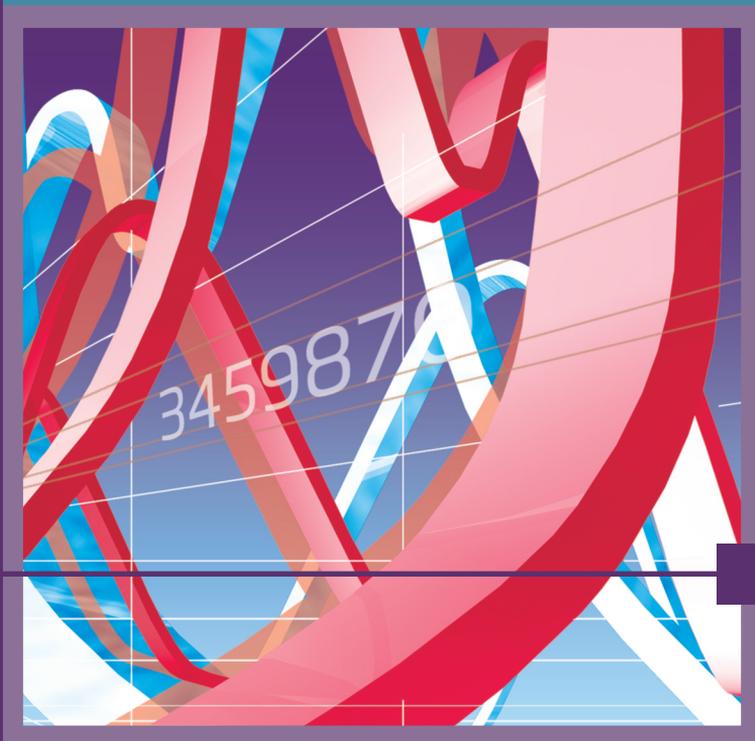


Edgar Dietrich
Alfred Schulze

Statistische Verfahren zur Maschinen- und Prozessqualifikation



7., aktualisierte Auflage

HANSER

Edgar Dietrich/Alfred Schulze
Statistische Verfahren zur Maschinen- und Prozessqualifikation



Bleiben Sie auf dem Laufenden!

Hanser Newsletter informieren Sie regelmäßig über neue Bücher und Termine aus den verschiedenen Bereichen der Technik. Profitieren Sie auch von Gewinnspielen und exklusiven Leseproben. Gleich anmelden unter www.hanser-fachbuch.de/newsletter

Edgar Dietrich
Alfred Schulze

Statistische Verfahren zur Maschinen- und Prozessqualifikation

7., aktualisierte Auflage

HANSER

Die Autoren:

Dr.-Ing. Edgar Dietrich, Dipl.-Ing. Alfred Schulze, Q-DAS GmbH & Co. KG, Weinheim.



Bibliografische Information Der Deutschen Bibliothek:

Die Deutsche Bibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <<http://dnb.ddb.de>> abrufbar.

ISBN 978-3-446-44055-5

E-Book-ISBN 978-3-446-44024-1

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutzgesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

Alle in diesem Buch enthaltenen Verfahren bzw. Daten wurden nach bestem Wissen dargestellt. Dennoch sind Fehler nicht ganz auszuschließen.

Aus diesem Grund sind die in diesem Buch enthaltenen Darstellungen und Daten mit keiner Verpflichtung oder Garantie irgendeiner Art verbunden. Autoren und Verlag übernehmen infolgedessen keine Verantwortung und werden keine daraus folgende oder sonstige Haftung übernehmen, die auf irgendeine Art aus der Benutzung dieser Darstellungen oder Daten oder Teilen davon entsteht.

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt.

Alle Rechte, auch die der Übersetzung, des Nachdruckes und der Vervielfältigung des Buches oder Teilen daraus, vorbehalten. Kein Teil des Werkes darf ohne schriftliche Einwilligung des Verlages in irgendeiner Form (Fotokopie, Mikrofilm oder einem anderen Verfahren), auch nicht für Zwecke der Unterrichtsgestaltung – mit Ausnahme der in den §§ 53, 54 URG genannten Sonderfälle –, reproduziert oder unter Verwendung elektronischer Systeme verarbeitet, vervielfältigt oder verbreitet werden.

© 2014 Carl Hanser Verlag München Wien

www.hanser-fachbuch.de

Lektorat: Dipl.-Ing. Volker Herzberg

Herstellung: Der Buchmacher, Arthur Lenner, München

Coverconcept: Marc Müller-Bremer, Rebranding, München, Germany

Titelillustration: Frank Wohlgemuth, Hamburg

Coverrealisierung: Stephan Rönigk

Druck und Bindung: Kösel, Krugzell

Printed in Germany

Vorwort zur 7. Auflage

Mittlerweile kann ich auf über 25 Jahre Erfahrung im Umgang mit statistischen Verfahren in der industriellen Produktion zurückblicken. Durch den nahezu täglichen Kontakt mit dieser Thematik über die weltweit verbreiteten Kunden von Q-DAS[®] ist ein großer Erfahrungsschatz mit den unterschiedlichsten Facetten und Forderungen entstanden, den ich mit diesem Buch weitergebe.

Zum Thema „Statistik“ werden mehrere klassische Lehrbücher angeboten, die viel Theorie enthalten, mit denen ein Praktiker aber nur bedingt etwas anfangen kann. Geschweige denn, dass viele der in den Büchern enthaltenen Verfahren den Praxisbezug vermissen lassen.

Bereits bei der ersten Ausgabe dieses Buches stand nicht die Theorie im Vordergrund, sondern die Anwendung der beschriebenen Verfahren. Anhand von Fallbeispielen und Hinweisen wird der Zusammenhang mit Aufgabenstellungen aus der Praxis hergestellt.

Durch den Gedankenaustausch mit Entscheidern und Experten aus der Industrie und verschiedenen Gremien wie ISO, DIN, VDA und VDI konnten einige der bekannten Verfahren erweitert werden, um noch aussagekräftiger und praxisrelevanter zu werden. Damit kann der Nutzen deutlich gesteigert werden, insbesondere dadurch, dass diese Verfahren in der Q-DAS[®] Software implementiert sind.

Heute können mit Hilfe von softwaretechnischen Lösungen komplexe Sachverhalte, Geschäftsvorfälle und Prozesse basierend auf qualitativ hochwertigen Informationen/Daten mittels statistischen Verfahren durch die sich daraus ergebenden Kenngrößen und Kennzahlen ausreichend genau beschrieben werden, um diese beurteilen und mittels Benchmark sowie vorgegebenen Grenzwerten bewerten zu können. Dazu ist insbesondere die Darstellung der Ergebnisse im Kontext mit der jeweiligen Aufgabenstellung anhand von aussagefähigen Grafiken äußerst wichtig. Gerade hierauf wird in diesem Buch großer Wert gelegt.

Die Anwendung statistischer Verfahren hat in den letzten Jahren weiter zugenommen und wird künftig noch mehr an Bedeutung gewinnen. Dafür sprechen mehrere Gründe:

- Je komplexer die Sachverhalte sind und je mehr die Komplexität zunimmt, umso mehr ist man auf statistische Verfahren angewiesen.
- Um die Kosten für die Fertigung und Herstellung von Produkten senken zu können, muss der Prüfaufwand reduziert werden. Fähigkeitsnachweis und die statistische Prozessregelung tragen dazu bei.
- Das Thema „Big Data“ und „Predictive Analytics“ basierend auf statistischen Verfahren ist in aller Munde und wird mit der Umsetzung von Industrie 4.0 immer mehr in den Vordergrund rücken.

Das Buch soll dem Leser die zur Maschinen- und Prozessqualifikation benötigten statistischen Verfahren näherbringen, um ihn bei der praktischen Anwendung zu unterstützen. Auch wenn durch den Einsatz von Software die Statistik selbst quasi eine Black Box – also einen Werkzeugkasten für statistische Verfahren – darstellt, ist das Wissen, wann welches Verfahren anzuwenden ist und wie die Ergebnisse zu interpretieren sind,

unumgänglich. Genau hierbei sollen die Inhalte des Buches einen Beitrag leisten. Gerne nehme ich Anregungen und Änderungswünsche entgegen.

Mein Dank gilt Herrn Michael Radeck, der mich fachlich bei der Ausarbeitung der 7. Auflage unterstützt hat, nicht zu vergessen, Frau Mesad, die für das Layout und die textlichen sowie grafischen Ausarbeitungen verantwortlich war.

Q-DAS[®] stellt für das Buch eine Demoversion von qs-STAT[®] zur Verfügung, mit der die Fallbeispiele und die meisten Grafiken in dem Buch nachvollzogen werden können. Die verwendeten Datensätze werden mit der Software zur Verfügung gestellt. Laden Sie sich diese Version von der Q-DAS[®] Homepage (www.q-das.de) herunter oder fordern Sie die Software bei Q-DAS[®] direkt an.

Weinheim, Januar 2014

Edgar Dietrich

Inhaltsverzeichnis

Vorwort zur 7. 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 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
2 Grundlagen der technischen Statistik.....	35
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 Zufallsstrebereiches	47
2.7 Aufgabe der Wahrscheinlichkeitsfunktionen	48
2.8 Zusammenstellung der grundlegenden Verfahren.....	49

3	Ermittlung statistischer Kenngrößen	52
3.1	Tabellarische Darstellungen	52
3.2	Markante Kenngrößen einer Messwertreihe.....	56
3.3	Ergebnisdarstellung der Kennwerte.....	66
4	Markante Grafiken	72
4.1	Darstellung von Einzelwerten	72
4.2	Wertestrahle	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
5	Wahrscheinlichkeitsverteilungen.....	119
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	χ^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
6	Numerische Testverfahren	175
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- β)	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
7	Qualitätsregelkartentechnik	226
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
8	Prozessbewertung anhand diskreter Merkmale	337
8.1	Einleitung	337
8.2	DPU und DPO als Kennzahl für diskrete Merkmale	338
8.3	Fähigkeitskennzahlen für diskrete Merkmale	339
9	Prozessbewertung kontinuierlicher Merkmale	342
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 Schätzmethoden 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
10	Prozess- und Produktbeurteilung	390
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
11	Korrelations- und Regressionsanalyse	454
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
12	Zuverlässigkeit	480
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
13	Firmenrichtlinien	497
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
14	Anhang	737
14.1	Modelle der Varianzanalyse	737
14.1.1	Prozessbeurteilung	737
14.2	Formelsammlung für Verteilungen.....	741
14.3	Tabellen.....	742

15 Verzeichnisse	753
15.1 Verzeichnis der verwendeten Abkürzungen.....	753
15.2 Literaturverzeichnis.....	755
16 Index.....	761

