

Inhalt

1 Einführung	1
1.1 Warum Versuche?.....	1
1.2 Warum Statistik?	1
1.3 Warum Versuchsplanung?	4
1.4 Welche Art von Ergebnissen kann man erwarten?	6
2 Ausgewählte Begriffe	8
2.1 Zielgrößen	8
2.2 Einflußgrößen	9
2.3 Steuergrößen.....	9
2.4 Störgrößen.....	10
2.5 Faktoren	10
2.6 Faktorstufen.....	11
3 Vorgehensweise im Überblick	12
3.1 Ausgangssituation beschreiben.....	12
3.2 Untersuchungsziel festlegen	13
3.2.1 Optimale Lage des Mittelwerts.....	14
3.2.2 Reduzierung der Streuung/Robustheit	15
3.2.3 Erkennen der wichtigsten Störgrößen in der Fertigung	16
3.2.4 Gleichzeitig fertigen und lernen	16
3.3 Zielgrößen und Faktoren festlegen.....	17
3.3.1 Auswahl der Zielgrößen	17
3.3.2 Auswahl der Faktoren	18
3.3.3 Festlegung der Faktorstufen.....	19
3.3.4 Einflußgrößen, die nicht untersucht werden	21
3.4 Versuchsplan aufstellen	22
3.4.1 Festlegung der Faktorstufenkombinationen	22
3.4.2 Anzahl der Realisierungen.....	22
3.4.3 Blockbildung	23
3.4.4 Randomisierung.....	24
3.4.5 Aufwandsabschätzung.....	25
3.5 Versuche durchführen	27
3.6 Versuchsergebnisse auswerten	28
3.7 Ergebnisse interpretieren und Maßnahmen ableiten.....	31
3.7.1 Interpretation.....	31
3.7.2 Maßnahmen.....	31
3.8 Absicherung, Dokumentation, weiteres Vorgehen.....	32
3.8.1 Absicherung der Verbesserungen	32
3.8.2 Dokumentation.....	33
3.8.3 Weiteres Vorgehen.....	33

4 Systematische Beobachtung	35
4.1 Multi-Vari-Bild	35
4.2 Darstellung der örtlichen Verteilung von Fehlern.....	39
4.3 Paarweiser Vergleich.....	42
5 Einfache Versuche	45
5.1 Variablenvergleich zur Prozeßverbesserung	45
5.2 Komponententausch zur Produktverbesserung.....	49
5.3 Überblick über die Methoden nach D. Shainin	52
6 Statistische Grundlagen.....	53
6.1 Verteilung.....	53
6.1.1 Häufigkeitsverteilung von Versuchsergebnissen	53
6.1.2 Verteilungsdichte und Verteilungsfunktion.....	56
6.1.3 Normalverteilung.....	58
6.2 Auswertung einer Stichprobe.....	59
6.2.1 Repräsentative Stichprobe.....	59
6.2.2 Eintragung ins Wahrscheinlichkeitsnetz	61
6.2.3 Schätzwerte für Mittelwert μ und Varianz σ^2	64
6.2.4 Vertrauensbereiche.....	66
6.3 Vergleich von zwei Mittelwerten.....	70
6.3.1 Auswertung von Versuchsergebnissen.....	71
6.3.2 Festlegung des Stichproben- bzw. Versuchsumfangs.....	77
6.3.3 Voraussetzungen	79
6.4 Transformation von Meßwerten	83
6.4.1 Logarithmische Normalverteilung	83
6.4.2 Poisson-Verteilung.....	84
6.4.3 Box-Cox-Transformation	86
7 Vollständige faktorielle Versuchspläne – Grundlage der Versuchsplanung.....	87
7.1 Zwei Faktoren auf je zwei Stufen.....	87
7.1.1 Versuchsplan und Effekte	87
7.1.2 Auswerteformalismus und Beurteilung der Signifikanz.....	90
7.1.3 Interpretation von Wechselwirkungen.....	92
7.1.4 Randomisierung und Blockbildung	94
7.2 k Faktoren auf je zwei Stufen	99
7.2.1 Versuchsplan	99
7.2.2 Auswertung	100
7.2.3 Versuchsumfang.....	106
7.3 Auswertung von Versuchsplänen mit $n = 1$	107
7.3.1 Wahrscheinlichkeitsdarstellung der Effekte	107
7.3.2 Schätzung der Zufallsstreuung durch „Pooling“.....	111
7.3.3 Risiken	113

8 Screening-Versuchspläne	114
8.1 Hintergrund	114
8.2 Fraktionelle faktorielle Versuchspläne	115
8.2.1 Der fraktionelle faktorielle 2^{4-1} -Plan als Beispiel	115
8.2.2 Anwendung des 2^{4-1} -Plans zur Blockbildung	119
8.2.3 Fraktioneller faktorieller 2^{k-p} -Plan	122
8.2.4 Was bedeutet Vermengung?	125
8.2.5 Auflösung	129
8.2.6 Überblick über 2^{k-p} -Pläne	130
8.2.7 Praxisbeispiel Reflowlöten	132
8.3 Plackett-Burman-Versuchspläne *	141
8.3.1 Plackett-Burman-Versuchspläne der Auflösung III *	142
8.3.2 Plackett-Burman-Versuchspläne der Auflösung IV *	144
8.4 Einsatzempfehlungen	145
9 Robuste Produkte/Prozesse	146
9.1 Ziel und Strategie von G. Taguchi	146
9.1.1 Qualitätsziel: Streuung minimieren	147
9.1.2 Entwicklungsstrategie: Robuste Produkte/Prozesse	147
9.2 Taguchis Versuchspläne und ihre Auswertung	149
9.3 Alternative Ansätze	157
9.3.1 Aus der Differenz von Meßwerten abgeleitete Zielgrößen	157
9.3.2 Wechselwirkung zwischen Steuer- und Rauschfaktoren	158
9.4 Anmerkungen zu den „Orthogonalen Feldern“ u.ä. *	159
9.4.1 Orthogonale Felder *	159
9.4.2 Lineare Graphen und Dreieckstabellen *	160
9.4.3 Dummy Levels, Pseudo Factor Designs, Idle Columns *	161
10 Regressionsanalyse	163
10.1 Einfache lineare Regression	163
10.1.1 Methode der kleinsten Quadrate	164
10.1.2 Bestimmtheitsmaß und Korrelationskoeffizient	166
10.1.3 Grafische Beurteilung der Residuen	169
10.1.4 Vertrauensbereiche und Signifikanz	171
10.1.5 Zusammenhang lineare Regression – Mittelwertvergleich	176
10.1.6 Quasilineare Regression	177
10.2 Mehrfache Regression	177
10.2.1 Zweifache lineare Regression	178
10.2.2 Transformierte Einflußgrößen	181
10.2.3 Prinzip der schrittweisen Regression	184
10.2.4 Beurteilung des Regressionsmodells	185

11 Versuchspläne für nichtlineare Zusammenhänge	187
11.1 Zentral zusammengesetzte Versuchspläne.....	187
11.1.1 Orthogonaler Versuchsplan	188
11.1.2 Technisch bedingte Abweichungen vom Versuchsplan.....	190
11.1.3 Bekannte nichtlineare Abhängigkeiten	190
11.1.4 Varianten von zentral zusammengesetzten Plänen.....	191
11.1.5 Praxisbeispiel Laserschneiden	194
11.2 Alternative Pläne *	201
11.2.1 3^k - und 3^{k-p} -Pläne *	201
11.2.2 Box-Behnken-Pläne *	202
11.2.3 Kleine zusammengesetzte Pläne *	203
11.2.4 D-optimale Pläne *	204
11.3 Grenzen des quadratischen Modells	205
11.4 Einsatzempfehlungen	208
12 Varianzanalyse	210
12.1 Einfache balancierte Varianzanalyse.....	210
12.2 Mehrfache Varianzanalyse	216
13 Screening für mehrstufige Faktoren *	219
13.1 Versuchspläne.....	219
13.2 Auswertung.....	220
13.3 Einsatzempfehlungen	222
14 Versuchspläne für Mischungen *	223
14.1 Mischungspläne ohne Begrenzungen	224
14.2 Auswertung von Mischungsplänen	226
14.3 Mischungspläne mit Begrenzungen.....	226
14.4 Kombinierte Versuchspläne.....	227
15 Spezielle Zielgrößen *	229
15.1 Gut-Schlecht-Ergebnisse.....	229
15.1.1 Möglichkeiten zur Vermeidung.....	229
15.1.2 Auswertung.....	231
15.2 Anzahl Fehler.....	235
15.3 Mehrere Zielgrößen	236
16 Sequentielle Optimierungsverfahren *	243
16.1 Evolutionary Operations (EVOP)	244
16.2 Methode des steilsten Anstiegs.....	246
16.3 Simplexverfahren.....	247
16.4 Neuere Entwicklungen.....	249

17 Software	252
17.1 Allgemeine Hinweise	252
17.2 Beschreibung ausgewählter Programme.....	253
18 Übungsbeispiele	261
18.1 Papier-Rotor	261
18.2 Nürnberger Trichter	264
Anhang A – Abkürzungen und Formelzeichen	266
Anhang B – Statistische Tabellen	267
Anhang C – Wegweiser durch die Verfahren	269
Anhang D – CD-ROM mit Software/Beispielen	271
Anhang E – Software/Demos im Internet	274
Index	276

* Für das Verständnis der folgenden Kapitel nicht erforderlich