

Zuverlässigkeit: Spezifikation von MTBF und Lebensdauer bei PULS-Stromversorgungen

Autor: Bernhard Erdl, Gründer, Geschäftsführer und Chef-Entwickler PULS GmbH

In der Praxis werden die Begriffe „MTBF“ und „Lebensdauer“ oft verwechselt oder gleichgesetzt. Es sind jedoch unterschiedliche Vorgänge damit gemeint und man braucht beide Werte, um Zuverlässigkeit zu beschreiben. Gemeinsam ist beiden, dass höhere Temperaturen die Werte deutlich verschlechtern.



MTBF

Die MTBF (Mean Time Between Failure) gibt an, wie häufig ein Gerät im statistischen Durchschnitt ausfällt. Auch wenn jeder bestrebt ist, die Anzahl der Ausfälle so gering wie möglich zu halten, so ist es doch unvermeidbar, dass ein technisches Produkt mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit ausfällt.

Die Häufigkeit der Ausfälle wird mit der Ausfallrate λ (Lambda) bezeichnet. Die MTBF ist der Kehrwert von λ . λ gibt die Anzahl der Ausfälle pro Gerätestunde an. In der Praxis ist die Angabe in MTBF gebräuchlicher, vermutlich weil die Ausfallrate λ in 1/Stunde angegeben wird, und eine

sehr kleine Zahl ist (wie auch die „failure in time“ Angabe; 1 fit = 10^{-9} Ausfälle pro Stunde), wohingegen die MTBF die Einheit Stunden hat.

Die Ausfallrate drückt aus, wie viele Ausfälle zu erwarten sind, wenn man eine bestimmte Anzahl von Geräten eine bestimmte Zeit betreibt. Das ist die in der Praxis interessierende Angabe.

Ein Beispiel: Wir nehmen 1.000 Geräte und betreiben sie 2.000 Stunden lang. Das ergibt 2 Millionen Gerätестunden. Wenn wir 4 Ausfälle in dieser Zeit beobachten, dann ist die Ausfallrate 4 Ausfälle / 2Mio Gerätестunden = 2×10^{-6} pro Stunde oder 2 ppm pro Stunde.

Die MTBF als Kehrwert von 2×10^{-6} pro Stunde ergibt 500.000h, was anschaulicher ist.

Man kann es auch so sehen: Wenn man 1.000 Geräte 2.000 Stunden betreibt, entsprechend 2Mio Gerätестunden, und die MTBF liegt bei 500.000h, haben wir vier Ausfälle zu erwarten ($2\text{Mio} / 500k = 4$). Ein einfaches Denkmodell kann auch sein, dass man 500.000 Geräte gleichzeitig betreibt, von denen jedes eine MTBF von 500.000h hat: dann wird jede Stunde ein Gerät ausfallen.

Wichtig ist zu verstehen, dass es sich bei der Ausfallrate/MTBF um statistisch bedingte Ausfälle handelt, die bereits ab der ersten Betriebsstunde gelten. Frühausfälle werden nicht berücksichtigt, da der Hersteller ausschließen sollte, dass diese zum

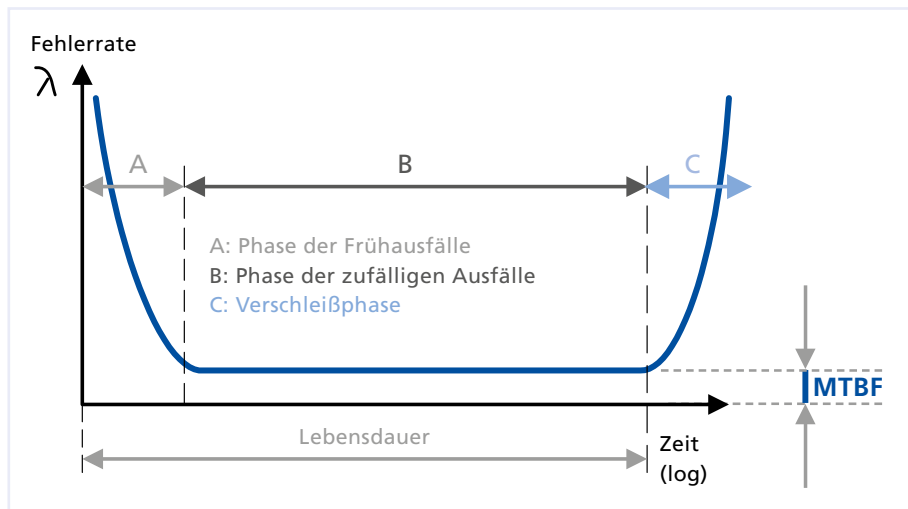


Bild 1: Badewannenkurve Fehlerhäufigkeit über die Lebensdauer eines Gerätes

Kunden kommen. Auch Verschleißeffekte spielen hier keine Rolle, da man von der Phase ausgeht, in der noch keine alterungsbedingten Ausfälle auftreten. Höhere Temperaturen beschleunigen die Vorgänge, niedrige Temperaturen sind ganz wesentlich für eine niedrige Ausfallrate bzw. hohe MTBF.

Lebensdauer

Bei der Lebensdauer geht es nicht um statistische Ausfälle während der normalen Betriebszeit sondern darum, nach welcher Zeit die Bauteile durch Verschleiß nicht mehr brauchbar sind. Damit wird angegeben, nach wie vielen Jahren eine Stromversorgung nicht mehr ihren Dienst verrichten kann. Die relevanten Bauteile für die Lebensdauer in einer Stromversorgung sind die Elkos. Sie enthalten flüssigen Elektrolyt, der im Laufe der Zeit durch die Abdich-

Vergleich der Zuverlässigkeitswerte für das CPS20 mit 24V/20A unter verschiedenen Bedingungen

Lebensdauer:

10A	25°C	230V	475.000h *)
20A	25°C	230V	249.000h *)
20A	25°C	120V	198.000h *)
10A	40°C	230V	168.000h *)
20A	40°C	230V	88.000h
20A	40°C	120V	70.000h

*) Werte über 130.000h, das sind 15 Jahre, sind nur noch rechnerisch und werden von den Herstellern nicht mehr garantiert.

MTBF:

20A	25°C	230V	SN 29500	MIL HDBK 217F
			882.000h	395.000h

Bild 2: Zuverlässigkeitswerte für das CPS20

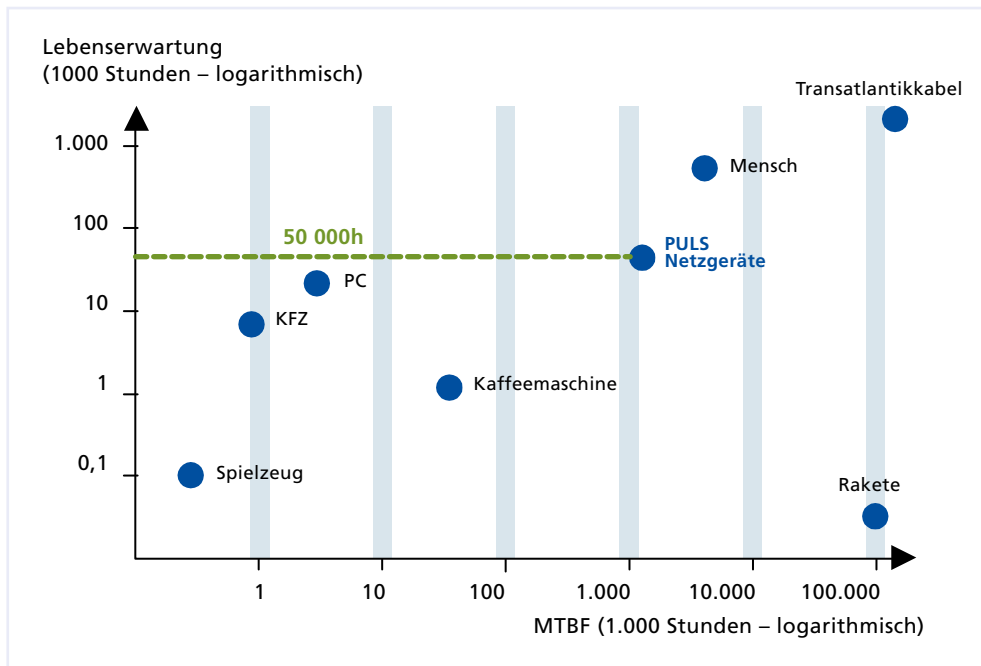


Bild 3:
Unterschied Lebensdauer vs.
MTBF am Beispiel einiger Geräte

tion des Bauteils hindurch diffundiert. Das Lebensdauerende wird vom Hersteller des jeweils verwendeten Elkotyps dadurch definiert, wann sich Parameter wie Kapazität und Innenwiderstand um einen gewissen Betrag vom Anfangswert verschlechtert haben. Die Lebensdauer ist also zum einen abhängig vom Typ des Elkos und zum anderen von seiner Betriebstemperatur. Jede Erhöhung um 10°C verkürzt die Lebensdauer um den Faktor 2 (Bild 4).

Eine anschauliche Gegenüberstellung von der statistischen Ausfallgröße MTBF und dem Ablauf der Lebenszeit bei verschiedenen Anwendungen zeigt Bild 3. Für eine Rakete genügt eine ganz kurze Lebensdauer von 5 bis 10 Minuten, denn dann hat sie ihren Dienst getan und stürzt ab. Bei der Vielzahl der Bauteile, aus denen sie besteht und angesichts der Schäden, die durch ein Nichtfunktionieren entstehen, soll die Ausfallrate während dieser 10 Minuten aber ganz niedrig, das heißt die MTBF ganz hoch sein. Ein Gegenbeispiel ist ein Verstärker in einem Tiefseekabel. Er muss 40 Jahre leben, denn man kann ihn nicht einfach austauschen; anderer-

seits ist er nicht sehr komplex, so dass eine schlechtere MTBF im Gegenzug für die lange Lebensdauer eher akzeptiert werden kann.

Für hochwertige Industriestromversorgungen sind sowohl MTBF als auch Lebensdauer wichtig. Während der normalen Nutzungsdauer sollen so wenige Ausfälle wie möglich den Betrieb stören und die Nutzbarkeit der Maschine soll über viele Jahre hinweg ohne Tausch von Komponenten erreicht werden.

PULS ist seit Einführung der DIMENSION-Produktlinie Pionier in der Spezifikation der Werte von MTBF und Lebensdauer in ihren Datenblättern. Dabei wird großer Wert darauf gelegt, dass auch die Definitionen klar angegeben werden. Gerade bei der MTBF gibt es viele Wege, sie zu berechnen und je nach Methode der Berechnung und der Definition der Betriebsbedingungen gibt es sehr unterschiedliche Ergebnisse. Die einfachste Methode ist der „Parts Count“. Hier wird nur die Anzahl der Bauteile gezählt und mit einer mittleren Ausfallrate multipliziert, um

auf die Ausfallrate des Gesamtgerätes zu kommen. Genauer, aufwändiger und bei den Entwicklern unbeliebt ist es, für jedes einzelne Bauteil – und eine Stromversorgung kann hunderte davon haben – den elektrischen Stress durch Rechnung und den thermischen Stress durch Messung zu bestimmen. Mit den ermittelten Werten wird über ein spezielles Programm dann die Ausfallrate für das Bauteil unter diesen Stressbedingungen berechnet. Die Summe der Einzelausfallraten der Bauteile ergibt die Gesamtausfallrate/MTBF des Gerätes.

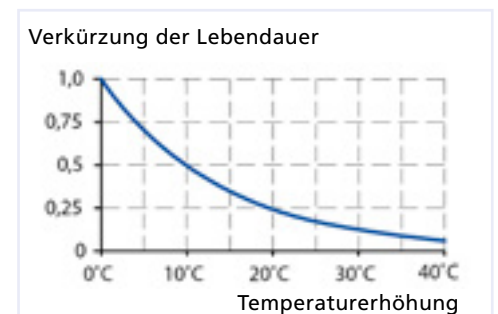


Bild 4:
Je 10°C Temperaturerhöhung halbiert sich die Lebensdauer

Für die Ausfallrate der Bauteile gibt es verschiedene Normen. International weit verbreitet ist das MIL Handbook 217F, das aber nach der Erfahrung von PULS zu konservative Werte für die Ausfallraten annimmt. Realistischer sind die Werte der Siemensnorm SN 29500, die auf einem breiten, industriellen Erfahrungsschatz basieren. Die Berechnungsmethode ist in der IEC 61709 definiert. Bei der Beurteilung eines MTBF-Wertes ist es also immer wichtig, sowohl die zugrunde gelegte Datenbasis als auch die Betriebsbedingungen (Stressfaktoren) des Gerätes zu kennen. MTBF-Zahlen ohne diese Angaben sind wertlos.

Da die Temperatur einen großen Einfluss hat, ist hier eine genaue Definition wichtig. Dabei geht es um die Temperatur der einzelnen Bauteile und diese hängt von der Umgebungstemperatur sowie der Eigenerwärmung ab. Die Eigenerwärmung entsteht aus den Verlusten in der Stromversorgung und verändert sich mit der Last und der Eingangsspannung. Gerade die Umgebungstemperatur hat einen großen Einfluss und PULS gibt deshalb die MTBF

$$MTBF = \frac{1}{\lambda}$$

$$\lambda = \frac{\text{Anzahl der Fehler}}{\text{Anzahl der Stromversorgungen} \times \text{Betriebsstunden}}$$

λ (lambda) = Fehlerrate (fit) 1fit = 10⁻⁹ Fehler/Stunde

Bild 5: Definition der MTBF

zum einen bei +25°C an, um einen Vergleich mit anderen Herstellern zu ermöglichen, zum anderen bei +40°C, da dies eine realistischere Betriebsbedingung ist, wobei immer Volllast angenommen wird. Selbst bei einheitlicher Volllast geht die Bandbreite von 254.000h (MIL, 100Vac, +40°C) bis 882.000h (SN 29500, 230Vac, +25°C), also ein Unterschied um den Faktor 3,5.

Für die Berechnung der Lebensdauer werden die Daten genommen, die die Hersteller der Elkos spezifizieren. Das sind Mindestwerte, da die Hersteller garantieren, dass bei der spezifizierten Belastung die Kapazität um nicht mehr als 20% vom Ausgangswert abgenommen hat und der Innenwiderstand noch unterhalb des zweifachen spezifizierten Wertes liegt. PULS bestimmt den Temperaturstress aller Elkos bei verschiedenen Betriebsbedingungen und errechnet dann auf Basis der Herstellerangaben die Lebensdauer. In der Praxis ist hier Reserve drin, da eine Stromversorgung mit diesen Verschlechterungen auch noch funktionieren kann, aber es gibt keine anderen verlässlichen Angaben und der Anwender hat eine gute Vergleichsbasis.

Da PULS der Zuverlässigkeit seiner Produkte einen sehr hohen Stellenwert beimisst, werden die Daten für MTBF und Lebensdauer ungewöhnlich ausführlich in den Datenblättern für jedes Produkt und für viele Betriebsbedingungen genau spezifiziert. Darüber hinaus gibt es eine Hausvorschrift bei PULS, die definiert, dass sich für jedes Produkt der DIMENSION-Familie nach der oben beschriebenen Methode eine Mindestlebensdauer von 50.000h bei Volllast, Netzennennspannung 120V/230V und einer Umgebungstemperatur von +40°C errechnen muss. Das bedingt manche zusätzliche Schleife in der Entwicklung, aber der Anwender hat den Vorteil, dass er jedes Produkt aus der Familie nehmen und sich auf spezifizierte und einheitliche Mindestwerte verlassen kann. Gerade bei den Werten für die Zuverlässigkeit werden im Vergleich zu anderen Stromversorgungen immer wieder große Unterschiede sichtbar.

