

# Inhalt

|                                                            |           |
|------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>Vorwort</b>                                             | <b>3</b>  |
| <b>Grundlagen und Symbolverzeichnis</b>                    | <b>9</b>  |
| <b>1 Natürliche Evolution</b>                              | <b>19</b> |
| 1.1 Entwicklung der evolutionären Mechanismen . . . . .    | 20        |
| 1.2 Evolutionsfaktoren . . . . .                           | 27        |
| 1.2.1 Herleitung der Evolutionsfaktoren . . . . .          | 28        |
| 1.2.2 Mutation . . . . .                                   | 28        |
| 1.2.3 Rekombination . . . . .                              | 29        |
| 1.2.4 Selektion . . . . .                                  | 29        |
| 1.2.5 Genfluss . . . . .                                   | 31        |
| 1.2.6 Gendrift . . . . .                                   | 31        |
| 1.3 Anpassung als Resultat der Evolution . . . . .         | 32        |
| 1.3.1 Nischenbildung . . . . .                             | 32        |
| 1.3.2 Evolution ökologischer Beziehungen . . . . .         | 33        |
| 1.3.3 Baldwin-Effekt . . . . .                             | 33        |
| Übungsaufgaben . . . . .                                   | 34        |
| Historische Anmerkungen . . . . .                          | 35        |
| Referenzen . . . . .                                       | 36        |
| <b>2 Von der Evolution zur Optimierung</b>                 | <b>38</b> |
| 2.1 Optimierungsprobleme . . . . .                         | 39        |
| 2.2 Der simulierte evolutionäre Zyklus . . . . .           | 42        |
| 2.3 Ein beispielhafter evolutionärer Algorithmus . . . . . | 45        |
| 2.4 Formale Einführung evolutionärer Algorithmen . . . . . | 50        |
| 2.5 Vergleich mit der natürlichen Evolution . . . . .      | 54        |
| Übungsaufgaben . . . . .                                   | 55        |
| Historische Anmerkungen . . . . .                          | 56        |
| Referenzen . . . . .                                       | 58        |

|          |                                                                |            |
|----------|----------------------------------------------------------------|------------|
| <b>3</b> | <b>Prinzipien evolutionärer Algorithmen</b>                    | <b>60</b>  |
| 3.1      | Einleitung . . . . .                                           | 60         |
| 3.2      | Ausgeglichene evolutionäre Algorithmen . . . . .               | 64         |
| 3.3      | Selektion . . . . .                                            | 66         |
| 3.3.1    | Zufallseinfluss in der Selektion . . . . .                     | 67         |
| 3.3.2    | Eltern- vs. Umweltselektion . . . . .                          | 67         |
| 3.3.3    | Selektionsintensität . . . . .                                 | 69         |
| 3.3.4    | Beispiele nicht duplikatfreier Selektionsmethoden . . . . .    | 70         |
| 3.3.5    | Duplikatfreie Selektionsmethoden . . . . .                     | 73         |
| 3.4      | Kombinationen der Eltern- und Umweltselektion . . . . .        | 73         |
| 3.4.1    | Zusammenfassung . . . . .                                      | 77         |
| 3.5      | Evolutionäre Operatoren . . . . .                              | 77         |
| 3.5.1    | Rollen der Mutation . . . . .                                  | 77         |
| 3.5.2    | Rollen der Rekombination . . . . .                             | 82         |
| 3.5.3    | Bedeutung der Diversität . . . . .                             | 83         |
| 3.5.4    | Einfluss des Zufalls . . . . .                                 | 85         |
| 3.5.5    | Anpassungsstrategien für evolutionäre Operatoren . . . . .     | 90         |
| 3.6      | Schemata, Formae und das Price-Theorem . . . . .               | 91         |
| 3.6.1    | Schemata und Masken . . . . .                                  | 91         |
| 3.6.2    | Das klassische Schema-Theorem . . . . .                        | 95         |
| 3.6.3    | Kritik am Schema Theorem . . . . .                             | 98         |
| 3.6.4    | Entwurfsprinzipien . . . . .                                   | 99         |
| 3.6.5    | Price-Theorem . . . . .                                        | 101        |
| 3.6.6    | Zusammenfassung . . . . .                                      | 107        |
| 3.7      | Modelle des Suchprozesses . . . . .                            | 107        |
| 3.7.1    | Markov-Modellierungen . . . . .                                | 108        |
| 3.7.2    | Modellierung mit Methoden der statistischen Mechanik . . . . . | 110        |
| 3.7.3    | Grenzen der Modellierung von Suchprozessen . . . . .           | 111        |
| 3.8      | Zusammenfassung . . . . .                                      | 111        |
|          | Übungsaufgaben . . . . .                                       | 112        |
|          | Historische Anmerkungen . . . . .                              | 113        |
|          | Referenzen . . . . .                                           | 115        |
| <b>4</b> | <b>Evolutionäre Standardalgorithmen</b>                        | <b>119</b> |
| 4.1      | Genetischer Algorithmus . . . . .                              | 119        |
| 4.1.1    | Grundsätzliches Schema . . . . .                               | 119        |
| 4.1.2    | Binär kodierter GA . . . . .                                   | 122        |
| 4.1.3    | Andere Repräsentationen . . . . .                              | 125        |
| 4.2      | Evolutionsstrategien . . . . .                                 | 131        |
| 4.2.1    | Selektion . . . . .                                            | 131        |

|                                                                |            |
|----------------------------------------------------------------|------------|
| Inhalt                                                         | 7          |
| 4.2.2 Mutation . . . . .                                       | 132        |
| 4.2.3 Anpassungsstrategien . . . . .                           | 133        |
| 4.2.4 Rekombination . . . . .                                  | 137        |
| 4.3 Evolutionäres Programmieren . . . . .                      | 138        |
| 4.3.1 Ursprüngliches EP für endliche Automaten . . . . .       | 138        |
| 4.3.2 Modernes EP . . . . .                                    | 144        |
| 4.4 Genetisches Programmieren . . . . .                        | 144        |
| 4.5 Klassifizierende Systeme . . . . .                         | 152        |
| 4.6 Lokale Suche . . . . .                                     | 156        |
| 4.7 Bewertung der Standardalgorithmen . . . . .                | 161        |
| Übungsaufgaben . . . . .                                       | 163        |
| Historische Anmerkungen . . . . .                              | 164        |
| Referenzen . . . . .                                           | 165        |
| <b>5 Problemspezifische Verfahren</b>                          | <b>169</b> |
| 5.1 Evolutionäre Algorithmen mit Problemwissen . . . . .       | 169        |
| 5.2 Optimieren mit Randbedingungen . . . . .                   | 172        |
| 5.2.1 Übersicht über Methoden . . . . .                        | 173        |
| 5.2.2 Verfahren bei der Bewertung von Individuen . . . . .     | 177        |
| 5.3 Mehrzieloptimierung . . . . .                              | 179        |
| 5.4 Verrauschte Zielfunktionen . . . . .                       | 188        |
| 5.5 Dynamische Zielfunktionen . . . . .                        | 192        |
| Übungsaufgaben . . . . .                                       | 197        |
| Historische Anmerkungen . . . . .                              | 198        |
| Referenzen . . . . .                                           | 200        |
| <b>6 Fortgeschrittene Themen</b>                               | <b>204</b> |
| 6.1 Neue Techniken . . . . .                                   | 204        |
| 6.1.1 Parallelisierung von evolutionären Algorithmen . . . . . | 204        |
| 6.1.2 Koevolution . . . . .                                    | 206        |
| 6.1.3 Memetische Algorithmen . . . . .                         | 208        |
| 6.1.4 Weitere Anpassungstechniken . . . . .                    | 209        |
| 6.2 Neue Optimierungsverfahren . . . . .                       | 211        |
| 6.2.1 Populationsbasiertes, inkrementelles Lernen . . . . .    | 211        |
| 6.2.2 Differentialevolution . . . . .                          | 213        |
| 6.2.3 Ameisenkolonien . . . . .                                | 214        |
| 6.2.4 Kulturelle Algorithmen . . . . .                         | 215        |
| 6.2.5 Partikelschwärme . . . . .                               | 216        |

|          |                                                        |            |
|----------|--------------------------------------------------------|------------|
| 6.2.6    | Zerstreuende Suche . . . . .                           | 218        |
| 6.3      | Verwandte Forschungsgebiete . . . . .                  | 219        |
| 6.3.1    | Künstliche Immunsysteme . . . . .                      | 219        |
| 6.3.2    | Evolutionäre Algorithmen und neuronale Netze . . . . . | 220        |
| 6.3.3    | Evolutionäre Algorithmen und Fuzzy-Methoden . . . . .  | 222        |
| 6.3.4    | Künstliches Leben . . . . .                            | 223        |
| 6.3.5    | Evolvierende Hardware . . . . .                        | 225        |
| 6.3.6    | Evolutionäre Robotik . . . . .                         | 225        |
| 6.3.7    | DNA-Computing . . . . .                                | 226        |
| 6.3.8    | EA als biologische Simulationswerkzeuge . . . . .      | 227        |
|          | Übungsaufgaben . . . . .                               | 227        |
|          | Historische Anmerkungen . . . . .                      | 228        |
|          | Referenzen . . . . .                                   | 231        |
| <b>A</b> | <b>Benchmark-Funktionen und Anwendungen</b>            | <b>236</b> |
| A.1      | Benchmark-Funktionen . . . . .                         | 236        |
| A.2      | Typische Anwendungsgebiete . . . . .                   | 240        |
|          | Referenzen . . . . .                                   | 241        |
| <b>B</b> | <b>Weiterführende Literatur</b>                        | <b>244</b> |
| <b>C</b> | <b>Existierende Software</b>                           | <b>246</b> |
| <b>D</b> | <b>Zufallszahlen</b>                                   | <b>248</b> |
| <b>E</b> | <b>Hinweise zu den Übungsaufgaben</b>                  | <b>251</b> |
|          | <b>Liste der Algorithmen</b>                           | <b>254</b> |
|          | <b>Sachverzeichnis</b>                                 | <b>256</b> |