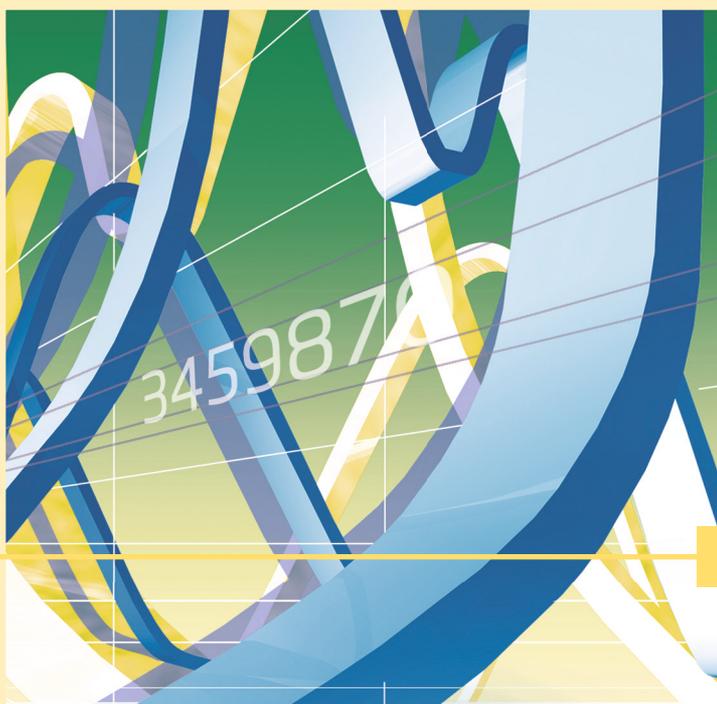


Edgar Dietrich
Stephan Conrad

Statistische Verfahren zur Maschinen- und Prozessqualifikation



8., aktualisierte Auflage

HANSER

Dietrich, Conrad

**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
Stephan Conrad

Statistische Verfahren zur Maschinen- und Prozessqualifikation

8., aktualisierte Auflage

HANSER

Die Autoren:

Dr.-Ing. Edgar Dietrich, Stephan Conrad, Q-DAS GmbH & Co. KG, Weinheim



Alle in diesem Buch enthaltenen Informationen wurden nach bestem Wissen zusammengestellt und mit Sorgfalt geprüft und getestet. Dennoch sind Fehler nicht ganz auszuschließen. Aus diesem Grund sind die im vorliegenden Buch enthaltenen Informationen mit keiner Verpflichtung oder Garantie irgendeiner Art verbunden. Autor und Verlag übernehmen infolgedessen keine Verantwortung und werden keine daraus folgende oder sonstige Haftung übernehmen, die auf irgendeine Art aus der Benutzung dieser Informationen – oder Teilen davon – entsteht.

Ebenso wenig übernehmen Autor und Verlag die Gewähr dafür, dass beschriebene Verfahren usw. frei von Schutzrechten Dritter sind. 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 Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek:

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

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 Genehmigung des Verlages in irgendeiner Form (Fotokopie, Mikrofilm oder ein anderes Verfahren) – auch nicht für Zwecke der Unterrichtsgestaltung – reproduziert oder unter Verwendung elektronischer Systeme verarbeitet, vervielfältigt oder verbreitet werden.

© 2022 Carl Hanser Verlag München

www.hanser-fachbuch.de

Lektorat: Dipl.-Ing. Volker Herzberg

Herstellung: Cornelia Speckmaier

Coverkonzept: Marc Müller-Bremer, www.rebranding.de, München

Coverrealisation: Max Kostopoulos

Satz: Eberl & Koesel Studio GmbH, Altusried-Krugzell

Druck und Bindung: CPI books GmbH, Leck

Printed in Germany

Print-ISBN: 978-3-446-46447-6

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

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) 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

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 Zufallsstrebereiches	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	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
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	Zufallsstrebereiche	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 ($1 - \beta$)	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
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 $M_{I,d}$	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	Zeitensierte 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 unbekannt Parameter	605
14.2	Formelsammlung für Verteilungen	606
14.3	Tabellen	608

15	Verzeichnis der verwendeten Abkürzungen	619
16	Literaturverzeichnis	623
Index	627

■ 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[®]-Forums am 26. 11. 2003 den folgenden Vortrag gehalten. Er hat den Mitschnitt des Textes selbst korrigiert und der Fa. Q-DAS[®] 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.

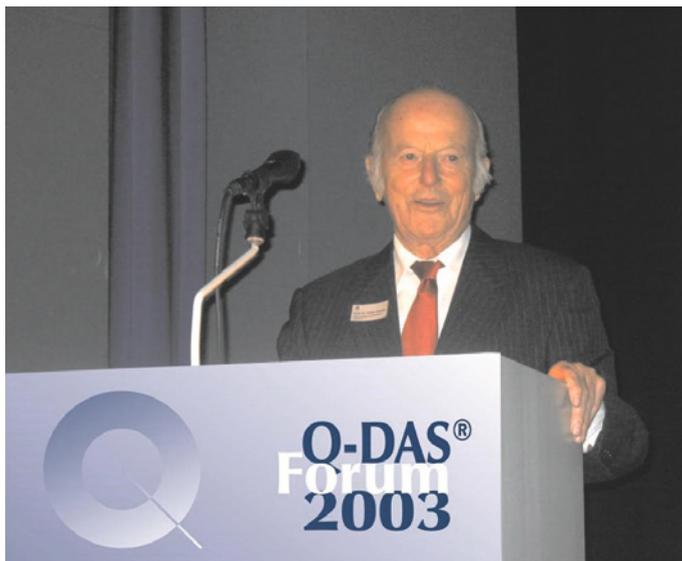


Bild 1.1 Prof. Dr. Masing (* 22. Juni 1915 – † 29. März 2004) beim Q-DAS®-Forum 2003

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

abgerechnet werden. Doch wie hätte die Partie zum Schluss gestanden? Wie wahrscheinlich war es, dass dieser oder ein anderer gewonnen hätte, und wenn: wie hoch? Es heißt, man habe die Frage den genannten mathematischen Koryphäen vorgelegt. Ob diese tatsächlich zu brauchbaren Lösungen kamen, ist nicht überliefert, doch sollen sie dadurch zu ihren wegweisenden Arbeiten über die Wahrscheinlichkeit angeregt worden sein.

Wie dem auch sei, ihre Erkenntnisse wird man kaum in den qualitätsmethodischen Kontext bringen können, dem mein Referat gilt. Dazu müssen wir im Geschichtsbuch noch gut ein Jahrhundert weiter blättern. Da stoßen wir wieder auf ein mathematisches Genie, in diesem Fall einen Deutschen, Carl Friedrich Gauß. Als ordentlicher Professor der Mathematik und Astronomie an der Universität Göttingen erhielt er den Auftrag seines Landesherrn, das Königreich Hannover zu vermessen. Mit dieser Aufgabe hat er sich 25 Jahre lang immer wieder beschäftigt. Dabei machte ihm die Ungenauigkeit seiner Geräte zu schaffen. Um die Folgen dieser Ungenauigkeiten in den Griff zu bekommen, begann er über die zufälligen Abweichungen seiner Messwerte von ihren Mittelwerten nachzudenken. Er entwickelte dabei die Methode der kleinsten Quadrate und die Normalverteilung (die sog. Gaußsche Glockenkurve). So reagiert ein Genie auf nicht zu behebende Unzulänglichkeiten seiner Ausrüstung.

1.2.4 Vor-Moderne

Wissenschaftlich fundierte statistische Methoden zur Lenkung und Prüfung der Produktion haben erst im 2. Weltkrieg auf breiter Basis Eingang in die warenerzeugende Industrie gefunden, und zwar in den USA. Warum nicht zuerst bei uns? Das hat mich immer gewundert. Es hat ja in Europa schon viel früher nicht an Versuchen gefehlt, den Nutzen dieser Verfahren zu verdeutlichen.

Schon bald nach dem 1. Weltkrieg beschäftigte sich der Leiter der Versuchsanstalt der Rheinischen Stahlwerke in Düsseldorf, Dr. Karl Daeves, mit einem wichtigen Problem der Eisenhüttenleute, der Identifizierung der Anteile von Mischkollektiven beim Eisenguss. Ihm gelang die Lösung, als er die Häufigkeitsverteilung der Messwerte einer Charge grafisch darstellte und statistisch auswertete. Er nannte seine Methode „Großzahlforschung“ und veröffentlichte sie im Jahr 1922. Bemerkenswert sind die Schlusssätze dieser über 80 Jahre alten Arbeit (ich zitiere): „Man kann sagen, dass die Wahrscheinlichkeitsrechnung sich in allen Forschungszweigen, die auf Erfahrung beruhen, weitgehend verwenden lässt. Sie ist ein Bindeglied zwischen den Erfahrungen der Praktiker und den Forschungen der Wissenschaft, weil sie die in mühsamer langer Praxis erworbenen Ansichten und Anschauungen, die mehr gefühlsmäßig vorliegen, in verwertbare und reproduzierbare Zahlenwerte umsetzt, die dann in den Formeln der Wissenschaftler zu verall-

gemeinernden Schlüssen und wertvollen Wegweisern für neue Bahnen benutzt werden können.“

Daeves hat mit seinem Mitarbeiter August Beckel im Jahr 1948 einen schmalen Band unter dem Titel „Großzahl-Methodik und Häufigkeits-Analyse“ veröffentlicht. Das Buch ist übrigens hier in Weinheim im Verlag Chemie erschienen. Zwar blieb auch er ein Rufer in der Wüste, doch war der Verein Deutscher Eisenhüttenleute (VDEh) so beeindruckt, dass er in seinem Stab eine Abteilung Technische Statistik schuf, die sich hauptamtlich mit dem Einsatz mathematisch-statistischer Methoden in der eisenschaffenden Industrie beschäftigte. Ihre Leitung hatte nach Kriegsende ein Mann, der sich um die Einführung statistischer Methoden in die deutsche Industrie große Verdienste erworben hat, der 1954 leider viel zu früh verstorbene Prof. Ulrich Graf. Mit seinem profunden Wissen und seiner immensen didaktischen Begabung, gepaart mit einer begeisternden Rhetorik, hat er die gute Sache sehr gefördert. Ich weiß, wovon ich rede, denn als ich mich bald nach dem Anfang meiner unternehmerischen Tätigkeit für Technische Statistik zu interessieren begann, habe ich sehr beeindruckt an mehreren Seminaren teilgenommen, die er an der Technischen Akademie Wuppertal hielt. Doch so weit sind wir noch nicht.

Es ist hier nicht der Ort, auf Einzelheiten der Ergebnisse der „Großzahlforschung“ von Daeves einzugehen. Doch wir sehen hier die erste praktische Anwendung eines wissenschaftlich fundierten statistischen Prinzips bei der Beurteilung industrieller Erzeugnisse.

In Berlin war Technische Statistik zu der Zeit schon ein Thema geworden. 1917 hatte man bei Siemens mathematisch-statistische Verfahren genutzt, um das wirtschaftliche Problem des ständig wachsenden Bedarfs an Telefonverbindungen über den Gleichzeitigkeitsfaktor der Gespräche im Griff zu behalten. Die Firma Osram bemühte sich mithilfe der Statistik die Risiken zu berechnen, die bei Garantiesprüchen wegen der Frühausfälle von Glühlampen auftraten.

Alles das führte zu einer bemerkenswerten Initiative. An der Technischen Hochschule Berlin wurde im Wintersemester 1928/29 eine Vortragsreihe mit dieser Thematik veranstaltet. Sie blieb aber ohne größere Resonanz in der Industrie, ebenso wie ein zweiter Versuch 1936 mit dem Generalthema „Neues über Wahrscheinlichkeiten und Schwankungen“. Dieses Schicksal teilte auch das 1927 erschienene Werk der Herren Becker und Plaut mit Frau Runge: „Anwendungen der mathematischen Statistik auf Probleme der Massenfabrikation“. Es hat also nicht an fundierten Hinweisen gefehlt, dass mathematische Statistik ein sehr nützliches Hilfsmittel für die Beurteilung industrieller Gegebenheiten sein kann.

Warum hat die Industrie dieses ihr so nachdrücklich empfohlene Hilfsmittel links liegen lassen? Meine Erklärung ist einfach genug. Das Denken in Wahrscheinlichkeiten war den Ingenieuren zu fremd, um sich ernsthaft damit zu beschäftigen. Ich gehe so weit, statt von „zu fremd“ von „zu unheimlich“ zu sprechen. Ingenieure

waren es gewohnt, streng kausal zu denken. Während ihrer gesamten Schulzeit und ihres Studiums hörten sie von Handlungsfolgen im Sinn von: Wenn dies, dann das. Dabei lehrt doch die Erfahrung, dass es in Wirklichkeit in aller Regel heißen muss: Wenn dies, dann wahrscheinlich das, aber vielleicht auch nicht.

1.2.5 Walter Shewhart

Es blieb einem Amerikaner vorbehalten, statistische Verfahren zu erdenken, die für die Industrie auf breiter Front qualitätsrelevant wurden. Das war Walter Shewhart, ein Physiker der Bell Telephone Company. Sein grundlegendes Werk „Economic Control of Quality of Manufactured Product“ erschien 1931, aber seine Erkenntnisse gehen auf das Jahr 1924 zurück. Walter Shewharts Verdienst ist es, in der Industrie das Tor für quantitatives Denken in Wahrscheinlichkeiten geöffnet zu haben. Er selbst hat seine Leistung für das weltweite Qualitätsgeschehen sehr bescheiden kommentiert. Er schreibt:

„The solution required the application of statistical methods which, up to the present time, have been for the most part left undisturbed in the journals in which they appeared.“

Das ist ein klassisches Beispiel für die Richtigkeit eines Satzes des Marketing Gurus Peter Drucker in seinem bekannten Werk „The Age of Discontinuity“. Das Buch ist auf Deutsch im Econ-Verlag unter dem Titel „Die Zukunft bewältigen“ erschienen. Er schreibt in einem ganz allgemeinen Sinn (ich zitiere):

„Ein Großteil der neuen Technik ist nicht neues Wissen, sondern neues Erkennen. Es werden Dinge zusammengesetzt, deren Zusammenstellung zuvor niemandem in den Sinn gekommen ist, die aber längst da waren.“

Wie war Shewhart zu seinen bahnbrechenden Erkenntnissen gekommen? Historiker mögen sich den Kopf darüber zerbrechen, ob er einen Artikel gelesen hat, den Daeves 1924 in der weit verbreiteten US-Zeitschrift *Testing* unter dem Titel „The Utilization of Statistics“ mit dem Untertitel „A New and Valuable Aid in Industrial Research and the Evaluation of Test Data“ veröffentlicht hat. Manches spricht dafür, doch mehr als eine Anregung könnte es kaum gewesen sein. Shewhart hat sehr selbständig gedacht.

Ich hatte schon vorhin erwähnt, dass Carl Friedrich Gauß die Gesetzmäßigkeit entdeckt hatte, der die zufälligen Abweichungen der Einzelwerte eines Kollektivs von deren Mittelwert folgen. Shewhart übertrug diesen Gedanken auf die Einzelwerte eines laufenden Produktionsprozesses. Dabei beobachtete er immer wieder Abweichungen, die dieser Gesetzmäßigkeit nicht folgten. Er schloss daraus, dass neben den „zufälligen“ Einflüssen auch „überzufällige“, d.h. systematische Einflüsse wirksam sein müssten. Er nannte die einen „chance causes“ und die anderen

„assignable causes“. Erstere muss man hinnehmen, etwa im Rahmen einer Normalverteilung, die letzteren gilt es zu identifizieren und zu beseitigen. Damit erreicht man die geringste Streuung der Werte, die der Prozess unter gegebenen Umständen bieten kann. Das ist der ideal-beherrschte Prozess.

Um diese Unterscheidung machen zu können, trug Shewhart die Mittelwerte und Spannweiten von Stichproben gegebenen kleinen Umfangs aus einer laufenden Fertigung in chronologischer Reihenfolge grafisch in ein Formblatt ein. Das war seine „Control Chart“ (zu Deutsch „Qualitätsregelkarte“).

Aus den Ergebnissen eines Vorlaufs berechnete er Grenzen, innerhalb derer die Messwerte mit gegebener Wahrscheinlichkeit als zufällig streuend betrachtet werden können. Überschreitet ein Prüfwert diese Grenzen, hat diese Annahme eine nur noch sehr geringe Wahrscheinlichkeit für sich. Alles spricht dafür, dass ein überzufälliger Einfluss aufgetreten ist, den man finden und beseitigen muss.

Nun klingt das einfacher, als es in Wirklichkeit ist. Eine Demonstration mit Würfeln, Perlenbüchse und Galtonbrett funktioniert immer. Die Praxis ist in aller Regel bedeutend komplexer. Moderne Computerprogramme, wie sie im Hause Q-DAS[®] entwickelt werden, lassen wesentlich tiefere Einblicke in das Prozessgeschehen zu, als sie Shewhart mit den ihm zur Verfügung stehenden Hilfsmitteln schaffen konnte: Bleistift, kariertes Papier und eine handbetriebene mechanische Rechenmaschine.

Wir können heute dank der Schnelligkeit unserer Computer Datenvolumina ganz anderer Größenordnung wirtschaftlich verarbeiten. Shewharts Bedeutung wird dadurch nicht geschmälert. Denn heute wie damals ist wichtig, dass die Qualitätsregelkarte bereits den Trend zum Entstehen eines Fehlers in einer laufenden Fertigung erkennen lässt. Das ermöglicht es, rechtzeitig gegenzusteuern, die Aufgabe des Qualitätsmanagements einer Produktion.

1.2.6 Wirtschaftlichkeit

Es ist schlicht und einfach wirtschaftlicher, Fehler vor ihrem Entstehen zu verhüten, als aufgetretene Fehler zu suchen, zu finden und zu korrigieren. Das erfordert einen Zusatzaufwand, dessen Kosten nicht an den Kunden weitergegeben werden können.

Er schmälert also die Gewinnmarge und wird daher richtig mit „Fehlleistungsaufwand“ bezeichnet. Die Qualitätsregelkarte ermöglicht es, mit berechenbarer Wahrscheinlichkeit zu erkennen, wie der Prozess in naher Zukunft laufen wird, d. h. ob es sinnvoll ist, korrigierend einzugreifen oder besser nicht.

Der große kürzlich verstorbene Promotor der Qualitätsoffensive in den USA, Philip Crosby, vergaß nie, seine Zuhörer bei diesem Thema zu ermahnen: „Never forget: It is not what you find. It is what you do about what you find!“

Damit werden sehr zu Recht handfeste Aktivitäten gefordert. Die hat es freilich schon immer gegeben. Fehler waren besonders in Deutschland nie eine mit Achselzucken quittierte quantité négligeable. Das verdanken wir den Gilden und Zünften unserer mittelalterlichen Städte mit ihren geradezu brutalen Sanktionen gegen Pfuscharbeit.

Im Handwerk ist die Tradition von damals im Sinn des Bemühens fehlerfreie Arbeit zu leisten auch ohne einen wissenschaftlichen Unterbau noch spürbar. In der anders gelagerten Industrie war es durchaus wichtig, dass ein anerkanntes Instrument quantitative Hinweise auf das mögliche Entstehen von Fehlern gab, um vorbeugende Aktivitäten auszulösen. Ohne ein solches Instrument bleiben Appelle, fehlerfrei zu arbeiten weitgehend wirkungslos. Viele von Ihnen werden sich noch jener aus den USA zu uns herüber geschwappten Welle der „Zero-Defects“-Kampagnen erinnern. Es war der Versuch, alle Mitarbeiter eines Unternehmens mit z. T. zirkusreifen Motivations-Aktionen zu veranlassen, fehlerfrei zu arbeiten. Sehr bald verlief sich diese Welle im Sand. Immerhin hat sie dazu beigetragen, die existenzielle Wichtigkeit des Faktors Mensch im Qualitätsgeschehen nachhaltig zu unterstreichen.

Seit den Tagen von Daeves und Shewhart hat die Mess- und Regelungstechnik große Fortschritte gemacht. Bei vielen Fertigungen ist es möglich geworden, das Prozessergebnis on-line und on-time quantitativ zu messen und aufgrund dessen in den laufenden Prozess regelnd einzugreifen. Dabei werden wir ebenso unbarmherzig wie nachdrücklich auf das Problem der Fehler gestoßen, die das Messgerät selber verursacht. Auch hierzu hat Q-DAS® wichtige Beiträge geleistet.

1.2.7 2. Weltkrieg

Auch die Shewhartsche Qualitätsregelkarte löste in Amerika anfangs keinen Run der Industrie auf Statistik aus. Aber die militärischen Beschaffungsstellen waren von ihrer Wirksamkeit überzeugt. Bei Ausbruch des 2. Weltkriegs sorgten sie mit ihrer enormen Einkaufsmacht dafür, dass die Rüstungsindustrie diese Methoden einfuhrte. Die Rüstungsunternehmen veranlassten wiederum ihre zivilen Zulieferer, sich entsprechend zu verhalten. So wurde die Prozesslenkung mithilfe statistischer Verfahren in den USA zur Methode der Wahl. Nach dem Krieg verbreiteten sie sich auch bei uns, erst zögerlich, aber inzwischen hat man wohl allgemein eingesehen, dass sie – richtig verstanden und eingesetzt – ein sehr effektvolles Instrument der Prozessführung sind.

1.2.8 Stichproben

Und wenn es noch so gut gelungen ist, einen Fertigungsprozess im Sinn der Statistik „fähig“ zu machen, Prüfungen sind und bleiben unverzichtbar, solange Fehler nicht mit absoluter Sicherheit ausgeschlossen werden können. Niemand braucht ein rotglühendes Werkstück auf biologische Kontamination hin zu prüfen. Ansonsten gilt immer noch das berühmte Murphy's Law: „If anything can go wrong, it will“.

Nur in ganz besonderen Fällen wird man die Erzeugnisse einer Losfertigung Stück-für-Stück prüfen. In aller Regel prüft man Lose mit Stichproben. Der Begriff „Stichprobe“ soll ja ursprünglich eine ganz andere Bedeutung gehabt haben. Die Wachen an den Toren unserer mittelalterlichen Städte hatten die Aufgabe, die einfahrenden Waren zu kontrollieren und Zoll zu kassieren. Kam nun ein Wagen hoch beladen mit Heu an das Stadttor, konnte sich unter dem recht billigen Heu kistenweise wertvolle Konterbande verbergen. Um die Homogenität des Heus zu prüfen, stachen die Wachen mit ihren Spießen hinein. Sie machten eine „Stichprobe“ im wahrsten Sinn des Wortes.

Wer bei Qualitätsprüfungen auf Stichprobenbasis ohne eine solide mathematisch-statistische Grundlage zu Werke geht, kann leicht zu falschen Ergebnissen kommen. Das habe ich höchst praktisch als Student im Sommer 1936 im Rahmen eines Ferienjobs erlebt. Ich war im Eingangslager eines Leipziger Unternehmens mit der Prüfung von Zulieferungen beschäftigt. Für jede Warengattung gab es eine Anweisung, wie zu verfahren. Z.B. sollte ich von einer bestimmten Sorte Bolzen jeweils 5% des angelieferten Loses auf Fehlerfreiheit untersuchen. Wenn ich dabei mehr als zwei fehlerhafte Stücke entdeckte, musste das ganze Los Stück für Stück geprüft werden. Ich tat, wie befohlen. Dabei fiel mir auf, dass die so festgestellte Qualität von kleineren Losen in aller Regel besser war als die der größeren, weil die viel häufiger ausgelesen werden mussten. Ich vermutete, dass der Hersteller die kleineren Lose sorgfältiger prüfte als die größeren, wohl, weil er bei diesen den Aufwand scheute. Die Vermutung war falsch. Bei dieser Art Anweisung wächst die Prüfschärfe mit dem Losumfang. Heute gehört die Kenntnis der mathematisch berechneten Operationscharakteristik einer Stichprobenanweisung zur fachlichen Grundausrüstung eines Prüfereileiters, wenn nicht sogar zu der seiner Mitarbeiter. Davon hatte damals weder mein Prüfereileiter noch ich etwas gehört.

Auch hier haben die Amerikaner Pionierarbeit geleistet. Sie verwendeten bei der Annahme von militärspezifischem Gut Stichprobensysteme auf mathematisch-statistischer Basis, nämlich den Military Standard 105 für attributive Prüfung und den Mil St. 414 für Variablenprüfung. Wir erfuhren erst nach dem Krieg von der Existenz dieser Systeme.