

# Inhaltsverzeichnis

<b>1 Einleitung, Grundbegriffe, Hauptaufgaben.</b>	1
1.1 Einleitung . . . . .	1
1.2 Grundbegriffe . . . . .	2
1.2.1 Zuverlässigkeit . . . . .	2
1.2.2 Ausfall . . . . .	3
1.2.3 Ausfallrate . . . . .	4
1.2.4 Instandhaltbarkeit . . . . .	7
1.2.5 Logistische Unterstützung . . . . .	8
1.2.6 Verfügbarkeit . . . . .	8
1.2.7 Sicherheit, Risiko, Risikoakzeptanz . . . . .	8
1.2.8 Kosten- bzw. Systemwirksamkeit . . . . .	10
1.2.9 Qualitätssicherung . . . . .	10
1.2.10 Produkthaftung . . . . .	13
1.3 Hauptaufgaben zur Sicherstellung der Qualität und Zuverlässigkeit . . . . .	14
<b>2 Festlegung und Durchsetzung von Qualitäts- und Zuverlässigungsforderungen</b> . . . . .	17
2.1 Kundenforderungen . . . . .	17
2.2 Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen . . . . .	20
2.3 Festlegung von Zuverlässigungsforderungen . . . . .	23
2.4 Durchsetzung von Qualitäts- und Zuverlässigungsforderungen . . . . .	25
2.4.1 Projektorganisation, Projektplanung, Projektablauf . . . . .	30
2.4.2 Zuverlässigkeits- und Sicherheitsanalysen . . . . .	30
2.4.3 Wahl und Qualifik. von Bauteilen, Stoffen, Fertigungsprozessen und -abläufen . . . . .	31
2.4.4 Konfigurationsmanagement . . . . .	32
2.4.5 Qualitätsprüfungen . . . . .	34
2.4.6 Qualitätsdatensystem . . . . .	35
2.5 Fragenkatalog zur Erstellung von Checklisten für Entwurfsüberprüfungen . . . . .	38
2.5.1 System-Entwurfsüberprüfung . . . . .	38
2.5.2 Vorläufige Entwurfsüberprüfung auf Baugruppenebene . . . . .	39
2.5.3 Kritische Entwurfsüberprüfung auf Geräte- bzw. Systemebene . . . . .	43
<b>3 Zuverlässigkeits-, Instandhaltbarkeits- und Verfügbarkeitsanalysen</b> . . . . .	45
3.1 Zuverlässigkeitsanalysen in der Entwicklungsphase . . . . .	45
3.1.1 Prozedur zur Berechnung der vorausgesagten Zuverlässigkeit el. Baugruppen . . . . .	47
3.1.1.1 Definition der geforderten Funktion und des Anforderungsprofils . . . . .	48
3.1.1.2 Aufstellung des Zuverlässigkeitsblockdiagramms . . . . .	48
3.1.1.3 Bestimmung der Arbeitsbedingungen . . . . .	52
3.1.1.4 Bestimmung der Ausfallrate . . . . .	54
3.1.2 Zuverlässigkeit des Einzelementes . . . . .	59
3.1.3 Zuverlässigkeit von Geräten und Systemen ohne Redundanz . . . . .	60
3.1.4 Der Begriff der Redundanz . . . . .	61
3.1.5 Parallelmodelle . . . . .	62
3.1.6 Serien-/Parallelstrukturen . . . . .	64
3.1.7 Majoritätsredundanz . . . . .	65

3.1.8 Zuverlässigkeit von Systemen komplexer Struktur . . . . .	68
3.1.8.1 Methode des Schlüsselementes . . . . .	69
3.1.8.2 Methode der erfolgreichen Pfade . . . . .	71
3.1.8.3 Methode des Zustandsraumes . . . . .	72
3.1.9 Grobe Schätzung der vorausgesagten Zuverlässigkeit . . . . .	73
3.1.10 Berechnungsbeispiel einer einfachen elektronischen Schaltung . . . . .	74
3.1.11 Parallelmodelle mit Elementen in warmer Redundanz . . . . .	75
3.1.12 Elemente mit mehr als einer Ausfallart . . . . .	78
3.1.13 Störungstolerante Betrachtungseinheiten . . . . .	80
3.1.14 Zuverlässigkeit mechanischer Betrachtungseinheiten, Driftausfälle . . . . .	81
3.1.15 Aufteilung der Zuverlässigkeitsziele . . . . .	86
3.1.16 Analyse der Art und Auswirkung von Ausfällen . . . . .	87
3.1.17 Durchführung von Entwurfsüberprüfungen (Design Reviews) . . . . .	89
<b>3.2 Instandhaltbarkeitsanalysen in der Entwicklungsphase . . . . .</b>	<b>93</b>
3.2.1 Instandhaltungskonzept . . . . .	95
3.2.1.1 Ausfallerkennung, Ausfall-Lokalisierung . . . . .	95
3.2.1.2 Strukturierung des Geräts bzw. Systems . . . . .	97
3.2.1.3 Erstellung der Kundendokumentation . . . . .	98
3.2.1.4 Organisation der Instandhaltung . . . . .	98
3.2.1.5 Ausrüstung und Ausbildung des Instandhaltungspersonals . . . . .	99
3.2.2 Durchführung von Entwurfsüberprüfungen . . . . .	99
3.2.3 Berechnung der vorausgesagten Instandhaltbarkeit . . . . .	100
3.2.3.1 Berechnung der $MTTR_S$ . . . . .	100
3.2.3.2 Berechnung der $MTTPM_S$ . . . . .	103
3.2.4 Grundmodelle für die Ersatzteilbevorratung . . . . .	104
3.2.4.1 Zentrale logistische Unterstützung, nichtreparierbare Ersatzteile . . . . .	104
3.2.4.2 Dezentrale logistische Unterstützung, nichtreparierbare Ersatzteile . . . . .	108
3.2.4.3 Reparierbare Ersatzteile . . . . .	109
<b>3.3 Zuverlässigkeit u. Verfügbarkeit reparierbarer Geräte und Systeme . . . . .</b>	<b>109</b>
3.3.1 Das Einzelement . . . . .	111
3.3.3 Redundanz 1 aus 2 . . . . .	117
3.3.4 Redundanz $k$ aus $n$ . . . . .	123
3.3.5 Einfache Serien-/Parallelstrukturen . . . . .	124
3.3.6 Näherungsformeln für große reparierbare Serien-/Parallelstrukturen . . . . .	130
3.3.7 Einfluß der Umschalteinrichtungen . . . . .	135
3.3.8 Einfluß der Wartung . . . . .	137
3.3.9 Computerunterstützte Zuverlässigkeits- und Verfügbarkeitsanalyse komplexer Systeme . . . . .	139
<b>4 Entwicklungsrichtlinien für Zuverlässigkeit, Instandhaltbarkeit und Softwarequalität . . . . .</b>	<b>141</b>
<b>4.1 Entwicklungsrichtlinien für Zuverlässigkeit . . . . .</b>	<b>141</b>
4.1.1 Richtlinien für Unterlastung . . . . .	141
4.1.2 Richtlinien für die Kühlung . . . . .	142
4.1.3 Richtlinien für Feuchtigkeit . . . . .	144
4.1.4 Richtlinien für elektromagnetische Verträglichkeit und Entstörung . . . . .	144
4.1.5 Richtlinien zur Wahl von Bauteilen . . . . .	146
4.1.6 Anwendungsrichtlinien für Bauteile . . . . .	146
4.1.7 Richtlinien für Leiterplatten und Baugruppen . . . . .	147

4.1.8 Richtlinien für Montage, Lötung und Prüfung . . . . .	148
4.1.9 Richtlinien für Lagerung und Transport . . . . .	149
4.2 Entwicklungsrichtlinien für Instandhaltbarkeit . . . . .	150
4.2.1 Allgemeine Richtlinien . . . . .	150
4.2.2 Richtlinien für Prüfbarkeit . . . . .	150
4.2.3 Richtlinien für Zugänglichkeit und Auswechselbarkeit . . . . .	153
4.2.4 Richtlinien für Bedienung und Abgleich . . . . .	153
4.3 Maßnahmen zur Qualitätssicherung der Software . . . . .	154
4.3.1 Ursachen für Defekte in der Software . . . . .	154
4.3.2 Richtlinien zur Verhinderung von Defekten in der Software . . . . .	155
4.3.3 Konfigurationsmanagement . . . . .	157
4.3.4 Software-Prüfung . . . . .	157
<b>5 Qualifikation elektronischer Bauteile und Geräte . . . . .</b>	<b>159</b>
5.1 Auswahlkriterien für elektronische Bauteile . . . . .	159
5.2 Qualifikation elektronischer Bauteile . . . . .	160
5.2.1 Elektrische Prüfung komplexer ICs . . . . .	166
5.2.2 Charakterisierung komplexer ICs . . . . .	167
5.2.3 Umwelt- und Spezialprüfungen . . . . .	169
5.2.4 Zuverlässigkeitsprüfungen . . . . .	176
5.3 Ausfallarten, Ausfallmechanismen und Ausfallanalysen elektronischer Bauteile . . . . .	177
5.3.1 Ausfallarten elektronischer Bauteile . . . . .	177
5.3.2 Ausfallmechanismen elektronischer Bauteile . . . . .	177
5.3.3 Ausfallanalysen elektronischer Bauteile . . . . .	181
5.4 Qualifikation elektronischer Baugruppen und Geräte . . . . .	182
5.4.1 Elektrische Prüfung elektronischer Baugruppen . . . . .	183
5.4.2 Umwelt- u. Zuverlässigkeitsprüfung elektronischer Baugruppen und Geräte . . . . .	184
<b>6 Statistische Qualitätskontrolle und Zuverlässigkeitsprüfungen . . . . .</b>	<b>188</b>
6.1 Statistische Qualitätskontrolle . . . . .	188
6.1.1 Schätzung einer Defektequote $p$ . . . . .	189
6.1.2 Zweiseitige Stichprobenprüfungen zum Nachweis einer Defektequote $p$ . . . . .	191
6.1.2.1 Zweiseitige Einfach-Stichprobenprüfung . . . . .	192
6.1.2.2 Folge-Stichprobenprüfung . . . . .	194
6.1.3 Einseitige Stichprobenprüfungen zum Nachweis einer Defektequote $p$ . . . . .	195
6.2 Statistische Zuverlässigkeitsprüfungen . . . . .	199
6.2.1 Schätzung und Nachweis einer Zuverlässigkeit oder einer Verfügbarkeit . . . . .	199
6.2.2 Schätzung und Nachweis einer kons. Ausfallrate $\lambda$ oder einer $MTBF = 1/\lambda$ . . . . .	201
6.2.2.1 Schätzung einer konstanten Ausfallrate $\lambda$ oder einer $MTBF = 1/\lambda$ . . . . .	203
6.2.2.2 Zweiseitige Einfachprüf. zum Nachweis von $\lambda$ oder $MTBF = 1/\lambda$ . . . . .	206
6.2.2.3 Einseitige Einfachprüf. zum Nachweis von $\lambda$ oder $MTBF = 1/\lambda$ . . . . .	210
6.3 Statistische Instandhaltbarkeitsprüfungen . . . . .	211
6.3.1 Schätzung einer $MTTR$ . . . . .	211
6.3.2 Nachweis einer $MTTR$ . . . . .	212
6.4 Zeitraffende Prüfungen . . . . .	214
6.5 Anpassungstests . . . . .	219
6.5.1 Test von Kolmogoroff-Smirnow . . . . .	219
6.5.2 $\chi^2$ -Anpassungstests . . . . .	223

<b>7 Hebung der Qualität und Zuverlässigkeit in der Fertigungsphase . . . . .</b>	226
7.1 Vorbehandlung elektronischer Bauteile . . . . .	226
7.2 Vorbehandlung elektronischer Baugruppen . . . . .	228
7.3 Prüf- und Vorbehandlungsstrategien . . . . .	230
7.4 Optimierung der Prüfkosten im Rahmen einer Eingangsprüfung . . . . .	232
7.5 Zuverlässigkeitswachstum. . . . .	235
<b>A1 Definitionen und Begriffserklärungen . . . . .</b>	239
<b>A2 Abriss der Wahrscheinlichkeitsrechnung und der mathematischen Statistik . . . . .</b>	252
A2.1 Auszug aus der Wahrscheinlichkeitsrechnung . . . . .	252
A2.1.1 Ereignisalgebra, Ereignisfeld . . . . .	253
A2.1.2 Axiome der Wahrscheinlichkeitsrechnung . . . . .	254
A2.1.3 Bedingte Wahrscheinlichkeit, Unabhängigkeit . . . . .	255
A2.1.4 Grundregeln der Wahrscheinlichkeitsrechnung . . . . .	256
A2.1.4.1 Additionssatz für zwei unvereinbare Ereignisse . . . . .	256
A2.1.4.2 Multiplikationsatz für zwei unabhängige Ereignisse . . . . .	257
A2.1.4.3 Multiplikationsatz . . . . .	257
A2.1.4.4 Additionssatz . . . . .	258
A2.1.4.5 Satz der totalen Wahrscheinlichkeit . . . . .	258
A2.1.5 Zufallsgrößen, Verteilungsfunktionen . . . . .	259
A2.1.5.1 Exponentialverteilung . . . . .	260
A2.1.5.2 Weibull-Verteilung . . . . .	261
A2.1.5.3 Gamma-Verteilung, Erlang-Verteilung und $\chi^2$ -Verteilung . . . . .	264
A2.1.5.4 Normalverteilung . . . . .	265
A2.1.5.5 Logarithmische Normalverteilung . . . . .	266
A2.1.5.6 Binomialverteilung . . . . .	267
A2.1.5.7 Poisson-Verteilung . . . . .	269
A2.1.5.8 Geometrische Verteilung . . . . .	269
A2.1.6 Numerische Kenngrößen von Zufallsgrößen . . . . .	270
A2.1.6.1 Erwartungswert (Mittelwert) . . . . .	270
A2.1.6.2 Varianz . . . . .	272
A2.1.6.3 Modalwert, Quantil, Median . . . . .	273
A2.1.7 Mehrdimensionale Zufallsgrößen . . . . .	273
A2.1.7.1 Allgemeine Betrachtungen . . . . .	273
A2.1.7.2 Verteilung der Summe . . . . .	275
A2.1.7.3 Kovarianzmatrix, Korrelationskoeffizient . . . . .	278
A2.1.7.4 Weitere Eigenschaften von Erwartungswert und Varianz . . . . .	278
A2.1.7.5 Transformation von Zufallsgrößen . . . . .	279
A2.1.8 Grenzwertsätze. . . . .	280
A2.1.8.1 Gesetz der großen Zahlen . . . . .	280
A2.1.8.2 Zentraler Grenzwertsatz . . . . .	281
A2.2 Auszug aus der Theorie der stochastischen Prozesse . . . . .	283
A2.2.1 Einführung . . . . .	283
A2.2.2 Erneuerungsprozesse . . . . .	285
A2.2.3 Alternierende Erneuerungsprozesse . . . . .	290
A2.2.4 Markoff-Prozesse mit endlich vielen Zuständen . . . . .	293
A2.2.4.1 Definition und Haupteigenschaften . . . . .	293
A2.2.4.2 Stationäres und asymptotisches Verhalten . . . . .	303

A2.2.4.3	Geburts- und Todesprozeß mit endlich vielen Zuständen . . . . .	305
A2.2.4.4	Wichtige Beziehungen für Markoff-Modelle . . . . .	307
A2.2.5	Komplexere regenerative Prozesse . . . . .	308
A2.3	Auszug aus der mathematischen Statistik . . . . .	310
A2.3.1	Einführung . . . . .	310
A2.3.2	Empirische Methoden . . . . .	310
A2.3.2.1	Empirische Momente . . . . .	310
A2.3.2.2	Empirische Verteilungsfunktion . . . . .	312
A2.3.3	Parameterschätzung . . . . .	315
A2.3.3.1	Punktschätzung . . . . .	317
A2.3.3.2	Intervallschätzung . . . . .	321
A2.3.3.2.1	Schätzung einer unbekannten Wahrscheinlichkeit . . . . .	322
A2.3.3.2.2	Schätzung des Parameters $\lambda$ bei fester Prüfzeit $T$ . . . . .	324
A2.3.3.2.3	Schätzung des Param. $\lambda$ bei fester Anzahl Ausfällen $n$ . . . . .	325
A2.3.4	Hypothesenprüfung . . . . .	326
A2.3.4.1	Prüfung einer unbekannten Wahrscheinlichkeit . . . . .	328
A2.3.4.1.1	Zweiseitige Einfach-Stichprobenprüfung . . . . .	329
A2.3.4.1.2	Folge-Stichprobenprüfung . . . . .	330
A2.3.4.1.3	Einseitige Einfach-Stichprobenprüfung . . . . .	331
A2.3.4.2	Anpassungstests für eine vollständig gegebene Verteilungsfunktion $F_0(t)$ . . . . .	333
A2.3.4.3	Anpassungstests für eine Verteilungsfunktion $F_0(t)$ mit unbekannten Parametern . . . . .	335
A3	<b>Tabellen und Wahrscheinlichkeitspapiere</b> . . . . .	337
A3.1	Normalverteilung (Standard-Normalverteilung) . . . . .	337
A3.2	$\chi^2$ -Verteilung (Chi-Quadrat-Verteilung) . . . . .	338
A3.3	Student-Verteilung ( $t$ -Verteilung) . . . . .	339
A3.4	Fisher-Verteilung ( $F$ -Verteilung) . . . . .	340
A3.5	Tabelle zum Kolmogoroff-Smirnow-Test . . . . .	341
A3.6	Gammafunktion . . . . .	342
A3.7	Laplace-Transformation . . . . .	343
A3.8	Wahrscheinlichkeitspapiere . . . . .	345
A3.8.1	Logarithmische Normalverteilung . . . . .	345
A3.8.2	Weibull-Verteilung . . . . .	346
A3.8.3	Normalverteilung . . . . .	347
<b>Kürzel</b> . . . . .	348	
<b>Literatur</b> . . . . .	349	
<b>Stichwortverzeichnis</b> . . . . .	365	