

Inhalt

| | |
|--|----|
| Vorwort | V |
| 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 |
| 1.5 Versuche oder systematische Beobachtung? | 7 |
| 1.6 Versuchsplanung und Six-Sigma-Strategie | 8 |
| 2 Ausgewählte Begriffe | 11 |
| 2.1 Zielgrößen | 12 |
| 2.2 Einflussgrößen | 12 |
| 2.3 Steuergrößen | 13 |
| 2.4 Störgrößen | 13 |
| 2.5 Faktoren | 14 |
| 2.6 Faktorstufen | 14 |
| 2.7 Quantitative und qualitative Faktoren | 15 |
| 3 Vorgehensweise im Überblick | 17 |
| 3.1 Ausgangssituation beschreiben | 17 |
| 3.2 Untersuchungsziel festlegen | 19 |
| 3.2.1 Optimale Lage des Mittelwerts | 19 |
| 3.2.2 Reduzierung der Streuung/Robustheit | 20 |
| 3.2.3 Erkennen der wichtigsten Störgrößen in der Fertigung | 21 |
| 3.2.4 Gleichzeitig fertigen und lernen | 22 |
| 3.2.5 Funktion und Zuverlässigkeit nachweisen | 22 |
| 3.3 Zielgrößen und Faktoren festlegen | 22 |
| 3.3.1 Auswahl der Zielgrößen | 22 |
| 3.3.2 Sammlung der Einflussgrößen | 24 |
| 3.3.3 Auswahl der Faktoren | 25 |
| 3.3.4 Festlegung der Faktorstufen | 26 |
| 3.3.5 Einflussgrößen, die nicht untersucht werden | 28 |
| 3.4 Versuchsplan aufstellen | 29 |
| 3.4.1 Festlegung der Faktorstufenkombinationen | 29 |

| | | |
|----------|---|-----------|
| 3.4.2 | Anzahl der Realisierungen | 30 |
| 3.4.3 | Blockbildung | 31 |
| 3.4.4 | Randomisierung | 31 |
| 3.4.5 | Aufwandsabschätzung | 33 |
| 3.5 | Versuche durchführen | 35 |
| 3.5.1 | Vorbereitung | 35 |
| 3.5.2 | Durchführung | 36 |
| 3.6 | Versuchsergebnisse auswerten | 37 |
| 3.7 | Ergebnisse interpretieren und Maßnahmen ableiten | 40 |
| 3.7.1 | Interpretation | 40 |
| 3.7.2 | Maßnahmen | 41 |
| 3.8 | Absicherung, Dokumentation, weiteres Vorgehen | 42 |
| 3.8.1 | Absicherung der Verbesserungen | 42 |
| 3.8.2 | Dokumentation | 42 |
| 3.8.3 | Weiteres Vorgehen | 43 |
| 4 | Systematische Beobachtung | 45 |
| 4.1 | Multi-Vari-Bild | 45 |
| 4.2 | Darstellung der örtlichen Verteilung von Fehlern | 49 |
| 4.3 | Prozessvergleich | 52 |
| 4.4 | Paarweiser Vergleich von Produkten | 54 |
| 5 | Einfache Versuche | 57 |
| 5.1 | Variablenvergleich zur Prozessverbesserung | 57 |
| 5.2 | Komponententausch zur Produktverbesserung | 61 |
| 5.3 | Überblick über die Methoden nach D. Shainin | 64 |
| 6 | Statistische Grundlagen | 65 |
| 6.1 | Verteilung | 65 |
| 6.1.1 | Häufigkeitsverteilung von Versuchsergebnissen | 65 |
| 6.1.2 | Verteilungsdichte und Verteilungsfunktion | 68 |
| 6.1.3 | Normalverteilung | 70 |
| 6.2 | Auswertung einer Stichprobe | 71 |
| 6.2.1 | Repräsentative Stichprobe | 71 |
| 6.2.2 | Eintragung ins Wahrscheinlichkeitsnetz | 73 |
| 6.2.3 | Schätzwerte für Mittelwert μ und Varianz σ^2 | 76 |
| 6.2.4 | Vertrauensbereiche | 77 |
| 6.3 | Vergleich von zwei Mittelwerten | 82 |
| 6.3.1 | Auswertung von Versuchsergebnissen | 83 |
| 6.3.2 | Festlegung des Stichproben- bzw. Versuchsumfangs | 89 |
| 6.3.3 | Voraussetzungen | 91 |
| 6.4 | Transformation von Messwerten | 95 |
| 6.4.1 | Logarithmische Normalverteilung | 95 |
| 6.4.2 | Poisson-Verteilung | 96 |
| 6.4.3 | Box-Cox-Transformation | 98 |

| | | |
|----------|---|-----|
| 7 | Vollständige faktorielle Versuchspläne | 101 |
| 7.1 | Zwei Faktoren auf je zwei Stufen | 101 |
| 7.1.1 | Versuchsplan und Effekte | 101 |
| 7.1.2 | Auswerteformalismus und Beurteilung der Signifikanz | 104 |
| 7.1.3 | Interpretation von Wechselwirkungen | 106 |
| 7.1.4 | Randomisierung und Blockbildung | 108 |
| 7.2 | k Faktoren auf je zwei Stufen | 113 |
| 7.2.1 | Versuchsplan | 113 |
| 7.2.2 | Auswertung | 115 |
| 7.2.3 | Versuchsumfang | 120 |
| 7.3 | Auswertung von Versuchsplänen mit $n = 1$ | 121 |
| 7.3.1 | Wahrscheinlichkeitsdarstellung der Effekte | 121 |
| 7.3.2 | Schätzung der Zufallsstreuung durch „Pooling“ | 125 |
| 7.3.3 | Risiken | 127 |
| 8 | Screening-Versuchspläne | 129 |
| 8.1 | Hintergrund | 129 |
| 8.2 | Fraktionelle faktorielle Versuchspläne | 130 |
| 8.2.1 | Der fraktionelle faktorielle 2^{4-1} -Plan als Beispiel | 130 |
| 8.2.2 | Anwendung des 2^{4-1} -Plans zur Blockbildung | 134 |
| 8.2.3 | Fraktioneller faktorieller 2^{k-p} -Plan | 137 |
| 8.2.4 | Was bedeutet Vermengung? | 140 |
| 8.2.5 | Auflösung | 143 |
| 8.2.6 | Überblick über 2^{k-p} -Pläne | 144 |
| 8.2.7 | Praxisbeispiel Reflowlöten | 147 |
| 8.3 | Plackett-Burman-Versuchspläne* | 156 |
| 8.3.1 | Plackett-Burman-Versuchspläne der Auflösung III | 157 |
| 8.3.2 | Plackett-Burman-Versuchspläne der Auflösung IV | 159 |
| 8.3.3 | Übersättigte Pläne | 160 |
| 8.4 | Definitive Screening Pläne* | 160 |
| 8.5 | Funktionstest* | 161 |
| 8.6 | Einsatzempfehlungen | 163 |
| 9 | Robuste Produkte/Prozesse | 165 |
| 9.1 | Ziel und Strategie von G. Taguchi | 166 |
| 9.1.1 | Qualitätsziel: Streuung minimieren | 166 |
| 9.1.2 | Entwicklungsstrategie: Robuste Produkte/Prozesse | 166 |
| 9.2 | Taguchis Versuchspläne und ihre Auswertung | 168 |
| 9.3 | Alternative Ansätze | 176 |
| 9.3.1 | Aus der Differenz von Messwerten abgeleitete Zielgrößen | 176 |
| 9.3.2 | Wechselwirkung zwischen Steuer- und Rauschfaktoren | 177 |
| 9.4 | Anmerkungen zu den „Orthogonalen Feldern“ u. ä.* | 178 |
| 9.4.1 | Orthogonale Felder | 178 |
| 9.4.2 | Lineare Graphen und Dreieckstabellen | 179 |
| 9.4.3 | Dummy Levels, Pseudo Factor Designs, Idle Columns | 180 |

| | |
|--|-----|
| 10 Regressionsanalyse | 183 |
| 10.1 Einfache lineare Regression | 184 |
| 10.1.1 Methode der kleinsten Quadrate | 184 |
| 10.1.2 Bestimmtheitsmaß und Korrelationskoeffizient | 186 |
| 10.1.3 Grafische Beurteilung der Residuen | 189 |
| 10.1.4 Vertrauensbereiche und Signifikanz | 192 |
| 10.1.5 Zusammenhang lineare Regression – Mittelwertvergleich | 197 |
| 10.1.6 Quasilineare Regression | 198 |
| 10.2 Mehrfache Regression | 198 |
| 10.2.1 Zweifache lineare Regression | 199 |
| 10.2.2 Transformierte Einflussgrößen | 202 |
| 10.2.3 Prinzip der schrittweisen Regression | 205 |
| 10.2.4 Beurteilung des Regressionsmodells | 206 |
| 11 Versuchspläne für nichtlineare Zusammenhänge | 209 |
| 11.1 Zentral zusammengesetzte Versuchspläne | 209 |
| 11.1.1 Orthogonaler Versuchsplan | 211 |
| 11.1.2 Technisch bedingte Abweichungen vom Versuchsplan | 212 |
| 11.1.3 Bekannte nichtlineare Abhängigkeiten | 213 |
| 11.1.4 Varianten von zentral zusammengesetzten Plänen | 213 |
| 11.1.5 Praxisbeispiel Laserschneiden | 216 |
| 11.2 Alternative Pläne* | 224 |
| 11.2.1 3^k - und 3^{k-p} -Pläne | 224 |
| 11.2.2 Box-Behnken-Pläne | 224 |
| 11.2.3 Kleine zusammengesetzte Pläne | 225 |
| 11.2.4 Optimale Pläne | 227 |
| 11.3 Grenzen des quadratischen Modells | 228 |
| 11.3.1 Beispiele und Lösungsmöglichkeiten | 229 |
| 11.3.2 Allgemeine Lösungsansätze | 231 |
| 11.4 Einsatzempfehlungen | 232 |
| 12 Varianzanalyse | 235 |
| 12.1 Einfache balancierte Varianzanalyse | 236 |
| 12.2 Mehrfache Varianzanalyse | 241 |
| 12.3 Feste und zufällige Effekte* | 244 |
| 12.4 Nicht vollständige Randomisierung* | 246 |
| 12.4.1 Alle Realisierungen einer Kombination gemeinsam | 246 |
| 12.4.2 Split-Plot Versuche | 247 |
| 13 Screening für mehrstufige Faktoren* | 249 |
| 13.1 Versuchspläne | 249 |
| 13.2 Auswertung | 250 |
| 13.3 Einsatzempfehlungen | 252 |

| | | |
|-----------|---|-----|
| 14 | Versuchspläne für Mischungen* | 253 |
| 14.1 | Mischungspläne ohne Begrenzungen | 254 |
| 14.2 | Auswertung von Mischungsplänen | 256 |
| 14.3 | Mischungspläne mit Begrenzungen | 256 |
| 14.4 | Kombinierte Versuchspläne | 257 |
| 15 | Spezielle Zielgrößen* | 259 |
| 15.1 | Gut-Schlecht-Ergebnisse | 259 |
| 15.1.1 | Möglichkeiten zur Vermeidung | 259 |
| 15.1.2 | Auswertung | 261 |
| 15.2 | Anzahl Fehler | 265 |
| 15.3 | Mehrere Zielgrößen | 266 |
| 16 | Erweiterung von Versuchsplänen* | 275 |
| 16.1 | Trennung vermengter Wechselwirkungen | 275 |
| 16.2 | Zentrumspunkt | 277 |
| 16.3 | Zuordnung quadratischer Effekte | 279 |
| 16.4 | Nicht realisierbare Faktorstufenkombinationen | 281 |
| 17 | Alternative Modellierungsansätze* | 285 |
| 17.1 | Andere Verteilungen: Maximum Likelihood Prinzip | 285 |
| 17.2 | Robuste Regression | 286 |
| 17.3 | Andere Modellansätze | 286 |
| 17.3.1 | Überanpassung und Unteranpassung | 286 |
| 17.3.2 | Lokale Modelle | 288 |
| 17.3.3 | Neuronale Netze | 289 |
| 17.3.4 | Gaussian Process Models | 289 |
| 17.3.5 | Einsatzempfehlungen | 290 |
| 18 | Sequentielle Optimierungsverfahren* | 293 |
| 18.1 | Evolutionary Operations (EVOP) | 294 |
| 18.2 | Methode des steilsten Anstiegs | 296 |
| 18.3 | Simplexverfahren | 297 |
| 18.4 | Neuere Entwicklungen | 299 |
| 19 | Software* | 301 |
| 19.1 | Allgemeine Hinweise | 301 |
| 19.2 | Beschreibung ausgewählter Programme | 302 |
| 19.3 | Spezielle Anwendungsgebiete | 308 |
| 20 | Beispiele* | 311 |
| 20.1 | Beispiel Motoroptimierung | 311 |
| 20.2 | Literaturbeispiele | 316 |
| 20.3 | Übungsbeispiele | 317 |
| 20.3.1 | Papier-Rotor | 317 |
| 20.3.2 | Nürnberger Trichter | 320 |

| | |
|--|-----|
| Anhang | 323 |
| Anhang A - Abkürzungen und Formelzeichen | 323 |
| Anhang B - Statistische Tabellen | 324 |
| Anhang C - Wegweiser durch die Verfahren | 326 |
| Anhang D - Ablauf einer Versuchsplanung | 327 |
| Anhang E - Ablauf einer Datenauswertung | 328 |
| Anhang F - Glossar deutsch/englisch | 329 |
| Anhang G - JAVA-Visualisierungen auf der DVD | 333 |
| Anhang H - Software/Beispiele auf der DVD | 337 |
| Anhang J - Software/Demos im Internet | 339 |
| Index | 343 |