

Inhaltsverzeichnis

1	Grundlagen	1
1.1	Einleitung	1
1.2	Grundbegriffe	2
1.2.1	Systemgrenzen	3
1.2.2	Qualitätsmerkmal	4
1.2.3	Parameter und Faktoren	5
1.2.4	Stufen	6
1.2.5	Vergleich zu traditionellen Verfahren	6
1.3	Auswertung	9
1.3.1	Fallstudie	9
1.3.2	Effekt	12
1.3.3	Wechselwirkung	15
1.3.4	Lineares Beschreibungsmodell	21
2	Versuchspläne	25
2.1	Einleitung	25
2.2	Screening Versuchspläne	26
2.2.1	Konzept	26
2.2.2	Reguläre Felder nach dem Yates-Standard	30
2.2.3	Irreguläre Felder nach Plackett-Burman	31
2.2.4	Fallstudie	33
2.3	Versuchspläne für ein quadratisches Beschreibungsmodell	37
2.3.1	Central-Composite-Design	38
2.3.2	Box-Behnken-Design	40
2.3.3	Monte-Carlo-Verfahren	42
2.3.4	Fallstudie	43
2.4	Grenzen des Beschreibungsmodells	46
2.5	Mischungspläne	50
2.5.1	Simplex-Lattice-Design	50
2.5.2	Simplex-Centroid-Design	51

2.6	Individuell erstellte Versuchspläne	52
2.6.1	Auswahlkriterien	53
2.6.2	Einschränkungen des Faktorraums	55
2.7	Die Mutter aller Versuchspläne	55
3	Kontrollverfahren	57
3.1	Einleitung	57
3.2	Versuchsplan	58
3.2.1	Fallbeispiel	59
3.2.2	Korrelationsmatrix	60
3.2.3	Varianz-Inflations-Faktor (VIF)	61
3.2.4	Fraction of Design Space (FDS)	61
3.2.5	Hebelwerte	62
3.3	Beschreibungsmodell	64
3.3.1	Half-Normal-Plot	64
3.3.2	Varianzanalyse	69
3.4	Genauigkeit der Vorhersage	73
3.4.1	Fallbeispiel	73
3.4.2	Residual-Plots	74
3.4.3	Löschdiagnosen	77
3.4.4	Box-Cox Transformation	79
3.4.5	Bestätigungsläufe	80
4	Statistische Modellbildung	81
4.1	Einleitung	81
4.2	Warum Statistik?	82
4.3	Randomisierung, Wiederholung, Blockbildung — Fishers Brücke in die Statistik	87
4.3.1	Randomisierung	87
4.3.2	Wiederholung	90
4.3.3	Blockbildung	93
4.4	Wieso “Null”hypothese? Der Grundgedanke aller statistischen Tests	95
4.4.1	Ein Beispiel	95
4.4.2	α - und β -Risiko	96
4.4.3	Versuchsumfang	100
4.5	“Der” Test für DoE: Fishers Varianzanalyse	105
4.5.1	Varianzzerlegung	105
4.5.2	Die Anova-Tabelle	108
4.5.3	Von der Testgröße zur Wahrscheinlichkeit	111
4.5.4	Auswertung bei Blockbildung	115
4.5.5	Faktorelimination	116
4.5.6	Versuchszahl	122
4.6	Modellvalidierung	127
4.7	Zusammenfassung: Von den Daten zum Modell in 7 Schritten	130

5 Varianten der statistischen Versuchsplanung	131
5.1 Einleitung	131
5.2 Umgang mit mehreren Qualitätsmerkmalen	132
5.2.1 Multiple-Response-Optimisation	132
5.2.2 Sequentielle Methode und Ersatzgrößen	137
5.2.3 Principal Component Analysis	138
5.3 Robustes Design	139
5.3.1 Parameterdesign	139
5.3.2 Toleranzdesign	145
5.4 Umgang mit kategorialen Faktoren	148
6 Computer-Experiment	151
6.1 Einleitung	151
6.2 Aufbau und Analyse von Computer-Experimenten	151
6.2.1 Vergleich von Computer- und physikalischem Experiment	153
6.2.2 Testfelder für Computer-Experimente	154
6.2.3 Metamodelle	156
6.2.4 Analyse und Optimierung	156
7 Versuchspläne für komplexe Zusammenhänge	159
7.1 Einleitung	159
7.2 Gütekriterien für Testfelder	160
7.2.1 MiniMax und MaxiMin	160
7.2.2 Entropie	162
7.2.3 Integrated und Maximum Mean Square Error	163
7.2.4 Gleichverteilung (<i>Uniformity</i>)	164
7.2.5 Vergleich verschiedener Gütekriterien	167
7.3 Konstruktionsmethoden gleichverteilter Testfelder	168
7.3.1 (Quasi) Monte-Carlo	168
7.3.2 Orthogonale Testfelder	173
7.3.3 Latin Hypercube	174
7.3.4 Gleichverteilte Testfelder (<i>Uniform Designs</i>)	178
7.4 Optimierung von Testfeldern	183
7.5 Ungleichverteilte Testfelder	188
7.6 Zusammenfassung	190
8 Metamodelle	191
8.1 Einleitung	191
8.2 Lineare Regression	192
8.3 Polynome	194
8.4 Splines	194
8.5 Kriging	198
8.6 Radial Basis Funktion	202
8.7 Kernel- und Lokale Polynom-Regression	204
8.8 Künstliche Neuronale Netzwerke	208

8.9	Qualität von Metamodellen	217
8.10	Faktorwahl	220
8.11	Zusammenfassung	222
9	Optimierung	225
9.1	Einleitung	225
9.2	Dominanz	226
9.3	Reduktion auf eine Zielgröße	227
9.4	Genetische Evolutionsverfahren für mehrerer Zielgrößen	230
9.4.1	Kreuzung	232
9.4.2	Mutation	233
9.4.3	Randbedingungen	235
9.4.4	Ausgewählte Verfahren (NSGA-II und ε -MOEA)	236
9.5	Zusammenfassung	243
10	Sensitivitätsanalyse	247
10.1	Einleitung	247
10.2	Sensitivitätsanalyse bei Linearen Modellen	248
10.2.1	Normierte Regressionskoeffizienten	248
10.2.2	Partialsumme der Quadrate	249
10.2.3	Partieller Determinationskoeffizient	250
10.2.4	Predictive Error Sum of Squares	250
10.2.5	Partielle Korrelationsfaktoren	250
10.3	Sensitivitätsanalyse bei nichtlinearen Modellen	251
10.3.1	Korrelationsverhältnis	251
10.3.2	Sobol's Kennzahl	253
10.3.3	Totaler Sensitivitätsindex	255
10.3.4	FAST (Fourier Amplitude Sensitivity Test)	255
10.4	Zusammenfassung	260
11	Strategie	261
11.1	Einleitung	261
11.2	Qualitative Systembeschreibung	262
11.3	Versuchsdurchführung und Auswertung	264
11.4	CAE	266
11.5	Software	267
	Literaturverzeichnis	271
A	Berechnungsmodell zum Fallbeispiel Rasensprenger	281
A.1	Nomenklatur	282
A.2	Berechnung	282
A.3	Erweiterungen	286
A.4	Quellcode	288

B Computer-Experiment	293
B.1 Rasensprenger mit erweitertem Faktorraum	293
B.2 Testfelder und Metamodelle	297
B.3 Sensitivitätsanalyse	310
B.4 Optimierung	311
Nomenklatur	315
Abkürzungen und Markennamen	319
Sachverzeichnis	321