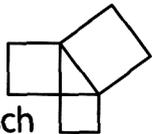


**Bernd Kost**

# **Optimierung mit Evolutionstrategien**

**Eine Einführung in Methodik und Praxis  
mit Visualisierungsprogrammen**

Verlag  
Harri  
Deutsch 

# Inhaltsverzeichnis

Vorwort .....	3
<b>I Grundlagen</b>	
<b>1 Kontinuierliche Optimierungsprobleme</b> .....	<b>11</b>
1.1 Zielfunktion und Variablen .....	11
1.2 Nebenbedingungen und zulässiger Bereich .....	18
1.3 Art des Optimums .....	27
1.4 Standardformulierung des Optimierungsproblems .....	29
1.5 Konvexität .....	30
1.6 Lösung unrestringierter Minimierungsprobleme .....	41
1.6.1 Struktur iterativer Minimierungsverfahren .....	41
1.6.2 Ableitungsgestützte Lösungsverfahren .....	43
1.6.3 Ableitungsfreie Lösungsverfahren .....	48
1.7 Behandlung von Nebenbedingungen .....	54
1.7.1 Penalty-Verfahren .....	54
1.7.2 Barriere-Verfahren .....	58
<b>2 Diskrete Optimierungsprobleme</b> .....	<b>63</b>
2.1 Allgemeine Problemformulierung .....	64
2.2 Ganzzahlige Optimierungsprobleme .....	65
2.3 Binäre Optimierungsprobleme .....	68
2.4 Rundreiseprobleme .....	68
<b>3 Diskret-kontinuierliche Optimierungsprobleme</b> .....	<b>71</b>
<b>4 Mehrzieloptimierung</b> .....	<b>75</b>
4.1 Allgemeine Problembeschreibung .....	75
4.2 Lösung durch skalare Ersatzzielfunktion .....	77
<b>5 Zufallszahlen</b> .....	<b>87</b>
5.1 Die Gleichverteilung .....	87
5.1.1 Die diskrete Gleichverteilung .....	87
5.1.2 Die stetige Gleichverteilung .....	87
5.1.3 Realisierung auf einem Computer .....	88
5.2 Die Normalverteilung .....	90
5.2.1 Die Standardnormalverteilung .....	90
5.2.2 Die BOX-MULLER-Methode .....	91

## II Evolutionsstrategien

<b>6</b>	<b>Nachahmung biologischer Mechanismen</b> . . . . .	<b>97</b>
6.1	Replikation und Mutation . . . . .	98
6.2	Rekombination . . . . .	102
<b>7</b>	<b>Mutations-Selektions-Strategie</b> . . . . .	<b>109</b>
7.1	Der Grundalgorithmus mit konstanter Schrittweite . . . . .	109
7.2	Deterministische Schrittweitenregelung . . . . .	116
7.2.1	Das Evolutionsfenster . . . . .	116
7.2.2	Die 1/5-Erfolgsregel . . . . .	117
7.3	Evolution mit verschiedenen Zufallsfolgen . . . . .	122
<b>8</b>	<b>Populationsstrategien</b> . . . . .	<b>127</b>
8.1	Strategietypen und Selektionsvarianten . . . . .	127
8.1.1	$(\mu + \lambda)$ -Evolutionsstrategie . . . . .	128
8.1.2	$(\mu, \lambda)$ -Evolutionsstrategie . . . . .	130
8.1.3	Vergleich der Selektionsvarianten . . . . .	130
8.1.4	$(\mu/\rho \dagger \lambda)$ -Evolutionsstrategie . . . . .	133
8.2	Mutative Schrittweitenregelung . . . . .	133
8.2.1	... bei genereller Schrittweite . . . . .	134
8.2.2	... bei Einzelschrittweiten . . . . .	139
8.2.3	Weiterentwicklung der Schrittweitenanpassung . . . . .	142
<b>9</b>	<b>Meta-Evolutionsstrategien</b> . . . . .	<b>145</b>
9.1	Klassische Populationsstrategien . . . . .	145
9.2	Multi-Populationsstrategien . . . . .	145
9.2.1	Allgemeines . . . . .	145
9.2.2	Strukturevolution . . . . .	147
9.3	Weitere Evolutionsstufen . . . . .	150
<b>10</b>	<b>Evolutionsstrategien und diskrete Optimierungsprobleme</b> . . . . .	<b>151</b>
10.1	Allgemeines . . . . .	151
10.2	Diskrete Variationsmechanismen . . . . .	151
10.2.1	Mutation aller Variablen . . . . .	152
10.2.2	Punktmutation . . . . .	153
10.2.3	Translokation . . . . .	153
10.2.4	Inversion . . . . .	154
10.2.5	Mutation bei binären Problemen . . . . .	155
10.2.6	Mutation bei Rundreiseproblemen . . . . .	156

### III Anwendungen

<b>11 Formoptimierung eines Fachwerks</b>	<b>161</b>
11.1 Problembeschreibung	161
11.1.1 Fachwerke	161
11.1.2 ... und ihre Berechnung	162
11.1.3 Gewichtsoptimierung	162
11.1.4 Entwurfsraumbeschränkung	164
11.2 Optimierungsergebnisse	165
11.2.1 ... mit genereller Schrittweitenregelung	165
11.2.2 ... mit Schrittweitenkorrektur	167
<b>12 Querschnittsoptimierung eines Kastenträgers</b>	<b>171</b>
12.1 Problembeschreibung	171
12.1.1 Zielfunktion	171
12.1.2 Maximale Biegespannung	172
12.1.3 Maximale Schubspannung	173
12.1.4 Kritische Beulspannung	174
12.1.5 Maximale Durchbiegung	175
12.1.6 Optimierungsmodell	176
12.2 Optimierungsergebnisse	177
<b>13 Das Bohrlochproblem</b>	<b>183</b>
13.1 Problembeschreibung	183
13.2 Optimierungsergebnisse	185
<b>14 Maschinenbelegungsplanung</b>	<b>191</b>
14.1 Problembeschreibung	191
14.2 Optimierungsergebnisse	194

### IV Anhänge

<b>A Die Visualisierungsprogramme EvoStrat und EvoPrax</b>	<b>199</b>
A.1 Download der Visualisierungsprogramme	199
A.2 Installation der Visualisierungsprogramme	199
A.3 Beschreibung von EvoStrat	199
A.4 Beschreibung von EvoPrax	201
<b>B Die Grafiksoftware Gnuplot</b>	<b>203</b>
B.1 Download von Gnuplot	203
B.2 Installation von Gnuplot	203
B.3 Arbeiten mit Gnuplot	204

---

<b>C Das Evolutionsmodul evoC 2.0</b> .....	<b>207</b>
C.1 Download von evoC 2.0 .....	207
C.2 Installation von evoC 2.0 .....	207
C.3 Arbeiten mit evoC 2.0 .....	208
C.3.1 Allgemeines .....	208
C.3.2 Ein einfaches Beispielprogramm .....	208
<b>Abbildungen</b> .....	<b>213</b>
<b>Tabellen</b> .....	<b>217</b>
<b>Beispiele</b> .....	<b>219</b>
<b>Literatur</b> .....	<b>221</b>
<b>Index</b> .....	<b>227</b>