

# **Handbuch zur Berechnung der Zuverlässigkeit für Ingenieure**

von **B. A. Koslow**  
und **I. A. Uschakow**

In deutscher Sprache herausgegeben und ergänzt  
von **Kurt Reinschke**

Mit 158 Abbildungen und 188 Tabellen

**CARL HANSER VERLAG MÜNCHEN WIEN 1979**

# INHALTSVERZEICHNIS

Einführung . . . . .	1
<b>1. Bezeichnungen und Begriffe der Zuverlässigkeit. Zuverlässigkeitskenngrößen . . . . .</b>	<b>9</b>
1.1. Grundlegende Bezeichnungen und Begriffe der Zuverlässigkeit . . . . .	9
1.1.0. Vorbemerkungen . . . . .	9
1.1.1. Allgemeine Begriffe . . . . .	9
1.1.2. Klassifizierung der Ausfälle . . . . .	13
1.1.3. Redundanz (Reservierung) . . . . .	15
1.1.4. Kenngrößen der Ausfallfreiheit und der Reparaturfähigkeit . . . . .	17
1.1.5. Kenngrößen der Langlebigkeit und der Lagerungsfähigkeit (Haltbarkeit) . . . . .	20
1.2. Mathematische Definition der grundlegenden Zuverlässigkeitskenngrößen für Objekte ohne Erneuerung . . . . .	21
1.2.0. Vorbemerkungen . . . . .	21
1.2.1. Grundlegende Zuverlässigkeitskenngrößen . . . . .	22
1.3. Mathematische Definition grundlegender Zuverlässigkeitskenngrößen für Objekte mit Erneuerung . . . . .	27
1.3.0. Vorbemerkungen . . . . .	27
1.3.1. Grundlegende Zuverlässigkeitskenngrößen . . . . .	28
1.3.2. Spezielle Kenngrößen . . . . .	39
Literatur . . . . .	43
<b>2. Zuverlässigkeit eines Elements . . . . .</b>	<b>45</b>
2.0. Vorbemerkungen . . . . .	45
2.1. Element ohne Erneuerung . . . . .	45
2.1.1. Beliebige Wahrscheinlichkeitsverteilung der Arbeitszeit . . . . .	45
2.1.2. Zur numerischen Auswertung von experimentell ermittelten Versuchsergebnissen . . . . .	49
2.1.3. Exponentialverteilung . . . . .	52
2.1.4. Wahrscheinlichkeit der ausfallfreien Arbeit bei zufälliger Zeitdauer zur Aufgabenerfüllung . . . . .	53
2.1.5. „Alternde“ Verteilung . . . . .	55
2.2. Element mit Erneuerung . . . . .	60
2.2.0. Vorbemerkungen . . . . .	60
2.2.1. Beliebige Verteilungen der ausfallfreien Arbeitszeit und der Erneuerungszeit . . . . .	60
2.2.2. Exponentialverteilungen für Arbeitszeit und Erneuerungszeit . . . . .	62

2.3. Spezielle Kenngrößen für ein Element mit Erneuerung . . . . .	66
2.3.1. Wahrscheinlichkeit für eine vorgegebene kumulative Arbeitszeit während einer fixierten Kalenderzeit . . . . .	66
2.3.2. Wahrscheinlichkeit für das Vorhandensein eines vorgeschriebenen Mindestintervalls der ausfallfreien Arbeit innerhalb einer festgelegten kumulativen Arbeitszeit . . . . .	73
2.3.3. Wahrscheinlichkeit für das Vorhandensein eines vorgesehenen Mindestintervalls der ausfallfreien Arbeit innerhalb festgelegter Kalenderzeit. . . . .	75
2.3.4. Wahrscheinlichkeit für das Nichtvorhandensein eines unzulässig großen Stillstandsintervalls innerhalb festgelegter kumulativer Stillstandszeit . . . . .	75
2.3.5. Wahrscheinlichkeit für das Nichtvorhandensein eines unzulässig großen Stillstandsintervalls innerhalb festgelegter Kalenderzeit . . . . .	76
Literatur . . . . .	76
<b>3. Reservierung von Systemen ohne Erneuerung . . . . .</b>	<b>78</b>
3.0. Vorbemerkungen . . . . .	78
3.1. Beliebige Wahrscheinlichkeitsverteilung der Arbeitszeit bis zum Ausfall. . . . .	78
3.1.1. Reservierung eines Elements durch $n$ Reserveelemente, die im belasteten Regime arbeiten . . . . .	78
3.1.2. Reservierung eines Elements durch $n$ Reserveelemente, die im erleichterten Regime arbeiten . . . . .	82
3.1.3. Reservierung eines Elements durch $n$ Reserveelemente, die sich im unbelasteten Regime befinden . . . . .	85
3.2. Exponentialverteilung der Arbeitszeit bis zum Ausfall. „Tod-Prozeß“ . . . . .	88
3.3. Allgemeine Gesichtspunkte zur Reservierung von Systemen ohne Erneuerung . . . . .	93
3.4. Majoritätsorgane und Wertungsschaltungen . . . . .	97
3.5. Redundante Modifikationen logischer Schaltungen . . . . .	109
3.5.1. Grundgedanken und Begriffe . . . . .	109
3.5.2. Vierfach-Logik . . . . .	112
3.5.3. Verwendung redundant-modifizierter logischer Elemente . . . . .	113
Literatur . . . . .	117
<b>4. Reservierung mit Erneuerung . . . . .</b>	<b>119</b>
4.0. Vorbemerkungen . . . . .	119
4.1. Exponentialverteilungen der Arbeitszeit bis zum Ausfall und der Erneuerungszeit: „Geburt- und Tod-Prozeß“ . . . . .	121
4.2. Systeme mit „rascher“ Erneuerung und einige andere Spezialfälle . . . . .	157
Literatur . . . . .	163
<b>5. Einige spezielle Klassen von Systemen mit Erneuerung und Reserve . . . . .</b>	<b>165</b>
5.0. Vorbemerkungen . . . . .	165
5.1. Reserviertes System mit Erneuerung, das aus $n + 1$ Elementen mit unterschiedlichen Zuverlässigkeitsparametern besteht . . . . .	165
5.2. Reserviertes System mit Erneuerung, das aus abhängigen Elementen mit unterschiedlichen Zuverlässigkeitsparametern besteht . . . . .	167

5.3. System mit Erneuerung und „Kanal“-Zuverlässigkeit . . . . .	171
5.3.1. Aufgabenstellung . . . . .	171
5.3.2. Mittlere Laufzeit bis zum Ausfall eines herausgegriffenen Teilsystems eines Systems, das aus $N$ identischen Elementen besteht . . . . .	172
5.3.3. Stationäre Zuverlässigkeitskenngrößen des herausgegriffenen Teilsystems . . . . .	175
5.4. System mit Erneuerung bei Reserve ohne Erneuerung . . . . .	182
5.5. Bedienungssystem mit Verlusten der Forderungen im Falle beschränkter Zuverlässigkeit der Bedienungsgeräte . . . . .	185
5.5.1. Bedienungssystem, das aus $n$ Geräten besteht, die unabhängig voneinander ausfallen . . . . .	185
5.5.2. Bedienungssystem, das aus $n$ Geräten besteht, die gleichzeitig ausfallen . . . . .	188
Literatur . . . . .	188
<b>6. Seriensystem im Sinne der Zuverlässigkeit . . . . .</b>	<b>189</b>
6.0. Vorbemerkungen . . . . .	189
6.1. Seriensystem mit Elementen ohne Erneuerung . . . . .	189
6.1.1. Beliebige Verteilung der Arbeitszeit bis zum Ausfall . . . . .	189
6.1.2. Exponentialverteilung . . . . .	193
6.1.3. „Alternde“ Verteilung. . . . .	194
6.2. Seriensystem, das aus Elementen mit Erneuerung besteht. . . . .	196
6.2.0. Vorbemerkungen . . . . .	196
6.2.1. Exponentialverteilte Arbeitszeit und exponentialverteilte Erneuerungszeit der Elemente . . . . .	198
6.3. Seriensystem mit abhängigen Elementen . . . . .	205
Literatur . . . . .	207
<b>7. Berücksichtigung des Einflusses von Kontroll- und Umschaltvorrichtungen auf die Zuverlässigkeit . . . . .</b>	<b>208</b>
7.0. Einführung . . . . .	208
7.1. Dubliertes System mit endlicher Umschaltzeit . . . . .	208
7.2. Dubliertes System mit unzuverlässigem Umschalter . . . . .	215
7.3. Element mit Erneuerung, das partiell kontrolliert wird . . . . .	215
7.4. Dublierte Systeme mit partieller Kontrolle . . . . .	217
Literatur . . . . .	226
<b>8. System mit komplizierter Struktur . . . . .</b>	<b>227</b>
8.0. Vorbemerkungen . . . . .	227
8.1. Methode des unmittelbaren Durchmusterens . . . . .	227
8.2. Methode der Zerlegung bezüglich eines speziellen Elements . . . . .	230
8.3. Methode der Minimalwege und der Minimalschnitte . . . . .	231
8.4. Analytisch-statistische Methode . . . . .	233
8.5. Einführungsbemerkungen über Systeme mit rekurrenter Struktur . . . . .	235
8.6. Zuverlässigkeitskenngrößen für isotrope Systeme mit rekurrenter Struktur . . . . .	237

8.7.	Wahrscheinlichkeitscharakteristiken von Systemen mit Netzwerkstruktur . . .	238
8.7.1.	Isotropes System mit offener Radialring-Struktur . . . . .	238
8.7.2.	Isotropes System mit geschlossener Radialring-Struktur . . . . .	239
8.7.3.	Isotropes System mit offener symmetrischer Radialring-Struktur . . .	240
8.7.4.	Isotropes System mit offener Radialring-Struktur, die zwei Zentren besitzt . . . . .	241
8.7.5.	Isotropes System mit geschlossener Radialring-Struktur, die zwei Zentren besitzt . . . . .	242
8.7.6.	Isotropes System mit einer schachbrettförmigen offenen Radialring-Struktur, die zwei Zentren besitzt . . . . .	242
8.7.7.	Isotropes System mit einer schachbrettförmigen geschlossenen Radialring-Struktur, die zwei Zentren besitzt . . . . .	243
8.7.8.	Isotropes System mit einer parallel-leiterförmigen Struktur . . . . .	244
8.7.9.	Isotropes System mit einer diagonal-leiterförmigen Struktur . . . . .	245
8.7.10.	Isotropes System, das die Struktur eines orientierten, vollständigen Graphen besitzt . . . . .	246
8.7.11.	Isotropes System, das die Struktur eines nicht orientierten, vollständigen Graphen besitzt . . . . .	247
8.8.	Kurze Beschreibung der Methode zur Analyse von Systemen mit Netzstruktur	248
8.9.	Systeme mit hierarchischer Struktur . . . . .	251
8.9.0.	Vorbemerkungen . . . . .	251
8.9.1.	Hierarchisches System mit einer Ebene . . . . .	252
8.9.2.	Hierarchisches System mit einer sich verzweigenden Struktur und einfachen Unterordnungsverhältnissen . . . . .	253
8.9.3.	Hierarchisches System mit einer sich verzweigenden Struktur und komplizierten Unterordnungsverhältnissen . . . . .	255
Literatur	. . . . .	257
<b>9.</b>	<b>Abschätzung der Effektivität der Arbeitsweise von Systemen . . . . .</b>	<b>259</b>
9.0.	Vorbemerkungen . . . . .	259
9.1.	Allgemeines Schema zur Abschätzung der Effektivität der Arbeitsweise von Systemen für Kurzzeit-Betrieb . . . . .	260
9.2.	Allgemeines Schema zur Abschätzung der Effektivität von Systemen für Dauer-Betrieb . . . . .	261
9.3.	Abschätzung der Effektivität von Systemen mit einer additiven Effektivitätskenngröße . . . . .	264
9.4.	Abschätzung der Effektivität von Systemen mit Redundanz in der Arbeitsweise	265
9.5.	Abschätzung der Effektivität von Systemen mit mehreren Arbeitsweisen . . .	266
9.6.	Abschätzung der Effektivität des Systems bei bekannten Momenten der zufälligen Anzahl der intakten ausführenden Elemente . . . . .	269
Literatur	. . . . .	270
<b>10.</b>	<b>Aufgaben der optimalen Reservierung . . . . .</b>	<b>272</b>
10.0.	Vorbemerkungen . . . . .	272
10.0.1.	Aufgabenstellung . . . . .	272
10.0.2.	Wegweiser durch das Kapitel 10 . . . . .	273
10.0.3.	Zusätzliche Bezeichnungen für das Kapitel 10 . . . . .	273

10.1. Formulierung einiger Aufgabenstellungen der optimalen Reservierung von Seriensystemen . . . . .	275
10.1.1. Formulierung der Aufgabe für den Fall einer Nebenbedingung und der Zuverlässigkeitskenngröße vom Typ Wahrscheinlichkeit der ausfallfreien Arbeit (Verfügbarkeit, Intervallverfügbarkeit) . . . . .	275
10.1.2. Formulierung der Aufgabe für den Fall einer Nebenbedingung und der Zuverlässigkeitskenngröße vom Typ mittlere Arbeitszeit bis zum Ausfall . . . . .	276
10.1.3. Formulierung der Aufgabe für den Fall mehrerer Nebenbedingungen und der Zuverlässigkeitskenngröße vom Typ Wahrscheinlichkeit der ausfallfreien Arbeit (Verfügbarkeit, Intervallverfügbarkeit) . . . . .	277
10.1.4. Formulierung der Aufgabe für den Fall der Kostenminimierung eines Systems mit mehreren Arbeitsweisen, wenn mehrere Nebenbedingungen in Form vorgegebener Zuverlässigkeitskenngrößen für die Erfüllung jeder Arbeitsweise vorliegen . . . . .	278
10.2. Grundgedanken zur Lösung von Problemen der optimalen Reservierung . . . . .	279
10.3. Ermittlung der optimalen Anzahl von Reserveelementen für den Fall einer Nebenbedingung und der Zuverlässigkeitskenngröße vom Typ Wahrscheinlichkeit der ausfallfreien Arbeit (Verfügbarkeit, Intervallverfügbarkeit) . . . . .	291
10.3.1. Anwendung eines modifizierten Verfahrens der dynamischen Optimierung . . . . .	291
10.3.2. Anwendung der Methode des stärksten Abstiegs . . . . .	299
10.3.3. Anwendung der Methode des stärksten Abstiegs (Näherungsalgorithmus) . . . . .	303
10.3.4. Vereinfachte Methodik einer näherungsweise Lösung . . . . .	307
10.3.5. Praktische Methode zur Bestimmung der optimalen Anzahl von Ersatzkomponenten ohne Erneuerung . . . . .	309
10.4. Näherungsmethode zur Bestimmung der optimalen Anzahl von Reserveelementen für den Fall einer Nebenbedingung und der Zuverlässigkeitskenngröße vom Typ der mittleren Arbeitszeit bis zum Ausfall des Systems . . . . .	313
10.5. Bestimmung der optimalen Anzahl von Reserveelementen für den Fall mehrerer Nebenbedingungen und der Zuverlässigkeitskenngröße vom Typ Wahrscheinlichkeit der ausfallfreien Arbeit (Verfügbarkeit, Intervallverfügbarkeit) . . . . .	316
10.5.1. Rückführung des mehrdimensionalen Problems auf ein eindimensionales durch Einführung „abgeleiteter“ Aufwendungen . . . . .	316
10.5.2. Anwendung einer Modifikation der dynamischen Optimierung . . . . .	320
10.6. Bestimmung der optimalen Anzahl von Reserveelementen bei einem System mit mehreren Arbeitsweisen für den Fall einer Nebenbedingung und der Zuverlässigkeitskenngröße vom Typ Wahrscheinlichkeit der ausfallfreien Arbeit (Verfügbarkeit, Intervallverfügbarkeit) . . . . .	323
10.7. Optimierung bei zwei Fehlerarten und mehreren Ausfallursachen . . . . .	325
10.8. Steuerung der Elementevorräte bei zufälligem Bedarf . . . . .	329
10.8.1. Vorbemerkungen . . . . .	329
10.8.2. Elementevorrat in einem Einzellager . . . . .	329
10.8.3. Zentralisierte Systeme der Versorgung mit Elementen . . . . .	331
Literatur . . . . .	332

<b>11. Aufgaben der optimalen Instandhaltung</b> . . . . .	<b>335</b>
11.0. Vorbemerkungen . . . . .	335
11.0.1. Aufgabenstellung . . . . .	335
11.0.2. Wegweiser durch das Kapitel 11 . . . . .	337
11.0.3. Zusätzliche Bezeichnungen für das Kapitel 11 . . . . .	337
11.1. Formulierung von Aufgaben der optimalen Instandhaltung . . . . .	337
11.2. Grundgedanken zur Lösung von Problemen der optimalen Instandhaltung . . . . .	338
11.3. Havarie-Erneuerungen . . . . .	354
11.4. Planmäßige prophylaktische Erneuerung bei außerplanmäßiger Havarie-Erneuerung . . . . .	355
11.4.1. Beschreibung der Instandhaltungsmethode . . . . .	355
11.4.2. Ausgangsdaten und Ergebnisse . . . . .	356
11.4.3. Anmerkungen . . . . .	356
11.5. Prophylaktische Erneuerungen . . . . .	360
11.5.1. Beschreibung der Instandhaltungsmethode . . . . .	360
11.5.2. Ausgangsdaten und Ergebnisse . . . . .	360
11.5.3. Anmerkungen . . . . .	362
11.6. Havarie-Erneuerungen der ausgefallenen Elemente (Teilsysteme) eines Seriensystems . . . . .	365
11.6.1. Beschreibung der Instandhaltungsmethode . . . . .	365
11.6.2. Ausgangsdaten und Ergebnisse . . . . .	365
11.6.3. Anmerkungen . . . . .	365
11.7. Havarie-Erneuerungen der ausgefallenen Elemente (Teilsysteme) und prophylaktische Erneuerung des gesamten Seriensystems . . . . .	367
11.7.1. Beschreibung der Instandhaltungsmethode . . . . .	367
11.7.2. Ausgangsdaten und Ergebnisse . . . . .	367
Literatur . . . . .	371
<b>12. Optimale Fehlersuche</b> . . . . .	<b>374</b>
12.0. Aufgabenstellung . . . . .	374
12.1. Allgemeine Beschreibung des Prüfverfahrens . . . . .	375
12.2. Lokalisierung eines einzigen fehlerhaften Elementes . . . . .	375
12.2.1. Näherungsalgorithmus bei beliebigen sich überschneidenden Tests . . . . .	375
12.2.2. Elementweise Prüfung des Systems . . . . .	381
12.2.3. Durchführung beliebiger Tests bei gleichen Aufwendungen . . . . .	381
12.2.4. „Informationstheoretische“ Methode (Näherungslösung) . . . . .	382
12.3. Lokalisierung einer unbekanntem Zahl fehlerhafter Elemente . . . . .	383
12.3.1. Näherungsalgorithmus bei beliebigen sich überschneidenden Tests . . . . .	384
12.3.2. Methode der seriellen Überprüfungen zum Herausfinden fehlerhafter Elemente . . . . .	386
12.4. Erkennung eines fehlerhaften Elements . . . . .	387
12.4.1. Näherungsalgorithmus bei beliebigen sich überschneidenden Tests . . . . .	387
12.4.2. Überprüfung des Systems durch sich nicht überschneidende Tests . . . . .	388
Literatur . . . . .	389

<b>13. Mathematisch-statistische Methoden zur Auswertung experimenteller Daten über die Zuverlässigkeit</b> . . . . .	<b>391</b>
13.1. Erfassung von Ausfällen und einfachste Methoden der Datenaufbereitung . . . . .	391
13.1.1. Gewinnung von Daten aus Lebenslaufakten . . . . .	391
13.1.2. Bestimmung der Abhängigkeit der Ausfallintensität von der Zeit . . . . .	393
13.1.3. Bildung der emp. Dichtefunktion der Verteilung des Ausfallabstands . . . . .	395
13.1.4. Bildung der empirischen Verteilungsfunktion des Ausfallabstands . . . . .	396
13.1.5. Bildung der empirischen Ausfallrate . . . . .	396
13.2. Bestimmung des Verteilungstyps des zufälligen Ausfallabstands . . . . .	397
13.2.1. Vorbemerkungen . . . . .	397
13.2.2. Anwendung von Wahrscheinlichkeitspapier . . . . .	399
13.2.3. Tests zur Überprüfung des Verteilungstyps . . . . .	401
13.2.4. Einige spezielle Tests zur Überprüfung der Exponentialverteilung . . . . .	407
13.2.5. Tests auf Exponentialität bei eingeschränkten Alternativen . . . . .	410
13.2.6. Literaturhinweise zu weiteren Tests . . . . .	411
13.3. Bestimmung von Zuverlässigkeitskennziffern auf der Grundlage von Prüfplänen . . . . .	411
13.3.1. Problemstellung . . . . .	411
13.3.2. Beschreibung der gebräuchlichsten Prüfpläne . . . . .	412
13.3.3. Beschreibung der Prüfpläne im Falle exponentialverteilter Lebensdauer . . . . .	412
13.3.4. Punktschätzungen für die Ausfallrate und den Erwartungswert der Arbeitszeit im Falle der Exponentialverteilung . . . . .	415
13.3.5. Tests für Hypothesen über den Parameter der Exponentialverteilung . . . . .	417
13.3.6. Bestimmung einer unteren Konfidenzgrenze für den Parameter der Exponentialverteilung auf der Grundlage von Prüfplänen . . . . .	421
13.3.7. Beispiele für die Berechnung von Tests und Konfidenzgrenzen auf der Grundlage von Prüfplänen . . . . .	422
13.4. Einige Bemerkungen zur Normalverteilung . . . . .	424
13.5. Konfidenzintervalle für die Parameter einiger in der Zuverlässigkeitstheorie nützlicher Verteilungen . . . . .	426
13.5.1. Ein Konfidenzintervall für den Parameter der Poisson-Verteilung . . . . .	426
13.5.2. Konfidenzintervalle für die Parameter der Normalverteilung . . . . .	426
13.5.3. Ein Konfidenzintervall für den Parameter der Binomialverteilung . . . . .	427
13.6. Konfidenzintervalle für die stationäre Verfügbarkeit eines reparierbaren Systems . . . . .	428
Literatur . . . . .	432
<b>14. Zuverlässigkeit technischer Erzeugnisse in Abhängigkeit ihrer Umgebungs- und Einsatzbedingungen</b> . . . . .	<b>435</b>
14.0. Vorbemerkungen . . . . .	435
14.1. Aufgabenstellung . . . . .	435
14.2. Quantitative Erfassung verschiedener Einflußfaktoren auf die Zuverlässigkeit elektronischer Bauelemente . . . . .	439
14.3. Modelle für Ausfallmechanismen und Ermittlung der Schadensäquivalenz bei unterschiedlicher Beanspruchungshöhe . . . . .	445
14.4. Parameterempfindlichkeit und Toleranzanalyse technischer Systeme . . . . .	448
14.5. Berücksichtigung der Umgebungsbedingungen beim Systementwurf . . . . .	454
Literatur . . . . .	456

<b>Anhang 1. Grundbegriffe und kleiner Wissensspeicher der Wahrscheinlichkeitstheorie</b>	458
A 1.1. Zufällige Ereignisse (Bezeichnungen und Definitionen)	458
A 1.2. Wahrscheinlichkeit eines Ereignisses	459
A 1.3. Zufallsgrößen und Verteilungsfunktionen, zufällige Vektoren, Zufallsfunktionen	463
A 1.4. Numerische Charakterisierungen von Zufallsgrößen	466
A 1.5. Zusammenstellung der Charakteristiken von Verteilungsfunktionen	470
A 1.6. Grenzwertsätze der Wahrscheinlichkeitstheorie	470
<b>Anhang 2. Grundbegriffe und kleiner Wissensspeicher der mathematischen Statistik</b>	472
<b>Anhang 3. Ströme (Punktprozesse)</b>	477
A 3.1. Definitionen	477
A 3.2. Durchsieben (Verdünnen) eines Stromes	481
A 3.3. Überlagerung von Strömen	483
<b>Anhang 4. Abriss der BOOLEschen Zuverlässigkeitstheorie von Systemen</b>	484
A 4.1. Modellbildung	484
A 4.2. Darstellungsformen BOOLEscher Systemfunktionen	484
A 4.3. Zuverlässigkeitssatzschaltungen und Fehlerbäume	487
A 4.4. Berücksichtigung der Zeitabhängigkeit	498
A 4.4.0. Vorbemerkungen	498
A 4.4.1. Systeme ohne Erneuerung	499
A 4.4.2. Systeme mit Erneuerung	505
A 4.5. Abschätzung des Einflusses der einzelnen Komponenten des Systems	510
A 4.5.0. Vorbemerkungen	510
A 4.5.1. Marginale Importanz	511
A 4.5.2. Kompetitive Importanz	513
A 4.5.3. Diagnostische Importanz	516
A 4.6. Grenzen und Mängel der BOOLEschen Zuverlässigkeitsmodelle	517
Literatur	517
<b>Anhang 5. Systembeschreibung durch zufällige Prozesse mit endlich vielen Zuständen</b>	518
A 5.1. Modellbildung	518
A 5.2. Klassifizierung der Zustände	521
A 5.3. Homogene MARKOWSche Ketten	526
A 5.4. Homogene MARKOWSche Prozesse mit stetigem Parameterbereich	531
A 5.5. Anwendung auf Geburt- und Tod-Prozesse	539
A 5.6. Einführung fiktiver Zustände, um bei beliebigen Verteilungen eine Beschreibung durch MARKOWSche Prozesse zu ermöglichen	545
A 5.7. Semi-MARKOWSche Prozesse	546
A 5.8. Eingebettete und vergrößerte Semi-MARKOWSche Prozesse	555
Literatur	
<b>Anhang 6. Heuristische Methode zur Abschätzung der Zuverlässigkeit von Systemen mit Erneuerung</b>	563
A 6.1. Vorbemerkungen	563
A 6.2. In Serie geschaltete Elemente	564
A 6.3. Parallel geschaltete Elemente	565
A 6.4. Element mit Verzögerung	565

<b>Anhang 7. Einige Konstanten und Formeln, die bei der Lösung von Zuverlässigkeitsaufgaben häufig vorkommen</b> . . . . .	568
A 7.1. Konstanten . . . . .	568
A 7.2. Elementare Formeln der Kombinatorik . . . . .	568
A 7.3. Endliche Summen . . . . .	569
A 7.4. Reihen . . . . .	570
A 7.5. Unbestimmte Integrale . . . . .	571
A 7.6. Bestimmte Integrale . . . . .	572
A 7.7. LAPLACE-Transformation . . . . .	573
<b>Anhang 8. Zahlentafeln</b> . . . . .	576
<b>Sachwortverzeichnis</b> . . . . .	593