

MTBF Ermittlung für elektronische Systeme. – Ein Abriss.

Armin Gottschalk, Dr. Viktor Tiederle

RELNETyX AG, Dettingen/Teck

Mobil + 49 (0) 178-7859-327
Festnetz + 49 (0) 7021-93168-70
Fax + 49 (0) 7021-93168-74
armin.gottschalk@relnetyx.com

Inhalt

1. Einführung
2. Die MTBF-Größe
3. Vorgehen bei einer MTBF-Ermittlung
4. MTBF und MTTF
5. Herkunft der Daten
6. Aufbereitung von Daten (Beispiel)
7. Einfaches Beispiel zur MTTF-Ermittlung
8. Literaturhinweise

1. Zielsetzung

Die wachsende Komplexität von Geräten und Anlagen, die damit verbundenen hohen Stillstands- und Instandhaltungskosten sowie ein gestiegenes Sicherheitsbewusstsein haben in den letzten Jahren die Aspekte der Zuverlässigkeit und Verfügbarkeit in den Vordergrund gerückt. Neben guter Übereinstimmung zwischen Ausführungsvorschriften und Ausführung zur Erlangung eines hohen Qualitätsniveaus wird heutzutage von modernen Geräten und Systemen erwartet, dass diese von der ersten Betriebsstunde an eine größtmögliche Fehler- und Ausfallfreiheit aufweisen. Diesbezüglich sind nicht nur die technischen Kennwerte eines Gerätes, sondern auch, unter gegebenen Randbedingungen, die Erfüllung der Funktion über den definierten Zeitraum entscheidend.

MTBF-Analysen werden eingesetzt, um Aussagen über bestimmte Zuverlässigkeitskenngrößen zu erlangen und um statistisch erhärtete Prognosen über die, im Einsatz zu erwartenden, zukünftigen Verhaltenseigenschaften der Betrachtungseinheit zu bekommen. Anwender erwarten eine Aussage, wie lange das Gerät unter gegebenen Randbedingungen seine Funktion erfüllt.

Von Interesse sind die zu erwartenden Ausfallraten im Feld. Durch Ermittlung der MBTF/MTTF auf Basis der verbauten Komponenten können Prognosen erstellt werden, die eine Abschätzung zulassen um dann wiederum Potentiale zur Verbesserung aufzuzeigen.

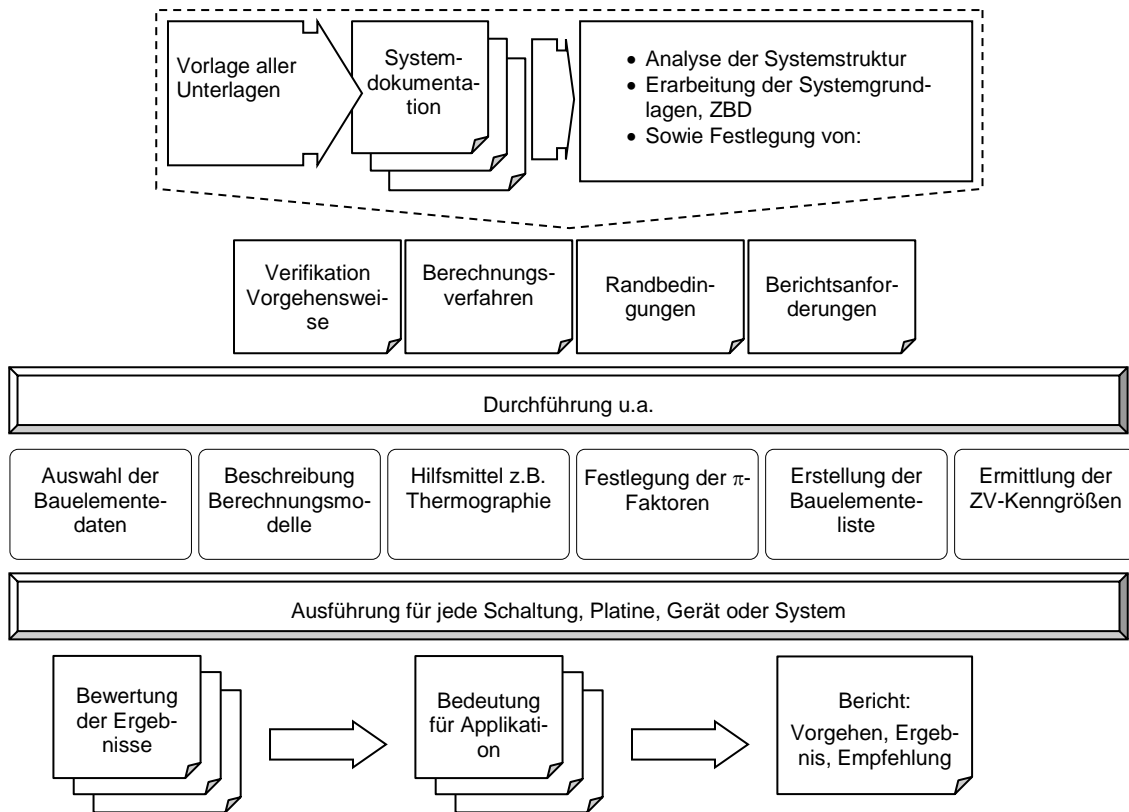
Die geforderte Verfügbarkeit elektronischer Geräte und Systeme ist bereits bei der Pflichtenhefterstellung, spätestens aber bei der Entwicklung festzulegen. Verfügbarkeitsrechnungen bzw. die Ermittlung von MTBF-Werten respektive MTTF-Werten sind mit zugehörigen Bauelementedaten durchzuführen.

2. Die MTBF-Größe...

- ...ist ein statistischer Mittelwert der durchschnittlichen ausfallfreien Zeit während des Betriebes eines (elektronischen) Systems.
- ...ist somit die durchschnittliche Zeit zwischen zwei Zufallsausfällen während normaler Gebrauchsdauer.
- ...ist eine Ermittlung basierend auf einer Anzahl von Festlegungen die im Vorfeld getroffen werden müssen.
- ...gilt nur für die vorher festgelegten Umgebungs-, Funktions- und Betriebsbedingungen. Andernfalls ist der MTBF-Wert neu zu ermitteln.
- ...gilt nur für diese Prämissen. Wird ein Gerät außerhalb seiner Spezifikation betrieben, so gelten die vorher ermittelten MTBF-Werte nicht mehr.
- ...setzt immer eine konstante Ausfallrate voraus, d.h. mittlerer Bereich der Lebensdauerkurve.
- ...erfordert, dass die Ausfallkriterien sowie deren Relevanz für das zu analysierende System anzugeben und zu betrachten sind.
- ...trifft keine Aussage über das Frühausfall- oder Spätausfallverhalten.
- ...gleicher Systeme weist mit größeren Werten auf zuverlässigere Systeme hin d.h. die entsprechende Einheit fällt seltener aus.
- ...ist nicht die Lebensdauer.

3. Vorgehen bei einer MTBF-Ermittlung

Im nachfolgenden Bild dargestellt ist eine strukturierte, prinzipielle Vorgehensweise im Überblick an der sich zu orientieren ist. Unter bestimmten Rahmenbedingungen kann sie auch angepasst werden.



4. MTBF und MTTF

Es sei hier noch auf die Bedeutung der unterschiedlichen Begriffe hingewiesen. Die Zuverlässigkeitsanalyse ist ein Themenfeld welches bereits viele Jahrzehnte etabliert ist. So wurde folgende Festlegung getroffen:

- MTBF: Mean Time Between Failures für reparierbare Systeme
- MTTF: Mean Time To Failure für nicht reparierbare Systeme

Die Einheit der MTBF bzw. MTTF ist Stunden. In beiden Fällen ist der Reziprokwert die Ausfallrate λ .

Tabelle Zuordnung von Systemebenen zu MTBF / MTTF

Ebene	Kennwert	Erläuterung
Anlage	MTBF	es kann repariert werden
System	MTBF	es kann repariert werden
Gerät	MTTF/MTBF	optional bezüglich der Reparatur
Modul	MTTF/MTBF	optional bezüglich der Reparatur
Baugruppe	MTTF	keine Reparatur
Bauelement	MTTF	keine Reparatur

In der praktizierten Anwendung werden viele elektronische Geräte nicht mehr repariert. Dies liegt u.a. in den Herstellungs- und Reparaturkosten begründet. Ein weiterer Aspekt sind die auf hohem technologischem

Niveau laufenden und ausgereiften Fertigungsprozesse zur Erhaltung des gefertigten Qualitätslevels. Auftretende defekte Geräte werden nach Analyse ordentlich entsorgt oder dem Recycling zugeführt. Ferner muss davon ausgegangen werden, dass reparierte Geräte eine höhere Ausfallrate aufweisen. Demzufolge wird für nicht reparierbare Geräte bzw. Systeme der Ausdruck MTTF verwendet.

5. Herkunft der Daten

Zur Ermittlung der MTBF / MTTF sind Angaben von Ausfallraten λ für jedes einzelne Bauelement oder auch Lötstelle, Durchkontaktierung, Kontakte, PCB etc. erforderlich und zwar für alle mechanischen, elektromechanischen, elektronischen Bauelemente oder auch für die Software.

In Praxi beschränkt man sich in erster Linie jedoch auf elektromechanische und elektronische Bauelemente. Die Einbeziehung der Mechanik und Software ist zu einem späteren Zeitpunkt im Projekt neu zu bewerten.

Datenquellen können sein:

- Eigene Felderfahrung
- Felderfahrung des Wettbewerbers
- Eigene Labortest
- Daten der Hersteller von Bauelementen
- Käuflich erwerbbar Datenbanken

Zur Ermittlung der Zuverlässigkeitskenngrößen sind daher verschiedene Kenntnisse über Einflussgrößen auf die Ausfallraten der Bauelemente notwendig, wie z.B.

- Stressbedingungen wie Eigenerwärmung etc.
- Umgebungstemperatur der Bauelemente
- Klimabelastung durch Feuchtigkeit, korrosive Gase und Staub
- Erschütterungen, Beschleunigungen, z.B. durch Transport
- Individuelle Stressbedingungen, wie z.B. Spannungsbelastung, Verlustleistung oder Schalthäufigkeit

Es ist zu beachten, dass gleiche Einflüsse bei verschiedenen Bauelementen durchaus zu verschiedenen Belastungen und Mechanismen führen können.

Je nach Branche sind unterschiedliche Methoden anzuwenden. So wird vorzugsweise z.B. in der Militärtechnik, im Schiffsbau oder in der Luftfahrt das Handbuch MIL-HDBK 217 zugrunde gelegt mit dem die Ausfallraten zu ermitteln sind. Die letzte Ausgabe Revision F von 1991 wurde seit diesem Zeitpunkt nicht mehr gepflegt. Moderne Technologien sind hier nicht wirklich berücksichtigt.

Aus der Erfahrung heraus erscheint die Anwendung der Methodik der SN 29500 für nicht MIL-Bereiche realitätsnäher. Vorteil der SN 29500 ist, dass sie Ausfallraten von Bauelementen enthält und in Abständen gepflegt wird.

Als Norm eingeführt besteht die IEC 61709 mit Stand 1999-01, die übergangsweise noch bis zum 29.07.2014 gültig ist. Abgelöst wird diese durch die Ausgabe 2012-01 mit der Berichtigung 1, Ausgabe 2012-07.

Ein weiteres Berechnungsverfahren ist in der IEC TR 62380 beschrieben. Es ist ein Technical Report (TR) und damit keine Norm. Mit den darin vorgestellten Algorithmen lassen sich Ausfallraten ermitteln.

In allen Fällen ist es allerdings erforderlich, für das jeweils zu bearbeitende Projekt die ermittelten Ausfallraten für den aktuellen Stand der Technologie zu verifizieren.

Quellen von Standards, Handbüchern sowie weiteren Informationen z.B.

SN 29500	Berechnung von Ausfallraten elektronischer Geräte
IEC 61709	Electronic Components – Reliability Reference Conditions for Failure Rates and Stress Models for Conversion
IEC TR 62380	Reliability Data Handbook – Universal model for reliability prediction of electronic components, PCBs and equipment
MIL-HDBK 217	Reliability Prediction of Electronic Equipment
217 Plus	RIAC, Reliability Information Analysis Center
Bellcore/Telcordia	Reliability Prediction for Tele communication
IRPH 2003	Italtel Reliability Prediction Handbook
RDF 2003	Reliability Prediction CNET
PRISM	Reliability Analysis Center
EPRD	Electronic Parts Reliability Data
NPRD-95	Non Electronic Parts Reliability Data
NSWC-94/L07	Handbook of Reliability Prediction Procedures for Mechanical Equipment

Werden Basis-Lambdawerte unter Referenzbedingungen zur Verfügung gestellt, sind diese mit den entsprechenden π -Faktoren, den Belastungsfaktoren zu gewichten. Beispiel IEC 61709.

$$\lambda_B = \lambda_{ref} * \pi_U * \pi_I * \pi_T * \pi_S * \pi_E * \pi_Q * \pi_C * \pi_R$$

mit:

- λ_B Betriebsausfallrate
 - λ_{ref} Ausfallrate bei Referenzbedingungen
 - π_U Faktor für Spannungsabhängigkeit
 - π_I Faktor für Stromabhängigkeit
 - π_T Faktor für Temperaturabhängigkeit
 - π_S Faktor für Schaltspielabhängigkeit (Relais)
 - π_E Faktor für Umgebungsabhängigkeit
 - π_Q Faktor für Qualitätsabhängigkeit
 - π_C Faktor für Komplexität (Stecker)
 - π_R Faktor für elektrische Last (z.B. Relais, Schütz)
- λ_{ref} = Mittelwert bei Referenzbedingung z.B. T = 40°C

Man spricht hier von der Part Stress Methode. Sie erfordert eine detaillierte Betrachtung der Bauelemente unter Berücksichtigung der jeweiligen Belastungsfaktoren, bekannt als π -Faktoren. In vielen Fällen erfolgt eine Beschränkung auf die wichtigsten Belastungsfaktoren wie Spannung, Strom und Temperatur. Somit ergibt sich

$$\lambda = \lambda_{ref} * \pi_U * \pi_I * \pi_T$$

Sofern keine gesonderten π -Faktoren zur Anwendung kommen, wird $\pi = 1$ gesetzt.

Je ungenügender die Qualität eines Bauelementes, desto höher der Qualitätsfaktor und desto größer die Bauelementeausfallrate.

6. Aufbereitung von Daten (Beispiel)

Für ein Projekt sind die wesentlichen Informationen dazustellen. Ein Beispiel zeigt die Tabelle. Bewährt hat sich, weitere Informationen über Hintergründe in zugehörigen Spalten und Zellen zu beschreiben. Dadurch wird ein später oft auftretender „Erklärungsnotstand“ vermieden.

Tabelle Aufbau einer Datensammlung

Bauelement	Lambdawert λ in FIT@T _A	VB	Quelle	Verwendung in Baugruppe	Ergänzende Informationen
BE 11	2 @ 55°C	60%	Hersteller	BG A	
BE 12				BG A	
BE 13				BG A	
BE 14				BG A	
BE 1n				BG A	
BE 21				BG B	
BE 22	23 @ 85°C	60%	Datenbank X	BG B	
BE 23	d			BG B	
BE 24				BG B	
BE 25				BG B	
BE 2n				BG B	
BE 31				BG C	
BE 31				BG C	
BE 32	28 @ 105°C	90%	Qualifikation	BG C	
BE 33				BG C	
BE 3n				BG C	

Erläuterungen zu den Inhalten der Spalten:

Bauelement (BE): Eingabe der individuellen Bauelementebezeichnung mit Angabe zum Gehäuse.

Ausfallrate λ in FIT: Nennung der Ausfallrate unter Angabe der zugehörigen Bezugstemperatur.

Vertrauensbereich (VB): Angabe zum Vertrauensbereich in Prozent unter dessen Berücksichtigung der jeweilige FIT-Wert ermittelt wurde. Das erfordert, dass der FIT-Wert für die jeweilige Vorgabe umzurechnen ist.

Quelle: Zur Nachverfolgung und Plausibilisierung sind Angaben zur Herkunft der Daten zu dokumentieren z.B. durch Abfragen bei Herstellern, anderen Datenbanken, eigener Feldbeobachtung, Labortests etc. Sollten die Ausfallraten geschätzt sein, so ist eine Begründung mit anzugeben.

Baugruppe (BG): Bezeichnung einer eigenständigen Funktionseinheit in der das jeweilige Bauelement verbaut wurde.

7. Einfaches Beispiel zur MTTF-Ermittlung

Die grundsätzliche Vorgehensweise ist hier komprimiert wiedergegeben:

- Zusammenstellung von FIT-Werten für Bauelemente, Lötstellen etc.
- Ermittlung der π -Faktoren Unter Berücksichtigung des Einsatzprofils
- Ermittlung der Applikationsbedingten FIT-Werte
- Summierung der FIT-Werte $\lambda_{LP} = \sum_{i=1}^n \lambda_i$ (LP: Leiterplatte)
- Ermittlung von R(t), F(t), MTBF / MTTF etc. für das Gesamtsystem

In einem vorliegenden Seriensystem sind die FIT-Werte der einzelnen Bauelemente unter Berücksichtigung aller zugehörigen Belastungsfaktoren, den π -Faktoren zu addieren.

Angenommenes Beispiel, eine Schaltung besteht u.a. aus den Bauelementen der Tabelle, von der die Ausfallrate zu ermitteln ist.

Tabelle Bauelemente einer Schaltung

Nr.	Bauelement	Typ	FIT einzel	π -Faktor	Anzahl BE	FIT ge- samt
1	Transistor 1		1	1,5	2	3,0
2	Transistor 2		2	1,7	1	3,4
3	IC 1		12	2,1	2	50,4
4	IC 2		8	0,9	2	14,4
5	Diode 1		1	3,2	5	16,0
6	Diode 2		0,7	3,2	3	6,72
7	Widerstand 1		0,3	1,4	8	3,36
8	Widerstand 2		0,5	1,4	6	4,2
9	Kondensator 1		1	2,8	7	19,6
10	Kondensator 2		2	2,8	11	61,6
11	Kondensator 3		4	3,7	4	59,2
12	PCB		6	1	1	6,0
	Summe					247,88

Anmerkung: Das Ergebnis in der Summenzeile ermittelt sich wie folgt:

- Produkt je Zeile bilden aus den Spalten „FIT einzeln“, „ π -Faktor“ und „Anzahl“
- Produkt in Spalte „FIT gesamt“ dokumentieren
- Addition aller Produkte der Spalte „FIT gesamt“

Unter Berücksichtigung der Belastungsfaktoren, der π -Faktoren die z.B. durch Temperatur- oder Spannungsbelastung bedingt sind, ergibt sich für die angenommene Schaltung eine Ausfallrate von 247,88 FIT.

Ohne Berücksichtigung der Schaltungsspezifischen Belastungsfaktoren würde sich ein FIT-Wert von 38,5 ergeben. Diesen Wert zu verwenden wäre grundsätzlich falsch, denn er reflektiert nicht die Anforderungen der Applikation und täuscht somit geringere Ausfallraten vor. Dies ist nicht zulässig.

Der MTTF-Wert der Schaltung ermittelt sich wie folgt:

$$\lambda = 247,88 * 10^{-9} * h^{-1}$$

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

$$MTTF = 4.034.210,1h$$

Mit der ermittelten Ausfallrate λ oder auch dem MTTF-Wert der Zuverlässigkeitsprognose kann die Zuverlässigkeit und die Ausfallwahrscheinlichkeit des Systems wie nachfolgend gezeigt ermittelt werden.

Die Zuverlässigkeit wird ermittelt mit

$$R(t) = e^{-\lambda t}$$

oder mit und

$$R(t) = e^{-\frac{t}{MTTF}}$$

die Ausfallwahrscheinlichkeit mit

$$F(t) = 1 - R(t)$$

wobei t die Mission Time des Systems ist, mit z.B.

$$t = 50.000h$$

Damit ergibt sich eine prognostiziert Zuverlässigkeit von

$$R(t) = 0,9877$$

das entspricht

$$R(t) = 98,77\%$$

und einer Ausfallwahrscheinlichkeit von

$$F(t) = 1,23\%$$

Zur Ermittlung der Rückläufer, ist die Ausfallwahrscheinlichkeit mit der ausgelieferten Stückzahl zu multiplizieren und liefert somit die zu erwartende Anzahl ausfallender Systeme.

8. Literaturhinweise

- [01] Birolini Alessandro (2002), Zuverlässigkeit von Geräten und Systemen, Springer-Verlag
- [02] Gottschalk Armin (2007), Zuverlässigkeitsmanagement, TTZ 2007 VDI Berichte 1984
- [03] Gottschalk Armin (2010), Qualität und Zuverlässigkeit elektronischer Bauelemente, bestimmen, vorausagen und sichern, expert Verlag, 2. völlig neu bearbeitete Auflage
- [04] Eigler Hans (2003), Zuverlässigkeit von Elektronik und Mikrosystemen, expert verlag