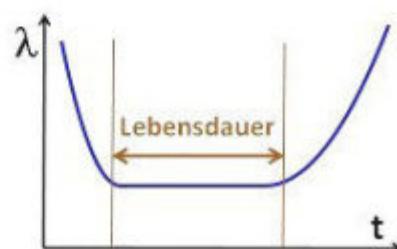
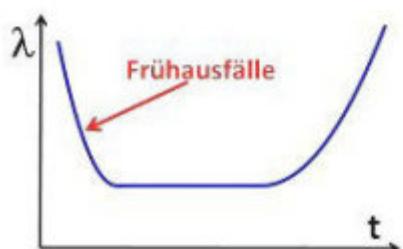
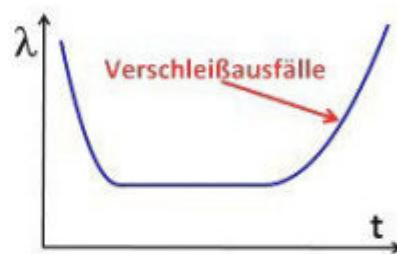
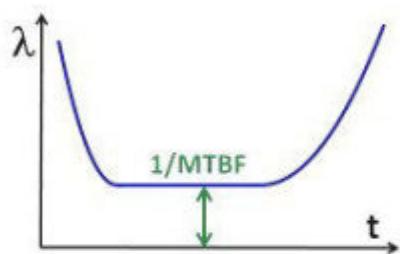


## Mean Time Between Failures (MTBF)



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



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

<b>Σ</b>	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 <sub>10</sub> 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 gegen 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

<b>Σ</b>	Kapitel 1.1	<b>MTBF</b> 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 Oberflächenschifffahrt	
3.4.2.1	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 <sub>10</sub> 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 $\lambda$ , grob.....	25
Bild 7: R(t) für ausgewählte $\lambda$ , fein .....	26
Bild 8: Maskierter systematischer Ausfall .....	31
Bild 9: Maskierte systematische Ausfälle .....	32
Bild 10: Serielles Zuverlässigkeitssmodell .....	35
Bild 11: RADC Toolkit Software .....	48
Bild 12: NSWC-98 Beispiel Magnetventil .....	49
Bild 13: NSWC-98 Diverse Sensoren.....	50
Bild 14: NRPD-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 Bauteileherraten-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 <sub>10</sub> - MTBF .....	96
Tabelle 20: Parametrische MTBF Abschätzung-1 .....	100
Tabelle 21: Parametrische MTBF Abschätzung-2 .....	100

