

Unterbrechungsfreie Stromversorgungen (USV)

Hintergrund: Unterbrechungsfreie Stromversorgungen (USV) werden eingesetzt, um bei unvorhergesehenen Störungen im öffentlichen Stromnetz die Stromversorgung von Servern und Rechenzentren aufrecht zu erhalten. Diese Geräte stellen im Falle von Störungen oder Schwankungen im Stromnetz die Versorgung der aktiven IT-Geräte mit elektrischer Energie sicher. Dadurch wird einem Datenverlust durch Ausfall der Computerhardware vorgebeugt. Außerdem schützen USV sensible elektronische Geräte vor Beschädigung oder Ausfall infolge von Netzschwankungen oder Spannungsspitzen.

Die meisten in kleineren Serveranlagen eingesetzten USV befinden sich dauerhaft im Teillastbetrieb und weisen deshalb einen suboptimalen Wirkungsgrad von ca. 80 Prozent auf. In Rechenzentren wiederum werden redundante USV eingesetzt, um eine hohe Ausfallsicherheit zu gewährleisten. Die Wirkungsgrade der redundanten USV sind ebenfalls infolge niedriger Auslastung sehr gering. Die hier vorgestellten Maßnahmen enthalten Ansätze für die Verbesserung der Energieeffizienz solcher USV Anlagen mittels planerischer und technischer Mittel.

USV-Anlagen befinden sich aus Gründen der Funktionssicherheit von Serveranlagen in konstantem Dauerbetrieb. Sie sind selbst dann immer zugeschaltet, wenn die Netzstromversorgung stabil ist und die USV keine Spannungsschwankung kompensieren muss. Allerdings sind die USV-Anlagen im Normalbetrieb meist nur zu einem Bruchteil ihrer Kapazität ausgelastet. Ein Teil der USV-Anlagen befindet sich deshalb fast immer im Teillastbetrieb, bei dem der energetische Wirkungsgrad gering ist.

Konventionelle USV-Anlagen enthalten leistungsstarke elektrochemische Stromspeicher (Blei-Akkus oder Li-Ion Akkus). Mittels Doppelwandler wird der Wechselstrom aus dem Primärnetz in einen Gleichstrom zur Akkuaufladung umgewandelt. Bei Unterbrechung des Stromnetzes gibt die USV die gespeicherte Energie in Form von Wechselstrom ab, um einen Ausfall der angeschlossenen Server zu vermeiden. Dieser gestaffelte Stromumwandlungsprozess sowie die elektrochemische Speicherung im Akku haben eine Verlustleistung der USV-Anlage zur Folge. Diese Verlustleistung tritt im Normalbetrieb der USV kontinuierlich auf und trägt deshalb trotz ihres geringen Anteils stetig zum gesamten Energieverbrauch von Rechenzentren bei. Schätzungen zufolge beträgt die Verlustleistung von USV-Anlagen zwischen 6 und 15 Prozent des gesamten Stromverbrauchs von Rechenzentren. Die Verlustleistung von USV-Anlagen stellt ein klares Potenzial zur Steigerung der Energieeffizienz dar.

Die Energieeffizienz der USV sinkt mit abnehmender Auslastung (Load). Hingegen findet die Messung und Deklaration der Effizienz der USV derzeit hauptsächlich bei 100 Prozent Auslastung statt. Dieser Wert wird in der Praxis jedoch selten erreicht. Die im Projekt IT Inventar durchgeführten Referenzmessungen an Stromversorgungsanlagen von Rechenzentren zeigen, dass der Wirkungsgrad der im Land Baden-Württemberg installierten USV-Anlagen zwischen 25 Prozent im Teillastbetrieb und bis zu 98 Prozent bei voller Auslastung liegt. Dabei bestehen jedoch beachtliche Effizienzunterschiede zwischen USV-Anlagen verschiedenen Alters und Größe. Vor allem kleinere ($> 2 \text{ kVA}^1$) und ältere (> 4 Jahre) USV-Anlagen weisen deutlich geringere Wirkungsgrade zwischen 85 und 92 Prozent auf.

Zwar kommen moderne USV-Anlagen bei Vollastbetrieb heute auf Wirkungsgrade von über 90 Prozent aber im Teillastbetrieb von unter 50 Prozent, der für redundant ausgelegte Serveranlagen typisch ist, sinkt der Wirkungsgrad von USV-Anlagen steil ab.

Die Energiespeicher einer USV überbrücken die Stromversorgung der angeschlossenen Server nur über eine gewisse Zeitspanne bis zur Wiederherstellung der Netzstromversorgung oder bis zum Anlaufen von Ersatzstromquellen (Dieselgeneratoren). Absolut unterbrechungsfreie USV-Anlagen der Schutzklasse 1 (Dauerwandler-USVs) werden vor allem in großen Rechenzentren für geschäftskritische Anwendungen eingesetzt. Diese USV-Anlagen haben meist eine Nennleistung von mehr als 5 kVA. Kleinere Servereinrichtungen benötigen Line-

¹ KiloVolt*Ampere

Interaktive USVs der Klasse 2, welche eine Spannungsaufbereitung für Systeme ohne zentrale Bedeutung (z.B. Büroumgebungen, Speichersysteme und Netzwerkkomponenten) gewährleisten. Für kleine Computeranlagen ohne geschäftskritische Bedeutung reichen Offline-USV mit kostengünstigen Bauteilen (Klasse 3) aus.

Ebenfalls ist zu beachten, dass USV > 5 kW aufgrund der Umwandlung der zu speichernden Energie eine nennenswerte Wärmemenge entwickeln, die von der Klimaanlage abgeführt werden muss, um die Batterien in einer Betriebstemperatur zu halten (VanGeet, 2011)². Dies geschieht meist durch aktive Kühlung, welche zusätzlich zum Energieverbrauch des gesamten Rechenzentrums beiträgt.

Energiesparpotenzial durch planerische Maßnahmen: Durch die Auswahl von effizienten Geräten bzw. Komponenten kann bei der Stromversorgung eines Rechenzentrums Energie eingespart werden. Eine möglichst kleine und bedarfsgerechte Dimensionierung der USV hat einen positiven Einfluss auf die Energieeffizienz des Gesamtsystems, weil höher ausgelastete USV Anlagen eine geringere Verlustleistung aufweisen.

Moderne USV > 5 kW verfügen neben dem Doppelwandlerbetrieb auch über einen „effizienzoptimierenden“ Modus, welcher den Gesamtwirkungsgrad der Anlage herauf- und somit die Höhe der Verlustleistung stark herabsetzt. Der Doppelwandlermodus ist per se energieaufwändiger, weshalb die Zielvorgaben für diesen etwas geringer liegen als die des effizienzoptimierenden Modus. Ebenso ist zu berücksichtigen, dass USV mit weniger als 25 kW Leistung nach derzeitigem Technikstand ineffizienter arbeiten als USV > 25 kW. Um sicher zu gehen, dass die USV auch tatsächlich ihren Zweck erfüllt, und sensible Geräte mit konstanten Bedingungen ansteuert, sollte auch die Einhaltung der sog. „ITIC-Kurve“ mit in die Planung der USV aufgenommen werden. Diese Kurve zeigt den Toleranzbereich der Netzteile bezüglich der Spannungsabweichung im Verhältnis zur Dauer der Abweichung. Außerdem sollte jede Server-, Storage- und Netzwerkeinheit jeweils nur von einem USV-Netzteil aktiv mit Strom versorgt werden. Im Falle einer redundanten Stromversorgung mit zwei USV Anlagen sollte die Zweit-USV so installiert sein, dass sie in Zeiten geringer Serverauslastung von der Stromversorgung getrennt ist und nur beim Ausfall der Haupt-USV zugeschaltet wird. Neben den technischen Randbedingungen muss jedoch auch die Sicherheit und Zuverlässigkeit berücksichtigt werden. Ein Abwägen zwischen Energieeffizienz und Serververfügbarkeit beeinflusst die Wahl der USV Redundanz. Dies spielt vor allem in der Planungsphase eine Rolle.

Energiesparpotenzial durch Technische Maßnahmen: Energieverluste der USV entstehen hauptsächlich durch Ineffizienzen im Doppelwandlermodul, welches die Stromumwandlung von Wechselstrom zu Gleichstrom (zur Batterieladung) und zurück zu Wechselstrom übernimmt. Außerdem bewirkt der Ladevorgang der Batterien eine Verlustleistung durch die Umwandlung von elektrischer in chemische Energie und zurück. Die richtige Wahl des Betriebspunktes der in der USV verwendeten Batterien kann helfen, die Batterielebensdauer wesentlich zu erhöhen. Dies ist meist an Wartungsleistungen geknüpft, welche dazu dienen, einem Anstieg des Innenwiderstands einzelner Zellen vorzubeugen. Um die in der USV verwendeten Batterien vor Netzschwankungen zu schützen, ist es außerdem unabdingbar, diesen einen Schutzmechanismus (wie z.B. einen DC/DC-Wandler o.ä.) vorzuschalten. Folgende Maßnahmen können zur Steigerung der Energieeffizienz von USV eingesetzt werden:

- Modulares und skalierbares Redundanzkonzept;
- USV-Geräte bieten über digitale Regelung und den statischen Bypass-Schalter die Möglichkeit eines „Digital Interactive Mode“ für Klimageräte. Dabei werden die Klimageräte unter Umgehung der verlustbehafteten USV-Leistungselektronik direkt über das Netz versorgt. Durch die USV-Überwachung wird bei Problemen mit dem Stromversorgungsnetz unterbrechungsfrei auf den bereit stehenden sicheren USV-Pfad umgeschaltet.
- Um Effizienzverluste zu vermeiden, sollten USV-Geräte nicht hintereinander geschaltet werden.

² <https://www.nrel.gov/docs/fy11osti/47201.pdf>

- Örtliche und thermische Trennung der Batterieaufstellung von der USV-Elektronik;
- Ersatz von Blei-Akkus durch Li-Ionen Batterien.

Wirtschaftlichkeit: Die Anschaffungspreise für USV-Anlagen variieren wegen der Größe der Produktgruppe sehr stark. So kostet eine USV-Anlage mit einer Leistung von 25 kW und 10 min Überbrückungszeit zwischen 6.000 € und 10.000 €, je nach Hersteller und Batterietyp. In den Bereichen höherer Leistung liegen die Preise z.B. für eine USV mit 500 kW Leistung und 60 min Überbrückungszeit zwischen 80.000 € und 100.000 €.

Über die einmaligen Anschaffungskosten hinaus verursacht eine USV-Anlage weitere laufende Kosten. Neben den Wartungskosten sind das höhere Energiekosten, die durch den Einsatz einer USV Anlage entstehen. Diese Energiekosten stehen im direkten Zusammenhang mit dem Wirkungsgrad der USV. Nach Berechnungen von Sawyer (2006)³ kann – je nach Last – eine Verbesserung des Wirkungsgrads einer USV um 5 Prozent zu einer Verringerung der Stromkosten zwischen 18 und 84 Prozent führen.

Eine Möglichkeit, den Wirkungsgrad einer USV Anlage zu erhöhen, ist der Ersatz von Blei-Säure-Batterien mit Li-Ionen Batterien. Zwar sind die Investitionskosten für die Ausstattung einer USV Anlage mit Li-Ionen Batterien 1,5 bis 3 Mal so hoch wie die einer Anlage mit herkömmlichen Bleibatterien, über die gesamte Lebensdauer betrachtet bieten Li-Ionen-Lösungen je nach Anwendung jedoch eine Betriebskostensparnis in der Höhe von 10 bis 40 Prozent. Die wesentlichen Vorteile von Li-Ionen Batterien gegenüber Blei-Säure-Batterien sind folgende (Avelar & Zacho 2016)⁴:

- etwa ein Drittel weniger Gewicht bei gleichem Platzbedarf,
- deutlich längere Lebensdauer und reduzierter Wartungsbedarf gegenüber marktgängigen Bleibatterien,
- Bis zu 10 Mal mehr Entladezyklen,
- Bis zu vier Mal geringere Selbstentladung,
- 4-5 Mal schnellere Ladezyklen.

Wie hoch die Kostenersparnis durch Li-Ionen Batterien ausfällt, hängt stark von der Anwendung und vom Alter der jeweiligen USV-Anlage ab. Avelar & Zacho (2016) kommen zu dem Ergebnis, dass der Ersatz von Blei-Säure Batterien durch Li-Ionen Batterien insbesondere bei USV-Anlagen, die bis zu 5 Jahre alt sind, wirtschaftlich sinnvoll ist. Bei USV-Anlagen zwischen 5 und 10 Jahren ist ein Austausch momentan wirtschaftlich nicht sinnvoll, da die Investitionskosten der Li-Ionen Batterien momentan noch zu hoch sind. Bei USV-Anlagen, die älter als 10 Jahre sind und sich somit dem Ende ihres Lebenszyklus nähern, kann es dagegen wirtschaftlich sinnvoll sein, die gesamte USV gegen ein Li-Ionen System auszutauschen.

Empfehlungen: Da davon ausgegangen werden kann, dass die Preise für Li-Ionen Batterien weiterhin fallen und die aktuellen Systeme weiterhin verbessert werden, bieten Li-Ionen Batterien für den Einsatz in USV-Anlagen deutliche Vorteile. Ob sich der Austausch der Säure-Blei-Batterien lohnt, muss momentan noch von Fall zu Fall entschieden werden, es gibt jedoch bereits Li-Ionen Systeme, die sich bereits nach vier Jahren rentieren und beim Vergleich der Gesamtkosten über eine Lebensdauer von 10 Jahren kostengünstiger abschneiden als Systeme mit Säure-Blei Batterien.

³ [http://www.eschneider.pl/download/07%20Systemy%20zasilania%20awaryjnego%20-%20\(UPS-y\)/White%20Paper/WP-108.pdf](http://www.eschneider.pl/download/07%20Systemy%20zasilania%20awaryjnego%20-%20(UPS-y)/White%20Paper/WP-108.pdf)

⁴ http://www.apc.com/salestools/VAVR-A5AJXY/VAVR-A5AJXY_R0_EN.pdf