



## Inhaltsverzeichnis

Arno Meyna, Bernhard Pauli

Zuverlässigkeitstechnik

Quantitative Bewertungsverfahren

ISBN: 978-3-446-41966-7

Weitere Informationen oder Bestellungen unter

<http://www.hanser.de/978-3-446-41966-7>

sowie im Buchhandel.

# Inhaltsverzeichnis

<b>Vorwort</b> .....	V
<b>Vorwort zur ersten Auflage</b> .....	VI
<b>Inhaltsverzeichnis</b> .....	IX
<b>Einführung</b> .....	XVII
<b>I Grundlagen</b> .....	1
<b>1 Mathematische Grundlagen aus der Wahrscheinlichkeitsrechnung</b> ....	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
<b>2 Zuverlässigkeits- und Sicherheitskenngrößen</b> .....	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
<b>3 Einige wichtige Verteilungsfunktionen</b> .....	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	Abszissenttransformationen.....	109
<b>4</b>	<b>Ausfallratenmodelle.....</b>	<b>111</b>
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
<b>II</b>	<b>Zuverlässigkeits- und Sicherheitsplanung.....</b>	<b>131</b>
<b>5</b>	<b>Sicherheits- und Zuverlässigkeitsmanagement.....</b>	<b>132</b>
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
<b>6</b>	<b>Zuverlässigkeitsanalyse einfacher Systemstrukturen.....</b>	<b>169</b>
6.1	Graphische Darstellung von Systemkonfigurationen.....	170
6.1.1	Zuverlässigkeits-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
<b>7</b>	<b>Zuverlässigkeitserhöhung in Planung und Praxis</b> .....	<b>200</b>
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
<b>8</b>	<b>Boolesche Modellbildung</b> .....	<b>222</b>
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-Proschan-Importanz .....	280
8.6	Bestimmung der mittleren Häufigkeit von Systemausfällen sowie der mittleren Ausfall- und Betriebsdauer .....	283
8.7	Die induktive Zuverlässigkeits- und Sicherheitsanalyse .....	288
<b>9</b>	<b>Zuverlässigkeitsbewertung mit Hilfe der Fuzzy-Logik</b> .....	<b>290</b>
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
<b>10</b>	<b>Einführung in die stochastischen Prozesse .....</b>	<b>332</b>
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
<b>11</b>	<b>Markovsche Modellbildung .....</b>	<b>350</b>
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
<b>12</b>	<b>Monte - Carlo - Simulation</b> .....	<b>404</b>
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
<b>13</b>	<b>Zuverlässigkeitsbewertung mit Hilfe der Graphentheorie</b> .....	<b>432</b>
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
<b>III</b>	<b>Zuverlässigkeitsprüfung</b> .....	<b>461</b>
<b>14</b>	<b>Stichprobenverteilung</b> .....	<b>462</b>
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

<b>15 Grenzwertsätze und Gesetze der großen Zahlen</b> .....	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
<b>16 Statistische Schätzung von Parametern</b> .....	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 Exponential- verteilung.....	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
<b>17</b>	<b>Bestimmung des Verteilungstyps.....</b>	<b>525</b>
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
<b>18</b>	<b>Test- und Prüfplanung.....</b>	<b>552</b>
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
<b>19</b>	<b>Zuverlässigkeitsprognosen für mechatronische Systeme im Kraftfahrzeug bei nicht vollständigen Daten.....</b>	<b>592</b>
19.1	Einleitung.....	593
19.2	Fahrleistungsprognosen.....	595
19.3	Ausfallmodell.....	600
19.4	Zuverlässigkeitsprognose.....	601
19.4.1	Bestimmung der Anwärter.....	601
19.4.2	Km-abhängige Lebensdauerprognosen.....	602
19.4.3	Zeitabhängige Lebensdauerprognosen.....	603



---

19.5	Zuverlässigkeitsprognose 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	Seriensatzbedarf.....	612
19.6.3	Endbevorratungsmengen.....	613
19.6.4	Berechnung von Kosten bei Garantieverlängerung.....	614
19.6.5	Sonstige Anwendungsmöglichkeiten .....	615
<b>20</b>	<b>Neuronale Netze .....</b>	<b>616</b>
20.1	Grundlagen.....	617
20.1.1	Das biologische Paradigma .....	617
20.1.2	Aufbau und Arbeitsweise 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 Zuverlässigkeitsprognose .....	634
<b>21</b>	<b>Literaturverzeichnis.....</b>	<b>639</b>
<b>22</b>	<b>Zuverlässigkeits- und sicherheitsrelevante Zeitschriften - www-Adressen.....</b>	<b>645</b>
<b>23</b>	<b>Softwareanbieter und Kontakte.....</b>	<b>647</b>
<b>Anhang</b> .....		<b>652</b>
<b>Stichwortverzeichnis</b> .....		<b>661</b>