

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung	1
2 Evolutionäre Algorithmen	5
2.1 Biologische Motivation	5
2.1.1 Darwins Theorie zur Evolution und ihre Weiterentwicklung	5
2.1.2 Eine moderne Sicht auf die genetischen Grundlagen der Variationsmechanismen	6
2.1.3 Komplexität als Herausforderung für die Informatik	7
2.2 Evolutionäre Algorithmen	10
2.2.1 Modellierung des Genoms von Individuen	12
2.2.2 Modellierung eines Phänotyps	14
2.2.3 Modellierung von Populationen und Generationen	18
2.2.4 Zielfunktion, Fitness-Begriff und der Selektions-Operator	19
2.2.5 Rekombinations- und Mutations-Operatoren als Variations-Operatoren	20
2.3 Mathematische Metamodelle von Evolutionären Algorithmen	22
2.3.1 Metamodellierung	23
2.3.2 Das Konzept der heuristischen Suche und des Suchraums als Basis für die beiden Metamodelle	23
2.3.3 Das Radcliffe-Metamodell	26
2.3.4 Das Altenberg-Metamodell	28
2.4 Zusammenfassung	33
3 Modul- und Modularitäts-Begriff	35
3.1 Ein intuitiver Zugang zu Modulen und Modularität	35
3.1.1 Modularität in technischen Systemen	36
3.1.2 Übertragbarkeit auf allgemeine Evolutionäre Algorithmen	39
3.2 Formalisierung im Rahmen des Radcliffe-Metamodells	40
3.2.1 Formalisierung von Teilsystemen	41
3.2.2 Eine strenge Anforderung: Radcliffe-Modularität	42
3.2.3 Die Begriffe von Reinheit und Respekt	43
3.2.4 Problematische Eigenschaften des Radcliffe-Modularitäts-Begriffs .	45
3.3 Synthese der Metamodelle und Neu-Formulierung der betrachteten Konzepte	47
3.3.1 Synthese der beiden Metamodelle	47
3.3.2 Reinheit, Respekt und Radcliffe-Modularität in der Synthese der Metamodelle	48
3.4 Die Modularitäts-Matrix der reinen Rekombination	51
3.4.1 Definition des Modularitäts-Matrixelements der reinen Rekombination	51

3.4.2	Der Zusammenhang von Reinheit mit den Diagonalelementen der Modularitäts-Matrix	52
3.4.3	Zusammenhang von Respekt mit dem Wert bestimmter Elemente der Modularitätsmatrix	53
3.5	Individuen-Typ-bezogene Maße für Modularität	55
3.5.1	Gleichverteilungs-Modularitätsgrad der reinen Rekombination als populationsunabhängiges Maß	55
3.5.2	Der Effektive Modularitätsgrad der reinen Rekombination als praktikables populationsabhängiges Maß	56
3.5.3	Das Verhältnis zwischen Gleichverteilungs- und Effektivem Modularitätsgrad der reinen Rekombination	58
3.6	Integration von Mutationsphänomenen und Betrachtungen zur reinen Mutation	59
3.6.1	Integration von Mutationsphänomenen	59
3.6.2	Modellierung reiner Mutation und die Konsequenzen für Modularität und Respekt	61
3.7	Zusammenfassung	62
4	Bestehende Ansätze und ein Metamodell	65
4.1	Individuen als Module und Modulare Individuen	66
4.1.1	Michigan-Modelle	66
4.1.2	Pittsburgh-Modelle und hybride Ansätze	68
4.2	Bezug des eingeführten Modularitätsbegriffs zur Building-Block-Hypothese	69
4.2.1	Schemata und das Schema-Theorem	69
4.2.2	Schemata als Äquivalenzklassen von respektierten Äquivalenzrelationen	71
4.2.3	Allgemeine Abschätzung der Modularitäts-Matrixelemente der reinen Rekombination	72
4.3	Ein formaler Rahmen für komplexere Genom-Strukturen	73
4.3.1	Genotypen, Phänotypen und ihre Darstellung	73
4.3.2	Äquivalenzrelationen und -klassen über der Menge der Genotypen und der Menge der Phänotyp-Darstellung	75
4.4	Der Linkage Learning Genetic Algorithm (LLGA)	76
4.4.1	Das Codierungsschema des LLGA	76
4.4.2	Respekt und Modularität beim Rekombinationsmechanismus des LLGA	77
4.4.3	Ergebnisse zum LLGA	81
4.5	Modularität als Eigenschaft der Genotyp-Phänotyp-Abbildung	81
4.5.1	Adaptive Genotyp-Phänotyp-Abbildungen	81
4.5.2	Ein Gedankenexperiment für eine Adaptive Genotyp-Phänotyp-Abbildung	83
4.5.3	Verschieden starke Auswirkungen von reinen Mutationen im Gedankenexperiment	84
4.5.4	Einführung von Rekombination im Gedankenexperiment und Betrachtungen zu Reinheit und Respekt	86
4.5.5	Abhängigkeit der Modularitäts-Matrixelemente der reinen Rekombination von der Abbildung μ' im Gedankenexperiment	87
4.5.6	Ergebnisse des Gedankenexperiments zu Adaptiven Genotyp-Phänotyp-Abbildungen	88
4.6	Adaptive Mutationsraten	88

4.6.1	Erweiterung des Genotyps durch Mutationsraten	89
4.6.2	Respekt und Modularität bei Adaptiven Mutationsraten	90
4.7	Das abstrakte MetaEA-Modell	90
4.7.1	Gemeinsamkeiten der vorhergehenden Modelle	90
4.7.2	Problematik der Verwendung der konkreten Modelle für die weiteren Untersuchungen	91
4.7.3	Anforderungen an das MetaEA-Modell	92
4.7.4	Der Genotyp von MetaEA	93
4.7.5	Die evolutionären Operatoren von MetaEA	98
4.7.6	Einige einfache Fallbeispiele zur Wirkungsweise des Algorithmus	101
4.7.7	Die Matrixelemente von MetaEA	102
4.8	Zusammenfassung	103
5	Selbstorganisierte Modularisierung	105
5.1	Selbstorganisation im Kontext von Modularität	106
5.2	Entwicklung der Modularität bei neutraler Evolution	106
5.2.1	Betrachtung reiner Rekombination	106
5.2.2	Betrachtung reiner Mutation	109
5.2.3	Diskussion der Ergebnisse	111
5.3	Theoretische Überlegungen zu Selektion und Modularität	112
5.3.1	Verschiebung der Sichtweise und Nachkommen-Zielfunktion	112
5.3.2	Betrachtung einfacher Spezialfälle von Selektion	115
5.3.3	Zusammenhang zwischen Nachkommenzahl und dem Effektiven Modularitätsgrad	117
5.3.4	Folgerungen aus den theoretischen Überlegungen	119
5.4	Überprüfung des M - N -Zusammenhangs durch Simulation	120
5.4.1	M - N -Streuplots als Vergleichsmöglichkeit zwischen theoretischen Vorhersagen und Simulationsergebnissen	121
5.4.2	Ein einfaches Testzenario mit $N^{[R]} = 1$ und $N^{[M]} = 1$	122
5.4.3	Auswirkungen von Parameteränderungen am einfachen Testzenario	125
5.4.4	Ergebnis des Theorie-Simulations-Vergleichs	128
5.5	Effekte Selbstorganisierter Modularisierung	129
5.5.1	Verschiebung der Cluster beim einfachen Testzenario	129
5.5.2	Selektions-Effekte aus höherem Gleichverteilungs-Modularitätsgrad einer bestimmten Modifikatorklasse	132
5.5.3	Selektions-Effekte bei mehreren Respektklassen identischer Gleichverteilungs-Modularität	138
5.5.4	Selektions-Effekte bei mehreren Respektklassen unterschiedlicher Gleichverteilungs-Modularität	142
5.5.5	Zwei komplexere Szenarien	144
5.6	Bezug zu Evolutionären Algorithmen außerhalb des MetaEA-Rahmens	146
5.6.1	Bekannte Effekte in bestehenden Ansätzen und die Rolle von Schemas in Einfachen Genetischen Algorithmen	147
5.6.2	Generelle Schlußfolgerungen für die Modellierung und Simulation von Evolutionären Algorithmen	148
5.7	Zusammenfassung	150
6	Software-Werkzeuge	153
6.1	Anforderungen	154

6.1.1	Entwicklung eines MetaEA-Simulators mit angemessenen Interaktions-Möglichkeiten	154
6.1.2	Größtmögliche Plattformunabhängigkeit	155
6.1.3	Größtmögliche Modellfreiheit bei der Implementierung abstrakter Konzepte und Offenheit für Erweiterungen	155
6.2	Komponenten und Aufbau der Simulationsumgebung	156
6.2.1	Wahl der bestehenden Komponenten und der Entwicklungsumgebung	156
6.2.2	Konzeptueller Aufbau des Simulators	157
6.3	Neu implementierte zentrale Bestandteile	159
6.3.1	Modellierung von Äquivalenzrelationen und Äquivalenzklassen .	159
6.3.2	Erweiterung der GALib um Kenngrößen	160
6.3.3	Die Implementation von MetaEA	161
6.4	Interaktion und Visualisierung in einer graphischen Benutzeroberfläche	161
6.4.1	Das allgemeine Konzept	161
6.4.2	Einzelläufe	162
6.4.3	Steuerung von automatisierten, systematischen Simulationsexperimenten	165
6.5	Zusammenfassung	166
7	Zusammenfassung und Ausblick	167
A	Technische Herleitungen	171
A.1	Beweis für den fehlenden Respekt beim Beispiel aus Abschnitt 4.5.4	171
A.2	Herleitung der vereinfachten Formel für n_{jk} aus Abschnitt 5.3.3	173
A.3	Herleitung des Anteils der Klasse ξ^{\dagger} an Population y aus Abschnitt 5.4.2	175
B	Wichtige Bezeichnungen	177
C	Inhalt der zur Arbeit gehörenden CD-ROM	179
C.1	Allgemeines	179
C.2	Inhalt	179