Inhalt

Vorwort zur 8. Auflage ..... **V**

1 Einleitung **1**
1.1 Statistische Verfahren in der industriellen Produktion 1
1.2 Statistik als Basis qualitätsmethodischen Denkens und Handelns 2
1.2.1 Begrüßung 3
1.2.2 Einleitung 3
1.2.3 Beginn 4
1.2.4 Vor-Moderne 5
1.2.5 Walter Shewhart 7
1.2.6 Wirtschaftlichkeit 8
1.2.7 2. Weltkrieg 9
1.2.8 Stichproben 10
1.2.9 Von TESTA zur Deutschen Gesellschaft für Qualität 11
1.2.10 Denken in Wahrscheinlichkeiten 12
1.2.11 Herkunft der Ausgangsdaten 13
1.2.12 Statistische Arbeit 13
1.2.13 Auslegung durch den Leser 14
1.2.14 Abschluss 15
1.3 Anforderungen aus der Normung 15
1.4 Internationale Normung von statistischen Verfahren 19
1.5 Eignungsnachweis von Messprozessen 22
1.6 Statistical Process Control 23
1.7 DoE – Design of Experiments 28
1.8 Six Sigma 30

1.8.1 Entwicklung der Methode Six Sigma 30
1.8.2 Was ist Six Sigma? 30
1.8.3 Die Projektphasen bei Six Sigma in der Produktion 34
1.8.4 Six Sigma in der Entwicklung 36

2 Grundlagen der technischen Statistik 39
2.1 Einführung 39
2.2 Grundmodell der technischen Statistik 40
2.3 Klassifizierung von Produktmerkmalen 42
2.3.1 Merkmalsarten 42
2.3.2 Erfassung von Merkmalswerten 45
2.4 Klassifizierung von Wahrscheinlichkeitsverteilungen 47
2.5 Definition des Vertrauensbereiches 50
2.6 Definition des Zufallsstreubereiches 52
2.7 Aufgabe der Wahrscheinlichkeitsfunktionen 53
2.8 Zusammenstellung der grundlegenden Verfahren 54

3 Ermittlung statistischer Kenngrößen 57
3.1 Tabellarische Darstellungen 57
3.2 Markante Kenngrößen einer Messwertreihe 62
3.3 Ergebnisdarstellung der Kennwerte 73

4 Markante Grafiken 79
4.1 Darstellung von Einzelwerten 79
4.2 Wertestrahl 89
4.3 Histogramm 90
4.4 Relative Summenhäufigkeit oder empirische Verteilungsfunktion 97
4.5 Prinzip des Wahrscheinlichkeitsnetzes 100
4.6 Darstellung von Wertepaaren 104
4.7 Darstellung von statistischen Kennwerten 108
4.8 Pareto-Analyse 111
4.9 Box-Plot 114
4.10 Übersicht Fähigkeitsindizes 118
4.11 Grafische und numerische Darstellung 125

4.12 Spezielle Toleranzbetrachtung ... 127
4.12.1 Überschreitungen der Toleranzgrenzen ... 128
4.12.2 Toleranzausnutzung ... 131

5 Wahrscheinlichkeitsverteilungen ... 133
5.1 Verteilungen für diskrete Zufallsvariablen ... 133
5.1.1 Hypergeometrische Verteilung ... 133
5.1.2 Binomialverteilung ... 137
5.1.3 Poisson-Verteilung ... 144
5.2 Verteilungen für kontinuierliche Zufallsvariablen ... 150
5.2.1 Normalverteilung ... 151
5.2.2 Mathematische Beschreibung der Normalverteilung ... 155
5.3 Verteilungen von Kenngrößen ... 162
5.3.1 t-Verteilung ... 162
5.3.2 χ^2-Verteilung ... 165
5.3.3 F-Verteilung ... 167
5.4 Eingipflige unsymmetrische Verteilungen ... 169
5.4.1 Transformation ... 171
5.4.2 Logarithmische Normalverteilung ... 175
5.4.3 Betragsverteilung 1. Art ... 176
5.4.4 Betragsverteilung 2. Art (Rayleigh-Verteilung) ... 178
5.4.5 Weibullverteilung ... 180
5.4.6 Pearson-Funktionen ... 182
5.4.7 Johnson-Transformationen ... 183
5.5 Mehrgipflige Verteilungen ... 186
5.5.1 Mischverteilung über Momentenmethode ... 186
5.5.2 Mischverteilung durch Überlagerung ... 187
5.6 Zweidimensionale Normalverteilung ... 188
5.7 Zufalls- und Vertrauensbereiche ... 190
5.7.1 Zufallsstreubereiche ... 190
5.7.2 Vertrauensbereiche ... 192
5.7.3 Vertrauensbereich für Fähigkeitskennwerte ... 194

6 Numerische Testverfahren ... 197
6.1 Beurteilungskriterien mittels grafischer Darstellungen ... 198
6.2 Beschreibung der numerischen Testverfahren ... 199
6.2.1 Hypothesenformulierung und Testauswahl ... 200
6.2.2 Prüfgröße ... 201
6.2.3 Irrtumswahrscheinlichkeit ... 203
6.2.4 Testentscheidung ... 204
6.2.5 Fehlerrisiken bei der Testentscheidung ... 208
6.2.6 Operationscharakteristik ... 209
6.2.7 Power (1 – β) ... 210
6.2.8 Wichtige Einflüsse auf die Power von Testverfahren ... 212
6.2.9 Einseitige Testverfahren ... 214
6.2.10 Testplanung für den optimalen Stichprobenumfang ... 216
6.3 Tests auf spezielle Eigenschaften von Datenreihen ... 218
6.3.1 Test auf Zufälligkeit ... 218
6.3.2 Tests auf Trend ... 220
6.3.3 Tests auf Normalverteilung ... 225
6.3.4 Tests auf Ausreißer ... 236
6.4 Vergleich von Varianzen und Mittelwerten ... 241
6.4.1 Normalverteilte Messwertreihen ... 241
6.4.2 Nicht normalverteilte Messwertreihen ... 247
6.4.3 Test von Kruskal und Wallis ... 247
6.4.4 Levene-Test ... 249
6.5 Übersichtsdarstellung von Testergebnissen ... 251

7 Qualitätsregelkartentechnik ... 253
7.1 Was ist eine Qualitätsregelkarte? ... 253
7.2 Stichprobenentnahme und -frequenz ... 258
7.3 Gebräuchliche Qualitätsregelkarten ... 260
7.4 Qualitätsregelkarten für diskrete Merkmalswerte ... 261
7.4.1 Berechnung der Eingriffsgrenzen ... 263
7.4.2 Shewhart np-Karte (BV) für Anteilwerte ... 264
7.4.3 Shewhart np-Karte, Näherung auf Basis der Normalverteilung 271

7.4.4 Shewhart p-Karte (BV) für die Überwachung des Anteils fehlerhafter Einheiten ... 275
7.4.5 Shewhart p-Karte (NV) für Anteilswerte ... 278
7.4.6 Shewhart c-Karte für Ereignisse je Einheit (PV) ... 280
7.4.7 Shewhart c-Karte für Ereignisse je Einheit (NV) ... 288
7.4.8 Shewhart u-Karte für die Überwachung der mittleren Anzahl Fehler je Einheit ... 291
7.4.9 Shewhart u-Karte für Ereignisse je Einheit (NV) ... 294
7.5 Fehlersammelkarten ... 297
7.5.1 Aufbau einer Fehlersammelkarte ... 297
7.5.2 Erstellung einer Fehlersammelkarte ... 299
7.6 Qualitätsregelkarten für kontinuierliche Merkmale ... 304
7.6.1 Aufbau der Regelkarten ... 304
7.6.2 Vorgehensweise anhand einer $\bar{x}$/s-Karte ... 307
7.6.3 Stabilitätskriterien für Normalverteilung ... 314
7.6.4 Shewhart-Karten ... 325
7.6.5 Bewertung der verschiedenen Lage- und Streuungskarten ... 331
7.7 Annahmequalitätsregelkarten ... 333
7.7.1 Entstehung einer Annahmekarte ... 334
7.7.2 Fallbeispiele zur Annahmekarte ... 339
7.7.3 Eingriffsgrenzen der Annahmekarten ... 341
7.8 Shewhart-Karte mit gleitenden Kennwerten ... 342
7.9 Pearson- oder Johnson-Qualitätsregelkarten ... 345
7.10 Shewhart-Karten mit erweiterten Grenzen ... 347
7.10.1 Prozess mit zufälligen Schwankungen ... 347
7.10.2 Prozesse mit systematischem Trend ... 355
7.11 Qualitätsregelkarten und zeitabhängige Verteilungsmodelle ... 361
7.12 Stabilitätsstufen ... 364
7.13 Empfindlichkeit von Qualitätsregelkarten ... 368
7.14 Weitere Qualitätsregelkarten ... 374
7.14.1 Pre-Control-Regelkarten ... 374
7.14.2 CUSUM-Regelkarten ... 375
7.14.3 EWMA-Regelkarten ... 377

8 Prozessbewertung anhand diskreter Merkmale ... 379
8.1 Einleitung ... 379
8.2 DPU und DPO als Kennzahl für diskrete Merkmale ... 380
8.3 Fähigkeitskennzahlen für diskrete Merkmale ... 382

9 Prozessbewertung kontinuierlicher Merkmale ... 385
9.1 Allgemeines ... 385
9.2 Zeitabhängige Verteilungsmodelle ... 387
9.2.1 Zeitabhängiges Verteilungsmodell A1 ... 389
9.2.2 Zeitabhängiges Verteilungsmodell A2 ... 390
9.2.3 Zeitabhängiges Verteilungsmodell B ... 391
9.2.4 Zeitabhängiges Verteilungsmodell C1 ... 392
9.2.5 Zeitabhängiges Verteilungsmodell C2 ... 393
9.2.6 Zeitabhängiges Verteilungsmodell C3 ... 394
9.2.7 Zeitabhängiges Verteilungsmodell C4 ... 395
9.2.8 Zeitabhängiges Verteilungsmodell D ... 396
9.2.9 Qualitätsfähigkeit eines Prozesses ... 397
9.3 Typische Kenngrößen ... 398
9.3.1 Prozessleistung (Prozesspotenzial) ... 399
9.3.2 Kleinster Fähigkeitsindex C_{pk} (P_{pk}) ... 401
9.3.3 Qualifikationsphasen und Indizes ... 403
9.3.4 Beherrscht und stabil ... 406
9.3.4.1 Stabilitätsbewertungen mit Analyse-Qualitätsregelkarten nach W. A. Shewhart ... 408
9.3.4.2 Stabilitätsbewertung mit einem statistischen Testverfahren ... 410
9.4 Allgemeine geometrische Methode $M_{l,d}$ ... 412
9.4.1 Fähigkeitskenngrößen nach ISO 22514-2:2019 ... 413
9.4.2 Bezeichnungen und Bestimmungsgleichungen für den Lageschätzer l nach ISO 22514-2 ... 415
9.4.3 Bezeichnungen und Bestimmungsgleichungen für den Streuungsschätzer d nach ISO 22514-2 ... 416
9.4.4 Zuordnung von Schätzmethoden zu den Verteilungs-zeitmodellen nach ISO 22514-02:2019 ... 416

9.5 Fähigkeitsermittlung bei nicht definierten Verteilungsmodellen 417
9.6 Falsche Berechnungsmethoden 419
9.7 Kompensation der zusätzlichen $\bar{x}$-Streuung 421
9.8 Sonderfall – „Potenzial“ kleiner als Fähigkeit 423
9.9 Berechnungsmethode nach CNOMO 426
9.10 Kenngrößen für zweidimensionale Normalverteilungen 429
9.11 Grenzwerte für Qualitätsfähigkeitskenngrößen 435

10 Prozess- und Produktbeurteilung 439
10.1 Zeitliche Abfolge der Fähigkeitsbeurteilung 439
10.2 Auswahl der zeitabhängigen Verteilungsmodelle 443
10.2.1 Ausgangssituation und Zielsetzung 445
10.2.2 Vorbemerkungen 445
10.2.2.1 Testverfahren 445
10.2.2.2 Verteilungsmodell suchen 446
10.2.2.3 Verteilungsmodell Mischverteilung 448
10.2.3 Beschreibung einer Auswertestrategie im Einzelnen 449
10.2.4 Automatisierte Auswahl von zeitabhängigen Verteilungsmodellen 458
10.2.4.1 Überblick 458
10.2.4.2 Auswahl von Verteilungsmodellen 460
10.2.4.3 Beurteilungskriterien 461
10.2.4.4 Verteilungsmodell auswählen 465
10.3 Abnahmebedingungen für Fertigungseinrichtungen 475
10.4 Produkte bewerten 487
10.4.1 Prüfplan 487
10.4.2 Bewertung basierend auf Merkmalsergebnissen 487
10.4.3 Bewertung basierend auf Toleranzausnutzung 492
10.5 Automatisierte Auswertung 494
10.5.1 Anforderungen 495
10.5.2 Datenhaltung 496
10.5.3 Regelkreise 498
10.5.4 Auswertung und Berichtssystem 499
10.5.5 Nutzen 501

10.6 Datenverdichtung und Langzeitauswertung ... 502
10.7 Prozesssicht ... 511

11 Korrelations- und Regressionsanalyse ... 515
11.1 Grafische Analyse ... 516
11.2 Korrelationsanalyse ... 519
11.2.1 Der Korrelationskoeffizient nach Karl Pearson ... 520
11.2.2 Rangkorrelation ... 526
11.3 Regressionsanalyse ... 528
11.3.1 Einfache lineare Regression ... 528
11.3.1.1 Das Regressionsmodell ... 529
11.3.1.2 Berechnung des Regressionsmodells ... 530
11.3.1.3 Beurteilung des Regressionsmodells ... 533
11.3.2 Mehrfache und quasilineare Regression ... 541

12 Zuverlässigkeit ... 547
12.1 Bedeutung der Zuverlässigkeitsanalyse ... 547
12.2 Der Begriff Zuverlässigkeit ... 547
12.3 Die Zuverlässigkeitsprüfung ... 548
12.3.1 Der prinzipielle Ablauf einer Zuverlässigkeitsprüfung ... 548
12.3.2 Das Weibull-Verteilungsmodell ... 550
12.4 Fallbeispiele zur Zuverlässigkeitsprüfung ... 555
12.4.1 End-of-Life Tests ... 555
12.4.2 Zeitzensierte Tests ... 557
12.5 Prüfplanung für einen Success-Run-Test ... 561

13 Firmenrichtlinie: Ford Testbeispiele ... 565

14 Anhang ... 603
14.1 Modelle der Varianzanalyse ... 603
14.1.1 Prozessbeurteilung ... 603
14.1.2 Varianzanalysetafel (ANOVA-Tafel) ... 605
14.1.3 Schätzen der unbekannten Parameter ... 605
14.2 Formelsammlung für Verteilungen ... 606
14.3 Tabellen ... 608

15 Verzeichnis der verwendeten Abkürzungen 619

16 Literaturverzeichnis 623

Index 627