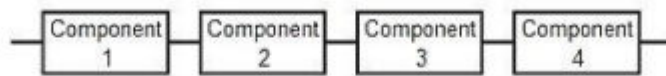
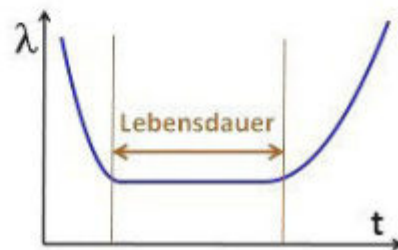
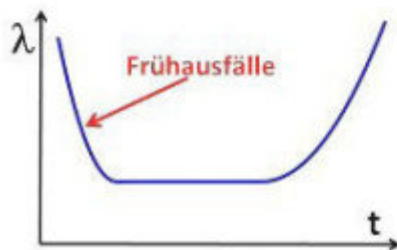


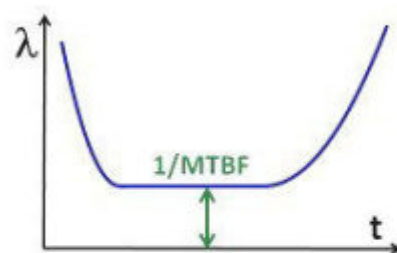
	Kapitel 1.1	MTBF V2.3	Seite 1 von 105
---	-------------	--------------	-----------------



Mean Time Between Failures (MTBF)



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



$$\chi^2_{2(n+1),\alpha} = \frac{2 \cdot \text{kumulierte_Zeitdauer}}{MTBF}$$

	Kapitel 1.1	MTBF V2.3	Seite 2 von 105
---	-------------	---------------------	-----------------

Einführung in das Thema

Mean Time Between Failures (MTBF)

Zielsetzung:

Dieses Werk

- beschreibt die grundlegenden Zusammenhänge zum, sowie aktuelle und praktikable Umgangsmethoden mit dem Thema MTBF,
- soll den Leser in die Lage versetzen mit dem Thema MTBF gegenüber Kunden und Lieferanten professionell umzugehen, sowie auf entsprechende Anfragen fachlich fundiert zu reagieren,
- soll ein Gefühl für die generelle quantitative Unsicherheit vermitteln, die mit dem Thema MTBF einher geht,
- möchte mit so wenig wie möglich Mathematik auskommen,
- gibt erste Einblicke, wie man MTBF Werte quantitativ ermitteln kann.


Die Inhalte werden mit fortschreitender Seitenzahl spezifischer.
Damit sollen unterschiedliche Ansprüche an den Tiefgang erfüllt werden.

So können sich beispielsweise Leitungspersonen nach Kapitel 2, und Produktmanager nach Kapitel 3 ausklinken, während für Entwickler und Qualitätsmitarbeiter möglicherweise die gesamte Unterlage interessant ist.

Daher werden manchmal Inhalte an früher Stelle grob eingeführt, um an späterer Stelle dann detailliert behandelt zu werden.

Versionsgeschichte

Datum, Version	Anmerkungen
12. März 2015, V1	Erstausgabe
16. Februar 2016, V2	Vollständige Überarbeitung und Erweiterung
17.Juni.2016, V2.1	Anhang „Arrheniusgleichung“ hinzugefügt
16. Dezember 2016, V2.2	Vollständige Überarbeitung
26. Februar 2017, V2.3	Kapitel 4.4.3.1 um mehrere Bilder erweitert Kapitel 4.4.3.3 neu hinzu

	Kapitel 1.1	MTBF V2.3	Seite 3 von 105
---	-------------	--------------	-----------------


Inhaltsverzeichnis, Ebenen 1 und 2

1	Zuverlässigkeit: Grundlagen	8
1.1	Allgemeine Definition von Zuverlässigkeit (engl. Reliability)	8
1.2	Messgrößen der Zuverlässigkeit	8
1.3	Die Badewannenkurve	14
2	MTBF	21
2.1	MTBF Annahme 1: Konstante Ausfallrate	22
2.2	MTBF Annahme 2: Serielles Modell	35
3	Umgang mit dem Thema MTBF	38
3.1	Seriosität	38
3.2	Ermittlung von MTBF Werten	39
3.3	MTBF Informationslage nach Systemart: Überblick	47
3.4	MTBF Informationslage nach Systemart: Details	48
4	MTBF Berechnung für Elektronik nach Standards	52
4.1	Allgemeine Betrachtungen	52
4.2	Funktionsweise elektronischer Berechnungsstandards	53
4.3	Die elektronischen Berechnungsstandards im Einzelnen	54
4.4	Physikalische vs. managementtechnische Parameter	61
4.5	MTBF Stellungnahmen	73
5	Weiterführende Methoden	77
6	Anhänge	80
6.1	Fehlerrate eines 1-aus-2 Parallelsystems	80
6.2	Verfügbarkeit eines 1-aus-2 Parallelsystems	82
6.3	Zuverlässigkeit eines 1-aus-n Parallelsystems	83
6.4	Weibullverteilung für zeitlich veränderliche Ausfallraten	84
6.5	Poissonverteilung, homogener Poissonprozess	87
6.6	Auswirkungen des Zufalls auf berechnete Mittelwerte	89
6.7	Das Null Ausfall Problem	93
6.8	B ₁₀ Lebensdauer	95
6.9	Die Arrheniusgleichung für beschleunigte Tests	97
6.10	MTBF Schätzbeispiele	98
6.11	Rechenbeispiele mit Mil-HDBK-217F N2	101

	Kapitel 1.1	MTBF V2.3	Seite 4 von 105
---	-------------	--------------	-----------------

Inhaltsverzeichnis, alle Ebenen

1	Zuverlässigkeit: Grundlagen	8
1.1	Allgemeine Definition von Zuverlässigkeit (engl. Reliability)	8
1.2	Messgrößen der Zuverlässigkeit	8
1.2.1	Zuverlässigkeit R (Reliability)	9
1.2.2	MTBF oder MTTF	10
1.2.3	Ausfallrate	11
1.2.4	Verfügbarkeit (A, availability)	12
1.2.5	Beziehungen zwischen MTBF, R und A	13
1.2.6	Zusammenfassung	13
1.3	Die Badewannenkurve	14
1.3.1	Produktlebensphasen	15
1.3.1.1	Frühausfälle, infant mortality, early failures	15
1.3.1.2	Nutzbare Produktlebensphase	16
1.3.1.3	Verschleissphase	17
1.3.2	Lebensdauer vs. MTBF	18
1.3.2.1	Beispiele für MTBF vs. Lebensdauer	19
2	MTBF	21
2.1	MTBF Annahme 1: Konstante Ausfallrate	22
2.1.1	Veranschaulichung konstanter Ausfallrate	22
2.1.1.1	Ersatz ausgefallener Einheiten	22
2.1.1.2	Kein Ersatz ausgefallener Einheiten	23
2.1.2	Mathematischer Hintergrund	24
2.1.3	Implikationen bezüglich konstanter Ausfallrate	27
2.1.3.1	Minimale Anforderungen an Datenqualität und -quantität	27
2.1.3.2	Schlechte bis gar keine Rückmeldung aus dem Feld	27
2.1.3.3	Konstante Ausfallrate = Zufallsausfälle	28
2.1.3.4	Perfektes Produkt	28
2.1.3.5	Keine Alterung vorhanden	28
2.1.3.6	Vorbeugende Wartung im herkömmlichen Sinne sinnlos	28
2.1.3.7	Prinzip der maximalen Entropie	29
2.1.3.8	Nicht genau hinsehen: Scheinbar Zufallsausfälle	31
2.1.3.9	Was bedeutet eigentlich "Zufallsausfall"?	33
2.1.3.10	"Geplante Obsoleszenz"	34
2.2	MTBF Annahme 2: Serielles Modell	35
2.2.1	Beispiele <i>gegen</i> das serielle Modell	35
2.2.2	Warum dennoch serielles Modell	37
2.2.2.1	Fakten	37
2.2.2.2	Praxis	37
3	Umgang mit dem Thema MTBF	38
3.1	Seriosität	38
3.1.1	Beispiel 1: Ziviles Wegwerfprodukt	38
3.1.2	Beispiel 2: Ziviles Sicherheitsprodukt, militärisches, oder Luftfahrtprodukt	38
3.2	Ermittlung von MTBF Werten	39
3.2.1	Genauigkeit von MTBF Werten (1)	39
3.2.2	Datenquellen	39
3.2.2.1	Felddaten des aktuellen Produktes	40
3.2.2.2	Felddaten eines ähnlichen Produktes	41
3.2.2.3	Orientierung an einem Konkurrenzprodukt	41
3.2.2.4	Labortestdaten	42
3.2.2.5	Nur Elektronik: Berechnung mit etablierten MTBF Standards	43
3.2.2.6	Vergleich mit Baugruppen mit bekannter MTBF	45
3.2.2.7	Parametrische Abschätzung	46
3.3	MTBF Informationslage nach Systemart: Überblick	47

	Kapitel 1.1	MTBF V2.3	Seite 5 von 105
3.3.1	Software	47	
3.3.2	Mechanik	47	
3.3.3	Elektronik	47	
3.4	MTBF Informationslage nach Systemart: Details	48	
3.4.1	Software	48	
3.4.2	Mechanik	49	
3.4.2.1	NSWC-11 (national surface warfare center) für militärische Oberflächenschiffahrt 49		
3.4.2.2	NPRD-1995 bzw. NPRD-2011	50	
3.4.3	Elektronik	51	
4	MTBF Berechnung für Elektronik nach Standards	52	
4.1	Allgemeine Betrachtungen	52	
4.2	Funktionsweise elektronischer Berechnungsstandards	53	
4.3	Die elektronischen Berechnungsstandards im Einzelnen	54	
4.3.1	Mil-HDBK-217 (1995)	54	
4.3.2	Telcordia (2016)	55	
4.3.2.1	Vertrauensintervalle	56	
4.3.3	IEC-TR-62380 (2004)	57	
4.3.4	Siemens SN 29500 (2004 ... 2015)	58	
4.3.5	FIDES 2009 (2009)	59	
4.3.6	217 Plus (2015)	60	
4.4	Physikalische vs. managementtechnische Parameter	61	
4.4.1	Beispiel für physikalische Parameter	61	
4.4.2	Beispiel für management-technische Parameter	62	
4.4.3	Genauigkeit von MTBF Werten (2)	64	
4.4.3.1	Beispiel 1: Streuung der Fehlerraten-Ergebnisse auf Bauteilebene	64	
4.4.3.2	Beispiel 2: Streuung der Fehlerraten-Ergebnisse auf PCB-Ebene, IEEE Publikation	68	
4.4.3.3	Beispiel 3: Streuung der Fehlerraten-Ergebnisse auf PCB-Ebene, Temperaturverhalten	70	
4.5	MTBF Stellungnahmen	73	
4.5.1	Mil-HDBK-217	74	
4.5.2	Telcordia	74	
4.5.3	IEC-TR-62380	74	
4.5.4	Siemens SN29500	75	
4.5.5	FIDES	75	
4.5.6	217Plus	76	
4.5.7	Handhabung bei unterschiedlichen MTBF Angaben	76	
5	Weiterführende Methoden	77	
6	Anhänge	80	
6.1	Fehlerrate eines 1-aus-2 Parallelsystems	80	
6.2	Verfügbarkeit eines 1-aus-2 Parallelsystems	82	
6.3	Zuverlässigkeit eines 1-aus-n Parallelsystems	83	
6.4	Weibullverteilung für zeitlich veränderliche Ausfallraten	84	
6.5	Poissonverteilung, homogener Poissonprozess	87	
6.6	Auswirkungen des Zufalls auf berechnete Mittelwerte	89	
6.7	Das Null Ausfall Problem	93	
6.8	B ₁₀ Lebensdauer	95	
6.9	Die Arrheniusgleichung für beschleunigte Tests	97	
6.10	MTBF Schätzbeispiele	98	
6.11	Rechenbeispiele mit Mil-HDBK-217F N2	101	
6.11.1	SMD Film Resistor 0805	101	
6.11.2	Transient Suppressor Diode	103	
6.11.3	Integrated Circuit, Digital, 7414 (Inverting Hex Schmitt Trigger)	104	

	Kapitel 1.1	MTBF V2.3	Seite 6 von 105
---	-------------	--------------	-----------------

Abbildungsverzeichnis

Bild 1: $R(t)$, allgemein.....	9
Bild 2: MTBF vs. MTTF	10
Bild 3: Verfügbarkeit.....	12
Bild 4: Badewannenkurve	14
Bild 5: Badewannenkurve	18
Bild 6: $R(t)$ für ausgewählte λ , grob	25
Bild 7: $R(t)$ für ausgewählte λ , fein	26
Bild 8: Maskierter systematischer Ausfall	31
Bild 9: Maskierte systematische Ausfälle	32
Bild 10: Serielles Zuverlässigkeitsmodell	35
Bild 11: RADC Toolkit Software	48
Bild 12: NSWC-98 Beispiel Magnetventil	49
Bild 13: NSWC-98 Diverse Sensoren.....	50
Bild 14: NPRD-1995 Beispiel Kugellager	51
Bild 15: Beispiel Physikalische Parameter: Mil-HDBK-217 Digitales IC	61
Bild 16: Beispiel Managementtechnische Parameter: FIDES 2009 Digitales IC	62
Bild 17: Beispiel FIDES 2009 Fragenkatalog zur Ermittlung managementtechnischer Parameter.....	63
Bild 18: Filmwiderstand, Fehlerraten-Vergleich Mil 217 / Telcordia / SN 29500.....	65
Bild 19: Kerko 100nF X7R, Fehlerraten-Vergleich Mil 217 / Telcordia / SN 29500	65
Bild 20: IC SN7400, Fehlerraten-Vergleich Mil 217 / Telcordia / SN 29500	66
Bild 21: Diode 1N4001, Fehlerraten-Vergleich Mil 217 / Telcordia / SN 29500	66
Bild 22: Schalter 1 x Ein, Fehlerraten-Vergleich Mil 217 / Telcordia / SN 29500.....	67
Bild 23: Genauigkeit von MTBF auf PCB-Ebene	68
Bild 24: Fehlerraten-Vergleich Mil 217 / Telcordia / SN 29500 auf PCB Ebene	70
Bild 25: Fehlerraten-Vergleich Mil 217 / Telcordia / SN 29500 auf PCB Ebene	71
Bild 26: Fehlerraten-Vergleich verschiedener Telcordia Ausgaben auf PCB Ebene	72
Bild 27: Ausfallrate eines 1oo2 Systems	81
Bild 28: Weibullnetz, Beispiel	85
Bild 29: $R(t)$, Weibullverteilung und Ausfallrate(t) für verschiedene Eta	86
Bild 30: Poissonverteilung für 1 Ereignis/h	90
Bild 31: Poissonverteilung für 1,68 Ereignisse/h	91
Bild 32: Poissonverteilung für 0,69 Ereignisse/h	92
Bild 33: Parametrische MTBF Abschätzung	99

	Kapitel 1.1	MTBF V2.3	Seite 7 von 105
---	-------------	---------------------	-----------------

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Beispiele für MTBF, R und A	13
Tabelle 2: MTBF vs. Lebensdauer -1	19
Tabelle 3: MTBF vs. Lebensdauer -2	20
Tabelle 4: Konstante Ausfallrate, Veranschaulichung-1	22
Tabelle 5: Konstante Ausfallrate, Veranschaulichung-2	23
Tabelle 6: Prinzip maximaler Entropie, Anschauungsbeispiele.....	30
Tabelle 7: Über reine MTBF Berechnung hinausgehende Methoden	36
Tabelle 8: MTBF Datenquellen für Mechanik	47
Tabelle 9: MTBF Berechnungsstandards für Elektronik	47
Tabelle 10: MTBF Berechnungsstandards für Elektronik.....	52
Tabelle 11: Beispiele für Bauteilfehlerraten-Gleichungen	53
Tabelle 12: Beispiele für Pi-Faktoren	53
Tabelle 13: Physikalische vs. managementtechnische Parameter	61
Tabelle 14: Genauigkeit von MTBF auf Bauteilebene	64
Tabelle 15: MTBF Stellungnahmen, Beispiele.....	73
Tabelle 16: Methodenüberblick	79
Tabelle 17: Formeln bei homogenem Poissonprozess	87
Tabelle 18: MTBF mit Chi^2 Formel berechnet	94
Tabelle 19: Umrechnung B ₁₀ - MTBF	96
Tabelle 20: Parametrische MTBF Abschätzung-1	100
Tabelle 21: Parametrische MTBF Abschätzung-2	100