

## Zuverlässigkeit und Redundanz

Erschienen in der Fachzeitschrift Elektrotechnik 08/04

– Markus Gehrig –

*Mit redundanten Konfigurationen wird oft eine höhere Zuverlässigkeit eingekauft. Aber stimmt das in jedem Falle? Gibt es andere Kriterien die mitberücksichtigt werden müssen? Welche Möglichkeiten stehen offen? Wir gehen zuerst der Begriffsbestimmung nach und legen praxisnahe Konventionen fest. Anschliessend gehen wir auf die praktischen Zusammenhänge ein, die besonders auch für Anlagenbetreiber und Investoren interessant sind.*

Der Begriff Redundanz bedeutet Überreichtlichkeit. Die Definition der Redundanz kommt aus der Informationstheorie und lässt sich so wiedergeben:

1. Redundanz ist in der Informationstheorie die Bezeichnung für das Vorhandensein von an sich überflüssigen Elementen in einer Nachricht, die keine zusätzlichen Informationen liefern, sondern lediglich die beabsichtigte Grundinformation stützen.
2. Redundanz ist das Vorhandensein von mehr funktionsbereiten technischen Mitteln als zur Erfüllung der vorgesehenen Funktion notwendig ist, um eine hohe Verfügbarkeit der Gesamtanlage zu gewährleisten. (Definition des Kerntechnischen Ausschusses KTA 3501 in Deutschland)

### Einteilung:

Der Begriff Redundanz lässt sich abhängig von Einsatzort und Art auf verschiedene Weise einteilen<sup>1</sup>:

- Aktive Redundanz: Redundanzgerät ist laufend betriebsbereit (heisse Redundanz, Hot-Standby)
- Passive Redundanz: Nur in Störfällen ist das Redundanzgerät betriebsbereit (kalte Redundanz, Cold-Standby)
- Homogene Redundanz: Der Zustand eines Systems wird durch zwei oder mehr identische Geräte gewährleistet
- Diversitäre Redundanz: Der Zustand eines Systems wird durch Methoden aufrecht erhalten (diese Art von Redundanz hat bis heute für USV keine praktische Bedeutung)

<sup>1</sup> Quelle: <http://www.wzw.tum.de/lfp/lehrangebot/Lehre/Downloads/PA/PA-Kap6.pdf> besucht 26.05.04

Der Redundanzgrad wird je nach Quelle unterschiedlich ausgedrückt. Das erschwert die Kommunikation und die einheitliche Gestaltung von Berechnungstools, Messauswertungen usw. Im Folgenden werden drei gebräuchliche Definitionen dargelegt und diskutiert:

1. Wenn von  $n$ -parallelgeschalteten Elementen  $k$  redundant sind (d.h.  $n-k$ -Elemente können die geforderte Funktion erfüllen), so hat das System ein Redundanzgrad  $(n-k)$  aus  $n$ .<sup>2</sup>
2. Eine Redundanz  $k$  aus  $n$  besteht aus einer Parallelschaltung von  $n$ -Elementen, wovon  $k$  für die Erfüllung der geforderten Funktion notwendig sind und  $n-k$  in Reserve stehen.<sup>3</sup>
3. Wenn  $n$ -Elemente für das Erfüllen einer Funktion notwendig sind und  $k$  Elemente als Reserve bereitstehen sollen, sind  $n+k$ -Elemente notwendig. Man spricht von  $n+k$  Redundanz.<sup>4</sup>

### **Diskussion der verschiedenen Definitionen:**

Der markanteste Unterschied in den Definitionen ist die Festlegung der Variable  $n$ . Bei den Definitionen 1 und 2 ist  $n$  die Gesamtzahl der Elemente, im Gegensatz zur Definition 3, wo  $n$  die zum Erbringen der Funktion notwendige Anzahl Elemente darstellt.

Die Definitionen 1 und 2 unterscheiden sich in der Bezeichnung der Variablen  $k$  und der verbalen Beschreibung der Redundanz.

Aus praktischen Überlegungen wird die folgende Definition in Anlehnung an Pkt. 2 oben weiter verwendet:

1. Redundanzgrad: Wenn von  $n$ -parallelgeschalteten Elementen  $k$  zur Erfüllung der Funktion notwendig sind, liegt eine Redundanz  $k$  aus  $n$  vor, (d.h.  $n-k$ -Elemente sind redundant), so hat das System ein Redundanzgrad  $k$  aus  $n$ . Daraus abgeleitet ergibt sich der Redundanzgrad in %:
2. Die Redundanz in % gibt an, welcher prozentuale Anteil der installierten Leistung überflüssig ist, bzw. nur zur Erhöhung der Verfügbarkeit dient.

---

<sup>2</sup> Quelle: <http://www.errepi.de/de/usvlexi.htm> (besucht 26.05.04)

<sup>3</sup> Quelle: A. Birolini, 1992, Seite 46 ff.

<sup>4</sup> Quelle: Diverse, besonders USV Branche (Konfigurationen  $n+1$ ) pragmatische Definition

### **Berechnungsbeispiel:**

Aus n parallel geschalteten Elementen sind k für die Funktion notwendig. Damit sind r-Elemente redundant:

$$r = n - k$$

*Gleichung 1: Für die Funktion notwendigen Elemente*

mit:

r = Anzahl redundanter Elemente

n = Anzahl Elemente gesamthaft

k = Für die Funktion notwendige Anzahl Elemente

Beispiel: k = 2 → n-2-Redundanz.

Bedeutung: Unabhängig von der Anzahl installierten Elemente müssen zwei Elemente zum Erbringen der Funktion vorhanden sein.

Durch Umstellen wird k aus der Anzahl vorhandener (oder geplanter) Anlagen und der redundanten Anlagen errechnet:

$$k = n - r$$

In der Praxis wird oft eine Konfiguration in der Form n-1 gefordert, was soviel bedeutet, wie aus n-Elementen ist eines redundant.

Aus n parallel geschalteten Elementen sind r redundant. Damit ist der Redundanzgrad R:

$$R = \frac{r}{n} \cdot 100\%$$

*Gleichung 2: Redundanzgrad in %*

### **Relative Redundanzdefinition**

Die Definition n-1 ist eine relative Festlegung, die ganz unterschiedliche Qualitäten aufweisen kann. Je grösser n ist, desto grösser ist die Wahrscheinlichkeit, dass eine dieser Anlagen ausfallen kann. Eine grosse Anzahl parallel geschalteter Anlagen führt dazu, dass die redundante Anlage reinen Selbstzweck des Systems wird: Mit der redundanten Anlage wird in einem solchen Fall nur sichergestellt, dass die Parallelkonfiguration nicht schlechter als eine Einzelanlage dasteht.

Andererseits hat eine grössere Anzahl parallel geschalteter Anlagen oder Module den Vorteil, dass eine Erweiterung in kleineren Schritten möglich wird. Auch energetische Überlegungen sprechen für eine grössere Anzahl Anlagen. Das Optimum wird aus diversen Einflussfaktoren ermittelt. Meistens liegt das bei 3 bis 6 Anlagen.

## **Parallelredundant**

Parallelredundant heisst, dass die Last von anderen Modulen ohne Einschränkung und ohne Unterbrechung übernommen wird, wenn eine Anlage aus irgend einem Grund ausser Betrieb geht oder ausgeschaltet wird. Die Anlagen sind eingangs- wie ausgangsseitig parallel geschaltet. Zu einer echten Parallelredundanz gehört auch, dass jede Anlage bzw. jedes Modul einen eigenen Bypass besitzt.

## **Schaltanlagen**

Ein zentraler Super-Bypass ist als Ergänzung sinnvoll, damit die gesamte Anlage überbrückt werden kann. Für Umbauten während des laufenden Betriebes ist eine solche Schaltung sehr hilfreich. Ein solcher Bypass wird normalerweise in der Schaltanlage realisiert und wird nur manuell geschaltet. Auf die Zuverlässigkeit einer Stromversorgung haben aber viele andere Komponenten ebenfalls einen wichtigen Einfluss. Die Schaltanlage mit gut konzipierten Schaltungsmöglichkeiten erlaubt bei einem Umbau individuelle Schaltungen. Die Schaltanlagen, besonders ausgangsseitig der USV-Anlage, müssen im laufenden Betrieb erweitert umgebaut oder gänzlich ersetzt werden können, damit die Anlage den laufend ändernden Bedingungen der IT-Welt genügen kann. Solche Funktionen müssen bereits in der Projektphase eingeplant werden.

## **Einfluss der Reparaturzeit**

Berücksichtigt man, dass das Netz einen MTBF-Wert von 50 bis 100 Stunden hat, so ist der Einfluss der Reparaturzeit sehr gross. Damit eine USV-Anlage in zwei bis sechs Stunden repariert werden kann, müssen folgende Kriterien erfüllt sein:

- Eine exzellent verfügbare Serviceorganisation muss lieferantenseitig sichergestellt sein.
- Die Anlagen müssen so konzipiert sein, dass ganze Komponenten einzeln ausgewechselt werden können. In der Anlage müssen diese so angeordnet sein, dass sie gut erreichbar sind.
- Ein ausgeklügeltes Servicediagnosesystem hilft rasch dem fehlerhaften Bauteil auf die Spur zu kommen.

Immer knappere Platzverhältnisse und steigende Anforderungen an kurze Reparaturzeiten erfordern raffinierte Bauweisen. Es gibt grundsätzlich zwei Philosophien: Einerseits die Leistungsmodularität, bei denen ganze Leistungseinheiten ersetzt werden können und andererseits die Komponentenmodularität, die auf den Einsatz von einheitlichen Komponenten setzt, die rasch ausgetauscht werden können.

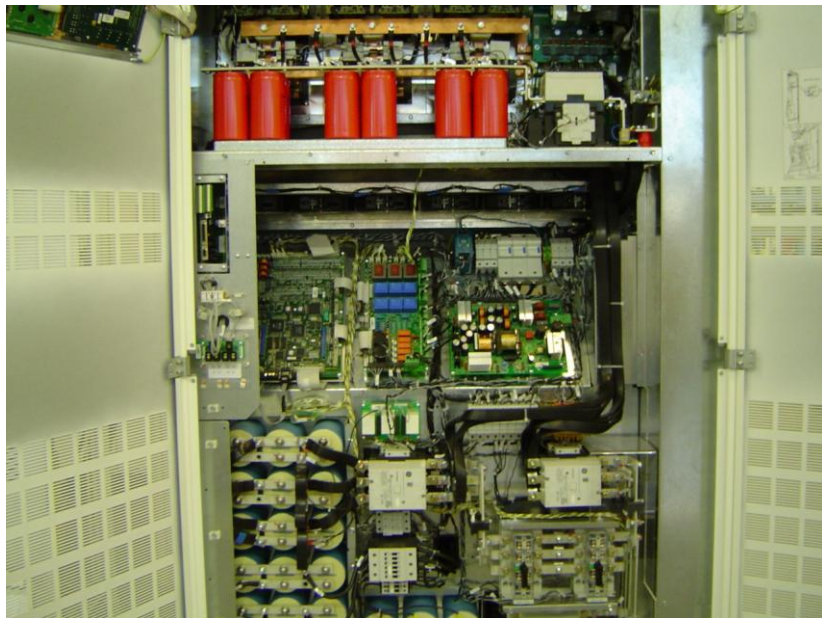
## Fazit

Der Schlusssatz könnte etwa so lauten: Die-USV-Anlage sollte bei einem Lieferanten gekauft werden, der eine sehr hohe Servicezuverlässigkeit nachweisen kann und sich auch vertraglich daran bindet.

Eine redundante Anlagenkonfiguration mit zwei bis fünf parallelen Systemen mit je einem eigenen Bypass. Eine Anlage davon soll redundant sein.

Aber so einfach ist es nicht. Denn das ist noch nicht die ganze Wahrheit. Wir haben noch nicht über die Verfügbarkeit (MTBF, siehe Kasten) der einzelnen USV-Anlagen gesprochen. Die MTBF-Werte von heute auf dem Markt erhältlichen USV-Anlagen liegen zwischen 100'000 und über 240'000 Stunden. Die MTBF-Werte der Anlagen werden von den Lieferanten angegeben. Sie sind nur vergleichbar, wenn von den gleichen Voraussetzungen ausgegangen wird. Es muss deklariert sein, welcher Wert für die Netzverfügbarkeit eingesetzt wird, ob die Verfügbarkeit in heisser oder kalter Redundanz gerechnet ist und welche Werte für die einzelnen Komponenten eingesetzt werden. Zudem ist ein Verfügbarkeitsblockdiagramm zur Überprüfung notwendig. Eine hohe Verfügbarkeit wird auch mit einem etwas schlechteren Wirkungsgrad erkaufte.

Die Aufgabe des Planers ist es, ein möglichst hoch verfügbares System zu planen, das zudem möglichst wenig Energie verbraucht. Spätestens hier wird klar, dass die Definition n-1, wie sie so oft verwendet wird, als Qualitätsmerkmal kaum ausreicht.



Bildlegende1:

USV-Anlage dicht gepackt, alle Komponenten von vorne erreichbar. Foto GE Digital Energy.

## Quellen:

<http://www.wzw.tum.de/lfp/lehrangebot/Lehre/Downloads/PA/P A-Kap6.pdf> (besucht 26.05.04)

<http://www.errepi.de/de/usvlexi.htm> (besucht 26.05.04)

Birolini, Alessandro, Zuverlässigkeit und Energieverbrauch von elektronischen Geräten und Systemen, Materialien zu RAVEL, Bundesamt für Konjunkturfragen, Zürich 1992

Bentley Peter, Bond David, The Handbook Uninterruptible Power Supplies, Berkshire (UK), 2003

## Begriffe:

Redundanzgrad	Wenn von n-parallelgeschalteten Elementen r redundant sind (d.h. n - r-Elemente können die geforderte Funktion erfüllen), so hat das System einen Redundanzgrad (n - r) aus n. Daraus abgeleitet ergibt sich der Redundanzgrad in %. Beispiel $r = 1 \rightarrow n - 1$ - Redundanz. Bedeutung: Unabhängig von der Anzahl installierten Elemente muss ein Element redundant sein.
Redundanzgrad in %:	Die Redundanz in Prozent gibt an, welcher prozentuale Anteil der installierten Leistung überflüssig ist, bzw. nur zur Erhöhung der Verfügbarkeit dient. 50% ist demnach eine vollständige Redundanz bei der gleich viele Elemente (oder Leistungseinheiten) überflüssig sind wie für die Funktion notwendig sind.
Zuverlässigkeit	Qualität mit der eine Fähigkeit oder Eigenschaft zur Verfügung steht. (Zum Beispiel das fehlerfreie zur Verfügung stehen einer Funktion.) (engl. Reliability)
Verfügbarkeit	Zeitdauer, mit der eine Fähigkeit oder Eigenschaft zur Verfügung steht. (Unter Berücksichtigung der Wartungszeiten) (engl. Availability)

## Autor:

Markus Gehrig  
Dipl. El. Ing. TS/REG B  
MG Power Engineering AG  
Strehlgasse 32, 8600 Dübendorf  
Telefon: 044 882 17 18  
Telefax: 044 882 17 19  
Internet: [www.power-engineering.ch](http://www.power-engineering.ch)  
E-mail: [m.gehrig@power-engineering.ch](mailto:m.gehrig@power-engineering.ch)