

# Verfügbarkeitsvergleich verschiedener redundanter Stromversorgungs-konfigurationen für Racks

## Technische Dokumentation 48

Version 1

by Victor Avelar

### > Zusammenfassung

Die Verfügbarkeit von Computersystemen lässt sich durch Transfer Switches und doppelte Stromversorgung der IT-Geräte erhöhen. Nach statistischen Verfahren zur Analyse der Verfügbarkeit sind zwischen den verschiedenen üblicherweise eingesetzten Methoden große Unterschiede im Hinblick auf die Verfügbarkeit zu erwarten. In diesem Papier werden die verschiedenen elektrischen Redundanzarchitekturen untersucht, die in modernen betriebskritischen Umgebungen implementiert sind. Anschließend werden für diese Szenarios Verfügbarkeitsanalysen durchgeführt und die Ergebnisse dargestellt. Die Analyse zeigt, welcher Ansatz die beste Leistung bietet und wie Alternativlösungen im Hinblick auf Leistung und Kosten abschneiden.

### Inhalt

*hier klicken, um zu dem Abschnitt zu gelangen*

Einführung	2
Ansätze für die Stromversorgung zu den Racks	2
Der Ansatz der Verfügbarkeitsanalyse	8
Ergebnisse	10
Ergebnisse	12
Ressourcen	13
Anhang	14

## Einführung

Geräte mit redundanter Stromversorgung werden auch als Geräte mit doppelter Stromzufuhr bezeichnet, die über redundante Netzteile mit jeweils eigenem Netzkabel verfügen. Die Verwendung von Geräten mit doppelter Stromzufuhr ist eine empfohlene Vorgehensweise, die der Aufrechterhaltung einer optimalen Verfügbarkeit der Stromversorgung der IT-Geräte dient. Durch die redundanten Komponenten werden Ausfallzeiten aufgrund eines einzelnen Ausfalls innerhalb des Stromverteilungssystems verhindert. Diese zusätzliche Redundanz erleichtert außerdem die Wartung des Stromversorgungssystems. Leider wird diese empfohlene Vorgehensweise in den meisten modernen betriebskritischen Umgebungen nicht immer voll umgesetzt. In diesem Papier werden verschiedene elektrische Architekturen vorgestellt, die in modernen Datacentern implementiert werden können. Anschließend werden für diese Architekturen Verfügbarkeitsanalysen durchgeführt und die Ergebnisse dargestellt.

## Ansätze für die Stromversorgung zu den Racks

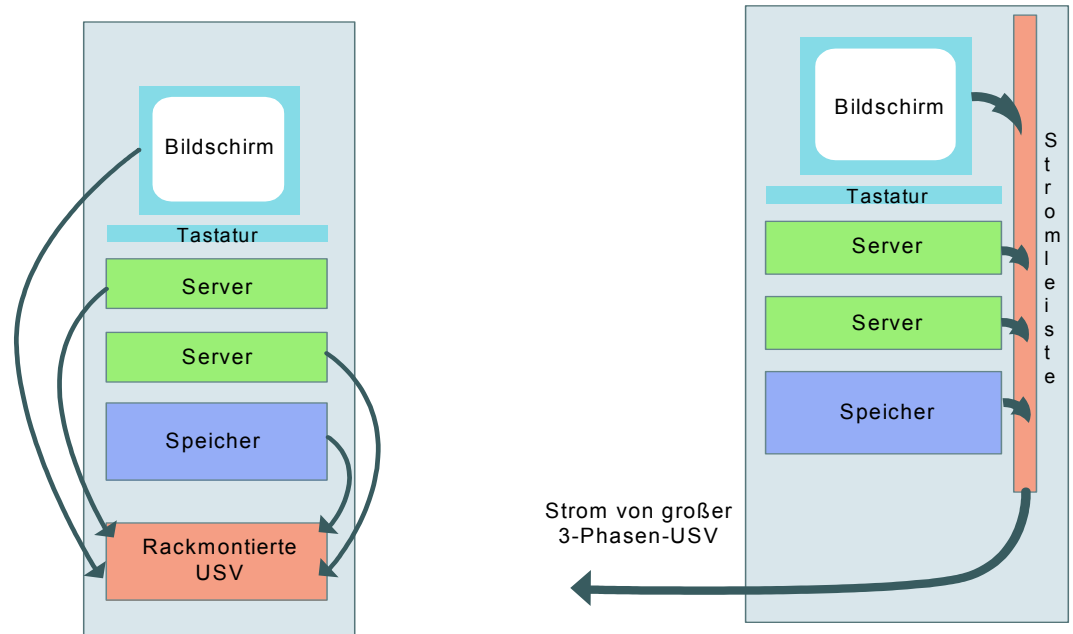
Die folgenden Abbildungen geben einen Überblick über verschiedene Ansätze zur Erhöhung der Verfügbarkeit von rackmontierten Geräten. Sie gelten jedoch auch für freistehende Geräte. Ziel der unterschiedlichen Ansätze ist in der Regel die Erreichung eines angestrebten Verfügbarkeitsgrades, wobei zu vermuten ist, dass die kostspieligeren Ansätze eine höhere Verfügbarkeit gewährleisten. Die **Abbildungen 1** und **2** zeigen, wie die Stromversorgung heute in einem Rack eines Datacenters normalerweise verteilt wird.

### Figure 1 (left)

Typische Stromversorgung in Racks

### Figure 2 (right)

Typische zentrale Stromversorgung



**Abbildung 1** zeigt eine typische Stromverteilungskonfiguration in Racks, die in kleinen oder mittleren Datacentern und Kabelschränken verwendet wird. Eine solche Konfiguration ermöglicht den Einsatz mobiler Racks mit interner USV und Überspannungsschutz. In Datacentern mit Dutzenden oder Hunderten von Racks ist eher die in **Abbildung 2** dargestellte Konfiguration mit einer großen zentralen USV üblich. In beiden Fällen ist die Stromverteilung im Rack nicht redundant.

In anderen elektrischen Architekturen wird mithilfe bestimmter Geräte von einer primären zu einer sekundären Stromquelle umgeschaltet. Zwei Beispiele für solche Geräte sind ein statischer Umschalter (STS) und ein automatischer Umschalter (Transfer-Switch) (ATS). Das Leistungsspektrum beider Geräte liegt zwischen 1 kW bis über 1 MW. Diese Geräte werden

im APC White paper / technische Dokumentation 62, Powering Single Corded Equipment in a Dual Path Environment (Stromversorgung von Geräten mit einfacher Stromzufuhr in Umgebungen mit zwei Einspeisungen) ausführlich beschrieben. Beispiele für diese beiden Umschalter sind unten dargestellt.



**Rackmontierbarer 3-Phasen-ATS für 6 kVA**

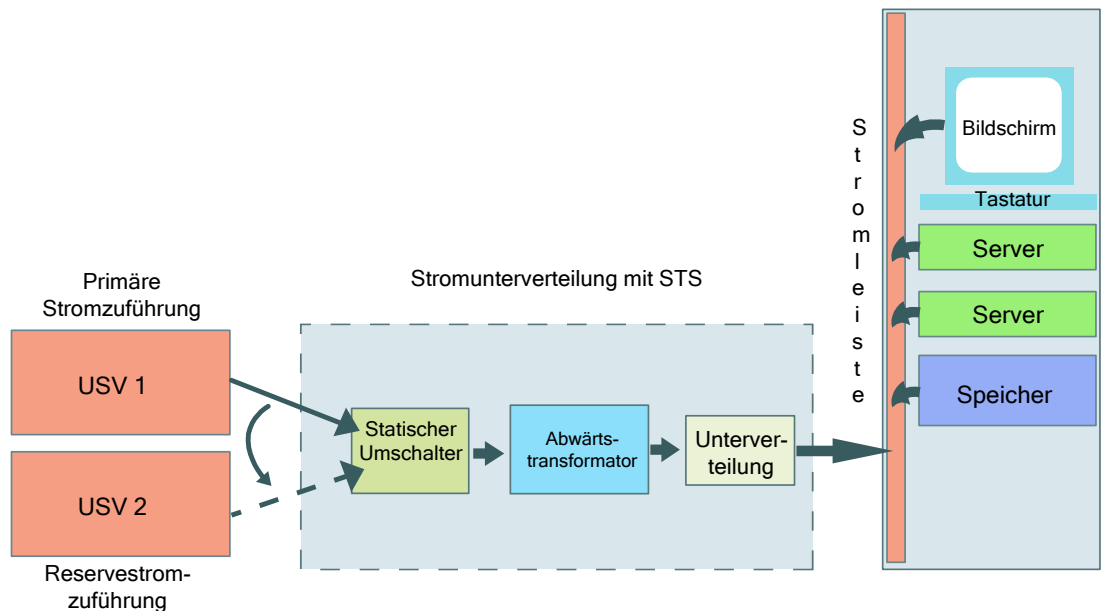


**3-Phasen-STS für 300 kVA**

Die **Abbildungen 3** und **4** zeigen die Stromversorgung in manchen großen betriebskritischen Anlagen. In beiden Fällen gibt es zwei redundante Zuführungen, die zu einem STS führen. Die Stromversorgungsquellen für die USV sind jedoch nicht unbedingt redundant; ausschlaggebend hierfür sind Faktoren wie Kosten und die Verfügbarkeit von Trafostationen des Versorgungsunternehmens. Der einzige Unterschied zwischen den beiden Szenarios besteht darin, dass dem statischen Umschalter in **Abbildung 3** ein einzelner Transformator nachgeschaltet ist, während dem statischen Umschalter in **Abbildung 4** redundante Transformatoren vorgeschaltet sind. In beiden Fällen stellen jedoch der STS, die nachgeschaltete Unterverteilung und die zugehörige Verkabelung potenzielle einzelne Ausfallpunkte dar. Damit ist zwar für eine gewisse Redundanz gesorgt, doch die übrigen nicht redundanten Komponenten stellen Ausfallrisiken dar und erschweren unter Umständen die Wartung.

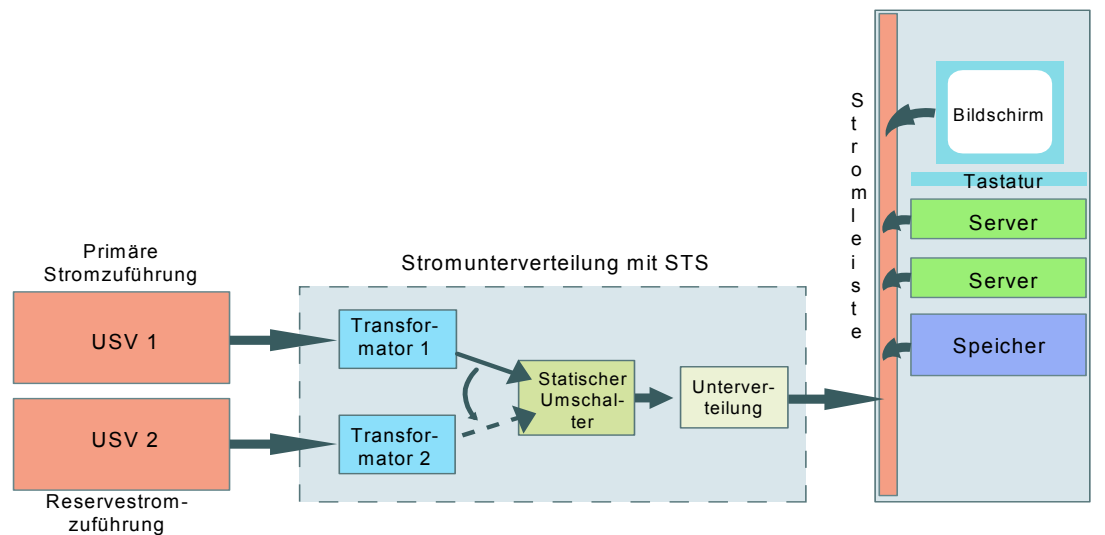
**Abbildung 3**

Redundante Versorgung der Last mit STS



**Abbildung 4**

Redundante Versorgung der Last mit STS (redundante Transformatoren)

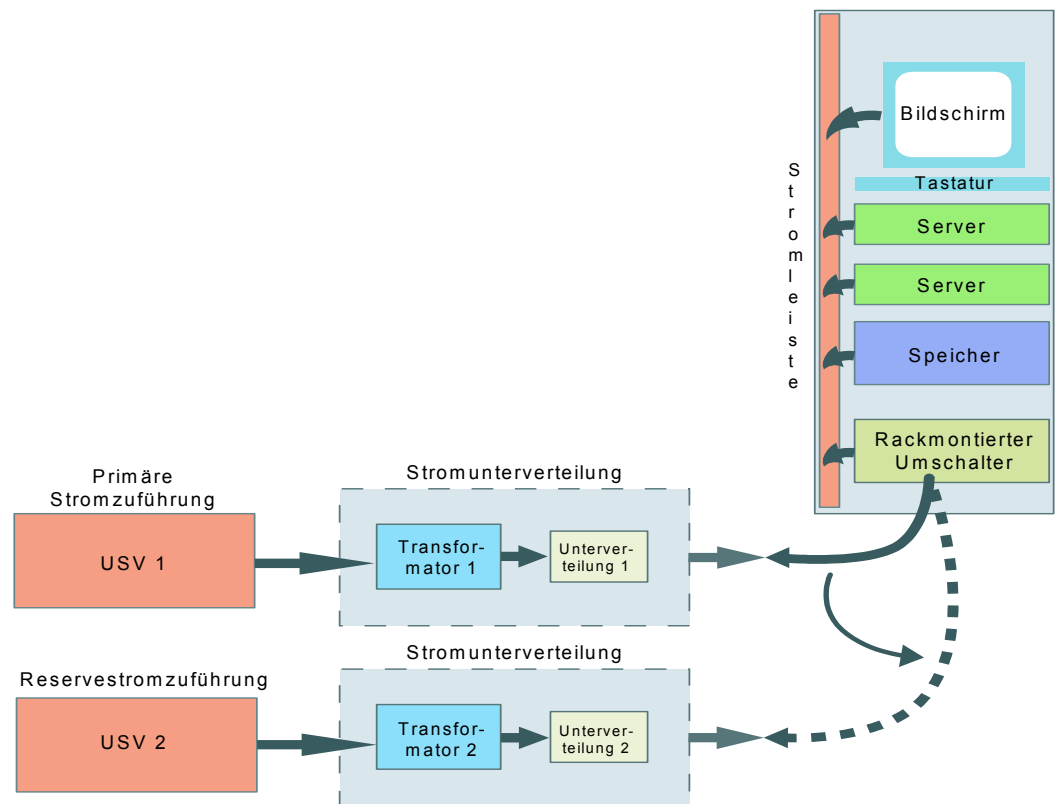


Die Konfigurationen in den **Abbildungen 3** und **4** sind eine Verbesserung gegenüber den in den **Abbildungen 1** und **2** dargestellten Datencenterkonfigurationen, bieten jedoch noch immer keine völlig redundante Stromversorgung im Rack. Obwohl eine redundante USV und ein redundanter Transformator hinzugekommen sind, stellen der statische Umschalter, die Unterverteilung und die zugehörige Verkabelung einzelne Ausfallpunkte dar.

In **Abbildung 5** ist das in den **Abbildungen 3** und **4** dargestellte Risiko einzelner Ausfallpunkte aufgehoben, da die Last redundant mit Strom versorgt wird. Diese Lösung kommt ohne STS aus und arbeitet dafür mit einer zusätzlichen Unterverteilung, wodurch die Vorteile der redundanten Versorgung mittels eines Rack-ATS näher an die Last rücken. Alle Wartungsarbeiten an Komponenten, die dem Rack-ATS vorgeschaltet sind, können jetzt ohne Herunterfahren der Last ausgeführt werden. Zwar gibt es in diesem Szenario mehr redundante Komponenten als in den Szenarios der **Abbildungen 3** und **4**, doch stellen der Rack-ATS ebenso wie die Stromversorgung der Geräte selbst weiterhin einzelne Ausfallpunkte dar.

**Abbildung 5**

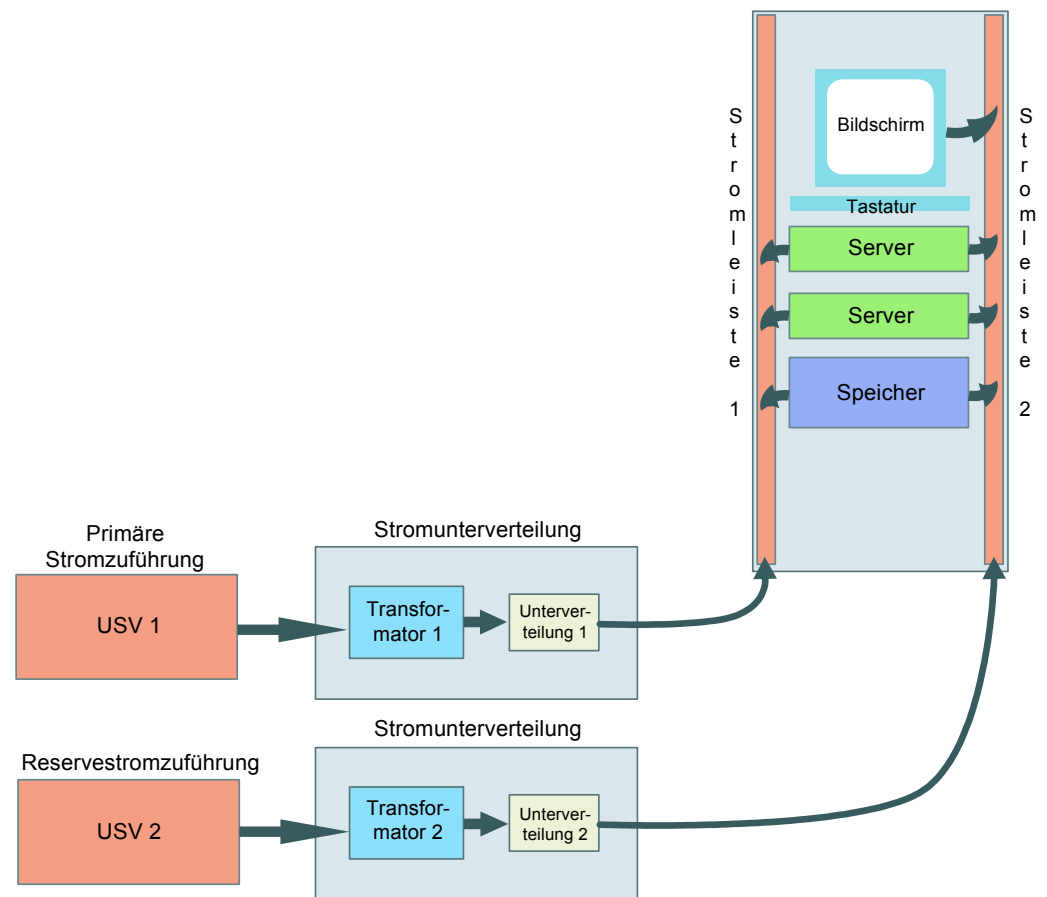
Redundante Versorgung  
der Last mit Rack-ATS



**Abbildung 6** zeigt, wie sich eine vollständig redundante Versorgung der Last mithilfe von Geräten mit doppelter Stromzufuhr und redundanten Netzteilen erreichen lässt. Dieses Szenario enthält gegenüber dem in **Abbildung 5** zwei wichtige Änderungen: Der Rack-ATS entfällt, und es werden Geräte mit zwei Stromkabeln verwendet. Die Last wird nun direkt voll redundant mit Strom versorgt. Dazu wird auch eine zusätzliche Stromleiste verwendet. Diese Lösung ist gegenüber den bisher beschriebenen Lösungen hoch verfügbar; sie ist allerdings auch die teuerste Lösung und kann nur bei Geräten mit doppelter Stromzufuhr verwendet werden, die ausdrücklich für eine solche Lösung ausgelegt sind.

**Abbildung 6**

Redundante Versorgung der Last mit Geräten mit doppelter Stromzufuhr

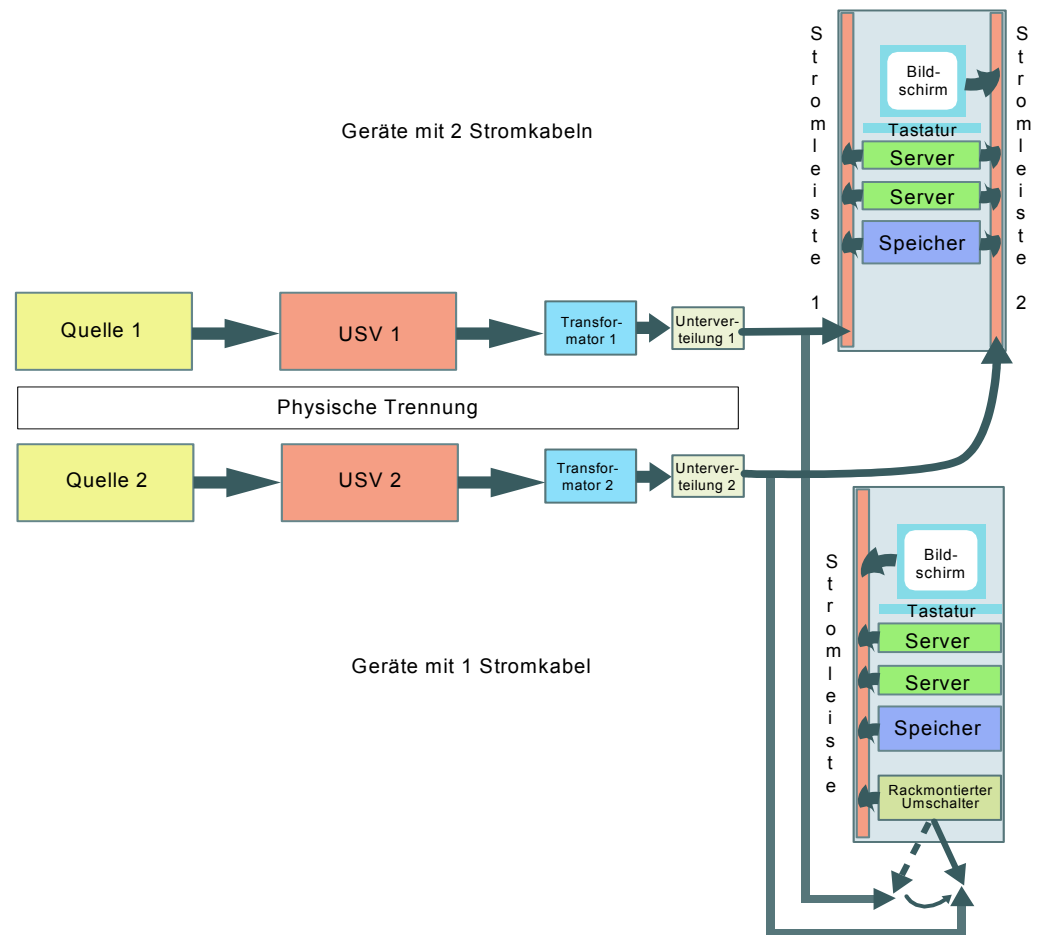


Die Architektur in **Abbildung 7** ist eine Kombination der Architekturen in den **Abbildungen 5** und **6**. Bei dieser alternativen Lösung verfügen die einzelnen Lasten sowohl über einfache als auch doppelte Strom-kabel. In dieser Lösung werden die zuvor besprochenen Konzepte kombiniert. Die Computerausrüstung mit doppelter Stromzufuhr wird voll redundant versorgt. Bei den Geräten mit einem Stromkabel bleibt die Stromversorgung bis zum Rack-ATS redundant, der Umschalter und die Netzteile der Geräte stellen jetzt jedoch einzelne Ausfallpunkte dar.

**Abbildung 7** zeigt außerdem, dass die verschiedenen Subsysteme im Stromverteilungs- und USV-System physisch getrennt sind. Wenn die physische Trennung richtig implementiert ist, lässt sich zum Beispiel verhindern, dass ein mechanischer Schaden in einer Zuführung sich auf die zweite Zuführung auswirkt (Ausfall mit gemeinsamer Ursache).

**Abbildung 7**

Redundante Architektur für Lasten mit einfachem und doppeltem Stromkabel



Die in den **Abbildungen 3, 4, 5** und **7** dargestellten Architekturen enthalten Umschalter (Transfer-Switches). Bei einem Ausfall von nur einem größeren Umschalter kann ein sehr großer Teil der Geräte ausfallen, wohingegen bei einem Ausfall eines kleineren Switches lediglich ein Rack ausfällt. Bei manchen Benutzern hat der Ausfall eines Racks die gleichen geschäftlichen Auswirkungen wie der Ausfall von 50 Racks, während bei anderen Benutzern die Beschränkung eines Ausfalls auf ein einzelnes Rack von Vorteil ist. Für diese Benutzer bietet der Rack-ATS aufgrund der Fehlerisolierung einen zusätzlichen Verfügbarkeitsvorteil.

Ein weiterer zu berücksichtigender Faktor ist die zur Reparatur dieser Switches benötigte Zeit. Kleine Umschalter werden nicht repariert, sondern ersetzt und können zum schnellen Austausch als Ersatzteil vorgehalten werden. Darüber hinaus können sie bei Bedarf umgangen werden. Größere Switches müssen repariert werden, und je nach Standort dauert es eventuell einige Stunden, bis ein Servicetechniker eintrifft. Diagnose und Reparatur des Systems nehmen weitere Zeit in Anspruch, und wenn der Techniker das benötigte Teil nicht dabei hat, geht noch mehr Zeit verloren. Bei der Beurteilung dieser erweiterten Lösungen sind daher verschiedene Aspekte zu beachten, damit eine optimale Entscheidung getroffen werden kann. Die Reparaturzeit wird in dem statistischen Verfügbarkeitsmodell berücksichtigt, das im nächsten Abschnitt beschrieben wird.

Grundsätzlich können sich Geräte mit nur einem Stromkabel unter Umständen als sehr nachteilig erweisen, wenn eine betriebskritische Umgebung mit hoher Verfügbarkeit entwickelt werden soll. Dies gilt nicht nur für rackmontierte Geräte, sondern für jegliche betriebskritischen Geräte. Selbst bei optimaler Konstruktion werden einzelne Ausfallpunkte irgendwann ausfallen und zu Ausfallzeiten führen. Wird eine echte Hochver-

für Verfügbarkeitsumgebung benötigt, müssen einzelne Ausfallpunkte in der Stromverteilung so weit wie möglich minimiert oder sogar vollständig beseitigt werden.

## Der Ansatz der Verfügbarkeitsanalyse

Eine Verfügbarkeitsanalyse wird durchgeführt, um den Einfluss von Geräten mit einfachem bzw. doppeltem Stromkabel zu quantifizieren. Es werden fünf Verfügbarkeitsanalysen durchgeführt:

- Fall 1 – Last mit einfacher Stromzufuhr wie in Abbildung 2
- Fall 2 – Last mit einfacher Stromzufuhr und STS wie in Abbildung 3 (ein Transformator)
- Fall 3 – Last mit einfacher Stromzufuhr und STS wie in Abbildung 4 (redundante Transformatoren)
- Fall 4 – Last mit einfacher Stromzufuhr und Rack-ATS wie in Abbildung 5
- Fall 5 – Last mit doppelter Stromzufuhr wie in Abbildung 6

Für diese fünf Konfigurationen wird mithilfe der linearen Kombinatorik (auch RBD (Reliability Block Diagrams) genannt) die Verfügbarkeit der Stromversorgung an den Anschlüssen dargestellt. Diese Methode der Systemmodellierung arbeitet sehr genau und eignet sich gut für Systeme mit wenigen Zustandswechseln. Die lineare Kombinatorik arbeitet mit definierten Zuverlässigkeitsdaten und entwickelt daraus ein Systemmodell, das die analysierte Konfiguration darstellt. Da nur die Unterschiede zwischen den Konfigurationen im Mittelpunkt dieser Analyse stehen, wird vorausgesetzt, dass alle dem USV-System vorgeschalteten Komponenten einschließlich der Netzstromversorgung einwandfrei arbeiten. Die hier dargestellten Verfügbarkeitswerte sind daher höher als die Werte, die bei tatsächlichen Anlagen zu erwarten sind.

Einzelheiten zur Analyse finden Sie im Anhang.

### In der Analyse verwendete Daten

Die meisten Daten für die Modellierung der Komponenten stammen aus Drittquellen. Die Daten für das ATS-Rack beruhen auf den Erfahrungswerten für dieses APC-Produkt, das seit ungefähr fünf Jahren auf dem Markt ist und eine bedeutende Verbreitung erfahren hat. In der Analyse wurden die folgenden Schlüsselkomponenten verwendet.

1. Abschlusswiderstände
2. Sicherungsautomaten
3. USV-Systeme
4. Stromunterverteilung
5. Statischer Umschalter (STS)
6. Rack-ATS

Die Stromunterverteilung wird in drei grundlegende Unterkomponenten aufgeteilt: Sicherungsautomaten, Abwärtstransformator und Abschlusswiderstände. Bei der Auswertung der Unterverteilung wird davon ausgegangen, dass diese einen Hauptunterbrecher, einen Zweig-Sicherungsautomaten und Abschlusswiderstände umfasst, die sämtlich in Reihe geschaltet sind. Der Rack-ATS wird nur im vierten Fall verwendet.



Der Anhang enthält die Werte und Quellen der Fehlerrate  $\left(\frac{1}{MTTF}\right)$  sowie die Daten der Wiederherstellungsrate  $\left(\frac{1}{MTTR}\right)$  für jede Teilkomponente, wobei MTTF die mittlere Zeit bis zu einem Ausfall (Mean Time To Failure) und MTTR die mittlere Wiederherstellungszeit (Mean Time To Recover) ist.

Die für die Analyse verwendete Ausfall- und Wiederherstellungsrate finden Sie im Anhang.

### In der Analyse verwendete Annahmen

Um ein gültiges Modell zu erstellen, müssen wie bei jeder Verfügbarkeitsanalyse Annahmen gemacht werden. In **Tabelle 1** sind die in dieser Analyse verwendeten grundlegenden Annahmen aufgeführt.

**Tabelle 1**

Annahmen für die Analyse

Annahme	Beschreibung
Ausfallraten der Komponenten	Alle Komponenten in der Analyse weisen eine konstante Ausfallrate auf. Dies ist die beste Annahme, vorausgesetzt, dass das Gerät nur während seiner geplanten Lebensdauer eingesetzt wird. Wenn Produkte über ihre voraussichtliche Lebensdauer hinaus eingesetzt werden, müsste eine nichtlineare Komponente in die Ausfallrate integriert werden.
Reparaturteams	Es wird vorausgesetzt, dass für n Komponenten in Reihe n Mitglieder des Reparaturpersonals zur Verfügung stehen.
Systemkomponenten bleiben in Betrieb	Es wird vorausgesetzt, dass alle Komponenten des Systems in Betrieb bleiben, während ausgefallene Komponenten repariert werden.
Unabhängigkeit der Ausfälle	Diese Modelle gehen von der Konstruktion der beschriebenen Architekturen nach den Richtlinien der Branche aus. Dies führt aufgrund der physischen und elektrischen Isolierung dazu, dass Ausfälle mit gemeinsamer Ursache und eine Ausbreitung von Ausfällen sehr unwahrscheinlich sind.
Ausfallrate der Verkabelung	Die Verkabelung zwischen den Komponenten der einzelnen Architekturen wurde nicht in die Berechnungen einbezogen, da ihre Ausfallrate so gering ist, dass sie nicht mit Sicherheit und statistischer Bedeutsamkeit vorausgesagt werden kann. Frühere Arbeiten haben außerdem bereits gezeigt, dass eine derart geringe Ausfallrate die Gesamtverfügbarkeit nur minimal beeinflusst. Allerdings wurden größere Abschlusswiderstände mit einbezogen.
Menschliches Versagen	Ausfallzeiten aufgrund von menschlichem Versagen wurden in dieser Analyse nicht berücksichtigt. Obwohl dies eine bedeutende Ursache für Ausfallzeiten in Datencentern ist, besteht der Hauptzweck dieser Modelle darin, die Architekturen der Strominfrastruktur zu vergleichen und physische Schwächen innerhalb dieser Architekturen aufzuspüren. Außerdem fehlen Daten darüber, wie menschliches Versagen die Verfügbarkeit beeinflusst.
Verfügbarkeit des Stroms ist das Hauptmaß	Diese Analyse liefert Angaben zur Verfügbarkeit des Stroms. Die Verfügbarkeit des Geschäftsprozesses wird gewöhnlich geringer sein, da die Wiederherstellung der Stromversorgung nicht sofort zu einer Wiederaufnahme der Geschäftsaktivitäten führt. IT-Systeme weisen gewöhnlich eine Neustartzeit auf, die eine in dieser Analyse nicht erfasste Nicht-Verfügbarkeit hervorruft.
Kein Nutzen aus Fehlerisolierung	Der Ausfall eines Racks wird als Ausfall gewertet und entspricht einem Ausfall aller Racks gleichzeitig. Mit dieser Annahme wird der Vorteil der Fälle 4 und 5 zu gering angesetzt. Bei einigen Unternehmen hat der Ausfall eines Racks geringfügigere Konsequenzen als der Ausfall aller Racks. Im letzteren Falle wird der Vorteil der Fälle 5 und 6 unterbewertet.

## Ergebnisse

Ziel dieser Analyse ist es, die theoretischen Verfügbarkeitswerte verschiedener Fälle zu vergleichen. Da die Ausfallrate aller Komponenten in allen fünf Fällen gleich ist, unterscheiden sich die einzelnen Fälle nur nach Menge, MTTR und Anordnung der Komponenten. Mit dieser Methode lässt sich die Verfügbarkeitsleistung einer Architektur sehr gut mit der einer anderen Architektur vergleichen.

Die Verfügbarkeit wird in Bezug auf die Anschlüsse gemessen, über die die kritische Last mit Strom versorgt wird. In jedem Fall werden die gleichen Zuverlässigkeitsdaten der Komponenten verwendet. In Fall 1 würde der Ausfall einer Komponente in der Kette zu einem Abfall der Last führen. Dieser Fall stellt den Ausgangspunkt dar.

In den Fällen 2 und 3 müssten Komponenten in jeder redundanten Zuführung gleichzeitig ausfallen, damit ein Lastabwurf eintritt. Ein Lastabwurf würde jedoch ebenfalls eintreten, wenn eine einzelne dem STS nachgeschaltete Komponente sowie der STS selbst ausfielen. Bemerkenswert ist in diesem Fall, dass die Verfügbarkeit des Systems durch die Installation des STS kaum erhöht wird. Der Grund hierfür ist, dass der STS nicht wesentlich zuverlässiger ist als die vorgeschaltete USV und dass der STS weiterhin einen einzelnen Ausfallpunkt darstellt. Beachten Sie außerdem, dass in Fall 2 alle Vorteile des STS durch die MTTR des Transformators minimiert werden.

In Fall 4 müssten Komponenten in jeder redundanten Zuführung gleichzeitig ausfallen, damit ein Lastabwurf eintritt. Obwohl der Rack-ATS einen einzelnen Ausfallpunkt darstellt, ist die MTTR dieser Komponente klein, da sie schnell ersetzt werden kann, wenn ein Ersatzteil vorhanden ist. Hier ist vor allem hervorzuheben, dass der Rack-ATS aufgrund seiner wesentlich kürzeren MTTR einen sehr großen Verfügbarkeitsvorteil bietet, obwohl er nicht unbedingt zuverlässiger ist als der große STS.

In Fall 5 müssten Komponenten in jeder redundanten Zuführung gleichzeitig ausfallen, damit ein Lastabwurf eintritt. Tabelle 2 gibt einen Überblick über die Ergebnisse der fünf Verfügbarkeitsberechnungen.

### Tabelle 2

Zusammenfassung der Verfügbarkeitsergebnisse

Fall	Konfiguration	Verfügbarkeit	Anzahl der Neunen
Fall 1	Last mit einfacher Stromzufuhr	99,985 %	3,8
Fall 2	Last mit einfacher Stromzufuhr und STS (ein Transformator)	99,98596 %	3,85
Fall 3	Last mit einfacher Stromzufuhr und STS (redundante Transformatoren)	99,99715 %	4,5
Fall 4	Last mit einfacher Stromzufuhr und Rack-ATS	99,999931 %	6,2
Fall 5	Last mit doppelter Stromzufuhr	99,9999977 %	7,6

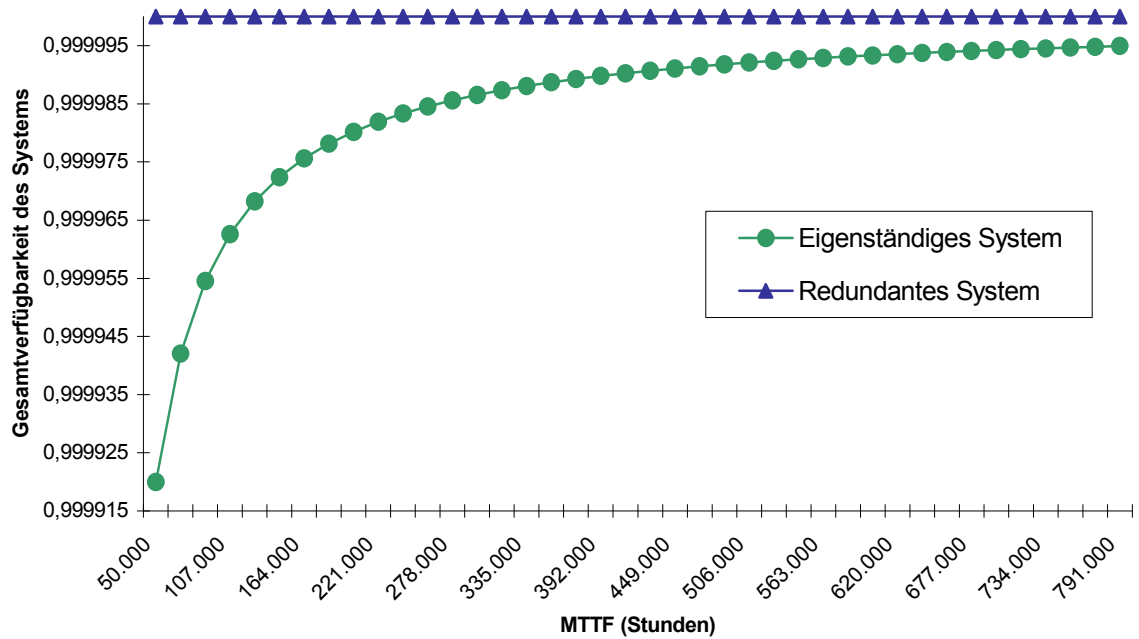
Diese Analyse zeigt, wie wichtig der Einsatz von Geräten mit doppelter Stromzufuhr zur Erzielung einer hohen Verfügbarkeit in einer Architektur mit 2 Zuführungen ist. Die Vorteile einer solchen sorgfältig konzipierten Lösung lassen sich bei Geräten mit einfacher

Stromzufuhr nicht in vollem Umfang realisieren, werden bei Einsatz eines Rack-ATS jedoch beinahe erreicht.

Aus den oben dargestellten Ergebnissen geht eindeutig hervor, dass die Verfügbarkeit durch eine redundante Stromversorgung der Last verbessert wird. Abbildung 8 zeigt, dass auch bei einer um den Faktor 10 erhöhten Zuverlässigkeit (MTTF) eines Produkts nicht die gleiche Verfügbarkeit erreicht wird wie bei Verwendung einer redundanten Ausrüstung mit niedrigerer Zuverlässigkeit. Das redundante System bietet eine Verfügbarkeit von fast 100 % oder eine große Anzahl von Neunen.

**Abbildung 8**

Verhältnis von Verfügbarkeit zu MTTF



## Ergebnisse

Bei der Umsetzung einer Hochverfügbarkeitsarchitektur muss die Stromversorgung des Racks sorgfältig geplant werden. Die in diesem Papier beschriebenen typischen Arten der Stromversorgung führen zu Ausfallzeiten, die um den Faktor 10.000 variieren.

Diese Analyse zeigt sehr deutlich, wie wichtig die Verwendung von Geräten mit doppelter Stromzufuhr in einem betriebskritischen Datacenter ist. Nach der dargestellten Analyse erzeugt eine Architektur mit vollständig doppelter Zufuhr bis zu 10.000 mal weniger Ausfallzeiten als eine Lösung mit einfacher Zufuhr.

Werden wie üblich Umschalter verwendet, um die Verfügbarkeit von Lasten mit einfacher Stromzufuhr zu erhöhen, schwanken die Ergebnisse je nach Implementierung sehr stark. Die Analyse zeigt, dass die Verwendung eines großen STS in manchen Fällen nahezu keinen Vorteil bringt. Wenn der Umschalter dagegen in das Rack integriert wird, nehmen die durch das Stromverteilungssystem verursachten Ausfallzeiten um den Faktor 250 ab.

Zudem lassen sich bei rackbasierten Umschaltern Ausfälle besser lokalisieren, da bei einem Ausfall lediglich ein Rack betroffen ist. Außerdem kann der rackbasierte Umschalter in einer Umgebung mit doppelter Stromzufuhr je nach Bedarf eingesetzt werden.

Die Daten legen nahe, dass die übliche Praxis der Verwendung großer STS-Systeme für die Stromversorgung von Lasten mit einfacher Stromzufuhr überprüft werden sollte und dass rackbasierte Umschalter bei etwa gleichen Kosten bedeutende Vorteile bieten.

Grundsätzlich lässt sich aus der Analyse die Empfehlung ableiten, die redundante Stromversorgung in der Nähe der Lasten zu installieren, um die Verfügbarkeit zu verbessern.

Investitionen in Hochverfügbarkeitssysteme sollte stets eine sorgfältige Analyse vorausgehen. Welche Lösung letztlich ausgewählt wird, hängt davon ab, wie viel ein Kunde in die Verbesserung der elektrischen Infrastruktur investieren kann. Die Kunden müssen ihre Geschäftsprozesse genau kennen, damit die Kosten von Ausfallzeiten berechnet werden können. Diese Kosten sollten letztlich ausschlaggebend sein für Investitionen in die Verfügbarkeit.



### About the author

**Victor Avelar** is a Senior Research Analyst at APC by Schneider Electric. He is responsible for data center design and operations research, and consults with clients on risk assessment and design practices to optimize the availability and efficiency of their data center environments. Victor holds a Bachelor's degree in Mechanical Engineering from Rensselaer Polytechnic Institute and an MBA from Babson College. He is a member of AFCOM and the American Society for Quality.



**Powering Single Corded Equipment in a Dual Path Environment**

APC Technische Dokumentation 62



**Alle APC Whitepaper anzeigen**

[whitepapers.apc.com](http://whitepapers.apc.com)



**Alle APC TradeOff Tools anzeigen**

[tools.apc.com](http://tools.apc.com)



## Kontaktieren Sie APC

Feedback und Kommentare zum Inhalt dieses Whitepapers

Data Center Science Center, APC by Schneider Electric  
**[DCSC@Schneider-Electric.com](mailto:DCSC@Schneider-Electric.com)**

Wenn Sie Kunde sind und spezielle Fragen zu Ihrem oder einem Rechenzentrumprojekt haben

Kontakt mit Ihrem APC by Schneider Electric Ansprechpartner aufnehmen

## Anhang

**Tabelle A1**
*Komponenten und Werte*

Komponente	Ausfallrate	Wiederherstellungsquote	Datenquelle	Kommentar
USV 675 kW/750 kVA	4,0000E-06	0,125	Ausfallrate aus Power Quality Magazine, Wiederherstellungsquote aufgrund der Annahme, dass das Reparaturteam nach 4 Stunden eintrifft und 4 Stunden zur Reparatur benötigt.	• unterbrechungsfreie Versorgung der Stromunterverteilung mit 400 V Drehstrom
Statischer Umschalter (STS)	4,1600E-06	0,1667	Gordon Associates, Raleigh, NC	• einschließlich Steuerung
Abwärtstransformator	7,0776E-07	0,00641	MTBF aus IEEE Gold Book Std 493-1997, S. 40, MTTR ein Durchschnittswert von Marcus Transformer Data	• Abwärtstransformation der Eingangsspannung von 400 V Drehstrom auf Ausgangsspannungen von 230 V Wechselstrom, die für Lasten benötigt werden, die mit 120 V Wechselstrom arbeiten
Sicherungs-automaten	3,9954E-07	0,45455	IEEE Gold Book Std 493-1997, S. 40	• zur Isolierung von Komponenten von der Stromversorgung zwecks Wartung oder Fehlereingrenzung
6 Abschlusswiderstände	8,6988E-008	0,26316	6 x IEEE-Wert Berechnet aus den Werten des IEEE Gold Book Std 493-1997, S. 41	• Vor dem Transformator gibt es einen Abschlusswiderstand pro Leiter. Da es zwei Sätze von Abschlusswiderständen zwischen den Komponenten gibt, werden insgesamt sechs verwendet.
8 Abschlusswiderstände	1,1598E-007	0,26316	8 x IEEE-Wert Berechnet aus den Werten des IEEE Gold Book Std 493-1997, S. 41	• Nach dem Transformator gibt es einen Abschlusswiderstand pro Leiter zzgl. des neutralen. Da es zwei Sätze von Abschlusswiderständen zwischen den Komponenten gibt, werden insgesamt acht verwendet.
Rack-ATS	2,0E-06	3	Felddaten des APC Redundant Switch	• Die errechnete MTTF des APC Rack-ATS beträgt 1 Millionen Stunden. Es wird ein vorsichtiger Wert von 500.000 Stunden verwendet.

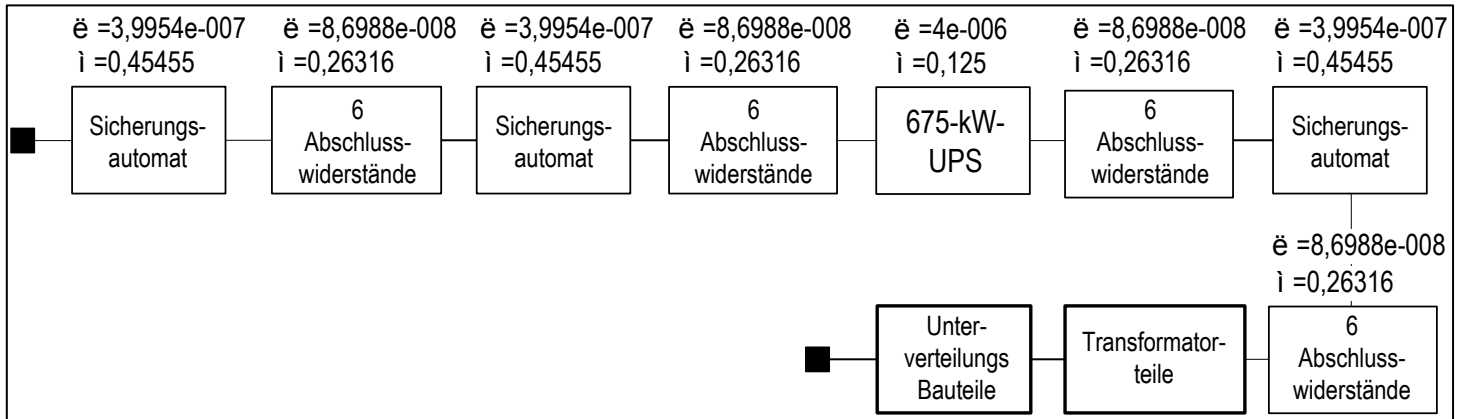
## Verfügbarkeit einer Last mit einfacher Stromzufuhr [Fall 1]

Die Verfügbarkeit einer Last mit einfacher Stromzufuhr wie in **Abbildung 2** wird auf Grundlage des folgenden RBD errechnet. **Abbildung 9** stellt die obere Ebene des RBD dar, mit dem die Dauerverfügbarkeit auf Basis der Serienkomponenten berechnet wird. Dieses RBD umfasst „erweiterbare“ Blöcke für die „Transformerteile“ und die „Unterverteilungsteile“. Dies bedeutet, dass es ein RBD der unteren Ebene gibt, in dem die Subkomponenten definiert werden. Durch ein solches Layout des RBD werden Verfügbarkeitsberechnungen

vereinfacht. Über die Unterverteilung wird der Strom direkt zu den kritischen Geräten geleitet. Der Inhalt dieser Blöcke ist in den **Abbildungen 10** und **11** dargestellt.

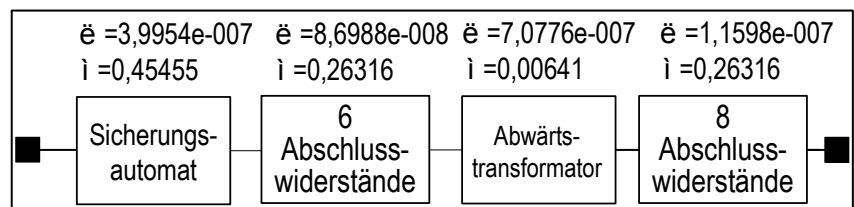
### Abbildung 9

Last mit einfacher Stromzufuhr



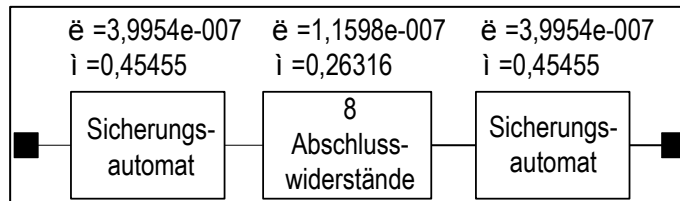
### Abbildung 10

Transformator-teile



### Abbildung 11

Unterverteilungs-Bauteile



Die Verfügbarkeit des Systems mit einfacher Stromzufuhr ist auf Grundlage des oben dargestellten RBD unten angegeben.

### Tabelle A2

Verfügbarkeit einer Last mit einfacher Stromzufuhr [Fall 1]

Modellname	Verfügbarkeit	Nicht-Verfügbarkeit	MTTR (Stunden)	MTTF (Stunden)	Ausfallzeiten pro Jahr (Stunden)
Last mit einfacher Stromzufuhr	99,98498 %	1,5021E-04	19,3	128.665	1,3158
USV-System	99,99640 %	3,5958E-05	6,5	180.291	0,31499
Transformator-teile	99,98879 %	1,1205E-04	85,5	763.201	0,98158
Unterverteilungs-Bauteile	99,99978 %	2,1987E-06	2,4	1.092.825	0,01926

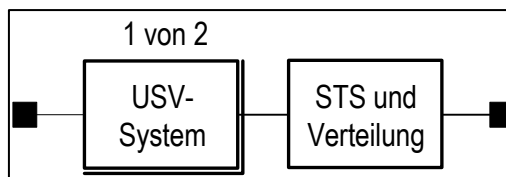
Da die Analyse unter Verwendung von Daten mit fünf signifikanten Ziffern ausgeführt wird, lassen sich die Ergebnisse auch als Nicht-Verfügbarkeit ausdrücken. Die Nicht-Verfügbarkeit wird einfach berechnet als  $(1 - \text{Verfügbarkeit})$ .

## Verfügbarkeit einer Last mit einfacher Stromzufuhr und statischem Umschalter (ein Transformator) [Fall 2]

Bei dem in **Abbildung 3** dargestellten Verteilungsverfahren wird ein STS verwendet. Redundant sind alle Komponenten, die diesem vorgeschaltet sind, der nachgeschaltete Transformator ist nicht redundant. Die Verfügbarkeit dieses Szenarios wird auf Grundlage von 7 RBD-Ketten berechnet, die zur Verdeutlichung detailliert dargestellt werden. **Abbildung 12** zeigt die obere Ebene des RBD. Der Block „USV-System“ ist ein doppelter Block, d. h., alle Komponenten in diesem Block sind redundant. **Abbildung 13** zeigt den Inhalt des Blocks „USV-System“.

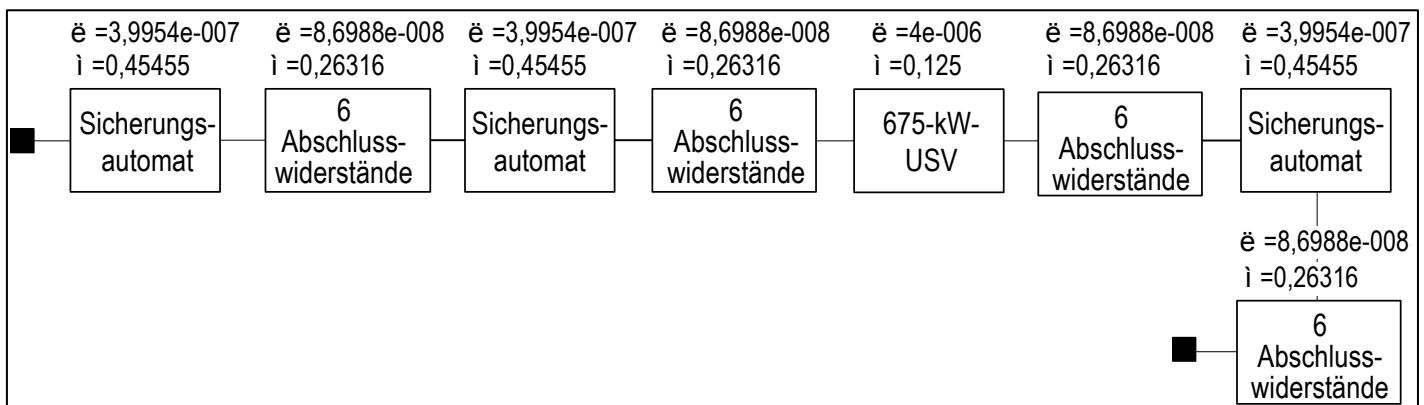
**Abbildung 12**

Last mit einfacher Stromzufuhr und STS



**Abbildung 13**

USV-System



Alle dem STS vorgeschalteten Komponenten sind redundant. Alle Komponenten innerhalb des Blocks „STS und Verteilung“, der in **Abbildung 12** dargestellt ist, sind jedoch einzelne Ausfallpunkte. Der Block „STS und Verteilung“ enthält das STS-System, die Transformatorteile und die Unterverteilungs Bauteile, wie aus **Abbildung 14** hervorgeht. Die Verwendung der vorgeschalteten redundanten Komponenten ist aufgrund des STS-Systems möglich. Dieses System umfasst Sicherungsautomaten, Abschlusswiderstände und vor allem den statischen Umschalter. Das RBD für das STS-System ist in **Abbildung 15** dargestellt.



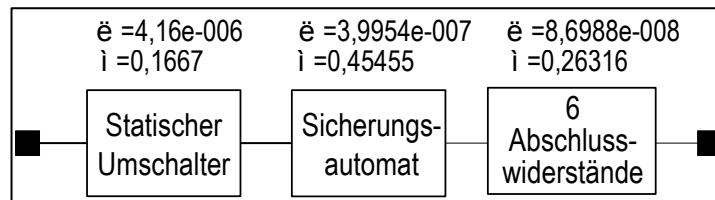
**Abbildung 14**

STS und Verteilung



**Abbildung 15**

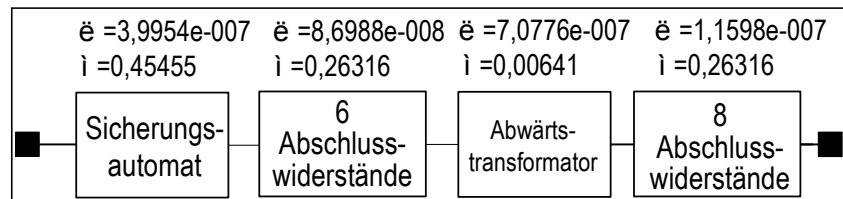
STS system



Der Inhalt der Blöcke „Transformator-teile“ und „Unterverteilungs-Bauteile“ in **Abbildung 14** ist in den **Abbildungen 16** und **17** detailliert dargestellt.

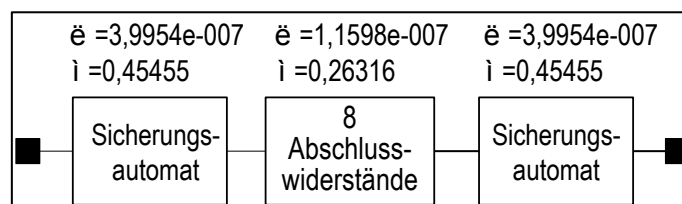
**Abbildung 16**

Transformator-teile



**Abbildung 17**

Unterverteilungs-Bauteile



Die Verfügbarkeit des Systems mit einfacher Stromzufuhr, STS und einfachem Transformator ist auf Grundlage des oben dargestellten RBD unten angegeben.

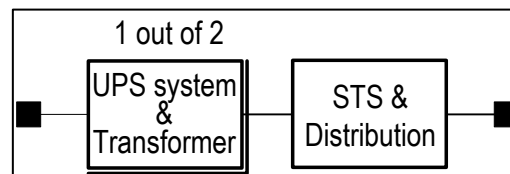
**Tabelle A3**

Verfügbarkeit einer Last mit einfacher Stromzufuhr und STS (ein Transformator) [Fall 2]

Modellname	Verfügbarkeit	Nicht-Verfügbarkeit	MTTR (Stunden)	MTTF (Stunden)	Ausfallzeiten pro Jahr (Stunden)
Last mit einfacher Stromzufuhr und STS (ein Transformator)	99,98596 %	1,4041E-04	20,4	145.513	1,23002
USV-System	99,9999987 %	1,2930E-09	6,5	5.025.125.628	0,00001
Einzelne USV	99,99640 %	3,5958E-05	6,5	180.291	0,31499
STS und Verteilung	99,98596 %	1,4041E-04	20,4	145.518	1,23001
STS-System	99,99738 %	2,6164E-05	5,6	215.214	0,22920
Transformatorteile	99,98879 %	1,1205E-04	85,53	763.201	0,98158
Unterverteilungs-Bauteile	99,99978 %	2,1987E-06	2,4	1.092.825	0,01926

## Verfügbarkeit einer Last mit einfacher Stromzufuhr und statischem Umschalter (redundante Transformatoren) [Fall 3]

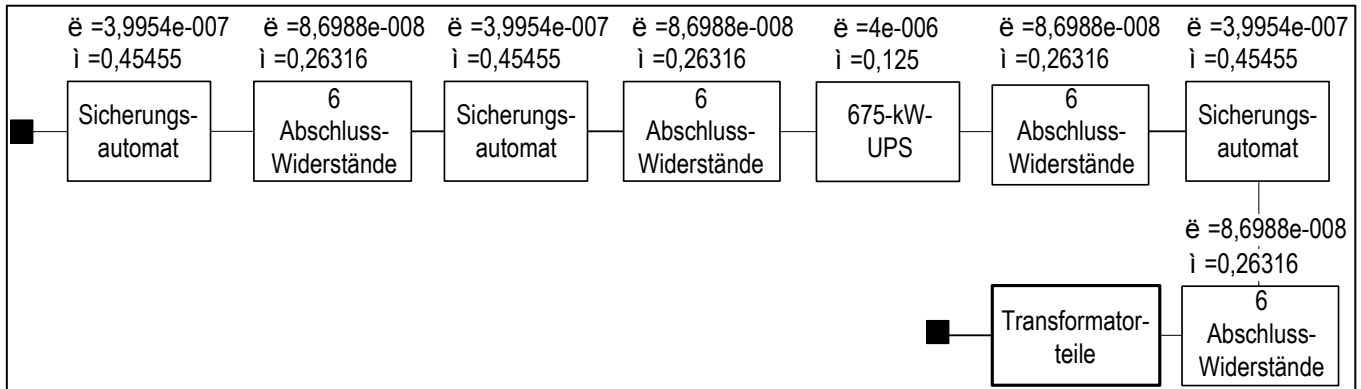
Bei dem in **Abbildung 4** dargestellten Verteilungsverfahren wird ein STS verwendet. Redundant sind alle Komponenten, die diesem STS vorgeschaltet sind, einschließlich des Transformators. Die Verfügbarkeit dieses Szenarios wird ähnlich wie bei der vorherigen Analyse auf Grundlage von 7 RBD-Ketten berechnet. **Abbildung 18** zeigt die obere Ebene des RBD. Der Block „USV-System und Transformator“ ist ein doppelter Block, d. h., alle Komponenten in diesem Block sind redundant. **Abbildung 19** zeigt den Inhalt des Blocks „USV-System und Transformator“. Der Block „Transformatorteile“ besteht aus den gleichen Teilen wie in **Abbildung 16**. Bis zu diesem Punkt sind alle Komponenten redundant; alle Komponenten innerhalb des in **Abbildung 18** dargestellten Blocks „STS und Verteilung“ sind jedoch einzelne Ausfallpunkte.

**Abbildung 18**

Last mit einfacher Stromzufuhr und STS

**Abbildung 19**

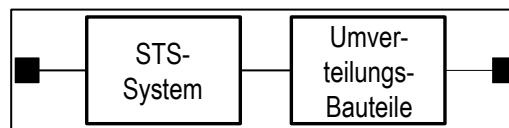
USV-System und Transformator



In diesem Fall enthält der Block „STS und Verteilung“ (**Abbildung 20**) nur das STS-System und die Unter-verteilungs-Bauteile, da die Transformatoren als redundante Komponente vorgeschaltet sind. Das STS-System in diesem Szenario ist identisch mit dem aus **Abbildung 16**; es enthält jedoch acht statt sechs Abschlusswiderstände, wie **Abbildung 21** zeigt. Die Komponenten des Blocks „Unterverteilungs-Bauteile“ sind identisch mit denen in **Abbildung 17**.

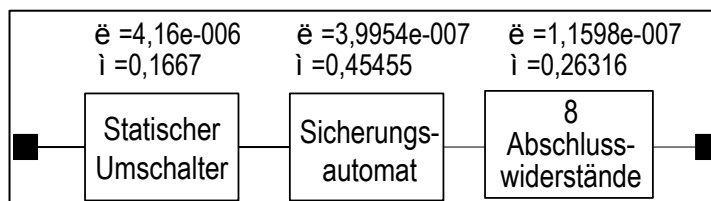
**Abbildung 20**

STS und Verteilung



**Abbildung 21**

STS system



Die Verfügbarkeit des Systems mit einfacher Stromzufuhr, STS und redundanten Transformatoren ist auf Grundlage des oben dargestellten RBD unten angegeben.

**Tabelle A4**

Verfügbarkeit einer Last mit einfacher Stromzufuhr und STS (redundante Transformatoren) [Fall 3]

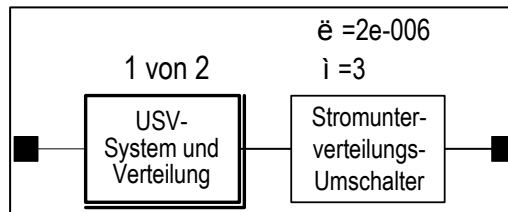
Modellname	Verfügbarkeit	Nicht-Verfügbarkeit	MTTR (Stunden)	MTTF (Stunden)	Ausfallzeiten pro Jahr (Stunden)
Last mit einfacher Stromzufuhr und STS (zwei Transformatoren)	99,99715 %	2,8495E-05	5,1	178.839	0,24961
USV-System und Transformator	99,9999978 %	2,1906E-08	21,6	985.221.675	0,00019
USV-System	99,99640 %	3,5958E-05	6,5	180.291	0,31499
Transformatorteile	99,98879 %	1,1205E-04	85,5	763.201	0,98158
STS und Verteilung	99,99715 %	2,8473E-05	5,1	178.872	0,24942
STS-System	99,99737 %	2,6274E-05	5,6	213.880	0,23016
Unterverteilungs-Bauteile	99,99978 %	2,19867E-06	2,4	1.092.825	0,01926

## Verfügbarkeit einer Last mit einfacher Stromzufuhr und Rack-ATS [Fall 4]

Die Analyse für die in **Abbildung 5** dargestellte Last mit einfacher Stromzufuhr und Rack-ATS wird auf Grundlage des in **Abbildung 22** dargestellten RBD berechnet. Die Abbildung zeigt die obere Ebene des RBD. In diesem Modell wird das Rack redundant mit Strom versorgt, jedoch bildet der Rack-ATS den einzelnen Ausfallpunkt. **Abbildung 23** zeigt die Komponenten des Blocks „USV-System und Verteilung“. Der Inhalt der Blöcke „Transformatorteile“ und „Unterverteilungs-Bauteile“ entspricht dem in den Abbildungen 16 bzw. 17.

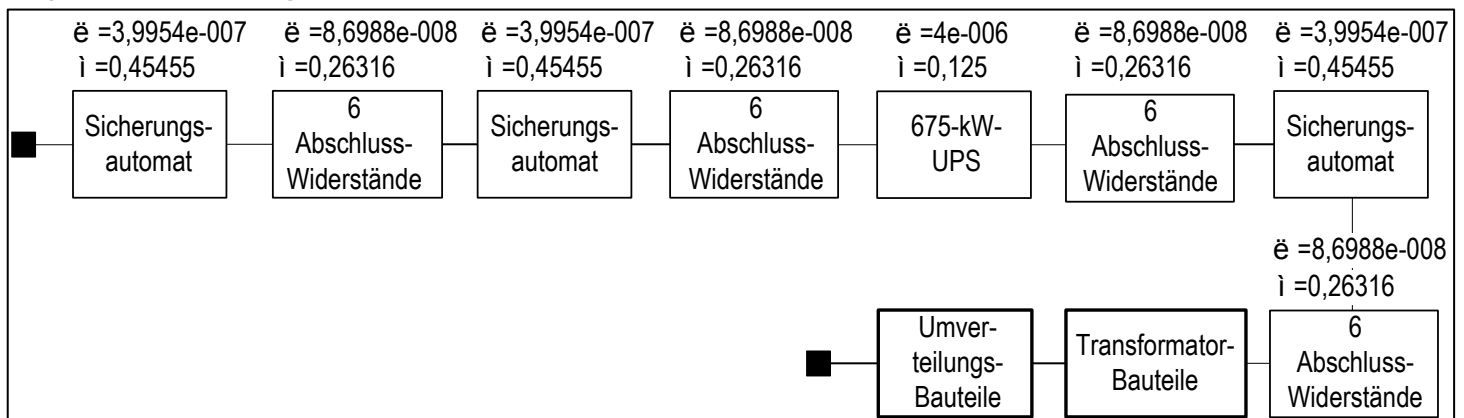
**Abbildung 22**

Last mit einfacher Stromzufuhr und Rack-ATS



**Abbildung 23**

USV-System und Verteilung



Die Verfügbarkeit des Systems mit einfacher Stromzufuhr und Rack-ATS ist auf Grundlage dieses RBD unten angegeben.

### Tabelle A5

Verfügbarkeit einer Last mit einfacher Stromzufuhr und Rack-ATS [Fall 4]

Modellname	Verfügbarkeit	Nicht-Verfügbarkeit	MTTR (Stunden)	MTTF (Stunden)	Ausfallzeiten pro Jahr (Stunden)
Last mit einfacher Stromzufuhr und Rack-ATS	99,999931 %	3,558950E-07	0,4	499.705	0,00604
USV-System und Verteilung	99,999998 %	2,2562E-08	19,3	856.898.029	0,00018
Transformatorteile	99,98879 %	1,1205E-04	85,5	763.201	0,98158
Unterverteilungs- Bauteile	99,99978 %	2,1987E-06	2,4	1.092.825	0,01926
Rack-ATS	99,999933 %	3,3333E-07	0,3	500.000	0,00584

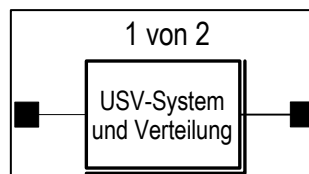
In diesem Fall wurde die Verfügbarkeit lediglich durch Hinzufügen einer weiteren PDU deutlich verbessert. Allerdings stellt der Rack-ATS in diesem System den einzelnen Ausfallpunkt dar, der die Gesamtverfügbarkeit auf sechs Neunen beschränkt. Ein Rack-ATS sollte daher stets auf Grundlage seiner Zuverlässigkeit ausgewählt werden, und vor Ort sollten stets Ersatzgeräte vorgehalten werden, um die MTTR zu minimieren.

## Verfügbarkeit einer Last mit doppelter Stromzufuhr [Fall 5]

Die Analyse für die in Abbildung 6 dargestellte Last mit doppelter Stromzufuhr wird auf Grundlage des in Abbildung 24 dargestellten RBD berechnet. Auch diese Abbildung zeigt die obere Ebene des RBD. Ebenso wie bei dem System mit Rack-ATS wird mit diesem RBD die Dauerverfügbarkeit auf Grundlage der Ausfall- und Wiederherstellungsrate der USV und PDU berechnet. Das System umfasst jedoch keinen Rack-ATS, da die Last über doppelte Stromzufuhr verfügt und die redundanten Zuführungen in vollem Umfang nutzen kann. Zur Aufrechterhaltung der kritischen Lasten muss nur einer der beiden Zuführungen betriebsfähig sein. In diesem System gibt es keine einzelnen Ausfallpunkte. Selbst die Netzteile der kritischen Last sind redundant.

### Abbildung 24

Last mit doppelter Stromzufuhr



Das RBD der unteren Ebene, aus dem der Block „USV-System und Verteilung“ besteht, ist identisch mit dem der **Abbildungen 9 bis 11**. Auf Grundlage dieser Blöcke ist die Verfügbarkeit des Systems mit doppelter Stromzufuhr unten angegeben.

**Tabelle A6**

Verfügbarkeit einer Last mit doppelter Stromzufuhr [Fall 5]

Modellname	Verfügbarkeit	Nicht-Verfügbarkeit	MTTR (Stunden)	MTTF (Stunden)	Ausfallzeiten pro Jahr (Stunden)
Last mit doppelter Stromzufuhr	99,9999977 %	2,2562E-08	19,3	856.898.029	0,0001976
USV-System und Verteilung	99,9999977 %	2,2562E-08	19,3	856.898.029	0,0001976
Transformator-teile	99,98879 %	1,1205E-04	85,5	763.201	0,98158
Unterverteilungs-Baulteile	99,99978 %	2,1987E-06	2,4	1.092.825	0,01926

In diesem letzten Fall ist die Verfügbarkeit des Blocks „USV-System und Verteilung“ mit der des vorherigen Falls identisch, die Gesamtverfügbarkeit ist jedoch auf sieben Neunen gestiegen. Der Hauptunterschied besteht darin, dass der Rack-ATS bei Verwendung von Geräten mit doppelter Stromzufuhr nicht mehr benötigt wird. Wie im Zusammenhang mit dem letzten System dargestellt, bildet der Rack-ATS einen einzelnen Ausfallpunkt, so dass die Verfügbarkeit auf sechs Neunen beschränkt war.