

# Steigerung der Effizienz großer USV-Systeme

Von Richard L. Sawyer

**White Paper Nr. 108**

**APC**<sup>®</sup>  
Legendary Reliability<sup>®</sup>

## Zusammenfassung

Energieressourcen werden immer knapper und teurer. Daher kommt dem Wirkungsgrad bei der Spezifikation und Auswahl großer USV-Systeme eine immer höhere Bedeutung zu. Der Betrieb eines USV-Systems und die damit zusammenhängenden Energiekosten werden von drei Faktoren maßgeblich beeinflusst. Leider werden diese Faktoren bei der Spezifizierung der Systeme häufig nicht berücksichtigt. Für Unternehmen, die derartige Systeme einsetzen, ergeben sich aus dieser mangelnden Berücksichtigung des Wirkungsgrads erhebliche Mehrkosten. Die vorliegende technische Dokumentation befasst sich mit den häufigsten Fehlern und Missverständnissen bei der Beurteilung des Wirkungsgrads von USV-Systemen. Dabei werden die einzelnen Wirkungsgradkurven erläutert, verglichen und auf ihre Kostenrelevanz hin untersucht.

# Einführung

Traditionell liegt das Augenmerk bei der Spezifizierung und Auswahl von USV-Systemen nahezu ausschließlich auf der Systemverfügbarkeit, d. h. auf dem mittleren Ausfallzeitraum (MTBF) der Systeme, wie er von Herstellern und technischen Beratern genannt wird. Heutzutage sorgen jedoch zwei Faktoren dafür, dass neben der Verfügbarkeit zunehmend auch der Wirkungsgrad von USV-Systemen ins Blickfeld rückt: (1) die steigende Bedeutung der Gesamtbetriebskosten (TCO) über den Nutzungszeitraum des Systems hinweg und (2) Umweltinitiativen im öffentlichen und privaten Sektor wie beispielsweise entsprechende Zertifizierungen für die Gebäudeeffizienz oder auch nachfrageseitige Managementprogramme, die von Versorgungsunternehmen angeboten werden.

Der Wirkungsgradverlust von USV-Systemen hat zwei Hauptursachen: erstens die inhärenten Stromverluste der USV-Module und zweitens die Art und Weise, wie die Systeme implementiert werden (d. h. bedarfsgerechte Auslegung, Redundanz). Bei der Spezifikation von USV-Systemen wird häufig nur der vom Hersteller angegebene Wirkungsgrad betrachtet, der unter Best-case-Bedingungen erzielt wird. Dieser Wert ist irreführend, wie im Folgenden näher erörtert wird.

Anhand eines hypothetischen Beispiels soll hier aufgezeigt werden, welche Auswirkungen diese Vorgehensweise auf die Stromkosten eines Unternehmens haben kann. Dabei sollen zwei 1-MW-USV-Systeme von zwei verschiedenen Herstellern betrachtet werden. System 1 und System 2 weisen identische Herstellerangaben zum Wirkungsgrad auf (93 % bei Volllast), werden in einer 2N-Architektur betrieben, schlagen mit Stromkosten von 0,10 USD/kWh zu Buche und unterstützen eine Last von 300 kW. Im Normalfall wird daraus automatisch gefolgert, dass die beiden betrachteten Systeme identische Jahresstromkosten verursachen. Dies trifft jedoch so nicht zu. Mit Ausnahme von Notfall- oder Wartungsszenarien werden USVen in einer 2N-Konfiguration nie mit einem Lastpegel von 100 % betrieben, da jedes System in der Lage sein muss, die volle Last zu übernehmen, falls das andere System ausfällt. Aus diesem Grund darf die projektierte Höchstlast eines jeden Systems im Normalbetrieb 50 % nicht überschreiten. In der Realität erreichen 2N-Systeme selten eine Last von 50 % pro System. Eine Reihe von Feldstudien lassen vielmehr darauf schließen, dass 2N-Datencenter nur mit 20 bis 40 % ihrer 2N-Leistung gefahren werden<sup>1</sup>. Im obigen Beispiel wird eine typische Last von 30 % veranschlagt, bei der jede USV eine Kapazität von 150 kW bietet. Pro USV in System 1 fallen Jahresstromkosten für die Verlustleistung in Höhe von 10.470 USD an. Dem stehen 28.322 USD pro USV in System 2 gegenüber. Da jedes System über zwei USV-Module verfügt, verdoppeln sich die Kosten auf 20.940 bzw. 56.644 USD pro Jahr. Dabei manifestieren sich die Kosten für die Verlustleistung in Form von Abwärme, die von einem Kühlsystem abgeleitet werden muss. Wenn das Kühlsystem für die Ableitung von 1 kW erzeugter Wärme insgesamt 400 Watt benötigt, entstehen zusätzliche jährliche Kosten in Höhe von 8.376 bzw. 22.651 USD<sup>2</sup>. Im obigen Beispiel erreicht ein typisches Datencenter eine Nutzungsdauer von 10 Jahren; dies resultiert in

---

<sup>1</sup> Eine typische USV-Last in einem Datencenter beträgt rund 30 %, wie im APC-White Paper Nr. 37 mit dem Titel „Überdimensionierte Datencenter und Serverraum-Installationen: Kostenvermeidung“ beschrieben ist.

<sup>2</sup> Bei der Schätzung der tatsächlich auflaufenden Kühlkosten in einem Datencenter sind 400 Watt ein eher konservativer Wert. Vielmehr deckt der geschätzte kW-Wert für die Kühlung lediglich 51 % der Gesamt-Kühllast des Datencenters ab (*Jennifer Mitchell-Jackson, Energy Needs in an Internet Economy: A Closer Look at Data Centers*, 10. Juli 2001, S. 35-37).

Gesamtkosten für den USV-Stromverbrauch in Höhe von 293.165 bzw. 793.021 USD (siehe **Tabelle 1**). Wie kann es dazu kommen, dass sich zwei auf den ersten Blick identische USV-Systeme bei der Verlustleistung nahezu um den Faktor 3 unterscheiden?

**Tabelle 1** – Zwei verschiedene Systeme mit derselben Last in einer 2N-Architektur verursachen unterschiedliche Kosten

USV-System	USV-Kosten für Verlustleistung	Kühlkosten	Jährl. Kosten durch geringen Wirkungsgrad	Zusatzkosten durch geringen Wirkungsgrad (210 Jahre)
USV-System 1	\$20.940	\$8.376	\$29.317	\$293.165
USV-System 2	\$56.644	\$22.651	\$79.302	\$793.021

Die Antwort auf diese Frage liegt in den unterschiedlichen Wirkungsgradkurven der beiden Systeme und in ihrer unterschiedlichen Lastanpassung. Schon eine Verbesserung des Wirkungsgrads einer USV von nur 5 % kann – je nach Last – zu einer Verringerung der Stromkosten zwischen 18 und 84 % führen. Diese Tatsache wird weiter unten anhand von zwei aktuellen USV-Systemen näher erläutert.

Mit Blick auf die heutigen Anforderungen an Wirkungsgrad und Umweltverträglichkeit stehen USV-Herstellern drei Faktoren zur Verfügung, mit denen sie groß dimensionierte USV-Systeme optimieren können: **Technologie**, **Topologie** und **Modularität**. Gemeinsam können diese Faktoren dazu beitragen, die elektrischen Verluste von USVen in Form von Wärmeenergie (kW) wirksam zu verringern. Diese technische Dokumentation erläutert das Prinzip der Wirkungsgradkurve und geht auf häufige Fehler bei der Beurteilung des USV-Wirkungsgrades ein. Es macht darüber hinaus deutlich, wie sich mit den Faktoren Technologie, Topologie und Modularität der Wirkungsgrad von USV-Systemen optimieren lässt. Eine ausführliche Erörterung zum Thema Datacenter-Wirkungsgrad kann dem APC White Paper Nr. 113, „Elektrisches Wirkungsgradmodell von Datacentern“ entnommen werden.

## Die USV-Wirkungsgradkurve

Wenn ein USV-Datenblatt lediglich eine einzige Kennzahl für den Wirkungsgrad nennt, handelt es sich nahezu immer um einen Wert, der bei einer Last von 100 % (Nennlast) und unter verschiedenen anderen vorteilhaften Systembedingungen erreicht wird. Dazu zählen vollständig geladene Batterien, eine Nenningangsspannung der USV und der Verzicht auf den Anschluss bzw. die Installation optionaler Eingangstransformatoren und -filter. Der Grund, weshalb USV-Hersteller den Wirkungsgrad bei Volllast angeben, ist ganz einfach: Es ist der beste Wirkungsgrad, der sich mit der jeweiligen USV erzielen lässt. **Leider lässt sich dieser Wert in der Praxis nur äußerst selten realisieren, da eine Last von 100 % nahezu nie gegeben ist.** Wenn eine USV auf Basis des vom Hersteller genannten Wirkungsgrads spezifiziert wird, ist das genauso, als würde man ein Auto kaufen, dessen niedrigster Benzinverbrauch für eine Geschwindigkeit von 120 km/h berechnet wurde, und dieses Auto dann ausschließlich im Stadtverkehr fahren. Sehr viel sinnvoller ist es hier, den Wirkungsgrad bei einer Last von rund 30 % zugrunde zu legen,

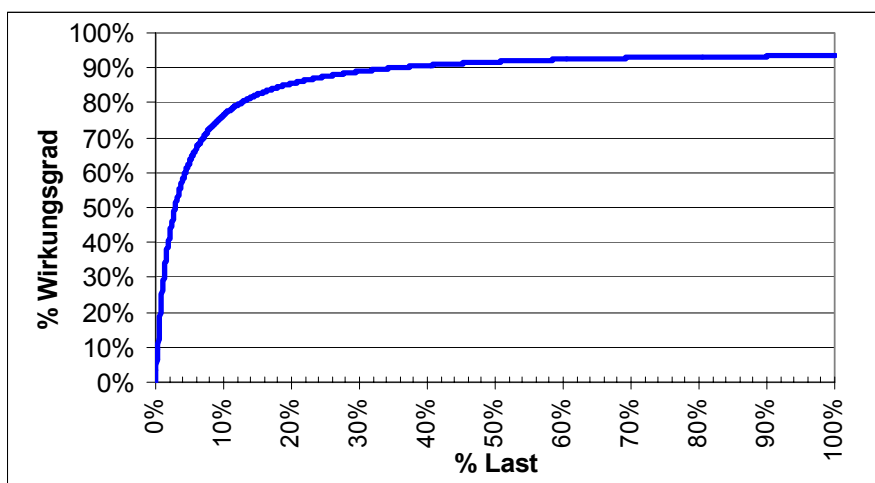
d. h. bei der durchschnittlichen Last, mit der die meisten mittleren bis großen Datencenter betrieben werden. Hierfür muss zunächst klar sein, was eine USV-Wirkungsgradkurve ist und wie sie erzeugt wird.

**Abbildung 1** zeigt die grundlegende Form einer USV-Wirkungsgradkurve. Dabei entspricht der höchste Punkt der Kurve dem höchsten Wirkungsgrad (y-Achse) und der höchsten Last (x-Achse). Je nach USV wird dieser Punkt bei einer Last von 20 bis 30 % erreicht, nach deren Unterschreiten der Wirkungsgrad scharf abfällt. In der abgebildeten Kurve beträgt der maximale Wirkungsgrad 93 %. Um eine USV unter Verwendung eines realistischen Lastpegels zu spezifizieren, muss ihr Wirkungsgrad bei einer üblichen Last von beispielsweise 30 % ermittelt werden. In der unten stehenden Kurve wird bei diesem Lastpegel ein Wirkungsgrad von 89 % erzielt. In Datencentern mit redundanten USV-Systemen (2N) ist ein noch stärker ausgeprägter Abfall des Wirkungsgrads zu beobachten, da sich die Last auf beide USVen verteilt, so dass sich ein Wirkungsgrad von nur noch 82 % ergibt. Diese Auswirkung der Redundanz wird weiter unten noch näher erläutert.

### Erzeugen einer USV-Wirkungsgradkurve

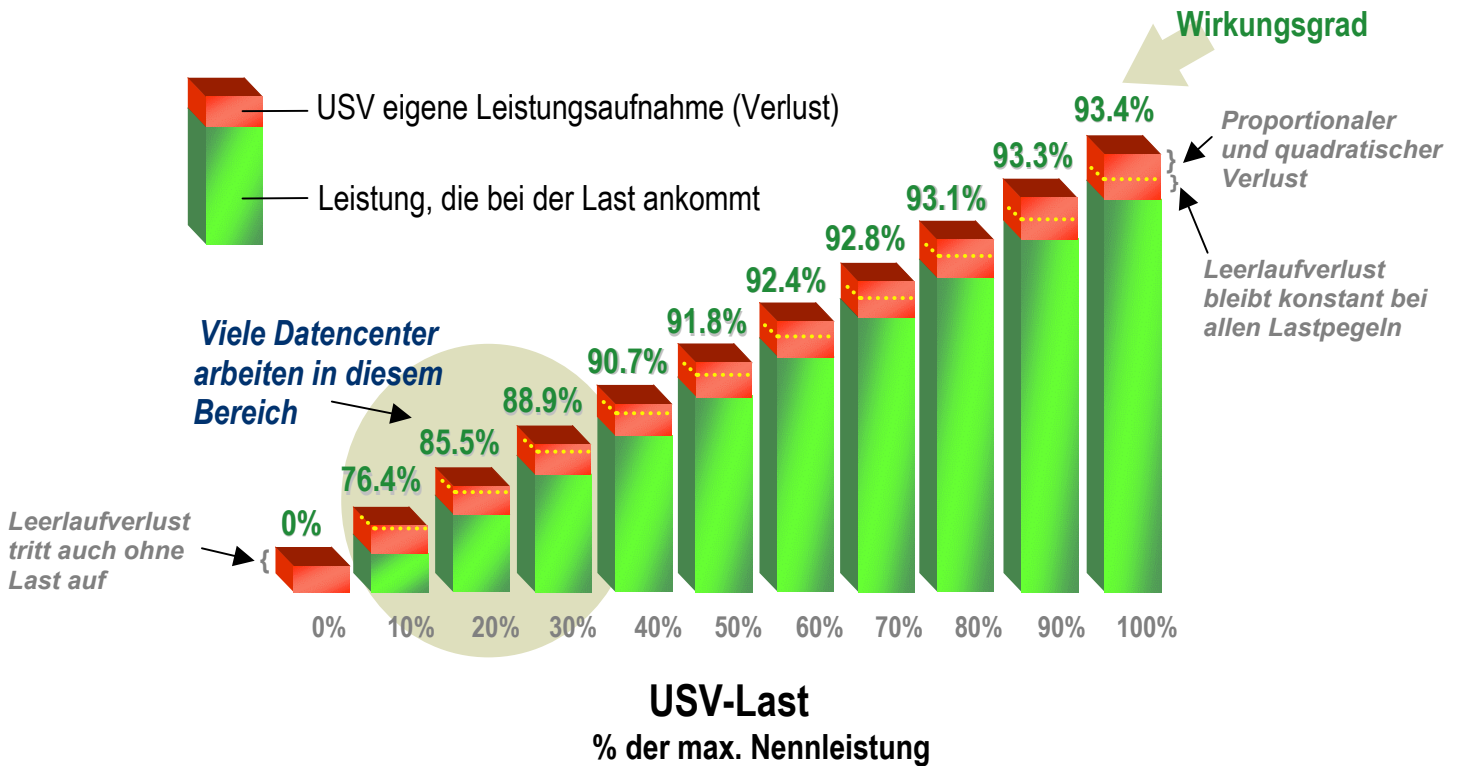
Eine Wirkungsgradkurve wird erzeugt, indem zunächst die der USV bereitgestellte Leistung (Eingangsleistung) und die von USV für die Last aufgebrauchte Leistung (Ausgangsleistung) gemessen werden. Diese Messungen erfolgen bei verschiedenen Lastpegeln (üblicherweise bei 25 %, 50 %, 75 % und 100 %). Eine weitere Messung findet bei einer Last von 0 % statt, um den Eigenstrombedarf (Leerlaufverlust) der USV zu bestimmen. Ausgehend von diesen Messungen werden die Verluste berechnet, indem die Eingangsleistung von der Ausgangsleistung subtrahiert wird. Die Verluste werden in einem Diagramm abgetragen; anschließend wird über die so erhaltenen Punkte eine Trendlinie gelegt. Die Trendlinie ergibt eine Gleichung, anhand derer alle übrigen Punkte für jeden beliebigen Lastprozentsatz ermittelt werden können. Nachdem alle Leistungsverluste berechnet wurden, wird die Wirkungsgradkurve erzeugt, indem das Verhältnis von Ausgangsleistung zu Eingangsleistung für die verschiedenen Lastpegel abgetragen wird.

**Abb. 1 – USV-Wirkungsgradkurve**



**Abbildung 2** veranschaulicht das Prinzip der Wirkungsgradkurve aus **Abbildung 1**, indem der Verbleib der Eingangsleistung aufgeschlüsselt wird.

**Abb. 2** – Detaillierte Darstellung der USV-Eingangleistung und ihrer Nutzung



In der Abbildung stehen die grünen Balken für die Gesamtleistung, die der IT-Last zur Verfügung steht, während die roten Balken für die internen USV-Verluste stehen, die die Wirkungsgradkurve aus **Abbildung 1** ergeben. Bei einem idealen Wirkungsgrad wird die gesamte Eingangsleistung auf der Ausgangsseite dem Datacenter zur Verfügung gestellt, so dass bei allen Lastpegeln ausschließlich ein grüner Balken zu zeichnen wäre (d. h. es gibt keine Leistungsverluste). In diesem Fall hätte die Wirkungsgradkurve die Form einer horizontalen Linie (100 % für alle Lastpegel). Wie aus den oben eingezeichneten roten Balken hervorgeht, wird ein Teil der Eingangsleistung jedoch von der USV selbst benötigt. In einer USV fallen drei Arten von Verlusten an: Leerlaufverlust, proportionaler Verlust und quadratischer Verlust.

### Leerlaufverlust

Wie der Name schon sagt, wird bei einer Last von 0 % die gesamte Eingangsleistung von der USV genutzt. Dies wird auch als Tara-, konstanter, fester, Shunt- oder paralleler Verlust bezeichnet. Er ist unabhängig von der Last und resultiert aus der Stromversorgung von Transformatoren, Kondensatoren, Hauptplatinen und Kommunikationskarten. Der Leerlaufverlust kann mehr als 40 % aller USV-Verluste ausmachen und bietet somit das größte Potenzial für eine Steigerung des Wirkungsgrads. Einzelheiten hierzu sind im Anhang beschrieben.

## Proportionaler Verlust

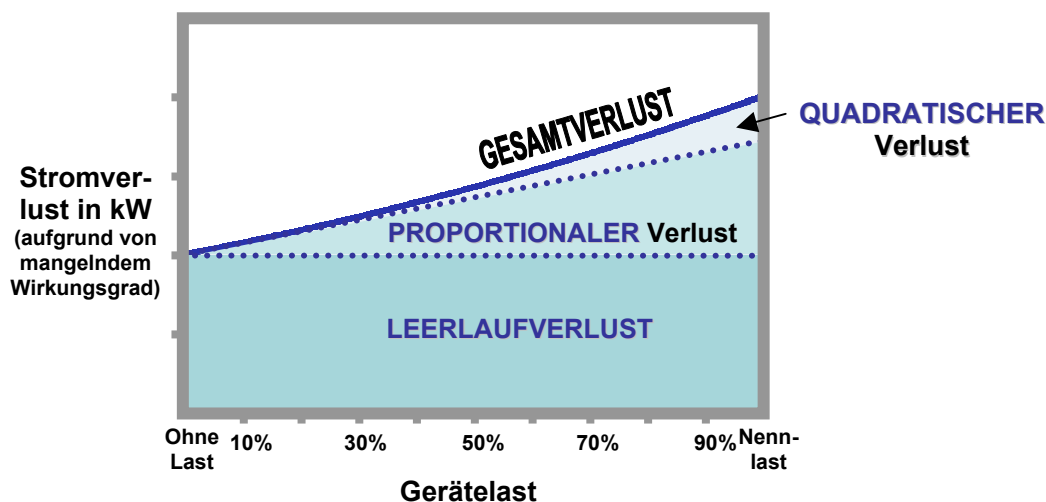
Bei zunehmendem Lastpegel wird ein größerer Anteil der Eingangsleistung für die verschiedenen Komponenten des Strompfads benötigt. So tragen Schaltverluste von Transistoren und Widerstandsverluste von Kondensatoren und Induktoren z. B. zum proportionalen Verlust bei.

## Quadratischer Verlust

Mit steigender Last fließt auch mehr Strom durch die Komponenten der USV. Dies führt ebenfalls zu Verlusten, wobei das Quadrat des Stroms mitunter als „I-Quadrat R“-Verlust bezeichnet wird. Dabei ist die Verlustleistung in Form von Abwärme proportional zum Quadrat des Stroms. Der quadratische Verlust wird mit 1 bis 4 % erst bei höheren USV-Lasten relevant.

Für einen Vergleich des Wirkungsgrads zweier USVen werden nur die USV-Verluste (d. h. die roten Balken aus **Abbildung 2**) berücksichtigt. Aus der Wirkungsgradkurve alleine lässt sich schon sehr viel über ein USV-System ablesen. Dazu zählen beispielsweise ihr Leerlauf-, proportionaler und quadratischer Verlust bei den verschiedenen Lastpegeln. Wenn diese drei Verlustarten relativ zur prozentualen USV-Last abgetragen werden, ergibt sich ein Diagramm der Verlustleistung ähnlich dem aus **Abbildung 3**. Dabei ist zu beachten, dass der Leerlaufverlust über das gesamte Lastspektrum hinweg gleich bleibt, während der proportionale Verlust ansteigt, wenn mehr IT-Geräte an die USV angeschlossen werden.

**Abb. 3 – Entwicklung der Verlustleistung**



## Häufige Fehler bei der Spezifikation von USV-Systemen

Nur allzu leicht werden bei der Spezifizierung von USVen die unterschiedlichen Wirkungsgrade der Systeme außer Acht gelassen. **Tabelle 2** listet die Gründe hierfür auf und erläutert die Nachteile einer derartigen Vorgehensweise.

**Tabelle 2 – Gründe für die mangelnde Berücksichtigung des Wirkungsgrads**

Grund	Nachteil
Der vom Hersteller angegebene Wirkungsgrad bezieht sich fast immer auf eine Last von 100 % unter optimalen Bedingungen. Daraus ergeben sich für die verschiedenen USVen quasi identische Wirkungsgrade.	Die Herstellerangaben sind nur dann von Wert, wenn die USV bei ihrer Inbetriebnahme mit einer Last von über 80 % gefahren wird. Andernfalls sollte bei der Spezifizierung die jeweils niedrigere Last herangezogen werden. Dazu kommt, dass die Hersteller häufig auf Eingangfilter verzichten, die den angegebenen Wirkungsgrad noch einmal um 0,5 bis 1 % drücken.
Bei einer USV-Last von über 80 % machen die Stromkosten aufgrund der Verlustleistung nur einen kleinen Prozentsatz der Kosten aus, die für die IT-Stromversorgung insgesamt anfallen.	Trotz dieser Tatsache können von USV zu USV erhebliche Kostenunterschiede bestehen.
Die vom Hersteller angegebenen Wirkungsgrade der USVen dienen zur Berechnung der Verlustleistung für alle Lastszenarien. Daraus ergeben sich ähnliche Kosten für die einzelnen Systeme.	Obwohl der Wirkungsgrad bei einer Last von über 30 % konstant ist, kommt es unter diesem Wert zu einem zunächst schwachen und zwischen 20 und 30 % sogar steilen Abfall des Wirkungsgrads. Dazu kommt, dass bereits ein kleiner Unterschied beim Wirkungsgrad überraschend große Unterschiede bei den Stromkosten nach sich zieht.
Die Kosten werden auf einer jährlichen Basis berechnet, wodurch sich geringere Beträge ergeben.	Die auf den ersten Blick gering erscheinenden Jahreskosten müssen mit dem Faktor 10 multipliziert werden, da von einer Nutzungsdauer des Datacenters von 10 Jahren auszugehen ist.

Unternehmen zahlen für den Strom, den sie laut Verbrauchszähler benötigt haben. Dies ist die ultimative Benchmark für die Spezifizierung eines jeden Geräts. Aus diesem Grund sollten die Angaben der Hersteller zum Wirkungsgrad auf realistischen Kundeninstallationen basieren. Außerdem sollte bei der Konzeption der Datacenter-Stromversorgung der Wirkungsgrad unter Berücksichtigung *aller* Stromverbraucher und nicht nur der installierten USVen zugrunde gelegt werden. In diesen Zusammenhang gehört z. B. der Verzicht auf Eingangfilter, um den Wirkungsgrad einer USV zu erhöhen. USVen erzeugen aufgrund ihrer Bauweise Oberwellen bzw. unerwünschte Ströme, die Wärmeverluste in netzaufwärts befindlichen Leitungen und Transformatoren erhöhen und damit den Wirkungsgrad beeinträchtigen. USV-Eingangfilter minimieren diese nachteiligen Effekte, indem sie den Oberwellenanteil des Wechselstroms dämpfen. Indem er auf Eingangfilter verzichtet, um einen höheren Wirkungsgrad zu erzielen, verlagert ein Hersteller also die Wärmeverluste und die daraus resultierenden Leistungsverluste lediglich weiter netzaufwärts. Für den Kunden bedeutet dies letztlich die Reduktion des Wirkungsgrads, der über die 0,5 bis 1 % bei Volllast hinausgeht, da eine USV meistens mit einer Last von rund 30 % betrieben wird, bei der der feste Verlust durch den Filter stärker ins Gewicht fällt. Zur Verdeutlichung soll eine 1-MW-USV dienen, die bei 0,10 USD/kWh und einer Last von 30 % einen Best-case-Wirkungsgrad von 89 % aufweist. Wenn der Wirkungsgrad durch einen Filter um 3 % gedrückt wird, steigen die jährlichen Stromkosten von 32.481 auf 42.781 USD. Dies entspricht einer Steigerung von annähernd 32 %.

Die vielleicht effizienteste Methode für die Spezifikation einer USV mit Blick auf ihren Wirkungsgrad besteht darin, vom Hersteller eine Wirkungsgradkurve zu verlangen, die die Stromkosten der USV detailliert auflistet und so einen fundierten Vergleich ermöglicht. Dabei sollte die Kurve sowohl die Eingangs- als auch die

Ausgangsleistung angeben, so dass mit einem einfachen Spreadsheet die Stromeinsparungen für beliebige Lastpegel zwischen 0 und 100 % berechnet werden können. **Dabei muss die vom Hersteller bereitgestellte Kurve auf einer Konfiguration basieren, die mit der spezifizierten Konfiguration vergleichbar ist.** Im Anhang zu diesem White Paper finden Sie eine ausführliche Erörterung zum Vergleich der USV-Wirkungsgrade unter Berücksichtigung verschiedener Szenarien. Im Folgenden wird beschrieben, wie USV-Hersteller den Wirkungsgrad ihrer Produkte durch verschiedene Designmerkmale erhöhen können.

## Erhöhung des Wirkungsgrads von großen USVen

Um den Wirkungsgrad von USVen zu erhöhen, kann ein Hersteller drei Arten von elektrischen Verlusten reduzieren: den Leerlaufverlust, den proportionalen und den quadratischen Verlust. Mögliche Ansätze für die Realisierung dieses Ziels sind Modifizierungen bei der **Technologie**, der **Topologie** und der **Modularität**. Die genaue Kenntnis der Auswirkung dieser Faktoren auf den Wirkungsgrad ermöglicht eine sehr viel einfachere Erkennung von USV-Systemen mit niedrigen Stromkosten im Rahmen der Spezifikation.

### Technologie

Dieser Faktor überschneidet sich tendenziell mit den Faktoren Topologie und Modularität, bezieht sich im Kontext dieser technischen Dokumentation jedoch ausschließlich auf die Bausteine einer USV einschließlich Hard- und Software.

#### Technologische Modifikation: IGBTs anstelle von SCRs

Große USV-Systeme im Halbleitertechnik (statische USVen) wandeln Wechselstrom in Gleichstrom und umgekehrt. Ein Teil dieses Prozesses erfolgt in Form extrem schneller Ein- und Ausschaltvorgänge, die zu Leistungsverlusten durch Abwärme führen. Die Abwärme wiederum entsteht aufgrund des uneinheitlichen/inhärenten elektrischen Schalterwiderstands. Tatsächlich kommt es auch bei einem offenen Schalter infolge von Verluststrom immer zu einem gewissen Wärmeverlust. Dieses Phänomen lässt sich mit einem Seil vergleichen, das sehr schnell durch die Hände einer das Seil haltenden Person gezogen wird. Dabei entspricht das Seil dem Strom, während die Hände dem Schalter gleichzusetzen sind. Wenn die Person das Seil sehr fest in den Händen hält (d. h. der Schalter geschlossen ist), wird mehr Wärme erzeugt, als wenn sie das Seil nur lose hält (d. h. der Schalter offen ist).

Früher erfolgte der Schaltvorgang durch siliziumgesteuerte Gleichrichter (SCRs) mit einer Hochstrom-/Hochspannungs-Schaltfunktionalität. SCRs wurden bis Mitte der 1990er Jahre standardmäßig in USVen verbaut und sind auch heute noch in einigen älteren Systemkonzepten anzutreffen. SCRs waren zwar verhältnismäßig preisgünstig und leicht zu integrieren, hatten jedoch einige gravierende Nachteile. Am schwersten fiel ihre ausgeprägte Kurzschlussneigung ins Gewicht, was wiederum zu Kurzschlüssen an der empfindlichsten Stelle der USV führte – der Gleichstrom-Sammelschiene (DC-Bus). Um dies zu verhindern, mussten Schutzschaltungen und -vorrichtungen vorgesehen werden, wodurch sich die Anzahl der ausfallgefährdeten Komponenten weiter erhöhte. SCRs lassen sich einfach einschalten

(ein 1- bis 2-V-Signal an der Gateelektrode reicht bereits aus), aber nur schwer ausschalten, da hierfür eine Sperrspannungsspitze notwendig ist. Im Gegensatz hierzu lassen sich Transistoren mit geringen Strömen ein- und ausschalten. Sie sind im Prinzip eingeschaltet, sobald das Gatesignal zugeführt wird, und ausgeschaltet, wenn dieses Signal nicht mehr vorhanden ist. Bis Mitte der 1990er Jahre wurde ihre Verbreitung jedoch durch ihre mangelnde Stromtragfähigkeit gebremst. Dieses Problem wurde mit der Einführung der Bipolartransistoren mit isolierter Gateelektrode (IGBTs) gelöst. Dank höherer Geschwindigkeiten und besserer Stromtragfähigkeit kann die Leistungswandlung mit IGBTs in einem sogenannten PWM-Modus mit hoher Frequenz (Pulse Width Modulation, Pulsweitenmodulation) erfolgen. Die Hochfrequenz-PWM verringert die Größe der Filterkomponenten und sorgt so für eine weitere Verbesserung des Wirkungsgrads.

### **Steuerung: DSP- anstelle von Analogsteuerung**

Viele Hersteller vollziehen zur Zeit den Umstieg von der analogen zur DSP-Steuerung. Dieser Umstieg ist so grundlegend wie der von einer herkömmlichen Uhr mit Zeigern und Uhrwerk zu einer digitalen Uhr mit Akku und LCD-Anzeige. Steuerungen mit digitaler Signalverarbeitung sind sehr viel smarter und schneller und somit in der Lage, einen wichtigen Beitrag zur Erhöhung des Wirkungsgrades zu leisten. Darüber hinaus kommen sie im Vergleich zu analogen Schaltkreisen mit weniger Komponenten aus.

Moderne DSP-Steuerungen erhöhen den Wirkungsgrad durch intelligente, adaptive Schaltprozesse, bei denen die mit Hochfrequenz arbeitenden Hauptleistungsschalter die Ausgangsspannung präzise halten und dabei sehr viel weniger fehleranfällige Schaltvorgänge benötigen. Bei geringerer Last lässt sich mit DSP die Anzahl der Schaltvorgänge um bis zu 50 % reduzieren, was sich in einer spürbaren Verbesserung des Wirkungsgrads bemerkbar macht. Dazu kommt, dass DSP-Steuerungen sehr viel weniger Strom verbrauchen als frühere Steuerungsarten, wodurch sich eine Reduzierung des Leerlaufverlustes ergibt.

IGBT und DSP sind wichtigste technologische Entwicklungen, die bei der jüngsten Generation von USV-Produkten zu einem deutlich höheren Wirkungsgrad geführt haben.

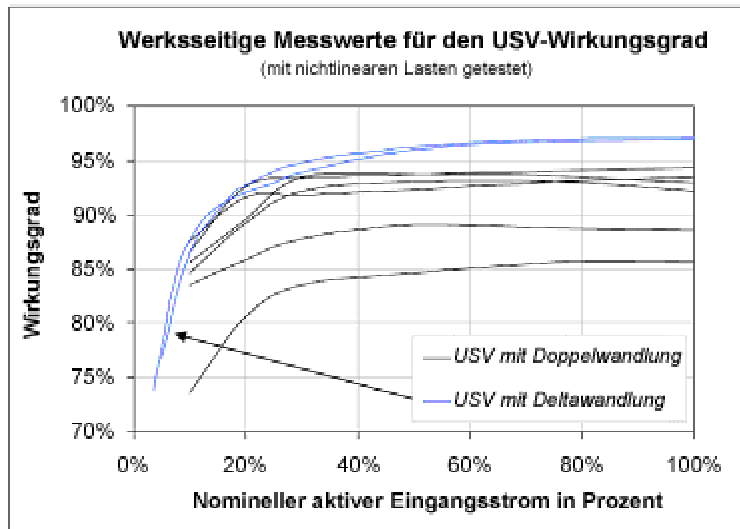
## **Topologie**

Die USV-Topologie bestimmt im Wesentlichen, wie die einzelnen Leistungsbaulemente intern miteinander verbunden sind. Anhand der Topologie können USV-Hersteller die elektrischen Verluste für einen bestimmte Anwendungs- oder Größenbereich gezielt verringern. Grundsätzlich kommen bei großen USV-Systemen zwei Arten von Topologien zum Einsatz: Online-Doppelwandlung und Online-Deltawandlung. Für Hochleistungs-USVn mit über 200 kVA bietet laut einer aktuellen Veröffentlichung des US Electrical Power Research Institute die *Topologie mit Online-Deltawandlung* den besten Wirkungsgrad<sup>3</sup> (**Abb. 4**). Die Auswirkung der Topologie auf den USV-Wirkungsgrad wird im Folgenden näher erläutert.

---

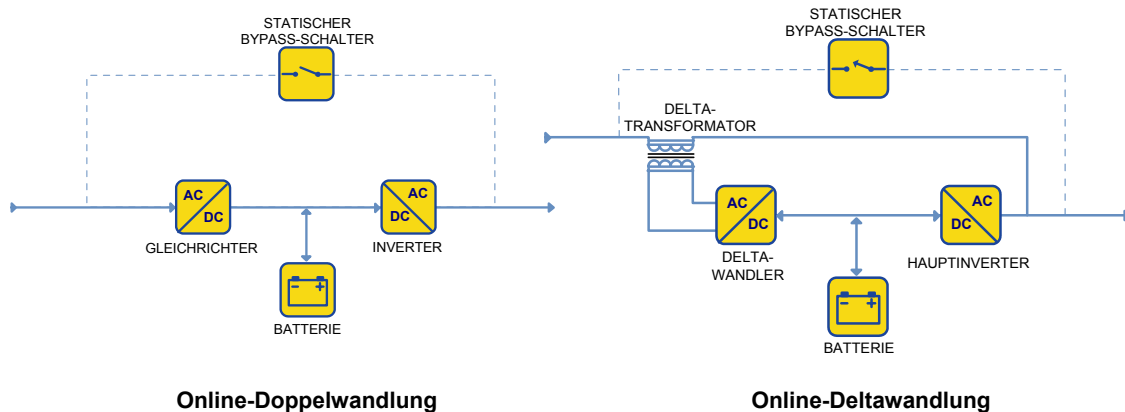
<sup>3</sup> My Ton, Brian Fortenbury, *High Performance Buildings: Data Centers Uninterruptible Power Supplies (UPS)*, S. 20. [http://hightech.lbl.gov/documents/UPS/Final\\_UPS\\_Report.pdf](http://hightech.lbl.gov/documents/UPS/Final_UPS_Report.pdf) (Zugriff 28. April 2006).

**Abb. 4** – Auszug aus dem zitierten EPRI-Bericht (S. 20)



**Abb. 5** – Zwei USV-Technologien für die Online-Wandlung

Aus APC White Paper Nr. 1, „Die verschiedenen Arten von USV-Systemen“



Bei Systemen mit Online-Deltawandlung ist die Steigerung des Wirkungsgrads in erster Linie auf eine Reduzierung des Leerlaufverlustes zurückzuführen, wobei jedoch auch der geringere quadratische Verlust eine gewisse Rolle spielt. Durch die Reihenschaltung der Eingangstransformatoren lassen sich Eingangsstrom und Ausgangsspannung der USV vollständig regeln und steuern, ohne dass die gesamte ankommende Leistung in Gleichstrom und anschließend wieder in Wechselstrom gewandelt werden muss, wie dies bei einem System mit Online-Doppelwandlung der Fall ist. Dies ist in **Abbildung 5** dargestellt. Dabei ist zu beachten, dass die Ausgangsspannung bei der USV mit Online-Deltawandlung durch den Ausgangswechselrichter vollständig regeneriert und vom Netzstrom galvanisch getrennt wird, wie dies auch bei USVen mit Online-Doppelwandlung der Fall ist. Ein weiteres Beispiel dafür, wie die Topologie zur Reduzierung des Leerlaufverlustes beitragen kann, besteht in der Eliminierung des Eingangsfilters, der bei der Topologie mit Doppelwandlung benötigt wird. Herkömmliche USV-Systeme mit Doppelwandlung weisen hohe Oberwellen des Eingangsstroms (Verzerrungsfaktor zwischen 9 und 30 %) und einen niedrigen

Leistungsfaktor (0,9 bis 0,8) auf. Aus diesem Grund werden sie mit einem Eingangsfiler versehen, der den Leistungsfaktor erhöht und die Oberwellen bzw. unerwünschten Ströme, die zu Wärmeverlusten bei netzaufwärts gelegenen Leitungen und Transformatoren führen, auf ein möglichst geringes Maß reduziert. Allerdings wirkt sich dieser Filter störend auf die Spannungsregelung bei motorbetriebenen Generatoren aus. Durch die Entnahme von Sinusstrom werden bei einer Topologie mit Deltawandlung vernachlässigbare Oberwellen (unter 3 %) mit einem Leistungsfaktor von 1 erzeugt, so dass der Eingangsfiler überflüssig ist. Einen ausführlichen Vergleich der beiden USV-Topologien finden Sie im APC White Paper Nr. 1, „Die verschiedenen Arten von USV-Systemen“.

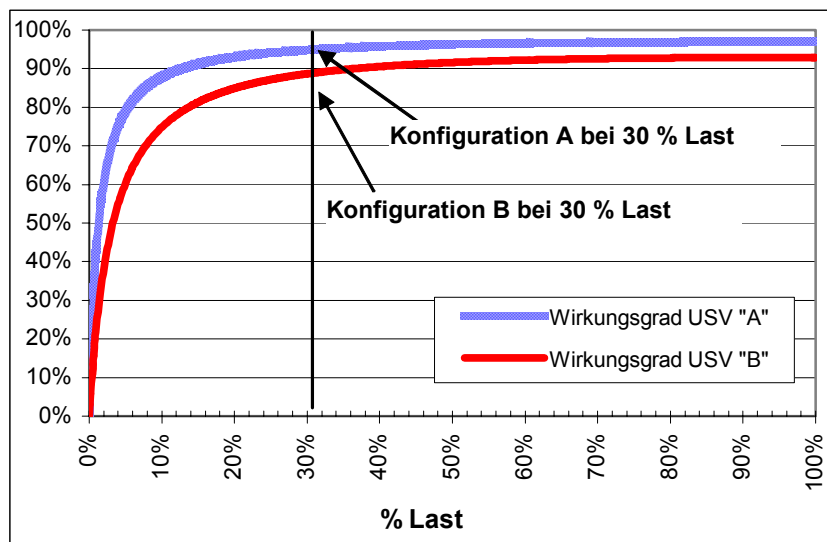
Die Deltawandlung ist ein gutes Beispiel dafür, wie USV-Hersteller anhand der Topologie den Wirkungsgrad ihrer Produkte steigern und ihren Stromverbrauch senken können, ohne dabei Einbußen bei der elektrischen Leistung hinnehmen zu müssen. Der folgende Vergleich verdeutlicht die Einsparungen.

### Die quantitative Auswirkung verschiedener Topologien

#### 1N-Topologie – Vergleich Deltawandlung und Doppelwandlung

Konfiguration A ist eine 1-MW-USV mit Online-Deltawandlung. Konfiguration B ist eine 1-MW-USV mit Online-Doppelwandlung. **Abbildung 6** zeigt die Wirkungsgradkurven der beiden USVen als Funktion der prozentualen Last. In beiden Fällen soll die Last 300 kW betragen. Der Wirkungsgrad von Konfiguration A bei einer Last von 30 % beträgt 94,9 %, während Konfiguration B nur einen Wirkungsgrad von 88,7 % erreicht. Über die Gesamtnutzungsdauer der USV gesehen, führt ein um 6,2 % höherer Wirkungsgrad zu einer deutlichen Kostenersparnis.

**Abb. 6 – Wirkungsgradkurven für Deltawandlung (Konfiguration A) und Doppelwandlung (Konfiguration B)**



**Tabelle 3** zeigt, dass Konfiguration A mit Deltawandlung um 58 % niedrigere Kosten aufweist als Konfiguration B mit Doppelwandlung. Dabei dürfte offensichtlich sein, dass der Leerlaufverlust mit mehr als 60 % aller Verluste den wichtigsten Faktor für die Kostensenkung darstellt.

**Tabelle 3 – 10-Jahres-Analyse von Wirkungsgrad und Kosten – Vergleich Deltawandlung und Doppelwandlung (1N)**

USV-System	Wirkungsgrad %	Proportionaler Verlust	Leerlaufverlust	Quadratischer Verlust	Kühlkosten	Gesamtkosten durch geringen Wirkungsgrad	Kosteneinsparungen in % (10 Jahre)
Konfiguration A – Deltawandlung	94,87%	\$16.820	\$116.771	\$8.523	\$56.846	<b>\$198.960</b>	<b>\$271.091</b> <b>58%</b>
Konfiguration B – Doppelwandlung	88,67%	\$25.213	\$283.298	\$27.239	\$134.300	<b>\$470.051</b>	

Die in **Tabelle 3** aufgeführten Kosten verdoppeln sich nahezu, wenn die gleichen USVen in einer redundanten 2N-Architektur (d. h. mit zwei Systemen) implementiert werden. Der folgende Vergleich verdeutlicht die Einsparungen.

2N-Topologie – Vergleich Deltawandlung und Doppelwandlung

Konfiguration A besteht aus zwei redundanten (2N) 1-MW-USVen mit Online-Deltawandlung; Konfiguration B besteht aus zwei redundanten (2N) 1-MW-USVen mit Online-Doppelwandlung. Auch hier soll die Last jeweils 300 kW betragen. Dies bedeutet, dass jede USV lediglich eine Last von 15 % aufweist, da die zwei USVen in beiden Konfigurationen im Normalbetrieb nur jeweils die Hälfte der Last übernehmen. **Tabelle 4** stellt die Kosten der 2N-Konfiguration dar. Dabei ist darauf zu verweisen, dass sich der quadratische Verlust aufgrund der 2N-Architektur zwar halbiert, der Leerlaufverlust jedoch verdoppelt, da er lastunabhängig ist.

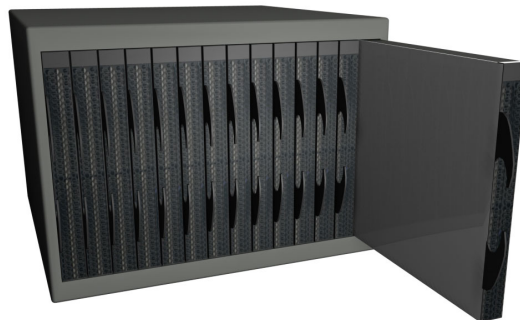
**Tabelle 4 – 10-Jahres-Analyse von Wirkungsgrad und Kosten bei einer 300-kW-Last – Vergleich USV mit Deltawandlung und Doppelwandlung (2N-Architektur)**

USV-System	Wirkungsgrad %	Proportionaler Verlust	Leerlaufverlust	Quadratischer Verlust	Kühlkosten	Gesamtkosten durch geringen Wirkungsgrad	Kosteneinsparungen in % (10 Jahre)
Konfiguration A – Deltawandlung	91,17%	\$16.820	\$233.542	\$4.262	\$101.849	<b>\$356.473</b>	<b>\$491.129</b> <b>58%</b>
Konfiguration B – Doppelwandlung	81,28%	\$25.213	\$566.597	\$13.620	\$242.172	<b>\$847.601</b>	

## Modularität

Modularität ist der dritte Ansatz, mit dem Hersteller eine höhere Energieeffizienz erzielen können. Wie aus der Wirkungsgradkurve aus **Abbildung 5** hervorgeht, ist eine USV umso effizienter, je näher an Volllast sie betrieben wird. Durch eine modulare Bauweise kann ein USV-System möglichst genau auf die jeweilige Last abgestimmt werden, so dass es sich im Normalbetrieb möglichst weit rechts auf der Wirkungsgradkurve befindet. Ein Beispiel für die hocheffiziente Abstimmung von Kapazität und Last sind Blade-Server, die mittlerweile in jedem Datacenter anzutreffen sind (**Abbildung 7**).

**Abbildung 7** – Modularer, skalierbarer Blade-Server



Die Blade-Server-Architektur zeichnet sich durch zwei zentrale Designmerkmale aus, die in USV-Systemen gewinnbringend genutzt werden können: Sie ist **modular** und sie ist **skalierbar**.

Ein Blade-Server ist insofern modular, als der Kunde den Rahmen kauft und dann Standard-Blades einbaut, um die gewünschte Verarbeitungsleistung für seine Anwendung zu erhalten. Je mehr Blades er einbaut, desto leistungsfähiger wird der Server. Somit handelt es sich um ein skalierbares System, das an den jeweiligen Rechenbedarf angepasst werden kann.

Stellen Sie sich nun ein USV-System vor, das nach dem gleichen Prinzip modulare Leistungsbaulemente enthält. Ein Beispiel hierfür wäre ein USV-Gehäuse mit einer Ausgangsleistung von 1 MW, bei dem mit zunehmender Last weitere Leistungsmodule eingebaut werden könnten, um die gewünschte Ausgangskapazität zu erzielen. Das System könnte bei Bedarf von 200 kW bis auf 1 MW erweitert werden. Das Resultat überzeugt in jeder Hinsicht: Sie vermeiden unnötige Ausgaben, indem Sie nur die tatsächlich benötigten Komponenten erwerben, und die USV arbeitet mit einem höheren Lastpegel, da ihre Kapazität auf die tatsächliche Last abgestimmt ist. Und das führt wiederum zu einem besserem Wirkungsgrad. Der folgende Vergleich macht die Vorteile der bedarfsgerechten Auslegung mit Blick auf den Wirkungsgrad deutlich und geht dabei wieder von einer Last von 300 kW aus.

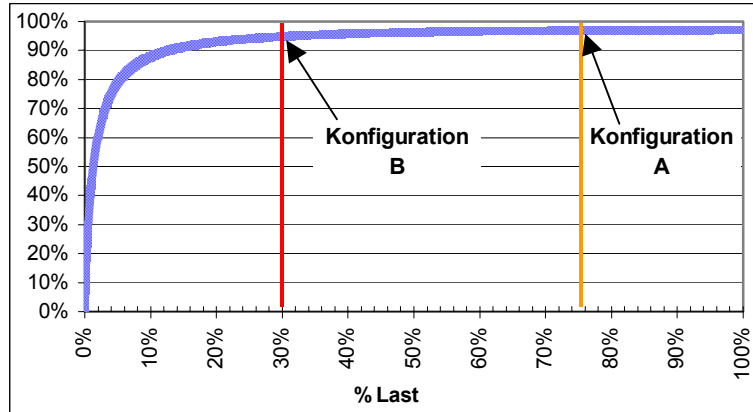
### Die quantitative Auswirkung einer modularen Bauweise

#### 1N-Modularitätsvergleich – Vergleich bedarfsgerechte USV und überdimensionierte USV

Konfiguration A ist eine skalierbare 1-MW-USV mit Online-Deltawandlung, die mit zwei 200-kW-Modulen (400 kW) auf den tatsächlichen Bedarf zugeschnitten ist. Konfiguration B ist die gleiche USV, die jedoch

mit insgesamt fünf 200-kW-Modulen (1 MW) deutlich überdimensioniert ist. **Abbildung 8<sup>4</sup>** zeigt die Wirkungsgradkurve der beiden Systeme.

**Abb. 8 – Wirkungsgradkurve für 1-MW-USV mit Deltawandlung**



Das Diagramm markiert die beiden Punkte der Kurve, an denen der Vergleich erfolgt (75 % Last und 30 % Last für Konfiguration A bzw. B). Die beiden Punkte entsprechen einem Wirkungsgrad von 96,87 % bzw. 94,87 %. **Tabelle 5** enthält eine Analyse von Wirkungsgrad und Kosten der beiden Konfigurationen. Während die proportionalen Verluste bei beiden Systemen äquivalent sind, ist der Leerlaufverlust der überdimensionierten USV 2,5 Mal größer als derjenige der bedarfsgerecht ausgelegten USV. Dem Plus an Wirkungsgrad steht allerdings eine geringfügige Steigerung des quadratischen Verlustes gegenüber, der bei Konfiguration A 2,5 Mal größer ist als bei der überdimensionierten Konfiguration B. Der Grund hierfür besteht darin, dass der quadratische Verlust mit steigender Last stärker ausgeprägt ist.

**Tabelle 5 – 10-Jahres-Analyse von Wirkungsgrad und Kosten bei einer 300-kW-Last – Vergleich skalierbare Deltawandlungs-USV mit bedarfsgerechter und überdimensionierter Auslegung (1N)**

USV-System	Wirkungsgrad %	Proportionaler Verlust	Leerlaufverlust	Quadratischer Verlust	Kühlkosten	Gesamtkosten durch geringen Wirkungsgrad	Kosteneinsparungen in % (10 Jahre)
Konfiguration A – Bedarfsgerecht ausgelegte, skalierbare USV	96,87%	\$16.820	\$46.708	\$21.308	\$33.935	\$118.772	<b>\$80.188</b> <b>40%</b>
Konfiguration B – Überdimensionierte, skalierbare USV	94,87%	\$16.820	\$116.771	\$8.523	\$56.846	\$198.960	

Der folgende Vergleich zeigt, wie sich die Kosteneinsparungen bei einem redundanten Design weiter steigern lassen.

<sup>4</sup> Die Wirkungsgradkurve aus Abbildung 7 bezieht sich in diesem Fall auf die überdimensionierte USV, ist jedoch auch auf eine bedarfsgerecht ausgelegte USV übertragbar.

### 2N-Modularitätsvergleich – Vergleich bedarfsgerechte USV und überdimensionierte USV

Konfiguration A ist eine 2N-Architektur (System plus System) mit skalierbaren 1-MW-USVen mit Online-Deltawandlung, die mit zwei 200-kW-Modulen (400 kW) pro USV bedarfsgerecht ausgelegt ist. Konfiguration B ist identisch mit Konfiguration A, wobei jedoch jede USV mit insgesamt fünf 200-kW-Modulen (1 MW) deutlich überdimensioniert ist. **Tabelle 8** enthält eine Analyse von Wirkungsgrad und Kosten der beiden Konfigurationen. Interessant ist dabei, dass – obwohl das Verhältnis von proportionalem und Leerlaufverlust für die beiden USVen identisch mit dem Modularitätsvergleich für die 1N-Architektur ist – die Kosteneinsparungen über 10 Jahre hinweg dennoch auf 53 % ansteigen. Auch dieser Effekt ist auf den quadratischen Verlust zurückzuführen, da er bei niedrigerer Last einen geringen Prozentsatz der Gesamtverluste ausmacht.

**Tabelle 6** – 10-Jahres-Analyse von Wirkungsgrad und Kosten bei einer 300-kW-Last – Vergleich skalierbare Deltawandlungs-USV mit bedarfsgerechter und überdimensionierter Auslegung (2N)

USV-System	Wirkungsgrad %	Proportionaler Verlust	Leerlaufverlust	Quadratischer Verlust	Kühlkosten	Gesamtkosten durch geringen Wirkungsgrad	Kosteneinsparungen in % (10 Jahre)
Konfiguration A – Bedarfsgerecht ausgelegte, skalierbare USV (2N)	95,60%	\$16.820	\$93.417	\$10.654	\$48.356	\$169.247	<b>\$187.225</b> <b>53%</b>
Konfiguration B – Bedarfsgerecht ausgelegte, skalierbare USV (2N)	91,17%	\$16.820	\$233.542	\$4.262	\$101.849	\$356.473	

### **Die quantitative Auswirkung von Topologie und Modularität**

Aus den bisherigen Systemvergleichen dürfte deutlich geworden sein, wie sich mittels Topologie und Modularität der Wirkungsgrad steigern lässt. Ließe sich dieser Effekt möglicherweise noch steigern, indem man die beiden Faktoren miteinander kombiniert? Die folgenden Vergleichsszenarien geben die Antwort auf diese Frage.

### 1N-Topologie- und Modularitätsvergleich – Vergleich bedarfsgerechte USV mit Deltawandlung und überdimensionierte USV mit Doppelwandlung

Konfiguration A ist eine skalierbare 1-MW-USV mit Online-Deltawandlung, die mit zwei 200-kW-Modulen (400 kW) bedarfsgerecht ausgelegt ist. Konfiguration B ist eine 1-MW-USV mit Online-Doppelwandlung, die nicht skalierbar und damit überdimensioniert ist. In beiden Fällen soll die Last 300 kW betragen. Der Wirkungsgrad von Konfiguration A bei einer Last von 30 % beträgt 96,9 %, während Konfiguration B nur einen Wirkungsgrad von 88,7 % erreicht. Der direkte Vergleich ergibt also eine Differenz von 8,2 Prozentpunkten.

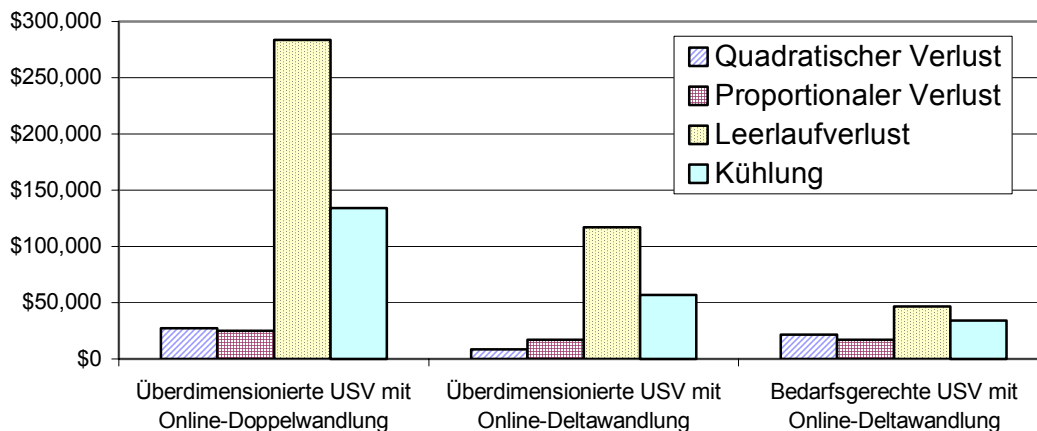
**Tabelle 7** zeigt, dass die wirkungsgradbedingten Kosten um 75 % reduziert werden können, wenn anstelle einer nicht skalierbaren, überdimensionierten Doppelwandlungs-USV eine skalierbare, bedarfsgerecht ausgelegte USV mit Deltawandlung eingesetzt wird. Bei dieser 1N-Architektur sind die Gesamt-Stromkosten

für Konfiguration B nahezu vier Mal höher als für Konfiguration A. Außerdem macht der Leerlaufverlust bei Konfiguration A lediglich 39 % aller Verluste aus, d. h. er ist um nahezu die Hälfte niedriger als bei Konfiguration B (60 %). **Abbildung 9** schlüsselt die Stromkosten aufgrund der diversen elektrischen Verluste für eine 1N-Architektur auf.

**Tabelle 7 – 10-Jahres-Analyse von Wirkungsgrad und Kosten bei einer 300-kW-Last – Vergleich bedarfsgerecht ausgelegte Deltawandlungs-USV und nicht skalierbare Doppelwandlungs-USV ohne Redundanz (1N-Architektur)**

USV-System	Wirkungsgrad %	Proportionaler Verlust	Leerlaufverlust	Quadratischer Verlust	Kühlkosten	Gesamtkosten durch geringen Wirkungsgrad	Kosteneinsparungen in % (10 Jahre)
Konfiguration A – Bedarfsgerecht ausgelegte, skalierbare USV mit Deltawandlung	96,87%	\$16.820	\$46.708	\$21.308	\$33.935	\$118.772	<b>\$351.279</b> <b>75%</b>
Konfiguration B – Überdimensionierte, nicht skalierbare USV mit Doppelwandlung	88,67%	\$25.213	\$283.298	\$27.239	\$134.300	\$470.051	

**Abb. 9 – 10-Jahres-Kosten aufgrund von elektrischen Verlusten (1N-Architektur)**

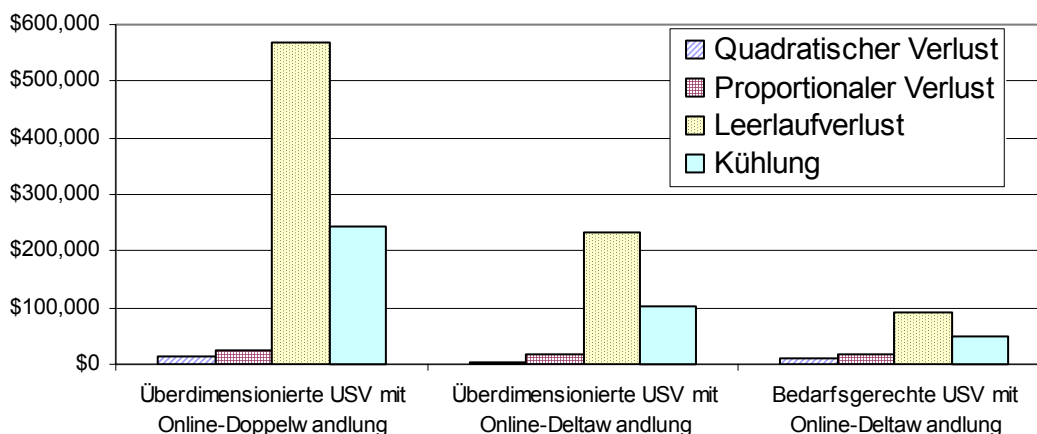


Die in **Tabelle 7** genannten Kosten verdoppeln sich nahezu, wenn bei den Konfigurationen A und B eine redundante 2N-Architektur (System plus System) zugrunde gelegt wird. In diesem Fall sind die Gesamtstromkosten für Konfiguration B quasi fünf Mal höher als für Konfiguration A (**Tabelle 8**). Aus den **Abbildungen 9** und **10** wird ersichtlich, dass der Leerlaufverlust als größter Kostentreiber fungiert. Dabei ist zu beachten, dass – obwohl sich der quadratische Verlust aufgrund der 2N-Architektur halbiert –, dies die Verdoppelung des Leerlaufverlustes nicht wettmachen kann, da der Leerlaufverlust bei allen Lastpegeln den größten prozentualen Anteil an allen Verlusten bildet.

**Tabelle 8** – 10-Jahres-Analyse von Wirkungsgrad und Kosten bei einer 300-kW-Last – Vergleich bedarfsgerecht ausgelegte Deltawandlungs-USV und nicht skalierbare Doppelwandlungs-USV mit 2N-Redundanz (System plus System)

USV-System	Wirkungsgrad %	Proportionaler Verlust	Leerlaufverlust	Quadratischer Verlust	Kühlkosten	Gesamtkosten durch geringen Wirkungsgrad	Kosteneinsparungen in % (10 Jahre)
Konfiguration A – Bedarfsgerecht ausgelegte, skalierbare USV mit Deltawandlung	95,60%	\$16.820	\$93.417	\$10.654	\$48.356	<b>\$169.247</b>	<b>\$678.354 80%</b>
Konfiguration B – Überdimensionierte, nicht skalierbare USV mit Doppelwandlung	81,28%	\$25.213	\$566.597	\$13.620	\$242.172	<b>\$847.601</b>	

**Abb. 10** – 10-Jahres-Kosten aufgrund von elektrischen Verlusten (1N-Architektur)



Aus diesen Gegenüberstellungen ist ersichtlich, dass sich ein höherer USV-Wirkungsgrad auf zweierlei Arten erzielen lässt: durch eine Topologie mit einem besseren Wirkungsgrad und durch die bedarfsgerechte Auslegung des USV-Systems. In den hier genannten Beispielen führt der topologiebezogene Ansatz unbestritten zur deutlichsten Steigerung des Wirkungsgrades. Allerdings muss hierfür eine zusätzliche USV erworben werden, was wiederum nur praktikabel ist, wenn die Nutzlebensdauer der vorhandenen USV abgelaufen ist. Wenn alternativ die bedarfsgerechte Auslegung des USV-Systems gewählt wird, führt dies nicht zwangsläufig zur Notwendigkeit einer neuen USV. Bei einer Konfiguration mit mehreren USV-Systemen lässt sich eine bedarfsgerechte Auslegung realisieren, indem die Lasten auf ein oder mehrere USV-Systeme verschoben werden, so dass Systeme ohne Last abgeschaltet werden könnten. Diese Vorgehensweise findet auch bei Klimaanlage von überdimensionierten Datacentern Verwendung.

**Abbildung 11** zeigt ein Beispiel einer modularen 1-MW-USV, die in Schritten von 200 kW skaliert werden kann. Unterm Strich ergeben sich dabei sinkende Gesamtbetriebskosten (TCO), da der Kapitalbedarf von vornherein geringer ist und die laufenden Kosten für den Systembetrieb ebenfalls niedriger ausfallen.

Abbildung 11 – Modulares, skalierbares USV-System



Neben einer besseren elektrischen Effizienz durch die Anpassung der USV-Leistung an die jeweilige Last, bietet ein modularer USV-Aufbau weitere Vorteile, die sich positiv auf Verfügbarkeit, Flexibilität und TCO auswirken.

Eine ausführliche Beschreibung dieser Vorteile kann dem APC White Paper Nr. 116, „Standardisierung und Modularität in der physikalischen Infrastruktur für hochverfügbare Netzwerke“ entnommen werden.

### Worauf Sie achten sollten

- Überprüfen Sie bei der Evaluierung von USV-Systemen unbedingt den Wirkungsgrad und lassen Sie sich vom Hersteller Wirkungsgradkurven vorlegen.
- Bedenken Sie, dass der Wirkungsgrad einer *jeden* USV bei geringer Last niedriger ausfällt. Achten Sie deshalb darauf, dass die Herstellerangaben zum Wirkungsgrad als eine Funktion der Last angegeben werden und nicht nur ein Einzelwert bei Volllast genannt wird.
- Wählen Sie eine modulare USV-Architektur, mit der Sie die USV-Leistung möglichst präzise an die tatsächliche Last anpassen können. **Dieser Ansatz schlägt sich in einem deutlich höheren Wirkungsgrad nieder.**
- Informieren Sie sich über Demand Side Management-Programme Ihres Versorgungsunternehmens.
- Erkundigen Sie sich, welche Voraussetzungen für eine „Green Building“-Zertifizierung gegeben sein müssen.

## Weitere ökonomische Vorteile

Ein besserer Wirkungsgrad bringt neben dem geringeren Stromverbrauch eine Reihe weiterer Vorteile mit sich. So sieht der US-amerikanische Energy Policy Act aus dem Jahr 2005 Steueranreize, wenn die Energieeffizienz gewerblich genutzter Gebäude optimiert wird.<sup>5</sup> Vergleichbar hiermit ist das in Großbritannien eingeführte Enhanced Capital Allowances Scheme (ECA-Schema), bei dem Unternehmen die Kosten für die Investition in energieeffiziente Technologien im ersten Steuerjahr zu 100 % abschreiben können<sup>6</sup>. In vielen Ländern (darunter auch den USA) bieten Versorgungsunternehmen darüber hinaus über nachfrageseitige Maßnahmen wie beispielsweise DSM-Programme besondere Anreize für eine höhere Energieeffizienz, um so den Stromversorgung insgesamt zu senken. Dabei können die Verbraucher von günstigeren Stromtarifen profitieren bzw. das Versorgungsunternehmen übernimmt die Kosten für die Anschaffung energieeffizienter Technologien. Auch mit diesen Angeboten können clevere Betreiber von Datacentern ihre TCO deutlich senken.

Um eine fundierte Spezifizierung energieeffizienter USVen zu ermöglichen, müssen sämtliche Wirkungsgradmessungen unter ähnlichen Bedingungen von den einzelnen Herstellern vorgenommen und von externen Prüfinstituten überprüft und genehmigt werden. Im Rahmen seines Projekts „High-Performance High-Tech Buildings“ veröffentlichte das Lawrence Berkeley National Laboratory (LBNL) jüngst einen Bericht zu USV-Systemen, der sich mit der Steigerung des Wirkungsgrads in Datacentern, Reinräumen und Labors befasst<sup>7</sup>. Darin wird ein Schema für die Kennzeichnung von USVen hinsichtlich Wirkungsgrad und Stromqualität vorgeschlagen, um so die Verbreitung effizienterer USV-Systeme voranzutreiben.

Der Bericht sieht auch so genannte „Green Building“-Auszeichnungen für besondere Energieeffizienz im Gebäudebereich vor, mit denen entsprechende Datacenter als innovative Beispiele für einen immer mehr an Bedeutung gewinnenden Trend hervorgehoben werden. Immer mehr Unternehmen erkennen, dass sich Umweltlabel positiv auf ihre Marketingbotschaften auswirken. Dabei profitieren sie gleich doppelt, da sich eine entsprechende Zertifizierung auch in geringeren Betriebskosten niederschlägt. Letztendlich profitieren alle – die Unternehmen, ihre Kunden (aufgrund der niedrigen Produktkosten) und die Umwelt. Umweltlabel im Energiebereich werden immer mehr an Akzeptanz und Bedeutung gewinnen, je knapper und teurer unsere Energieressourcen werden.

---

<sup>5</sup> <http://www.energy.gov/taxbreaks.htm> (Zugriff 28. April 2006).

<sup>6</sup> <http://www.eca.gov.uk/etl/page.asp?pageCode=w0002&showHeader=1&showMenu=1> (Zugriff 11. Mai 2006).

<sup>7</sup> My Ton and Brian Fortenbury, *High-Performance High-Tech Buildings - Uninterruptible Power Supplies (UPS)*, Dezember 2005.

# Ergebnisse

Datencenter haben einen hohen Stromverbrauch. Diese Tatsache wird bisher von den Unternehmen und vom Markt insgesamt weitgehend ignoriert. Angesichts der immer wichtigeren Rolle, die den Gesamtbetriebskosten als zentralem Entscheidungsfaktor zukommt, rückt die *Effizienz* von Systemen in den Blickpunkt. Bei den heutigen USV-Technologien ist eine Entwicklung hin zu einem immer höheren Wirkungsgrad zu verzeichnen. Dabei ist stets zu bedenken, dass sich der Erfolg (unter Einhaltung der maßgeblichen Standards für die Zuverlässigkeit) letztendlich an dem tatsächlich realisierten Wirkungsgrad und nicht an den Details der jeweiligen Technologie bemisst. Neue Technologien mögen entwickelt, alte verbessert werden – aus Sicht des Kunden zählt allein die Wirkungsgradkurve. In Kombination mit den Gerätekosten kann er daraus Informationen ablesen und sinnvolle Maßnahmen ableiten. Wenn alle Systeme gleichermaßen zuverlässig sind, wie dies heute im Wesentlichen der Fall ist, empfiehlt es sich, das System mit dem höchsten Wirkungsgrad auszuwählen. Ein umweltfreundliches Firmenimage, mehr Agilität und geringere Serviceanforderungen durch modulare Bauweisen sind Vorteile, die die Attraktivität derartiger Systeme noch erhöhen.

## Literatur

- APC White Paper Nr. 1 Die verschiedenen Arten von USV-Systemen
- APC White Paper Nr. 17 Understanding Power Factor, Crest Factor, and Surge Factor
- APC White Paper Nr. 75 USV-Systemkonfigurationen im Vergleich
- APC White Paper Nr. 78 Mittlerer Ausfallzeitraum: Erläuterung und Normen
- APC White Paper Nr. 113 Elektrisches Wirkungsgradmodell von Datacentern
- APC White Paper Nr. 116 Standardisierung und Modularität einer physikalischen Infrastruktur für hochverfügbare Netzwerke

### Über den Autor:

**Richard L. Sawyer** ist als Director of Data Center Technology für APC in West Kingston, Rhode Island (USA), tätig und leitet das Professional Services Team von APC. Er ist Mitglied von 7x24 Exchange und im Beirat des AFCOM Data Center Institute. Vor dem Wechsel zu APC war Richard Sawyer weltweit an Konzeption, Errichtung und Betrieb von Datenzentren für Fidelity Investments, Aetna Life and Casualty und die CIGNA Corporation beteiligt.

# Anhang

## Kostenermittlung in den Tabellen 3 bis 8

Der Anhang erläutert, wie die in den **Tabellen 3 bis 8** genannten Kosten ermittelt wurden. Bei der Berechnung wurden die folgenden Variablen verwendet:

Kosten pro kWhr = USD 0,10

Anzahl der Stunden pro Jahr = 8.760 h

Betriebsdauer insgesamt = 10 Jahre

Strombedarf für Kühlsystem zur Ableitung von 1 kW Wärme = 0,4 kW

USV-Last bei 1N-Szenario (ohne Redundanz) = 300 kW

Last pro USV bei 2N-Szenario (System plus System) = 150 kW

Die in diesem White Paper genannten Kosten wurden anhand der Kurven aus **Abbildung A1** ermittelt. Dabei wurden sowohl die Messungen für die USV mit Online-Deltawandlung als auch für die USV mit Online-Doppelwandlung bei einer ohmschen Last von 100 % vom TÜV Rheinland durchgeführt. Die Verlustkurven wurden erhalten, indem zunächst die der USV bereitgestellte Leistung (Eingangsleistung) und die von der USV für die Last aufgebrauchte Leistung (Ausgangsleistung) gemessen wurden. Die Messungen erfolgten bei verschiedenen Lastpegeln (25 %, 50 %, 75 % und 100 %). Eine weitere Messung fand bei einer Last von 0 % statt, um den Eigenstrombedarf (Leerlaufverlust) der USV zu bestimmen. Ausgehend von diesen Messungen wurden die Verluste berechnet, indem die Eingangsleistung von der Ausgangsleistung subtrahiert wurde. Danach wurden die Verluste durch die Nennkapazität der USV dividiert, um so die USV-Verlustleistung bei den verschiedenen Lastpegeln zu erhalten. Die resultierenden prozentualen Werte wurden in Microsoft Excel abgetragen; anschließend wurde über die so erhaltenen Punkte eine Trendlinie zweiter Ordnung gelegt, um die Einzelwerte mit einem Mindestwert für  $R^2$  von 0,9998 zu korrelieren<sup>8</sup>. Die Trendlinie ergibt eine Formel, anhand derer alle übrigen Verluste für jeden beliebigen Lastprozentsatz abgetragen werden können (siehe unten). Indem 1000 gleichmäßig verteilte Verlustprozentsätze mit Blick auf den Lastpegel abgetragen wurde, ergab sich die Kurve aus **Abbildung A1**.

Formel der Trendlinie zweiter Ordnung für eine USV mit Online-Deltawandlung

$$y = 0,01081x^2 + 0,00640x + 0,01333$$

Formel der Trendlinie zweiter Ordnung für eine USV mit Online-Doppelwandlung

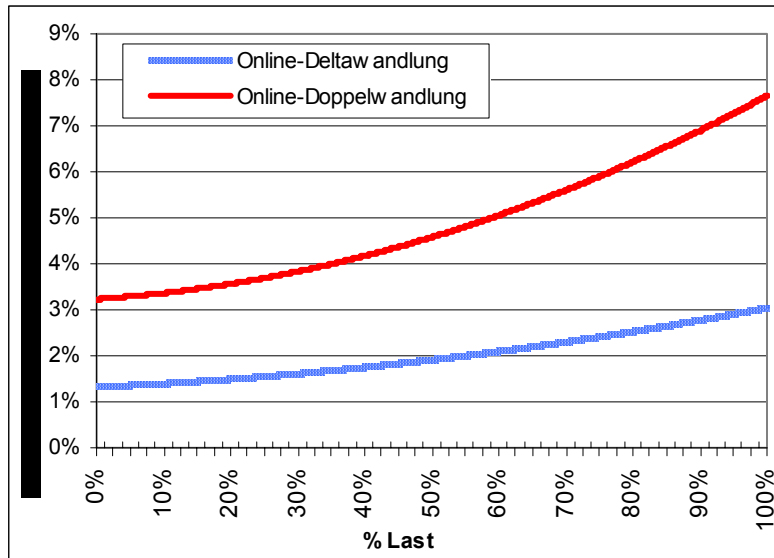
$$y = 0,03455x^2 + 0,00959x + 0,03234$$

---

<sup>8</sup> R-Quadrat ( $R^2$ ) ist eine statistische Einheit zwischen 0 und 1, die angibt, wie gut die Trendlinienwerte mit den Messwerten korrelieren. Dabei steht ein  $R^2$ -Wert von 1 für eine perfekte Übereinstimmung bzw. Korrelation.

In diesem Zusammenhang ist zu beachten, dass der erste Term für den quadratischen Verlust als Prozentsatz der USV-Nennkapazität steht. Der zweite Term steht für den proportionalen, der dritte für den Leerlaufverlust. Zusammen genommen bilden sie ein mathematisches Modell für die gesamten Stromverluste der USV bei einem beliebigen Lastpegel.

**Abb. A1 – Stromverlustkurven für USVen mit Deltawandlung und Doppelwandlung**



Die Kosten der Vergleichsdarstellungen basieren auf den Daten aus **Tabelle A1**, die anhand der oben beschriebenen Gleichungen zweiter Ordnung erhalten wurden.

**Tabelle A1 – Daten für die Berechnungen in den Tabellen 3 bis 8**

USV-System	Last (kW und %)	Proportionaler Verlust %	Leerlaufverlust%	Quadratischer Verlust %	Wirkungsgrad %
<b>Keine Redundanz – 1N</b>					
Konfiguration – Bedarfsgerecht ausgelegte, skalierbare USV mit Deltawandlung	300 (75%)	0,48%	1,33%	0,61%	96,87%
Konfiguration – Überdimensionierte, skalierbare USV mit Deltawandlung	300 (30%)	0,19%	1,33%	0,10%	94,87%
Konfiguration – Überdimensionierte, nicht skalierbare USV mit Doppelwandlung	300 (30%)	0,29%	3,23%	0,31%	88,67%
<b>Redundanz – 2N (System plus System)</b>					
Konfiguration – Bedarfsgerecht ausgelegte, skalierbare USV mit Deltawandlung	150 (38%)	0,48%	2,67%	0,30%	95,60%

USV-System	Last (kW und %)	Proportionaler Verlust %	Leerlaufverlust%	Quadratischer Verlust %	Wirkungsgrad %
Konfiguration – Überdimensionierte, skalierbare USV mit Deltawandlung	150 (15%)	0,19%	2,67%	0,05%	91,17%
Konfiguration – Überdimensionierte, nicht skalierbare USV mit Doppelwandlung	150 (15%)	0,29%	6,47%	0,16%	81,28%

Dabei ist zu beachten, dass sich die Verlustprozensätze auf die USV-Nennkapazität (1000 kW bei der überdimensionierten und 400 kW bei der bedarfsgerechten USV) beziehen. Obwohl der Leerlaufverlust (kW) unabhängig von der prozentualen Last konstant bleibt, nimmt der prozentuale Anteil des Leerlaufverlustes mit sinkendem Lastpegel zu, wenn er als Prozentsatz der USV-Nennkapazität ausgedrückt wird.

Das folgende Beispiel verdeutlicht, wie die prozentuale Verlustleistung aus **Tabelle A1** erhalten wurde. Zur Berechnung des quadratischen Verlustes bei einer Last von 75 % für die Konfiguration mit einer bedarfsgerecht dimensionierten, skalierbaren USV mit Deltawandlung wurde die Gleichung für die Deltawandlung  $y = 0,01081x^2 + 0,00640x + 0,01333$  herangezogen, wobei  $x$  gleich 0,75 ist. Allerdings soll in diesem Fall der quadratische Verlust berechnet werden, der durch den ersten Term  $0,01081x^2$  dargestellt wird. Somit beträgt der quadratische Verlust  $0,01081 \cdot (0,75)^2$  oder 0,61 % der USV-Nennkapazität, die bei diesem Szenario 400 kW lautet. Daraus ergibt sich, dass diese bedarfsgerecht ausgelegte 400-kW-USV bei einer Last von 75 % einen quadratischen Verlust von 2,4 kW aufweist.

Zur Berechnung der prozentualen Gesamtverluste bei einer Last von 75 % für die Konfiguration A mit einer bedarfsgerecht ausgelegten, skalierbaren USV mit Deltawandlung kommt die Deltawandlungs-Gleichung  $y = 0,01081x^2 + 0,00640x + 0,01333$  zum Einsatz, wobei  $x$  gleich 0,75 ist. Das Ergebnis lautet  $y = 0,02421$  bzw. 2,42 % der USV-Nennkapazität von 400 kW. Daraus ergibt sich, dass diese bedarfsgerecht ausgelegte 400-kW-USV bei einer Last von 75 % Gesamtverluste von 9,7 kW aufweist.

Zur Berechnung der 10-Jahres-Kosten für interne USV-Verluste wird die folgende Gleichung herangezogen:

$$10\text{-Jahres-Kosten für USV-Verluste} = \text{VERLUST kW} \times 8.760 \times 0,10 \times 10$$

Bei einer 2N-Architektur müssen die anhand der obigen Gleichung berechneten Kosten mit 2 multipliziert werden, da die Verluste durch zwei USVen entstehen. Außerdem müssen auch die Kühlkosten berücksichtigt werden, die infolge der internen Leistungsverluste anfallen. Zur Berechnung der 10-Jahres-Kühlkosten wird die folgende Gleichung verwendet:

$$10\text{-Jahres-Kühlkosten} = (10\text{-Jahres-Kosten für USV-Verluste}) \times 0,4$$