

VERTEILTE UND ZENTRALISIERTE BYPASS-ARCHITEKTUREN IM VERGLEICH

Inhalt

Zusammenfassung	3
Verteilt/Zentralisiert – Systembeschreibung	3
Zentralisiert oder verteilt?	4
1. Fokus auf Zuverlässigkeit	5
1.1 Bedeutet dies, dass MTBF-Berechnungen nutzlos sind?	6
2. Fokus auf das Schaltvermögen (Kurzschlusskapazität) des Bypass	6
3. Verteilte und zentralisierte Designs für modulare und monolithische USV-Architekturen von Vertiv™	7
Fazit	7

Zusammenfassung

Beim Entwerfen eines Schutzsystems für die Stromversorgung im Rechenzentrum müssen sich IT- und Facility Manager die Frage stellen, ob eine verteilte oder zentralisierte Backup-Strategie sinnvoller ist. Doch auf diese Frage gibt es leider keine einfache Antwort. Unternehmen müssen die Vorteile und Nachteile der beiden Architekturen gegen ihre finanziellen Zwänge, Verfügbarkeitsanforderungen und Verwaltungskapazitäten abwägen, bevor sie sich für eine von beiden entscheiden.

Dieses Whitepaper erläutert das Grundprinzip von zentralisierten und verteilten Bypass-Architekturen und zeigt deren Einsatz in eigenständigen monolithischen und integriert-modularen USV-Architekturen. Dabei wird insbesondere auf die Unterschiede in zwei wichtigen Bereichen eingegangen:

- Zuverlässigkeit (im Hinblick auf die vergleichbare mittlere Betriebsdauer zwischen Ausfällen „MTBF“) und somit die Verfügbarkeit
- Kapazität für die Störungsbeseitigung und Kurzschlussfestigkeit

Durch Befolgung der Vorschläge in diesem Whitepaper können Betreiber von Rechenzentren ihren Entscheidungsprozess vereinfachen, denn sie erhalten hier einen Überblick über die Schwächen und Stärken beider Systemdesigns. So können sie letztlich eine der Strategien wählen.

Verteilt/Zentralisiert – Systembeschreibung

In einer verteilten Bypass-Architektur weist jedes USV-Modul seinen eigenen internen statischen Schalter auf (Abb. 1), bemessen nach der USV-Größe, und jede USV überwacht ihren Ausgang selbst. Wenn das USV-System auf den Bypass umgeschaltet werden muss, schaltet jeder statische Schalter in jedem Modul zum selben Zeitpunkt, und der Laststrom wird unter ihnen aufgeteilt. Im Folgenden ist zur Veranschaulichung ein Blockschaltbild dargestellt. Im Gegensatz dazu gibt es in einem zentralisierten Bypass-System (Abb. 2) einen einzigen großen statischen Hauptschalter (auch als „MMS“ für Main Static Switch bekannt) für das gesamte USV-System, der nach der bekannten endgültigen Größe des Systems ausgelegt ist. Wenn das USV-System auf den Bypass umschalten muss, wird der Laststrom durch den MSS geleitet. Im Folgenden ist ein Blockschaltbild für eine verteilte Parallel-Architektur dargestellt. Der zentralisierte

Bypass ist eine Alternative zum verteilten Bypass. Technisch gesehen erfüllen beide Lösungen denselben Zweck (Gewährleistung der kontinuierlichen Stromversorgung), doch sie haben unterschiedliche Architekturen. Zwar stimmt es, dass verteilte Bypass-Lösungen am häufigsten vorkommen, weil sie flexibel sind und nur geringe Anfangskosten verursachen, doch es stimmt auch, dass im Marktsektor der mittleren bis großen Rechenzentren eventuell zentralisierte Bypass-Lösungen zu bevorzugen sind, wegen ihrer Zuverlässigkeit, Leistungsfähigkeit, Stellfläche und mitunter auch Kosten. Das gilt umso mehr für große Installationen, bei denen die Anzahl und Art der Schutzeinrichtungen sowie die Systemverkabelung eine wichtige Rolle spielen. Daher ist es wichtig, auf die verschiedenen Anforderungen mit flexiblen Lösungen reagieren zu können, die in der Lage sind, sich an die wachsenden Marktanforderungen hinsichtlich Verfügbarkeit, Kapazität und Leistung anzupassen.

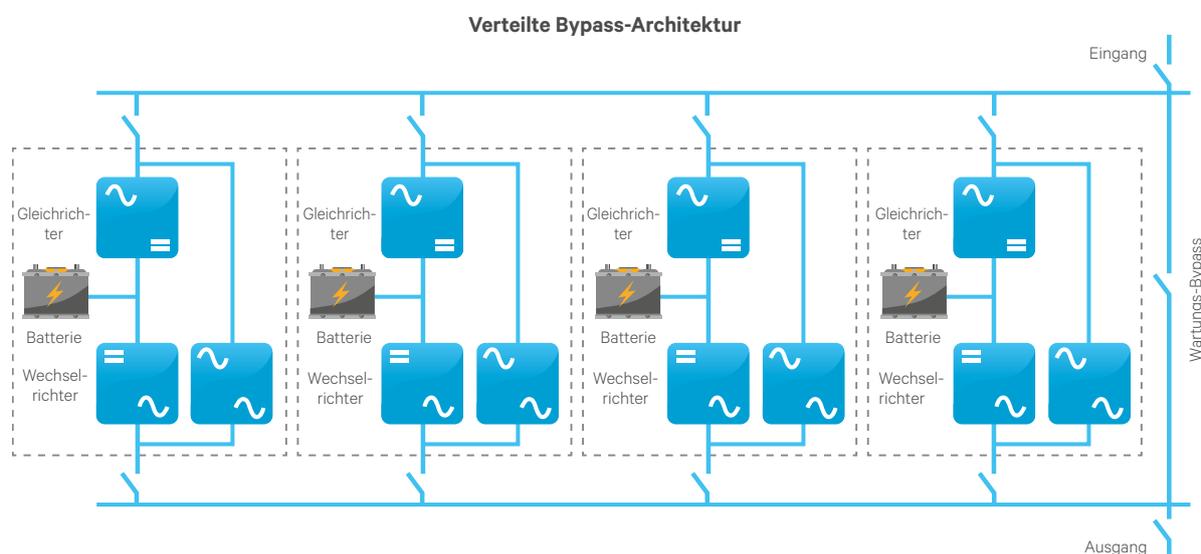


Abbildung 1: Beispiel für eine verteilte Bypass-Architektur

Zentralisierte Bypass-Architektur

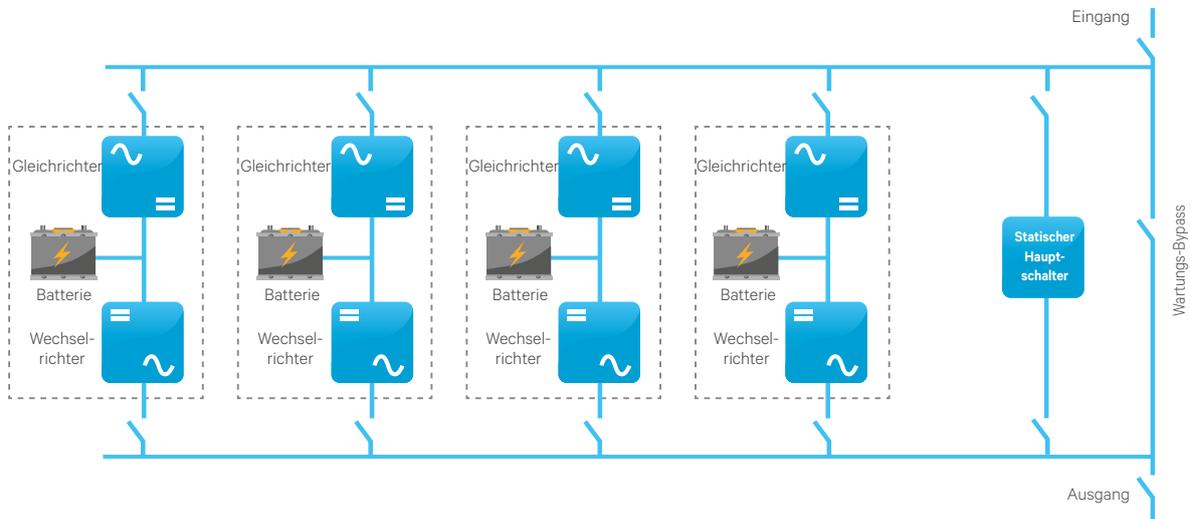


Abbildung 2: Beispiel für eine zentralisierte Bypass-Architektur

Zentralisiert oder verteilt?

Große Unternehmen benötigen maßgeschneiderte Konfigurationen, die ihren Anforderungen im Hinblick auf Verfügbarkeit und Verwaltungsfähigkeit gerecht werden. Die Entscheidung für eine Konfiguration wird auch durch die bestehende Situation beeinflusst, ob z. B. der Kunde

ein neues USV-System installiert oder seine bestehende elektrische Infrastruktur aufrüstet oder verändert. Die nachfolgende Tabelle 1 listet einige der wichtigsten Punkte auf, die es bei der Auswahl des richtigen Setups für ein paralleles USV-System zu berücksichtigen gilt.

Verteilter Bypass	Zentralisierter Bypass
Skalierbarkeit des Systems – unklare Wachstumspläne	Robustes Design / höhere Kapazität für die Störungsbeseitigung
Geringere Anschaffungskosten	Skalierbarkeit des Systems – klare Wachstumspläne
In der Regel kleinere Stellfläche	Höhere Systemzuverlässigkeit für große Anlagen
Einfachere Installation und Bereitstellung (einfache Schaltanlagen)	Höhere Anschaffungskosten
Komplexere Systemverwaltung (kein einzelner Steuerungspunkt)	In der Regel größere Stellfläche
In der Regel eingesetzt in kleinen/mittelständischen Unternehmen (Leistungsmodul bis zu 200 kVA)	Komplexere Installation und Bereitstellung (Möglichkeit zur MSS-Integration in die Schaltanlagen)
	Möglichkeit zur Überwachung und Steuerung des Systems von einem zentralen Punkt aus (MSS)
	In der Regel geeignet für große Unternehmen (mit mehreren Leistungsmodulen >200 kVA)

Tabelle 1: Vergleich verteilter und zentralisierter paralleler Systemkonfigurationen

Es folgen einige der Hauptargumente aus dem obigen Vergleich, denen wir uns getrennt zuwenden sollten:

- **Investieren parallel zum Systemwachstum** (Minimierter Investitionsaufwand) – die Einschränkung besteht darin, dass in einer zentralisierten Bypass-Architektur der statische Schalter (ausgelegt für die maximale Belastung) im Vorfeld angeschafft werden muss, selbst wenn ein künftiges Anwachsen der Last prognostiziert ist. Dagegen tragen verteilte Bypass-Architekturen zur Senkung der Investitionskosten bei: Mit jedem Anwachsen der Last kann eine USV hinzugefügt werden, anstatt im Vorfeld in zentrale Konfigurationen mit mehr Kapazität zu investieren, als anfänglich benötigt wird. Jedoch muss der Kunde trotzdem die gesamte vorgeschaltete unterstützende Infrastruktur installieren – unabhängig vom geplanten Wachstum der Last.
- **Single-Point-of-Failure (SPoF)** – die Idee dahinter ist, dass Sie möglicherweise über ein zentralisiertes System verfügen, das eventuell eine modulare N+1-Redundanz aufweist, aber lediglich einen einzigen für N ausgelegten statischen Schalter; im Gegensatz zu einem verteilten System, das eine N+1-Bypass-Redundanz sowie eine USV-Modul-Redundanz aufweist.

1. Fokus auf Zuverlässigkeit

Üblicherweise veröffentlichen viele Hersteller von kritischen Anlagen, wie z. B. USVs, Daten zur „Zuverlässigkeit“ ihrer

Produkte in Form einer MTBF. Ergänzt wird diese durch eine Schätzung der durchschnittlichen Ausfallzeit (MDT) oder der durchschnittlich benötigten Zeit zur Reparatur (MTTR), was auch die Elemente „Reisezeit“ und „Ersatzteillogistik“ enthalten sollte, welche die erwartete Reaktionszeit der Serviceorganisation auf einen Notfall vor Ort angeben. Mit einer einfachen Rechnung wird so die üblicherweise verwendete Kennziffer für die „Zuverlässigkeit“ erzeugt – die der Verfügbarkeit. Nur eine kleine Anzahl von Herstellern erstellt MTBF-Daten aus realen Feldmessungen. Und selbst wenn, dann beruht die absolute Zahl auf der Summe der aufgewendeten Außendienststunden im Vergleich zur Anzahl der Ausfälle der Ausgangsbussspannung. Wird jedoch die Summe der aufgewendeten Stunden anstatt der Betriebsstunden zwischen Ausfällen bei einem einzelnen Modul/System verwendet, kann das zu einem verzerrten Bild einer einzelnen System-MTBF führen, weil so mehrere Ausfälle über eine vielfältige Gruppe von einzelnen isolierten Systeme verteilt werden.

1.1 Bedeutet dies, dass MTBF-Berechnungen nutzlos sind?

Nicht unbedingt: Wenn sie mit Sorgfalt verwendet werden und wenn die Eingabedaten auf derselben Gruppe von zugrunde liegenden Annahmen beruhen, dann ist das Konzept der „vergleichenden“ Systemzuverlässigkeit nützlich.

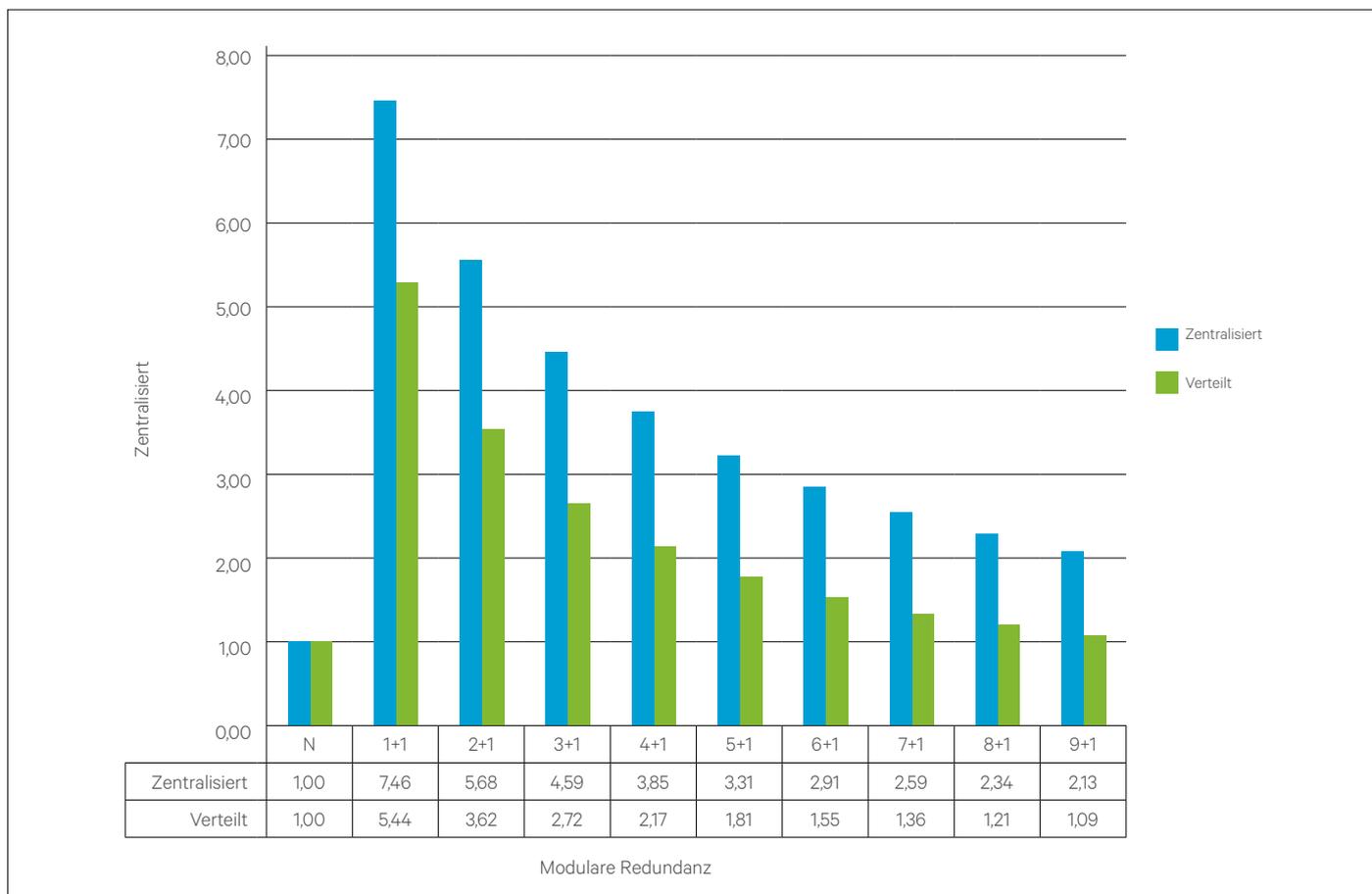


Abbildung 3: Relative MTBF für zentralisierte und verteilte Bypass-Architektur

Die Ergebnisse sollten im Vergleich verwendet werden und nicht, um absolute MTBFs anzugeben oder zu schlussfolgern. Anders ausgedrückt: Ein System „A“, das eine berechnete MTBF von 5.000.000 Stunden hat, kann als doppelt so ausfallwahrscheinlich (zu jedem Zeitpunkt) angesehen werden wie ein System „B“ mit einer MTBF von 10.000.000 Stunden – solange wir die „untere“ absolute Zahl von 5.000.000 Stunden (571 Jahre) ignorieren, die möglicherweise mehr als „ausreichend“ für die Anwendung ist.

Auf der Stromausgangsseite wäre jede Maschine mit dem Ausgangsverteiler verbunden, über Trennelemente zu einer gemeinsamen Stromschiene. Es ist möglich (und muss daher berücksichtigt werden), dass ein Ausfall in einem USV-Modul (zum Beispiel ein Kurzschluss am Ausgang) die verbleibenden Module beeinträchtigen könnte – was die „Unabhängigkeit“ ihrer kombinierten Zuverlässigkeit negiert.

Im Falle eines verteilten Bypasses verfügt jedes Modul über einen internen automatischen Bypass, was die Notwendigkeit eines gemeinsamen zentralen Bypass erübrigt.

Auch wenn die zentralisierte Bypass-Architektur als eine häufige Fehlerstelle angesehen werden kann, ist sie doch die bevorzugte Lösung für große Anlagen, da ein verteiltes Bypass-Design zu einer häufigen Fehlerstelle in jedem Modul führen würde, also in mehreren SPOFs resultieren würde.

Wenn wir uns zum Beispiel große Anlagen ansehen, dann ist die positive Auswirkung höher mit einer geringeren Anzahl von parallelen Modulen, wie das aus Abb. 3 deutlich wird.

Für große Multimodulsysteme ist eine zentralisierte Bypass-Architektur zu bevorzugen, weil sie als am zuverlässigsten gilt.

Das lässt nur den einen Schluss zu, dass trotz der offensichtlichen Attraktivität der Multimodul-Redundanz von Bypässen für große Anlagen der Zuverlässigkeitsaspekt zugunsten eines einzigen zentralen Bypass ausfällt.

2. Fokus auf das Schaltvermögen (Kurzschlusskapazität) des Bypasses

Wenn ein Kurzschluss hinter der USV auftritt (in einen Abschnitt der Last selbst oder in einem Teil der festen Verteilungsverkabelung), dann bricht die Spannung auf fast null zusammen, und der Quellenstrom steigt an und fließt zur Störung. Die Anstiegsrate und der Spitzenwert des Fehlerstroms hängt von der Subtransient-Reaktanz (Ausgangs- oder „Weiterleitungs“-Impedanz) der Quelle ab. Die Reaktion der USV auf den Spannungseinbruch besteht in dem Transfer des Ausgangsbusses auf den Bypass, um die Kapazität zur Kurzschlussbeseitigung des Netztransformators zu nutzen und die Störung zu beseitigen (durch Öffnen des entsprechenden Leitungsschutzschalters oder Auslösung der Sicherung, die dem fehlerhaften Nebenstromkreis am nächsten ist) innerhalb der typischen Verzögerungszeit, die für die restliche (gesunde) Last erforderlich ist (z. B. 10–20 ms).

Es gibt eine wichtige Vorsichtsmaßnahme, die es beim verteilten Bypass-Design (Abb. 4) zu berücksichtigen gilt: Schon die geringste Abweichung bei der Impedanz jedes einzelnen parallelen Pfads führt dazu, dass ein Kurzschlussstrom äußerst unausgeglichen fließt und üblicherweise zu Überlastungsschäden und kaskadierenden Ausfällen führt.

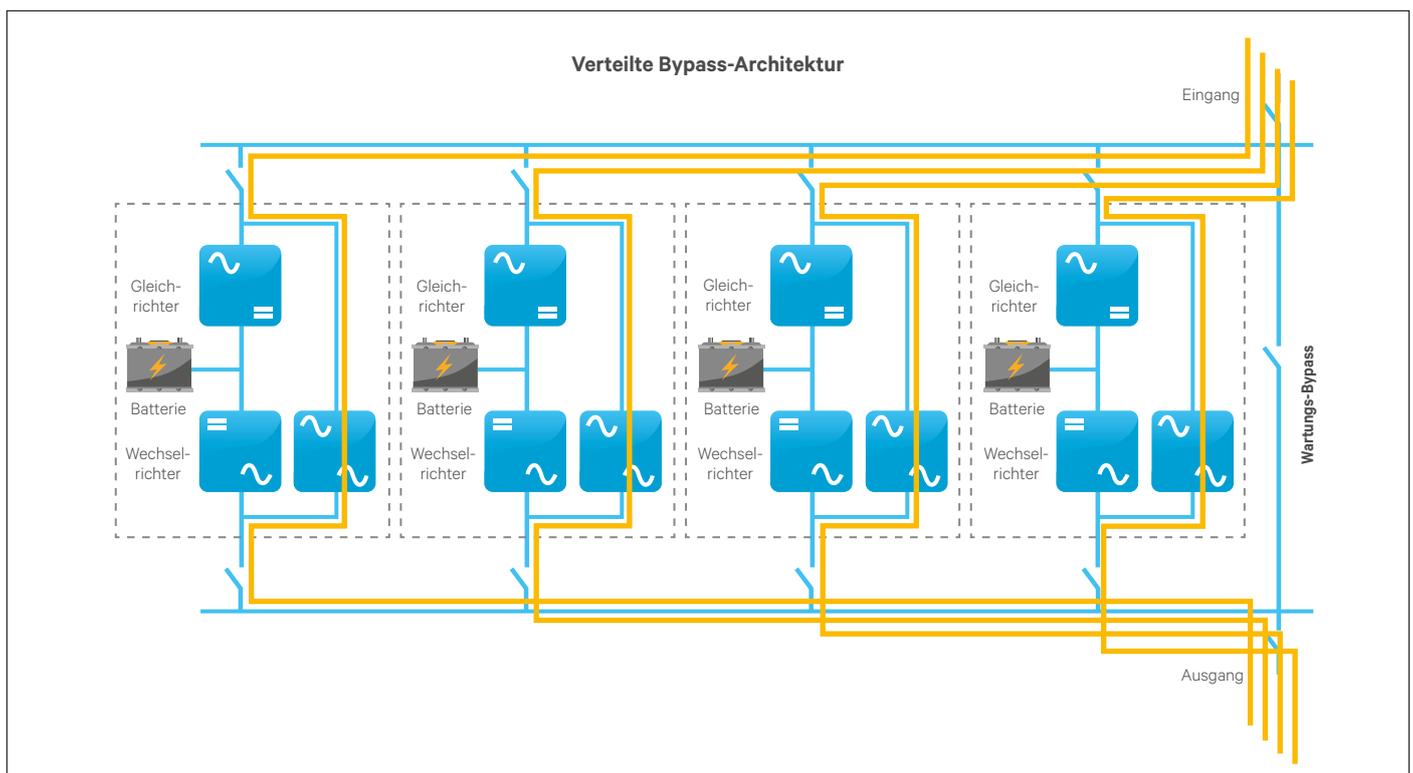


Abbildung 4: Beispiel für den Stromlaufweg über eine verteilte Bypass-Architektur

Die Sicherstellung, dass die Kabellängen gut aufeinander abgestimmt sind, kann das Problem weitgehend mindern, aber bei Systemen mit großen Kabellängendifferenzen zwischen den Modulen ist besondere Sorgfalt geboten. Sobald die Pfadimpedanz abgestimmt ist, liegt eine Situation vor, in der das Schaltvermögen der einzelnen statischen Bypass-Schalter jeweils einen Teil des subtransienten Transformatorstroms übernimmt. Tatsächlich gilt: Wenn sich die statischen Bypass-Schalter der USV in einer N+1-Redundanzanordnung befinden, dann haben sie – zumindest theoretisch – ein höheres Schaltvermögen als der alternative zentrale Bypass.

3. Verteilte und zentralisierte Designs von Vertiv™

Bei der Auswahl der USV-Systeme von Vertiv hat der Anwender die Wahl zwischen verschiedenen USV-Architekturen (monolithisch oder modular skalierbar), die alle mit beiden Bypass-Systemdesigns (zentralisiert oder verteilt) kompatibel sind. Werfen wir einen Blick auf Transformator-lose modulare USV-Architekturen:

- Liebert® Trinergy™ Cube, mit bis zu 3,4 MW in einer Einzelanlage, ermöglicht eine zentralisierte Bypass-Lösung mit einem Nennstrom bis 5.000 A als Standard. Der zentrale Bypass befindet sich dabei in der E/A-Box, was von den meisten Kunden und Beratern für große Rechenzentrumsanlagen bevorzugt wird.
Ein paralleles System von Trinergy Cube, mit bis zu 27,2 MW, ermöglicht sowohl verteilte als auch zentralisierte Bypass-Lösungen, wobei letztere durch Installation eines statischen Hauptschalters (MSS) machbar sind.
- Liebert® APM, mit bis zu 300 kVA in einer Einzelanlage, ermöglicht eine verteilte parallele Lösung, bei welcher der zentralisierte statische Bypass in jede einzelne USV eingebaut ist.

	Liebert APM	Liebert Trinergy Cube
Verteilter statischer Bypass	✗	✗
Zentralisierter statischer Bypass	✓	✓

Werfen wir einen Blick auf Transformator-lose monolithische USV-Architekturen:

- Liebert® NXC, mit bis zu 200 kVA in einer Einzelanlage, ermöglicht eine verteilte Bypass-Lösung, bei welcher der statische Bypass-Schalter in jede einzelne USV eingebaut ist.
- Liebert® EXL, mit bis zu 1,2 MW in einer Einzelanlage, ermöglicht sowohl verteilte als auch zentralisierte Bypass-Lösungen, wobei letztere durch Installation eines statischen Hauptschalters (MSS) machbar ist.

	Liebert NXC	Liebert EXL	Liebert APM	Liebert Trinergy Cube
Verteilt parallel	✓	✓	✓	✓
Zentralisiert parallel	✗	✓	✗	✓

Fazit

Die Entscheidung für eine verteilte oder zentralisierte Backup-Strategie steht bei allen IT- und Facility Managern an, die ein Schutzsystem für die Stromversorgung ihres Rechenzentrums konzipieren.

Allerdings gibt es keine einheitliche Antwort auf diese Frage, denn von den Unternehmen müssen die Vor- und Nachteile der verschiedenen Architekturen in Verbindung mit den finanziellen Zwängen und Verwaltungskapazitäten berücksichtigt und beurteilt werden, bevor eine Entscheidung fällt.

Die Beantwortung der folgenden fünf einfachen Fragen könnte bei der richtigen Entscheidung hilfreich sein:

- Welche Skalierungspläne gibt es für die nahe Zukunft?
- Welche Strategie ist unter finanziellen Gesichtspunkten sinnvoller?
- Welche Bypass-Architektur wird meinen Verfügbarkeitsanforderungen besser gerecht?
- Was sind die Auswirkungen auf die Zuverlässigkeit des Systems?
- Wie sieht die fehlertoleranteste Lösung für mein Rechenzentrum aus?

Wo große Multimodul-Arrays in Hochleistungs-USV-Systemen geplant werden, sollte die Bereitstellung eines zentralen Bypasses im Vergleich zu einer verteilten Architektur bevorzugt werden, um die System-MTBF zu maximieren und den Betrieb in Kurzschluss-Szenarien zu gewährleisten.

Dies gilt besonders für modulare USV-Systeme, bei denen Teillast zu erwarten ist und Module abgeschaltet werden, um die USV-Kapazität auf die Last abzustimmen.

Mit der Entscheidung für USV-Systeme von Vertiv finden IT- und Facility Manager alle Antworten auf die obigen Fragen. Sie brauchen sich nur für die Backup-Strategie zu entscheiden, die für das jeweilige Szenario sinnvoller ist, um sicherzustellen, dass die kritische Last immer geschützt ist – durch die zuverlässigste Lösung ohne Kompromisse in Sachen Verfügbarkeit, Kapazität und Effizienz.

