

Inhalt

Vorwort	XVII
Das Institut für Qualitäts- und Zuverlässigkeitsmanagement (IQZ)	XIX
Teil I: Essenzielle Anforderungen an die Sicherheits- und Zuverlässigkeitstechnik	1
1 Herausforderungen für Staat, Gesellschaft und Unternehmen	3
1.1 Fragmente der Explikation der Sicherheits- und Zuverlässigkeitstechnik	3
1.2 Aktuelle Herausforderungen	11
2 Zuverlässigkeit bei Haftungs- und Gewährleistungsfragen ...	17
2.1 Haftungsgrundlage	17
2.1.1 Außervertragliche Haftung	18
2.1.2 Vertragliche Haftung	19
2.1.3 Stand der Technik	20
2.1.4 Gewährleistungsmanagement zwischen Unternehmen	21
2.2 Schadteilanalyse Feld und No-Trouble-Found-Prozess	23
3 Normative Anforderungen in der Sicherheits- und Zuverlässigkeitstechnik	26
3.1 Einleitung zu normativen Anforderungen im rechtlichen Kontext	26
3.2 Überblick über die Begrifflichkeiten: Safety, Security und Reliability ..	31

Teil II: Zuverlässigkeit im Produktentstehungsprozess	37
4 Zuverlässigkeit im Produktentwicklungsprozess	39
4.1 Zuverlässigkeitsprozess	39
4.2 Bereiche, Rollen und Verantwortlichkeiten	46
4.3 Wirtschaftlichkeitsaspekte und Zuverlässigkeitsziele	48
4.4 Reifegrad, Musterstände und Freigabeprozesse in der Automobilindustrie	51
5 Funktionale Sicherheit im Produktentwicklungsprozess	55
5.1 Der sicherheitstechnische Prozess	55
5.1.1 Allgemeine Einführung in die Funktionale Sicherheit	55
5.1.2 Die Sicherheitsgrundnorm IEC 61508	58
5.1.3 Der sicherheitstechnische Prozess in der zivilen Luftfahrtindustrie	62
5.1.4 Funktionale Sicherheit für Straßenfahrzeuge	74
5.2 Unterstützende und begleitende Prozesse als Grundvoraussetzung für die Funktionale Sicherheit	91
6 Datenquellen und -management	100
6.1 Rohdatenerfassung und -management	101
6.2 Nutzungsdaten	101
6.3 Felddaten	102
6.4 Datenschutz am Beispiel Automotive	105
7 Nutzungs- und belastungsabhängige Produktentwicklung ...	108
7.1 User Experience, Marktanalysen und Use Cases	110
7.2 Kundencluster und -profilerstellung	112
7.3 Design for Reliability, nutzungs- und belastungsabhängige Zuverlässigkeit	113
Teil III: Grundlagen der Zuverlässigkeits- und Sicherheitsanalyse ..	115
8 Mathematische Grundlagen aus der Wahrscheinlichkeitsrechnung	117
8.1 Mengenalgebra	117
8.1.1 Grundbegriffe und Definitionen	117

8.1.2	Mengenoperationen	118
8.2	Grundbegriffe der Wahrscheinlichkeitsrechnung	120
8.2.1	Wahrscheinlichkeitsbegriff	120
8.2.2	Axiomsystem von Kolmogorov	121
8.2.3	Die bedingte Wahrscheinlichkeit	124
8.2.4	Unabhängige Ereignisse	126
8.2.5	Regel von der totalen Wahrscheinlichkeit	126
8.2.6	Satz von Bayes	127
8.3	Zufallsgrößen und ihre Wahrscheinlichkeitsverteilung	129
8.3.1	Grundbegriffe	129
8.3.2	Erwartungswert und Momente einer Verteilungsfunktion	133
8.3.3	Quantil, Median und Modalwert	138
9	Zuverlässigkeits- und Sicherheitskenngrößen	141
9.1	Zuverlässigkeitskenngrößen nicht reparierbarer Systeme	141
9.2	Empirische Zuverlässigkeitskenngrößen und weitere Zuverlässigkeitsmerkmale	150
9.3	Zuverlässigkeitskenngrößen reparierbarer Systeme, Instandhaltung	153
9.4	Sicherheitskenngrößen	156
10	Wichtige Verteilungsfunktionen	160
10.1	Wichtige Lebensdauerverteilungen und ihre Zuverlässigkeitskenngrößen	160
10.1.1	Exponentialverteilung	160
10.1.2	Weibull-Verteilung	164
10.1.3	Die spezielle Erlang-Verteilung	172
10.1.4	Die Normalverteilung	176
10.1.5	Die logarithmische Normalverteilung	179
10.1.6	Asymptotische Extremwertverteilung	184
10.2	Wichtige diskrete Verteilungsfunktionen	190
10.2.1	Binomialverteilung	190
10.2.2	Poisson-Verteilung	193
10.2.3	Hypergeometrische Verteilung	195

11	Ausfallratenmodelle	201
11.1	Zeitliches Verhalten der Ausfallrate	201
11.2	Ausfallratenangaben	202
11.3	Ausfallratendatenhandbücher	204
11.4	Ausfallratenmodelle	207
11.5	Zeitliche Schwankungen der Ausfallrate	214
Teil IV: Methoden der Zuverlässigkeits- und Sicherheitsanalyse ...		217
12	Einführung in die Methoden der Zuverlässigkeits- und Sicherheitstechnik	219
12.1	Allgemeine Einführung	219
12.2	Methodenvergleich	223
13	Zuverlässigkeitsanalyse einfacher Systemstrukturen	229
13.1	Grafische Darstellung von Systemkonfigurationen	230
13.1.1	Zuverlässigkeits-Blockschaltbild	230
13.1.2	Fehler- oder Funktionsbäume: Darstellung mithilfe logischer Symbole der Booleschen Algebra	230
13.1.3	Zustandsdiagramme (Zustandsübergangsgraphen)	231
13.2	Logisches Seriensystem	232
13.3	Logisches Parallelsystem	233
13.4	Parallel-Seriensystem	237
13.5	Brückenkonfiguration	239
13.6	Berücksichtigung mehrerer Ausfallarten	242
13.6.1	Logisches Seriensystem bei zwei Ausfallarten	244
13.6.2	Logisches Parallelsystem bei zwei Ausfallarten	245
13.6.3	Logisches Parallel-Seriensystem bei zwei Ausfallarten	247
13.6.4	Beliebige Konfigurationen	250
14	Zuverlässigkeitserhöhung in Planung und Praxis	252
14.1	Allgemeine Maßnahmen zur Zuverlässigkeitserhöhung	252
14.2	Begriff und Definition der Redundanz	255
14.3	Redundanzarten, Grundprinzipien	256
14.4	Aktive Redundanz	257

14.5	mvn-System	258
14.6	nvn-System	262
14.7	Standby-System – passive Redundanz	265
15	Systembetrachtung	269
15.1	Begriffliche Exemplifikationen	269
15.2	Technisches System	270
15.3	Elektrik/Elektronik/Software-Systemarchitekturen	272
15.4	Ausfallverhalten von Elektrik/Elektronik/Software-Konfigurationen	273
16	Boolesche Modellbildung	275
16.1	Begriffe und Regeln der Booleschen Algebra	275
16.1.1	Die Boolesche Funktion	275
16.1.2	Grundverknüpfungen	277
16.1.3	Axiome der Booleschen Algebra	280
16.1.4	Karnaugh-Veitch-Diagramm	282
16.1.5	Kanonische Darstellung von Booleschen Funktionen	284
16.1.6	Shannonsche Zerlegung	290
16.1.7	Die Boolesche Funktion mit reellen Variablen	292
16.2	Die Systemfunktion	294
16.3	Einführung von Wahrscheinlichkeiten	297
16.4	Fehlerbaumanalyse	299
16.4.1	Einführung	299
16.4.2	Darstellung monotoner Strukturen durch Minimalpfade und Minimalschnitte	302
16.4.3	Quantitative Fehlerbaumauswertung	306
16.5	Importanzkenngrößen	315
16.5.1	Strukturelle Importanz	315
16.5.2	Marginale Importanz	318
16.5.3	Fraktionale Importanz	320
16.5.4	Barlow-Proschan-Importanz	321
16.6	Bestimmung der mittleren Häufigkeit von Systemausfällen sowie der mittleren Ausfall- und Betriebsdauer	324
16.7	Induktive Zuverlässigkeits- und Sicherheitsanalyse	327

17	Zuverlässigkeitsbewertung mithilfe der Fuzzy-Logik	330
17.1	Grundlagen der Fuzzy-Logik	331
17.1.1	Verknüpfung unscharfer Mengen	334
17.1.2	Fuzzy-Relation	336
17.1.3	Erweiterungsprinzip	340
17.2	Prinzipieller Ablauf einer Fuzzy-Anwendung	341
17.2.1	Fuzzifizierung	342
17.2.2	Fuzzy-Inferenz	342
17.2.3	Defuzzifizierung	343
17.3	Anwendung der Fuzzy-Logik bei der FMEA	348
17.3.1	Eingangsgrößen	348
17.3.2	Fuzzifizierung	351
17.3.3	Verarbeitungsregeln	354
17.3.4	Berechnung der Zugehörigkeitsgrade	355
17.3.5	Defuzzifizierung	357
17.4	Fuzzy-Fehlerbaumanalyse	357
17.4.1	Das Fuzzy-Modell	358
17.4.2	Praktisches Anwendungsbeispiel	362
18	Einführung in die stochastischen Prozesse	366
18.1	Beurteilungskriterien stochastischer Prozesse	368
18.1.1	Definitionsspezifische Beurteilungskriterien	369
18.1.1.1	Markov-Bedingungen	369
18.1.1.2	Regenerationspunkte des Prozesses	369
18.1.2	Anwendungsspezifische Beurteilungskriterien	370
18.1.2.1	Akzeptanz von stochastischen Abhängigkeiten zwischen den Elementen des Prozesses	370
18.1.2.2	Anwendbare Verteilungsfunktionen der Zufallszeiten	370
18.1.3	Klassifizierung stochastischer Prozesse anhand der Beurteilungskriterien	371
18.2	Analysemöglichkeiten eines Parallelsystems mit zwei identischen Einheiten	373

19	Markovsche Modellbildung	380
19.1	Der Markovsche Prozess mit diskretem Parameterbereich und endlich vielen Zuständen (Markov-Kette)	380
19.1.1	Zustandsgleichung	380
19.1.2	Zustandsklassen	383
19.1.3	Die absorbierende homogene Markov-Kette	385
19.1.4	Ergodensatz für Markovsche Ketten	389
19.2	Der Markovsche Prozess mit kontinuierlichem Parameterraum und diskretem Zustandsraum	392
19.2.1	Zustandsgleichungen	392
19.2.2	Laplace-Transformation der Zustandsgleichung	398
19.3	Der Semi-Markov-Prozess	405
19.3.1	Einführung	405
19.3.2	Definition und Grundbegriffe	405
19.3.3	Der absorbierende Semi-Markov-Prozess	412
19.3.4	Der ergodische Semi-Markov-Prozess	416
20	Monte-Carlo-Simulation	421
20.1	Einführung	421
20.2	Grundlagen der Monte-Carlo-Simulation	423
20.3	Generierung von Zufallszahlen	425
20.4	Methoden zur Generierung beliebig verteilter Funktionen	429
20.5	Direkte Monte-Carlo-Simulation	432
20.5.1	Generierung eines Zustandsübergangs	432
20.5.2	Last-Event-Schätzer	434
20.5.3	Free-Flight-Schätzer	434
20.6	Anwendungsbeispiel	437
21	Zuverlässigkeitsbewertung mithilfe der Graphentheorie	444
21.1	Gerichteter Graph	445
21.1.1	Einige Grundbegriffe	445
21.1.2	Lineare Flussgraphen	447
21.1.3	Auswertung der linearen Flussgraphen mithilfe der Mason-Formel	450

21.2	Anwendung der linearen Flussgraphen auf diskrete Markov-Prozesse	453
21.2.1	Inhomogene Prozessdarstellung	453
21.2.2	Homogene Prozessdarstellung	454
21.2.3	Asymptotisches Verhalten	457
21.2.4	Erwartungswert und Eintrittswahrscheinlichkeit	457
21.3	Anwendung der linearen Flussgraphen auf stetige Markov-Prozesse	458
22	Neuronale Netze	466
22.1	Grundlagen	467
22.1.1	Das biologische Paradigma	467
22.1.2	Aufbau und Arbeitsweise eines künstlichen Neurons	468
22.1.3	Aufbau eines neuronalen Netzes	472
22.1.4	Arbeitsweise neuronaler Netze	473
22.2	Anwendung in der technischen Zuverlässigkeit	477
22.2.1	Neuronale Schätzung der Parameter einer Verteilungsfunktion	477
22.2.2	Neuronale Zuverlässigkeitsprognose	481
Teil V:	Zuverlässigkeitsprüfung und -bewertung	487
23	Stichprobenverteilung	489
23.1	Stichprobenverteilung des Mittelwertes	489
23.2	Stichprobenverteilung der Varianz	493
23.3	Stichprobenverteilung der Mittelwerte bei unbekannter Varianz	494
23.4	Stichprobenverteilung für die Differenz und Summe zweier arithmetischer Mittelwerte	495
23.5	Stichprobenverteilung des Quotienten zweier Varianzen	497
24	Grenzwertsätze und Gesetze der großen Zahlen	498
24.1	Grenzwertsätze und Approximationen	498
24.1.1	Approximation der Binomialverteilung durch die Poisson-Verteilung	498
24.1.2	Approximation der hypergeometrischen Verteilung durch eine Binomialverteilung	498
24.1.3	Approximation der Poisson-Verteilung durch eine Normalverteilung	499

24.1.4	Approximation der Binomialverteilung durch die Normalverteilung	499
24.1.5	Approximation der hypergeometrischen Verteilung durch die Normalverteilung	500
24.1.6	Zentraler Grenzwertsatz	501
24.2	Gesetz der großen Zahlen	502
24.2.1	Tschebyscheffsche Ungleichung	502
24.2.2	Satz von Bernoulli	504
25	Statistische Schätzung von Parametern	505
25.1	Eigenschaften von Schätzfunktionen	505
25.2	Vertrauensintervalle	507
25.3	Konfidenzintervall für den Erwartungswert und die Varianz bei normalverteilter Grundgesamtheit und Bestimmung des Stichprobenumfangs	508
25.3.1	Konfidenzintervall für den Erwartungswert	508
25.3.2	Konfidenzintervall für die Varianz	512
25.3.3	Bestimmung des Stichprobenumfangs	513
25.4	Die Maximum-Likelihood-Methode (M-L-M)	517
25.4.1	Maximum-Likelihood-Schätzer für die Parameter der Binomial- und Poisson-Verteilung	520
25.4.2	Maximum-Likelihood-Schätzer für den Parameter einer Exponentialverteilung	521
25.4.3	Maximum-Likelihood-Schätzer für die Parameter der Normal- und Lognormalverteilung	521
25.4.4	Maximum-Likelihood-Schätzer für die Parameter der Weibull-Verteilung	521
25.5	Maximum-Likelihood-Methode bei zensierter und gestutzter Stichprobe	524
25.6	Die Momentenmethode	532
25.6.1	Momentenschätzer für den Parameter einer Exponentialverteilung	534
25.6.2	Momentenschätzer für die Parameter einer Lognormalverteilung	536
25.6.3	Momentenschätzer für die Parameter einer Weibull-Verteilung	536
25.7	Lineare Regression und die Methode der kleinsten Quadrate	536

26	Bestimmung des Verteilungstyps	539
26.1	Wahrscheinlichkeitsnetz der Weibull-Verteilung	539
26.1.1	Konstruktion des Wahrscheinlichkeitsnetzes	539
26.1.2	Gebrauchsanweisung für das Wahrscheinlichkeitsnetz der Weibull-Verteilung nach Stange und Gumbel (DGQ-Lebensdauernetz)	540
26.2	Tests zur Überprüfung des Verteilungstyps – Anpassungstests	547
26.2.1	Der Chi-Quadrat-Anpassungstest	547
26.2.2	Der Kolmogorov-Smirnov-Test (K-S-T)	552
26.3	Vergleich der beiden Anpassungstests	559
27	Test- und Prüfplanung – Testverfahren	560
27.1	Statistische Verfahren	564
27.1.1	Der Binomialprüfplan als attributiver Abnahmeprüfplan	564
27.1.2	Sequenzialprüfung	566
27.1.3	Success Run	569
27.1.4	Sudden-Death	574
27.1.5	Vorwissen und Test	581
27.1.6	End-of-Life-Test	581
27.2	Beschleunigte Lebensdauertests	583
27.2.1	Das Arrhenius-Modell	583
27.2.2	Das Eyring-Modell und dessen Modifikation	584
27.2.3	Das Peck-Modell	585
27.2.4	Dauerschwingversuch nach Wöhler	586
27.2.5	Hochbeschleunigte Testmethoden	590
28	Felddatenanalyse	593
28.1	Allgemeine Einführung	593
28.2	Schichtliniendiagramme und Beanstandungsverläufe	596
28.3	Zuverlässigkeitsprognosen für mechatronische Systeme in Kraftfahrzeugen bei nicht vollständigen Daten	604
28.3.1	Zuverlässigkeitsprognosen für Systeme im Kraftfahrzeug während der Nutzungsphase	604
28.3.2	Zuverlässigkeitsprognosen für zeitnahe Garantiedaten	610

Literaturverzeichnis	616
Anhang A	631
Anhang B	649
Anhang C	655
Anhang D	657
Anhang E	660
Index	665

Der Verlag und die Autoren haben sich mit der Problematik einer gendergerechten Sprache intensiv beschäftigt. Um eine optimale Lesbarkeit und Verständlichkeit sicherzustellen, wird in diesem Werk auf Gendersternchen und sonstige Varianten verzichtet; diese Entscheidung basiert auf der Empfehlung des Rates für deutsche Rechtschreibung. Grundsätzlich respektieren der Verlag und die Autoren alle Menschen unabhängig von ihrem Geschlecht, ihrer Sexualität, ihrer Hautfarbe, ihrer Herkunft und ihrer nationalen Zugehörigkeit.