

Edgar Dietrich  
Alfred Schulze

# **Statistische Verfahren zur Maschinen- und Prozessqualifikation**

7., aktualisierte Auflage

HANSER

# Inhaltsverzeichnis

<b>Vorwort zur 7. Auflage.....</b>	<b>v</b>
<b>1 Einleitung.....</b>	<b>1</b>
1.1 Statistische Verfahren in der industriellen Produktion.....	1
1.2 Statistik als Basis qualitätsmethodischen Denkens und Handelns.....	2
1.2.1 Einleitung.....	3
1.2.2 Beginn.....	3
1.2.3 Vor-Moderne.....	4
1.2.4 Walter Shewhart.....	5
1.2.5 Wirtschaftlichkeit.....	7
1.2.6 Zweiter Weltkrieg.....	8
1.2.7 Stichproben.....	8
1.2.8 Von TESTA zur Deutschen Gesellschaft für Qualität.....	9
1.2.9 Denken in Wahrscheinlichkeiten.....	10
1.2.10 Herkunft der Ausgangsdaten.....	11
1.2.11 Statistische Arbeit.....	11
1.2.12 Auslegung durch den Leser.....	11
1.2.13 Abschluss.....	13
1.3 Anforderungen aus der Normung.....	13
1.4 Internationale Normung von Statistischen Verfahren.....	17
1.5 Eignungsnachweis von Messprozessen.....	19
1.6 Statistical Process Control.....	20
1.7 DoE – Design of Experiments.....	25
1.8 Six Sigma.....	27
1.8.1 Entwicklung der Methode Six Sigma.....	27
1.8.2 Was ist Six Sigma?.....	27
1.8.3 Die Projektphasen bei Six Sigma in der Produktion.....	31
1.8.4 Six Sigma in der Entwicklung.....	33
<b>2 Grundlagen der technischen Statistik.....</b>	<b>35</b>
2.1 Einführung.....	35
2.2 Grundmodell der technischen Statistik.....	36
2.3 Klassifizierung von Produktmerkmalen.....	37
2.3.1 Merkmalsarten.....	37
2.3.2 Erfassung von Merkmalswerten.....	40
2.4 Klassifizierung von Wahrscheinlichkeitsverteilungen.....	41
2.5 Definition des Vertrauensbereiches.....	45
2.6 Definition des Zufallsstreubereiches.....	47
2.7 Aufgabe der Wahrscheinlichkeitsfunktionen.....	48
2.8 Zusammenstellung der grundlegenden Verfahren.....	49

<b>3</b>	<b>Ermittlung statistischer Kenngrößen .....</b>	<b>52</b>
3.1	Tabellarische Darstellungen .....	52
3.2	Markante Kenngrößen einer Messwertreihe.....	56
3.3	Ergebnisdarstellung der Kennwerte.....	66
<b>4</b>	<b>Markante Grafiken .....</b>	<b>72</b>
4.1	Darstellung von Einzelwerten .....	72
4.2	Wertestrahl .....	81
4.3	Histogramm .....	82
4.4	Relative Summenhäufigkeit oder empirische Verteilungsfunktion .....	88
4.5	Prinzip des Wahrscheinlichkeitsnetzes.....	90
4.6	Darstellung von Wertepaaren .....	94
4.6.1	Matrix der X-Y-Plots .....	96
4.7	Darstellung von statistischen Kennwerten.....	98
4.8	Pareto-Analyse .....	100
4.9	Box-Plot .....	103
4.10	Übersicht Fähigkeitsindizes .....	106
4.11	Grafische und numerische Darstellung.....	112
4.12	Spezielle Toleranzbetrachtung .....	114
4.12.1	Überschreitungen der Toleranzgrenzen.....	114
4.12.2	Toleranzausnutzung.....	117
<b>5</b>	<b>Wahrscheinlichkeitsverteilungen.....</b>	<b>119</b>
5.1	Verteilungen für diskrete Zufallsvariablen.....	119
5.1.1	Hypergeometrische Verteilung.....	119
5.1.2	Binomialverteilung .....	122
5.1.3	Poisson-Verteilung .....	128
5.2	Verteilungen für kontinuierliche Zufallsvariablen .....	132
5.2.1	Normalverteilung .....	133
5.2.2	Mathematische Beschreibung der Normalverteilung .....	137
5.3	Verteilungen von Kenngrößen .....	144
5.3.1	t-Verteilung.....	144
5.3.2	$\chi^2$ -Verteilung.....	146
5.3.3	F-Verteilung.....	148
5.4	Eingipflige unsymmetrische Verteilungen .....	150
5.4.1	Transformation .....	152
5.4.2	Logarithmische Normalverteilung.....	155
5.4.3	Betragsverteilung 1. Art.....	156
5.4.4	Betragsverteilung 2. Art (Rayleigh-Verteilung).....	158
5.4.5	Weibullverteilung.....	160
5.4.6	Pearson-Funktionen.....	161
5.4.7	Johnson-Transformationen .....	162

5.5	Mehrgipflige Verteilungen .....	164
5.5.1	Mischverteilung über Momentenmethode .....	164
5.5.2	Mischverteilung durch Überlagerung .....	165
5.6	Zweidimensionale Normalverteilung .....	166
5.7	Zufalls- und Vertrauensbereiche .....	168
5.7.1	Zufallsstrebereiche .....	168
5.7.2	Vertrauensbereiche .....	170
5.7.3	Vertrauensbereich für Fähigkeitskennwerte .....	172
<b>6</b>	<b>Numerische Testverfahren .....</b>	<b>175</b>
6.1	Beurteilungskriterien mittels grafischer Darstellungen .....	175
6.2	Beschreibung der numerischen Testverfahren .....	177
6.2.1	Hypothesenformulierung und Testauswahl .....	177
6.2.2	Prüfgröße .....	178
6.2.3	Irrtumswahrscheinlichkeit .....	179
6.2.4	Testentscheidung .....	180
6.2.5	Fehlerrisiken bei der Testentscheidung .....	184
6.2.6	Operationscharakteristik .....	186
6.2.7	Power ( $1-\beta$ ) .....	187
6.2.8	Wichtige Einflüsse auf die Power von Testverfahren .....	188
6.2.9	Einseitige Testverfahren .....	191
6.2.10	Testplanung für den optimalen Stichprobenumfang .....	193
6.3	Test auf Zufälligkeit .....	194
6.4	Tests auf Trend .....	196
6.5	Tests auf Normalverteilung .....	202
6.6	Tests auf Ausreißer .....	212
6.7	Vergleich von Varianzen und Mittelwerten .....	216
6.7.1	Normalverteilte Messwertreihen .....	216
6.7.2	Nicht normalverteilte Messwertreihen .....	222
6.7.3	Test von Kruskal und Wallis .....	222
6.7.4	Levene-Test .....	224
6.8	Übersichtsdarstellung von Testergebnissen .....	225
<b>7</b>	<b>Qualitätsregelkartentechnik .....</b>	<b>226</b>
7.1	Was ist eine Qualitätsregelkarte? .....	226
7.2	Stichprobenentnahme und -frequenz .....	230
7.3	Gebräuchliche Qualitätsregelkarten .....	232
7.4	Qualitätsregelkarten für diskrete Merkmalswerte .....	233
7.4.1	Berechnung der Eingriffsgrenzen .....	234
7.4.2	Shewhart np-Karte (BV) für Anteilwerte .....	236
7.4.3	Shewhart np-Karte, Näherung auf Basis der Normalverteilung .....	243
7.4.4	Shewhart p-Karte (BV) für die Überwachung des Anteils fehlerhafter Einheiten .....	247

7.4.5	Shewhart p-Karte (NV) für Anteilswerte .....	249
7.4.6	Shewhart c-Karte für Ereignisse je Einheit (PV) .....	251
7.4.7	Shewhart c-Karte für Ereignisse je Einheit (NV) .....	257
7.4.8	Shewhart u-Karte für die Überwachung der mittleren Anzahl Fehler je Einheit .....	260
7.4.9	Shewhart u-Karte für Ereignisse je Einheit (NV) .....	263
7.5	Fehlersammelkarten .....	265
7.5.1	Aufbau einer Fehlersammelkarte .....	265
7.5.2	Erstellung einer Fehlersammelkarte .....	267
7.6	Qualitätsregelkarten für kontinuierliche Merkmale .....	271
7.6.1	Aufbau der Regelkarten .....	271
7.6.2	Vorgehensweise anhand einer $\bar{x}/s$ -Karte .....	273
7.6.3	Stabilitätskriterien für Normalverteilung .....	280
7.6.4	Shewhart-Karten .....	289
7.6.5	Bewertung der verschiedenen Lage- und Streuungskarten .....	295
7.7	Annahmequalitätsregelkarten .....	296
7.7.1	Entstehung einer Annahmekarte .....	296
7.7.2	Fallbeispiele zur Annahmekarte .....	300
7.7.3	Eingriffsgrenzen der Annahmekarten .....	302
7.8	Shewhart-Karte mit gleitenden Kennwerten .....	304
7.9	Pearson- oder Johnson-Qualitätsregelkarten .....	306
7.10	Shewhart-Karten mit erweiterten Grenzen .....	308
7.10.1	Prozess mit zufälligen Schwankungen .....	308
7.10.2	Prozesse mit systematischem Trend .....	315
7.11	Qualitätsregelkarten und zeitabhängige Verteilungsmodelle .....	321
7.12	Stabilitätsstufen .....	323
7.13	Empfindlichkeit von Qualitätsregelkarten .....	327
7.14	Weitere Qualitätsregelkarten .....	333
7.14.1	Pre-Control-Regelkarten .....	333
7.14.2	CUSUM-Regelkarten .....	334
7.14.3	EWMA-Regelkarten .....	336
<b>8</b>	<b>Prozessbewertung anhand diskreter Merkmale .....</b>	<b>337</b>
8.1	Einleitung .....	337
8.2	DPU und DPO als Kennzahl für diskrete Merkmale .....	338
8.3	Fähigkeitskennzahlen für diskrete Merkmale .....	339
<b>9</b>	<b>Prozessbewertung kontinuierlicher Merkmale .....</b>	<b>342</b>
9.1	Allgemeines .....	342
9.2	Zeitabhängige Verteilungsmodelle .....	343
9.2.1	Zeitabhängiges Verteilungsmodell A1 .....	345
9.2.2	Zeitabhängiges Verteilungsmodell A2 .....	346

9.2.3	Zeitabhängiges Verteilungsmodell B .....	347
9.2.4	Zeitabhängiges Verteilungsmodell C1 .....	348
9.2.5	Zeitabhängiges Verteilungsmodell C2 .....	349
9.2.6	Zeitabhängiges Verteilungsmodell C3 .....	350
9.2.7	Zeitabhängiges Verteilungsmodell C4 .....	351
9.2.8	Zeitabhängiges Verteilungsmodell D .....	352
9.2.9	Qualitätsfähigkeit eines Prozesses .....	353
9.3	Typische Kenngrößen .....	354
9.3.1	Prozessleistung (Prozesspotenzial) .....	354
9.3.2	Minimaler Fähigkeitsindex $C_{pk}$ ( $P_{pk}$ ) .....	356
9.3.3	Qualifikationsphasen und Indizes .....	358
9.3.4	Beherrscht und stabil .....	360
9.4	Allgemeine geometrische Methode $M_{l,d}$ .....	365
9.4.1	Fähigkeitskenngrößen nach ISO 22514-2: 2013-09 .....	365
9.4.2	Bezeichnungen und Bestimmungsgleichungen für den Lageschätzer $l$ nach ISO 22514-2 .....	368
9.4.3	Bezeichnungen und Bestimmungsgleichungen für den Streuungsschätzer $d$ nach ISO 22514-2 .....	369
9.4.4	Zuordnung von Schätzmethode zu den Verteilungszeitmodellen nach ISO 22514-02: 2013-09 .....	370
9.5	Fähigkeitsermittlung bei nicht definierten Verteilungsmodellen .....	371
9.6	Falsche Berechnungsmethoden .....	373
9.7	Kompensation der zusätzlichen $\bar{x}$ -Streuung .....	374
9.8	Sonderfall – „Potenzial“ kleiner als Fähigkeit .....	376
9.9	Berechnungsmethode nach CNOMO .....	378
9.10	Kenngrößen für zweidimensionale Normalverteilungen .....	381
9.10.1	Best Fit Move .....	384
9.11	Grenzwerte für Qualitätsfähigkeitskenngrößen .....	386
<b>10</b>	<b>Prozess- und Produktbeurteilung .....</b>	<b>390</b>
10.1	Zeitliche Abfolge der Fähigkeitsbeurteilung .....	390
10.2	Auswahl der zeitabhängigen Verteilungsmodelle .....	394
10.2.1	Ausgangssituation und Zielsetzung .....	395
10.2.2	Vorbemerkungen .....	396
10.2.3	Beschreibung einer Auswertestrategie im Einzelnen .....	398
10.2.4	Automatisierte Auswahl von zeitabhängigen Verteilungsmodellen .....	404
10.3	Abnahmebedingungen für Fertigungseinrichtungen .....	418
10.4	Produkte bewerten .....	428
10.4.1	Control-Plan .....	428
10.4.2	Bewertung basierend auf Merkmalsergebnissen .....	428
10.4.3	Bewertung basierend auf Toleranzausnutzung .....	433

10.5 Automatisierte Auswertung.....	435
10.5.1 Anforderungen .....	435
10.5.2 Datenhaltung.....	436
10.5.3 Regelkreise .....	438
10.5.4 Auswertung und Berichtssystem .....	439
10.5.5 Nutzen.....	442
10.6 Datenverdichtung und Langzeitauswertung .....	443
10.7 Prozesssicht .....	451
<b>11 Korrelations- und Regressionsanalyse .....</b>	<b>454</b>
11.1 Grafische Analyse.....	454
11.1.1 Grafische Analysen .....	455
11.2 Korrelationsanalyse .....	458
11.2.1 Der Korrelationskoeffizient nach Karl Pearson .....	458
11.2.2 Rangkorrelation.....	463
11.3 Regressionsanalyse .....	465
11.3.1 Einfache lineare Regression .....	465
11.3.2 Mehrfache und quasilineare Regression.....	475
<b>12 Zuverlässigkeit .....</b>	<b>480</b>
12.1 Bedeutung der Zuverlässigkeitsanalyse .....	480
12.2 Der Begriff Zuverlässigkeit.....	480
12.3 Die Zuverlässigkeitsprüfung .....	480
12.3.1 Der prinzipielle Ablauf einer Zuverlässigkeitsprüfung .....	481
12.3.2 Das Weibull-Verteilungsmodell .....	482
12.4 Fallbeispiele zur Zuverlässigkeitsprüfung.....	487
12.4.1 End-of-Life Tests.....	487
12.5 Prüfplanung für einen Success-Run-Test.....	493
<b>13 Firmenrichtlinien .....</b>	<b>497</b>
13.1 Ford Testbeispiele .....	497
13.2 Daimler Leitfaden LF 1236 .....	527
13.3 General Motors PowerTrain MRO 3.2 .....	619
13.4 Robert Bosch GmbH – Heft 9.....	659
13.5 Volkswagen AG Konzernnorm 10130.....	701
<b>14 Anhang .....</b>	<b>737</b>
14.1 Modelle der Varianzanalyse .....	737
14.1.1 Prozessbeurteilung .....	737
14.2 Formelsammlung für Verteilungen.....	741
14.3 Tabellen.....	742

<b>15 Verzeichnisse .....</b>	<b>753</b>
15.1 Verzeichnis der verwendeten Abkürzungen.....	753
15.2 Literaturverzeichnis.....	755
<b>16 Index.....</b>	<b>761</b>