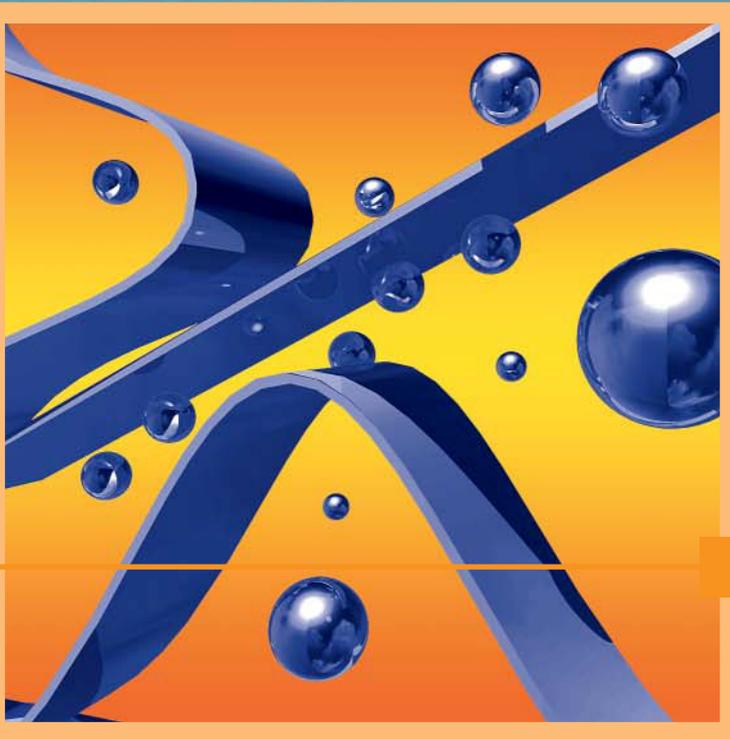


Walter Jahn
Lorenz Braun

Praxisleitfaden Qualität

Prozessoptimierung mit multivariater
Statistik in 150 Beispielen



HANSER

Inhaltsverzeichnis

Einleitung	XVII
1 Qualitätsprobleme und Lösungsansätze	1
1.1 Was ist ein betriebliches Problem?	1
1.2 Welches sind die Hauptprobleme in Ihrem Unternehmen?	2
1.3 Wie können Probleme gelöst werden?	6
1.3.1 Klassifikation der Probleme	12
1.3.2 Projektbildung	12
1.3.3 Diagnose des Problems	13
1.3.4 Ursachenforschung	14
1.3.5 Auswertung	15
1.3.5.1 Visualisierung der multivariaten Datensätze	15
1.3.5.2 Datenanalyse – Datenmanipulation	17
1.3.5.3 Produktaudit	17
1.3.6 Six-Sigma-Philosophie und Problemlösung	21
1.3.7 Warum müssen die multivariaten statistischen Methoden bei der Prozessverbesserung angewandt werden?	30
2 Warum sollen Kunden mein Produkt kaufen oder meine Dienstleistung in Anspruch nehmen?	35
2.1 Was ist ein Kunde?	35
2.2 Wie können Produkte bewertet werden?	38
2.3 Produkt und Funktionen	42
2.4 Was besagt die Kundenzufriedenheit und wie kann man diese messen?	47
2.5 Durch welche Variablen wird die Kaufentscheidung beeinflusst?	56
3 Datengewinnung und Datenaufbereitung	59
3.1 Anforderungen an die Daten: Produkte des Messprozesses	62
3.2 Wie können Sie univariate Ausreißer erkennen?	64
3.2.1 Tests für einen Ausreißer im univariaten normal verteilten Fall	68
3.2.2 Test für mehrere Ausreißer im univariaten normal verteilten Fall	69
3.3 Fehlerarten	69
3.3.1 Systematische Fehler	69
3.3.2 Zufällige Fehler	70
3.4 Datengewinnung	72
3.4.1 Spezifikation der Anforderungen	72
3.4.2 Uni- und multivariate Prozessfähigkeitsindizes	75
3.5 Messmittelfähigkeit	76
3.6 Multivariate Ausreißererkennung	77
3.6.1 Verursacher von Ausreißern	78
3.6.2 Vergleich verschiedener univariater Methoden der Ausreißer- erkennung	79
3.6.3 Beeinflussung der Ergebnisse multivariater Analysen durch Ausreißer ...	84
3.7 Visualisierung von Datensätzen	102

3.7.1	Star Plots	102
3.7.2	Sunray Plots.	105
3.7.3	Streudiagramme (Draftsman Plots)	106
3.7.4	Drei-D-Häufigkeitsverteilung	107
3.7.5	Dreidimensionales Streu-Korrelationsdiagramm	108
3.7.6	Dreidimensionales Oberflächendiagramm	108
3.7.7	Verlaufdiagramm	109
3.7.8	Zusammenfassung der Produktvariablen zu Produkten	110
4	Qualität in der Entwicklung und Konstruktion von Produkten	111
4.1	Wer benötigt warum ein neues Produkt?	112
4.2	Wie kommen Sie vom Kundenwunsch zum Produkt?	112
4.2.1	Mit welchen Methoden kann der Weg vom Kundenwunsch zum Produkt unterstützt werden?	113
4.2.2	Conjoint Analyse	114
4.2.3	Phasen der Produktentwicklung	123
4.2.4	Näherungsweise Bestimmung der Toleranzgrenzen bei Produkten im Entwicklungsstadium	125
4.2.4.1	Strukturierung eines Produktes für die Weiterverarbeitung.	126
4.2.4.2	Was sind Latitudes und wozu benötigt man diese?	127
4.3	Wie können Sie nachweisen, dass hinsichtlich der Funktionen simultan alle Kundenanforderungen erfüllt werden?	144
4.4	Wie kann die Prozessentwicklung für ein neues Produkt durch multivariate statistische Methoden unterstützt werden?	147
4.4.1	Ziele bei der Prozessentwicklung	147
4.4.2	Phasen der Prozessentwicklung	150
5	Qualität in der Fertigung	155
5.1	Was ist ein Produkt?	155
5.2	Wie können Sie entscheiden, ob Ihre Prozesse in Ordnung sind oder verbessert werden müssen?	158
5.2.1	Was ist ein modernes Produktaudit?	159
5.2.1.1	Was beinhaltet das Kunden-Anforderungs-Profil (KAP)?	159
5.2.1.2	Wie kann man die parametrisierten Kundenanforderungen statistisch tolerieren?	162
5.2.1.3	Auf welchem Prinzip basiert die statistische Tolerierung?	165
5.2.1.4	Wie können unter der Bedingung (1) die Toleranzintervalle für jede einzelne Produktvariable unter Beachtung der Abhängigkeitsstruktur statistisch bestimmt werden?	167
5.2.1.5	Wie kann man das „Produkt“ statistisch tolerieren?	170
5.2.1.6	Univariate Prozessfähigkeitsindizes	170
5.2.1.7	Was sind multivariate Prozessfähigkeitsindizes?	193
5.3	Vergleich verschiedener Tolerierungsverfahren an 6- und 5-dimensionalen Beispielen	210
5.3.1	Charakteristische Zusammenhänge zwischen Funktionssicherheit und Toleranz aus Sicht der Techniker	211
5.3.2	Berechnung von Maß- und Toleranzketten für vollständige Austauschbarkeit	213
5.3.3	Verallgemeinerung der Tolerierung	215

5.3.3.1	Statistische Tolerierung	219
5.3.3.2	Übung	222
5.4	Warum sollen Sie die Prozessdarstellung wählen?	224
5.5	Warum müssen Sie Ihr Unternehmen als Netzwerk von Dienstleistungs- und Fertigungsprozessen darstellen?	226
5.6	Kommunikation zwischen Prozessen	228
5.7	Was heißt Prozessverbesserung und was müssen Sie tun?	230
5.8	Wie können wir das Ergebnis erreichen?	232
5.9	Was bedeutet Abhängigkeitsstruktur eines Prozesses?	233
5.9.1	Wie führt man eine Korrelationsanalyse (KA) durch und was besagen die Ergebnisse?	234
5.9.2	Verteilungsfreie Korrelationskoeffizienten	241
5.9.2.1	Was ist ein Vierfelder Korrelationskoeffizient?	241
5.9.2.2	Was für ein Abhängigkeitsmaß können wir berechnen, wenn die Variablen über eine Rangskala quantifiziert wurden?	243
5.9.3	Was sind partielle Korrelationskoeffizienten	247
5.9.4	Was sind multiple Korrelationskoeffizienten und wozu benötigt man diese?	250
5.9.5	Was sind partiell multiple Korrelationskoeffizienten und wozu benötigt man diese?	253
5.9.6	Was besagen der multivariat partiell-multiple und der multivariat semipartiell-multiple Korrelationskoeffizient?	258
5.10	Was ist eine Prozessgleichung und wozu benötigt man diese?	259
5.11	Modelle für die Prozessgleichung	260
5.11.1	Nur die Produktvariable Y ist zufällig	260
5.11.1.1	Was versteht man unter einem univariaten, linearen, multiplen Modell mit festen Input- und Prozessvariablen?	263
5.11.1.2	Multivariates, multiples lineares Modell mit determinierten Input- und Prozessvariablen; Y ist ein zufälliger Vektor.	267
5.11.2	Lineare Modelle mit stochastischen Input- und Prozessvariablen.	268
5.11.2.1	Wie sieht das multiple lineare Modell mit stochastischen Input- und Prozessvariablen aus und wodurch unterscheidet es sich von dem Modell mit festen Input- und Prozessvariablen?	269
5.11.2.2	Das multivariate, multiple, lineare Modell mit stochastischen Input- und Prozessvariablen	274
5.11.3	Statistische Modelle mit stochastischen Input- und Prozessvariablen ...	276
5.11.4	Wie kann man die Schätzungen für die unbekanntten Modellparameter für die Modelle mit stochastischen Input- und Prozessvariablen gewinnen?	278
5.12	Welche Eigenschaften haben die Schätzungen für die unbekanntten Modellparameter?	290
5.13	Einfluss der Multikollinearität auf die Schätzfunktionen	296
5.14	Wie können wir die wesentlichen Input- und Prozessvariablen auswählen?	305
5.14.1	Warum müssen aber nun wieder Input- und/oder Prozessvariablen aus dem Ansatz gestrichen werden?	305
5.14.2	Welche Verfahren können für die Auswahl optimaler Teilmengen von „fixen“ Input- und Prozessvariablen verwendet werden?	307
5.14.3	Red-Auswahlverfahren von Jahn	318

5.15	Unter welchen Umständen ist die Annahme der Linearität gerechtfertigt?	333
5.16	Warum muss ein Prozess gesteuert werden und wie können wir einen Prozess steuern?	334
5.16.1	Statistische Tolerierung der Inputvariablen	335
5.16.2	Berechnung der statistischen Sollwerte und Toleranzgrenzen für die Inputvariablen unter der Bedingung der gegebenen Werte für die Produktvariablen	340
5.17	Zusammenfassung der Produktvariablen.	346
5.18	Kalibrierung	350
6	Kontrolle des Prozesses	359
6.1	Univariate Shewhartkarten	359
6.2	Warum brauchen Sie multivariate Kontrollkarten?	362
6.3	Welches statistische Prinzip dient als Grundlage für die Konstruktion von multivariaten Kontrollkarten?	368
6.4	Was soll mit der multivariaten Kontrollkarte kontrolliert werden?	370
6.5	Wie können multivariate Kontrollkarten konstruiert werden?	375
7	Multivariate Analysen mit qualitativen Daten: Varianzanalysen	387
7.1	Grundlagen.	387
7.2	Univariate Varianzanalyse ANOVA	391
7.2.1	Wiederholte Anwendung des t -Zweistichprobentests.	392
7.2.2	Zerlegung der Summe der Abweichungsquadrate.	394
7.3	Kleinste signifikante Differenz (Least significant difference).	398
7.4	Varianzanalyse als allgemeines univariates multiples lineares Modell mit festen Einflussvariablen	403
7.5	Prüfung der allgemeinen linearen Hypothese $H_0: C\mu = 0$	405
7.6	Zweifache Klassifikation der Varianzanalyse	407
7.7	Multiple Vergleiche der Behandlungen.	413
7.8	Ringversuche	416
7.8.1	Bestimmung der Wiederhol- und Vergleichbarkeit.	417
7.9	Multivariate Varianzanalyse (multivariate analysis of variance = manova)	423
7.9.1	Das multivariate verallgemeinerte lineare Modell mit festen Einflussparametern	423
7.9.2	Einfache Klassifikation der MANOVA.	425
7.9.3	Multiple Vergleiche in der MANOVA.	430
7.9.4	Profilanalyse	433
7.9.5	Test für die Parallelität.	433
7.9.6	Test für die gleiche Ausprägung.	434
7.9.7	Reproduzierbarkeit	435
7.9.8	Fall für beliebige $k > 0$	435
8	Planung und statistische Auswertung von Versuchen zur Gewinnung von Prozessgleichungen (Versuchsplanung oder Design of Experiments DoE)	439
8.1	Voraussetzungen für die Durchführung der Versuchsplanung	441
8.2	Prinzip der Versuchsplanung	441
8.3	Bezeichnungen.	443
8.4	Ziele der Versuchsplanung.	448
8.5	Verallgemeinerung des Konstruktionsprinzips.	449

8.6	Teilweise faktorielle Versuchspläne (TFV) vom Typ 2^{n-p}	462
8.7	Derivate der Versuchsplanung	464
8.7.1	Das Multi-Vari-Bild	465
8.7.2	Variablenvergleich von Shainin	470
8.8	Versuchspläne von Taguchi	478
8.9	Vergleich der Problemlösung mit multivariaten statistischen und Versuchsplanmethoden anhand von Beispielen	489
8.10	Zusammenstellung der Vor- und Nachteile der Versuchsplan- und mutivariaten statistischen Methoden	503
9	Untersuchung der Zuverlässigkeit von Produkten mit neuen multivariaten Methoden	507
9.1	Produkt-Funktionen-Prozess	509
9.2	Definition der Zuverlässigkeit	513
10	Klassifikationsverfahren – Verfahren zur Überprüfung der Homogenität von Stichproben	519
10.1	Grundlagen	519
10.2	Anliegen der Klassifikationsverfahren	522
10.3	Clusteranalyse	523
10.4	Diskriminanzanalyse	528
11	Analyse der Abhängigkeitsstruktur zufälliger Vektoren mit der Hauptkomponenten- oder Faktoranalyse	535
11.1	Grundlagen	535
11.2	Anliegen der Hauptkomponenten- und Faktoranalyse	541
11.3	Geometrische Deutung	545
11.4	Hauptkomponentenanalyse	546
11.5	Hauptkomponentenregression	553
11.6	Faktoranalyse	559
12	Betriebswirtschaftliche Entscheidungen	581
12.1	Was sind Kosten?	582
12.2	Was sollten Sie über die klassische Kostenrechnung wissen?	583
12.3	In welchen Schritten erfolgt die prozessorientierte Kostenrechnung?	585
12.3.1	Der Kostenentstehungsprozess	585
12.3.2	Wie müssen die Kosten erfasst werden?	588
12.4	Wie erfolgt die Analyse und Steuerung der Kosten?	589
12.4.1	Aufbereitung des Datenmaterials	590
12.4.2	Analyse der Kostenstruktur	591
12.4.3	Steuerung des Kostenentstehungsprozesses	594
12.4.4	Kostenkalkulation im Kostenentstehungsprozess	598
12.5	Lieferterminüberschreitungen als betriebswirtschaftliche Produktvariable	601
13	Überführung der Ergebnisse der statistischen Prozessanalyse und Steuerung in die Praxis	607
13.1	Gemeinsame Durchführung eines konkreten Projektes	609
13.2	Schulung der Prozessverantwortlichen und Mitarbeiter	611
13.3	Widerstand gegen den Wandel	613

Glossar	615
Literaturverzeichnis	639
Lösungen	645
Kapitel 1	645
Kapitel 5	646
Kapitel 6	656
Kapitel 7	658
Kapitel 8	663
Kapitel 12	667
Stichwortverzeichnis	669

Downloadbereich: Unter der Adresse

<http://downloads.hanser.de/3-446-40616-6>

können Sie die zum Buch gehörenden Dateien herunterladen.

Beispielverzeichnis

Beispiel 1.3.1:	Motorstützen. Problembeschreibung	7
Beispiel 1.3.2:	Motorstützen. Problemdefinition	7
Beispiel 1.3.3:	Motorstützen. Problemklassifikation 1	12
Beispiel 1.3.4:	Motorstützen. Problemklassifikation 2	13
Beispiel 1.3.5:	Motorstützen. Ursachenfindung	14
Beispiel 1.3.6:	Bremsweg. Abhängigkeitsstruktur	16
Beispiel 1.3.7:	Analyse von Bodenproben. Qualitative Variablen	19
Beispiel 1.3.8:	Papierfeeder. Zuverlässigkeit	19
Beispiel 1.3.9:	Motorstützen. Problemlösung	19
Beispiel 2.1.1:	Auftragsabwicklung. Produktbenchmarking	36
Beispiel 2.2.1:	Elektromotor. Variablen und Abhängigkeiten	38
Beispiel 2.2.2:	Plastikschalen für Akku-Bohrschrauber. Anforderungen	41
Beispiel 2.3.1:	Papierfeeder. Wirkungsweise und Funktionen	43
Beispiel 2.4.1:	Fragebogen Kundenzufriedenheit. Auswertungen	49
Beispiel 2.4.2:	Fragebogen zur Kundenzufriedenheit. Auswertung mit der Faktoranalyse.	53
Beispiel 2.4.3:	Marktgröße. Variablen und Abhängigkeiten	55
Beispiel 2.5.1:	Plastikschalen für Akku-Bohrschrauber. Lieferantenauswahl	56
Beispiel 3.1.1:	Motorventile. Parametrisierung	59
Beispiel 3.2.1:	Ausreißer. Datenaufbereitung	66
Beispiel 3.2.2:	Ausreißer. Test	68
Beispiel 3.3.1:	Löslichkeit von Natriumnitrat. Datensammlung	70
Beispiel 3.4.1:	Bremsweg. Anforderungen	73
Beispiel 3.4.2:	Bremsweg. Fähigkeiten	75
Beispiel 3.5.1:	Bremsweg. Messen der Geschwindigkeit eines PKW	76
Beispiel 3.6.1:	Produktivität. Verfahren der Ausreißererkenung	79
Beispiel 3.6.2:	Produktivität. Zeilensummenmethode	81
Beispiel 3.6.3:	Produktivität. Häufigkeitsverteilungen	82
Beispiel 3.6.4:	Produktivität. Streudiagramme	82
Beispiel 3.6.5:	Produktivität. Statistische Maßzahlen	83
Beispiel 3.6.6:	Produktivität. Grubbs Teststatistik	84
Beispiel 3.6.7:	Produktivität. Ausreißerelimination	84
Beispiel 3.6.8:	Produktivität. Einfluss auf Analysen	85
Beispiel 3.6.9:	Produktivität. Einfluss auf Varianzen	86
Beispiel 3.6.10:	Produktivität. Einfluss auf Korrelationen	86
Beispiel 3.6.11:	Produktivität. Länge der Hauptachsen	87

Beispiel 3.6.12:	Produktivität. Leverage Punkte	88
Beispiel 3.6.13:	Produktivität. Mahalanobis Distanz.	89
Beispiel 3.6.14:	Produktivität. Bedingte Erwartungswerte	89
Beispiel 3.6.15:	Produktivität. Residuen.	92
Beispiel 3.6.16:	Produktivität. Cook'sche Distanz	95
Beispiel 3.6.17:	Produktivität. Aerk Statistik.	96
Beispiel 3.6.18:	Produktivität. Grenze für Ausreißerbetrachtung.	97
Beispiel 3.6.19:	Quantile einer standardisierten normalverteilten Zufallsgröße	100
Beispiel 4.1.1:	Papierfeeder. Aufgaben und Abgrenzung	111
Beispiel 4.2.1:	Papierfeeder. Zuverlässigkeit	113
Beispiel 4.2.2:	Laser Pointer. Conjoint Analyse.	114
Beispiel 4.2.3:	Metallsäge. Input/Prozess/Produkt/Funktion.	127
Beispiel 4.2.4:	Metallsäge. Versuchsplanung und Latitudes	130
Beispiel 4.2.5:	Metallsäge. Bestätigungsexperimente	144
Beispiel 4.3.1:	Metallsäge. Simultane Erfüllung der Anforderungen	144
Beispiel 4.3.2:	Metallsäge Zusammenfassung der Funktionen	146
Beispiel 4.3.3:	Metallsäge. Funktionalität und Toleranzgrenze	146
Beispiel 4.4.1:	Drucker. Kundenanforderungsprofil	150
Beispiel 4.4.2:	Drucker. Produktweiterentwicklung.	151
Beispiel 5.1.1:	Ziegelsteinherstellung. Nicht unabhängige Zufallsgrößen.	156
Beispiel 5.1.2:	Dämpfung der Motorvibration. Abhängigkeiten.	157
Beispiel 5.2.1:	Kunststoffscheiben. Definition von Kundenanforderungen	160
Beispiel 5.2.2:	Akkubohrschrauber. Statistische Tolerierung.	169
Beispiel 5.2.3:	Wellendurchmesser. Univariate Prozessfähigkeit.	175
Beispiel 5.2.4:	Wellendurchmesser. Prozessfähigkeit nach Taguchi	178
Beispiel 5.2.5:	Fähigkeiten und Ausfallrate	180
Beispiel 5.2.6:	Wellendurchmesser. Ausfallrate.	181
Beispiel 5.2.7:	Akkubohrschrauber. Konfidenzintervalle für C_p und C_{pk}	186
Beispiel 5.2.8:	Simulationen. Maßzahlen und univariate Fähigkeiten.	194
Beispiel 5.2.9:	Simulationen. Eigenwerte und Längen der Hauptachsen	195
Beispiel 5.2.10:	Demonstrationsbeispiel. Multivariate Fähigkeiten	205
Beispiel 5.2.11:	Dämpfung der Motorvibration. Multivariate Fähigkeiten.	207
Beispiel 5.2.12:	Akkubohrschrauber. Prozessfähigkeiten	208
Beispiel 5.2.13:	Karosseriebau. Multivariate Fähigkeiten	209
Beispiel 5.3.1:	Einfaches Getriebe. Maßketten	214
Beispiel 5.3.2:	Einfaches Getriebe. Ortsvektoren	216
Beispiel 5.3.3:	Quadratische Form	218
Beispiel 5.3.4:	Einfaches Getriebe. Tolerierung	219
Beispiel 5.4.1:	Drehen einer Welle. Prozessdarstellung.	225

Beispiel 5.5.1:	Papierfeeder. Prozessnetzwerk	227
Beispiel 5.6.1:	Papierfeeder. Prozessnetzwerk mit Kommunikation	229
Beispiel 5.7.1:	Chemischer Prozess. Prozessverbesserung	231
Beispiel 5.9.1:	Bremsweg eines PKW. Korrelationskoeffizienten.	235
Beispiel 5.9.2:	Bremsweg eines PKW. Abhängigkeit des Bremsweges	238
Beispiel 5.9.3:	Bremsweg eines PKW. Determinante der Korrelationsmatrix	241
Beispiel 5.9.4:	Stillstandszeiten	242
Beispiel 5.9.5:	Lieferterminüberschreitung. Rangkorrelationskoeffizienten.	243
Beispiel 5.9.6:	Lieferfristenüberschreitung. Spearman'scher Rangkorrelations- koeffizient.	244
Beispiel 5.9.7:	Lieferfristenüberschreitung. Kendallscher Rangkorrelations- koeffizient.	246
Beispiel 5.9.8:	Einfluss von zwei Prozess- auf eine Produktvariable. Abhängigkeiten . .	247
Beispiel 5.9.9:	Einfluss von zwei Prozess- auf eine Produktvariable. Partieller Korrelationskoeffizient	248
Beispiel 5.9.10:	Einfluss von zwei Prozess- auf eine Produktvariable. Maß der Beherrschbarkeit	248
Beispiel 5.9.11:	Bremsweg eines PKW. Partielle Korrelationskoeffizienten.	250
Beispiel 5.9.12:	Bremsweg eines PKW. Multipler Korrelationskoeffizient.	252
Beispiel 5.9.13:	Bremsweg eines PKW. Partiell multipler Korrelationskoeffizient.	256
Beispiel 5.10.1:	Brennen von Porzellan. Technologie	260
Beispiel 5.11.1:	Bremsweg. Einfache Prozessgleichung.	263
Beispiel 5.11.2:	Bremsweg. Prozessgleichung mit mehreren Prozessvariablen.	270
Beispiel 5.11.3:	Bremsweg. Mehrere Prozessvariable.	271
Beispiel 5.11.4:	Multivariates multiples Modell mit zwei Produkt- und zwei stochastischen Prozessvariablen. Bedingte Kovarianz und bedingte Erwartungswerte.	275
Beispiel 5.11.5:	Multivariates multiples Modell mit zwei Produkt- und zwei stochastischen Prozessvariablen. Multivariater multipler Korrelationskoeffizient	276
Beispiel 5.11.6:	Akkubohrschrauber. Statistische Prozessanalysen	279
Beispiel 5.12.1:	Bremsweg. Vorhersagen.	291
Beispiel 5.12.2:	Bremsweg. Varianzanalyse	295
Beispiel 5.13.1:	Multikollinearität	298
Beispiel 5.13.2:	Einfluss der Multikollinearität. Einfluss auf die Modellparameter.	303
Beispiel 5.14.1:	Chemischer Prozess. Teilmengenregressionen	310
Beispiel 5.14.2:	Chemischer Prozess. Schrittweise Auswahl der unwesentlichen Prozessvariablen	317
Beispiel 5.14.3:	Chemischer Prozess. Red-Auswahlverfahren	326
Beispiel 5.14.4:	Chemischer Prozess. Vergleich von Reduktionsverfahren	328
Beispiel 5.14.5:	Mikroelektronik. Red-Verfahren.	330

Beispiel 5.16.1:	Chemischer Prozess. Statistische Tolerierung der Input- und Prozessvariablen	335
Beispiel 5.17.1:	Karosseriebau. Zusammenfassung der Produktvariablen	347
Beispiel 5.18.1:	Kalibrierung. Linear	352
Beispiel 5.18.2:	Kalibrierung. Vorhersageintervall	355
Beispiel 5.18.3:	Nachweisgrenze.	355
Beispiel 5.18.4:	Erfassungsgrenze	356
Beispiel 5.18.5:	Bestimmungsgrenze.	356
Beispiel 6.1.1:	Länge des Bremsweges. Univariate Qualitätskontrollkarte	360
Beispiel 6.2.1:	Länge des Bremsweges. Streudiagramm	363
Beispiel 6.2.2:	Länge des Bremsweges. Statistische Maßzahlen	365
Beispiel 6.4.1:	Länge des Bremsweges. T^2 -Statistik	372
Beispiel 6.5.1:	Zementplatten. Uni- und multivariate Kontrollkarten.	378
Beispiel 6.5.2:	Akkubohrschrauber. Übung.	385
Beispiel 7.1.1:	Porzellanteller	390
Beispiel 7.2.1:	Schweißen von Motorstützen. Problembeschreibung.	391
Beispiel 7.2.2:	Schweißen von Motorstützen. t -Zweistichprobentest.	392
Beispiel 7.2.3:	Einfache ANOVA. Beispielrechnung.	396
Beispiel 7.3.1:	Einfache ANOVA. Least significant difference	399
Beispiel 7.3.2:	Schweißen von Motorstützen. Varianzanalyse	400
Beispiel 7.6.1:	Schweißen von Motorstützen. Dreifache Klassifikation	409
Beispiel 7.7.1:	Schweißen von Motorstützen. Konfidenzintervalle.	415
Beispiel 7.8.1:	Nikotiningehalt von Zigaretten. Wiederhol- und Vergleichbarkeit	418
Beispiel 7.9.1:	Vergleich von Laboren. Einfache Klassifikation	428
Beispiel 7.9.2:	Vergleich von Laboren. Multiple Vergleiche	432
Beispiel 8.3.1:	Bremsweg. Durchführung von Versuchen.	444
Beispiel 8.3.2:	Bremsweg. Prozessgleichung	445
Beispiel 8.5.1:	Böschungswinkel von Tagebauböschungen. Problembeschreibung und Versuchsdurchführung	450
Beispiel 8.5.2:	Solarenergie. Durchführung von Versuchen.	454
Beispiel 8.6.1:	Solarenergie. Reduziertes Design	463
Beispiel 8.7.1:	Mikroelektronik. Multi-Vari-Bild	465
Beispiel 8.7.2:	Papierfeeder. Variablenvergleich	471
Beispiel 8.8.1:	Solarzelle. Taguchi-Versuchsplan	481
Beispiel 8.8.2:	Feeder. Taguchi-Versuchsplan	484
Beispiel 8.9.1:	Chemischer Prozess. Vergleich verschiedener Methoden.	491
Beispiel 8.9.2:	Chemischer Prozess	499
Beispiel 8.9.3:	Chemischer Prozess. Statistische Tolerierung.	502
Beispiel 9.1.1:	Papierfeeder. Problem der Zuverlässigkeit.	511
Beispiel 9.2.1:	Zeichnen von Linien mit einem Bleistift.	514

Beispiel 10.1.1: Schwingungsdämpfer. Klassifikation	519
Beispiel 10.3.1: Schwingungsdämpfer. Bildung von Clustern	526
Beispiel 10.4.1: Schwingungsdämpfer. Überprüfung der Klassifikation	528
Beispiel 10.4.2: Akkubohrschrauber. Unterschiedliche Montagezeiten	530
Beispiel 11.1.1: Akkubohrschrauber. Berechnung von Faktoren	535
Beispiel 11.1.2: Schwingungsdämpfer. Berechnung von Faktoren	540
Beispiel 11.2.1: Persönlichkeitsmarketing	544
Beispiel 11.3.1: Markt	545
Beispiel 11.4.1: Akkubohrschrauber. Hauptkomponentenanalyse	547
Beispiel 11.4.2: Akkubohrschrauber. Reduktion des Parameterraums	550
Beispiel 11.5.1: Akkubohrschrauber. Hauptkomponentenregression	553
Beispiel 11.5.2: Akkubohrschrauber. Rücktransformation	556
Beispiel 11.6.1: Akkubohrschrauber. Interpretation der Faktoranalyse	559
Beispiel 11.6.2: Akkubohrschrauber. Rotation der Faktormatrix	570
Beispiel 11.6.3: Akkubohrschrauber. Spezielle Rotation	574
Beispiel 11.6.4: Chemischer Prozess	575
Beispiel 12.2.1: Brotherstellung	583
Beispiel 12.3.1: Maschinenbau. Prozessnetzwerk	587
Beispiel 12.3.2: Maschinenbau. Statistische Maßzahlen	588
Beispiel 12.4.1: Maschinenbau. Starplots	590
Beispiel 12.4.2: Maschinenbau. Abhängigkeitsstruktur	591
Beispiel 12.4.3: Maschinenbau. Kostengleichungen	592
Beispiel 12.4.4: Maschinenbau. Steuerung, allgemein	594
Beispiel 12.4.5: Maschinenbau. Steuerung, speziell	596
Beispiel 12.4.6: Kalkulation im Herstellungsprozess	598
Beispiel 12.5.1: Maschinenbau. Kosten und Zeit	602
Beispiel 13.1.1: Univariate Prozessfähigkeitsindizes und Ausschussanteil	607
Beispiel G1: Euklidischer Abstand	619
Beispiel G2: Machalanobisabstand	621
Beispiel G3: Wellendurchmesser	630
Beispiel G4: Fahrverhalten	636

1 Qualitätsprobleme und Lösungsansätze

In jedem Unternehmen harren Probleme auf ihre Lösung. Diese können

- die Qualität,
- die Beherrschbarkeit von Prozessen,
- die Entscheidungen z. B. für Prozessverbesserung auf der Grundlage konkreter Kriterien,
- die betriebswirtschaftlichen Kennziffern, wie Kosten, Produktivität usw.
- die Auslastung der Maschinen und Anlagen,
- das Methodenniveau für die Quantifizierung der Qualität,
- die Steuer- und Regelung der Prozesse,
- die Qualifizierung und Motivation der Mitarbeiter,
- die Kunden-Lieferanten-Beziehungen

und vieles andere betreffen.

Jedes Problem verursacht Verluste, daher müssen die Probleme gelöst werden.

Hierzu bedient man sich bis heute vorrangig der univariaten und beschreibenden statistischen Methoden. Das reicht aber nicht aus! Jedes Problem hat Ursachen. Selbst im trivialsten Fall gibt es für ein Problem eine Ursache. Damit muss ein Problem entsprechend dem Ursache-Wirkungs-Prinzip durch mindesten zwei nicht unabhängige zufällige Variable beschrieben werden. Das weist zwangsläufig auf die Anwendung der multivariaten statistischen Methoden.

1.1 Was ist ein betriebliches Problem?

Ein betriebliches Problem ist eine oder eine Menge notwendig zu lösender Aufgaben. Ein typisches betriebliches Problem liegt z. B. dann vor, wenn ein hergestelltes Produkt nicht simultan alle relevanten Kundenanforderungen erfüllt. Dann nämlich besitzt das Produkt aus der Sicht des Kunden eine miserable Qualität.

Auch wenn man nur über die Qualität redet, ohne zu definieren was Qualität überhaupt ist und wie man diese für Vergleichszwecke, Verbesserungen usw. messen kann, führt das zu einem betrieblichen Problem. Dann siegt die Polemik über das Bestreben, das Problem zu lösen.

Im Rahmen der Globalisierung werden die Preise für die Produkte auf dem Markt gebildet. Die Kosten für ein Produkt sind definiert als die monetäre Bewertung des notwendigen Verbrauches an allen möglichen Ressourcen oder im klassischen ökonomischen Sinn als die Summe der vergegenständlichten Arbeit. Die Preise und Kosten sind in der Regel verschieden. Wird das nicht beachtet und sind die (nicht berechneten) Kosten höher als die Preise, dann entsteht schnell ein riesengroßes Problem, das sogar existenzbedrohend für das Unternehmen werden kann, denn der Gewinn als Differenz zwischen den Preisen und Kosten ist in diesem Falle negativ, d. h. ein Verlust.

Aufgrund der Vielzahl und der unterschiedlichen Gewichtung der betrieblichen Probleme ist es sinnvoll, die Hierarchie der Probleme aufzudecken und entsprechend der Gewichtung zu lösen. Hierbei wirkt das wohlbekannte Pareto-Prinzip, nach dem die wenigen wichtigsten Probleme diejenigen sind, bei denen die größten Verluste zu erwarten sind.

1.2 Welches sind die Hauptprobleme in Ihrem Unternehmen?

Sie können die Hauptprobleme in Ihrem Unternehmen aufschreiben und mit der folgenden Problemhierarchie benchmarken.

Wir wollen folgende Problemhierarchie bilden.

Die Existenz eines Unternehmens gefährdende globale Probleme

In diese Klasse gehören z. B. alle betriebswirtschaftlichen Probleme, die natürlich größtenteils aus den technischen Problemen abgeleitet werden müssen, wie z. B.

- zu langsame Reaktion auf die Globalisierung der Märkte, die darin besteht, dass
 - die Kenntnisnahme und die Reaktion auf die rasch wechselnden Bedürfnisse der Kunden und damit die Veränderungen der Kundenanforderungen zu zögerlich wahrgenommen werden,
 - die Reaktion auf die Veränderung der Preise auf den internationalen Märkten, z. B. durch Einführung des Target Costing in Verbindung mit der statistischen Kostenanalyse gar nicht oder zu spät erfolgt,
 - die Reaktion auf die Verschärfung des internationalisierter Wettbewerbes, z. B. durch umfassende Marktanalysen und die Entwicklung neuer Produkte und Prozesse, unterbleibt.
- Die Veränderungen der Unternehmensstrukturen durch zunehmend häufiger entstehende internationale Konzerne,
 - mit wachsenden permanente Kostendruck und
 - die passende Reaktion auf die rasante Entwicklung der Hedge Fonds.

Andere Probleme dieser Kategorie resultieren aus

- dem zu späten Reagieren auf die sinkenden Kundenzufriedenheit,
- der notwendigen Erhöhung der Produktivität durch Verbesserung der Fähigkeiten von Maschinen, Prozessen, Anlagen, Lieferanten, Mitarbeitern,
- der notwendigen Verbesserung der Qualität von Produkten und Dienstleistungen ebenfalls durch Erhöhung der Fähigkeiten und Verbesserung der Beherrschbarkeit der Prozesse.
- Hierzu gehören auch sich ständig ändernden Qualitätsmanagementphilosophien, angefangen vom TQM (Total Quality Management) endend bisher mit der Six-Sigma-Philosophie. Jede dieser Philosophien verfolgt die Ziele, Senkung der Kosten, Verbesserung der Qualität usw. Jede dieser Philosophien beinhaltet sehr gute Ansatzpunkte zur Erreichung der Ziele.

Mir gefällt aber nicht, dass Ihnen diese Philosophien keine konkreten Entscheidungskriterien für die Prozessanalyse und Prozessverbesserung zur Verfügung stellen. Des weiteren gefällt es mir nicht, dass nur Methoden diskutiert werden, die den praktischen Gegebenheiten kaum Rechnung tragen, wie z. B. der Tatsache,

- dass ein Produkt durch mehrere, nicht unabhängige zufällige Variable – die Produktvariable – beschrieben wird,
- dass Inputvariablen Produktvariablen von Vorläuferprozessen und damit ebenfalls zufällige Vektoren sind,
- dass kaum Methoden zur Realisierung des Ursache-Wirkungs-Prinzip vorgestellt und die multivariate Methoden selten angewandt werden.

Häufig werden nicht die richtigen Fragen gestellt. Auf die Erfordernisse der modernen Industrie, wie z. B. Fragen der Kommunikation zwischen Prozessen mit der Möglichkeit der statistischen Tolerierung, der Erweiterung der Fähigkeitsindizes auf den multivariaten Fall usw. wird kaum bzw. nicht eingegangen.

Aus dem Gesagten resultieren sofort neue Problemen, die ich zu den Hauptproblemen zusammenfassen möchte.

Was sind die interne Hauptprobleme eines Unternehmens?

In den letzten Jahren haben sich einige Probleme dieser Kategorie wesentlich verschärft. Zu diesen gehören die folgenden:

- Jedes Produkt (materielles Produkt oder Dienstleistung) wird in einem Netzwerk von Herstellungs- und Dienstleistungsprozessen produziert. Diese Auffassung ist notwendig für das innerbetriebliche Zusammenspiel der Prozesses, fördert allerdings auch die Verlagerung von Prozessen an Lieferanten. Dieser Fakt wird zu wenig beachtet, vor allem auch in Hinblick auf die Definition und Quantifizierung des überaus bedeutsamen Begriffes der Qualität.
- Durch den zunehmenden Zukauf von Komponenten und die Verlagerung von immer mehr Prozessen wird die Fertigungstiefe im eigenen Unternehmen immer flacher. Das bedeutet aber nicht zuletzt, dass die Kommunikation zwischen Herstellungs- und Dienstleistungsprozessen, zwischen Kunden und Lieferanten verbessert werden muss.

Für die Kommunikation ist eine Sprache notwendig. Diese (technische) Sprache besitzt die Elemente

- Zusammenstellung der Kunden-Anforderungs-Profile (KAP),
- Parametrisierung der Eigenschaften von z. B. Produkten,
- Spezifizierung des KAP,
- Nachweis der simultanen Erfüllung aller relevanten Kundenanforderungen durch uni- und multivariate Prozessfähigkeitsindizes,
- Entscheidung aufgrund der Fähigkeiten für
 - eine Prozessverbesserung,
 - die erneute Tolerierung,
 - die Kontrolle der Prozesse auf dem verbesserten Niveau mit uni- und multivariaten Kontrollkarten,

- Investition in neue Produktionsmittel, Maschinen, Anlagen,
- Verfahren usw.

Diesen ganzen Komplex von Aufgaben fassen wir zum umfassenden Produktaudit zusammen.

Die Unternehmen sollten mehr Augenmerk auf die Realisierung dieser Audits verwenden, um in konkreten Situationen korrekt entscheiden zu können und die (ex- und/oder internen) Kunden-Lieferanten-Beziehungen mit diesen Methoden zu quantifizieren. Pflichten- oder Lastenhefte allein helfen hier nicht weiter.

Andere Probleme entstehen dadurch, dass einige Elemente für die Kommunikation z. T. erst rudimentär vorhanden sind, daher weiter entwickelt und in der betrieblichen Praxis etabliert werden müssen.

Weitere Probleme entstehen aus den fehlenden Sollwerten und Toleranzgrenzen für alle nicht unabhängigen Produktvariablen, insbesondere auch bei den Produkten von Geschäftsprozessen, zu niedrigen Prozessfähigkeitsindizes und manchmal heuristisch getroffenen Entscheidungen.

- Einen Prozess zu verbessern bedeutet, die Streuungen der Produktvariablen zu reduzieren und die Abweichung des Vektors der Mittelwerte von dem der Sollwerte zu minimieren. Beide Ziele sind nur durch den Einsatz multivariater statistischer Methoden möglich.

Die Modelle der Prozessverbesserung basieren auf der Idee, dass jedes Produkt (materielles Produkt oder Ergebnis einer Dienstleistung) das Ergebnis eines Prozesses ist. In diesem werden die Input- und Prozessvariablen so verändert, dass die Produkte alle relevanten (ex- und/oder internen) Kundenanforderungen erfüllen. Damit muss das Ergebnis der Modellierung eine Prozessgleichung sein, mit der ein Prozess gesteuert werden kann.

In diesem Zusammenhang muss man noch anmerken, dass sowohl die Input- als auch die Produktvariablen Vektoren von Zufallsgrößen sind. Die Inputvariablen sind die Produktvariablen von Vorläuferprozessen und daher zufällig. Damit können zur Berechnung der Prozessgleichung nur spezielle Methoden, die diesen Voraussetzungen Rechnung tragen, angewandt werden.

Die Entscheidung für die Prozessverbesserung erfolgt in Abhängigkeit vom Ergebnis eines umfassenden Produktaudits.

Die Prozessverbesserung wird in zwei Stufen realisiert. In der ersten Stufe wird eine umfangreiche Prozessanalyse mit multivariaten statistischen Methoden durchgeführt. Eins der Hauptergebnisse dieser Stufe ist eine Prozessgleichung für die Produktvariablen in Abhängigkeit von den wesentlichen Input- und Prozessvariablen.

In der zweiten Stufe wird der Prozess mit der Prozessgleichung gesteuert, sodass simultan alle Kundenanforderungen erfüllt werden.

Probleme in diesem Zusammenhang sind

- die fehlende Prozessgleichung mit der ein Prozess zielgerichtet gesteuert und geregelt werden kann,
- die oft fehlenden Zielwerte für die Produktvariablen, mit denen die Steuerung so erfolgen kann, dass alle Kundenanforderungen erfüllt werden,
- das fehlende oder zu niedrige Maß der Beherrschbarkeit eines Prozesses, aus dem abgelesen werden kann, wie gut die Streuung einer Produktvariablen durch die Input- und Prozessvariablen erklärt werden kann.

- Nach dem Motto des Galilei „... messe alles, und das nicht Messbare mache messbar ...“ werden zu recht häufig viele Variablen gemessen. Für die Auswertung und Anwendung der Resultate ist andererseits die Beschränkung auf die wesentlichen Input-, Prozess- und Produktvariablen erforderlich und diese weniger Input- und Prozessvariablen sollten bzgl. des Einflusses auf die Produktvariablen geordnet vorliegen. Viele bekannte statistische Verfahren zur Auswahl der wesentlichen Input- und Prozessvariablen sind unzureichend. Neue Verfahren wurden entwickelt. Diese müssen verstärkt bekannt gemacht und angewendet werden.
- Die Veränderungen „des Marktes“, d. h. der Kundenanforderungen und/oder der Preise führt auf die internen Probleme, wie z. B.
 - fehlende oder nicht ausreichende Benchmarkstudien,
 - unzureichender Einsatz quantifizierbarer Methoden bei der Auswertung von Fragebogenstudien zur Erfassung der Kundenwünsche, wie z. B. von QFD, der Conjoint Analyse usw.
 - zu langsame Produktweiter- oder Produktentwicklung. Auch hier müssen statistische Methoden, z. B. die der Versuchsplanung oder deren Derivate von Taguchi und Shainin und auch multivariate Methoden eingesetzt werden, um die Entwicklungszeiten zu verkürzen, den Sprachgebrauch z. B. Funktionalität zu präzisieren und vieles mehr.
 - Die Prozesse zur Herstellung der neu- oder weiterentwickelten Produkte müssen angepasst oder z. T. sogar völlig neu entwickelt werden. Es fehlen Machbarkeitsstudien oder diese sind mitunter unvollständig oder ungenügend.
 - Die Preisentwicklung auf den Weltmärkten zwingt die Unternehmen zur Anwendung des „target costing“, um zu sehen, welche kostenerzeugenden Variablen wie verändert werden müssen, um die Kosten (d. h. den Wert des Produktes) unter den zu erzielenden Marktpreis zu senken. Diese Methode war bisher z. T. noch nicht ausgereift, wurde von uns weiter entwickelt und wird hier ausführlich beschrieben.
 - Widerstand gegen den Wandel, vor allem auch durch hierarchisch geprägte Organisationsformen, unzureichender Informationsfluss durch unzureichend zugeordnete Kompetenzen, usw.
- Insbesondere in einem Netzwerk von Prozessen haben die Prozesszeiten für Arbeitsschritte, Abläufe usw. eine entscheidende Bedeutung. Die Methoden MOST (Maynard's Operation Sequence Technics) werden in der deutschen Industrie zu wenig angewendet.
- Datengewinnung

Für die Lösung der überwiegenden Mehrheit der Probleme werden Daten benötigt.

Diese liegen entweder schon vor und müssen auf ihre Eignung zur Lösung eines betreffenden Problems geprüft oder müssen neu erfasst werden.

In der Praxis ist leider viel zu häufig die Datenerfassung hinsichtlich der Datenqualität unzureichend und muss verbessert werden. Das betrifft in starkem Maße die Anzahl der erfassten Variablen, die Zuordenbarkeit der Werte für die Variablen (es sollten die Geschichte der Produkte erfasst werden), die Vollständigkeit und die Anzahl der Messwertsätze.

- Neu zu erfassende Daten können entweder
 - im laufenden Prozess oder
 - durch die Anwendung der Methoden der Versuchsplanung gewonnen werden.

An dieser Stelle ist es notwendig darauf hinzuweisen, dass die Art der Datenerfassung vom Verwendungszweck abhängen muss. So können z. B. mit den durch die

Stichwortverzeichnis

A

- Abhängigkeitsstruktur eines Prozesses 233
- Abhängigkeitsstruktur für jedes Produkt 39
- Abstandsbegriff 201
- ANOVA 391
- Ausfall 509
- Ausfallrate 509
- ausreichende Anzahl 62
- Austauschprozess 36
- Auswahl der wesentlichen Input- und Prozessvariablen 306
- Auswertung 15
- Auswirkung der Streichung 319
- A zu B Vergleich 465

B

- Bartlett-Test 418
- bedingte Kovarianzmatrix 249
- bedingte Momente 249
- bedingte Prozessfähigkeitsindizes 201
- bedingter Erwartungswert 269
- bedingte Varianz 269
- Beherrschbarkeit eines Prozesses 172
- Berechnung der partiellen Korrelationskoeffizienten 248
- Berechnung der statistischen Toleranzen für die wesentlichen Prozessvariablen 340
- Berechnungsalgorithmen zum Auffinden der besten Anpassungsteilmengen 308
- Bestätigungsexperimente 143
- Bestimmungsgrenze 356
- betriebliches Problem 1
- Bewertung der Nachbarschaft 523
- Bewertungszahl 41

C

- Clusteranalyse 523
- Cochran-Test 417
- Codierung 443, 452
- Conjoint-Analyse 114
- Cook'sche Distanz 95
- C_p -Verfahren von Mallows 308

D

- Datenanalyse 17
- Datengewinnung 59
- Datenqualität 76
- Deckungsbeitragsrechnung 585
- Definition der Multikollinearität 296
- Definition der Zuverlässigkeit 513
- Definition des multiplen Korrelationskoeffizienten 251
- Derivate der Versuchsplanung 464
- Design of Experiments 439
- Determinante der Korrelationsmatrix 40
- Dimension des Hauptkomponentenraumes 550
- Diskriminanzanalyse 523
- Distanz 523
- DMADV 25
- DMAIC 24
- Drei-Sigma-Regel 22
- dreidimensionale Häufigkeitsverteilung 16

E

- Eigenschaften der T^2 -Statistik 369
- Eigenschaften eines Produktes 35
- Eigenschaften für die Schätzfunktionen 290
- Eigenwert 538
- einfache Klassifikation der MANOVA 425
- einfache Korrelationskoeffizienten 234
- Einfluss der Multikollinearität auf die Schätzfunktionen 296
- Einzelkosten 584
- elementare Methoden der Ausreißerererkennung 81
- elliptisch umrissene Verteilung 208
- Entscheidung aufgrund der Fähigkeiten 3
- Entscheidungen aufgrund der multivariaten Prozessfähigkeitsindizes 204
- Entscheidungen aufgrund der univariaten Prozessfähigkeitsindizes 175
- Entwicklung und Konstruktion 111
- Erfassungsgrenze 356
- Euklidische Distanz 523

F

Fähigkeit 170
 Faktoranalyse 52, 537
 Faktoren 540
 Faktorladung 564
 Fehlerarten 69
 Fertigungstiefe 3
 fixe Kosten 584
 Fragebogen 49
 Fragebogen Kundenzufriedenheit
 – Auswertungen 49
 Funktionstoleranz 164

G

Gemeinkosten 584
 Genauigkeit 64
 Generator eines Versuchsplanes 462
 gesellschaftliche Konflikte XXI
 gesellschaftliche Probleme XX
 gewichtete Linearkombinationen 541
 globale Funktionalität 129
 globale Probleme XXII, 2
 Grad der Multikollinearität 166
 Grundprinzip für die Konstruktion
 univariater Kontrollkarten 368
 Gruppenarbeit 612

H

Hauptkomponenten 540
 Hauptkomponentenregression 552
 Hauptkomponententransformation
 543
 Herstellkosten 584
 Herstellungstoleranz 164
 heterogene Stichprobe 523
 Heteroskedastizität 261
 Homogenität von Stichproben 519
 Homoskedastizität 261
 Hotelling'sche T^2 -Statistik 369

I

identische Umformung 395
 inner array 479
 Inputvariable 3
 Internationalisierung XX
 inverse Korrelationsmatrix 40

K

Kalibrierung 76 b, 350
 Kalkulation 584
 Karl-Pearson-Maß 524
 Kauf 35
 Kaufentscheidung 35
 Kendall'scher Rangkorrelationskoeffizient
 245
 Klassenanzahl 523
 Klassenzugehörigkeit 522
 Klassifikation der Probleme 12
 Klassifikationsverfahren 519
 Klassifikatorvariablen 524
 klassische Kostenrechnung 584
 klassische Zuverlässigkeitstheorie 511
 kleinstmögliche Differenz 398
 Kommunalitäten 560
 Kommunikation 3
 Kommunikation zwischen Prozessen 228
 Komponententausch 465
 Konditionszahl 301
 Konfidenzintervall für C_{pk} 185
 Konfliktlösung XXII
 Konstruktion von multivariaten
 Kontrollkarten 369
 Kontrast 413
 Konzentrationsellipsoid 538
 Korrelationsanalyse 234
 Korrelationsdiagramm 15
 Korrelationsmatrix 40, 234
 Kosten 1, 581
 Kostenartenrechnung 584
 Kostendruck 111
 Kostenentstehungsprozess 581
 kostenerzeugende Variablen 585
 Kostenrechnungssysteme 584
 Kostenstellenrechnung 584
 Kostenträgerrechnung 584
 kritischer Wert der Messgröße 354
 Kunde 35
 Kunden-Anforderungs-Profile 3
 Kundenanforderungen 159
 Kundenzufriedenheit 47
 Kundenzufriedenheitsmessung 48

L

Längen der Hauptachsen der Ellipse 195
 Latitudes 126

- Lebensdauer 509
 Lebenszyklus 112
 Leverage-Punkte 88
 Likelihood-Funktion 278
 Likelihood-Quotiententest von Wilks 426
 lineare Modelle mit stochastischen Input-
 und Prozessvariablen 268
 Linearität in den Modellen 333
- M**
- Mahalanobis-Abstand 201
 Mahalanobis-Distanz 89, 524
 Markt 54
 Maß der Beherrschbarkeit 4, 270
 Maß für die Straffheit der
 Abhängigkeitsstruktur 240
 Maßkettentheorie 163
 Maßtoleranz 164
 maximal zulässiger Ausfallprozentsatz 21
 Messgenauigkeit 76, 76 b
 Messmittelfähigkeit 76, 76 b
 Messprozess 60
 Messtoleranz 76 b, 164
 Messwertvektor-Eigenschaften 61
 Methode der Lagrangschen Multiplikatoren
 537
 Modell 59
 Modelle für die Prozessgleichung 260
 Modell mit determinierten Input- und
 Prozessvariablen 260
 modernes Produktaudit 159
 Multi-Vari-Bild 465
 multiple Korrelationskoeffizienten 234
 multiple Vergleiche der Behandlungen 413
 multiple Vergleiche in der MANOVA 430
 multivariate, multiple, lineare Modelle
 mit determinierten Input- und
 Prozessvariablen 267
 multivariate, multiple, lineare Modell
 mit stochastischen Input- und
 Prozessvariablen 274
 multivariate Ausreißerererkennung 77
 multivariate Kontrollkarten 362
 multivariate Prozessfähigkeitsindizes 193,
 201
 multivariate statistische Methoden XXIII
 multivariate Varianzanalyse 423
 multivariate Zuverlässigkeitstheorie 511
- multivariat partiell-multipler und
 multivariat semipartiell-multipler
 Korrelationskoeffizient 258
- N**
- Nachteile der Six-Sigma-Philosophie 24
 Nachweis der Prozessverbesserung 610
 Nachweis der simultanen Erfüllung 3
 Nachweisgrenze 355
 näherungsweise Bestimmung der
 Toleranzgrenzen 125
 Netzwerk 3
 Netzwerk von Herstellungs- und
 Dienstleistungsprozessen 59
 Niveaufestlegung 440
 normierter Eigenvektor 538
- O**
- Orthogonalität 216, 538
 outer array 479
- P**
- paarweiser Vergleich 465
 Papierfeeder 43
 Paradigmenwandel 30
 Pareto-Prinzip 2
 partielle Korrelationskoeffizienten 234
 partiell multiple Korrelationskoeffizienten
 253
 Phasen der Produktentwicklung 123
 Phasen der Prozessentwicklung 150
 Philosophien bei der Kontrolle von
 Prozessen 370
 Plankosten 584
 Planung der Kosten 589
 Preise 581
 Prinzip basiert die statistische Tolerierung
 165
 Prinzip der Versuchsplanung 441
 Problembeschreibung 6
 Problemdefinition XXII, 7
 Problemhierarchie 2
 Produkt 3, 155
 Produkt-Funktionen-Prozess 509
 Produktaudit 4, 17
 Produktbenchmarking 36

- Produktbewertung 38
 Produktdarstellungen 158
 Produkt für die Weiterverarbeitung 507
 Produktivität im Maynardschen Sinne 147
 Produktqualität, Lieferantenqualität und
 Prozessqualität 204
 Produkt und Funktionen 42
 Profilanalyse 433
 Projektbildung 12
 Projektrealisierung 609
 Prozess 20
 Prozessanalyse (SPA) 18
 Prozessfähigkeiten und Verlustfunktion
 176
 Prozessfähigkeit nach Taguchi 178
 Prozessfähigkeit und Ausfallrate 179
 Prozessgleichung 259
 Prozessgleichung für den gesteuerten
 Prozess 340
 Prozesskostenrechnung 585
 Prozess läuft unter statistischer Kontrolle
 359
 prozessorientierte Kostenerfassung 581
 prozessorientierte Kostenrechnung 581
 Prozesssteuerung mit quadratischer
 Optimierung 595
 Prozessverbesserung 4, 230, 343
 Prozess wird beherrscht 172
 Prüfung von Hypothesen über den Vektor
 der Koeffizienten der Prozessgleichung
 293
- Q**
- quadratische Form 217
 Qualität 1, 198
 Qualität des Prozesses 334
 Qualitätsproblem 1
- R**
- Rangkorrelationskoeffizienten 243
 Red-Auswahlverfahren 322
 Red-Auswahlverfahren von Jahn 318
 reeller Vektorraum 216
 Reproduzierbarkeit 435
 Ringversuch 416
 robuster Prozess 479
 Rolle des Managements 28
- Rotation der Matrix der Faktorladungen
 569
- S**
- schätzbare Funktion 405
 Schätzfunktionen 278
 Schätzung der Faktoren 572
 schrittweise Auswahl der unwesentlichen
 Prozessvariablen nach Draper, Smith 317
 Schulung der Prozessverantwortlichen und
 Mitarbeiter 611
 Screening-Tools 465
 Sensibilität der multivariaten Kontrollkarten
 382
 signal to noise 480
 signal to noise ratio 483
 simultane Konfidenzintervalle 414
 Situationen beim Vergleich des Soll- und
 Istzustandes 359
 Six-Sigma-Philosophie 21
 Skalarprodukt 216
 Spearman'scher Rangkorrelationskoeffizient
 243
 spezielle Transformation 571
 Spezifizierung 3
 spieltheoretische Kontrahenten XX
 Spurkorrelation 257
 Stärkung der Wettbewerbsfähigkeit 111
 statistische Kontrollgrenze 371
 statistische Modelle mit stochastischen
 Input- und Prozessvariablen 276
 statistische Prozessanalysen 279
 statistische Tolerierung 162
 statistische Tolerierung der Inputvariablen
 335
 steigende Anforderungen an die Qualität
 111
 Steuerung der Kosten 589
 Steuerung des Kostenentstehungsprozesses
 594
 Steuerung des Prozesses 20, 334
 Stichprobe 66
 Stimuli 115
 studentisierte Residuen 92
 Summen der Abweichungsquadrate
 innerhalb der Klassen 389
 Summen der Abweichungsquadrate
 zwischen den Klassen 389

T

target costing 2, 589
 Techniken der Ideengewinnung 112
 Teilmengenregression 307
 teilweise faktorielle Versuchspläne 462
 Test für die gleiche Ausprägung 434
 Test für die Parallelität 433
 Test für mehrere Ausreißer im univariaten normal verteilten Fall 69
 Testverfahren 309
 Test von Grubbs 68
 Test zur Prüfung der Hypothese über $\text{Red}_{n-1}(j)$ 331
 theoretische Kovarianzmatrix 40
 Thurstonsche Einfachstruktur 569
 Toleranzbereich für das Produkt 170
 Toleranzgrenze für das Produkt 371
 totale Variation 540
 Translation 538

U

Überlebenswahrscheinlichkeit 509
 Ungleichung von Bonferroni 414
 univariate, lineare, multiple Modelle mit festen Input- und Prozessvariablen 263
 univariate Ausreißer 64
 univariate Prozessfähigkeitsindizes 170
 univariate Shewhart-Karten 359
 Ursache-Wirkungs-Prinzip 1
 Ursachenforschung 14

V

variable Kosten 584
 Variablenvergleich 131
 Varianzanalyse für die berechnete Prozessgleichung 294
 Varianzanalysen 387
 Varimax-Transformation 569
 Vektor bedingter Erwartungswerte 249
 verallgemeinertes Maß der Beherrschbarkeit 276
 verallgemeinerte Varianz 540
 Vergleichbarkeit 76, 416
 Vergleich verschiedener Methoden 491
 Verkaufserlöse 585
 Verluste 607
 Vermengung 462

Versuch 440
 Versuchsplan 440
 Versuchspläne von Taguchi 478
 Versuchsplanung 439
 Verteilungen der Prozessfähigkeitsindizes 183
 verteilungsfreie Korrelationskoeffizienten 241
 Verursacher von Ausreißern 78
 Vierfelder-Korrelationskoeffizient 241
 vollständiger faktorieller Versuchsplan 443
 Vollständigkeit 62
 vom Kundenwunsch zum Produkt 112
 Voraussetzungen für die Durchführung der Versuchsplanung 441
 Vorhersagefehler-Minimierungsverfahren 308
 Vorhersagen für die Werte der Produktvariablen 291
 Vorteile der Six-Sigma-Philosophie 24

W

Wertschöpfung 583
 Wesen der Versuchsplanung 440
 Wichtung der Eigenschaften 119
 Widerstand gegen den Wandel 613
 wiederholbare Differenzen 470
 Wiederholbarkeit 76, 416
 Wirtschaftlichkeit 147

Z

Zeilensummenmethode 81
 Zerlegung der Summe der Abweichungsquadrate 394
 Zerlegungssatz für die Momente einer bedingten Verteilung 318
 Ziele bei der Prozessentwicklung 147
 Ziele können mit den linearen Modellen 277
 Zielvorgaben 586
 Zielvorgaben für die Gesamtkosten 595
 Zuordenbarkeit 62
 Zusammenfassung der Produktvariablen 346
 Zuverlässigkeit eines Produktes 507
 Zuverlässigkeitsfunktion 509
 zweifache Klassifikation der Varianzanalyse 407