

# **Produktionstechnische Schriftenreihe**

Herausgeber:  
Prof. Dr.-Ing. H. Kalac

Band 1  
Qualitätsmanagement

**Hassan Kalac**

## **Statistische Qualitätssicherung**

Shaker Verlag  
Aachen 2004

**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.

Copyright Shaker Verlag 2004

Alle Rechte, auch das des auszugsweisen Nachdruckes, der auszugsweisen oder vollständigen Wiedergabe, der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen und der Übersetzung, vorbehalten.

Printed in Germany.

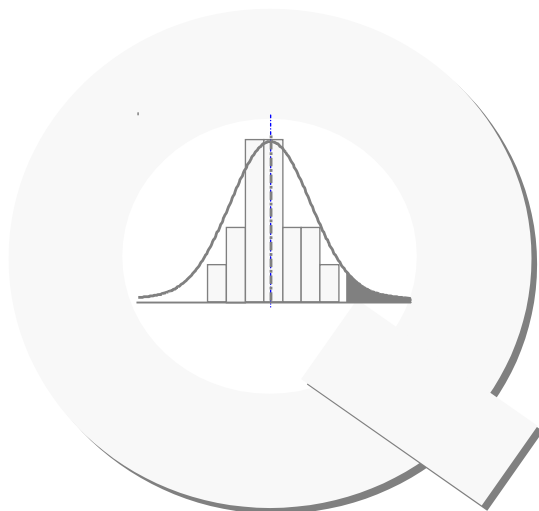
ISBN 3-8322-2870-5

ISSN 1614-0249

Shaker Verlag GmbH • Postfach 101818 • 52018 Aachen

Telefon: 02407 / 95 96 - 0 • Telefax: 02407 / 95 96 - 9

Internet: [www.shaker.de](http://www.shaker.de) • eMail: [info@shaker.de](mailto:info@shaker.de)



**Nicht alles, was man zählen kann, zählt auch.  
Und nicht alles, was zählt, kann man auch  
zählen.**

Zitat: Albert Einstein (1879 – 1955)  
Physiker



## Vorwort

Ein modernes Qualitäts- bzw. Unternehmensmanagement betrachtet die Verbesserung von Qualität, Liefererfüllung und Kosten der Produkte als wesentliches Element zur nachhaltigen Erhöhung des Wertbeitrags im Unternehmen. Die in diesem Zusammenhang häufig verwendete Formulierung „kontinuierliche Verbesserung“ bezieht sich auf die Bemühungen eines Unternehmens, die ständig wachsenden Anforderungen an die Produkte ohne Einschränkung zu erfüllen. Es bedeutet nicht zwingend, dass z.B. eine sehr gute, von allen Beteiligten akzeptierte Qualität auch weiterhin verbessert werden muss. Selbst wenn es technisch und organisatorisch möglich wäre, würde der Aufwand dazu nicht gerechtfertigt sein, da niemand ein solches Produkt bezahlen wollte. Also werden in Abhängigkeit von Kundenforderungen bzw. Marktgegebenheiten Ziele festgelegt, die als Sollwerte für die Unternehmen verbindlich sind. Bei der Produktqualität und Liefertreue werden beispielsweise keine anderen Sollwerte zu erwarten sein als Null-Fehler bei den Produkten und eine 100%ige Erfüllung der Lieferung, d.h. die vereinbarte Menge der geforderten Produkte zum rechten Zeitpunkt am richtigen Ort. Auch unter dem Aspekt der Reduzierung von Kosten ist bei den Produkten eine geringst mögliche Abweichung vom Sollwert erforderlich. Abweichungen gehen einher mit Verschwendung, die Zeit, Geld und Marktanteile kostet. Produktbezogen bedeutet diese Forderung eine fehlerfreie Entwicklung und eine Produktion ohne Ausschuss und Nacharbeit.

Nun wird kein produzierendes Unternehmen von sich behaupten können, frei von Ausschuss und Nacharbeit in der Produktion oder Fehlmengen bei der Lieferung zu sein. Verantwortlich für diese Fehler sind fast immer Störungen des normalen Betriebsablaufs. Die Ursachen für diese Störungen müssen deshalb erkannt und beseitigt werden. Da Produkte und Prozesse sehr komplexe Gebilde sind, können theoretisch sehr viele Ursachen für die Störungen verantwortlich sein, die von unterschiedlicher Art und Intensität sind. Die Aufgabe besteht nun darin, die wichtigsten Ursachen für die Störungen zu ermitteln und zu beseitigen, um systematische und zufällige Abweichungen von den Sollwerten zu verhindern bzw. so klein zu machen, dass die Arbeitsergebnisse in der festgelegten Toleranz liegen.

Um diese Ziele zu erreichen, werden Methoden eingesetzt, die entweder im Vorfeld der Produktentstehung präventiv eingesetzt werden oder begleitend zur laufenden Fertigung. Die präventiven Methoden des Qualitätsmanagements werden unter anderem im zweiten Heft dieser Schriftenreihe behandelt. Im vorliegenden ersten Band wird schwerpunktmäßig die statistische Analyse der Produktionsprozesse beschrieben, d.h. es geht um produktionsbegleitende Methoden. Die vorgestellten statistischen Verfahren sollen den Lesern die erforderlichen Kenntnisse vermitteln, mit denen Abweichungen vom Sollwert analysiert und Bewertungen von Maschinen und Prozessen vorgenommen werden können. Die Auswertung der Messreihen erfolgt dabei unter der Voraussetzung normalverteilter Mess- bzw. Prozesswerte.



## Inhaltsverzeichnis

1. Einführung in das Qualitätsmanagement .....	1
1.1 Qualität .....	1
1.2 Qualitätsmanagement .....	5
1.3 Qualität und Wettbewerb .....	7
1.4 Qualitätsmanagementsystem (QM-System) .....	8
1.5 Statistische Methoden .....	10
2. Grundlagen der technischen Statistik .....	17
2.1 Einleitung .....	17
2.2 Merkmale .....	18
2.3 Wahrscheinlichkeitsrechnung .....	20
2.3.1 Einführung .....	20
2.3.2 Häufigkeits- und Wahrscheinlichkeitsverteilungen .....	22
2.3.2.1 Grenzverteilung .....	22
2.3.2.2 Binomialverteilung .....	25
2.3.2.3 Poissonverteilung .....	26
2.3.2.4 Hypergeometrische Verteilung .....	26
2.3.2.5 Wahrscheinlichkeitsverteilung für kontinuierliche Merkmalswerte .....	27
2.4 Kennwerte einer Stichprobe .....	27
2.4.1 Lage und Streuung .....	27
2.4.2 Kenngrößen der Lage .....	28
2.4.3 Kenngrößen der Streuung .....	29
2.5 Stichprobentheorie .....	30
2.5.1 Einleitung .....	30
2.5.2 Verfahren .....	32
2.5.3 Stichprobenpläne (Einfach-Stichprobenplan) .....	33
3. Auswertung von Messreihen .....	34
3.1 Einführung .....	34
3.2 Histogramm .....	36
3.2.1 Relative Häufigkeit .....	36
3.2.2 Verteilungsfunktion einer Stichprobe .....	40
3.2.3 Regression und Korrelation .....	41
3.2.3.1 Regression .....	41
3.2.3.2 Korrelationsrechnung .....	43
4. Normalverteilung .....	44
4.1 Einleitung .....	44
4.2 Grenzverteilung $f(x)$ und Kenngrößen .....	45
4.3 Die Normalverteilung als Wahrscheinlichkeitsfunktion .....	48
4.4 Verteilungsfunktion und Wahrscheinlichkeitsnetz .....	55
4.4.1 Verteilungsfunktion .....	55
4.4.2 Wahrscheinlichkeitsnetz .....	58
5. Einführung in die Fehleranalyse .....	62
5.1. Messabweichungen .....	62
5.2 Systematische und zufällige Messabweichungen .....	63
5.3 Gauß'sche Fehlerfortpflanzung .....	67
5.4 Bestimmung der Messunsicherheit eines Messverfahrens .....	70
6. Mittelwertverteilung und Vertrauen .....	73
6.1 Standardabweichung des Mittelwertes .....	73
6.2 Vertrauensbereiche .....	78
6.2.1 Vertrauensbereich für den Mittelwert $\mu$ .....	78
6.2.2 t - Verteilung .....	81
6.2.3 Vertrauensbereich für die Standardabweichung $\sigma$ .....	82
7. Hypothesen und statistische Testverfahren .....	84
7.1 Allgemeines .....	84
7.2 Testverfahren .....	89

7.2.1 Test auf Normalverteilung .....	89
7.2.2 Ausreißertest .....	94
7.2.3 Weitere Testverfahren (F-Test und t-Test) .....	95
7.2.3.1 F-Test .....	95
7.2.3.2 t-Test .....	97
7.2.3.2.1 t-Test allgemein .....	97
7.2.3.2.2 t-Test für den Vergleich des Mittelwertes zweier Messreihen mit gleicher Varianz .....	98
7.2.3.2.3 t-Test für den Vergleich des Mittelwertes zweier Messreihen mit ungleicher Varianz .....	99
8. Statistische Prozessregelung SPC .....	101
8.1 Einleitung .....	101
8.2 Beschreibung der Methode .....	105
8.2.1 Qualitätsregelkarte .....	105
8.2.2 Prozessfähigkeitsuntersuchung PFU und Maschinenfähigkeitsuntersuchung MFU .....	111
8.2.2.1 Fähigkeit von Prozessen .....	111
8.2.2.2 Maschinenfähigkeitsuntersuchung MFU .....	116
8.2.3 Berechnung der Eingriffsgrenzen .....	121
8.2.4 Ablauf einer statistischen Prozessregelung SPC .....	127
8.2.5 Weitere Verteilungsformen .....	129
8.2.5.1 Prozesstypen .....	129
8.2.5.2 Schiefe Verteilungen .....	130
8.2.5.3 Transformation .....	133
8.2.5.4 Prozessfähigkeit bei nichtnormalen Prozessen .....	133
9. Statistische Tolerierung .....	135
9.1. Maßketten und Schließmaß bei arithmetischer Tolerierung .....	135
9.2 Statistische Tolerierung .....	137
9.2.1 Schließmaßtoleranzen bei verschiedenen Verteilungsformen .....	137
9.2.2 Reduktionsfaktor .....	143
9.2.3 Schließmaßtoleranz bei Annahme unterschiedlicher Verteilungen der Einzelmaße .....	145
9.2.4 Prozessfähigkeit eines Schließmaßes .....	145
9.2.5 Voraussetzungen zur statistischen Tolerierung .....	146
10. Computer Aided Quality Management CAQ .....	146
10.1 Einleitung .....	146
10.2 Statistische Qualitätssicherung mit Hilfe von CAQ-Software .....	149
11. Literaturverzeichnis .....	153
12. Formelzeichen und Abkürzungen .....	157
13. Glossar .....	161
14. Sachwortverzeichnis .....	167
15. Abbildungsverzeichnis .....	169
16. Tabellen und Nomogramme .....	171