

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	V
Vorwort zur ersten Auflage.....	VI
Inhaltsverzeichnis.....	IX
Einführung.....	XVII
I Grundlagen	1
1 Mathematische Grundlagen aus der Wahrscheinlichkeitsrechnung....	2
1.1 Mengenalgebra.....	2
1.1.1 Grundbegriffe und Definitionen.....	2
1.1.2 Mengenoperationen.....	3
1.2 Grundbegriffe der Wahrscheinlichkeitsrechnung	6
1.2.1 Wahrscheinlichkeitsbegriff	7
1.2.2 Axiomsystem von Kolmogorov	8
1.2.3 Die bedingte Wahrscheinlichkeit	12
1.2.4 Unabhängige Ereignisse.....	14
1.2.5 Regel von der totalen Wahrscheinlichkeit.....	15
1.2.6 Satz von Bayes	16
1.3 Zufallsgrößen und ihre Wahrscheinlichkeitsverteilung	18
1.3.1 Grundbegriffe	18
1.3.2 Erwartungswert und Momente einer Verteilungsfunktion..	22
1.3.3 Quantil, Median und Modalwert	28
2 Zuverlässigkeit- und Sicherheitskenngrößen.....	33
2.1 Zuverlässigkeitskenngrößen nicht reparierbarer Systeme.....	33
2.2 Empirische Zuverlässigkeitskenngrößen und weitere Zuverlässigkeitsmerkmale.....	45
2.3 Zuverlässigkeitskenngrößen reparierbarer Systeme, Instandhaltung.....	50
2.4 Sicherheitskenngrößen	53
3 Einige wichtige Verteilungsfunktionen	58
3.1 Einige wichtige Lebensdauerverteilungen und ihre Zuverlässigkeitskenngrößen.....	58
3.1.1 Die Exponentialverteilung.....	58
3.1.2 Die Weibull-Verteilung.....	63
3.1.3 Die spezielle Erlang-Verteilung	73

3.1.4	Die Normalverteilung.....	78
3.1.5	Die logarithmische Normalverteilung.....	82
3.1.6	Asymptotische Extremwertverteilung.....	88
3.2	Einige wichtige diskrete Verteilungsfunktionen.....	96
3.2.1	Die Binomialverteilung	96
3.2.2	Die Poisson-Verteilung	100
3.2.3	Die hypergeometrische Verteilung	103
3.3	Abszissentransformationen	109
4	Ausfallratenmodelle	111
4.1	Datenhandbücher	113
4.2	Konstante Ausfallrate.....	117
4.3	Zeitlich linear abhängige Ausfallrate	117
4.4	Durchschnittliche Ausfallrate.....	126
4.5	Zeitliche Schwankungen der Ausfallrate	129
II	Zuverlässigkeit- und Sicherheitsplanung	131
5	Sicherheits- und Zuverlässigkeitmanagement	132
5.1	Zuverlässigkeitsprogrammplan	133
5.2	Zuverlässigkeitshandbuch	140
5.3	Der sicherheitstechnische Prozess.....	142
5.3.1	Der sicherheitstechnische Prozess in der zivilen Luftfahrtindustrie	142
5.3.2	Der funktionale Sicherheitsprozess in der Automobilindustrie.....	155
6	Zuverlässigkeitssanalyse einfacher Systemstrukturen	169
6.1	Graphische Darstellung von Systemkonfigurationen.....	170
6.1.1	Zuverlässigkeit-Blockschaltbild	170
6.1.2	Fehler- oder Funktionsbäume - dargestellt durch logische Symbole der Booleschen Algebra.....	171
6.1.3	Zustandsdiagramme (Zustandsübergangsgraphen)	171
6.2	Das logische Seriensystem.....	172
6.3	Das logische Parallelsystem.....	174
6.4	Das Parallel-Seriensystem.....	179
6.5	Die Brückenkonfiguration.....	182
6.6	Berücksichtigung mehrerer Ausfallarten	186
6.6.1	Das logische Seriensystem bei zwei Ausfallarten.....	189
6.6.2	Das logische Parallelsystem bei zwei Ausfallarten	190

6.6.3	Das logische Parallel- Seriensystem bei zwei Ausfallarten	192
6.6.4	Beliebige Konfigurationen.....	197
7	Zuverlässigkeitserhöhung in Planung und Praxis.....	200
7.1	Allgemeine Maßnahmen zur Zuverlässigkeitserhöhung.....	200
7.2	Begriff und Definition der Redundanz.....	204
7.3	Redundanzarten, Grundprinzipien	206
7.4	Die aktive Redundanz	207
7.5	Das mvn-System	207
7.6	Das nvn-System	213
7.7	Das Standby-System (passive Redundanz).....	217
8	Boolesche Modellbildung.....	222
8.1	Begriffe und Regeln der Booleschen Algebra.....	222
8.1.1	Die Boolesche Funktion.....	222
8.1.2	Die Grundverknüpfungen.....	224
8.1.3	Axiome der Booleschen Algebra	228
8.1.4	Das Karnaugh-Veitch-Diagramm	230
8.1.5	Kanonische Darstellung von Booleschen Funktionen.....	232
8.1.6	Shannonsche Zerlegung	240
8.1.7	Die Boolesche Funktion mit reellen Variablen	243
8.2	Die Systemfunktion.....	245
8.3	Einführung von Wahrscheinlichkeiten.....	249
8.4	Die Fehlerbaumanalyse.....	251
8.4.1	Einführung.....	251
8.4.2	Darstellung monotoner Strukturen durch Minimalpfade und Minimalschnitte.....	256
8.4.3	Quantitative Fehlerbaumauswertung.....	261
8.5	Importanzkenngrößen	272
8.5.1	Die strukturelle Importanz	272
8.5.2	Die marginale Importanz.....	276
8.5.3	Die fraktionale Importanz	279
8.5.4	Die Barlow-Proshan-Importanz.....	280
8.6	Bestimmung der mittleren Häufigkeit von Systemausfällen sowie der mittleren Ausfall- und Betriebsdauer.....	283
8.7	Die induktive Zuverlässigkeit- und Sicherheitsanalyse.....	288
9	Zuverlässigkeitssbewertung mit Hilfe der Fuzzy-Logik	290
9.1	Grundlagen der Fuzzy-Logik	291
9.1.1	Verknüpfung unscharfer Mengen.....	295

9.1.2	Fuzzy-Relation	297
9.1.3	Erweiterungsprinzip	302
9.2	Prinzipieller Ablauf einer Fuzzy-Anwendung	304
9.2.1	Fuzzifizierung	304
9.2.2	Fuzzy-Inferenz	305
9.2.3	Defuzzifizierung.....	306
9.3	Anwendung der Fuzzy-Logik bei der FMEA	312
9.3.1	Eingangsgrößen.....	312
9.3.2	Fuzzifizierung	315
9.3.3	Die Verarbeitungsregeln	319
9.3.4	Berechnung der Zugehörigkeitsgrade	320
9.3.5	Defuzzifizierung.....	322
9.4	Die Fuzzy-Fehlerbaumanalyse.....	323
9.4.1	Das Fuzzy-Modell.....	323
9.4.2	Praktisches Anwendungsbeispiel	328
10	Einführung in die stochastischen Prozesse	332
10.1	Beurteilungskriterien stochastischer Prozesse	335
10.1.1	Definitionsspezifische Beurteilungskriterien	335
10.1.1.1	Markov-Bedingungen	335
10.1.1.2	Regenerationspunkte des Prozesses	336
10.1.2	Anwendungsspezifische Beurteilungskriterien	336
10.1.2.1	Akzeptanz von stochastischen Abhängigkeiten zwischen den Elementen des Prozesses	336
10.1.2.2	Anwendbare Verteilungsfunktionen der Zufallszeiten....	337
10.1.3	Klassifizierung stochastischer Prozesse anhand der Beurteilungskriterien.....	338
10.2	Analysemöglichkeiten eines Parallelsystems mit zwei identischen Einheiten.	341
11	Markovsche Modellbildung.....	350
11.1	Der Markovsche Prozess mit diskretem Parameterbereich und endlich vielen Zuständen (Markov-Kette)	350
11.1.1	Zustandsgleichung.....	350
11.1.2	Zustandklassen	354
11.1.3	Die absorbierende homogene Markov-Kette	356
11.1.4	Ergodensatz für Markovsche Ketten	361
11.2	Der Markovsche Prozess mit kontinuierlichem Parameterraum und diskretem Zustandsraum.....	364
11.2.1	Zustandsgleichungen.....	364
11.2.2	Laplace-Transformation der Zustandsgleichung.....	373

11.3	Der Semi-Markov-Prozess	382
11.3.1	Einführung.....	382
11.3.2	Definition und Grundbegriffe.....	383
11.3.3	Der absorbierende Semi-Markov-Prozess.....	392
11.3.4	Der ergodische Semi-Markov-Prozess	398
12	Monte - Carlo - Simulation.....	404
12.1	Einführung	404
12.2	Grundlagen der Monte-Carlo-Simulation	406
12.3	Generierung von Zufallszahlen.....	409
12.4	Methoden zur Generierung beliebig verteilter Funktionen	413
12.5	Direkte Monte-Carlo-Simulation	418
12.5.1	Generierung eines Zustandsüberganges	418
12.5.2	Last-Event-Schätzer	420
12.5.3	Free-Flight-Schätzer.....	420
12.6	Anwendungsbeispiel	424
13	Zuverlässigkeitssbewertung mit Hilfe der Graphentheorie.....	432
13.1	Gerichteter Graph.....	433
13.1.1	Einige Grundbegriffe.....	433
13.1.2	Lineare Flussgraphen	436
13.1.3	Auswertung der linearen Flussgraphen mit Hilfe der Mason-Formel	440
13.2	Anwendung der linearen Flussgraphen auf diskrete Markov-Prozesse.....	443
13.2.1	Inhomogene Prozessdarstellung	443
13.2.2	Homogene Prozessdarstellung	445
13.2.3	Asymptotisches Verhalten.....	448
13.2.4	Erwartungswert und Eintrittswahrscheinlichkeit	448
13.3	Anwendung der linearen Flussgraphen auf stetige Markov-Prozesse.....	449
III	Zuverlässigkeitssprüfung	461
14	Stichprobenverteilung.....	462
14.1	Stichprobenverteilung des Mittelwertes.....	462
14.2	Stichprobenverteilung der Varianz	467
14.3	Stichprobenverteilung der Mittelwerte bei unbekannter Varianz ..	468
14.4	Stichprobenverteilung für die Differenz und Summe zweier arithmetischer Mittelwerte	469
14.5	Stichprobenverteilung des Quotienten zweier Varianzen	471

15 Grenzwertsätze und Gesetze der großen Zahlen	472
15.1 Grenzwertsätze und Approximationen.....	472
15.1.1 Approximation der Binomialverteilung durch die Poisson-Verteilung	472
15.1.2 Approximation der hypergeometrischen Verteilung durch eine Binomialverteilung	472
15.1.3 Approximation der Poisson-Verteilung durch eine Normalverteilung	473
15.1.4 Approximation der Binomialverteilung durch die Normalverteilung	473
15.1.5 Approximation der hypergeometrischen Verteilung durch die Normalverteilung	475
15.1.6 Zentraler Grenzwertsatz	475
15.2 Gesetz der großen Zahlen.....	477
15.2.1 Tschebyscheffsche Ungleichung	477
15.2.2 Satz von Bernoulli.....	479
16 Statistische Schätzung von Parametern	480
16.1 Eigenschaften von Schätzfunktionen	480
16.2 Vertrauensintervalle	482
16.3 Konfidenzintervall für den Erwartungswert und der Varianz bei normalverteilter Grundgesamtheit und Bestimmung des Stichprobenumfangs.....	484
16.3.1 Konfidenzintervall für den Erwartungswert	484
16.3.2 Konfidenzintervall für die Varianz.....	490
16.3.3 Bestimmung des Stichprobenumfangs	490
16.4 Die Maximum-Likelihood-Methode (M-L-M)	495
16.4.1 Maximum-Likelihood-Schätzer für die Parameter der Binomial- und Poisson-Verteilung	498
16.4.2 Maximum-Likelihood-Schätzer für den Parameter einer Exponentialfunktion	500
16.4.3 Maximum-Likelihood-Schätzer für die Parameter der Normal- und Lognormalverteilung	500
16.4.4 Maximum-Likelihood-Schätzer für die Parameter der Weibull-Verteilung.....	501
16.5 Maximum-Likelihood-Methode bei zensierter und gestutzter Stichprobe	505
16.6 Die Momentenmethode	515
16.6.1 Momentenschätzer für den Parameter einer Exponentialverteilung.....	519

16.6.2	Momentenschätzer für die Parameter einer Lognormalverteilung.....	520
16.6.3	Der Momentenschätzer für die Weibull-Verteilung.....	521
16.7	Lineare Regression und die Methode der kleinsten Quadrate.....	521
17	Bestimmung des Verteilungstyps.....	525
17.1	Wahrscheinlichkeitsnetz der Weibull-Verteilung	525
17.1.1	Konstruktion des Wahrscheinlichkeitsnetzes.....	525
17.1.2	Gebrauchsanweisung für das Wahrscheinlichkeitsnetz der Weibull-Verteilung nach Stange und Gumbel (DGQ -Lebensdauernetz)	527
17.2	Test zur Überprüfung des Verteilungstyps - Anpassungstest	535
17.2.1	Der Chi-Quadrat-Anpassungstest.....	536
17.2.2	Der Kolmogorov-Smirnov-Test (K-S-T)	544
17.3	Vergleich der beiden Anpassungstests.....	551
18	Test- und Prüfplanung.....	552
18.1	Statistische Verfahren	556
18.1.1	Der Binomialprüfplan als attributiver Abnahmeprüfplan	556
18.1.2	Sequentialprüfung	559
18.1.3	Success-Run	564
18.1.4	Sudden-Death.....	569
18.1.5	Lebensdauertests	576
18.1.6	End-of-Life-Tests	579
18.2	Laststeigerung zur Reduzierung des Prüfaufwandes	580
18.2.1	Temperaturabhängigkeit nach Arrhenius	580
18.2.2	Temperatur-Feuchte-Abhängigkeit nach Eyring	582
18.2.3	Mechanische Belastung nach Wöhler	583
18.2.4	Temperaturwechsel nach Coffin-Manson	585
18.2.5	HALT und HASS	587
18.3	Zusammenfassung von Versuchsergebnissen	590
19	Zuverlässigkeitssprognosen für mechatronische Systeme im Kraftfahrzeug bei nicht vollständigen Daten.....	592
19.1	Einleitung	593
19.2	Fahrleistungsprognosen	595
19.3	Ausfallmodell.....	600
19.4	Zuverlässigkeitssprognose.....	601
19.4.1	Bestimmung der Anwärter	601
19.4.2	Km-abhängige Lebensdauerprognosen	602
19.4.3	Zeitabhängige Lebensdauerprognosen.....	603

19.5	Zuverlässigkeitssprognose für zeitnahe Garantiedaten.....	605
19.5.1	Einfluss Zulassungsverzug	606
19.5.2	Einfluss Meldeverzug.....	607
19.5.3	Korrigierte Berechnung der Anwärter.....	608
19.5.4	Gesamtmodell für zeitnahe Garantiedaten	609
19.6	Weitere Anwendungsbereiche	611
19.6.1	Verifizierung von Kundenaktionen.....	611
19.6.2	Serienersatzbedarf.....	612
19.6.3	Endbevorratungsmengen	613
19.6.4	Berechnung von Kosten bei Garantieerweiterung.....	614
19.6.5	Sonstige Anwendungsmöglichkeiten	615
20	Neuronale Netze	616
20.1	Grundlagen.....	617
20.1.1	Das biologische Paradigma	617
20.1.2	Aufbau und Arbeitweise eines künstlichen Neurons.....	618
20.1.3	Aufbau eines neuronalen Netzes	623
20.1.4	Arbeitsweise neuronaler Netze.....	625
20.2	Anwendung in der technischen Zuverlässigkeit.....	629
20.2.1	Neuronale Schätzung der Parameter einer Verteilungsfunktion.....	630
20.2.2	Neuronale Zuverlässigkeitssprognose	634
21	Literaturverzeichnis.....	639
22	Zuverlässigkeit- und sicherheitsrelevante Zeitschriften - www-Adressen.....	645
23	Softwareanbieter und Kontakte.....	647
Anhang	652	
Stichwortverzeichnis	661	