

# Inhalt

<b>1 Einführung</b> .....	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
1.5 Versuche oder systematische Beobachtung? .....	8
1.6 Versuchsplanung und Six-Sigma-Strategie .....	8
<b>2 Ausgewählte Begriffe</b> .....	10
2.1 Zielgrößen .....	10
2.2 Einflussgrößen .....	11
2.3 Steuergrößen .....	11
2.4 Störgrößen .....	12
2.5 Faktoren .....	12
2.6 Faktorstufen .....	13
2.7 Quantitative und qualitative Faktoren .....	13
<b>3 Vorgehensweise im Überblick</b> .....	14
3.1 Ausgangssituation beschreiben .....	14
3.2 Untersuchungsziel festlegen .....	16
3.2.1 Optimale Lage des Mittelwerts .....	16
3.2.2 Reduzierung der Streuung/Robustheit.....	17
3.2.3 Erkennen der wichtigsten Störgrößen in der Fertigung.....	18
3.2.4 Gleichzeitig fertigen und lernen .....	18
3.2.5 Funktion und Zuverlässigkeit nachweisen.....	19
3.3 Zielgrößen und Faktoren festlegen .....	19
3.3.1 Auswahl der Zielgrößen .....	19
3.3.2 Sammlung der Einflussgrößen .....	20
3.3.3 Auswahl der Faktoren .....	22
3.3.4 Festlegung der Faktorstufen.....	23
3.3.5 Einflussgrößen, die nicht untersucht werden .....	25
3.4 Versuchsplan aufstellen .....	26
3.4.1 Festlegung der Faktorstufenkombinationen .....	26
3.4.2 Anzahl der Realisierungen .....	27
3.4.3 Blockbildung .....	28
3.4.4 Randomisierung .....	28
3.4.5 Aufwandsabschätzung .....	30
3.5 Versuche durchführen.....	31
3.5.1 Vorbereitung .....	32
3.5.2 Durchführung.....	33

3.6	V Versuchsergebnisse auswerten.....	34
3.7	Ergebnisse interpretieren und Maßnahmen ableiten.....	37
3.7.1	Interpretation .....	37
3.7.2	Maßnahmen .....	38
3.8	Absicherung, Dokumentation, weiteres Vorgehen .....	39
3.8.1	Absicherung der Verbesserungen.....	39
3.8.2	Dokumentation .....	39
3.8.3	Weiteres Vorgehen.....	40
<b>4</b>	<b>Systematische Beobachtung .....</b>	<b>41</b>
4.1	Multi-Vari-Bild.....	41
4.2	Darstellung der örtlichen Verteilung von Fehlern .....	45
4.3	Prozessvergleich.....	48
4.4	Paarweiser Vergleich von Produkten.....	50
<b>5</b>	<b>Einfache Versuche .....</b>	<b>52</b>
5.1	Variablenvergleich zur Prozessverbesserung .....	52
5.2	Komponententausch zur Produktverbesserung.....	56
5.3	Überblick über die Methoden nach D. Shainin .....	59
<b>6</b>	<b>Statistische Grundlagen .....</b>	<b>60</b>
6.1	Verteilung.....	60
6.1.1	Häufigkeitsverteilung von Versuchsergebnissen .....	60
6.1.2	Verteilungsdichte und Verteilungsfunktion .....	63
6.1.3	Normalverteilung .....	65
6.2	Auswertung einer Stichprobe.....	66
6.2.1	Repräsentative Stichprobe .....	66
6.2.2	Eintragung ins Wahrscheinlichkeitsnetz.....	68
6.2.3	Schätzwerte für Mittelwert $\mu$ und Varianz $\sigma^2$ .....	71
6.2.4	Vertrauensbereiche .....	73
6.3	Vergleich von zwei Mittelwerten .....	77
6.3.1	Auswertung von Versuchsergebnissen.....	78
6.3.2	Festlegung des Stichproben- bzw. Versuchsumfangs .....	84
6.3.3	Voraussetzungen .....	86
6.4	Transformation von Messwerten .....	90
6.4.1	Logarithmische Normalverteilung.....	90
6.4.2	Poisson-Verteilung .....	91
6.4.3	Box-Cox-Transformation .....	93
<b>7</b>	<b>Vollständige faktorielle Versuchspläne.....</b>	<b>95</b>
7.1	Zwei Faktoren auf je zwei Stufen.....	95
7.1.1	Versuchsplan und Effekte .....	95
7.1.2	Auswerteformalismus und Beurteilung der Signifikanz .....	98
7.1.3	Interpretation von Wechselwirkungen .....	100
7.1.4	Randomisierung und Blockbildung.....	102

7.2	k Faktoren auf je zwei Stufen.....	107
7.2.1	Versuchsplan.....	107
7.2.2	Auswertung.....	108
7.2.3	Versuchsumfang.....	114
7.3	Auswertung von Versuchsplänen mit $n = 1$ .....	115
7.3.1	Wahrscheinlichkeitsdarstellung der Effekte.....	115
7.3.2	Schätzung der Zufallsstreuung durch „Pooling“.....	119
7.3.3	Risiken.....	121
<b>8</b>	<b>Screening-Versuchspläne.....</b>	<b>122</b>
8.1	Hintergrund.....	122
8.2	Fraktionelle faktorielle Versuchspläne.....	123
8.2.1	Der fraktionelle faktorielle $2^{4-1}$ -Plan als Beispiel.....	123
8.2.2	Anwendung des $2^{4-1}$ -Plans zur Blockbildung.....	127
8.2.3	Fraktioneller faktorieller $2^{k-p}$ -Plan.....	130
8.2.4	Was bedeutet Vermengung?.....	133
8.2.5	Auflösung.....	137
8.2.6	Überblick über $2^{k-p}$ -Pläne.....	138
8.2.7	Praxisbeispiel Reflowlöten.....	140
8.3	Plackett-Burman-Versuchspläne *.....	149
8.3.1	Plackett-Burman-Versuchspläne der Auflösung III.....	150
8.3.2	Plackett-Burman-Versuchspläne der Auflösung IV.....	152
8.3.3	Übersättigte Pläne.....	153
8.4	Weitere Screening-Versuchspläne *.....	153
8.5	Funktionstest *.....	154
8.6	Einsatzempfehlungen.....	156
<b>9</b>	<b>Robuste Produkte/Prozesse.....</b>	<b>158</b>
9.1	Ziel und Strategie von G. Taguchi.....	158
9.1.1	Qualitätsziel: Streuung minimieren.....	159
9.1.2	Entwicklungsstrategie: Robuste Produkte/Prozesse.....	159
9.2	Taguchis Versuchspläne und ihre Auswertung.....	161
9.3	Alternative Ansätze.....	169
9.3.1	Aus der Differenz von Messwerten abgeleitete Zielgrößen.....	169
9.3.2	Wechselwirkung zwischen Steuer- und Rauschfaktoren.....	170
9.4	Anmerkungen zu den „Orthogonalen Feldern“ u.ä. *.....	171
9.4.1	Orthogonale Felder.....	171
9.4.2	Lineare Graphen und Dreieckstabellen.....	172
9.4.3	Dummy Levels, Pseudo Factor Designs, Idle Columns.....	173
<b>10</b>	<b>Regressionsanalyse.....</b>	<b>175</b>
10.1	Einfache lineare Regression.....	175
10.1.1	Methode der kleinsten Quadrate.....	176
10.1.2	Bestimmtheitsmaß und Korrelationskoeffizient.....	178
10.1.3	Grafische Beurteilung der Residuen.....	181
10.1.4	Vertrauensbereiche und Signifikanz.....	183
10.1.5	Zusammenhang lineare Regression – Mittelwertvergleich.....	188
10.1.6	Quasilineare Regression.....	189

10.2	Mehrfache Regression.....	189
10.2.1	Zweifache lineare Regression.....	190
10.2.2	Transformierte Einflussgrößen.....	193
10.2.3	Prinzip der schrittweisen Regression.....	196
10.2.4	Beurteilung des Regressionsmodells.....	197
<b>11</b>	<b>Versuchspläne für nichtlineare Zusammenhänge.....</b>	<b>199</b>
11.1	Zentral zusammengesetzte Versuchspläne.....	199
11.1.1	Orthogonaler Versuchsplan.....	200
11.1.2	Technisch bedingte Abweichungen vom Versuchsplan.....	202
11.1.3	Bekannte nichtlineare Abhängigkeiten.....	202
11.1.4	Varianten von zentral zusammengesetzten Plänen.....	203
11.1.5	Praxisbeispiel Laserschneiden.....	206
11.2	Alternative Pläne *.....	213
11.2.1	$3^k$ - und $3^{k-p}$ -Pläne.....	213
11.2.2	Box-Behnken-Pläne.....	214
11.2.3	Kleine zusammengesetzte Pläne.....	215
11.2.4	Optimale Pläne.....	216
11.3	Grenzen des quadratischen Modells.....	218
11.4	Einsatzempfehlungen.....	220
<b>12</b>	<b>Varianzanalyse.....</b>	<b>222</b>
12.1	Einfache balancierte Varianzanalyse.....	222
12.2	Mehrfache Varianzanalyse.....	228
12.3	Feste und zufällige Effekte *.....	231
12.4	Nicht vollständige Randomisierung *.....	233
12.4.1	Alle Realisierungen einer Kombination gemeinsam.....	233
12.4.2	Split-Plot Versuche.....	234
<b>13</b>	<b>Screening für mehrstufige Faktoren *.....</b>	<b>236</b>
13.1	Versuchspläne.....	236
13.2	Auswertung.....	237
13.3	Einsatzempfehlungen.....	239
<b>14</b>	<b>Versuchspläne für Mischungen *.....</b>	<b>240</b>
14.1	Mischungspläne ohne Begrenzungen.....	241
14.2	Auswertung von Mischungsplänen.....	243
14.3	Mischungspläne mit Begrenzungen.....	243
14.4	Kombinierte Versuchspläne.....	244
<b>15</b>	<b>Spezielle Zielgrößen *.....</b>	<b>246</b>
15.1	Gut-Schlecht-Ergebnisse.....	246
15.1.1	Möglichkeiten zur Vermeidung.....	246
15.1.2	Auswertung.....	248
15.2	Anzahl Fehler.....	252
15.3	Mehrere Zielgrößen.....	253

---

<b>16</b>	<b>Sequentielle Optimierungsverfahren *</b> .....	260
16.1	<u>E</u> volutionary <u>O</u> perations (EVOP) .....	261
16.2	Methode des steilsten Anstiegs .....	263
16.3	Simplexverfahren .....	264
16.4	Neuere Entwicklungen .....	266
16.5	Alternative Modellansätze .....	268
<b>17</b>	<b>Erweiterung von Versuchsplänen *</b> .....	271
17.1	Trennung vermengter Wechselwirkungen .....	271
17.2	Zentrumspunkt .....	273
17.3	Zuordnung quadratischer Effekte .....	275
17.4	Nicht realisierbare Faktorstufenkombinationen .....	277
<b>18</b>	<b>Software *</b> .....	280
18.1	Allgemeine Hinweise .....	280
18.2	Beschreibung ausgewählter Programme .....	281
18.3	Spezielle Anwendungsgebiete .....	287
<b>19</b>	<b>Beispiele *</b> .....	290
19.1	Beispiel Motoroptimierung .....	290
19.2	Literaturbeispiele .....	295
19.3	Übungsbeispiele .....	296
19.3.1	Papier-Rotor .....	297
19.3.2	Nürnbergiger Trichter .....	299
<b>Anhang A – Abkürzungen und Formelzeichen</b> .....		301
<b>Anhang B – Statistische Tabellen</b> .....		302
<b>Anhang C – Wegweiser durch die Verfahren</b> .....		304
<b>Anhang D – Ablauf einer Versuchsplanung</b> .....		306
<b>Anhang E – Ablauf einer Datenauswertung</b> .....		307
<b>Anhang F – Glossar deutsch/englisch</b> .....		308
<b>Anhang G – JAVA-Applets auf der DVD</b> .....		312
<b>Anhang H – Software/Beispiele auf der DVD</b> .....		316
<b>Anhang J – Software/Demos im Internet</b> .....		319
<b>Index</b> .....		323