

Effektive MTBF-Vergleiche in Datacenter- Infrastrukturen

Wendy Torell
Victor Avelar

White Paper Nr. 112

APC[®]
Legendary Reliability[®]

Zusammenfassung

Der Wert der MTBF (Mean Time Between Failure; zu erwartende durchschnittliche Benutzungsdauer einer Komponente bis zum Auftreten von Ausfällen) wird beim Vergleich von Datacenter-Infrastruktursystemen häufig als entscheidendes Kriterium angeführt. Anbieter geben oftmals irreführende Werte an, sodass der Anwender nicht in der Lage ist, einen fundierten Vergleich anzustellen. Sind die den Zahlen zugrunde liegenden Variablen oder Annahmen unbekannt oder werden fehlinterpretiert, führt dies zu falschen Entscheidungen. In diesem Dokument soll gezeigt werden, wie die MTBF als einer von mehreren Faktoren zur Spezifikation und Auswahl von Systemen eingesetzt werden kann, wenn die Randbedingungen zur Bemessung der MTBF klar definiert sind.

Einleitung

In einem kritischen Datacenter hat die Verhinderung von Ausfällen immer oberste Priorität. Wenn der Marktwert eines Unternehmens durch einen nur Minuten dauernden Ausfall beeinträchtigt werden kann, muss die physische Infrastruktur für diese Netzwerkumgebung unbedingt zuverlässig sein. Wie kann diese Zuverlässigkeit sichergestellt werden? Die MTBF wird am häufigsten zum Vergleich der Zuverlässigkeit verschiedener Systeme eingesetzt. Die angestrebte Zuverlässigkeit eines Unternehmens lässt sich jedoch nur erreichen, wenn eindeutig ist, was unter der MTBF zu verstehen ist. Die wesentlichen Prinzipien der MTBF-Ermittlung werden im APC-White Paper Nr. 78, „Mean Time Between Failure Explanation and Standards“, vorgestellt. Die MTBF verliert letztlich an Bedeutung, wenn der Begriff des Ausfalls nicht klar definiert ist, die Annahmen unrealistisch sind oder fehlinterpretiert werden.

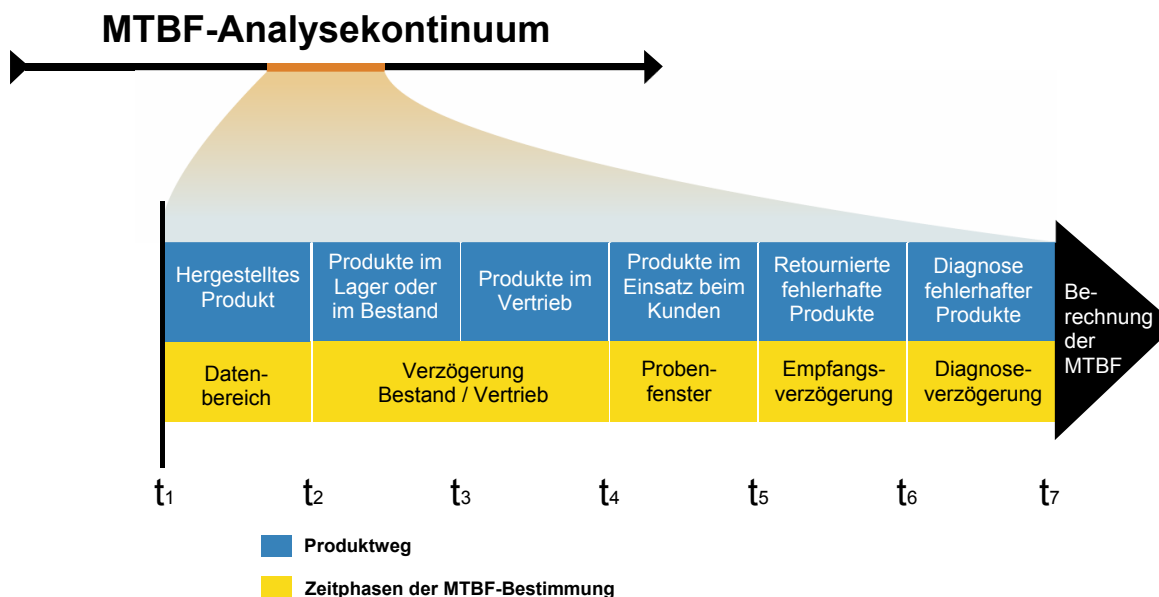
In diesem Dokument wird beschrieben, wie der Wert MTBF zu interpretieren ist und welche Einschränkungen bei der Verwendung als Instrument zur Spezifikation und Auswahl gelten. Eine Checkliste dient als Richtlinie für einen objektiven und aussagefähigen Systemvergleich.

Realistischer Ansatz zur vergleichenden MTBF-Analyse

In White Paper Nr. 78 werden verschiedene Methoden zur Berechnung der MTBF vorgestellt. Angesichts der Vielzahl infrage kommender Methoden scheint es kaum möglich, zwei Systeme zu finden, bei denen dieselbe Methode angewendet werden kann. Eine Methode jedoch zieht sich wie ein roter Faden durch die diversen Prozesse der meisten Unternehmen. Bei der Felddaten-Messmethode (Field Data Measurement Method) werden reale Ausfalldaten ausgewertet. Diese Berechnung der Ausfallrate ist deshalb genauer als die Berechnung anhand von Simulationen. Für neue Produkte oder Produkte mit geringer Stückzahl liegen diese Daten unter Umständen nicht vor, bei Produkten jedoch, die in signifikanter Zahl im Einsatz sind, sollten immer die aus dem laufenden Betrieb stammenden Daten verwendet werden. Dies ist daher der beste Ausgangspunkt für systemübergreifende Vergleiche. Es ist zu beachten, dass diese Methode – wie viele andere auch – auf der Annahme beruht, dass die Ausfallrate konstant ist (siehe White Paper Nr. 78).

Im vorliegenden Dokument werden die einzelnen Schritte dieser Methode erläutert. Außerdem werden die Variablen beschrieben, die Einfluss auf das Ergebnis haben. Variiert eine der kritischen Annahmen oder Variablen in den zu vergleichenden Systemen, wird eine Einschätzung ihrer potenziellen Auswirkungen auf die MTBF-Werte schwierig. **Abbildung 1** beschreibt das Zeitfenster für den Prozess der Felddatenmessung. Jedes Element im Zeitfenster wird in den darauf folgenden Prozessschritten erklärt.

Abbildung 1 – Prozess der Felddatenmessung



Schritt 1: Definition und geschätzte Größe der Grunddatenmenge

Der erste Schritt zur Bestimmung der jährlichen Ausfallrate (Annual Failure Rate, AFR) – und letztlich der MTBF – ist die Identifizierung der Grunddatenmenge, die für ein bestimmtes Produkt analysiert werden soll. Erfolgt die Berechnung für ein bestimmtes Produktmodell oder für eine ganze Produktfamilie? Wie viele Produktionstage oder -monate soll die Grunddatenmenge enthalten? Wann ist Produktionsanfang und -ende? Die für die Grunddatenmenge ausgewählten Produkte müssen entsprechend ähnlich konstruiert sein und die Datenmenge muss ausreichend groß sein, damit überhaupt eine statistische Relevanz erreicht wird.

Schritt 2: Bestimmung des Probenzeitraums für die Datensammlung

Der zweite Prozessschritt ist die Bestimmung des Probenzeitraums für die Sammlung der Ausfalldaten aus der Grunddatenmenge. Daten werden häufig dann gesammelt, wenn die Produkthanwender dem Hersteller einen Ausfall berichten. Der geeignete Zeitraum zwischen dem letzten Herstellungsdatum des Produkts und dem Beginn des Probenzeitraums variiert je nach Produkt, Geographie, Vertriebsstruktur und Position in der Bestandsliste. Werden Geräte beispielsweise zwei Monate im Warenausgang des Unternehmens gelagert und durchlaufen dann für zwei Monate den Vertriebsweg, kann der Probenzeitraum frühestens vier Monate nach Beendigung der Produktion beginnen. Für Produkte, die an Distributoren, Wiederverkäufer oder Einzelhändler gehen, gelten vier Monate als realistischer Zeitraum für diese Variablen.

An dieser Stelle sind zwei wichtige Variablen zu erwähnen: (1) ein ausreichend großer Zeitraum zwischen dem letzten Herstellungsdatum der Geräte in der Grunddatenmenge und dem Beginn des Probenzeitraums sowie (2) ein ausreichend großes Zeitfenster für die Datensammlung, um die Vertrauenswürdigkeit der Ergebnisse zu gewährleisten.

Ist der Zeitraum zwischen dem letzten Herstellungsdatum und dem Beginn des Probenzeitraums zu kurz, könnte der Probenzeitraum beginnen, bevor alle Produkte tatsächlich im Einsatz sind. Unter dieser Bedingung treten zwei Effekte ein. Erstens: Die Ausfallrate wird als zu gering eingeschätzt, da Geräte, die nicht benutzt werden, nicht ausfallen können. Zweitens: Im Probenzeitraum werden unverhältnismäßig viele Ausfälle erfasst, die während der Installation oder der Einrichtung auftreten. Bei neuen Produkten folgt die Ausfallrate meist dem Verlauf der bekannten Badewannenkurve: Die Anzahl der Ausfälle ist zu Beginn und am Ende der Produktlebensdauer relativ hoch; dazwischen liegt eine Periode mit vergleichsweise wenig Ausfällen. Die Ausfallrate wird somit überschätzt, wenn im Probenzeitraum sehr viele Inbetriebnahmen stattfinden. Zwar sind diese gegensätzlichen Effekte sehr ausgeprägt, dennoch heben sie sich nicht auf.

Die weitere, wichtige Überlegung im Hinblick auf den Probenzeitraum ist die Dauer des Zeitfensters. Wie viele Tage sollen die Daten zu Ausfällen gesammelt werden? Das Zeitfenster muss so groß sein, dass statistische Störungen das Ergebnis nicht verfälschen können. Die für eine ausreichende Genauigkeit benötigte Dauer ist abhängig von der Größe der Grunddatenmenge, das heißt, von der Anzahl der untersuchten Geräte. Bei einem Massenprodukt kann beispielsweise ein Monat genügen, während bei einem seltener verkauften Produkt mehrere Monate erforderlich sein können.

Schritt 3: Definition eines Ausfalls

Ein Ausfall kann nur dann statistisch einwandfrei erfasst werden, wenn er in seinen Merkmalen eindeutig klassifiziert ist. So darf es beispielsweise nicht sein, dass die Kennzeichnung als defekt oder unbrauchbar dem Gutdünken der einzelnen Techniker überlassen bleibt, die eine Wareneingangskontrolle durchführen. Ein Techniker würde nur vollständig funktionslose Produkte erfassen, ein anderer wiederum würde vielleicht auch solche Produkte mitzählen, die nur einen Teildefekt aufweisen. Diese beiden Extreme würden eine genaue Messung der Ausfallrate eines bestimmten Produkts unmöglich machen, ganz abgesehen von den Auswirkungen, die ein solches Vorgehen auf die Prozesskontrolle für das Produkt hätte. Es ist daher zwingend notwendig, dass der Hersteller vor einer Produktdiagnose klar definiert, was die Kategorie Ausfall tatsächlich bedeutet. Manchmal benutzen Hersteller verschiedene Definitionen hierfür, um den MTBF-Wert für bestimmte Ereignisse zu berechnen. Anbieter von unterbrechungsfreien Stromversorgungen (USVs) beispielsweise messen gewöhnlich den MTBF-Wert sowohl von Geräten, bei denen es zu einer Versorgungsunterbrechung der kritischen Last gekommen ist, als auch von Geräten mit weniger kritischen Ausfällen, bei denen die Lastversorgung erhalten blieb.

Schritt 4: Eintreffen des Produkts, Diagnose und Reparatur

Zwischen dem Ende des Probenzeitraums und dem Beginn der AFR-Berechnung muss genügend Zeit liegen, damit Produkte mit gemeldeten Ausfällen im Werk eintreffen, diagnostiziert und repariert werden können. Bei der Diagnose wird die Art des Ausfalls bestimmt, bei der Reparatur wird die Diagnose überprüft. Kleinere Produkte werden häufig zurück zum Hersteller geschickt, was zu einer gewissen Zeitverzögerung führt. Beim Hersteller angekommen, wird zunächst eine Diagnose gestellt, danach erfolgt die Reparatur, was zu einer weiteren Verzögerung führt. Bei größeren Produkten erfolgen Diagnose und Reparatur üblicherweise beim Kunden. In diesem Fall gibt es nur eine geringe oder gar keine Verzögerung. In jedem Fall müssen Diagnose und Reparatur der Produkte vor der Berechnung der AFR erfolgen. Bei Massenprodukten kann bereits das Ende der Diagnoseverzögerung erreicht sein, obwohl noch Geräte zu reparieren sind. In diesen Fällen wird dann manchmal angenommen, dass die noch zu reparierenden Geräte mit der gleichen Häufigkeit ausfallen wie die bereits reparierten. Je nach Produktionsvolumen und untersuchtem Produkttyp kann sich der Probenzeitraum durch die Empfangs- und Diagnoseverzögerungen um Wochen verlängern, sodass auch die AFR erst entsprechend später berechnet werden kann.

Schritt 5: Berechnung der jährlichen Ausfallrate (AFR)

Die jährliche Ausfallrate wird berechnet, um die erwartete Zahl an Ausfällen in einem Kalenderjahr für ein bestimmtes Produkt zu ermitteln. Als erster Schritt müssen die Ausfalldaten auf das Jahr hochgerechnet werden. Dazu wird die Anzahl der Ausfälle im Probenzeitraum mit der Anzahl der Probenzeiträume pro Jahr multipliziert. Als Nächstes wird das Verhältnis der Ausfälle zur gesamten Grunddatenmenge bestimmt. Dazu wird die auf das Jahr hochgerechnete Anzahl der Ausfälle durch die Anzahl der im Produktionszeitraum hergestellten Geräte dividiert. **Gleichung 1** ist im Folgenden dargestellt:

$$AFR = \frac{\text{Ausfälle im Probenzeitraum} \times (52 \text{ Wochen pro Jahr} / \text{Anzahl der Wochen im Probenzeitraum})}{\text{Anzahl der Geräte in der Grunddatenmenge}} \quad \text{Gleichung 1}$$

Diese Gleichung basiert auf den beiden folgenden Annahmen: (1) Die Produkte sind 24 Stunden pro Tag im Einsatz, 365 Tage im Jahr, und (2) der Einsatz aller Produkte beginnt zum gleichen Zeitpunkt. Diese Formel gilt zwar grundsätzlich für jedes Produkt, besitzt jedoch mehr Aussagekraft für Produkte im Dauerbetrieb. Für diskontinuierlich arbeitende Produkte ist eine genauere Berechnung der AFR mit **Gleichung 2** vorzuziehen. Ein Beispiel für ein solches Produkt ist ein Notstromgenerator.

$$AFR = \frac{\text{Ausfälle im Probenzeitraum} \times (52 \text{ Wochen pro Jahr} / \text{Anzahl der Wochen im Probenzeitraum})}{\text{kumulative Einsatzdauer in Jahren}} \quad \text{Gleichung 2}$$

Bei Verwendung dieser Formel wird die AFR nur für die Zeit berechnet, in der die Geräte tatsächlich in Betrieb sind. **Gleichung 1** und **Gleichung 2** sind identisch, basieren aber auf verschiedenen Annahmen. Das folgende hypothetische Beispiel zeigt, wie groß der Unterschied sein kann, wenn ein diskontinuierlich arbeitendes Produkt analysiert wird:

Die Grunddatenmenge umfasst 10.000 Autos.

Über einen Probenzeitraum von 2 Monaten hinweg werden Daten zu Ausfällen innerhalb dieser Grunddatenmenge erfasst.

Ein Durchschnittsauto ist 400 Stunden pro Jahr in Betrieb.

In den 2 Monaten sind 10 Autos ausgefallen.

Verwendung von Gleichung 1:

$AFR = 10 \text{ Ausfälle} \times (52 \text{ Wochen pro Jahr} / 8 \text{ Wochen im Probenzeitraum}) / 10.000 \text{ Einheiten in der Grunddatenmenge} = 0,0065 = 0,65 \%$.

Verwendung von Gleichung 2:

Es gelten folgende Annahmen: Die Autos wurden zum gleichen Zeitpunkt in Betrieb genommen*, die Betriebszeit beträgt 10.000 x 400 Stunden pro Jahr (= 4 Millionen kumulative Autostunden oder 4 Millionen / 8760 Stunden pro Jahr = 457 Autojahre).

$AFR = 10 \text{ Ausfälle} \times (52 \text{ Wochen pro Jahr} / 8 \text{ Wochen im Probenzeitraum}) / 457 \text{ kumulative Autojahre} = 0,14 \text{ oder } 14 \%$.

*Diese Annahme dient zur Vereinfachung des Beispiels. Tatsächlich werden die Autos während des gesamten Zeitraums verkauft, so dass sich die Anzahl der Betriebsstunden verringert. Dies wiederum führt zu einer höheren AFR.

Würde im obigen Beispiel ein Produkt im Dauerbetrieb angeführt, wären die AFR-Werte identisch. Auch ohne die Annahme, dass alle Autos zum gleichen Zeitpunkt in Betrieb genommen werden, wären die AFR-Werte immer noch recht ähnlich. Zur Durchführung einer genauen Analyse ist es daher entscheidend zu wissen, ob das Produkt kontinuierlich oder diskontinuierlich arbeitet.

Schritt 6: Umwandlung von AFR in MTBF

Die Umwandlung von AFR in MTBF (in Stunden) ist zwar der einfachste, aber der wahrscheinlich am häufigsten fehlinterpretierte Schritt. Eine Umwandlung von AFR in MTBF kann nur unter Annahme einer konstanten Ausfallrate erfolgen. Die Formel ist im Folgenden dargestellt (**Gleichung 3**):

$$MTBF = \frac{\text{Stunden pro Jahr}}{AFR} = \frac{8760}{AFR} \quad \text{Gleichung 3}$$

MTBF-Beispielberechnung mit Hilfe der AFR-Messmethode

Das folgende, hypothetische Beispiel dient zur Veranschaulichung der vollständigen Methode.

Schritt 1:

Die Grunddatenmenge besteht ausschließlich aus 15-kVA-USVs der Marke „X“, produziert von KW 36 bis KW 47 im Jahr 2003 (vom 01. September bis zum 21. November), ein 12-wöchiges Produktionsfenster. Die Grunddatenmenge besteht aus 2000 Einheiten.

Schritt 2:

Der Probenzeitraum beginnt am 2. Februar 2004 und endet am 16. Juli 2004 (ein Fenster von 24 Wochen). Darin ist eine 10-wöchige Verschiebung berücksichtigt, die sich aus der Fertigwarenlagerung und dem Vertrieb ergibt.

Schritt 3:

Ausfälle sind als Abwurf der kritischen Last definiert, verursacht durch beliebige Umstände, einschließlich menschlichem Versagen.

Schritt 4:

Während des Probenzeitraums wurden zwanzig Ausfälle gemeldet. Neun davon wurden als Abwurf der kritischen Last klassifiziert, die anderen elf waren nicht kritisch. Basierend auf der in Schritt 3 angeführten Definition für Ausfälle, werden in der folgenden Berechnung neun Ausfälle eingesetzt. Vor Beginn der AFR-Berechnung kamen die ausgefallenen Produkte ins Werk, wurden diagnostiziert und repariert.

Schritt 5:

Die AFR wird wie folgt berechnet:

$$AFR = \frac{9 \text{ Ausfälle} \times (52 \text{ Wochen im Jahr} / 24 \text{ Wochen im Probenzeitraum})}{2000 \text{ Geräte in der Grunddatenmenge}} = 0,00975 = 0,975\%$$

Schritt 6:

Die MTBF wird wie folgt berechnet:

$$MTBF = \frac{8760}{AFR} = \frac{8760}{0,00975} = 898.462 \text{ Stunden}$$

Variablen mit Auswirkungen auf die AFR

Oft stellt der Hersteller MTBF-Werte ohne die zugrunde liegenden Daten zur Verfügung. Wie bereits zuvor erwähnt, ist es bei der Betrachtung der MTBF-Werte (oder AFR-Werte) mehrerer Systeme wichtig, die bei der Analyse eingesetzten Annahmen und Variablen zu verstehen, insbesondere auch, wie Ausfälle definiert sind. Ohne dieses Hintergrundwissen kann der Vergleich sehr ungenau ausfallen, wobei Abweichungen von 500 % und mehr zu erwarten sind. Dies wiederum kann zu unnötigen Geschäftsausgaben und sogar zu unerwarteten Ausfallzeiten führen. Die MTBF-Werte von zwei oder mehreren Systemen sollten im Allgemeinen niemals ohne vorherige klare Definition der Variablen, der Annahmen und Ausfälle verglichen werden. Auch bei zwei scheinbar ähnlichen MTBF-Werten kann ein Vergleich ungenau ausfallen. Es ist daher zwingend notwendig, nicht nur die Ergebnisse zu betrachten, sondern auch zu analysieren, wie und mit welchen Daten sie erzielt wurden.

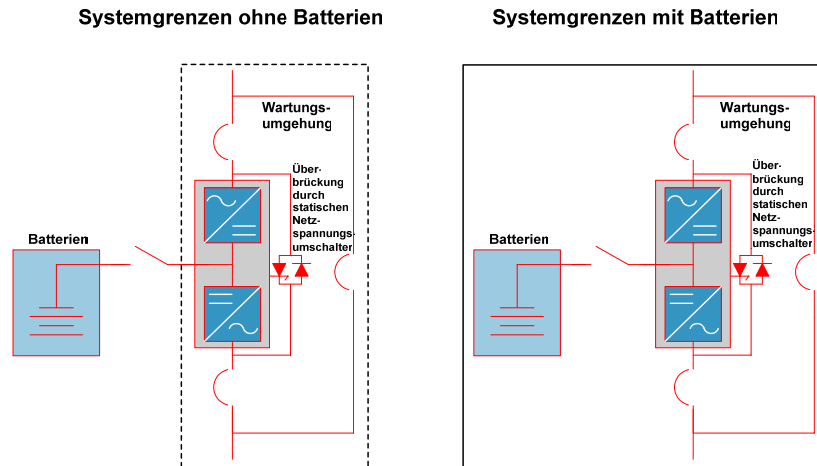
Im Folgenden wird jede Variable erläutert und die damit verbundene, potenzielle Beeinflussung der Ergebnisse diskutiert. Die Checkliste im Anhang dient als Hilfsmittel beim Vergleich dieser Variablen in zwei oder mehr Systemen. Anhand der ausgefüllten Checkliste kann überprüft werden, welche Variablen in den verschiedenen Systemen voneinander abweichen. Anhand einer kritischen Analyse dieser Unterschiede und der damit verbundenen Beeinflussung des MTBF-Wertes kann bestimmt werden, ob ein objektiver Vergleich möglich ist und als Schlüsselfaktor für eine Produktspezifikation und Kaufentscheidung herangezogen werden kann.

Produktfunktion, Anwendung und Grenzen

Vor dem Vergleich zweier oder mehrerer MTBF-Werte muss überprüft werden, ob die zu vergleichenden Produkte gleichwertig sind. Die zu vergleichenden Produkte müssen sich in Funktionsweise, Leistung und Anwendung ähnlich sein. Die Produktfunktion einer USV. wäre z. B. eine Übernahme der Lastversorgung bei Netzausfall. Eine Produkthanwendung wäre z. B. die Unterstützung von kritischen IT Lasten innerhalb einer Datencenter-Umgebung. Ohne ähnliche Anwendungen ist ein objektiver Vergleich der MTBF-Werte nicht möglich. Der Vergleich einer industriellen USV-Anlage mit einer Anlage im IT Sektor wäre unrealistisch.

Noch wichtiger ist, dass die beim MTBF Vergleich angewandten Systemgrenzen äquivalent sind. Wenn für jedes System verschiedene Grenzen festgelegt werden, ist ein unausgewogener Vergleich unvermeidlich. Betrachten wir eine USV-Anlage mit externen Batterien. Einige Hersteller schließen jeden durch die Batterien bedingten Ausfall aus, da sie „extern“ und nicht Teil der Anlage sind. Andere Hersteller schließen diese Ausfälle mit ein, da die Batterien für den Betrieb der Anlage ein wesentlicher Bestandteil sind. **Abbildung 2** illustriert dieses Beispiel. Andere Komponenten, die zur Verschiebung der Grenzen führen können, sind Eingangs- und Ausgangstrennschalter, parallel geschaltete Systeme, Sicherungen und Steuerungssysteme. Kunden sollten den Hersteller nach den in der MTBF-Berechnung enthaltenen Komponenten oder Sub-Systemen fragen und nicht davon ausgehen, dass alle Hersteller gleiche Definitionen verwenden.

Abbildung 2 – Vergleich der „Grenzen“ für eine USV Anlage



Annahme einer konstanten Ausfallrate

Werden AFR und MTB mittels der Felddatenmessmethode berechnet, muss für die zu analysierenden Produkte eine konstante Ausfallrate angenommen werden. Je nach Art des zu vergleichenden Produkts muss überlegt werden, ob diese Annahme sinnvoll ist. Im Allgemeinen gilt diese Annahme für elektronische Anlagen und Komponenten. Fallen die Produkte in diese Kategorie? Wenn nicht, sind die ermittelten Werte für zu erwartende Ausfälle wahrscheinlich nicht repräsentativ, was einen objektiven Vergleich nahezu unmöglich macht.

Größe der Grunddatenmenge

Wenn sichergestellt ist, dass die Produkte und ihre Anwendungen ähnlich sind, muss der Prozess der Felddatensammlung betrachtet werden. Die Definition der Grunddatenmenge (Zahl der produzierten Einheiten) ist hierbei die erste kritische Variable. Ist die Anzahl der in der Grunddatenmenge definierten Produkte zu gering, ist die daraus resultierende MTBF-Schätzung vermutlich wertlos. Beim Vergleich der MTBF-Werte muss daher sichergestellt sein, dass jeder Wert auf einer ausreichenden großen Grunddatenmenge basiert.

Die Produktionsraten der zu vergleichenden Produkte können zwar voneinander abweichen, wichtig ist jedoch die Anzahl der Einheiten in der Grunddatenmenge. Wird ein Produkt mit geringerer Produktionsgeschwindigkeit hergestellt, sollte auch der Zeitrahmen für die Herstellung größer sein, damit eine angemessene Stückzahl erreicht wird. Hersteller „A“ z. B. produziert 1000 Einheiten pro Monat, während Hersteller „B“ in einem Monat nur 50 Einheiten eines äquivalenten Produkts herstellt. Um ein statistisch relevantes Ergebnis zu erzielen, muss Hersteller „B“ in seiner Grunddatenmenge mehrere Monate angeben, während für Hersteller „A“ ein Monat ausreicht.

Zeit zwischen letztem Produktionstermin und Beginn des Probenzeitraums

Wird zwischen dem Ende des Produktionszeitraums und dem Beginn des Probenzeitraums für die Datensammlung zu wenig Zeit eingeplant, könnten die AFR- und MTBF-Werte falsch sein. Vor Beginn der Datensammlung, müssen die Hersteller für die zu vergleichenden Produkte genügend Zeit einplanen, damit diese in den Warenbestand aufgenommen und den Vertriebsweg durchlaufen können.

Liegt z. B. ein spezielles Produkt in der Regel für einen Monat auf Lager und durchläuft dann für einen weiteren Monat den Vertriebsweg, muss der Zeitraum vor der Berechnung der Ausfälle mindestens zwei Monate betragen. Diese Gesamt-Wartezeit ist von Produkt zu Produkt unterschiedlich. Die Produkttypen sollten für einen Vergleich ähnlich sein, ebenso die Produktions- und Probenzeiträume. Hat ein Hersteller offensichtlich zu wenig oder überhaupt keine Wartezeit eingeplant, ist der AFR-Wert für sein Produkt wahrscheinlich zu niedrig, und beim Vergleich der Werte ist Vorsicht angebracht.

Datensammlungszeitraum

Wie im zweiten Prozessschritt beschrieben, muss ein geeigneter Probenzeitraum für die Datensammlung ausgewählt werden. Ist das Beispiel-Zeitfenster bei den zu vergleichenden Systemen gleich lang und sind die Produktions- und / oder Verkaufszahlen ähnlich, kann ein objektiver Vergleich erfolgen. Das ist jedoch nicht immer der Fall. Variiert die Dauer des Sammlungszeitraums bei verschiedenen Systemen, muss jedes System einzeln bewertet werden, damit bestimmt werden kann, ob diese Momentaufnahme der Ausfallrate auch für zukünftige Ausfallraten repräsentativ ist.

Je niedriger die Stückzahl eines Produkts, desto größer muss das Fenster sein. Für einen Hersteller von Produkten mit einer Stückzahl von 10 Einheiten pro Monat reicht es nicht aus, über einen Zeitraum von nur einem Monat Daten zu sammeln. Aufgrund der geringen Stückzahl können die in diesem Monat ermittelten Ausfallzeiten (falls es welche gibt) nicht die Ausfallrate für die folgenden Monate widerspiegeln.

Definition eines Ausfalls

Wenn ein Ausfall für zwei vergleichbare Produkte unterschiedlich definiert ist, liefert eine Analyse wertlose Ergebnisse. Zur Durchführung eines verwertbaren MTBF-Vergleichs ist es daher unerlässlich, genau zu bestimmen, wie ein Ausfall für die einzelnen zu vergleichenden Produkte definiert ist. Was muss ein Hersteller also im Rahmen der MTBF-Berechnung als Ausfall klassifizieren?

- Ist es sinnvoll, durch Bedienungsfehler des Kunden verursachte Ausfälle zu zählen? Möglicherweise wurden von den Konstrukteuren menschliche Faktoren übersehen, sodass die Benutzer dazu neigen, das Produkt falsch zu bedienen.
- In der Branche ist die gebräuchlichste Definition für einen USV-Ausfall der Abwurf der kritischen Last. Das heißt, die Spannung, mit der die Last versorgt wird, fällt unter die Toleranzgrenze und führt dazu, dass sich das zu versorgende Gerät abschaltet. Ist es sinnvoll, durch den Servicetechniker des Herstellers verursachte Lastabwürfe zu zählen? Erhöht sich aufgrund der Produktkonstruktion selbst die Wahrscheinlichkeit eines Ausfalls während eines von vornherein riskanten Verfahrens?

- Gilt der Ausfall einer LED (Light Emitting Diode) eines Computers als Ausfall, auch wenn der Computer weiter uneingeschränkt in Betrieb bleibt?
- Gilt die erwartete Abnutzung eines Verschleißteils, etwa einer Batterie, als Ausfall, wenn der Ausfall vorzeitig eintritt?
- Gelten Transportschäden als Ausfälle? Dies kann ein Hinweis auf eine mangelhafte Verpackung sein.
- Werden wiederholte Ausfälle gezählt? Mit anderen Worten: Werden Ausfälle desselben Systems bei demselben Kunden mit derselben Diagnose mehrfach oder nur einmal gezählt?
- Zählen Ausfälle, die während der Installation verursacht wurden? Möglicherweise wurde der Ausfall durch den Techniker des Herstellers verursacht.
- Zählen Ausfälle, wenn der Kunde nicht den empfohlenen Wartungsvertrag oder das Überwachungssystem mitgekauft hat?
- Zählt ein Ausfall aufgrund eines Gebäudeschadens, der durch ein Erdbeben verursacht wurde, oder gilt hier „Höhere Gewalt“?
- Werden Ausfälle von bestimmten Systemkomponenten ausgeschlossen?
Bei einer USV-Anlage könnten dies die Batterien oder der Umgehungsschalter sein.
- Wird bei Ausfällen mit Folgefehlern, die auch angeschlossene Systeme betreffen, jedes System als Ausfall gezählt oder nur das erste?
- Wird ein System, das für spezielle Bedürfnisse konfiguriert wurde, aus der Grunddatenmenge ausgeschlossen?

Die in der Branche verwendete De-facto-Definition der Ausfallzeit zur Berechnung des MTBF-Wertes berücksichtigt mehrere Variationen. Die obige Aufzählung enthält nur einige. Aufgrund der vielen Ausnahmen bei den Ausfalldefinitionen wird das System durch die MTBF-Werte als zuverlässiger dargestellt, als es tatsächlich ist. Um Geschäftspartnern und Kunden zuverlässige AFR- und MTBF-Werte zu liefern, ist beim Vergleich der MTBF-Werte eine eindeutige Definition des Ausfalls notwendig.

Drei eindeutige Definitionen sind:

- | | |
|--------|---|
| Typ 0 | Das Produkt ist schadhaft oder fällt aus und kann nicht mehr in Betrieb genommen werden. |
| Typ I | Das Produkt insgesamt kann die gewünschte Funktion nicht mehr ausführen. ¹ |
| Typ II | Eine einzelne Komponente kann die gewünschte Funktion nicht mehr ausführen, das Produkt insgesamt jedoch wohl. ² |

¹ IEC-50

² IEC-50

Neben der vom Hersteller verwendeten Definition muss auch bekannt sein, ob menschliches Versagen als Ausfallursache definiert ist. Geht menschliches Versagen in die MTBF-Berechnung ein, wird ein Vergleich der MTBF-Werte schwieriger. Ein Ausfall durch menschliches Versagen kann auf viele Arten verursacht werden, was Hersteller dazu veranlassen kann, einige dieser Ausfälle herauszufiltern. Filtern nun alle Hersteller unterschiedliche Ausfallarten heraus, wird ein Systemvergleich fragwürdig.

Um diese Situation zu erläutern, betrachten wir noch einmal das Beispiel der Marke „X“. **Tabelle 1** vergleicht MTBF-Werte bei unterschiedlicher Ausfalldefinition. Anlage „A“ ist ein Produkt der Marke „X“; Ausfälle sind als kritische Ausfälle (Typ I) definiert, einschließlich aller Arten menschlichen Versagens und Ausfällen von Komponenten mit geringer Lebensdauer (Verschleißteile). Anlage „B“ ist das gleiche Produkt der Marke „X“; Ausfälle sind ebenfalls als Typ I definiert. Hier werden jedoch solche durch menschliches Versagen, Folgefehler und Ausfälle von Verschleißteilen ausgeschlossen. Die Differenz von nur einem Ausfall während des Probenzeitraums kann das MTBF-Ergebnis erheblich beeinträchtigen. In diesem Beispiel beträgt die Differenz 5 Anlagenausfälle (9 bei Anlage A und 4 bei Anlage B). Der MTBF-Wert variiert um 125 %. Die Definitionen der Ausfälle werden schnell und oft fehlinterpretiert und können, wie dieses Beispiel zeigt, den Unterschied zwischen einem gültigen und einem ungültigen Vergleich ausmachen. Weitere Informationen über das Tool zur Berechnung der Werte in diesem Vergleich finden Sie auf asc@apcc.com.

Tabelle 1 – Vergleich von MTBF-Werten bei unterschiedlicher Ausfalldefinition.

System A				MTBF-Vergleich	System B						
Gesamtanzahl von Ausfällen im Probenzeitraum	Anzahl wiederholter Ausfälle im Probenzeitraum	Anzahl erstmalig auftretender Ausfälle im Probenzeitraum	In MTBF-Berechnung einbeziehen?	Ausfallarten	In MTBF-Berechnung einbeziehen?	Anzahl erstmalig auftretender Ausfälle im Probenzeitraum	Anzahl wiederholter Ausfälle im Probenzeitraum	Gesamtanzahl von Ausfällen im Probenzeitraum			
				Ausfallart 0 = Störung oder Ausfall verhindert den vorgesehenen Einsatz des Produkts							
0		0	☐	Ausfall nach Transportschaden	☐	0		0			
0		0	☐	Ausfall während einer „zertifizierten“ Installation	☐	0		0			
0		0	☐	Ausfall während einer „nicht zertifizierten“ Installation	☐	0		0			
				Ausfallart I = Das Produkt insgesamt kann die gewünschte Funktion nicht mehr ausführen.							
0		0	■	Gemeldete „Fehler“ gehören in Wirklichkeit zum normalen Betrieb	■	0		0			
1		1	■	Folgefehler (eines der gekoppelten Systeme führt zum Ausfall)	☐	1		1			
1		1	■	Ausfälle, die durch einen ACP-Servicetechniker oder einen von APC beauftragten Servicetechniker verursacht wurden	☐	1		1			
0		0	■	Ausfälle, die durch den Techniker eines dritten Unternehmens verursacht wurden (bei laufendem Systembetrieb)	☐	0		0			
1	0	1	■	Ausfälle wegen unsachgemäßer oder unzulässiger Verwendung durch den Kunden	☐	1	0	1			
2	0	2	■	Ausfälle von Verschleißteilen wie Batterien	☐	2	0	2			
1	0	1	■	Ausfälle von Hardwarekomponenten oder Firmware nach deren Überarbeitung (technische Änderungen)	■	1	0	1			
3	0	3	■	* Ausfälle von Hardwarekomponenten oder Firmware	■	3	0	3			
				Ausfallart II = Eine einzelne Komponente kann die gewünschte Funktion nicht mehr ausführen, das Produkt insgesamt jedoch wohl.							
2		2	☐	Gemeldete „Fehler“ gehören in Wirklichkeit zum normalen Betrieb	☐	2		2			
1		1	☐	Folgefehler (eines der gekoppelten Systeme führt zum Ausfall)	☐	1		1			
1		1	☐	Ausfälle, die durch einen ACP-Servicetechniker oder einen von APC beauftragten Servicetechniker verursacht wurden	☐	1		1			
1		1	☐	Ausfälle, die durch den Techniker eines dritten Unternehmens verursacht wurden (bei laufendem Systembetrieb)	☐	1		1			
1	0	1	☐	Ausfälle wegen unsachgemäßer oder unzulässiger Verwendung durch den Kunden	☐	1	0	1			
2	0	2	☐	Ausfälle von Verschleißteilen wie Batterien	☐	2	0	2			
1	0	1	☐	Ausfälle von Hardwarekomponenten oder Firmware nach deren Überarbeitung (technische Änderungen)	☐	1	0	1			
2	0	2	☐	* Ausfälle von Hardwarekomponenten oder Firmware	☐	2	0	2			
Wiederholte Ausfälle in Gesamtauswertung einbeziehen?				☐	Wiederholte Ausfälle in Gesamtauswertung einbeziehen?						
9				Gesamtanzahl von Ausfällen im Probenzeitraum für die MTBF-Berechnung				4			

MTBF-Berechnung	System A	System B	System B mit der Ausfalldefinition von System A
Gesamtanzahl von Ausfällen im Probenzeitraum für die MTBF-Berechnung	9	4	9
Anzahl der Wochen im Probenzeitraum	24	24	24
Anzahl der Einheiten in der Grunddatenmenge	2000	2000	2000
AFR = [Ausfälle im Probenzeitraum x (52 Wochen pro Jahr / Anzahl der Wochen im Probenzeitraum)] / Anzahl der Einheiten in der Grunddatenmenge	0,975%	0,433%	0,975%
MTBF = 8760 / AFR	898.462	2.021.538	898.462

Für System B ergibt sich scheinbar eine MTBF, die 125 % größer ist als die von System A. Wegen der unterschiedlichen Definitionen der Ausfallarten ist dieser Vergleich jedoch ungültig.

Tatsächlich ist die MTBF von System B 0 % größer als die von System A.

Um solche Widersprüchlichkeiten zu eliminieren, schlägt APC für die Festlegung der im MTBF-Wert zu berücksichtigenden Ausfälle eine Best Practice vor. Diese wurde mit dem Ziel entwickelt, gegenüber dem Kunden alle infrage kommenden Ausfälle zu dokumentieren. Dazu zählen alle Ausfälle, die der Hersteller kontrollieren kann. Verursacht zum Beispiel, der Servicetechniker des Hersteller einen Ausfall, sollte sich dies im MTBF-Wert zeigen, da dies in der Verantwortung des Herstellers liegt. Verursacht jedoch ein vom Kunden beauftragter Servicetechniker eines Fremdunternehmens einen Ausfall, sollte sich dies nicht im MTBF-Wert zeigen, da dies außerhalb der Verantwortung des Herstellers liegt. Die Checkliste im Anhang zeigt, welche Definitionen Teil dieser Best Practice sind.

Wann immer es möglich ist, sollte die Definition für die optimale Handhabung eines Ausfalls beim Vergleich von Produkten verschiedener Hersteller angewandt werden. Kann ein Hersteller nur einen Teil dieser Definition einhalten, muss die Definition des anderen Herstellers, dessen Produkt verglichen wird, identisch sein. Um einen objektiven Vergleich zu ermöglichen, ist diese Konsistenz notwendig. Dieser Vergleich mag zwar objektiv sein, spiegelt jedoch nicht unbedingt die Realität wider. Je weiter der Hersteller die Ausfälle eingrenzt, desto unrealistischer wird der MTBF-Wert.

Zeitraum zwischen Ende des Probenzeitraums und Beginn der AFR-Berechnung

Wenn der Hersteller innerhalb des Probenzeitraums alle Produkte mit gemeldeten Ausfällen erhält, eine Diagnose stellt und eine Reparatur durchführt, könnte der AFR-Wert sofort berechnet werden. Bei Produkten mit geringer Stückzahl, die beim Kunden diagnostiziert und repariert werden, ist dies tatsächlich möglich. Für retournierte Produkte mit höheren Stückzahlen ist das jedoch nicht möglich. Vergleicht man ähnliche Produkttypen, sollte auch die Verschiebung zwischen Ende des Probenzeitraums und Beginn der AFR-Berechnung ähnlich sein. Es wird z. B. angenommen, dass Hersteller „A“ einen Monat und Hersteller „B“ vier Monate nach Beendigung des Probenzeitraums mit der AFR-Berechnung beginnt. Wird das zu vergleichende Produkt mit großer Stückzahl produziert, wird Hersteller „A“ wahrscheinlich einen positiveren AFR-Wert erhalten, da einige der „fehlerhaften“ Produkte (die noch eintreffen, diagnostiziert und repariert werden müssen) in der AFR-Berechnung nicht berücksichtigt werden.

Unter einer Bedingung jedoch wird trotz dieses Zeitunterschieds zwischen den Systemen ein Vergleich wahrscheinlich gültig (alles Weitere bleibt gleich). Und zwar dann, wenn alle Hersteller annehmen, dass die nicht reparierten Produkte im gleichen Maße ausfallen wie zuvor reparierte Produkte, und die Mehrzahl der Rücksendungen bereits eingetroffen ist, diagnostiziert und repariert wurde.

Dokumentierter Prozess der Datensammlung und Analyse

Um die Zuverlässigkeit eines MTBF Vergleichs einzuschätzen, ist die Kenntnis des von jedem Hersteller eingesetzten Verfahrens zur Datensammlung und -analyse unerlässlich. Ein klar definierter und dokumentierter Prozess ist für eine verlässliche Qualitätskontrolle entscheidend. Dies dient auch zur Sicherstellung der Übereinstimmung und Genauigkeit innerhalb der einzelnen Analyseschritte. Im Folgenden sind beispielhaft drei Probleme angeführt, die während des Prozesses auftreten können. Treten diese oder andere Probleme auf, sollten ihre Auswirkungen auf die MTBF-Schätzung (und letztlich auf den Vergleich) genau untersucht werden.

- Ein Hersteller kann die weltweit anfallenden Daten nicht mit absoluter Genauigkeit ermitteln, da verschiedene Länder verschiedene Systeme zum Aufspüren und Speichern von Daten aus Ausfällen oder Reparaturen einsetzen. Fehlende oder falsche Daten können zu einer falschen Einschätzung der AFR für weltweit verkaufte Produkte führen.
- Der Hersteller hat die Prozesse zur Kategorisierung zurückgesandter Produkte nicht klar definiert. Werden zurückgesandte, ungeöffnete oder nicht in Betrieb genommene Produkte als „fehlerhaft“ eingestuft, ist die resultierende AFR zu hoch.
- Das Tracking-System eines Herstellers arbeitet nicht automatisch. Je geringer die Automation, desto fehlerhafter können die Daten und somit die AFR-Berechnung sein. Je automatisierter der Prozess, desto genauer sind im Allgemeinen die Ergebnisse. Ein Beispiel für Automatisierung ist das Scannen der Seriennummern anstelle einer manuellen Eingabe.

AFR-Formel für die Berechnung

Je nach Produkt kann ein MTBF-Vergleich durch die Anwendung der falschen AFR-Formel (**Gleichung 1 oder 2**) ungültig werden. Vergleicht man nach Inbetriebnahme ununterbrochen arbeitende Produkte, können beide Formeln angewandt werden, vergleicht man mit Unterbrechungen arbeitende Produkte kann nur die Verwendung von Gleichung 2 zu einem gültigen Ergebnis führen. **Tabelle 2** beschreibt, unter welchen Szenarien ein gültiger Vergleich erzielt wird.

Tabelle 2 – Vergleich der AFR-Gleichungen

Produktverhalten bei Einsatz	AFR-Gleichung 1	AFR-Gleichung 2
Vergleich mit kontinuierlich arbeitendem Produkt z. B. USV A vs. B (beide versorgen kritische Lasten)	Gültiger Vergleich	Gültiger Vergleich
Vergleich mit diskontinuierlich arbeitendem Produkt z. B. Laptop A vs. Laptop B	Ungültiger Vergleich	Gültiger Vergleich

Stunden pro Jahr

Eine Umwandlung von AFR in MTBF kann nur mit der Annahme einer konstanten Ausfallrate erfolgen. In diesem Fall kann nach Überprüfung, ob für alle zu vergleichenden Systeme die gleiche Stundenzahl pro Jahr angesetzt wird, **Gleichung 3** verwendet werden. Während einige Hersteller z. B. 8.000 Stunden pro Jahr angeben, gehen andere von der exakten Zahl von 8.760 Stunden aus.

Entscheidungskriterien unabhängig von der MTBF

Für die Produktspezifikation und Auswahl (bei gleichen Methoden, Variablen und Annahmen für alle zu vergleichenden Systeme) kann die MTBF bei einer Entscheidung sehr hilfreich sein, sie darf jedoch niemals das einzige Kriterium sein. Zahlreiche weitere Kriterien sollten bei der Evaluierung der Produkte mehrerer Hersteller in Betracht gezogen werden. Wie stabil sind die Prozesse in der gesamten Qualitätskontrolle des Herstellers? Welche Stückzahlen werden in welcher Umgebung produziert? Ist er nach ISO9000 zertifiziert? Dies ist ein Anhaltspunkt für eine Standardisierung der Prozesse zur Optimierung der Qualität und Zuverlässigkeit. Wie gut entspricht jedes Produkt dem Bedarf des Anwenders? Einbezogen in diese Überlegungen sind auch die Flexibilität oder Modularität des Produkts, schnelle Einsatzfähigkeit nach einem Ausfall (MTTR) und die Total Cost of Ownership (TCO) (siehe auch APC-White Paper Nr. 6, „Bestimmung der Total Cost of Ownership für Datacenter and Serverraum-Infrastrukturen“). Eine weitere Vergleichsmöglichkeit sind Kundenreferenzen oder -bewertungen des Produkts. Schließlich gewährleistet die Bewertung zweier oder mehrerer Systeme durch eine neutralen Dritten eine optimale Produktspezifikation und Kaufentscheidung.

Ergebnisse

Die MTBF ist beim Vergleich mehrerer Produkte häufig ein zentrales Entscheidungskriterium. Die einzelnen Werte müssen jedoch sehr sorgfältig betrachtet werden. Zunächst sollten die Methoden zur MTBF-Berechnung identisch sein. Weiterhin hängt der Prozess der Felddatensammlung und -analyse von vielen Variablen und Annahmen ab, wobei jede einzelne das Ergebnis erheblich beeinflussen kann. Ein objektiver Vergleich der MTBF-Werte ist nur dann möglich, wenn diese Variablen und Annahmen übereinstimmen, was in der Realität häufig nicht der Fall ist. Die Checkliste im Anhang hilft dabei, dies zu erkennen. Zusätzlich kann mittels der Online-MTBF-Berechnungshilfe die Beeinflussung der MTBF-Werte durch kritische Variablen quantifiziert werden.

Mit diesem Papier wurde die Grundlage für einen objektiven Vergleich der MTBF-Werte geschaffen. Bei ähnlichen Annahmen und Variablen und gleichen Definitionen für den Ausfall kann von einer großen Zuverlässigkeit des Vergleichs ausgegangen werden.

Die Autoren:

Wendy Torell ist Availability Engineer bei APC in W. Kingston, RI. Sie berät Kunden über neue Ansätze bei der Verfügbarkeit für Datencenterumgebungen und Designmethoden, um die Verfügbarkeit der Datencenterumgebungen der Kunden zu optimieren. Ihren Bachelor-Abschluss in Maschinenbau hat sie am Union College in Schenectady, NY, gemacht. Wendy Torell ist Reliability Engineer, zertifiziert nach ASQ.

Victor Avelar ist Availability Engineer bei APC. Seine Aufgabe ist die Beratung und Analyse im Hinblick auf die Verfügbarkeit für die elektrotechnischen Architekturen und das Datencenterdesign der Kunden. Seinen Bachelor-Abschluss in Maschinenbau machte er im Jahr 1995 am Rensselaer Polytechnic Institute. Er ist Mitglied von ASHRAE und der American Society for Quality.

Anhang – MTBF-Definition der Ausfallcheckliste

Definition eines Ausfalls	Best Practice nach APC	Hersteller A	Hersteller B
Markieren Sie alle Ausfalldefinitionen, die die Hersteller in ihre MTBF-Berechnungen einbeziehen			
Ausfallart 0: Störung oder Ausfall verhindert den vorgesehenen Einsatz des Produkts			
Ausfall nach Transportschaden			
Ausfall während einer „zertifizierten“ Installation			
Ausfall während einer „nicht zertifizierten“ Installation			
Ausfallart I: Das Produkt insgesamt kann die gewünschte Funktion nicht mehr ausführen.			
Gemeldete „Fehler“ gehören in Wirklichkeit zum normalen Betrieb <i>Zwei Beispiele für diese Ausfalldefinition: (1) Eine USV schaltet während eines Netzausfalls auf Batteriebetrieb, verbraucht die gesamte Batterieladung und wirft schließlich die Last ab. (2) Eine außergewöhnliche Wetterlage führt dazu, dass kritische Server heruntergefahren werden müssen, weil die Klimaanlage die Umgebungsluft nicht mehr kühlen kann.</i>			
Folgefehler? (eines der gekoppelten Systeme führt zum Ausfall) <i>Ein Beispiel für diese Ausfalldefinition: Zwei parallel geschaltete USV-Systeme arbeiten auf einem gemeinsamen Ausgang. Ein Kondensator in einer der USVs schlägt durch, und die Störung überträgt sich auf den gemeinsamen Ausgang. Die Last wird abgeworfen.</i>	√		
Ausfälle, die durch einen ACP-Servicetechniker oder einen von APC beauftragten Servicetechniker verursacht wurden?	√		
Ausfälle, die durch den Techniker eines dritten Unternehmens verursacht wurden (bei laufendem Systembetrieb)			
Ausfälle wegen unsachgemäßer oder unzulässiger Verwendung durch den Kunden <i>Zwei Beispiele für diese Ausfalldefinition: (1) Der Kunde drückt nicht auf "Test", sondern auf "Aus". Die Last wird abgeworfen. (2) Der Kunde beschädigt die Kühlwasserleitungen mit einem Gabelstapler. Die Klimaanlage schaltet sich ab.</i>			
Ausfälle von Verschleißteilen wie Batterien? <i>Als Verschleißteile gelten alle Komponenten, die vor Ablauf der Systemlebensdauer ersetzt werden müssen. Der Ausfall eines Verschleißteils liegt dann vor, wenn das Teil vor Ablauf seiner projektierten Lebensdauer seine gewünschte Funktion nicht mehr ausführen kann. Weitere Beispiele: (1) Elektrolytkondensatoren in großen Systemen, (2) Luft- und Ölfilter, (3) Kältemittel in einer Klimaanlage</i>	√		
Ausfälle von Hardwarekomponenten oder Firmware nach deren Überarbeitung (technische Änderungen)? <i>Diese Ausfalldefinition umfasst alle Hardware- und Firmware-Ausfälle des Typs 1, die noch nicht gezählt wurden und im Zuge einer technischen Änderung oder einer anderen dokumentierten Maßnahme behoben wurden.</i>	√		
Ausfälle von Hardwarekomponenten oder Firmware? <i>Diese Ausfalldefinition umfasst alle Hardware- und Firmware-Ausfälle des Typs 1, die noch nicht gezählt wurden.</i>	√		
Ausfallart II: Eine einzelne Komponente kann die gewünschte Funktion nicht mehr ausführen, das Produkt insgesamt jedoch wohl.			
Gemeldete „Fehler“ gehören in Wirklichkeit zum normalen Betrieb			
Folgefehler? (eines der gekoppelten Systeme führt zum Ausfall)	√		
Ausfälle, die durch einen ACP-Servicetechniker oder einen von APC beauftragten Servicetechniker verursacht wurden?	√		
Ausfälle, die durch den Techniker eines dritten Unternehmens verursacht wurden (bei laufendem Systembetrieb)			
Ausfälle wegen unsachgemäßer oder unzulässiger Verwendung durch den Kunden			
Ausfälle von Verschleißteilen wie Batterien?	√		
Ausfälle von Hardwarekomponenten oder Firmware nach deren Überarbeitung (technische Änderungen)?	√		
Ausfälle von Hardwarekomponenten oder Firmware?	√		