

Inhalt

1	Einleitung.....	1
2	Grundlagen quantitativer Methoden.....	7
2.1	Grundbegriffe der Statistik und Wahrscheinlichkeitstheorie	9
2.1.1	Statistische Beschreibung und Darstellung des Ausfallverhaltens.....	9
2.1.2	Statistische Maßzahlen.....	28
2.1.3	Zuverlässigkeitskenngrößen.....	30
2.1.4	Definition der Wahrscheinlichkeit	34
2.2	Lebensdauerverteilungen zur Zuverlässigkeitsbeschreibung	36
2.2.1	Normalverteilung	37
2.2.2	Exponentialverteilung	39
2.2.3	Weibullverteilung.....	41
2.2.4	Logarithmische Normalverteilung	56
2.2.5	Weitere Verteilungen	59
2.3	Berechnung der Systemzuverlässigkeit mit der Booleschen Theorie.....	78
2.4	Übungsaufgaben zu Lebensdauerverteilungen.....	83
2.5	Übungsaufgaben zu Systemberechnungen	87
3	Zuverlässigkeitsanalyse am Beispiel eines Getriebes.....	92
3.1	Systemanalyse	94
3.1.1	Ermittlung der Systembauelemente	94
3.1.2	Ermittlung der Systemelemente	96
3.1.3	Klassifizierung der Systemelemente	96
3.1.4	Ermittlung der Zuverlässigkeitsstruktur.....	98
3.2	Bestimmung der Systemelementezuverlässigkeiten	99
3.3	Berechnung der Systemzuverlässigkeit.....	102
4	FMEA – Fehler-Möglichkeiten- und Einfluss-Analyse.....	106
4.1	Grundlagen und Allgemeines zur FMEA-Methodik	107
4.2	FMEA nach VDA 86 (Formblatt-FMEA).....	110
4.3	Beispiel einer Konstruktions-FMEA nach VDA 86.....	116
4.4	FMEA nach VDA 4.2.....	119

4.4.1	Schritt 1: Systemelemente und Systemstruktur.....	125
4.4.2	Schritt 2: Funktionen und Funktionsstruktur	128
4.4.3	Schritt 3: Fehleranalyse.....	130
4.4.4	Schritt 4: Risikobewertung.....	137
4.4.5	Schritt 5: Optimierung.....	143
4.5	Beispiel einer System-FMEA Produkt nach VDA 4.2	146
4.5.1	Schritt 1: Systemelemente und Systemstruktur des Anpassungsgetriebes	147
4.5.2	Schritt 2: Funktionen und Funktionsstruktur des Anpassungsgetriebes	149
4.5.3	Schritt 3: Fehlfunktionen und Fehlfunktionsstruktur des Anpassungsgetriebes.....	150
4.5.4	Schritt 4: Risikobewertung des Anpassungsgetriebes.....	151
4.5.5	Schritt 5: Optimierung des Anpassungsgetriebes.....	152
4.6	Beispiel einer System-FMEA Prozess nach VDA 4.2	153
4.6.1	Schritt 1: Systemelemente und Systemstruktur des Prozesses Fertigung der Abtriebswelle	153
4.6.2	Schritt 2: Funktionen und Funktionsstruktur des Prozesses Fertigung der Abtriebswelle	155
4.6.3	Schritt 3: Fehlfunktionen und Fehlfunktionsstruktur des Prozesses Fertigung der Abtriebswelle.....	155
4.6.4	Schritt 4: Risikobewertung des Prozesses Fertigung der Abtriebswelle	158
4.6.5	Schritt 5: Optimierung des Prozesses Fertigung der Abtriebswelle	158
5	Fehlerbaumanalyse (Fault Tree Analysis, FTA).....	160
5.1	Allgemeine Vorgehensweise bei der FTA.....	161
5.1.1	Ausfallarten	162
5.1.2	Symbolik	162
5.2	Qualitative Fehlerbaumanalyse	163
5.2.1	Qualitative Ziele.....	163
5.2.2	Prinzipieller Aufbau	164
5.2.3	Vergleich zwischen FMEA und FTA.....	166
5.3	Quantitative Fehlerbaumanalyse	168
5.3.1	Quantitative Ziele.....	168
5.3.2	Boolesche Modellbildung	168
5.3.3	Anwendung auf Systeme.....	173
5.4	Zuverlässigkeitsgraph.....	178
5.5	Beispiele	179
5.5.1	Zahnflankenriss	179
5.5.2	Fehlerbaumanalyse einer Wellendichtung	182

5.6	Übungsaufgaben zur Fehlerbaumanalyse.....	186
6	Auswertung von Lebensdauerversuchen und Ausfallstatistiken	190
6.1	Planung von Lebensdauerversuchen	191
6.2	Ranggrößen und ihre Verteilungen	193
6.3	Grafische Auswertung von Ausfallzeiten.....	202
6.3.1	Ermittlung der Weibullgeraden (zweiparametrische Weibullverteilung)	203
6.3.2	Berücksichtigung der Vertrauensbereiche	206
6.3.3	Berücksichtigung der ausfallfreien Zeit t_0 (dreiparametrische Weibullverteilung).....	210
6.4	Auswertung von unvollständigen (zensierten) Daten.....	214
6.4.1	Zensorisierung Typ I und Typ II.....	216
6.4.2	Multiple Zensorisierung	218
6.4.3	Sudden-Death-Test.....	219
6.5	Vertrauensbereiche bei niedrigen Summenhäufigkeiten	236
6.6	Analytische Methoden zur Auswertung von Zuverlässigkeitsversuchen.....	238
6.6.1	Momentenmethode.....	238
6.6.2	Regressionsanalyse	241
6.6.3	Maximum-Likelihood Methode	246
6.7	Übungsaufgaben zur Auswertungen von Lebensdauer- versuchen.....	250
7	Weibullparameter einiger Maschinenelemente	255
7.1	Formparameter b	256
7.2	Charakteristische Lebensdauer T	259
7.3	Ausfallfreie Zeit t_0 bzw. Faktor f_{IB}	262
8	Methoden der Zuverlässigkeitstestplanung	264
8.1	Testplanung auf Basis der Weibullverteilung	265
8.2	Testplanung auf Basis der Binomialverteilung	267
8.3	Lebensdauer Verhältnis.....	268
8.4	Verallgemeinerung für Ausfälle während des Tests.....	272
8.5	Berücksichtigung von Vorkenntnissen (Bayes-Methode).....	274
8.5.1	Verfahren nach Beyer/Lauster	274
8.5.2	Verfahren nach Kleyner et al.	277
8.6	Beschleunigte Lebensdauerprüfung	281
8.6.1	Raffung.....	281
8.6.2	Step-Stress-Methode	283
8.6.3	HALT (Highly Accelerated Life Testing).....	284
8.6.4	Degradation Test	286

8.7	Übungsaufgaben zur Zuverlässigkeitstestplanung	287
9	Methodische Lebensdauerberechnung bei Maschinenelementen.....	290
9.1	Äußere Belastung, ertragbare Belastung und Zuverlässigkeit....	292
9.1.1	Statische und dauerfeste Auslegung.....	292
9.1.2	Zeitfestigkeit und Betriebsfestigkeit	297
9.2	Belastung	301
9.2.1	Ermittlung der Betriebsbelastung.....	302
9.2.2	Das Lastkollektiv	307
9.3	Die ertragbare Belastung, Wöhlerkurven	319
9.3.1	Spannungs- und dehnungskontrollierte Wöhlerkurven...	320
9.3.2	Ermittlung der Wöhlerlinien	321
9.4	Lebensdauerberechnung	324
9.4.1	Schadensakkumulation.....	324
9.4.2	Zweiparametrische Schädigungsrechnung	329
9.4.3	Nennspannungskonzept und örtliches Konzept	331
9.5	Zusammenfassung	333
10	Berechnung reparierbarer Systeme	337
10.1	Grundlagen der Instandhaltung	337
10.1.1	Instandhaltungsmaßnahmen	338
10.1.2	Instandhaltungsebenen	341
10.1.3	Reparaturprioritäten	342
10.1.4	Kapazitäten der Instandhaltung.....	342
10.1.5	Instandhaltungsstrategien	345
10.2	Lebenslaufkosten	346
10.3	Zuverlässigkeitskenngrößen	350
10.3.1	Der Zustandsverlauf.....	350
10.3.2	Instandhaltungskenngrößen.....	352
10.3.3	Verfügbarkeitskenngrößen	355
10.4	Modelle zur Berechnung reparierbarer Systeme	359
10.4.1	Periodisches Instandhaltungsmodell	360
10.4.2	Markov-Modell	365
10.4.3	Boole-Markov-Modell	374
10.4.4	Gewöhnliche Erneuerungsprozesse.....	375
10.4.5	Alternierende Erneuerungsprozesse	380
10.4.6	Semi-Markov-Prozesse	389
10.4.7	Systemtransporttheorie.....	391
10.4.8	Vergleich der Berechnungsmodelle	396
10.5	Beispiel: Simulation einer bestandsabhängigen Lagerhaltung ...	397
10.5.1	Das Programm SPAR.....	397
10.5.2	Szenario.....	397

10.5.3 Die Simulation mit SPAR	398
10.6 Übungsaufgaben zu reparierbaren Systemen	403
10.6.1 Kurzfragen	403
10.6.2 Berechnungsaufgaben	405
11 Zuverlässigkeitssicherungsprogramm	411
11.1 Einleitung	411
11.2 Zuverlässigkeitssicherungsprogramm	413
11.2.1 Produktdefinition.....	413
11.2.2 Produktgestaltung.....	414
11.2.3 Produktion und Nutzung	418
11.2.4 Allgemeine Aktivitäten	419
11.3 Zusammenfassung	419
Lösungen.....	421
Anhang.....	475
Sachverzeichnis	491