

# HANSER



## Leseprobe

zu

# Statistische Verfahren zur Maschinen- und Prozessqualifikation

von Edgar Dietrich and Stephan Conrad

Print-ISBN: 978-3-446-46447-6  
E-Book-ISBN: 978-3-446-46504-6

Weitere Informationen und Bestellungen unter  
<https://www.hanser-kundencenter.de/fachbuch/artikel/9783446464476>

sowie im Buchhandel

© Carl Hanser Verlag, München

# Vorwort zur 8. Auflage

Das Beständige in der Welt ist der Wechsel. Zur achten Auflage dieses Buches wird Stephan Conrad unseren hoch geschätzten ehemaligen Kollegen, Co-Geschäftsführer und Mitbegründer der Q-DAS GmbH Herrn Dipl.-Ing. Alfred Schulze als Autor ablösen.

Wir können mittlerweile auf deutlich über 25 Jahre gemeinsame 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 wir mit diesem Buch weitergeben.

Zum Thema „Statistik“ werden mehrere klassische Lehrbücher angeboten, bei denen theoretische Abhandlungen im Vordergrund stehen, mit denen ein Praktiker aber nur bedingt etwas anfangen kann. Leider lassen auch viele der in den Büchern enthaltenen Verfahren den Praxisbezug vermissen, da sie zwar theoretisch anwendbar und korrekt sind, in der Praxis aus diversen Gründen aber kaum Anwendung finden.

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 vielfältigen Gedankenaustausch mit Entscheidern und Experten aus der Industrie und verschiedenen Gremien wie ISO, DIN, VDA, VDMA 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 Kenn-

größen 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.
- Trotz ersten Schritten mit künstlicher Intelligenz (KI/AI) werden sich die dort in Vorbereitung befindlichen Methoden immer an den bekannten statistischen Grundlagen messen lassen müssen. Um Ergebnisse der KI als plausibel und korrekt validieren zu können, müssen sie immer den statistische Grundkonzepten entsprechen, die deshalb weiterhin bekannt und beherrscht sein müssen.

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 der Werkzeugkasten der Statistik quasi zu einer Black Box wird, 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 nehmen wir Anregungen und Änderungswünsche entgegen.

Mein Dank gilt Herrn Michael Radeck, der uns fachlich bei der Ausarbeitung unterstützt hat.

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.com](http://www.q-das.com)) herunter oder fordern Sie die Software bei Q-DAS® direkt an.

Diese achte Auflage dieses Buches möchten wir Frau Heide Mesad widmen, die seit der ersten Auflage für das Layout und die textlichen sowie grafischen Ausarbeitungen verantwortlich war. Sie hat das Buch mit großem Einsatz und viel Herzblut gepflegt und ist zu unserem größten Bedauern nach kurzer Krankheit überraschend verstorben. Wir haben eine wunderbare Person und hoch geschätzte Kollegin verloren.

Weinheim, September 2021

*Stephan Conrad/Edgar Dietrich*

# Inhalt

<b>Vorwort zur 8. 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 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
<b>2</b>	<b>Grundlagen der technischen Statistik .....</b>	<b>39</b>
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 Zufallsstrebereiches .....	52
2.7	Aufgabe der Wahrscheinlichkeitsfunktionen .....	53
2.8	Zusammenstellung der grundlegenden Verfahren .....	54
<b>3</b>	<b>Ermittlung statistischer Kenngrößen .....</b>	<b>57</b>
3.1	Tabellarische Darstellungen .....	57
3.2	Markante Kenngrößen einer Messwertreihe .....	62
3.3	Ergebnisdarstellung der Kennwerte .....	73
<b>4</b>	<b>Markante Grafiken .....</b>	<b>79</b>
4.1	Darstellung von Einzelwerten .....	79
4.2	Wertestrahle .....	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
<b>5</b>	<b>Wahrscheinlichkeitsverteilungen</b>	<b>133</b>
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	$\chi^2$ -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	Zufallsstrebereiche	190
5.7.2	Vertrauensbereiche	192
5.7.3	Vertrauensbereich für Fähigkeitskennwerte	194

<b>6</b>	<b>Numerische Testverfahren</b> .....	<b>197</b>
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 ( $1 - \beta$ ) .....	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
<b>7</b>	<b>Qualitätsregelkartentechnik</b> .....	<b>253</b>
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

<b>8</b>	<b>Prozessbewertung anhand diskreter Merkmale</b> .....	<b>379</b>
8.1	Einleitung .....	379
8.2	DPU und DPO als Kennzahl für diskrete Merkmale .....	380
8.3	Fähigkeitskennzahlen für diskrete Merkmale .....	382
<b>9</b>	<b>Prozessbewertung kontinuierlicher Merkmale</b> .....	<b>385</b>
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
<b>10</b>	<b>Prozess- und Produktbeurteilung . . . . .</b>	<b>439</b>
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
<b>11</b>	<b>Korrelations- und Regressionsanalyse</b>	<b>515</b>
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
<b>12</b>	<b>Zuverlässigkeit</b>	<b>547</b>
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	Zeitensierte Tests	557
12.5	Prüfplanung für einen Success-Run-Test	561
<b>13</b>	<b>Firmenrichtlinie: Ford Testbeispiele</b>	<b>565</b>
<b>14</b>	<b>Anhang</b>	<b>603</b>
14.1	Modelle der Varianzanalyse	603
14.1.1	Prozessbeurteilung	603
14.1.2	Varianzanalysetafel (ANOVA-Tafel)	605
14.1.3	Schätzen der unbekannt Parameter	605
14.2	Formelsammlung für Verteilungen	606
14.3	Tabellen	608

<b>15</b>	<b>Verzeichnis der verwendeten Abkürzungen .....</b>	<b>619</b>
<b>16</b>	<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>623</b>
<b>Index</b>	<b>.....</b>	<b>627</b>

## ■ 1.1 Statistische Verfahren in der industriellen Produktion

Die in dem Buch beschriebenen statistischen Verfahren finden ihren Einsatz bzw. ihre Anwendung in erster Linie in der industriellen Produktion. Dazu zählen die Bereiche:

- Fertigungstechnik, mit der Herstellung und Montage von diskreten bzw. zählbaren Teilen
- prozesstechnische Produktion, bei der der Güterausstoß mengen- oder volumenorientiert gemessen wird, wie sie vornehmlich in der chemischen Industrie und der Nahrungsmittelindustrie zum Tragen kommen
- Verfahrenstechnik, mit der Verarbeitung von Rohmaterialien anhand kontinuierlicher und diskontinuierlicher Prozesse.

Sicherlich sind die meisten Verfahren auch auf andere Bereiche wie den Dienstleistungssektor übertragbar. Allerdings beschreibt das Buch keine Anwendungsbeispiele aus diesen Bereichen.

Heute sind diese Verfahren am weitesten in der Automobil- und Zulieferindustrie verbreitet. Insbesondere die Forderung aus Normen (IATF 16949:2016, IATF, 2016), Verbandsrichtlinien wie VDA (2008; 2016; 2020; 2021) oder QS-9000 (A.I.A.G., 1998) haben wesentlich zur Verbreitung beigetragen. Damit waren sowohl die Hersteller als auch die Zulieferer gezwungen, diese Verfahren umzusetzen. Viele Großkonzerne haben darauf basierend ihre eigenen firmenspezifischen Richtlinien (Daimler, 2008; General Motors, 2004; Robert Bosch, 2019; Volkswagen, Audi, 2005a und 2005b) erstellt und in Form von Verfahrensanweisungen verbindlich vorgeschrieben.

In der Automobil- und Zulieferindustrie, die hierfür sicherlich eine Vorreiterrolle spielte, wurden die Machbarkeit, die Sinnhaftigkeit und der Nutzen dieser Verfahren nachgewiesen. Aufgrund dieser positiven Erfahrung haben sie sich mittler-

weile auch auf andere Branchen und Industriezweige ausgebreitet. Zumal die Anwendung statistischer Verfahren beim Aufbau und Betrieb eines Qualitätsmanagementsystems nach ISO 9001 (DIN, 2015b) gefordert ist. Dabei beschränken sich diese Verfahren nicht nur auf die Massenfertigung, sondern können sehr wohl auch für Kleinserien bis hin zu komplexen Einzelteilen verwendet werden. Bei Kleinserien ist es in erster Linie der Vergleich mit zurückliegenden Chargen, um Trends und Veränderungen zu erkennen. Bei komplexen Einzelteilen mit in der Regel vielen Merkmalen ist es sehr häufig der Vergleich baugleicher Merkmale und deren Dokumentation, um die Rückverfolgbarkeit sicher zu stellen. Die Anwendung statistischer Verfahren ist in der Normung nicht nur gefordert, sondern auch selbst genormt (Abschnitt 1.3 und Abschnitt 1.4).

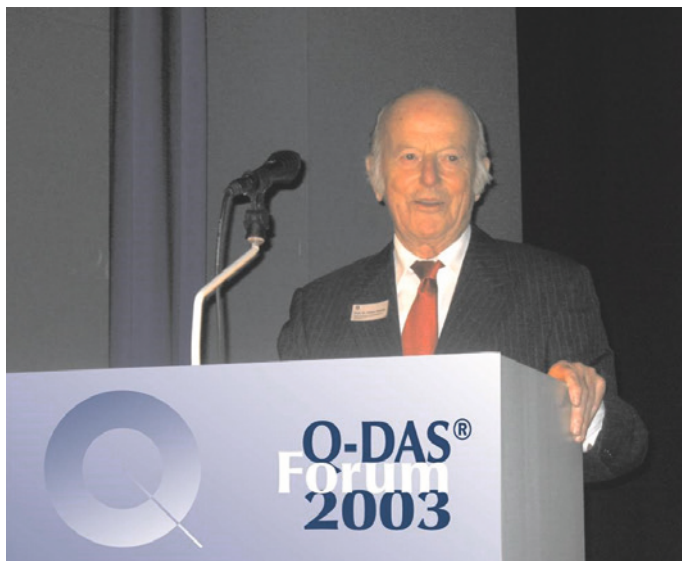
Die hier beschriebenen statistischen Verfahren können thematisch zu folgenden Anwendungsbereichen zusammengefasst werden:

- Eignungsnachweise von Prüfprozessen (Abschnitt 1.5)
- SPC Statistical Process Control (Prozessregelung und -überwachung) sowie Abnahme von Maschinen und Fertigungseinrichtungen (Abschnitt 1.6)
- DoE – Design of Experiments (Versuchsplanung, Abschnitt 1.7).

In der Ausbildung werden statistische Verfahren oft singular betrachtet und nicht im Gesamtkontext in Verbindung mit dem jeweiligen Einsatzbereich gesehen. Dies hat sich mit der Einführung von Six Sigma (Abschnitt 1.8) geändert. Dabei wird zwischen Six Sigma für die Produktion nach den DMAIC-Phasen und Six Sigma für die Entwicklung (DFSS – Design for Six Sigma) nach unterschiedlichen Phasenmodellen (z.B. IDOV) unterschieden. Jeder Phase sind dabei die entsprechenden statistischen Verfahren zugeordnet, wie sie sinnvollerweise angewandt werden sollen.

## ■ 1.2 Statistik als Basis qualitätsmethodischen Denkens und Handelns

Prof. Masing (Bild 1.1) hat anlässlich des Q-DAS<sup>®</sup>-Forums am 26. 11. 2003 den folgenden Vortrag gehalten. Er hat den Mitschnitt des Textes selbst korrigiert und der Fa. Q-DAS<sup>®</sup> zur Veröffentlichung freigegeben. Es war einer seiner letzten Auftritte vor seinem Tod am 29. März 2004. Sein Beitrag lebt von dem großen Erfahrungsschatz, den er in seinem langen Berufsleben gesammelt hat. Auch wenn der geschriebene Text nur sehr begrenzt den wundervollen Vortragsstil von Prof. Masing widerspiegeln kann, wollen wir aufgrund der historischen Bedeutung und der hervorragenden geschichtlichen Zusammenfassung die Abschrift hier wiedergeben.



**Bild 1.1** Prof. Dr. Masing (\* 22. Juni 1915 – † 29. März 2004) beim Q-DAS®-Forum 2003

Niemand anderes als Prof. Masing hätte in der heutigen Zeit besser über die Anwendung statistischer Verfahren in der industriellen Produktion berichten können, zumal er wesentlich an der Einführung und Verbreitung dieser Verfahren in Deutschland beigetragen hat. Für Q-DAS® ist es eine große Ehre, dass Prof. Masing diesen Vortrag ausgearbeitet hat:

### 1.2.1 Begrüßung

Meine sehr verehrten Damen, meine Herren,  
mir liegt viel daran, den Organisatoren dieser Veranstaltung für die Einladung zu diesem Forum zu danken. Sie gibt mir Gelegenheit, vor einem fachlich qualifizierten Auditorium Anmerkungen zu einem Thema zu machen, dem ein guter Teil meiner Lebensarbeit gewidmet war. Zu dieser Thematik hat ja das Unternehmen, dessen Ehrentag wir heute gemeinsam feiern, bedeutsame Beiträge geleistet.

### 1.2.2 Einleitung

Wir unterscheiden bekanntlich beschreibende und schließende Statistik. Klassische Beispiele beschreibender Statistik finden wir im Statistischen Jahrbuch der Bundesrepublik Deutschland mit seinen Angaben über Tausende von Gegebenhei-



ten und deren Entwicklung in unserem Land, wie Bevölkerung, Flächennutzung, Industrieproduktion, Verkehr und vieles andere mehr. Diese Art Statistik wird sicher schon in prähistorischer Zeit genutzt worden sein. Die Archäologie stellt uns zwar darüber keine Beweise zur Verfügung, doch dürfen wir annehmen, dass schon unsere Altvorderen im Neandertal die Anzahl ihrer Schafe und Rinder festgehalten und untereinander verglichen haben.

Die ersten Beweise für beschreibende Statistik haben wir aus einer Jahrzehntausende späteren Zeit. Es sind statistische Angaben in Keilschrift auf Tontafeln der Sumerer, die knapp 3000 Jahre vor unserer Zeitrechnung entstanden sind. Sie waren gut zwei Jahrtausende in diesem geografischen Raum bis hin nach Ägypten in Gebrauch. Heute zählen zur beschreibenden Statistik z.B. auch die vielen Millionen Daten, die tagein-tagaus in industriellen Produktionsbetrieben anfallen. Ihre Verarbeitung ist nur noch mit den modernsten elektronischen Mitteln möglich, wie sie vor allem unser gastgebendes Unternehmen entwickelt.

So wichtig beschreibende Statistik damals war und heute noch ist: Sie hat in der Öffentlichkeit nicht durchweg den besten Ruf, weil sie bis zum Geht-nicht-mehr manipulierbar ist und auch oft und gern manipuliert wird. Churchill soll gesagt haben: „Ich glaube nur einer Statistik, die ich selber gefälscht habe.“ Und in der Tat: So mancher von uns liest und hört mit großem Unbehagen statistische Angaben, und das besonders, wenn sie von Politikern stammen. Geradezu staunenswert ist ja, wie jemand es durch geschickte Interpretation fertigbringt, auch mit korrekten Daten allein durch deren Auswahl eindrucksvoll zu lügen. Ich habe beim Zuhören gelegentlich den Eindruck, dass der Redner das köstliche Buch von Darrell Huff „How to lie with statistics“ recht aufmerksam studiert haben muss. Das gilt übrigens auch für (gewiss nicht alle, aber doch für zu viele) Journalisten und andere Meinungsmacher.

### 1.2.3 Beginn

Die Anfänge der schließenden Statistik sind viel jüngeren Datums. Da sind vor allem zwei französische Mathematiker Mitte des 17. Jahrhunderts zu nennen, Blaise Pascal und Pierre de Fermat. Sie haben der Nachwelt nicht hinterlassen, wie sie darauf gekommen sind, sich mit Fragen der Wahrscheinlichkeit zu beschäftigen. Im Umlauf ist aber eine Erklärung, die viel für sich hat. Sie führt uns an den Hof des Sonnenkönigs Ludwigs des XIV in Versailles. Die einzige Aufgabe der meisten adligen Höflinge dort war es, dem Herrscher auf einen Wink hin jederzeit zu Diensten zu sein.

Doch konnten Stunden, ja Tage vergehen, bis jemand antreten musste. Aus Langeweile vertrieb man sich die Zeit mit Glücksspielen. Wenn nun mitten im Spiel einer aus der Runde zum Dienst befohlen wurde, war das Spiel beendet und musste

# Index

## Symbole

$\bar{x}$ /s-Karte 260  
 $\bar{x}$ /R-Karte 260  
 $\tilde{x}$ /s-Karte 307  
1-/5-Teile Bericht 482  
 $\alpha$ -Fehler 212  
 $\chi^2$ -Anpassungstest 226  
 $\chi^2$ -Netz 110  
 $\chi^2$ -Test 465  
 $\chi^2$ -Verteilung 165

## A

A1 Verteilungsmodell 388 f.  
A2 Verteilungsmodell 388, 390  
ABC-Bereich 113  
Ablehnungsbereich 203  
Abnahmebedingungen 475  
Abweichungsgrad 87  
Alternativhypothese 199  
analytische Statistik 40  
Annahmehbereich 203  
Annahmekarte 333, 360  
Annahmequalitätsregelkarten 333  
ANOVA 245, 603  
Anpassungstests 464  
Anteil fehlerhafter Einheiten 271  
arithmetischer Mittelwert 60, 62  
ARL 372  
Asymmetrie 64  
Aufbewahrungszeitraum 509  
ausfallfreie Zeit 181, 553  
Ausfallsteilheit 181

Ausfallverhalten 548  
Ausreißertest 236  
Ausschussanteil 379  
Auswertung 75  
automatisierte Datenanalyse 502

## B

Balkendiagramm 60  
Bartlett-Test 243  
beherrscht 406  
Benchmark 124  
beschreibende Statistik 40  
Best Fit Move 432  
Betragsverteilung 1. Art 171, 176, 460, 607  
Betragsverteilung 2. Art 178, 460, 607  
Beurteilungssystem 487  
Binomialverteilung 137, 366  
Box-Plot 114, 504  
B Verteilungsmodell 391

## C

C1 Verteilungsmodell 388, 392  
C2 Verteilungsmodell 388, 393  
C3 Verteilungsmodell 388, 394  
C4 Verteilungsmodell 388, 395  
CAD-Zeichnung 127  
CAM 426  
CDOV 37  
charakteristische Lebensdauer 181  
c-Karte 260, 262

CNOMO 91, 426  
 Cpk 259  
 CUSUM-Regelkarten 375  
 C-Werte 259

## D

d'Agostino 227, 464  
 Datenverdichtung 502, 505  
 Design of Experiments 28  
 deskriptive Statistik 40  
 DFSS 36  
 Differenzenstreuung 220  
 direkter Schluss 41  
 diskrete Merkmale 261, 379  
 DMADV 37  
 DMAIC 34  
 DoE 28  
 DPMO 379, 381  
 DPO 379 ff.  
 DPU 379 ff.  
 Drehmoment 171  
 D Verteilungsmodell 396

## E

Ebenheit 171  
 einfache lineare Regression 528  
 Einflussgrößen 477  
 Eingriffgrenze 309  
 – Mittelwertkarte 309  
 – Standardabweichungskarte 309  
 Eingriffsgrenze 254 f., 263, 341, 365 f.  
 Eingriffsgrenzenverletzungen 366  
 einseitig begrenzte Merkmale 483  
 einseitiger oberer Schwellenwert 156  
 einseitiger unterer Schwellenwert 156  
 Einzelwerte 79  
 Einzelwerteverlauf 79  
 Einzelwertkarten 328  
 Empfindlichkeit 368  
 End-of-Life Tests 555  
 Epps-Pulley-Test 229  
 Ereigniskatalog 82  
 erweiterte Grenzen 347

erweiterter Shapiro-Wilk-Test 232  
 Erweiterung Eingriffsgrenzen 353  
 EWMA-Regelkarten 377  
 Exzess 61, 65

## F

Fähigkeit 259  
 Fähigkeitsindizes 39, 61, 68, 118, 382,  
 429 f., 504  
 Fehler 1. Art 208  
 Fehler 2. Art 208  
 Fehlerbeseitigungsaufwand 382  
 Fehler je Einheit 278  
 Fehlerrisiken 208  
 Fehlersammelkarte 297, 299  
 Flächenform 171  
 Ford Testbeispiele 565  
 Formelsammlung 606  
 Formnester 85  
 Formparameter 181, 552  
 Formtoleranz 75  
 Formtoleranzen 171, 460  
 FSK *siehe* Fehlersammelkarte  
 F-Test 242  
 F-Verteilung 167

## G

geometrischer Mittelwert 62  
 Geradheit 171  
 gerichtsverwertbare Daten 510  
 Gesamtstandardabweichung 359  
 gleitende Kennwerte 108, 342, 366  
 Größtwert 60, 74  
 Grundgesamtheit 40  
 GUM 22  
 Gut-Schlecht-Denken 24

## H

Hampel-Test 239  
 Histogramm 90, 152  
 Hypergeometrische Verteilung 133

**I**

ICOV 37  
IDOV 37  
indirekter Schluss 40  
induktive Statistik 40  
Irrtumswahrscheinlichkeit 54, 203

**J**

Johnson-Transformation 183, 460

**K**

Kendallsche Rangkorrelation 527  
Kenngrößen 57, 62  
Kennwerte 39, 73  
Klassengrenzen 90  
Klassierung 90, 95  
Kleinstwert 60, 74  
Koaxialität 171  
Kolmogoroff-Smirnoff-Lillefors-Test  
464  
kontinuierliche Merkmale 304, 385  
Korrelation 40  
Korrelationsanalyse 515  
kritische Indizes 120  
Kruskal-Wallis-Test 247  
Kundenzufriedenheit 27  
Kurtosis 65, 235  
Kurzzeitfähigkeit 403, 439

**L**

Lagekarte 260, 366  
Lageparameter 181, 258, 551  
Lagesprünge 221  
Lage-Spur 260  
Lagetoleranzen 171, 460  
Längenmaße 171  
Langzeitauswertung 502  
Langzeitfähigkeit 403, 441  
Levene-Test 249  
Lieferant 405  
lineare Regression 528

Linienform 171  
logarithmische Normalverteilung 175,  
460, 607  
logarithmische Transformation 172

**M**

Maschine 258, 403  
Maschinenfähigkeit 439  
Masing 2  
Median 60, 62  
Mediankarte 326, 338  
Merkmal 40  
– diskret 133, 261  
– kontinuierlich 304  
Merkmalsarten 42  
Merkmalsübersicht 76  
Messmanagementsysteme 22  
Messprozesse 22  
Messunsicherheit 22  
Messwertkurven 86  
Messwertreihe 60, 62  
Methode M1 412  
Middle Third 256, 315, 320  
Mischverteilung 186  
Mittellinie 254  
Mittelwert 54, 62, 241  
– gleitender 108  
Mittelwertkarte 75, 326, 338  
Modellanpassung 459  
Modell I 603f.  
Modell II 603f.  
Momentenmethode 186

**N**

Näherung 264  
Neigung 171  
Nelson Rules 322  
Nichteingriffswahrscheinlichkeit 366  
Normalverteilung 151, 171, 460, 606  
– logarithmische 175, 460  
– standardisierte 155  
– zweidimensional 188, 429  
Normung 15, 19

np-Karte 260  
 Nullhypothese 199  
 numerische Testverfahren 197  
   *siehe* Testverfahren

## O

Operationscharakteristik 39, 209

## P

Parallelität 171  
 Pareto-Analyse 111, 302  
 PDCA 36  
 PDF-Format 507  
 Pearson 182, 460  
 Pearson-Qualitätsregelkarten 345  
 Percentile 61  
 p-Karte 260, 262  
 Planlauf 171  
 Poisson-Verteilung 144  
 Polardarstellung 105  
 Portfolio 124, 381  
 Positionstoleranz 171, 431  
 Potenzial 118 f.  
 Power 210  
 Pre-Control-Karten 374  
 Produktbeurteilung 439  
 Produktbewertung 487  
 Produktmerkmale 42  
 Produzentenhaftung 511  
 Prozess 258 f., 365 f., 403 f.  
 Prozessanalyse 404  
 Prozessbeurteilung 439  
 Prozesseigner 260  
 Prozessfähigkeit 401  
 Prozesslage 75, 352  
 Prozesslage 358  
 Prozesslageverschiebung 370  
 Prozessleistung 399  
 Prozesspotenzial 399  
 Prozessstreuung 74 f.  
 Prozessstreuung 75  
 Prüffrequenz 259

Prüfgröße 201  
 P-Wert Methode 205

## Q

QRK *siehe* Regelkarte  
 Qualifikationsphasen 403  
 qualitative Merkmale 379  
 Qualitätsfähigkeit 397  
 Qualitätsregelkarte 39, 253, 366, 368, 374  
 Qualitätsregelkarten 379  
 Qualitätsregelkartentechnik 253  
 Quantil 65  
 Quantile 61, 75  
 quantitative Merkmale 379  
 quasilineare Regression 541

## R

Range 63  
 Rangkorrelation  
 – Kendallsche 527  
 – Spearmansche 526  
 Rauheit 171  
 Rayleigh-Verteilung 171, 178, 460  
 rechtliche Aspekte 509  
 Rechtwinkligkeit 171  
 Regelkarten 253  
 –  $\bar{x}/s$ -Karte 307  
 – CUSUM-Karte 375  
 – EWMA 377  
 – Fehlersammelkarte 297  
 – Pre-Control-Karte 374  
 – Urwertkarte 330  
 Regression 40, 515, 541  
 Regressionskoeffizient 462  
 Regressionsmodell 529  
 Repeatability 22  
 Reproducibility 22  
 R-Karte 260  
 Run 256, 317 f.  
 Rundheit 171  
 Rundlauf 171

**S**

Schadensfall 509  
Schätzer  
– Prozesslage 311  
– Prozessstreuung 311  
Schiefe 61, 64  
Schwellenwert 157  
Selektionskriterien 506  
Serienanlauf 403  
Shapiro-Wilk-Test 231, 464  
Shewhart 7  
Shewhart-Karte 325, 342  
Signifikanztest 536  
Six Sigma 30  
s-Karte 260  
Spannweite 60, 63  
Spannweitenkarte 327  
Spearman'sche Rangkorrelation 526  
Spezifikationsgrenze 74 f.  
Spiegelung 173  
s-Spur 307  
stabil 406  
Stabilität 366  
Stabilitätskriterien 39, 314, 364  
Stabilitätsstufen 364  
Stabilitätsverletzungen 315  
Standardabweichung 54, 60, 63  
Standardabweichungskarte 327  
Standardisierte Normalverteilung 155  
Statistical Process Control 23  
Statistik 40  
statistische Kenngrößen 57  
statistische Kennwerte 39, 504  
Stichprobe 40, 258 f., 366  
Stichprobenentnahme 258  
Stichprobenfrequenz 258  
Stichprobenkennwerte 77  
Stichprobenumfang 259, 365  
Streuung 483  
Streuung der Mittelwerte 351, 358  
Streuungskarte 260, 366  
Streuungs-Spur 260  
Streuzahl 64  
s über  $\bar{x}$ -Darstellung 125  
Success-Run-Test 561

Summenlinie 97, 153  
Summenwahrscheinlichkeit 157  
Symmetrie 171  
systematischer Trend 355  
systematische Streuung 314

**T**

Tabellen 608  
Taguchi 25  
Teileprotokoll 75  
Teileübersicht 76  
Test  
– Normalverteilung 225  
TESTA 11  
Testentscheidung 204  
Testergebnisse 251  
Testverfahren 39, 197  
– Asymmetrie 234, 464  
– Bartlett-Test 243  
– d'Agostino 227  
– David, Hartley und Pearson 236 f.  
– Epps-Pulley 229  
– erweiterter Shapiro-Wilk 232  
– F-Test 242  
– Grubbs 238  
– Hampel-Test 239  
– Kruskal und Wallis 247  
– Kurtosis 235, 464  
– Levene-Test 249  
– Shapiro-Wilk 231  
– Swed und Eisenhart 218  
– Trend 220  
– t-Test 244  
– Zufälligkeit 218  
– Zweistichproben t-Test 246  
–  $\chi^2$ -Anpassungstest 226  
Toleranzausnutzung 131  
Toleranzbetrachtung 127  
Transformation 171 f.  
Transformation von Messwertreihen 39  
Trend 220, 256, 315, 319  
Trendprozess 356  
t-Test 244  
t-Verteilung 162

## U

Überlagerung 83, 187  
 Überschreitungsanteil 60, 96  
 u-Karte 260, 262  
 Unwucht 171  
 Urwertkarte 326, 338

## V

Varianz 60, 63, 108  
 Varianzanalyse 40, 351, 357, 603  
 Variationskoeffizient 61, 63  
 Vergleichspräzision 22  
 Vergleich von Varianzen 241  
 Verlauf Einzelwerte 79  
 Verletzung der Eingriffsgrenzen 262  
 Verlustfunktion 25, 380  
 Verschiebung 173  
 Verteilung  
 – hypergeometrische 133  
 Verteilungsmodell 39, 361, 387, 458  
 – A1 388 f.  
 – A2 388, 390  
 – B 391  
 – C1 388, 392  
 – C2 388, 393  
 – C3 388, 394  
 – C4 388, 395  
 – D 396  
 Verteilungsmodelle und deren Beurteilung 39  
 Vertrauensbereich 40, 50, 61, 138, 190, 192, 194  
 – Fähigkeitsindizes 61  
 – Mittelwerte 61  
 – Überschreitungsanteile 61  
 – Varianzen 61  
 Vertrauensniveau 50  
 Viewer 508  
 Vorlauf 481  
 Vorlauf 1-Teil 484  
 Vorlauf 5-Teile 484  
 Vorläufige Prozessfähigkeit 403, 439  
 Vorlauftest 482

## W

Wahrscheinlichkeitsfunktion 53  
 Wahrscheinlichkeitsnetz 100, 109  
 Wahrscheinlichkeitsverteilungen 39, 133  
 Warmlaufphase 481  
 Warngrenze 254 f.  
 Weibullverteilung 180, 460, 548, 607  
 Werkzeug 258  
 Wertepaare 104  
 Wertestrahle 89  
 Western Electric Rules 322  
 Westgard Rules 322  
 Wiederholbarkeit 22  
 W-Netz 110  
 Wölbung 61, 65

## X

x-Karte 260, 262  
 x(t)-Plot 81  
 x-y-Plot 104

## Z

Zeichnungswerte 74  
 Zeitabhängige Verteilungsmodelle 387  
 zeitzensierte Tests 557  
 Zentralwert 62  
 zerstörende Prüfung 259  
 zufällige Schwankungen 347  
 zufällige Streuung 314  
 Zufälligkeit 218  
 Zufallsstreuungsbereich 41, 52, 138, 190, 366  
 Zusatzdaten 59  
 Zusatzinformationen 81  
 Zuverlässigkeit 547  
 zweidimensionale Darstellung 106  
 zweidimensionale Normalverteilung 188, 429, 607  
 zweidimensionale Rangkorrelation 526  
 zweiseitiger symmetrischer Schwellenwert 157  
 Zweistichproben t-Test 246  
 Zylinderform 171