

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung, Grundbegriffe, Hauptaufgaben.</b>	<b>1</b>
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</b>	<b>Festlegung und Durchsetzung von Qualitäts- und Zuverlässigkeitsforderungen</b>	<b>17</b>
2.1	Kundenforderungen	17
2.2	Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen	20
2.3	Festlegung von Zuverlässigkeitsforderungen	23
2.4	Durchsetzung von Qualitäts- und Zuverlässigkeitsforderungen	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</b>	<b>Zuverlässigkeits-, Instandhaltbarkeits- und Verfügbarkeitsanalysen</b>	<b>45</b>
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 Einzelelements	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
3.2	Instandhaltbarkeitsanalysen in der Entwicklungsphase . . . . .	93
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
3.3	Zuverlässigkeit u. Verfügbarkeit reparierbarer Geräte und Systeme . . . . .	109
3.3.1	Das Einzelelement . . . . .	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 Umschaltvorrichtungen . . . . .	135
3.3.8	Einfluß der Wartung . . . . .	137
3.3.9	Computerunterstützte Zuverlässigkeits- und Verfügbarkeitsanalyse komplexer Systeme . . . . .	139
4	<b>Entwicklungsrichtlinien für Zuverlässigkeit, Instandhaltbarkeit und Softwarequalität</b> . . . . .	141
4.1	Entwicklungsrichtlinien für Zuverlässigkeit . . . . .	141
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
5	<b>Qualifikation elektronischer Bauteile und Geräte . . . . .</b>	159
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
6	<b>Statistische Qualitätskontrolle und Zuverlässigkeitsprüfungen . . . . .</b>	188
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</b>	<b>Hebung der Qualität und Zuverlässigkeit in der Fertigungsphase . . . . .</b>	<b>226</b>
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</b>	<b>Definitionen und Begriffserklärungen . . . . .</b>	<b>239</b>
<b>A2</b>	<b>Abriss der Wahrscheinlichkeitsrechnung und der mathematischen Statistik . . . . .</b>	<b>252</b>
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	Multiplikationssatz für zwei unabhängige Ereignisse . . . . .	257
A2.1.4.3	Multiplikationssatz . . . . .	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 Prüfdauer $T$ . .	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