

INAUGURAL-DISSERTATION

zur

Erlangung der Doktorwürde

der

Naturwissenschaftlich-Mathematischen

Gesamtfakultät

der

Ruprecht-Karls-Universität

Heidelberg

vorgelegt von

Diplom-Physiker Alexander Sinsel

aus Frankfurt am Main

Tag der mündlichen Prüfung:

18. Februar 2011

**Organic Computing als Konzept
zur Steuerung interagierender Prozesse
in verteilten Systemen**

Erstgutachter: Professor Dr. Dr. Thomas Ludwig
Zweitgutachter: Professor Dr. Gregor Schöner

Bibliografische Information der Deutschen Bibliothek

Die Deutsche Bibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.ddb.de> abrufbar.

Erstgutachter: Prof. Dr. Dr. Thomas Ludwig
Zweitgutachter: Prof. Dr. Gregor Schöner
Tag der mündlichen Prüfung: 18.02.2011

Sinsel, Alexander:

Organic Computing als Konzept zur Steuerung interagierender Prozesse in verteilten Systemen
ISBN 978-3-941274-67-9

Alle Rechte vorbehalten

1. Auflage 2011

© Optimus Verlag

URL: www.optimus-verlag.de

Printed in Germany

Papier ist FSC zertifiziert (chlorfrei, holzfrei und säurefrei)
sowie alterungsbeständig nach ANSI 3948 und ISO 9706)

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes in Deutschland ist ohne Zustimmung des Autors unzulässig und strafbar. Dies gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Inhaltsverzeichnis

Danksagung	III
Inhaltsverzeichnis	V
1. Einführung	1
1.1. Motivation	1
1.2. Ausgangslage und Problemstellung	3
1.3. Zielsetzung der Arbeit	5
1.4. Aufbau der Arbeit	5
2. Organic Computing als Forschungsinitiative	7
2.1. Das begriffliche Spektrum von Organic Computing	7
2.2. Exemplarische Erläuterung der angestrebten Qualitätsmerkmale	18
2.2.1. Ameisenstraßen	19
2.2.2. Die Zellmembran und ihre neurophysiologische Funktion	21
2.2.3. Retinotopie	30
2.2.4. Das Routing beim Internetworking	36
2.3. Informationstechnologische Umsetzung	39
2.3.1. Organic Computing auf der Plattform digitaler Halbleitertechnologie	40
2.3.2. Abkehr vom digitalen Determinismus	43
2.3.3. Analoge Silizium-Technologie	44
2.3.4. Selbst-konfigurierende Substrate	45
3. Selbstorganisation	47
3.1. Historischer Abriss	47
3.2. Der dynamische Formalismus	51
3.2.1. Lineare Systeme	52
3.2.2. Das Anfangswertproblem	54
3.2.3. Phasenraumcharakteristik	55
3.2.4. Lineare Stabilitätsanalyse	59
3.2.5. Bifurkation	61
3.2.6. Ein globales Stabilitätskriterium	63
3.3. Klassische Modelle der Selbstorganisationsforschung	65
3.3.1. Konservative Selbstorganisation	65
3.3.2. Dissipative Selbstorganisation	66
3.3.3. Chaos	67
3.3.4. Adiabatische Elimination der schnellen Moden	70
3.3.5. Musterbildung	71
3.3.6. Randbedingungen	72

3.4.	Selbstorganisation in den Neurowissenschaften	73
3.4.1.	Feuerratenmodelle neuronaler Netze	73
3.4.2.	Lernen und Mustererkennung im Hopfield-Netz	77
3.4.3.	Kortikale Dynamik	80
3.4.4.	Retinotope Abbildungen	86
4.	Grundlegung zum zielorientierten Systementwurf	89
4.1.	Stand der Wissenschaft	89
4.2.	Problemanalyse	91
4.3.	Die syntaktische Auffassung von Informationsverarbeitung	94
4.3.1.	Von dynamischen zu formalen Systemen	95
4.3.2.	Repräsentationale Semantik	99
4.3.3.	Strukturelle Semantik	104
4.3.4.	Wahrnehmung, Anschauung und Begriff	106
4.4.	Eine Naturalisierung des Informationsbegriffs	112
4.4.1.	Argumente für einen topologischen Strukturalismus	113
4.4.2.	Struktur und Wechselwirkung	118
4.4.3.	Explanatorische Gesichtspunkte	125
4.4.4.	Semantik neuronaler Dynamik	126
4.4.5.	Fehleranfälligkeit des algorithmischen Schemas	130
4.5.	Der zielorientierte Systementwurf	134
4.5.1.	Die Zielvorgabe am Beispiel des Sortierproblems	134
4.5.2.	Hierarchische Strukturierung	137
4.5.3.	Definition von Subsystemen	139
4.5.4.	Entwurfsschritte	141
5.	Transfer auf das Problem der Steuerung interagierender Prozesse in verteilten Systemen	143
5.1.	Parallele Datenverarbeitung in verteilten Systemen	143
5.2.	Verwandte Arbeiten	155
5.3.	Anwendung der Entwurfsstrategie	157
5.3.1.	Die Disposition eines Knotens als Zustandsvariable	158
5.3.2.	Die Latenzzeit als Distanzmaß	160
5.3.3.	Formulierung der Wechselwirkung	165
5.3.4.	Kosten und Skalierbarkeit	168
5.3.5.	Dispositionsbasierte Lastverteilung	170
5.3.6.	Aspekte der Stabilität	171
5.4.	Simulationen und Parameteroptimierungen	172
5.4.1.	Modelle der Netzwerktopologie	173
5.4.2.	Berücksichtigung der Rechenleistung	186
5.4.3.	Fehlertoleranz	187
5.4.4.	Selbst-X-Eigenschaften	187
5.4.5.	Zusammenfassung der Simulationsergebnisse	192
6.	Darlegung einer technischen Umsetzung	195
6.1.	Entwurf eines P2P Grid	196
6.1.1.	Anforderungen an ein P2P Grid	197
6.1.2.	Grundentwurf	199

6.1.3.	Verteilte Berechnung der Disposition	201
6.1.4.	Auffinden von Clustern in einem P2P System	206
6.1.5.	Scheduling mit dynamischer Lastverteilung	209
6.2.	Implementierung in Java	212
6.2.1.	Die Entwicklungsumgebung	214
6.2.2.	Anpassung der Parameter	214
6.2.3.	Systemüberblick	217
7.	Zusammenfassung, Fazit und Ausblick	221
7.1.	Zusammenfassung	221
7.2.	Fazit	225
7.3.	Ausblick	226
	Literaturverzeichnis	227
	Abbildungsverzeichnis	245
	Tabellenverzeichnis	247
A.	Zusätzliche Erläuterungen	249
A.1.	Logische Operationen und Schaltkreise	249
A.2.	Die allgemeine Lösung eines linearen Systems von Differentialgleichungen	252
A.3.	Topologische Grundbegriffe	254
A.4.	Phasenportraits zweidimensionaler linearer Differentialgleichungssysteme .	257
A.5.	Turing-Instabilität im Gierer-Meinhardt-Modell	259
A.6.	Wahrnehmungsphänomene	265
A.7.	Das semiotische Dreieck	267
B.	Stabilitätsanalyse der stationären Zustände im neuronalen Feld	269
C.	Dynamik diskretisierter, inhomogener neuronaler Felder	272
D.	Weitere Simulationen	275
	Index	281