eine USV-Anlage optimal ausgewählt und eingesetzt werden.

## Betriebsarten der USV-Anlagen

Im Normalbetrieb einer USV-Anlage, d.h. bei vorhandener Netzversorgung bestehen zwei mögliche Betriebsarten, der Betrieb über den USV-Pfad (Fig. 3) und der Betrieb über Bypass (Fig. 4), von einzelnen Lieferanten auch ECO-Mode benannt.

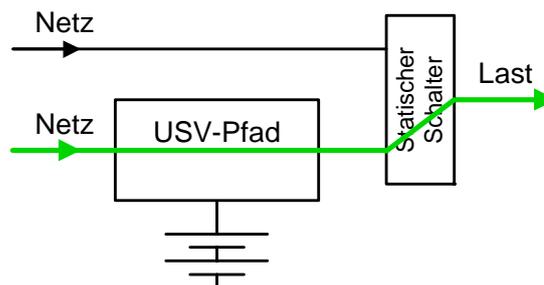


Fig. 3 Energiefluss einer USV-Anlage beim Betrieb über den USV-Pfad

Die Energie fließt beim Betrieb über den USV-Pfad (Fig. 3) abhängig vom Typ der USV-Anlage über den Gleich- und Wechselrichter bzw. über den 4-Quadrantenrichter und allenfalls weitere, sich in diesem Pfad befindliche Komponenten. Die Batterien werden geladen, bzw. auf der Schwebeladespannung gehalten. Der Energieverbrauch der USV-Anlage hängt vom Wirkungsgrad der beteiligten Komponenten ab.

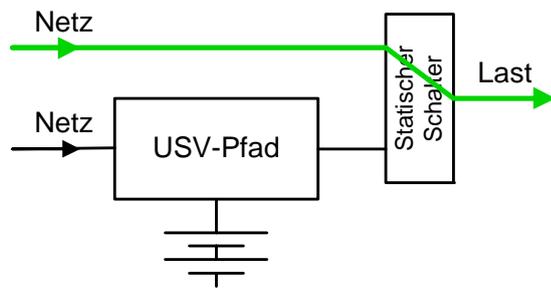


Fig. 4 Energiefluss einer USV-Anlage beim Betrieb über Bypass

Die Energie fliesst beim Betrieb über Bypass im Normalbetriebszustand oder bei einer Störung des USV-Pfades über den statischen Schalter und allenfalls weiteren, sich im Bypass befindliche Komponenten zu den Verbrauchern, d.h. die Versorgung der Verbraucher erfolgt direkt ab dem Netz. Die Batterien werden geladen, bzw. auf der Schwebeladespannung gehalten. Beim Betrieb über Bypass sind die Energieverluste der USV-Anlage geringer als beim Betrieb über den USV-Pfad.

USV-Anlagen, die über den Bypass betrieben werden, müssen im Falle einer Netzstörung automatisch auf den Betrieb über den USV-Pfad umschalten, d.h. die Versorgung über den USV-Pfad oder ab Batterie muss gewährleistet sein. Bei der Umschaltung auf den Betrieb über USV kann abhängig von der Art der Netzstörung und der Qualität der USV-Anlage ein Unterbruch der Spannung am Ausgang der USV-Anlage von maximal 20 ms auftreten. Zum Beispiel verursacht ein Kurzschluss auf der Netzseite einen Unterbruch, während ein Spannungseinbruch oder eine Frequenzabweichung am Eingang der USV-Anlage am Ausgang lediglich eine Beeinflussung der Spannungsform aber keinen Unterbruch bewirken.

Die automatische Rückkehr vom Betrieb über den USV-Pfad in den Betrieb über Bypass erfolgt erst nach einer Stabilisierungsphase der Eingangsspannung. Dadurch wird vermieden, dass in Folge instabiler Netzverhältnisse mehrmalige Umschaltungen stattfinden.

### Konzentrierte Informationen in der Qualitäts-/Energie-Matrix

Zwischen der prozessorientierten Qualität einer USV-Anlage, d.h. der Behebung von Netzstörungen sowie der Reduktion von Netzzrückwirkungen, und den Energieverlusten besteht ein Zusammenhang. Dieser Zusammenhang wird in der Qualitäts-/Energie-Matrix (Q/E-Matrix) in konzentrierter Form dargestellt.

Die Q/E-Matrix enthält Angaben über

- die Nennwirk- und Nennscheinleistung der USV-Anlagen,

- den Klassifizierungs-Code der USV-Anlage gemäss IEC 62040-3,
- den Grad der Behebung von Netzstörungen des versorgenden Netzes für die Verbraucher,
- die Verbesserung des Leistungsfaktors und des Klirrfaktors des Stromes der Verbraucher am Einspeisepunkt des versorgenden Netzes und
- die Verluste und Wirkungsgrade der USV-Anlage im Normalbetrieb.

Dabei werden die beiden Betriebsarten „Betrieb über USV-Pfad“ und „Betrieb über Bypass“ aufgeführt.

Die Q/E-Matrix ist von den Lieferanten von USV-Anlagen auszufüllen und den Offerten beizufügen. Die in der Q/E-Matrix aufgeführten und verbindlichen Werte basieren auf dem Messverfahren für USV-Anlagen, das im Auftrag des BFE erstellt wurde. Diesem Messverfahren liegen die Tests zu Grunde, die in IEC 62040-3 festgelegt sind.

Die Q/E-Matrix und das Messverfahren kann im PDF-Format ab dem Internet unter [www.electricity-research.ch](http://www.electricity-research.ch) bezogen werden.

### Versorgendes Netz

Für die elektrischen Verbraucher ist es von Interesse, wie oft und wie stark das versorgende Netz vom Normalfall abweichen kann. Dabei muss ermittelt werden, wie weit Ausfälle oder Unterbrüche in der Netzversorgung und wie weit andere Netzstörungen auftreten können, d.h. wie gross das Ausmass der in der Q/E-Matrix aufgeführten Netzstörungen sein kann.

Weiter ist für das versorgende Netz von Interesse, wie gross die Netzzrückwirkungen der Verbraucher oder der USV-Anlage sind. Dies betrifft vor allem den Leistungsfaktor und die Stromoberschwingungen der Verbraucher resp. der USV-Anlagen.

Die Qualität und die Anforderung des Netzes können mit Hilfe der *Checkliste zum versorgenden Netz* des BFE ermittelt werden. Die dazu benötigten Daten müssen vom jeweiligen Betreiber des versorgenden Netzes bezogen werden.

### Verbraucher

Die elektrischen Verbraucher reagieren unterschiedlich auf mögliche Netzstörungen. So gibt es Verbraucher, die

- Spannungseinbrüche bis zu 20 ms,
- Spannungsschwankungen bis +/- 10 %,
- Frequenzschwankungen bis + 4 % / - 6 % und
- Spannungsverzerrungen bis 8 %

problemlos überstehen. Auch gegenüber Transienten sind viele Verbraucher immun. Zudem müssen nicht alle Verbraucher immer mit elektrischer Energie versorgt werden, d.h. Betriebsaus-

fälle in zeitlich beschränktem Rahmen sind durchaus akzeptabel.

Diese Anforderungen der Verbraucher an das versorgende Netz können mit Hilfe der *Checkliste der Verbraucher* des BFE zusammengestellt werden. Die dazu erforderlichen Daten müssen mit einer detaillierten Analyse der USV-Verbraucher ermittelt werden.

Bei der Erfassung der Verbraucher sollen Erfahrungswerte, den Werten aus den Datenblättern vorgezogen werden, da die Erfahrungswerte wesentlich zur Optimierung des Einsatzes der USV-Anlage beitragen.

Im Folgenden einige Beispiele zu den Anforderungen der Verbraucher.

- Ein Grossteil der Personalcomputer, Arbeitsstationen, EDV-Netzwerke und der Geräte mit getakteten Netzgeräten überstehen einen Spannungsunterbruch von 20 ms ohne Funktionsstörung und sind auch gegenüber den anderen Netzstörungen weitgehend immun.
- Im Gegensatz dazu führt bei Hochdruckleuchten oder teilweise bei Steuerungen mit Relais in Selbsthaltung ein Spannungsunterbruch von 20 ms dazu, dass sich das Gerät abschaltet und allenfalls erst nach einigen Minuten wieder gestartet werden kann.
- Bei Anlagen mit eigener Energiespeicherkapazität, wie z.B. bei Klima- und Kälteanlagen in einem Gebäude ist häufig ein Betriebsausfall von mehreren Minuten erlaubt. Im Gegensatz dazu gilt dies nicht für die Klimatisierung des USV- und eines allfälligen Batterieraumes, da für den Betrieb der USV-Anlage und der Batterien die für eine einwandfreie Funktion der Anlagen erforderlichen Umgebungsbedingungen gewährleistet sein müssen und dies vor allem bei einem Netzausfall.

Bei der Qualität der Verbraucher interessieren der Leistungsfaktor und die Stromoberschwingungen der Gesamtheit aller Verbraucher eines Anschlusspunktes. Diese Netzrückwirkungen müssen ab einer definierten Grösse der Verbrauchsleistung die Vorgaben des Netzbetreibers erfüllen.

Von den Verbrauchern, die ab einer USV-Anlage versorgt werden sollen, sind unter Berücksichtigung des jeweiligen Gleichzeitigkeitsfaktors und des Leistungsfaktors die Wirk- und Blindleistung zu bestimmen. Die Dimensionierung einer USV-Anlage basiert auf dieser Ermittlung der Wirk- und Blindleistung aller Verbraucher.

Auch dazu dient die *Checkliste der Verbraucher* des BFE.

### Kategorisierung der Verbraucher

Die Verbraucher werden abhängig von ihren Anforderungen an das versorgende Netz in eine der drei folgenden Kategorien zugeordnet.

#### Kategorie 1: **Versorgung ab Netz**

Die Verbraucher können direkt am Netz ohne USV-Anlage betrieben werden.

#### Kategorie 2: **Versorgung über Bypass**

Die Verbraucher werden über eine USV-Anlage versorgt. Im Normalbetrieb erfolgt die Versorgung über den Bypass. Bei einer Netzstörung wird die Versorgung mit einem Spannungsunterbruch von max. 20 ms auf den USV-Pfad umgeschaltet. Die Verbraucher überstehen diesen Spannungsunterbruch ohne Betriebsstörung und die Funktionen der Verbraucher bleiben gewährleistet.

#### Kategorie 3: **Versorgung über USV-Pfad**

Die Verbraucher werden über den USV-Pfad der Anlage versorgt, d.h. eine unterbrechungsfreie Spannungsversorgung ist für die Gewährleistung der Funktionen der Verbraucher zwingend erforderlich.

Die Zuordnung der Verbraucher in die drei Kategorien erfolgt in mehreren Schritten gemäss folgendem Ablaufschema (Fig. 5).

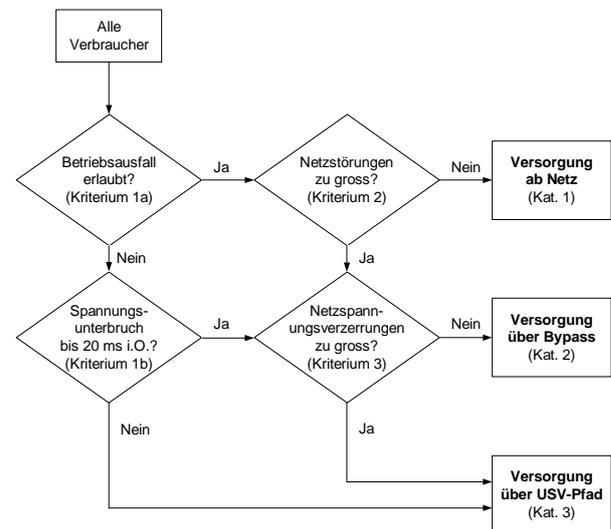


Fig. 5 Ablauf der Verbraucherkategorisierung

#### Schritt 1: **Grobeinteilung in die drei Kategorien**

Verbraucher, bei denen ein Betriebsausfall erlaubt ist, werden der Kategorie 1 zugeordnet (Kriterium 1a). Verbraucher, bei denen kein Betriebsausfall erlaubt ist, die aber einen Spannungsunterbruch bis 20 ms ohne Betriebs- oder Funktionsstörung ertragen, werden der Kategorie 2 zugeordnet (Kriterium 1b). Alle anderen Verbraucher werden der Kategorie 3 zugeordnet.

#### Schritt 2: **Detailabklärung bezüglich der Verträglichkeit einzelner Netzstörungen**

Verbraucher der Kategorie 1, bei denen die möglichen Netzstörungen des versorgenden Netzes ausserhalb der Bandbreite der Verträglichkeit der Verbraucher liegen und durch diese beschädigt werden können, werden der Kategorie 2 zugeordnet. Diese Änderung der Kategorisierung wird auch vorgenommen, wenn die Verbraucher durch

die Netzstörungen in ihrer Funktion beeinträchtigt werden, ohne dass es zu einer Abschaltung des jeweiligen Verbrauchers kommt. Netzstörungen, die ausserhalb der in der Checkliste der Verbraucher aufgeführten Bandbreiten liegen, können in Industrienetzen oder im Inselbetrieb auftreten (Kriterium 2).

**Schritt 3: Abklärungen bezüglich der Verträglichkeit von Spannungsverzerrungen**

Verbraucher der Kategorie 2, bei denen die mögliche Spannungsverzerrung des versorgenden Netzes ausserhalb der Bandbreite der vertraglichen Spannungsverzerrung liegt, werden der Kategorie 3 zugeordnet. Hohe Spannungsverzerrungen können in Industrienetzen auftreten.

**Beurteilung der Netzurückwirkungen der Verbraucher**

Zusätzlich zur Kategorisierung der Verbraucher ist auch die Beurteilung der Netzurückwirkungen pro Kategorie durchzuführen. Dies kann wiederum mit Hilfe der *Checkliste der Verbraucher* erfolgen, wobei der Leistungsfaktor  $\lambda$  und der Oberschwingungslastanteil jeder Verbrauchergruppe von Interesse sind. Diese Beurteilung zeigt, dass allenfalls Massnahmen zur Reduktion der Netzurückwirkungen der Verbraucher erforderlich sind (Fig. 6).

Verbraucher	Massnahmen wenn	
	Leistungsfaktor $\lambda$ zu gering	Oberschwingungslastanteil zu hoch
Kategorie 1: <b>Versorgung ab Netz</b>	- Einsatz alternativer Verbraucher - Filter - Blindleistungskompensation	- Einsatz alternativer Verbraucher - Filter
Kategorie 2: <b>Versorgung über Bypass</b>	- Einsatz alternativer Verbraucher - Ausgewählte Verbraucher der Kategorie 3 zuordnen - Filter - Blindleistungskompensation	- Einsatz alternativer Verbraucher - Ausgewählte Verbraucher der Kategorie 3 zuordnen - Filter
Kategorie 3: <b>Versorgung über USV-Pfad</b>	- Abschirmung durch Gleichstromkreis der USV-Anlage *) - Leistungsfaktorkorrektur durch USV-Anlage - Aktivfilterfunktion der USV-Anlage	- Abschirmung durch Gleichstromkreis der USV-Anlage *) - Aktivfilterfunktion der USV-Anlage

Fig. 6 Mögliche Massnahmen zur Reduktion der Netzurückwirkungen von Verbrauchern

\*) Die USV-Anlage selbst muss die Anforderungen des versorgenden Netzes bezüglich der Netzurückwirkungen ebenfalls erfüllen.

**Rotierende USV-Anlagen als Alternative**

Die Synchronmaschine wird über die Drosselspule parallel zum Netz geschaltet und treibt das Schwungrad, resp. ein kinetisches Modul zur Energiespeicherung an.

Bei kurzen Netzein- oder Netzunterbrüchen von einigen Sekunden übernimmt der rotierende Speicher die Energieversorgung. Bei länger andauernden Netzstörungen wird die Versorgung unterbrechungsfrei auf das Dieselaggregat umgeschaltet.

**Flywheels oder Batterieanlagen**

- Rotierende Speicher (Flywheels) werden zusammen mit rotierenden USV-Anlagen eingesetzt.
- Flywheels parallel zu Batterieanlagen in statischen USV-Anlagen reduzieren die Entlade- und Ladezyklen der Batterien und erhöhen somit deren Lebensdauer.
- Flywheels als vollständiger Ersatz von Batterieanlagen in statischen USV-Anlagen erhöhen die Anfangsinvestitionen und den Aufwand für die Erhaltung der gespeicherten Energie, vermeiden jedoch den mehrmaligen Batterieersatz und können somit die Lebenszykluskosten reduzieren.

**Wahl der USV-Anlage und der Betriebsart**

Die Kategorisierung der Verbraucher bestimmt die Anforderungen an die USV-Anlage. Nur die Verbraucher der Kategorien 2 und 3 sind USV berechtigt und bestimmen die Leistung der USV-Anlage. Abhängig von der Aufteilung der Verbraucher in die Kategorien 2 und 3 muss festgelegt werden, ob allenfalls zwei unabhängige USV-Anlagen eingesetzt werden sollen, wobei die eine über den Bypass und die andere über den USV-Pfad betrieben wird.

Werden die Verbraucher der Kategorie 2 und 3 ab einer gemeinsamen USV-Anlage versorgt, so erfolgt dies über den USV-Pfad. Ausserhalb der offiziellen Arbeitszeiten, d.h. in der Nacht oder an den Wochenenden, kann ein Betrieb über Bypass, allenfalls trotzdem möglich sein.

**Um mehr zu erfahren...**

- *Optimierter Einsatz von USV-Anlagen*; Übersicht über das Projekt *Parameteridentifikation und Messverfahren für USV-Anlagen* des BFE aus den Jahren 1997/98, inkl. *Checkliste zum versorgenden Netz*, *Checkliste der Verbraucher* und *Q/E-Matrix*
- *Messverfahren für USV-Anlagen*; Version von 2005
- *Energieoptimierte Planung und Betrieb von USV-Anlagen*, Ein Leitfaden für Planer und Betreiber; Version von 2008, BFE
- *Checkliste für eine funktionale Musterausschreibung*; November 2004, BFE
- *Empfehlung für die Beurteilung von Netzurückwirkungen*; VSE Empfehlung 2.72d-97