

Mittlerer Ausfallzeitraum: Erläuterung und Normen

Von Wendy Torell
Victor Avelar

**White paper /
technische
Dokumentation
Nr. 78**

APC[®]
Legendary Reliability[®]

Zusammenfassung

Der Begriff „mittlerer Ausfallzeitraum“ (MTBF, Mean Time Between Failure) bezieht sich auf die Zuverlässigkeit von Geräten. In vielen Branchen ist er nur unscharf definiert, und häufig wird er fehlerhaft verwendet. Im Laufe der Jahre hat sich die ursprüngliche Bedeutung dieses Begriffs geändert, was zu Verwirrungen geführt hat. MTBF setzt größtenteils Annahmen über Ausfälle und die Definition des Begriffs „Ausfall“ voraus. Bei einer angemessenen Erläuterung des Begriffs ist dies unbedingt zu beachten. In dieser technischen Dokumentation / White paper werden die zugrunde liegenden Sachverhalte und falschen Auffassungen zur MTBF sowie die Methoden zum Schätzen der MTBF erläutert.

Einführung

Der mittlere Ausfallzeitraum (MTBF) dient seit über 60 Jahren als Grundlage für verschiedene Entscheidungen. Im Laufe der Jahre wurden mehr als 20 Methoden und Verfahren zur Vorhersage der Nutzungsdauer entwickelt. Daher ist es nicht verwunderlich, dass MTBF Gegenstand einer schier endlosen Debatte ist. Ein Bereich, in dem dies besonders deutlich wird, ist die Konstruktion unternehmenskritischer Anlagen für IT- und Telekommunikationsausrüstung. Wenn der Marktwert eines Unternehmens durch einen nur Minuten dauernden Ausfall beeinträchtigt werden kann, muss die physikalische Infrastruktur für diese Netzwerkumgebung unbedingt zuverlässig sein. Die angestrebte Zuverlässigkeit eines Unternehmens lässt sich nur erreichen, wenn eindeutig ist, was unter MTBF zu verstehen ist. In dieser technischen Dokumentation werden alle Aspekte des MTBF durchgängig an Beispielen erläutert, um den Sachverhalt zu vereinfachen und falsche Auffassungen zu korrigieren.

Was ist ein Ausfall? Von welchen Annahmen ist auszugehen?

Diese Fragen sollten bei der Prüfung eines MTBF-Werts sofort gestellt werden. Ohne Antworten auf diese Fragen hat die Diskussion wenig Wert. Der MTBF wird häufig ohne eine Definition von Ausfall angegeben. Eine solche Vorgehensweise ist nicht nur irreführend, sondern auch vollkommen sinnlos. Auf das Auto übertragen, würde dies bedeuten, den Kraftstoffverbrauch in „Kilometern pro Tank“ anzupreisen, ohne die Kapazität des Tanks in Litern anzugeben. Um diese Zweideutigkeit zu beseitigen, könnte man argumentieren, dass es zwei grundlegende Definitionen für Ausfall gibt:

- 1) Das Produkt insgesamt kann die gewünschte Funktion nicht mehr ausführen.¹
- 2) Eine einzelne Komponente kann die gewünschte Funktion nicht mehr ausführen, das Produkt insgesamt jedoch wohl.²

Die beiden folgenden Beispiele zeigen, dass ein bestimmter Ausfallmodus eines Produkts je nach der gewählten Definition als Ausfall klassifiziert werden kann oder nicht.

Beispiel 1:

Bei Ausfall einer redundanten Platte in einem RAID-Array ist das RAID-Array weiterhin jederzeit in der Lage, die gewünschte Funktion, die Bereitstellung kritischer Daten, auszuführen. Aufgrund des Ausfalls kann jedoch eine Komponente des Plattenarrays nicht mehr wie gewünscht Speicherkapazität bereitstellen. Nach Definition 1 liegt also kein Ausfall vor, nach Definition 2 dagegen handelt es sich um einen Ausfall.

Beispiel 2:

Wenn der Wechselrichter einer USV (unterbrechungsfreie Stromversorgung) ausfällt und die USV auf statischen Umgebungsbetrieb umschaltet, kann die USV die gewünschte Funktion, die Versorgung der kritischen Last mit Strom, trotz des Ausfalls ausführen. Durch den Ausfall des Wechselrichters ist jedoch

¹ IEC -50

² IEC -50

eine Komponente der USV nicht mehr in der Lage, die gewünschte Funktion, eine stabile Stromversorgung, auszuführen. Ebenso wie im vorherigen Beispiel handelt es sich hierbei nur um einen Ausfall gemäß der zweiten Definition.

Wenn es nur zwei Definitionen gäbe, wäre die Definition eines Ausfalls sehr einfach. Sobald es jedoch um das Ansehen eines Produkts geht, wird die Sache fast so kompliziert wie MTBF selbst. Tatsächlich gibt es aber nicht nur zwei, sondern unendlich viele Definitionen für Ausfall. Je nach der Art des Produkts arbeiten die Hersteller mit zahlreichen Definitionen für Ausfall. Qualitätsbewusste Hersteller erfassen zur Fertigungskontrolle alle Ausfallarten. Dies bietet u. a. den Vorteil, dass Produktmängel beseitigt werden können. Zur genauen Definition von Ausfall sind daher zusätzliche Fragen zu stellen.

Gilt die falsche Handhabung durch den Kunden als Ausfall? Möglicherweise wurden von den Konstrukteuren menschliche Faktoren übersehen, so dass die Benutzer dazu neigen, das Produkt falsch zu handhaben. Zählt ein durch einen Servicetechniker eines Herstellers verursachter Lastabfall als Ausfall? Erhöht sich möglicherweise aufgrund der Produktkonstruktion selbst die Wahrscheinlichkeit eines Ausfalls 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 Verbrauchsgegenstands, etwa eines Akkus, als Ausfall, wenn der Ausfall vorzeitig eintritt? Gelten Versandschäden als Ausfälle? Dies kann ein Hinweis auf eine schlecht konstruierte Verpackung sein. Damit dürfte deutlich geworden sein, wie wichtig es ist, den Begriff Ausfall zu definieren, bevor man versucht, MTBF-Werte zu interpretieren. Fragen wie die obigen bilden das Fundament, auf dem Entscheidungen bezüglich der Zuverlässigkeit gefällt werden können.

Man sagt, dass sich Ingenieure niemals irren; sie gehen nur von falschen Annahmen aus. Das Gleiche lässt sich über diejenigen sagen, die MTBF-Werte schätzen. Um das Schätzen von MTBF-Werten zu vereinfachen, werden Annahmen benötigt. Es wäre nahezu unmöglich, die erforderlichen Daten zu erfassen, um einen genauen Wert zu berechnen. Alle Annahmen müssen jedoch realistisch sein. Im vorliegenden White paper werden die zur Schätzung von MTBF-Werten verwendeten allgemeinen Annahmen erläutert.

Definition von Zuverlässigkeit, Verfügbarkeit, MTBF und MTTR

Der MTBF wirkt sich sowohl auf die Zuverlässigkeit als auch auf die Verfügbarkeit aus. Bevor Verfahren zur Ermittlung des MTBF erläutert werden können, sind diese beiden Begriffe zu klären. Der Unterschied zwischen Zuverlässigkeit und Verfügbarkeit ist häufig nicht bekannt oder wird falsch verstanden. Hohe Verfügbarkeit und hohe Zuverlässigkeit gehen oft Hand in Hand, sind jedoch nicht austauschbar.

Zuverlässigkeit ist die Fähigkeit eines Systems oder einer Komponente, die gewünschten Funktionen unter festgelegten Bedingungen für einen bestimmten Zeitraum auszuführen [IEEE 90].

Es handelt sich also um die Wahrscheinlichkeit, dass das System oder die Komponente innerhalb der vorgesehenen Einsatzzeit ohne Ausfall seinen Zweck erfüllt. Dies lässt sich am Beispiel eines Flugzeugeinsatzes gut verdeutlichen. Wenn ein Flugzeug abhebt, geht es um ein Ziel: sichere Durchführung des Flugs wie vorgesehen (ohne schwerwiegende Ausfälle).

Verfügbarkeit dagegen ist der Grad, in dem ein System oder eine Komponente einsatzbereit oder zugänglich ist, wenn es bzw. sie verwendet werden soll [IEEE 90].

Als Verfügbarkeit gilt somit die Wahrscheinlichkeit, dass das System oder die Komponente sich in einem Zustand befindet, der es erlaubt, die gewünschte Funktion unter gegebenen Bedingungen in einem bestimmten Zeitraum durchzuführen. Die Verfügbarkeit wird durch die Zuverlässigkeit eines Systems bestimmt sowie durch die Wiederherstellungszeit bei Auftreten eines Ausfalls. Bei Systemen mit langen kontinuierlichen Betriebszeiten (z. B. bei einem zehn Jahre lang eingesetzten Datencenter) sind Ausfälle unvermeidlich. Die Verfügbarkeit steht häufig im Zentrum der Aufmerksamkeit, da es bei einem Ausfall entscheidend darauf ankommt, wie schnell sich das System wiederherstellen lässt. Im Beispiel mit dem Datencenter ist das Vorhandensein eines zuverlässigen Systemdesigns die wichtigste Variable; bei einem Ausfall kommt es allerdings vor allem darauf an, die IT-Geräte und Geschäftsprozesse so schnell wie möglich wiederherzustellen, um die Ausfallzeit zu minimieren.

Die MTBF ist ein Grundmaß für die Zuverlässigkeit eines Systems. Sie wird in der Regel in Stunden angegeben. Je höher die MTBF-Zahl, desto höher ist die Zuverlässigkeit des Produkts. Gleichung 1 verdeutlicht diese Beziehung.

$$\text{Zuverlässigkeit} = e^{-\left(\frac{\text{Zeit}}{\text{MTBF}}\right)}$$

Gleichung 1

Nach einer gängigen falschen Auffassung handelt es sich bei MTBF um die erwartete Anzahl von Betriebsstunden bis zum Ausfall eines Systems oder um die „Nutzungsdauer“. Nicht selten werden jedoch MTBF-Werte im Bereich von einer Million Stunden angegeben, und es wäre unrealistisch zu erwarten, das System könne tatsächlich kontinuierlich über 100 Jahre ohne Ausfall arbeiten. Diese Zahlen sind oft deshalb derart hoch, weil sie auf der Ausfallrate von Produkten beruhen, deren „Nutzungsdauer“ oder „normale Lebensdauer“ noch nicht abgeschlossen ist, und es wird angenommen, dass die Ausfallrate bis ins Unendliche gleich bleibt. Dabei weist das Produkt lediglich in dieser Phase seines Lebens die niedrigste (und konstanteste) Ausfallrate auf. In Wirklichkeit endet die Lebensdauer des Produkts aufgrund von Verschleiß wesentlich eher, als die MTBF-Zahl aussagt. Daher darf keine direkte Korrelation zwischen der Nutzungsdauer eines Produkts und seiner Ausfallrate oder dem MTBF hergestellt werden. Es ist völlig normal, wenn Produkte eine extrem hohe Zuverlässigkeit (MTBF), jedoch eine geringe erwartete Nutzungsdauer aufweisen. Nehmen Sie als Beispiel einen Menschen:

In der Musterpopulation gibt es 500.000 Menschen im Alter von 25 Jahren.
Im Laufe eines Jahres werden für diese Population Daten über Ausfälle (Todesfälle) erhoben.
Das Arbeitsleben der Population beträgt $500.000 \times 1 \text{ Jahr} = 500.000 \text{ Menschenjahre}$.
Im Laufe des Jahres sind 625 Menschen ausgefallen (gestorben).
Die Ausfallrate beträgt $625 \text{ Ausfälle} / 500.000 \text{ Menschenjahre} = 0,125 \% / \text{Jahr}$.
Der MTBF ist die Umkehrung der Ausfallrate oder $1 / 0,00125 = 800 \text{ Jahre}$.
Obwohl Menschen im Alter von 25 Jahren sehr hohe MTBF-Werte aufweisen, ist ihre Lebenserwartung (Nutzungsdauer) wesentlich kürzer und korreliert nicht mit den MTBF-Werten.

In Wirklichkeit ist die Ausfallrate von Menschen nicht konstant. Je älter die Menschen werden, desto mehr Ausfälle treten auf (sie verschleifen). Das einzig richtige Verfahren zur Berechnung eines MTBF, der der Nutzungsdauer entspricht, bestünde darin zu warten, bis die gesamte Population der 25-jährigen Menschen ihr Lebensende erreicht. Anschließend könnte der Durchschnitt dieser Lebensspannen errechnet werden. Diese Zahl dürfte nach allgemeiner Auffassung zwischen 75 und 80 Jahren liegen.

Beträgt der MTBF von 25-jährigen Menschen nun 80 oder 800? Beides! Aber wie kann ein und dieselbe Bevölkerung zwei so unterschiedliche MTBF-Werte aufweisen? Das hängt nur von den Annahmen ab!

Wenn der MTBF von 80 Jahren die Lebensdauer des Produkts (Menschen in diesem Fall) genauer wiedergibt, liegt dem auch die bessere Methode zugrunde? Sie ist natürlich einleuchtender. Es gibt jedoch viele Variablen, die die praktische Anwendbarkeit dieser Methode bei kommerziellen Produkten wie USV-Systemen beschränken. Die größte Beschränkung ist die Zeit. Zur Durchführung dieser Methode müsste die gesamte Population ausfallen, und bei vielen Produkten geschieht dies nach etwa 10 bis 15 Jahren. Selbst wenn es sinnvoll wäre, bis zur Berechnung des MTBF so lange zu warten, wäre es schwierig, die Produkte überhaupt zu erfassen. Wie sollte z. B. ein Hersteller wissen, ob seine Produkte weiterhin eingesetzt werden, wenn sie außer Betrieb genommen wurden und er niemals Informationen darüber erhalten hat?

Selbst wenn all dies möglich wäre, ist jedoch zu beachten, dass sich die Technologie so schnell ändert, dass der Wert zu dem Zeitpunkt, zu dem er verfügbar wäre, wertlos wäre. Wer interessiert sich schon für den MTBF-Wert eines Produkts, das inzwischen in mehreren Generationen technisch aktualisiert wurde?

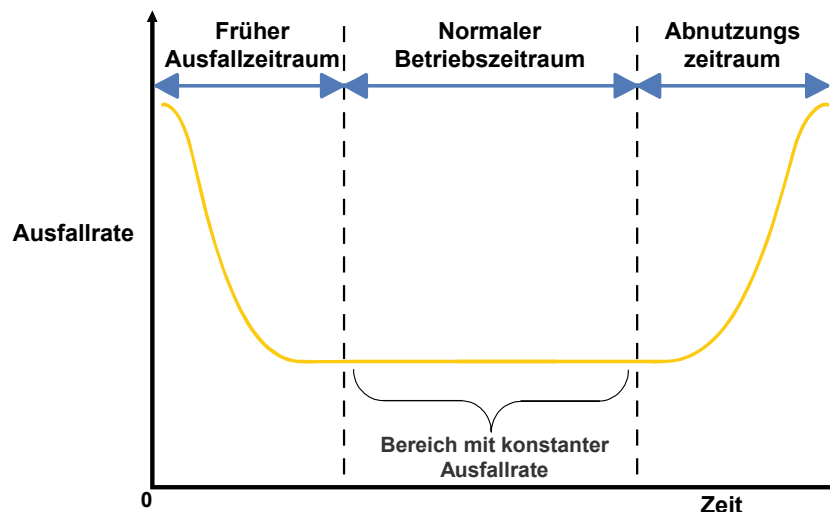
MTTR (Mean Time To Repair (oder Recover), mittlere Reparaturdauer) ist die erwartete Zeit zur Wiederherstellung eines Systems nach einem Ausfall. Dies kann die Zeit für die Problemdiagnose, die Zeit bis zum Einsatz eines Reparaturtechnikers vor Ort und die Zeit einschließen, die nötig ist, um das System physisch zu reparieren. Ebenso wie MTBF wird MTTR in Stunden angegeben. Wie Gleichung 2 zeigt, wirkt sich die MTTR auf die Verfügbarkeit, nicht auf die Zuverlässigkeit aus. Je länger die MTTR, desto schlechter ist ein System. Einfach gesagt, wenn die Wiederherstellung eines Systems nach einem Ausfall länger dauert, ist die Verfügbarkeit des Systems niedriger. Die folgende Formel zeigt, welchen Einfluss MTBF und MTTR auf

die Gesamtverfügbarkeit eines Systems haben. Mit steigendem MTBF steigt auch die Verfügbarkeit. Mit steigender MTTR sinkt die Verfügbarkeit.

$$\text{Verfügbarkeit} = \frac{MTBF}{(MTBF + MTTR)} \quad \text{Gleichung 2}$$

Damit Gleichung 1 und Gleichung 2 gültig sind, ist beim Analysieren des MTBF eines Systems von einer grundlegenden Annahme auszugehen. Im Unterschied zu mechanischen Systemen gibt es in den meisten elektronischen Systemen keine beweglichen Teile. Daher geht man grundsätzlich davon aus, dass die Ausfallrate elektronischer Systeme oder Komponenten während ihrer Nutzungsdauer konstant ist. Abbildung 1, die so genannte „Badewannenkurve“ der Ausfallrate, zeigt den Ursprung dieser zuvor erwähnten Annahme einer konstanten Ausfallrate. Die „normale Betriebsdauer“ oder „Nutzungsdauer“ dieser Kurve ist die Phase, in der ein Produkt tatsächlich eingesetzt wird. Die Produktqualität hat sich in diesem Zeitraum auf eine konstante Ausfallrate eingependelt. Zu den Ausfallquellen können in dieser Phase nicht erkennbare Defekte, geringe Konstruktionssicherheit, höhere zufällige Belastung als erwartet, menschliche Faktoren und natürliche Ausfälle gehören. Die im „Abnutzungszeitraum“ dargestellte Kurve schnellen Verfalls dürfte sich durch von den Herstellern vorgesehene ausgedehnte Verschleissperioden für Komponenten, richtige Wartung und vorausschauenden Austausch abgenutzter Teile vermeiden lassen. Die obigen Erläuterungen bieten einige grundlegende Informationen über die Begriffe Zuverlässigkeit und Verfügbarkeit sowie die Unterschiede zwischen beiden, so dass eine angemessene Interpretation des MTBF möglich ist. Im nächsten Abschnitt werden die verschiedenen MTBF-Vorhersageverfahren erläutert.

Abbildung 1 – Badewannenkurve zur Verdeutlichung einer konstanten Ausfallrate



Verfahren zur Vorhersage und Schätzung des MTBF

Die Begriffe „Vorhersage“ und „Schätzung“ werden häufig synonym verwendet, dies ist jedoch nicht richtig. Verfahren, mit denen der MTBF *vorhergesagt* wird, berechnen einen Wert, der nur auf dem Systemdesign beruht; diese Berechnung wird in der Regel in einer frühen Phase des Produktlebenszyklus durchgeführt. Vorhersagemethoden sind sinnvoll, wenn nur wenige oder keine Felddaten vorliegen, wie dies z. B. beim Space Shuttle oder neuen Produkten der Fall ist. Liegen genügend Felddaten vor, sollten keine Vorhersageverfahren verwendet werden. Stattdessen sollten Verfahren zur *Schätzung* des MTBF verwendet werden, da diese auf tatsächlichen Messungen von Ausfällen beruhen. Mit Verfahren zur *Schätzung* des MTBF wird ein Wert auf der Grundlage eines beobachteten Musters ähnlicher Systeme berechnet, und zwar in der Regel erst, nachdem eine große Population im Feld eingesetzt wurde. Die MTBF-Schätzung ist das am häufigsten verwendete Verfahren zur Berechnung des MTBF, hauptsächlich deshalb, weil es auf realen Produkten beruht, die im Feld tatsächlich eingesetzt werden.

Alle diese Verfahren sind statistischer Natur, d. h., sie ermöglichen nur eine Näherung an den tatsächlichen MTBF. In einer Branche gibt es kein einheitliches standardisiertes Schätzungsverfahren. Der Hersteller muss daher unbedingt das beste Verfahren kennen und für die jeweilige Anwendung auswählen. Nachfolgend werden zwar nicht sämtliche Verfahren vorgestellt, dennoch wird deutlich, wie viele Möglichkeiten zur Ableitung des MTBF es gibt.

Verfahren zur Vorhersage der Zuverlässigkeit

Die ersten Verfahren zur Zuverlässigkeitsvorhersage wurden in den 40er Jahren des vorherigen Jahrhunderts von dem deutschen Wissenschaftler von Braun und einem deutschen Mathematiker namens Eric Pieruschka entwickelt. Bei dem Versuch, die Zuverlässigkeit der Rakete V-1 auf verschiedene Weise zu verbessern, unterstützte Pieruschka von Braun bei der Modellierung der Zuverlässigkeit der Rakete und erstellte dabei das erste dokumentierte moderne Modell für die Vorhersage der Zuverlässigkeit. Anschließend sorgten die NASA sowie die aufkommende Atomindustrie für weitere Fortschritte auf dem Gebiet der Zuverlässigkeitsanalyse. Heute gibt es zahlreiche Verfahren zur MTBF-Vorhersage.

MIL-HDBK 217

Im von der US-Armee im Jahr 1965 veröffentlichten Military Handbook 217 wurde eine Norm zur Schätzung der Zuverlässigkeit elektronischer Militärausrüstung und -systeme aufgestellt. Die Norm hatte zum Ziel, die Zuverlässigkeit der Ausrüstung zu erhöhen. Sie bildet die Grundlage für den Vergleich der Zuverlässigkeit von mindestens zwei vergleichbaren Konstruktionen. Das Military Handbook 217 wird auch als Mil Standard 217 oder einfach 217 bezeichnet. Nach dieser Norm gibt es zwei Wege zur Vorhersage der Zuverlässigkeit: Vorhersage nach Anzahl der Teile und Vorhersage nach Analyse der Teilebelastung.

Mit der Vorhersage nach Anzahl der Teile wird im Allgemeinen bereits in einer frühen Phase der Produktentwicklung die Zuverlässigkeit eines Produkts vorhergesagt, um eine grobe Zuverlässigkeitsschätzung in Bezug auf das Zuverlässigkeitsziel oder die Zuverlässigkeitsspezifikation zu erreichen. Die Ausfallrate wird errechnet, indem gleiche Komponenten eines Produkts (z. B. Kondensatoren) buchstäblich gezählt und in verschiedenen Komponententypen (z. B. beschichtete Kondensatoren) gruppiert werden. Die Anzahl der Komponenten in jeder Gruppe wird anschließend mit einer generischen Ausfallrate und einem in 217 ermittelten Qualitätsfaktor multipliziert. Zum Schluss werden die Ausfallraten der einzelnen Komponentengruppen zur endgültigen Ausfallrate addiert. Per Definition wird bei diesem Verfahren davon ausgegangen, dass alle Komponenten einer Serie entstammen. Zudem müssen Ausfallraten für Nicht-Serien-Komponenten separat errechnet werden.

Die Vorhersage nach Teilebelastung findet normalerweise wesentlich später in der Produktentwicklung statt, wenn sich die Konstruktion der Schaltkreise und Hardware der Fertigungsstufe nähert. Sie ähnelt der Vorhersage nach Anzahl der Teile insofern, als die Ausfallraten addiert werden. Bei der Vorhersage nach Teilebelastung wird die Ausfallrate für jede einzelne Komponente jedoch individuell auf Grundlage der besonderen Belastungen berechnet, denen die Komponente ausgesetzt ist (z. B. Feuchtigkeit, Temperatur, Vibrationen, Spannung). Damit jeder Komponente das richtige Belastungsniveau zugewiesen wird, müssen das Produktdesign und die dafür vorgesehene Umgebung gut dokumentiert und verstanden sein. Das Verfahren der Teilebelastung ergibt in der Regel eine niedrigere Ausfallrate als das Verfahren der Teileanzahl. Aufgrund des erforderlichen Analyseaufwands beansprucht dieses Verfahren wesentlich mehr Zeit als andere Verfahren.

Heute wird 217 kaum noch verwendet. Im Jahr 1996 teilte die US-Armee mit, dass MIL-HDBK-217 nicht mehr verwendet werden sollte, da sich das Verfahren „als unzuverlässig erwiesen hat und zu falschen sowie irreführenden Zuverlässigkeitsvorhersagen führen kann“³. 217 wurde aus verschiedenen Gründen verworfen. Ausschlaggebend war vor allem, dass sich die Zuverlässigkeit von Komponenten im Laufe der Jahre so sehr erhöht hat, dass sie nicht mehr die Hauptursache für Produktausfälle darstellt. Die in 217 genannten Ausfallraten sind konservativer (höher) als die der heute erhältlichen elektronischen Komponenten. Würden die Ausfälle heutiger elektronischer Produkte gründlich untersucht, ließe sich feststellen, dass die meisten Ausfälle durch falsche Handhabung (menschliche Fehler), mangelhafte Fertigungskontrolle oder Produktdesign verursacht werden.

Telcordia

Das Telcordia-Modell für die Zuverlässigkeitsvorhersage wurde in der Telekommunikationsindustrie entwickelt und hat im Laufe der Zeit einige Änderungen erfahren. Es wurde zuerst von Bellcore Communications Research unter dem Namen Bellcore als Instrument zur Schätzung der Zuverlässigkeit von Telekommunikationsausrüstung entwickelt. Zwar beruhte Bellcore auf 217, doch wurden die Zuverlässigkeitsmodelle (Gleichungen) dieses Verfahrens im Jahr 1985 an die im praktischen Einsatz mit der Telekommunikationsausrüs-

³ Cushing, M., Krolewski, J., Stadterman, T. und Hum, B., 1996, „*U.S. Army Reliability Standardization Improvement Policy and Its Impact*“, IEEE Transactions on Components, Packaging, and Manufacturing Technology, Part A, Vol. 19, No. 2, pp. 277-278.

tung des Unternehmens gewonnenen Erfahrungen angepasst. Die jüngste Überarbeitung von Bellcore war TR-332, Ausgabe 6, vom Dezember 1997. Bellcore wurde im Jahr 1997 von SAIC gekauft und in Telcordia umbenannt. Die neueste Version des Telcordia-Vorhersagemodells ist SR-332, Ausgabe 1, vom Mai 2001. Es enthält neben den Berechnungsmethoden von 217 verschiedene weitere Berechnungsmethoden. Heute wird Telcordia in der Telekommunikationsindustrie noch immer als Produktentwicklungstool angewandt.

HRD5

HRD5 ist das Handbook for Reliability Data for Electronic Components (Handbuch Zuverlässigkeitsdaten elektronischer Komponenten), die in Telekommunikationssystemen eingesetzt werden. HRD5 wurde von British Telecom entwickelt und überwiegend in Großbritannien eingesetzt. Das Verfahren hat Ähnlichkeit mit 217, erfasst jedoch nicht so viele Umgebungsvariablen und enthält ein Zuverlässigkeitsvorhersagemodell für ein breiteres Spektrum elektronischer Komponenten, darunter auch Komponenten für die Telekommunikation.

RBD (Reliability Block Diagram)

Das Reliability Block Diagram (Zuverlässigkeitsblockdiagramm) oder RBD ist ein darstellendes Zeichnungs- und Berechnungswerkzeug zur Modellierung der Verfügbarkeit und Zuverlässigkeit von Systemen. Die Struktur eines RBD definiert die logische Interaktion von Ausfällen innerhalb eines Systems und nicht unbedingt deren logischen oder physischen Zusammenhang. Jeder Block kann den Ausfall einer einzelnen Komponente, eines einzelnen Subsystems oder einen anderen repräsentativen Ausfall darstellen. Das Diagramm kann ein ganzes System oder einen Teil oder eine Komponente des betreffenden Systems darstellen, das eine Ausfall-, Zuverlässigkeits- oder Verfügbarkeitsanalyse erfordert. Darüber hinaus dient es als Analysewerkzeug und zeigt, wie die einzelnen Elemente eines Systems funktionieren und wie die einzelnen Elemente sich auf den Betrieb des Gesamtsystems auswirken.

Das Markov-Modell

Markov-Modelle ermöglichen die Analyse komplexer Systeme wie z. B. elektrischer Architekturen. Markov-Modelle werden auch als Zustandsraumdiagramme oder Zustandsdiagramme bezeichnet. Der Zustandsraum ist definiert als Menge aller Zustände, in denen sich ein System befinden kann. Im Unterschied zu Blockdiagrammen lässt sich ein System mithilfe von Zustandsdiagrammen genauer darstellen. Bei der Verwendung von Zustandsdiagrammen werden Abhängigkeiten bei Komponentenausfällen sowie verschiedene Zustände berücksichtigt, die mit Blockdiagrammen nicht dargestellt werden können, beispielsweise der Zustand einer USV im Akkubetrieb. Neben dem MTBF liefern Markov-Modelle weitere Kennziffern eines Systems, z. B. Verfügbarkeit, MTTR, die Wahrscheinlichkeit des Vorhandenseins eines bestimmten Status zu einer bestimmten Zeit usw.

FMEA / FMECA

FMEA (Failure Mode and Effects Analysis = Ausfallmodus- und Wirkungsanalyse) ist ein Verfahren zur Analyse der Ausfallmodi eines Produkts. Anhand dieser Informationen werden die Auswirkungen der einzelnen Ausfälle auf das Produkt ermittelt; dies führt dann zu einem verbesserten Produktdesign. Die Analyse kann noch einen Schritt weiter gehen, indem jedem Ausfallmodus ein Schweregrad zugeordnet wird. In

diesem Fall heißt das Verfahren FMECA (Failure Mode, Effects and Criticality Analysis = Ausfallmodus-, Wirkungs- und Schweregradanalyse). Bei FMECA beginnt die Analyse mit der untersten Ebene und endet mit der obersten Ebene. Bei einer USV z. B. werden zunächst die Komponenten auf der Leiterplattenebene und schließlich das gesamte System analysiert. Diese Analyse wird nicht nur als Entwicklungswerkzeug eingesetzt, sondern auch für die Berechnung der Zuverlässigkeit des Gesamtsystems. Die für die Berechnungen benötigten Wahrscheinlichkeitsdaten sind für einzelne Ausrüstungskomponenten eventuell schwierig zu ermitteln, insbesondere, wenn diese Komponenten mehrere Betriebszustände oder -modi aufweisen.

Fehlerbaum

Die Fehlerbaumanalyse ist ein von Bell Telephone Laboratories entwickeltes Verfahren zur Durchführung von Sicherheitsbewertungen des Minuteman-Startkontrollsystems. Es wurde später auf die Zuverlässigkeitsanalyse angewandt. Mithilfe von Fehlerbäumen lässt sich der Pfad von normalen und fehlerbezogenen Ereignissen feststellen, die zu dem Fehler auf Komponentenebene oder dem unerwünschten Ereignis führen, das untersucht wird (Vorgehensweise von oben nach unten). Die Zuverlässigkeit wird durch Konvertieren eines fertigen Fehlerbaums in eine entsprechende Reihe von Gleichungen berechnet. Dies geschieht unter Verwendung der Ereignisalgebra, die auch als Boolesche Algebra bezeichnet wird. Ebenso wie bei FMEA sind die für die Berechnungen erforderlichen Wahrscheinlichkeitsdaten unter Umständen nicht ohne weiteres zu ermitteln.

HALT

Highly Accelerated Life Testing (HALT, hochbeschleunigter Alterungstest) ist ein Verfahren zur Erhöhung der globalen Zuverlässigkeit eines Produktdesigns. Mit HALT wird festgestellt, in welcher Zeit die tatsächliche Bruchgrenze eines Produkts erreicht wird. Dazu wird das Produkt sorgfältig gemessenen und kontrollierten Belastungen wie Temperatur und Vibration ausgesetzt. Mit einem mathematischen Modell wird die tatsächliche Zeit bis zum Ausfall des Produkts im Einsatz geschätzt. Zwar lässt sich mit HALT der MTBF schätzen, die Hauptfunktion dieses Verfahrens besteht jedoch in der Verbesserung der Zuverlässigkeit des Produktdesigns.

Verfahren zur Schätzung der Zuverlässigkeit

Vorhersageverfahren mithilfe ähnlicher Komponenten

Mit diesem Verfahren lässt sich auf Grundlage historischer Zuverlässigkeitsdaten über einen ähnlichen Gegenstand die Zuverlässigkeit schnell einschätzen. Die Effektivität dieses Verfahrens hängt vor allem davon ab, wie sehr die neuen Geräte den vorhandenen Geräten ähneln, für die Felddaten vorliegen. Herstellungsprozesse, Betriebsumgebungen, Produktfunktionen und -designs sollten miteinander vergleichbar sein. Bei Produkten eines Entwicklungsganges ist dieses Vorhersageverfahren besonders sinnvoll, da die praktischen Erfahrungen der Vergangenheit genutzt werden können. Bei der Vorhersage müssen allerdings die Unterschiede der Neukonstruktionen sorgfältig untersucht und berücksichtigt werden.

Verfahren der Felddatenmessung

Die Felddatenmessung beruht auf den praktischen Erfahrungen mit den Produkten. Dieses Verfahren wird von den Herstellern wahrscheinlich am häufigsten eingesetzt, da es integraler Bestandteil ihrer Qualitätssicherungsprogramme ist. Diese Programme werden häufig als Management der Zuverlässigkeitszunahme (Reliability Growth Management) bezeichnet. Durch die Erfassung der Ausfallrate aktiv eingesetzter Produkte kann ein Hersteller Probleme schnell erkennen und bewältigen und damit Produktmängel ausmerzen. Da dieses Verfahren auf wirklichen Ausfällen im praktischen Einsatz beruht, werden auch Ausfallmodi berücksichtigt, die von Vorhersageverfahren gelegentlich übersehen werden. Bei diesem Verfahren werden Musterpopulationen neuer Produkte erfasst und deren Ausfalldaten gesammelt. Nach der Sammlung der Daten werden die Ausfallrate und der MTBF berechnet. Die Ausfallrate ist der Prozentsatz einer Population von Einheiten, deren „Ausfall“ innerhalb eines Kalenderjahres zu erwarten ist. Diese Daten werden nicht nur für die Fertigungskontrolle verwendet, sondern bieten Kunden und Partnern auch Informationen über die Produktzuverlässigkeit und über Qualitätssicherungsverfahren. Da dieses Verfahren bei vielen Herstellern eingesetzt wird, stellt es eine Grundlage für den Vergleich von MTBF-Werten dar. Mithilfe dieser Vergleiche können die Benutzer Zuverlässigkeitsunterschiede zwischen den Produkten beurteilen, die wiederum Grundlage für Spezifikations- oder Kaufentscheidungen sein können. Wie bei jedem Vergleich kommt es darauf an, dass die kritischen Variablen für alle verglichenen Systeme gleich sind. Ist dies nicht der Fall, werden leicht falsche Entscheidungen getroffen, die finanzielle Schäden nach sich ziehen können. Zum Vergleich verschiedener MTBF Verfahren, lesen Sie bitte weitere Informationen im White paper / technische Dokumentation Nr. 112: „Durchführung effizienter MTBF-Vergleiche für Datacenter-Infrastrukturen.“

Ergebnisse

MTBF ist ein in der IT-Branche häufig verwendetes Schlagwort. Es werden Zahlen genannt, ohne zu wissen, was sie wirklich bedeuten. Zwar ist MTBF ein Zuverlässigkeitsindikator; die erwartete Nutzungsdauer eines Produkts geht daraus jedoch nicht hervor. Ein MTBF-Wert ist bedeutungslos, wenn Ausfall nicht definiert ist und Annahmen unrealistisch sind oder überhaupt fehlen.

Quellen

1. Pecht, M.G., Nash, F.R., „*Predicting the Reliability of Electronic Equipment*“, Proceedings of the IEEE, Vol. 82, No. 7, July 1994
2. Leonard, C., „*MIL-HDBK-217: It's Time To Rethink It*“, Electronic Design, October 24, 1991
3. <http://www.markov-model.com>
4. MIL-HDBK-338B, Electronic Reliability Design Handbook, October 1, 1998
5. IEEE 90 – Institute of Electrical and Electronics Engineers, IEEE Standard Computer Dictionary: A Compilation of IEEE Standard Computer Glossaries. New York, NY: 1990

Über die Autoren:

Wendy Torell ist Verfügbarkeitsingenieurin bei APC in W. Kingston, RI. Sie erläutert Kunden die Vorgehensweise der Verfügbarkeitslehre und Konstruktionsverfahren, um die Verfügbarkeit der Datencenterumgebungen der Kunden zu optimieren. Ihren Bachelor-Abschluss in Maschinenbau hat sie am Union College in Schenectady, NY, gemacht. Frau Torell ist eine ASQ-zertifizierte Zuverlässigkeitsingenieurin.

Victor Avelar ist Verfügbarkeitsingenieur bei APC. Seine Aufgabe ist die Verfügbarkeitsberatung und -analyse 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.