



# Durchblick bei MTBF-Angaben

## Qualifizierung von DC/DC-, Notstartwandlern und Batterieladegeräten

Spannungsversorgungen zu beurteilen und sie zu qualifizieren ist nicht so leicht, wie es erscheint, denn es gilt verlässliche Anhaltspunkte zu finden und sie folgerichtig zu bewerten. Grau Elektronik erläutert warum MTBF-Angaben bestimmten Voraussetzungen unterliegen und was sich dahinter verbirgt. *Autor: Wilhelm Spiesz*

**O**hne eine zuverlässige Spannungsversorgung gibt es keine stabilen Prozesse bei elektrischen und elektronischen Systemen. Dies gilt auch für Schienenfahrzeuge und Trolleybusse, etwa im elektrischen Antrieb, im Überwachungs-, Kommunikations- oder Steuerbereich. Spannungswandler sind für die unterbrechungsfreie Versorgung von Antriebsgeräten, Sensorik und Prozessrechnern verantwortlich. Batterieladegeräte sorgen für eine stabile Bordnetzversorgung. Notstarteinrichtungen ermöglichen den Fahrzeugstart bei Fahrzeugen ohne zusätzliche Notstartbatterien, die sehr pflegeintensiv sind. Je nach Einsatz oder Anwendungsbereich sind folgende Betrachtungen zur Zuverlässigkeit eines Systems bedeutend: Über welchen Zeitraum muss ein System funktionieren, wie hoch ist der Wartungsaufwand dabei und welche Auswirkungen ein eventueller Ausfall haben kann.

Elektronische Bauteile und Platinen, somit auch elektronische Geräte haben eine gewisse Brauchbarkeitsdauer. Wird der Verschleiß (elektrisch, thermisch, mechanisch) zu groß, fallen die Teile aus. Dabei gilt: je höher der Verschleiß desto früher kommt es zum Ausfall. Um eine Vorstellung über die ungefähre Brauchbarkeitsdauer zu bekommen, ziehen Ingenieure bekannte Ausfallhäu-

figkeiten und Bewertungsfaktoren der unterschiedlichen Belastungen aus Datenbanken wie der SN-29500 oder der MIL-217 heran. Dabei betrachtet man Stressfaktoren wie U, I und  $\vartheta$ . Anhand der Werte lassen sich dann, durch Messungen und Berechnungen, beispielsweise Prognosen über die Brauchbarkeitsdauer eines entwickelten Spannungswandlers ableiten. Es stellt sich die Frage, ob der so ermittelte MTBF-Wert (Mean Time Between Failure) dann überhaupt ein alleiniger und zuverlässiger Qualitätsidentifikator ist.

### Auf einen Blick

#### Wenn Zuverlässigkeit zählt

Der MTBF-Wert alleine garantiert nicht die ordentliche Funktion eines Gerätes. Andere Faktoren die zählen, sind ausreichende Dimensionierung, ordentliche Verarbeitung- und Prüfung, hochwertige Bauelemente, realistische Bestimmung der FIT-Werte unter Einsatzbedingungen sowie eine Einteilung der Ausfallteile in Funktionsblöcke.

**i** InfoDIREKT [www.all-electronics.de](http://www.all-electronics.de)

222ei1014



**all-electronics.de**  
ENTWICKLUNG. FERTIGUNG. AUTOMATISIERUNG

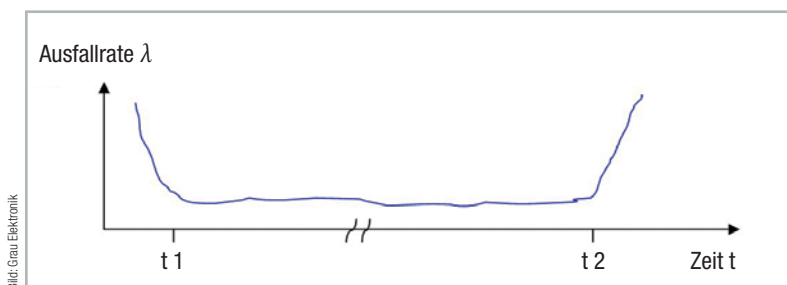


Entdecken Sie weitere interessante  
Artikel und News zum Thema auf  
all-electronics.de!

**Hier klicken & informieren!**







Die Badewannenkurve, auch Badewanneneffekt genannt, beschreibt die Zuverlässigkeit in der Technik.

Im Begriff MTBF steckt das Wort Fehler. Wie ist dieser Fehler eigentlich definiert? Wie äußern sich die Fehler? Handelt es sich um einen Gesamtausfall oder einen Teilausfall einer Komponente des Geräts? Zur Beurteilung eines Wandlers müssen natürlich zuerst einmal Randbedingungen und Anforderungen des geplanten Einsatzes definiert sein. Von daher sind neben den allgemeinen technischen Daten Spannung, Strom, Leistung die elektrischen (inklusive EMV-Störfestigkeit), thermischen, mechanischen und Umwelthanforderungen in einer Spezifikation festzulegen.

Dies geschieht beispielsweise unterstützt von den bekannten Standards EN-50155 und EN-50121-3-2 für Bahnanwendungen. Stehen die Einsatzbedingungen fest, lassen sich Vergleiche über das Datenblatt, besser aber über konkrete Messvergleiche vornehmen: Wirkungsgrad, Leerlauf- und Kurzschlussfestigkeit, Genauigkeit der Spannung, Strom, Drift als Funktion der Umgebungstemperatur, Alterung, Art der Strombegrenzung, Leerlaufstrom, Schaltfrequenz, Ripple und Spikes, Bauteiletemperaturen sowie Angaben zur EMV sind typische Vergleichsgrößen. Es ist allerdings schwierig, wenn dazu keine Ressourcen beziehungsweise Kapazitäten vorhanden sind. Es ist hier von Vorteil, auf vertraute Quellen zurückgreifen zu können.

Um jedoch das immer häufiger geforderte Benchmarking bei der Auftragsvergabe umzusetzen, um leistungsfähige Anbieter zu qualifizieren, muss der Ingenieur letztendlich die Angebote vergleichen. Bei Grau Elektronik setzt man aus diesem Grund auf transparente und nachvollziehbare Prozesse. Nicht Verschleiern sondern Lüften lautet das Credo.

### Mean Time Between Failure

Die MTBF-Angabe bildet Angaben zur Zuverlässigkeit und Verfügbarkeit ab. Beide Begriffe darf man jedoch nicht miteinander verwechseln; manchmal führen die beiden Begriffe auch zur Verwirrung. Ein Beispiel verdeutlicht das: Eine Reinigungskraft bezeichnet man dann richtigerweise als zuverlässig, wenn sie immer zur gleichen Zeit pünktlich etwa zwei Mal pro Woche vorbeikommt und dabei jedes Mal sehr sauber reinigt. Deshalb muss sie aber noch längst nicht kontinuierlich verfügbar sein. Bei langlebigen Produkten und Systemen, beispielsweise Schie-

nenfahrzeugen mit 25 bis 30 Jahren Nutzungsdauer, ist aber sowohl die Zuverlässigkeit als auch Verfügbarkeit der Systeme entscheidend. Bezogen auf Fahrzeuge, bedeutet das: Sobald ein Fahrzeug startet, soll es seine Funktion zuverlässig, das heißt, ohne Einschränkung oder gar Ausfall mindestens bis zum Erreichen des Fahrziels erfüllen. Die Verfügbarkeit bedeutet dabei, dass zu einem bestimmten Zeitpunkt das System zuverlässig funktioniert. Das gilt natürlich dann auch für die integrierten Komponenten. Es gilt:

$$\blacksquare \text{ Zuverlässigkeit (Reliability) } R = e^{-t/MTBF} \quad (1)$$

$$\blacksquare \text{ Verfügbarkeit (Availability) } A = MTBF / (MTBF + MTTR) \quad (2)$$

MTTR (Mean Time To Repair) macht eine Angabe über die Zeitdauer, wie lange es dauert, ein ausgefallenes Gerät oder System wieder in volle Funktion zu setzen. Für einen Spannungswandler ergibt es kaum einen Sinn einen MTTR-Wert zu spezifizieren, da er im Normalfall nicht auf dem Fahrzeug die Reparatur durchläuft, um die Fahrzeugfunktion wieder herzustellen. Mit einer guten Ersatzteil- und Wartungsplanung lassen sich bezogen auf ein Fahrzeug diese Werte verbessern. Aus Gleichung 1 und 2 lässt sich jedoch sofort ableiten: eine hohe Verfügbarkeit gibt es nur für eine hohe MTBF und niedriger MTTR.

### Interpretation der Zahlenangaben des MTBF

Ausgehend davon, dass sich die MTBF-Werte nach dem gleichen Verfahren unter vergleichbaren Bedingungen ermitteln lassen (zum Beispiel nach dem MIL-Std.217, SN29500, UTEC80-810 etwa für Telecom) sind folgende Aussagen möglich: Wenn also beispielsweise der MTBF 250.000 Stunden beträgt, bedeutet es, dass in mittleren zeitlichen Abständen von 250.000 Stunden ein Ausfall vorkommt. Ausgehend von 350 Tagen Einsatz im Jahr mit 18 Stunden Einsatz pro Tag entspricht dieser Wert einer Zeit von 39,7 Jahren. Im ersten Moment dürfte man also annehmen, dass bezogen auf 25 Jahre Nutzungsdauer somit kein Ausfall passiert. Aber das ist eine irrtümliche Annahme, denn wenn man elektronische Systeme hinsichtlich der Zuverlässigkeit betrachtet, wird die berühmte Badewannenkurve herangezogen.

Bis zum Zeitpunkt t1 spricht man von sogenannten Frühausfällen. Ab dem Zeitpunkt t2 von Ausfällen bedingt durch Bauteileermüdung,

IP64-IP67

LED  
Netzteile

Wir stellen aus:  
electronica 2014  
München, 11.-14.11.14  
Halle B2 Stand 337  
SPS IPC Drives  
Nürnberg, 25.-27.11.14  
Halle 4 Stand 282

DIN  
Hutschienennetzteile

10-960 W

PFC  
Schaltnetzteile

75-3000 W

www.emtron.de

BICKER.de  
ELEKTRONIK

DIN-RAIL-NETZTEILE

BED

60 – 960 W

NEU!



DIN-Rail-PowerBoost

- ✓ 1-Phasen und 3-Phasen
- ✓ Mit Schutzlackbeschichtung
- ✓ 3 Jahre Garantie

Bicker Elektronik GmbH  
www.bicker.de

spricht die Bauteile sind verbraucht beziehungsweise abgenutzt. Zwischen diesen beiden Zeitpunkten ereignen sich die sogenannten natürlichen und zufälligen Ausfälle. Es ist klar, dass dieser Wert möglichst klein sein sollte, denn je höher der MTBF-Wert ist, desto niedriger ist die Ausfallrate.

$$\lambda = 1/\text{MTBF} \quad (3)$$

Den Zeitpunkt  $t_1$  versucht man etwa durch ausgiebige Prüfprozesse im eigenen Werk zu halten, sodass der Kunde hiervon später im Gesamtsystem nichts davon zu spüren bekommt. Der Zeitpunkt  $t_2$  hängt im Wesentlichen vom Design, der Schaltungsdimensionierung, der Bauteilequalität und der Qualität bei der Verarbeitung ab. In der Bahntechnik kann es je nach Anforderung zirka 20 - 30 Jahre betragen. Innerhalb des Zeitraums  $t_1$  bis  $t_2$  ergibt sich also eine bestimmte, nicht vermeidbare, Anzahl an Ausfällen. Da man bei diesen Überlegungen mit Wahrscheinlichkeiten und nicht mit Gewissheiten umgeht, spielt auch die Wahrscheinlichkeitsrechnung eine gewisse Rolle. Per Definition gilt folgendes:

$$R + F = 1 \quad (4)$$

Das heißt, dass ein System oder ein Spannungswandler entweder funktioniert oder eben nicht. Das muss bei einem Spannungswandler jedoch nicht stimmen, beispielsweise wenn die Strombegrenzung ausfällt oder die LED-Anzeige nicht mehr leuchtet. In beiden Fällen wird mit hoher Wahrscheinlichkeit das Gesamtsystem zunächst weiter ordnungsgemäß operieren. Deshalb ist es erforderlich, bei der MTBF-Angabe auch eine Aussage zur Fehlerdefinition zu liefern. Ansonsten ist sie wenig hilfreich.

## Ausfall und Wahrscheinlichkeit

Welche Fehler also zu einer Systembeeinträchtigung führen, lässt sich oft nur im Dialog mit Hersteller und Anwender eindeutig bestimmen; FMEA Analysen und Angaben unterstützen dabei. Für Batterieladegeräte, Spannungswandler oder Notstartwandler bedeutet ein Ausfall im Regelungsteil, im PWM-Steuerkreis, Treiberstufe, Leistungsstufe, Kurzschluss interner Versorgungskreise den Totalausfall der zu versorgenden Systeme. Fällt in den Schaltungsteilen ein Bauteil aus oder gibt es Funktionsabweichungen, erhält der Verbraucher nicht mehr die benötigte stabile Ausgangsspannung – somit dürfte auch das System ausfallen. Bei einem MTBF-Wert von 250.000 Stunden  $T_U = +40^\circ\text{C}$ ,  $U_E = U_{E,\text{nenn}}$  und  $I_A = I_{A,\text{nenn}}$  stellt sich die Frage nach den Referenzbedingungen. Bei statistischen Betrachtungen sind immer größere Mengen oder Stückzahlen zu betrachten, sonst lassen sich keine sinnvollen Vergleiche anstellen. Ein Beispiel: Die Wahrscheinlichkeit beim Würfeln eine Sechs zu erhalten, beträgt eins zu sechs. Wenn man lange genug würfelt (etwa  $n = 1000$ ) wird sich auch ein Wert zwischen 160 und 174 einstellen ( $1000/6 \approx 167$ ). Ähnlich verhält es sich mit Ausfallwahrscheinlichkeiten bei elektronischen Geräten: Die Wahrscheinlichkeit, dass ein Gerät nach 25 Jahren noch funktioniert, beträgt für einen spezifizierten MTBF-Wert 250.000 Stunden:

■  $R = e^{-25 \cdot 350 \cdot 18 / 250.000} \approx 53 \text{ Prozent}$

Diese Berechnung gilt unter der Voraussetzung, dass Umgebungsbedingungen wie anfangs festgelegt ( $T_U = +40^\circ\text{C}$ ,  $U_E = U_{E,\text{nenn}}$ ,  $I_A = I_{A,\text{nenn}}$ ) über diesen Zeitraum hinweg gegeben sind. Befinden sich von einem Gerät 1000 Einheiten im Feld, dürften also 470 Einheiten in 25 Jahren rein statistisch betrachtet ausfallen. Bezogen auf eine Ausfahrt einer Lokomotive mit einem Batterieladegerät mit Fahrt zwischen Berlin-Moskau-Berlin (das entspricht zirka 3600 km mit  $\tilde{v} = 100 \text{ km/h}$ ) bestünde dann eine Ausfallwahrscheinlichkeit des Ladegerätes von:

$$v = s/t \rightarrow t = 36 \text{ Stunden} \quad (5)$$

$$F = 1 - R = 1 - 0,53 = 0,47 \text{ bezogen auf 25 Jahre}$$

$$0,47/25 = 0,0188 \text{ bezogen auf ein Jahr}$$

$$(0,0188 / 350) = 5,37 \cdot 10^{-5} \text{ bezogen auf einen Tag}$$

$$F(36 \text{ Stunden}) = 1,5 \cdot 5,37 \cdot 10^{-5} = 8 \cdot 10^{-5} \text{ bezogen auf 36 Stunden}$$

Bei einer Flotte von 1000 Lokomotiven läge das Ausfallrisiko bei acht Prozent pro Fahrt. Das heißt, für jede Ausfahrt innerhalb der Brauchbarkeitsdauer ist mit achtprozentiger Wahrscheinlichkeit mit einem Geräteausfall zu rechnen.

Der Ausfall kann zu jedem Zeitpunkt innerhalb der Brauchbarkeitszeit erfolgen (Badewannenkurve). Um die Verfügbarkeit zu erhöhen oder die Ausfallwahrscheinlichkeit zu reduzieren, wäre ein redundanter Aufbau hilfreich. Die Beispiele zeigen, dass solche Werten mit Vorsicht zu genießen sind. Anders sieht es bei der Felderfahrung aus: Hohe Zuverlässigkeit bei der Versorgung lässt sich nur mit dem sorgfältigen Abgleich aus zur Verfügung stehenden Herstellerangaben und tatsächlichen Felderfahrungen ableiten, um Verbesserungen umzusetzen. Bei der Konzeption und Umsetzung einer zuverlässigen und verfügbaren Stromversorgungslösung zählt die Erfahrung. Der MTBF-Wert alleine gibt keine Garantie über die ordentliche Funktion eines Gerätes. Es gibt weitere Faktoren. Es kann zu Systemstörungen führen, wenn ein Wandler keine definierte Strombegrenzungsfunktion besitzt oder regelungstechnisch unsauber agiert (Regelschwingungen bei wechselnden Last- und Eingangsspannungen).

Generell lässt sich sagen, dass MTBF-Werte nur unter bestimmten Voraussetzungen ihre Berechtigung haben. Das sind: saubere und ausreichende Dimensionierung (statisch und dynamisch), ordentlicher Verarbeitungs- und Prüfprozess, qualitativ einwandfreie Bauelemente und Materialien, realistische Bestimmung der FIT-Werte (Failure In Time) unter realistischen Einsatzbedingungen und Einteilen der Ausfallteile in Funktionsblöcke. Vorsicht geboten ist bei FIT- oder MTBF-Angaben bei Wandlern, die in großen Stückzahlen auf den Markt kommen. Oft stehen diese länger im Lager und fließen als Null-Ausfallrate in die Herstellerangaben ein. (rao)

Der Autor: Wilhelm Spiesz ist technischer Leiter und Geschäftsführer der Grau Elektronik GmbH.

**2014**  
**PRODUKTÜBERSICHT**



**Programmierbare**  
**NETZGERÄTE**  
**Lasten, Test- & Prüfgeräte**



**DC-Stromversorgungen**  
0-1200V, 0-3.000A, bis 100kW



• **Power Meter**  
• **HIPOT & SAFETY Tester**  
• **Video Pattern Generator & Color Analyzer**



**Elektronische Lasten**  
60W bis 100kW



**Automatische Testsysteme**  
für Stromversorgungen,  
Battery-Cells & Packs



**AC-Quellen 1- und 3-phasig**  
0-300VAC/ph bis 90kVA



Unsere 10-seitige Produktübersicht finden Sie hier:  
[www.pce-powercontrol.de](http://www.pce-powercontrol.de)  
**Tel: (+49)08374-23260-0**

**NEWS**

21.-23. Okt. 2014 eCarTec München, gemeinsam mit Chroma ATE  
11.-14. Nov. 2014 electronica München, gemeinsam mit Chroma ATE,  
Halle A1 Stand 632