

Holger Wilker

Band 1

Systemoptimierung in der Praxis

Teil 2 - Leitfaden zur statistischen Versuchsplanung

Mit 63 Abbildungen, 235 Tabellen, 41 Beispielen

Inhaltsverzeichnis

1	Einführung	1
2	Grundlagen der statistischen Versuchsplanung	4
2.1	Begriffe und Definitionen der Versuchsplanung	4
2.1.1	Zielgrößen	4
2.1.2	Einflußgrößen	5
2.1.3	Steuergrößen	5
2.1.4	Störgrößen	6
2.1.5	Faktoren	6
2.1.6	Faktorstufen	7
2.1.7	Effekte	7
2.1.8	Haupteffekte	7
2.1.9	Wechselwirkungseffekte	8
2.1.10	Versuchsplan	8
2.2	Prinzipien der Versuchsplanung	9
2.2.1	Wiederholung	9
2.2.2	Blockbildung	10
2.2.3	Randomisierung	10
2.3	Mathematische Grundlagen	11
2.3.1	Mathematisches Modell	11
2.3.2	Ausreissertest	13
2.3.3	Effektanalyse	15
2.3.3.1	Faktoreffekte	15
2.3.3.2	Wechselwirkungseffekte	18
2.3.3.3	Vertrauensintervalle	20
2.3.4	Multiple Regressionsanalyse	23
2.3.4.1	Methode der kleinsten Quadrate	24
2.3.4.2	Bestimmtheitsmaß	26
2.3.5	Bestimmung der Modellgüte	28

2.3.5.1	Bestimmtheitsmaß	28
2.3.5.2	Residuenanalyse	28
2.3.5.3	Globaler F -Test	31
2.3.5.4	Lokaler t -Test	34
2.3.5.5	Vertrauensintervall der Regressionskoeffizienten	35
2.3.5.6	Reststandardabweichung	35
2.3.5.7	PRESS-Maß	36
2.3.5.8	Modellschwächentest	36
2.3.6	Varianzanalyse	50
2.3.6.1	einfach, $n_i = n$, $n_i \neq n$	51
2.3.6.2	zweifach, $n = 1$, ohne WW	62
2.3.6.3	zweifach, $n = 1$, ohne WW, unvollst.	64
2.3.6.4	zweifach, $n > 1$, ohne WW	68
2.3.6.5	zweifach, $n > 1$, mit WW	72
2.3.6.6	zweifach, $n \geq 2$, ohne WW, hierach., vollst. . .	74
2.3.6.7	zweifach, $n \geq 2$, ohne WW, hierach., unvollst.	77
2.3.6.8	dreifach, $n = 1$, ohne WW, quadratisch	80
2.3.6.9	dreifach, $n = 1$, ohne WW $A \times B \times C$, mehrstufig	84
2.3.6.10	dreifach, $n > 1$, ohne WW, quadratisch	89
2.3.6.11	dreifach, $n > 1$, mit WW, zweistufig, vollfaktoriell	93
2.3.6.12	dreifach, $n > 1$, mit WW, mehrstufig	98
2.3.6.13	dreifach, $n > 1$, mit WW, teilfaktoriell	103
2.3.6.14	dreifach, $n \geq 2$, ohne WW, hierach., vollst. . .	109
2.3.6.15	dreifach, $n \geq 2$, ohne WW, hierach., unvollst. .	113
3	Festlegung der Versuchsparameter	118
3.1	Bestimmung der Zielgrößen	118
3.2	Ermittlung relevanter Faktoren	119
3.2.1	Faktorenvergleich für Produkte	119
3.2.2	Paarweiser Faktorenvergleich	126
3.2.3	Allgemeiner Faktorenvergleich	127
3.2.4	Streuungsanalyse-Diagramm	128
3.2.5	Faktorenvergleich für Prozesse	132
3.2.6	Fehler-Verteilungsdiagramm	133
3.3	Festlegung der Faktorstufen	135
3.4	Bestimmung des erforderlichen Versuchsumfangs	136
3.4.1	für den Nachweis einer Mittelwertdifferenz	138
3.4.2	für den Nachweis einer Varianzdifferenz	142

4	Mehrstufige Einfaktorpläne	148
4.1	Vollständige Blockpläne	148
4.1.1	Vollständige Zufallspläne	148
4.1.2	Zufällige Blockpläne	156
4.1.2.1	$n = 1$, ohne WW $A \times B$	158
4.1.2.2	$n > 1$, ohne WW	161
4.1.2.3	$n > 1$, mit WW $A \times B$	166
4.1.3	Lateinische Quadratpläne	171
4.1.3.1	Griechisch-Lateinische Quadratpläne	183
4.1.3.2	Hyper-Griechisch-Lateinische Quadratpläne	184
4.2	Unvollständige Blockpläne	186
4.2.1	ausgewogene unvollständige Blockpläne	186
4.2.2	Youden-Quadratpläne	192
5	Zweistufige Mehrfaktorpläne	194
5.1	Versuchspläne 1. Ordnung	194
5.1.1	Vollständige 2^k -Faktoren-Versuchspläne	194
5.1.1.1	$k = 2, n > 1$	195
5.1.1.2	$k > 2, n > 1$	205
5.1.1.3	$k > 2, n = 1$	214
5.1.2	Teilfaktorielle 2^{k-p} -Versuchspläne	229
5.1.3	Haupteffekt-Versuchspläne	248
5.2	Versuchspläne 2. Ordnung	255
5.2.1	Vollständige faktorielle 3^k -Versuchspläne	255
5.2.2	Teilfaktorielle 3^{k-p} -Versuchspläne	258
5.2.3	Box-Behnken-Versuchspläne	258
6	Mehrstufige Mehrfaktorpläne	261
6.1	Mehrstufige Zweifaktor-Versuchspläne	262
6.1.1	$n = 1$, ohne WW	262
6.1.1.1	$n \geq 2$, ohne WW, hierach., vollst.	266
6.1.1.2	$n \geq 2$, ohne WW, hierach., unvollst.	270
6.1.2	$n \geq 2$, mit WW	274
6.2	Mehrstufige Dreifaktor-Versuchspläne	279
6.2.1	$n = 1$, ohne WW $A \times B \times C$	279
6.2.2	$n \geq 2$, mit WW	285
6.2.2.1	$n \geq 2$, ohne WW, hierach., vollst.	292
6.2.2.2	$n \geq 2$, ohne WW, hierach., unvollst.	297

7	Versuchspläne nach Taguchi	302
7.1	Produkt- und Prozeßrobustheit	302
7.2	Orthogonale Felder	305
7.3	Bestimmung der Freiheitsgrade	311
7.4	WW-Analyse der Taguchi-Felder	312
7.5	Festlegung der Zielgrößen	314
7.6	Auswertung der Taguchi-Felder	314
8	Stichprobenvergleiche	327
8.1	Nichtüberlappende Stichprobenanordnungen	327
8.2	Überlappende Stichprobenanordnungen	334
8.2.1	$n_A \neq n_B, \sigma_A = \sigma_B$	336
8.2.2	$n_A \neq n_B, \sigma_A \neq \sigma_B$	337
9	Mischungspläne	347
9.1	Mathematisches Modell	349
9.2	Standard-Simplex-Pläne	354
9.3	Simplex-Mittelpunkt-Pläne	373
9.4	Simplex-Axial-Pläne	383
9.5	Simplex-Screening-Pläne	386
9.6	Beschränkte Mischungspläne	386
9.6.1	untere Beschränkungen	387
9.6.2	obere Beschränkungen	389
9.6.3	untere und obere Beschränkungen	391
A	Wölbungstest	392
B	F-Verteilung	393
C	t-Verteilung	404
D	Unvollständige balancierte Blockpläne	407
E	Vollständige vollfaktorielle Versuchspläne	414
F	Taguchi-Versuchspläne	416
G	Stichprobenvergleiche	421

Abbildungsverzeichnis

1.1	Vorgehensweise einer versuchsbasierten Systemoptimierung. . .	3
2.1	Schematischer Aufbau eines einseitig wirkenden pneumatischen Druckluftzylinders.	5
2.2	Darstellung der Kodierung eines quantitativen Faktorstufenbereiches $[x_u; x_o]$ mittels dessen Zentrierung und Skalierung in das dimensionslose Intervall $[-1; +1]$	9
2.3	Antwortfunktion für gemäß Versuchsplan durchgeführte Versuche mit zwei Faktoren.	11
2.4	Graphische Darstellung eines linearen Faktoreffektes $E(x_1)$ als Funktion des Durchflusses \dot{V}	17
2.5	Graphische Darstellung eines linearen Faktoreffektes $E(x_2)$ als Funktion des Durchflusses \dot{V}	17
2.6	Graphische Darstellung eines linearen Faktoreffektes $E(x_1 x_2)$ als Funktion des Durchflusses \dot{V}	19
2.7	Graphische Darstellung eines linearen Faktoreffektes $E(x_2 x_1)$ als Funktion des Durchflusses \dot{V}	20
2.8	Modellanpassung mittels linearer Regression.	25
2.9	Graphische Darstellung der Residuen $y_i - \hat{y}_i$ im Wahrscheinlichkeitsnetz für Normalverteilungen.	29
2.10	Graphische Darstellung der Residuen $y_i - \hat{y}_i$ als Funktion der Faktorstufeneinstellungen eines Faktors x_1	30
2.11	Graphische Darstellung der Residuen $y_i - \hat{y}_i$ als Funktion der Schätzwerte des Regressionsmodells: a) Unabhängigkeit der Residuen von den Schätzwerten \hat{y}_i , b) Abhängigkeit der Residuen von den Schätzwerten \hat{y}_i	31
2.12	Graphische Darstellung der Residuen als Funktion der Ordnungszahl von aufsteigend sortierten Versuchen i bei a) idealem Verlauf und b) bei vorhandener Abhängigkeit.	32

2.13	Graphische Darstellung der Versuchsdaten als Funktion der Schätzwerte des Regressionsmodells.	32
3.1	Flußdiagramm zur Ermittlung relevanter Faktoren.	120
3.2	Darstellung der Ergebnisse des Komponententauschs für Produkte zur Identifikation streuungsrelevanter Faktoren eines pneumatischen Zylinders mittels des Faktorenvergleiches.	124
3.3	Darstellung der Ergebnisse des Faktorstufentausches zur Identifikation streuungsrelevanter Faktoren.	129
3.4	Darstellung von lage-, zyklisch und zeitlich bedingter Streuung in einem Streuungsanalysediagramm.	131
3.5	Darstellung der Ergebnisse des Tausches der Prozeßschritte zur Identifikation streuungsrelevanter Prozeßabschnitte.	134
3.6	Darstellung eines Fehlerverteilungs-Diagramms pneumatischer, thermisch hochbelasteter Dichtringe in einer Temperaturkammer.	136
3.7	Bestimmung eines geeigneten Faktorstufenabstands in Abhängigkeit vom Zielgrößenverlauf.	137
4.1	Vorgehensweise bei der Auswahl und Anwendung von mehrstufigen Einfaktorplänen.	149
5.1	Graphische Darstellung der Faktorstufenkombinationen eines vollfaktoriellen 2^2 -Versuchsplanes.	196
5.2	Graphische Darstellung der Faktorstufenkombinationen eines vollfaktoriellen 2^3 -Versuchsplanes.	196
5.3	Graphische Darstellung des Effektes für den Faktor A	201
5.4	Graphische Darstellung des Effektes für den Faktor B	202
5.5	Graphische Darstellung des Effektes für die Wechselwirkung $A \times B$	202
5.6	Graphische Darstellung des Effektes für die Wechselwirkung $B \times A$	203
5.7	Graphische Darstellung des Signifikanztests für die Effekte $E(A)$, $E(B)$, $E(AB)$ mit den Irrtumswahrscheinlichkeiten $\alpha = 0,10; 0,01$ des einseitigen bzw. zweiseitigen Vertrauensintervalls.	204
5.8	Graphische Darstellung des Signifikanztests für die Effekte $E(A)$, $E(B)$, $E(C)$, $E(AB)$, $E(AC)$, $E(BC)$, $E(ABC)$ mit den Irrtumswahrscheinlichkeiten $\alpha = 0,10; 0,05; 0,01$ des zweiseitigen Vertrauensintervalls.	212
5.9	Graphische Darstellung der Mittelwerte der Zielgröße für die Faktorstufenkombinationen aus Temperatur und Geschwindigkeit.	214

5.10	Wahrscheinlichkeitsnetz für normalverteilte zufallsbedingte Effekte mit $n = 1$	217
5.11	Graphische Darstellung des Signifikanztests für die Effekte $E(A)$, $E(C)$ mit den Irrtumswahrscheinlichkeiten $\alpha = 0,10; 0,05; 0,01$ des zweiseitigen Vertrauensintervalls.	221
5.12	Graphische Darstellung des Signifikanztests für die Effekte $E(A)$, $E(B)$, $E(C)$, $E(AB)$, $E(AC)$, $E(BC)$, $E(ABC)$ mit der Irrtumswahrscheinlichkeit $\alpha = 0,01$ des zweiseitigen Vertrauensintervalls.	224
5.13	Graphische Darstellung der Faktorstufenkombinationen eines vollfaktoriellen 3^2 -Versuchsplanes.	256
5.14	Graphische Darstellung der Faktorstufenkombinationen eines vollfaktoriellen 3^3 -Versuchsplanes.	257
7.1	Qualitätsverständnis nach Taguchi.	303
7.2	Einstellung von Faktorstufen für ein stabiles Zielgrößenverhalten.	304
7.3	Einstellung von Faktorstufen für ein robustes Zielgrößenverhalten.	304
7.4	Graphische Darstellung der Verteilung der Weiterdrehmomente vor und nach Optimierung des Montageprozesses.	321
9.1	Darstellung des Mischungsverhältnisses zweier Komponenten.	348
9.2	Simplex für $n = 3$ Komponenten einer Mischung mit $x_1 + x_2 + x_3 = 1$	349
9.3	Simplex als Untersuchungsbereich für $n = 3$ Komponenten einer Mischung.	350
9.4	Anordnung von Versuchspunkten in einem Simplex.	355
9.5	Simplexgitterplan mit $k = 3$ und $g = 1$	357
9.6	Simplexgitterplan mit $k = 3$ und $g = 2$	358
9.7	Simplexgitterplan mit $k = 3$ und $g = 3$ (<i>tb</i>)	359
9.8	Simplexgitterplan mit $k = 3$ und $g = 3$	360
9.9	Simplexgitterplan mit $k = 3$ und $g = 4$ (<i>tb</i>)	361
9.10	Simplexgitterplan mit $k = 3$ und $g = 4$	362
9.11	Einfluß der Regressionskoeffizienten eines Regressionsmodells 2. Grades für einen Simplexgitterplan mit $k = 3$ und $g = 2$ auf die Zielgröße.	368
9.12	Verlauf der geloteten Höhenlinien für die Zielgrößenwerte $\hat{y}(\mathbf{x}) = 45; 50; 55; 60; 65$	369

9.13	Graphische Darstellung der Vertrauensintervalle für die Zielwerte eines Regressionsmodells 2. Grades und den Komponentenanteilen eines Simplex-Standard-Plans für $k = 3$ Mischungskomponenten x_1, x_2, x_3 mit $n_{ij} \geq 2$ Beobachtungen und einer Irrtumswahrscheinlichkeit $\alpha = 0,10$.	372
9.14	Simplexgitterplan eines Simplex-Mittelpunkt-Planes für $k = 3$ Mischungskomponenten.	375
9.15	Darstellung eines Simplex für $k = 4$ Mischungskomponenten und den Versuchspunkten eines Simplex-Mittelpunkt-Planes nach Tab. 9.15.	377
9.16	Mögliche Anordnungen der Versuchspunkte eines Simplex-Axial-Planes für $k = 3$ Mischungskomponenten.	383
9.17	Varianten des Simplex-Axial-Planes für $k = 3$ Mischungskomponenten.	384
9.18	Simplexgitterplan eines Standard-Simplex-Axial-Planes für $k = 3$ Mischungskomponenten.	385
9.19	Simplexgitterplan für $k = 3$ Mischungskomponenten mit einer nach unten beschränkten Mischungskomponente $x_{3,u}$.	387
9.20	Simplexgitterplan für $k = 3$ Mischungskomponenten mit allen nach unten beschränkten Mischungskomponenten $x_{1,u}, x_{2,u}, x_{3,u}$.	388
9.21	Simplexgitterplan für $k = 3$ Mischungskomponenten mit einer nach oben beschränkten Mischungskomponente $x_{3,o}$.	389
9.22	Simplexgitterplan für $k = 3$ Mischungskomponenten sowie allen nach oben beschränkten Mischungskomponenten $x_{1,o}, x_{2,o}, x_{3,o}$.	390
9.23	Simplexgitterplan für $k = 3$ Mischungskomponenten mit allen nach oben und unten beschränkten Mischungskomponenten $x_{1,u}, x_{1,o}, x_{2,u}, x_{2,o}, x_{3,u}, x_{3,o}$ und Versuchspunkten eines möglichen Versuchsplanes.	391

Tabellenverzeichnis

2.1	Wölbungstest zur sequentiellen Identifikation von Ausreißern einer normalverteilten Stichprobe.	14
2.2	Varianz-Zerlegungsfeld (ANOVA-Tabelle) für die multiple lineare Regression.	33
2.3	Hypothesen, Prüfgröße und Ablehnungsbereich für die Regressionskoeffizienten β_i einer normalverteilten Grundgesamtheit bei unbekannter Varianz.	34
2.4	Vollständiger Versuchsplan 1. Grades für drei Faktoren auf zwei Faktorstufen mit den resultierenden Zielgrößen ohne Berücksichtigung von Wechselwirkungen.	38
2.5	Zielwerte y_i , Schätzwerte \hat{y}_i , Residuen $y_i - \hat{y}_i$, quadrierte Differenzsummen $SSR = \sum(\hat{y}_i - \bar{y})^2$, $SSE = \sum(y_i - \hat{y}_i)^2$ und $SST = \sum(y_i - \bar{y})^2$ für die lineare Regressionsanalyse ohne Berücksichtigung wechselwirkender Terme.	42
2.6	Varianz-Zerlegungsfeld (ANOVA-Tabelle) für die multiple lineare Regression 1. Grades ohne Berücksichtigung von Wechselwirkungen zum Leckageverhalten von Ölrückhalteventilen mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit $\alpha = 0,01$	43
2.7	Vollständiger Versuchsplan 1. Grades für drei Faktoren auf zwei Stufen mit den resultierenden Zielgrößen und Berücksichtigung von Wechselwirkungen.	45
2.8	Zielwerte y_i , Schätzwerte \hat{y}_i , Residuen $y_i - \hat{y}_i$, quadrierte Differenzsummen $SSR = \sum(\hat{y}_i - \bar{y})^2$, $SSE = \sum(y_i - \hat{y}_i)^2$ und $SST = \sum(y_i - \bar{y})^2$ für die lineare Regressionsanalyse mit Berücksichtigung wechselwirkender Terme.	47
2.9	Varianz-Zerlegungsfeld (ANOVA-Tabelle) für die multiple lineare Regression 1. Grades ohne Berücksichtigung von Wechselwirkungen zum Leckageverhalten von Ölrückhalteventilen.	48

2.10	$n \times a$ -Ergebnismatrix mit $i = 1, \dots, a$ Faktorstufen und n_i Beobachtungen für die einfache Varianzanalyse.	52
2.11	Varianz-Zerlegungsfeld (ANOVA-Tabelle) für die einfaktorielle Varianzanalyse, $n_i = n$	61
2.12	Varianz-Zerlegungsfeld (ANOVA-Tabelle) für die einfaktorielle Varianzanalyse, $n_i \neq n$	61
2.13	Anordnung einer $a \times b$ -Ergebnismatrix mit $i = 1, \dots, a$, $j = 1, \dots, b$ Faktorstufen zweier Faktoren A, B für die zweifache Varianzanalyse, $n = 1$, ohne WW.	62
2.14	Varianz-Zerlegungsfeld (ANOVA-Tabelle) für die zweifaktorielle Varianzanalyse, $n = 1$, ohne WW.	64
2.15	Ergebnismatrix eines ausgewogenen unvollständigen Blockplanes mit der Anzahl der Wiederholungen der Faktorstufen eines Faktors A im Gesamtversuch $l = 1, \dots, \nu = 5$, der Anzahl der Blöcke k mit $j = 1, \dots, k = 15$, der Anzahl der Versuchseinheiten pro Block $r = 2$, der Anzahl der Faktorstufen eines Faktors A mit $i = 1, \dots, p = 6$, den Summen der Blöcke B_j , den Summen der Wiederholungen W_l für die zweifache Varianzanalyse, $n = 1$, ohne WW.	65
2.16	Varianz-Zerlegungsfeld (ANOVA-Tabelle) für die zweifaktorielle Varianzanalyse eines ausgewogenen, unvollständigen Blockplanes, $n = 1$, ohne WW.	68
2.17	$a \times b$ -Ergebnismatrix mit $i = 1, \dots, a$, $j = 1, \dots, b$ Faktorstufen zweier Faktoren A, B und $k = 1, \dots, n$ Beobachtungen für die zweifache Varianzanalyse, $n > 1$, ohne WW.	69
2.18	Varianz-Zerlegungsfeld (ANOVA-Tabelle) für die zweifaktorielle Varianzanalyse, $n > 1$, ohne WW.	71
2.19	Varianz-Zerlegungsfeld (ANOVA-Tabelle) für die zweifaktorielle Varianzanalyse, $n > 1$, mit WW.	74
2.20	Anordnung einer hierarchischen $a \times b$ -Ergebnismatrix mit $i = 1, \dots, a$, $j = 1, \dots, b$ Faktorstufen zweier Faktoren A, B für die zweifache Varianzanalyse, mit $n \geq 2$, ohne WW, vollst. besetzt.	75
2.21	Varianz-Zerlegungsfeld (ANOVA-Tabelle) für die zweifaktorielle Varianzanalyse, $n \geq 2$, ohne WW, hierarchisch, vollst. besetzt.	77
2.22	Anordnung einer hierarchischen $a \times b$ -Ergebnismatrix mit $i = 1, \dots, a$, $j = 1, \dots, b$ Faktorstufen zweier Faktoren A, B für die zweifache Varianzanalyse, mit $n_{ij} \geq 2$, ohne WW, unvollst. besetzt.	78

2.23	Varianz-Zerlegungsfeld (ANOVA-Tabelle) für die zweifaktorielle Varianzanalyse, $n \geq 2$, ohne WW, hierachisch, unvollst. besetzt.	80
2.24	Anordnung einer $a \times b \times c$ -Ergebnismatrix mit $i = 1, \dots, 7, j = 1, \dots, 7, k = 1, \dots, 7$ Faktorstufen dreier Faktoren A, B, C und $n = 1$ Beobachtungen.	81
2.25	Varianz-Zerlegungsfeld (ANOVA-Tabelle) für die modifizierte dreifache Varianzanalyse mit den Faktoren A, B, C , den Faktorstufen $a = b = c = m$ und jeweils einer Beobachtung $n = 1$ für jede Faktorstufenkombination ($N = abc$) ohne Berücksichtigung von Wechselwirkungen.	83
2.26	Anordnung einer $i \times j \times k$ -Ergebnismatrix dreier Faktoren A, B, C mit den Faktorstufen a_i, b_j, c_k und $i = 1, \dots, a, j = 1, \dots, b, k = 1, \dots, c$ sowie jeweils einer Beobachtung $n = 1$ für jede Faktorstufenkombination.	85
2.27	Varianz-Zerlegungsfeld (ANOVA-Tabelle) für die dreifache Varianzanalyse dreier Faktoren A, B, C mit den Faktorstufen a_i, b_j, c_k und $i = 1, \dots, a, j = 1, \dots, b, k = 1, \dots, c$ sowie jeweils einer Beobachtung $n = 1$ für jede Faktorstufenkombination ohne Berücksichtigung einer Wechselwirkungen $A \times B \times C$.	87
2.28	$a \times b \times c$ -Ergebnismatrix mit $i = 1, \dots, 7, j = 1, \dots, 7, k = 1, \dots, 7$ Faktorstufen dreier Faktoren A, B, C und $n = 2$ Beobachtungen in jeder Matrixzelle.	89
2.29	Varianz-Zerlegungsfeld (ANOVA-Tabelle) für eine dreifache Varianzanalyse mit den Faktoren A, B, C , den Faktorstufen $a = b = c = m$ und $n > 1$ Beobachtungen für jede Faktorstufenkombination ($N = abcn$) mit Berücksichtigung von Wechselwirkungen.	92
2.30	Anordnung einer $a \times b \times c$ -Ergebnismatrix dreier zweistufiger Faktoren A, B, C mit den jeweiligen Faktorstufen $[+; -]$ und $n > 1$ Beobachtungen.	94
2.31	Varianz-Zerlegungsfeld (ANOVA-Tabelle) für die modifizierte dreifache Varianzanalyse mit den Faktoren A, B, C , den Faktorstufen $p = q = r = 2, n > 1$ Beobachtungen für jede Faktorstufenkombination mit Berücksichtigung von Wechselwirkungen.	97
2.32	Anordnung einer $a \times b \times c$ -Ergebnismatrix dreier mehrstufiger Faktoren A, B, C mit den Faktorstufen a_i, b_j, c_k und $i = 1, \dots, a, j = 1, \dots, b, k = 1, \dots, c$ bei Berücksichtigung einer Wechselwirkung $A \times B \times C$ sowie jeweils $n > 1$ Beobachtungen.	99

2.33	Varianz-Zerlegungsfeld (ANOVA-Tabelle) für eine dreifache Varianzanalyse der Faktoren A, B, C mit den Faktorstufen a_i, b_j, c_k und $i = 1, \dots, a, j = 1, \dots, b, k = 1, \dots, c$ bei Berücksichtigung einer Wechselwirkung $A \times B \times C$ sowie jeweils $n > 1$ Beobachtungen.	102
2.34	Anordnung einer $a \times b \times c$ -Ergebnismatrix dreier Faktoren A, B, C mit den Faktorstufen $a_1, a_2, b_1, b_2, c_1, c_2, n > 1$ Beobachtungen, den möglichen zusätzlichen Faktoren D, E, \dots, H auf den Faktorstufen d_s, e_s, \dots, l_s	104
2.35	Varianz-Zerlegungsfeld (ANOVA-Tabelle) für eine dreifache Varianzanalyse mit den Faktoren A, B, C , den Faktorstufen $a = b = c = m, n > 1$ Beobachtungen für jede Faktorstufenkombination mit Berücksichtigung von Vermengungseffekten ("alias").	107
2.36	Anordnung einer hierarchischen $a \times b \times c$ -Ergebnismatrix mit $i = 1, \dots, a, j = 1, \dots, b, k = 1, \dots, c$ Faktorstufen dreier Faktoren A, B, C für eine dreifache Varianzanalyse mit $l, \dots, n, n \geq 2$, ohne WW, vollst. besetzt.	110
2.37	Varianz-Zerlegungsfeld (ANOVA-Tabelle) für eine dreifaktorielle Varianzanalyse, $n \geq 2$, ohne WW, hierarchisch, vollst. besetzt.	112
2.38	Anordnung einer hierarchischen $a \times b \times c$ -Ergebnismatrix mit $i = 1, \dots, a, j = 1, \dots, b, k = 1, \dots, c$ Faktorstufen dreier Faktoren A, B, C für eine dreifache Varianzanalyse mit $l, \dots, n, n \geq 2$, ohne WW, unvollst. besetzt.	114
2.39	Varianz-Zerlegungsfeld (ANOVA-Tabelle) für die dreifaktorielle Varianzanalyse, $n \geq 2$, ohne WW, hierarchisch, unvollst. besetzt.	116
3.1	Auflistung der für eine Fehlfunktion potentiellen Komponenten.	123
3.2	Ergebnisse der Identifikation streuungsrelevanter Faktoren eines pneumatischen Zylinders mittels des Komponentenvergleichs für Produkte.	125
3.3	Ergebnisse eines paarweisen Vergleichs von "n.i.O."- und "i.O."-Produkten.	126
3.4	Regressionsgleichungen zur Bestimmung des erforderlichen Versuchsumfangs $n = n_1 = n_2$ für einen nachzuweisenden Effekt $\Delta\mu = \mu_1 - \mu_2$ in Abhängigkeit verschiedener Irrtumswahrscheinlichkeiten β und $\alpha = 0, 10$ bei einseitiger Fragestellung und unbekannter, als gleich angenommener Standardabweichung σ in Einheiten von s	139

3.5	Regressionsgleichungen zur Bestimmung des erforderlichen Versuchsumfangs $n = n_1 = n_2$ für einen nachzuweisenden Effekt $\Delta\mu = \mu_1 - \mu_2$ in Abhängigkeit verschiedener Irrtumswahrscheinlichkeiten β und $\alpha = 0,05$ bei einseitiger Fragestellung und unbekannter, als gleich angenommener Standardabweichung σ in Einheiten von s	140
3.6	Regressionsgleichungen zur Bestimmung des erforderlichen Versuchsumfangs $n = n_1 = n_2$ für einen nachzuweisenden Effekt $\Delta\mu = \mu_1 - \mu_2$ in Abhängigkeit verschiedener Irrtumswahrscheinlichkeiten β und $\alpha = 0,01$ bei einseitiger Fragestellung und unbekannter, als gleich angenommener Standardabweichung σ in Einheiten von s	141
3.7	Regressionsgleichungen zur Bestimmung des erforderlichen Versuchsumfangs $n = n_1 = n_2$ für einen nachzuweisenden Effekt $(\sigma_1/\sigma_2)^2$ in Abhängigkeit verschiedener Irrtumswahrscheinlichkeiten β und $\alpha = 0,10$ bei einseitiger Fragestellung und unbekanntem Mittelwert μ	144
3.8	Regressionsgleichungen zur Bestimmung des erforderlichen Versuchsumfangs $n = n_1 = n_2$ für einen nachzuweisenden Effekt $(\sigma_1/\sigma_2)^2$ in Abhängigkeit verschiedener Irrtumswahrscheinlichkeiten β und $\alpha = 0,05$ bei einseitiger Fragestellung und unbekanntem Mittelwert μ	145
3.9	Regressionsgleichungen zur Bestimmung des erforderlichen Versuchsumfangs $n = n_1 = n_2$ für einen nachzuweisenden Effekt $(\sigma_1/\sigma_2)^2$ in Abhängigkeit verschiedener Irrtumswahrscheinlichkeiten β und $\alpha = 0,01$ bei einseitiger Fragestellung und unbekanntem Mittelwert μ	146
4.1	Leckagewerte von Ölrückhalteventilen in Abhängigkeit von der Montageart $A - E$	151
4.2	Varianzanalytische Zwischenschritte für die einfaktorielle Varianzanalyse von Leckagewerten von Ölrückhalteventilen mit unterschiedlicher Montageart, $n_i = n$	152
4.3	Varianz-Zerlegungsfeld (ANOVA-Tabelle) für die einfaktorielle Varianzanalyse von Leckagewerten an Ölrückhalteventilen mit unterschiedlicher Montageart, $n_i = n$	153
4.4	Leckagewerte von Ölrückhalteventilen in Abhängigkeit von der Montageart $A - E$	154

4.5	Varianzanalytische Zwischenschritte für die einfaktorielle Varianzanalyse von Leckagewerten von Ölrückhalteventilen mit unterschiedlicher Montageart, $n_i \neq n$	155
4.6	Varianz-Zerlegungsfeld (ANOVA-Tabelle) für die einfaktorielle Varianzanalyse von Leckagewerten an Ölrückhalteventilen mit unterschiedlicher Montageart, $n_i \neq n$	156
4.7	Effizienzwerte verschiedener Konstruktions-Software in Abhängigkeit von Bedienern mit unterschiedlicher Berufserfahrung.	159
4.8	Varianzanalytische Zwischenschritte für die zweifaktorielle Varianzanalyse von Effizienzwerten verschiedener Konstruktions-Software ($m = 4$) in Abhängigkeit von $n = 9$ Bedienern mit unterschiedlicher Berufserfahrung.	160
4.9	Varianz-Zerlegungsfeld (ANOVA-Tabelle) für die zweifaktorielle Varianzanalyse von Effizienzwerten verschiedener Konstruktions-Software ($m = 4$) in Abhängigkeit von $n = 9$ Bedienern unterschiedlicher Berufserfahrung.	161
4.10	Reifenprofilverluste (in mm) verschiedener Reifenmischungen (a_1, \dots, a_4) und unterschiedlichen Streckenprofilen (b_1, \dots, b_4) mit jeweils $n = 3$ Versuchswiederholungen.	163
4.11	Varianzanalytische Zwischenschritte für die zweifaktorielle Varianzanalyse von Reifenprofilverlusten verschiedener Reifenmischungen (a_1, \dots, a_4) und unterschiedlichen Streckenprofilen (b_1, \dots, b_4) für jeweils $n = 3$ Versuchswiederholungen.	164
4.12	Varianz-Zerlegungsfeld (ANOVA-Tabelle) für die zweifaktorielle Varianzanalyse von Reifenprofilverlusten verschiedener Reifenmischungen ($i = 1, \dots, 4$) und unterschiedlichen Streckenprofilen $j = 1, \dots, 4$ für $n = 3$ Versuchswiederholungen, ohne Wechselwirkung.	165
4.13	Reifenprofilverluste (in mm) verschiedener Reifenmischungen (a_1, \dots, a_4) und unterschiedlichen Streckenprofilen ($b_1 = 1, \dots, b_4$) mit jeweils $n = 3$ Versuchswiederholungen.	167
4.14	Varianzanalytische Zwischenschritte für die zweifaktorielle Varianzanalyse von Reifenprofilverlusten verschiedener Reifenmischungen (a_1, \dots, a_4) und unterschiedlichen Streckenprofilen (b_1, \dots, b_4) für jeweils $n = 3$ Versuchswiederholungen.	168

4.15	Varianz-Zerlegungsfeld (ANOVA-Tabelle) für die zweifaktorielle Varianzanalyse von Reifenprofilverlusten verschiedener Reifenmischungen ($i = 1, \dots, 4$) und unterschiedlichen Streckenprofilen ($j = 1, \dots, 4$) für $n = 3$ Versuchswiederholungen, ohne Wechselwirkung.	170
4.16	3×3 -, 4×4 -, 5×5 - und 6×6 -Strukturpläne zur Anordnung von Faktorstufen u, v, \dots, z eines Faktors F für ein lateinisches Quadrat.	171
4.17	Lateinische Quadrate: Randomisierte 3×3 -, 4×4 -, 5×5 - und 6×6 -Strukturpläne zur Anordnung von Faktorstufen u, v, \dots, z eines Faktors F für ein lateinisches Quadrat.	172
4.18	Betriebsfestigkeiten verschiedener Hydraulikmeißel als Funktion der Bedienqualifikation q_i und der Beschaffenheit des Abbaumaterials b_i	175
4.19	Varianzanalytische Zwischenschritte für eine dreifaktorielle Varianzanalyse von Betriebsfestigkeiten verschiedener Hydraulikmeißel als Funktion der Bedienqualifikation q_i und der Beschaffenheit des Abbaumaterials b_i	176
4.20	Varianz-Zerlegungsfeld (ANOVA-Tabelle) für die dreifaktorielle Varianzanalyse von Betriebsfestigkeiten verschiedener Hydraulikmeißel als Funktion der Bedienqualifikation q_i und der Beschaffenheit des Abbaumaterials b_i	177
4.21	Betriebsfestigkeiten verschiedener Hydraulikmeißel als Funktion der Bedienqualifikation q_i und der Beschaffenheit des Abbaumaterials b_i	179
4.22	Varianzanalytische Zwischenschritte für die dreifaktorielle Varianzanalyse von Betriebsfestigkeiten verschiedener Hydraulikmeißel als Funktion der Bedienqualifikation q_i und der Beschaffenheit des Abbaumaterials b_i mit $n = 2$ Versuchswiederholungen.	180
4.23	Varianz-Zerlegungsfeld (ANOVA-Tabelle) für die dreifaktorielle Varianzanalyse von Betriebsfestigkeiten verschiedener Hydraulikmeißel m_i als Funktion der Bedienqualifikation q_i und der Beschaffenheit des Abbaumaterials b_i mit $n = 2$ Versuchswiederholungen.	182
4.24	Entwicklung zweier randomisierter Strukturpläne für ein griechisch-lateinisches Quadrat mit $m = 4$ Faktorstufen.	184
4.25	Entwicklung dreier randomisierter Strukturpläne für ein hypergriechisch-lateinisches Quadrat mit $m = 4$ Faktorstufen.	185

4.26	Ausgewählte Strukturpläne für ausgewogene unvollständige Blockpläne.	188
4.27	Randomisierter Strukturplan eines ausgewogenen unvollständigen Blockplanes mit $p = 6, r = 2, \nu = 5, k = 15, \lambda = 1$, Versuchsergebnissen y_{ijl} , Blocksummen B_j und Summen der Wiederholungen W_l	190
4.28	Varianz-Zerlegungsfeld (ANOVA-Tabelle) für die modifizierte zweifaktorielle Varianzanalyse von Fehlfunktionen verschiedener technischer Produkte auf Basis eines ausgewogenen unvollständigen Blockplanes mit $p = 6, r = 2, \nu = 5, k = 15, \lambda = 1$	193
5.1	Vollständiger 2^2 -Faktoren-Versuchsplan zweier Faktoren A, B mit den kodierten Faktorstufenkombinationen “-” und “+”.	195
5.2	Versuchsergebnisse eines vollständigen 2^2 -Faktoren-Versuchsplanes mit den Versuchswiederholungen y_i , den Mittelwerten \bar{y}_i und den Varianzen s_i^2	200
5.3	Vollständige 2^k -Versuchspläne ohne Wechselwirkungen mit $k = 2, \dots, 5$	206
5.4	Vollständige 2^k -Versuchspläne mit Wechselwirkungen mit $k = 2, k = 3$	207
5.5	Versuchsergebnisse eines vollständigen 2^3 -Faktoren-Versuchsplanes mit $n = 2$ Versuchswiederholungen y_i , den Mittelwerten \bar{y}_i und den Varianzen s_i^2	209
5.6	Mittelwerte \bar{y}_i der Faktorstufenkombinationen der signifikant wechselwirkenden Faktoren $A \times B$ für $\alpha = 0,01$	213
5.7	Zwischengrößen für die Ermittlung des Bestimmtheitsmaßes.	215
5.8	Berechnete 2^{4-1} Effekte eines vollständigen 2^4 -Faktoren-Versuchsplans.	216
5.9	Wölbungstest zur Identifikation von Ausreißern für die Bestimmung von Effektsignifikanzen mit $n = 1$	218
5.10	Versuchsergebnisse eines vollständigen 2^3 -Faktoren-Versuchsplanes mit $n = 4$ Versuchswiederholungen y_i	222
5.11	Varianz-Zerlegungsfeld (ANOVA-Tabelle) für die dreifache Varianzanalyse eines vollständigen 2^3 -Versuchsplanes, $n = 4$	227
5.12	Vollständiger 2^3 -Versuchsplan mit den Faktoren A, B, C und Wechselwirkungen.	231
5.13	Resultierender 2^{4-1} -Versuchsplan mit der Zuordnung $ABC \rightarrow D$	232
5.14	Vollständiger faktorieller 2^4 -Versuchsplan ohne Wechselwirkungen.	233

5.15	Vollständiger faktorieller 2^4 -Versuchsplan mit Wechselwirkungen.	233
5.16	Teilfaktorieller 2^4 -Versuchsplan mit Vermengungen.	234
5.17	Teilfaktorieller 2^4 -Versuchsplan mit Vermengungen und Versuchsergebnissen.	235
5.18	Varianz-Zerlegungsfeld (ANOVA-Tabelle) für die dreifache Varianzanalyse eines vollständigen 2^{4-1} -Versuchsplanes mit vermengten Effekten, $n = 2$, $D = ABC$	238
5.19	Identifikation vermengter Effekte für einen 2^{5-2} -Versuchsplan mit den Faktoren A, B, C und den Zuordnungen $D = ABC$, $E = AB$	240
5.20	Identifikation vermengter Effekte für einen 2^{6-3} -Versuchsplan mit den Faktoren A, B, C, D, E, F und den Zuordnungen $D = ABC$, $E = AB$, $F = AC$	241
5.21	Geeignete Zuordnungen für eine maximale Auflösung A teilfaktorieller 2_A^{k-p} -Versuchspläne für die Faktoren $A, B, C, D, E, F, G, H, J$	243
5.22	Vermengungsgrad teilfaktorieller 2_A^{k-p} -Versuchspläne in Abhängigkeit von der Anzahl der erforderlichen Versuche (den Faktorstufenkombinationen m) N , der Anzahl der Faktoren k und der Anzahl der Zuordnungen p für $n = 1$	244
5.23	Vollständiger 2^3 -Versuchsplan mit den Faktoren A, B, C und Wechselwirkungen.	245
5.24	Teilfaktorieller 2^{3-1} -Versuchsplan mit den Faktoren A, B, C und Wechselwirkungen.	246
5.25	Initialzeilen für Plackett-Burman-Versuchspläne mit $k = 8, 12, 16, 20, 24$ Faktoren.	249
5.26	Plackett-Burman-Versuchsplan für $k = 7$ Faktoren A, B, \dots, G .	250
5.27	Plackett-Burman-Versuchsplan für $k = 11$ Faktoren A, \dots, K . .	251
5.28	Haupteffekt-Versuchsplan für $k = 5$ Faktoren und $m = 8$ Faktorstufenkombinationen.	252
5.29	Varianz-Zerlegungsfeld (ANOVA-Tabelle) für die Varianzanalyse eines Haupteffekt-Versuchsplanes mit $k = 5$ und $m = 8$	253
5.30	Anzahl der resultierenden Versuche und Regressionskoeffizienten eines vollfaktoriellen 3^2 -Versuchsplanes.	257
5.31	Faktorieller 2^3 -Versuchsplan mit Wechselwirkungen.	258
5.32	Faktorieller 2^4 -Versuchsplan mit Wechselwirkungen.	259
5.33	Box-Behnken-Versuchsplan für $k = 3$ Faktoren.	260

6.1	Betriebsfestigkeiten von Druckluftzylindern in Stunden in Abhängigkeit von verschiedenen Temperaturen (a_1, \dots, a_4) und unterschiedlichen Schmierfettvarianten (b_1, \dots, b_5) , $n = 1$	263
6.2	Varianzanalytische Zwischenschritte für die zweifaktorielle Varianzanalyse der Betriebsfestigkeiten von Druckluftzylindern in Stunden in Abhängigkeit von verschiedenen Temperaturen und unterschiedlichen Schmierfettvarianten.	264
6.3	Varianz-Zerlegungsfeld (ANOVA-Tabelle) für die zweifaktorielle Varianzanalyse von Betriebsfestigkeiten von Druckluftzylindern in Stunden in Abhängigkeit von verschiedenen Temperaturen und unterschiedlichen Schmierfettvarianten.	265
6.4	Betriebsfestigkeiten von Druckluftzylindern in Stunden in Abhängigkeit von verschiedenen Temperaturen (a_1, \dots, a_4) und den jeweils zugeordneten unterschiedlichen Schmierfettvarianten (b_{11}, \dots, b_{64}) , $n = 3$	267
6.5	Varianzanalytische Zwischenschritte für die zweifaktorielle Varianzanalyse der Betriebsfestigkeiten von Druckluftzylindern in Stunden in Abhängigkeit von verschiedenen Temperaturen (a_1, \dots, a_4) und den jeweils zugeordneten unterschiedlichen Schmierfettvarianten (b_{11}, \dots, b_{64}) , $n = 5$	268
6.6	Varianz-Zerlegungsfeld (ANOVA-Tabelle) für die zweifaktorielle Varianzanalyse der Betriebsfestigkeiten von Druckluftzylindern in Stunden in Abhängigkeit von verschiedenen Temperaturen (a_1, \dots, a_4) und den jeweils zugeordneten unterschiedlichen Schmierfettvarianten (b_{11}, \dots, b_{64}) , $n = 5$	270
6.7	Betriebsfestigkeiten von Druckluftzylindern in Stunden in Abhängigkeit von verschiedenen Temperaturen (a_1, \dots, a_4) und den jeweils zugeordneten unterschiedlichen Schmierfettvarianten (b_{11}, \dots, b_{64}) , $n_{ij} \geq 2$	272
6.8	Varianzanalytische Zwischenschritte für die zweifaktorielle Varianzanalyse der Betriebsfestigkeiten von Druckluftzylindern in Stunden in Abhängigkeit von verschiedenen Temperaturen (a_1, \dots, a_4) und den jeweils zugeordneten unterschiedlichen Schmierfettvarianten (b_{11}, \dots, b_{64}) , $n \geq 2$	272

- 6.9 Varianz-Zerlegungsfeld (ANOVA-Tabelle) für die zweifaktorielle Varianzanalyse der Betriebsfestigkeiten von Druckluftzylindern in Stunden in Abhängigkeit von verschiedenen Temperaturen (a_1, \dots, a_4) und den jeweils zugeordneten unterschiedlichen Schmierfettvarianten (b_{11}, \dots, b_{64}), $n \geq 2$ 274
- 6.10 Betriebsfestigkeiten von Druckluftzylindern in Stunden in Abhängigkeit von verschiedenen Temperaturen (a_1, \dots, a_4) und unterschiedlichen Schmierfettvarianten (b_1, \dots, b_5), $n = 3$ 275
- 6.11 Varianzanalytische Zwischenschritte für die zweifaktorielle Varianzanalyse der Betriebsfestigkeiten von Druckluftzylindern in Stunden für verschiedene Temperaturen (a_1, \dots, a_4) und Schmierfettvarianten (b_1, \dots, b_5), $n = 3$ 277
- 6.12 Varianz-Zerlegungsfeld (ANOVA-Tabelle) für die zweifaktorielle Varianzanalyse der Betriebsfestigkeiten von Druckluftzylindern in Stunden für verschiedene Temperaturen (a_1, \dots, a_4) und Schmierfettvarianten (b_1, \dots, b_5), $n = 3$ 278
- 6.13 Betriebsfestigkeiten von Druckluftzylindern in Stunden in Abhängigkeit von verschiedenen Temperaturen (a_1, \dots, a_3), Schmierfettvarianten (b_1, \dots, b_4) und Betriebsdrücken (c_1, \dots, c_6), $n = 1$. 281
- 6.14 Varianzanalytische Zwischenschritte (a) für die dreifaktorielle Varianzanalyse der Betriebsfestigkeiten von Druckluftzylindern in Stunden in Abhängigkeit von verschiedenen Temperaturen (a_1, \dots, a_3), Schmierfettvarianten (b_1, \dots, b_4) und Betriebsdrücken (c_1, \dots, c_6), $n = 1$ 282
- 6.15 Varianzanalytische Zwischenschritte (b) für die dreifaktorielle Varianzanalyse der Betriebsfestigkeiten von Druckluftzylindern in Stunden in Abhängigkeit von verschiedenen Temperaturen (a_1, \dots, a_3), Schmierfettvarianten (b_1, \dots, b_4) und Betriebsdrücken (c_1, \dots, c_6), $n = 1$ 283
- 6.16 Varianz-Zerlegungsfeld (ANOVA-Tabelle) für die dreifaktorielle Varianzanalyse von Betriebsfestigkeiten von Druckluftzylindern in Stunden in Abhängigkeit von verschiedenen Temperaturen, unterschiedlichen Schmierfettvarianten und unterschiedlichen Betriebsdrücken. 284
- 6.17 Betriebsfestigkeiten von Druckluftzylindern in Stunden in Abhängigkeit von verschiedenen Temperaturen (a_1, \dots, a_3), Schmierfettvarianten (b_1, \dots, b_4) und Betriebsdrücken (c_1, \dots, c_6), $n = 3$. 287

-
- 6.18 Varianzanalytische Zwischenschritte für die dreifaktorielle Varianzanalyse der Betriebsfestigkeiten von Druckluftzylindern in Stunden in Abhängigkeit von verschiedenen Temperaturen (a_1, \dots, a_3), Schmierfettvarianten (b_1, \dots, b_4) und Betriebsdrücken (c_1, \dots, c_6), $n = 3$ 288
- 6.19 Varianz-Zerlegungsfeld (ANOVA-Tabelle) für die dreifaktorielle Varianzanalyse der Betriebsfestigkeiten von Druckluftzylindern in Stunden in Abhängigkeit von verschiedenen Temperaturen (Faktor A), Schmierfettvarianten (Faktor B) und Betriebsdrücken (Faktor C), $n = 3$ 290
- 6.20 Betriebsfestigkeiten von Druckluftzylindern in Stunden in hierarchischer Abhängigkeit von verschiedenen Temperaturen (a_1, \dots, a_2), Schmierfettvarianten (b_{11}, \dots, b_{22}) und Betriebsdrücken (c_{111}, \dots, c_{223}), $n = 3$ 293
- 6.21 Varianzanalytische Zwischenschritte für die dreifaktorielle Varianzanalyse der Betriebsfestigkeiten von Druckluftzylindern in Stunden in hierarchischer Abhängigkeit von verschiedenen Temperaturen (a_1, \dots, a_2), Schmierfettvarianten (b_{11}, \dots, b_{22}) und Betriebsdrücken (c_{111}, \dots, c_{223}), $n = 3$ 294
- 6.22 Varianz-Zerlegungsfeld (ANOVA-Tabelle) für die dreifaktorielle Varianzanalyse der Betriebsfestigkeiten von Druckluftzylindern in Stunden in Abhängigkeit von verschiedenen Temperaturen (Faktor A), Schmierfettvarianten (Faktor B) und Betriebsdrücken (Faktor C), $n = 3$ 296
- 6.23 Betriebsfestigkeiten von Druckluftzylindern in Stunden in Abhängigkeit von verschiedenen Temperaturen (a_1, a_2), den jeweils zugeordneten unterschiedlichen Schmierfettvarianten (b_{11}, \dots, b_{22}) und den Schmierfettvarianten zugeordneten verschiedenen Betriebsdrücken (c_{111}, \dots, c_{223}) mit jeweils $n \geq 2$ Versuchen. 298
- 6.24 Varianzanalytische Zwischenschritte für die dreifache Varianzanalyse der Betriebsfestigkeiten von Druckluftzylindern in Stunden in Abhängigkeit von verschiedenen Temperaturen (a_1, a_2), den jeweils zugeordneten unterschiedlichen Schmierfettvarianten (b_{11}, \dots, b_{22}) und den Schmierfettvarianten zugeordneten verschiedenen Betriebsdrücken (c_{111}, \dots, c_{223}) mit jeweils $n \geq 2$ Versuchen. 299

6.25	Varianz-Zerlegungsfeld (ANOVA-Tabelle) für die dreifaktorielle Varianzanalyse der Betriebsfestigkeiten von Druckluftzylindern in Stunden in Abhängigkeit von verschiedenen Temperaturen (a_1, \dots, a_4), den jeweils zugeordneten unterschiedlichen Schmierfettvarianten (b_{11}, \dots, b_{64}), $n \geq 2$ und den Schmierfettvarianten zugeordneten verschiedenen Betriebsdrücken (c_{111}, \dots, c_{223}).	300
7.1	Versuchsplan nach Taguchi mit "inner array" (Steuerfaktoren) und "outer array" (Rauschfaktoren).	306
7.2	Vollständiger 2^3 -, teilfaktorieller 2^{7-4} - und vergleichbarer $L_8(2^7)$ -Versuchsplan nach Taguchi.	308
7.3	Standardisierte orthogonale Felder nach Taguchi in Abhängigkeit von der Anzahl der Faktorstufen, der Anzahl durchzuführender Versuche, der maximalen Anzahl vorhandener Faktoren sowie der maximalen Anzahl von Spalten für vorgegebene Faktorstufen.	310
7.4	Hochvermengte Taguchi-Felder und die als Basis für Modifikationen dienenden teil- und vollfaktoriellen Versuchspläne. . . .	311
7.5	Wechselwirkungstabelle für das standardisierte orthogonale Taguchi-Feld $L_8(2^7)$	313
7.6	Steuerfaktoren für den Montageprozeß "Verschraubung von Fahrzeug-Dachteilen" mit den jeweiligen Faktorstufen (*=status quo).	316
7.7	Rauschfaktoren für den Montageprozeß "Verschraubung von Fahrzeug-Dachteilen" mit den jeweiligen Faktorstufen.	317
7.8	Taguchi-Versuchsplan und Versuchsergebnisse mit den zugehörigen Mittelwerten \bar{y}_i , der zugehörigen Standardabweichung s_i und dem Signal-Rauschverhältnis $(S/N)_i$	318
7.9	Streuungsreduzierende Faktorstufeneinstellungen der signifikanten Steuerfaktoren für den Montageprozeß "Verschraubung von Fahrzeug-Dachteilen".	320
7.10	Steuerfaktoren (Kolbendurchmesser) für Hydraulikzylinder eines Fahrzeug-Dachsystems mit den jeweiligen Faktorstufen.	322
7.11	Rauschfaktoren (Betriebsbedingungen) für Hydraulikzylinder eines Fahrzeug-Dachsystems mit den jeweiligen Faktorstufen. . . .	322
7.12	Taguchi-Versuchsplan und Versuchsergebnisse mit den zugehörigen Mittelwerten \bar{y}_i , der zugehörigen Standardabweichung s_i und dem Signal-Rauschverhältnis S/N	324

7.13	Streuungsreduzierende Faktorstufeneinstellungen der signifikanten Steuerfaktoren für Hydraulikzylinder eines Fahrzeug-Dachsystems.	326
8.1	Prozentuale Aussagesicherheiten ($1 - \alpha$) von vorliegenden, sich nicht überlappenden Anordnungen zweier Grundgesamtheiten A und B für die Stichprobenumfänge $n_A = 1, \dots, 20$ und $n_B = 1, \dots, 10$	329
8.2	Mindest erforderliche Stichprobenumfänge n_A und n_B für eine sich nicht überlappende Anordnung zweier Grundgesamtheiten A und B für ausgewählte Aussagesicherheiten.	330
8.3	Prozentuale Aussagesicherheiten ($1 - \alpha$) und ausgewählte, mindest erforderliche Stichprobenumfänge n_A, n_B zweier Grundgesamtheiten A, B einer sich nicht überlappenden Anordnung. . .	331
8.4	Anordnungsmöglichkeiten von zwei Produkt- bzw. Prozeßvarianten A und B mit jeweils drei Stichproben hinsichtlich ihrer Eignung "n.i.O." und "i.O.".	332
8.5	Anordnungsmöglichkeiten von zwei Produkt- bzw. Prozeßvarianten A und B mit $n_A = 2, n_B = 3$ Stichproben hinsichtlich ihrer Eignung "n.i.O." und "i.O.".	333
8.6	Entscheidungen des Hypothesentests basierend auf der Stichprobe eines eingesetzten Testverfahrens.	335
8.7	Nachzuweisende Mittelwertdifferenzen ($ \mu_A - \mu_B $) in Einheiten der Standardabweichung s bei zweiseitiger Fragestellung und unbekannter Varianz $\sigma^2 = \sigma_1^2 = \sigma_2^2$ für unterschiedliche α - und β -Werte und ausgewählte Stichprobenumfänge n_A, n_B	338
8.8	Stichprobenvergleich von $n_G = 5$ mangelfreien (G) und $n_S = 4$ mangelbehafteten (S) hydraulischen Rückhalteventilen hinsichtlich der Druckfederrate f (N/mm), des Shore-Härtegrades $ShoreD$ des Dichtringes, des Lieferanten des Dichtringes L_{DR} (A oder B), des Lieferanten der Druckfeder L_{DF} (C oder D), der Oberflächenrauigkeit des Dichtringes μ_{DR} (μm), der Oberflächenrauigkeit der Dichtfläche des Ventilgehäuses μ_{VG} (μm), der Leckage $V_{20^\circ C}$ ($ml/24h$) und der Leckage $V_{80^\circ C}$ ($ml/24h$). . .	342

8.9	Auswertung eines Stichprobenvergleiches von $n_G = 5$ mangel- freien (G) und $n_S = 4$ mangelbehafteten (S) hydraulischen Rück- halteventilen hinsichtlich der Druckfederrate f (N/mm), des Shore-Härtegrades <i>ShoreD</i> des Dichtringes, des Lieferanten des Dichtringes L_{DR} (A oder B), des Lieferanten der Druckfeder L_{DF} (C oder D), der Oberflächenrauigkeit des Dichtringes μ_{DR} (μm), der Oberflächenrauigkeit der Dichtfläche des Ventilgehäuses μ_{VG} (μm), der Leckage $V_{20^\circ C}$ ($ml/24h$) und der Leckage $V_{80^\circ C}$ ($ml/24h$).	343
9.1	Teilungspunkte einer Simplexkante in Abhängigkeit vom Grad des Regressionspolynoms.	355
9.2	Faktorstufenkombinationen in Abhängigkeit vom Polynomgrad g und Anzahl der Komponenten k	356
9.3	Faktorstufenkombinationen eines Simplexgitterplanes mit $k = 3$, $g = 1$	357
9.4	Faktorstufenkombinationen eines Simplexgitterplanes mit $k = 3$ und $g = 2$	358
9.5	Faktorstufenkombinationen eines Simplexgitterplanes mit $k = 3$ und $g = 3$ (<i>tb</i>).	360
9.6	Faktorstufenkombinationen eines Simplexgitterplanes mit $k = 3$ und $g = 3$	361
9.7	Faktorstufenkombinationen eines Simplexgitterplanes mit $k = 3$ und $g = 4$ (<i>tb</i>).	362
9.8	Faktorstufenkombinationen eines Simplexgitterplanes mit $k = 3$ und $g = 4$	363
9.9	Versuchsergebnisse eines Simplex-Standard-Plans für $k = 3$ Mi- schungskomponenten x_1, x_2, x_3 und $n_{ij} \geq 2$ Beobachtungen . . .	366
9.10	Grenzen der Vertrauensintervalle für die Zielwerte eines Regres- sionsmodells 2. Grades und den Komponentenanteilen eines Sim- plex-Standard-Plans für $k = 3$ Mischungskomponenten x_1, x_2, x_3 mit $n_{ij} \geq 2$ Beobachtungen und einer Irrtumswahrscheinlichkeit $\alpha = 0,10$	371
9.11	Varianz-Zerlegungsfeld (ANOVA-Tabelle) für die einfaktorielle Varianzanalyse von Versuchsergebnissen eines Simplex-Standard- Plans für $k = 3$ Mischungskomponenten x_1, x_2, x_3 , $n_i \neq n$	372

9.12	Anzahl und Position der Versuchspunkte eines Simplex-Mittelpunkt-Planes in Abhängigkeit von der Anzahl der Mischungskomponenten k	373
9.13	Anzahl m und Position der Versuchspunkte eines Simplex-Mittelpunkt-Planes in Abhängigkeit von der Anzahl der Mischungskomponenten k	374
9.14	Faktorstufenkombinationen eines Simplex-Mittelpunkt-Planes für $k = 3$ Mischungskomponenten.	375
9.15	Faktorstufenkombinationen eines Simplex-Mittelpunkt-Planes für $k = 4$ Mischungskomponenten.	376
9.16	Versuchsergebnisse eines Simplex-Mittelpunkt-Planes für $k = 3$ Mischungskomponenten x_1, x_2, x_3 und $n_{ij} \geq 2$ Beobachtungen .	376
9.17	Varianz-Zerlegungsfeld (ANOVA-Tabelle) für die einfaktorielle Varianzanalyse von Versuchsergebnissen eines Simplex-Mittelpunkt-Plans für $k = 3$ Mischungskomponenten $x_1, x_2, x_3, n_i \neq n$.	381
9.18	Faktorstufenkombinationen eines Standard-Simplex-Axial-Planes für $k = 3$ Mischungskomponenten.	385
9.19	Anzahl und Position der Versuchspunkte eines Simplex-Axial-Planes in Abhängigkeit von der Anzahl der Mischungskomponenten k	386
A.1	Kritische Werte $w_{n;\alpha=0,01}$ des Wölbungstests auf Ausreisser. . .	392
B.1	Quantile der F -Verteilung für $1 - \alpha = 0,90$ mit $f_1 = 1 - 13$, $f_2 = 2 - 1000$	393
B.2	Quantile der F -Verteilung für $1 - \alpha = 0,90$ mit $f_1 = 14 - 30$, $f_2 = 2 - 1000$	395
B.3	Quantile der F -Verteilung für $1 - \alpha = 0,95$ mit $f_1 = 1 - 13$, $f_2 = 2 - 1000$	396
B.4	Quantile der F -Verteilung für $1 - \alpha = 0,95$ mit $f_1 = 14 - 30$, $f_2 = 2 - 1000$	397
B.5	Quantile der F -Verteilung für $1 - \alpha = 0,975$ mit $f_1 = 1 - 13$, $f_2 = 2 - 1000$	398
B.6	Quantile der F -Verteilung für $1 - \alpha = 0,975$ mit $f_1 = 14 - 30$, $f_2 = 2 - 1000$	399
B.7	Quantile der F -Verteilung für $1 - \alpha = 0,99$ mit $f_1 = 1 - 13$, $f_2 = 2 - 1000$	400
B.8	Quantile der F -Verteilung für $1 - \alpha = 0,99$ mit $f_1 = 14 - 30$, $f_2 = 2 - 1000$	401

B.9	Quantile der F -Verteilung für $1 - \alpha = 0,995$ mit $f_1 = 1 - 13$, $f_2 = 3 - 1000$	402
B.10	Quantile der F -Verteilung für $1 - \alpha = 0,995$ mit $f_1 = 14 - 30$, $f_2 = 3 - 1000$	403
C.1	Quantile der t -Verteilung für das einseitige Intervall.	404
C.2	Quantile der t -Verteilung für das zweiseitige Intervall.	405
D.1	$p = 4, r = 2, \nu = 3, k = 6, \lambda = 1$	407
D.2	$p = 4, r = 3, \nu = 3, k = 4, \lambda = 2$	407
D.3	$p = 5, r = 2, \nu = 4, k = 10, \lambda = 1$	407
D.4	$p = 5, r = 3, \nu = 6, k = 10, \lambda = 3$	408
D.5	$p = 5, r = 4, \nu = 4, k = 5, \lambda = 3$	408
D.6	$p = 6, r = 2, \nu = 5, k = 15, \lambda = 1$	408
D.7	$p = 6, r = 3, \nu = 5, k = 10, \lambda = 2$	409
D.8	$p = 6, r = 3, \nu = 10, k = 20, \lambda = 4$	409
D.9	$p = 6, r = 4, \nu = 10, k = 15, \lambda = 6$	410
D.10	$p = 6, r = 5, \nu = 5, k = 6, \lambda = 4$	410
D.11	$p = 7, r = 2, \nu = 6, k = 21, \lambda = 1$	411
D.12	$p = 7, r = 3, \nu = 3, k = 7, \lambda = 1$	411
D.13	$p = 7, r = 4, \nu = 4, k = 7, \lambda = 2$	411
D.14	$p = 7, r = 6, \nu = 6, k = 7, \lambda = 5$	412
D.15	$p = 8, r = 2, \nu = 7, k = 28, \lambda = 1$	412
D.16	$p = 8, r = 4, \nu = 7, k = 14, \lambda = 3$	413
D.17	$p = 8, r = 7, \nu = 7, k = 8, \lambda = 6$	413
E.1	2^2 -Versuchsplan.	414
E.2	2^3 -Versuchsplan.	414
E.3	2^4 -Versuchsplan.	415
F.1	$L_4(2^3)$ -orthogonales Feld.	416
F.2	$L_8(2^7)$ -orthogonales Feld.	416
F.3	$L_9(3^4)$ -orthogonales Feld.	417
F.4	$L_{12}(2^{11})$ -orthogonales Feld.	417
F.5	$L_{16}(2^{15})$ -orthogonales Feld.	418
F.6	$L_{18}(2^1 \times 3^7)$ -orthogonales Feld.	419
F.7	$L_{27}(3^{13})$ -orthogonales Feld.	420

- G.1 Nachzuweisende Mittelwertdifferenzen ($|\mu_A - \mu_B|$) in Einheiten der Standardabweichung s bei zweiseitiger Fragestellung und unbekanntem Varianzen $\sigma^2 = \sigma_1^2 = \sigma_2^2$ für $\alpha = 0, 10$, unterschiedliche β -Werte und ausgewählte Stichprobenumfänge n_A, n_B 421
- G.2 Nachzuweisende Mittelwertdifferenzen ($|\mu_A - \mu_B|$) in Einheiten der Standardabweichung s bei zweiseitiger Fragestellung und unbekanntem Varianzen $\sigma^2 = \sigma_1^2 = \sigma_2^2$ für $\alpha = 0, 05$, unterschiedliche β -Werte und ausgewählte Stichprobenumfänge n_A, n_B 424
- G.3 Nachzuweisende Mittelwertdifferenzen ($|\mu_A - \mu_B|$) in Einheiten der Standardabweichung s bei zweiseitiger Fragestellung und unbekanntem Varianzen $\sigma^2 = \sigma_1^2 = \sigma_2^2$ für $\alpha = 0, 01$, unterschiedliche β -Werte und ausgewählte Stichprobenumfänge n_A, n_B 426
- G.4 Nachzuweisende Mittelwertdifferenzen ($|\mu_A - \mu_B|$) in Einheiten der Standardabweichung s bei zweiseitiger Fragestellung und unbekanntem Varianzen $\sigma^2 = \sigma_1^2 = \sigma_2^2$ für $\alpha = 0, 001$, unterschiedliche β -Werte und ausgewählte Stichprobenumfänge n_A, n_B 428
- G.5 Nachzuweisende Mittelwertdifferenzen ($|\mu_A - \mu_B|$) bei zweiseitiger Fragestellung und unbekanntem Varianzen $\sigma_1^2 \neq \sigma_2^2$ für $\alpha = 0, 10$, unterschiedliche β -Werte und ausgewählte Stichprobenumfänge n_A, n_B sowie den Standardabweichungen $s_1/s_2 = 0, 2$. 430
- G.6 Nachzuweisende Mittelwertdifferenzen ($|\mu_A - \mu_B|$) bei zweiseitiger Fragestellung und unbekanntem Varianzen $\sigma_1^2 \neq \sigma_2^2$ für $\alpha = 0, 05$, unterschiedliche β -Werte und ausgewählte Stichprobenumfänge n_A, n_B sowie den Standardabweichungen $s_1/s_2 = 0, 2$. 432
- G.7 Nachzuweisende Mittelwertdifferenzen ($|\mu_A - \mu_B|$) bei zweiseitiger Fragestellung und unbekanntem Varianzen $\sigma_1^2 \neq \sigma_2^2$ für $\alpha = 0, 01$, unterschiedliche β -Werte und ausgewählte Stichprobenumfänge n_A, n_B sowie den Standardabweichungen $s_1/s_2 = 0, 2$. 434
- G.8 Nachzuweisende Mittelwertdifferenzen ($|\mu_A - \mu_B|$) bei zweiseitiger Fragestellung und unbekanntem Varianzen $\sigma_1^2 \neq \sigma_2^2$ für $\alpha = 0, 001$, unterschiedliche β -Werte und ausgewählte Stichprobenumfänge n_A, n_B sowie den Standardabweichungen $s_1/s_2 = 0, 2$. 436
- G.9 Nachzuweisende Mittelwertdifferenzen ($|\mu_A - \mu_B|$) bei zweiseitiger Fragestellung und unbekanntem Varianzen $\sigma_1^2 \neq \sigma_2^2$ für $\alpha = 0, 10$, unterschiedliche β -Werte und ausgewählte Stichprobenumfänge n_A, n_B sowie den Standardabweichungen $s_1/s_2 = 0, 5$. 438

- G.10 Nachzuweisende Mittelwertdifferenzen ($|\mu_A - \mu_B|$) bei zweiseitiger Fragestellung und unbekanntem Varianzen $\sigma_1^2 \neq \sigma_2^2$ für $\alpha = 0,05$, unterschiedliche β -Werte und ausgewählte Stichprobenumfänge n_A, n_B sowie den Standardabweichungen $s_1/s_2 = 0,5$. 440
- G.11 Nachzuweisende Mittelwertdifferenzen ($|\mu_A - \mu_B|$) bei zweiseitiger Fragestellung und unbekanntem Varianzen $\sigma_1^2 \neq \sigma_2^2$ für $\alpha = 0,01$, unterschiedliche β -Werte und ausgewählte Stichprobenumfänge n_A, n_B sowie den Standardabweichungen $s_1/s_2 = 0,5$. 442
- G.12 Nachzuweisende Mittelwertdifferenzen ($|\mu_A - \mu_B|$) bei zweiseitiger Fragestellung und unbekanntem Varianzen $\sigma_1^2 \neq \sigma_2^2$ für $\alpha = 0,001$, unterschiedliche β -Werte und ausgewählte Stichprobenumfänge n_A, n_B sowie den Standardabweichungen $s_1/s_2 = 0,5$. 444
- G.13 Nachzuweisende Mittelwertdifferenzen ($|\mu_A - \mu_B|$) bei zweiseitiger Fragestellung und unbekanntem Varianzen $\sigma_1^2 \neq \sigma_2^2$ für $\alpha = 0,10$, unterschiedliche β -Werte und ausgewählte Stichprobenumfänge n_A, n_B sowie den Standardabweichungen $s_1/s_2 = 2$. 446
- G.14 Nachzuweisende Mittelwertdifferenzen ($|\mu_A - \mu_B|$) bei zweiseitiger Fragestellung und unbekanntem Varianzen $\sigma_1^2 \neq \sigma_2^2$ für $\alpha = 0,05$, unterschiedliche β -Werte und ausgewählte Stichprobenumfänge n_A, n_B sowie den Standardabweichungen $s_1/s_2 = 2$. 448
- G.15 Nachzuweisende Mittelwertdifferenzen ($|\mu_A - \mu_B|$) bei zweiseitiger Fragestellung und unbekanntem Varianzen $\sigma_1^2 \neq \sigma_2^2$ für $\alpha = 0,01$, unterschiedliche β -Werte und ausgewählte Stichprobenumfänge n_A, n_B sowie den Standardabweichungen $s_1/s_2 = 2$. 450
- G.16 Nachzuweisende Mittelwertdifferenzen ($|\mu_A - \mu_B|$) bei zweiseitiger Fragestellung und unbekanntem Varianzen $\sigma_1^2 \neq \sigma_2^2$ für $\alpha = 0,001$, unterschiedliche β -Werte und ausgewählte Stichprobenumfänge n_A, n_B sowie den Standardabweichungen $s_1/s_2 = 2$. 452
- G.17 Nachzuweisende Mittelwertdifferenzen ($|\mu_A - \mu_B|$) bei zweiseitiger Fragestellung und unbekanntem Varianzen $\sigma_1^2 \neq \sigma_2^2$ für $\alpha = 0,10$, unterschiedliche β -Werte und ausgewählte Stichprobenumfänge n_A, n_B sowie den Standardabweichungen $s_1/s_2 = 5$. 454
- G.18 Nachzuweisende Mittelwertdifferenzen ($|\mu_A - \mu_B|$) bei zweiseitiger Fragestellung und unbekanntem Varianzen $\sigma_1^2 \neq \sigma_2^2$ für $\alpha = 0,05$, unterschiedliche β -Werte und ausgewählte Stichprobenumfänge n_A, n_B sowie den Standardabweichungen $s_1/s_2 = 5$. 456

- G.19 Nachzuweisende Mittelwertdifferenzen ($|\mu_A - \mu_B|$) bei zweiseitiger Fragestellung und unbekanntem Varianzen $\sigma_1^2 \neq \sigma_2^2$ für $\alpha = 0,01$, unterschiedliche β -Werte und ausgewählte Stichprobenumfänge n_A, n_B sowie den Standardabweichungen $s_1/s_2 = 5$. 458
- G.20 Nachzuweisende Mittelwertdifferenzen ($|\mu_A - \mu_B|$) bei zweiseitiger Fragestellung und unbekanntem Varianzen $\sigma_1^2 \neq \sigma_2^2$ für $\alpha = 0,001$, unterschiedliche β -Werte und ausgewählte Stichprobenumfänge n_A, n_B sowie den Standardabweichungen $s_1/s_2 = 5$. 460

Beispielverzeichnis

2.1	Kodierung eines quantitativen Faktorstufenbereichs mittels dessen Zentrierung und Skalierung in das dimensionslose Intervall $[-1; +1]$.	8
2.2	Anwendung eines sequentiellen, wölbungsbasierten Ausreissertests bei Verdacht auf mehrere Ausreisser einer normalverteilten Stichprobe bei unbekannter Varianz σ .	13
2.3	Bestimmung des Faktoreffektes anhand zweier Faktoren auf jeweils zwei Faktorstufen.	16
2.4	Bestimmung des Wechselwirkungseffektes anhand zweier Faktoren auf jeweils zwei Faktorstufen.	18
2.5	Mathematische Beschreibung des Leckageverhaltens von Ölrückhalteventilen durch ein Regressionsmodell und Bestimmung des Regressionspolynoms sowie dessen Analyse.	37
3.1	Identifikation von Produktkomponenten mit wesentlichem Einfluß auf die Produktqualität mittels des Faktorenvergleichs für Produkte (Komponententausch).	122
3.2	Anwendung eines Fehler-Verteilungsdiagrammes zur Ermittlung ortsabhängiger Fehler an pneumatischen Dichtringen.	134
3.3	Ermittlung des erforderlichen Stichprobenumfangs für gegebene Irrtumswahrscheinlichkeiten und Mittelwertdifferenzen bei unbekannter, aber als gleich angenommener Standardabweichung σ bei einseitiger Fragestellung mittels einer Regressionsgeradengleichung nach Tab. 3.4-3.6.	138
3.4	Ermittlung des erforderlichen Stichprobenumfangs für gegebene Irrtumswahrscheinlichkeiten und Varianzverhältnisse bei unbekanntem Mittelwert für die einseitige Fragestellung mittels einer Regressionsgeradengleichung nach Tab. 3.7-3.9.	143
4.1	Anwendung und Auswertung eines vollständigen Zufallsplanes mittels der einfachen Varianzanalyse, $n_i = n$.	151
4.2	Anwendung und Auswertung eines vollständigen Zufallsplanes mittels der einfachen Varianzanalyse $n_i \neq n$.	153

4.3	Anwendung und Auswertung eines zufälligen Blockplanes mittels der zweifachen Varianzanalyse, $n = 1$, keine Wechselwirkung $A \times B$.	158
4.4	Anwendung und Auswertung eines zufälligen Blockplanes mittels der zweifachen Varianzanalyse, $n = 3$, ohne Wechselwirkung.	162
4.5	Anwendung und Auswertung eines zufälligen Blockplanes mittels der zweifachen Varianzanalyse, $n = 3$, mit Wechselwirkung $A \times B$.	166
4.6	Anwendung und Auswertung eines lateinischen Quadratplanes mittels einer modifizierten dreifachen Varianzanalyse, $n = 1$, keine Wechselwirkung.	174
4.7	Anwendung und Auswertung eines lateinischen Quadratplanes mittels einer modifizierten dreifachen Varianzanalyse, $n = 2$, mit Wechselwirkung.	178
4.8	Anwendung und Auswertung eines ausgewogenen unvollständigen Blockplanes mittels einer modifizierten, zweifachen Varianzanalyse.	189
5.1	Anwendung und Auswertung eines vollständigen 2^2 -Faktoren-Versuchsplanes mit $n = 4$ Versuchswiederholungen.	199
5.2	Anwendung und Auswertung eines vollständigen 2^3 -Faktoren-Versuchsplans mit $n = 2$ Versuchswiederholungen und Erstellung eines Regressionsmodells.	208
5.3	Ermittlung der Signifikanz von Effekten für $n = 1$ Versuchswiederholungen eines vollständigen 2^4 -Faktoren-Versuchsplans.	216
5.4	Ermittlung der Signifikanz von Effekten eines vollständigen 2^3 -Faktoren-Versuchsplans für $n = 4$ Versuchswiederholungen mittels des Mittelwertvergleiches der dreifachen Varianzanalyse.	221
5.5	Erstellung und varianzanalytische Auswertung eines fraktionellen faktoriellen 2^{4-1} Versuchsplanes für ein Signifikanzniveau von $(1 - \alpha) = 0,95$	231
5.6	Erstellung eines fraktionellen faktoriellen 2^{5-2} Versuchsplanes und Identifizierung der vermengten Effekte.	239
5.7	Auswertung eines vollständigen faktoriellen 2^3 - und eines unvollständigen 2^{4-1} Versuchsplanes.	245
5.8	Anwendung und Auswertung eines Haupteffekt-Versuchsplanes mit $k = 5$ Faktoren und $m = 8$ Faktorstufenkombinationen.	250
6.1	Vorgehensweise für ein varianzanalytisches Verfahren zur Bestimmung der Effektsignifikanzen für zwei Faktoren A und B mit den Faktorstufen a_i und b_j bei Vernachlässigung vorhandener Wechselwirkungen.	263

6.2	Vorgehensweise für ein varianzanalytisches Verfahren zur Bestimmung der Effektsignifikanzen für zwei Faktoren A und B mit den hierarchischen Faktorstufen a_i und b_{ij} bei vollständiger Besetzung mit jeweils $n \geq 3$ Versuchen.	266
6.3	Vorgehensweise für ein varianzanalytisches Verfahren zur Bestimmung der Effektsignifikanzen für zwei Faktoren A und B mit den hierarchischen Faktorstufen a_i und b_{ij} bei unvollständiger Besetzung mit $n_{ij} \geq 2$ Versuchen.	271
6.4	Vorgehensweise für ein varianzanalytisches Verfahren zur Bestimmung der Effektsignifikanzen für zwei Faktoren A und B mit den Faktorstufen a_i und b_j bei Berücksichtigung vorhandener Wechselwirkungen.	274
6.5	Vorgehensweise für ein varianzanalytisches Verfahren zur Bestimmung der Effektsignifikanzen für drei Faktoren A , B und C mit den Faktorstufen a_i , b_j und c_k bei Vernachlässigung vorhandener Wechselwirkungen $A \times B \times C$, $n = 1$	280
6.6	Vorgehensweise für ein varianzanalytisches Verfahren zur Bestimmung der Effektsignifikanzen für drei Faktoren A , B und C mit den Faktorstufen a_i , b_j und c_k bei Berücksichtigung einer vorhandener Wechselwirkungen $A \times B \times C$, $n > 1$	286
6.7	Vorgehensweise für ein varianzanalytisches Verfahren zur Bestimmung der Effektsignifikanzen für drei Faktoren A , B und C mit den hierarchischen Faktorstufen a_i , b_j und c_k ohne Berücksichtigung vorhandener Wechselwirkungen für $n = 4$	292
6.8	Vorgehensweise für ein varianzanalytisches Verfahren zur Bestimmung der Effektsignifikanzen dreier Faktoren A , B , C mit den hierarchischen Faktorstufen a_i , b_{ij} , c_{ijk} bei unvollständiger Besetzung mit $n_{ijkl} \geq 1$ Versuchen.	297
7.1	Anwendung und Auswertung eines Versuchsplanes nach Taguchi zur Erreichung eines robusten Prozesses.	315
7.2	Anwendung und Auswertung eines Versuchsplanes nach Taguchi zur Erreichung eines robusten Produktes.	321
8.1	Auswertung einer Stichprobe zweier Varianten A , B mit $n_A = 2$, $n_B = 2$ hinsichtlich ihrer Zielgrößeneignung.	330
8.2	Auswertung einer Stichprobe zweier Varianten A , B mit $n_A = 2$, $n_B = 3$ hinsichtlich ihrer Zielgrößeneignung "kleiner" und "größer". . . .	332

8.3	Anwendung und Auswertung eines Vergleiches zweier Stichproben ölhydraulischer Rückhalteventile und hinsichtlich ihrer Signifikanz zu beurteilenden Parameter.	340
8.4	Anwendung und Auswertung von Stichproben zweier Grundgesamt- heiten mittels der Tab. 8.1, 8.3, G.1-G.20.	343
9.1	Analyse eines Regressionsmodells 2. Grades für eine Dreikomponen- tenmischung und einem Standard-Simplex-Plan.	366
9.2	Analyse eines Regressionsmodells 2. Grades für eine Dreikomponen- tenmischung und einem Simplex-Mittelpunkt-Plan.	374