

[Diese Dissertation ist als Buch erschienen](#)

**Anwendungsentwicklung selbstorganisierender Systeme:
Systematische Konstruktion und Evaluierung**

Ante Vilenica

Anwendungsentwicklung selbstorganisierender Systeme:
Systematische Konstruktion und Evaluierung

Ante Vilenica

ISBN: 9783844283792

Format: DIN A4 hoch

288 Seiten

Erschienen im Februar 2014

Druck und Vertrieb über:

epubi GmbH

(<http://www.epubi.de/shop/buch/Anwendungsentwicklung-selbstorganisierender-Systeme-Systematische-Konstruktion-und-Evaluierung-Ante-Vilenica-9783844283792/34915>)

Zusammenfassung

Für moderne verteilte Anwendungen und Systeme mit stark dezentraler Steuerung und hohen Adaptionsanforderungen in dynamischen Umgebungen hat sich das Paradigma der *Selbstorganisation (SO)* als vielversprechender Lösungsansatz herausgestellt. Die besondere Bedeutung dieses Konzeptes ergibt sich aus der Möglichkeit, damit Anwendungen zu entwickeln, die zur Laufzeit *selbstadaptive* Verhalten aufweisen. Derartige Anwendungen sind im Hinblick auf aktuelle Herausforderungen in Informations- und Kommunikationssystemen, wie z.B. die zunehmende Heterogenität, Interaktionsdichte, Dynamik und Komplexität, von besonders hoher Relevanz. Im Rahmen der *Realisierung* selbstorganisierender Systeme und Anwendungen hat sich neben der reinen Modellierung vor allem deren systematische Umsetzung in entsprechende Softwaresysteme als besonders schwierig dargestellt. Deshalb leistet diese Dissertation mit der Entwicklung eines Lösungskonzeptes einen Beitrag zur systematischen Anwendungsentwicklung selbstorganisierender Systeme und fokussiert dabei speziell auf die wichtigen Entwicklungsphasen der *Konstruktion* und *Evaluation* derartiger Systeme.

Im Rahmen einer detaillierten Analyse des Konzeptes der SO erarbeitet diese Dissertation zunächst dessen charakteristische Eigenschaften, die neben der Selbstadaptivität auch inhärente nichtfunktionale Eigenschaften, wie Skalierbarkeit und Robustheit, beinhalten. Dabei wird aufgezeigt, dass die konkrete softwaretechnische Nutzarmachung des Konzeptes der SO, u.a. wegen des nichtlinearen und nichtdeterministischen Verhaltens selbstorganisierender Systeme, dem Auftreten ungewollter emergenter Phänomene und der Schwierigkeit der formalen Analyse des Laufzeitverhaltens, eine besondere Herausforderung darstellt. In der Summe führt dies dazu, dass etablierte Softwareentwicklungsansätze sich für selbstorganisierende Systeme nur bedingt eignen, und existierende Arbeiten zur systematischen Entwicklung selbstorganisierender Systeme, welche sich weitestgehend auf die Phasen des Entwurfs und der Modellierung konzentrieren, zur Bewältigung dieser Herausforderung - insbesondere in den Phasen der Konstruktion und Evaluation - nicht ausreichend sind.

Daher wird in dieser Dissertation zunächst eine Anforderungsanalyse durchgeführt, welche für die Phasen der Konstruktion und Evaluation die jeweils speziellen Herausforderungen charakterisiert, die sich bei der softwaretechnischen Nutzarmachung des Konzeptes der SO ergeben, und welche auch die grundlegende Bedeutung dezentraler Koordinationsfunktionalität deutlich macht. Darauf aufbauend wird ein neuartiges Konzept für die Konstruktion selbstorganisierender Systeme vorgeschlagen. Dieses beinhaltet eine Integrationsarchitektur, die auf konzeptioneller Ebene von einer Trennung von funktionalen Aspekten und solchen der Koordination ausgeht. Auf technischer Ebene demonstriert eine dazu korrespondierende Referenzimplementierung die Möglichkeit einer weitgehend „nahtlosen“ Integration des Lösungskonzeptes in ein etabliertes Framework zur Implementierung verteilter Anwendungen. Für die anschließende Evaluierungsphase der so vorgeschlagenen Systemarchitektur wird dazu ein Konzept zur quantitativen Bewertung der Laufzeiteigenschaften selbstorganisierender Anwendungen erarbeitet, welches u.a. auch eine weitgehende Automatisierung dieser Tätigkeit ermöglicht. Es umfasst u.a. eine Methodik, welche die Evaluierung schrittweise anleitet, eine deklarative Beschreibungssprache zur Spezifizierung von Evaluations szenarien sowie eine dazu korrespondierende Ausführungsumgebung.

Als Ergebnis dieser Dissertation sind damit sowohl ein neuartiger Ansatz zur Konstruktion selbstorganisierender Anwendungen als auch eine zugehörige Entwicklungsumgebung entstanden, die auf konzeptioneller wie auf technischer Ebene integrierte Lösungskonzepte zur systematischen Konstruktion und zur weitgehend automatisierten Evaluierung selbstorganisierender Anwendungen und Systeme umfassen.

Abstract

Self-Organisation (SO) has turned out to be a promising paradigm for developing advanced distributed applications and systems with strongly decentralised control and high demands for *self-adaptive* behaviour in dynamic environments. Such distributed applications are of high significance for information and communication systems since they are able to address aspects of complexity, heterogeneity, interaction frequency and dynamics which are currently increasingly relevant in these domains. For constructing software systems with self-organising properties not only the way of modeling but even more a purposeful and systematic way of building them are important and challenging tasks. Consequently, this thesis contributes to the development of a holistic approach to realise self-organising software systems by specifically focusing on the aspects of *implementation* and *evaluation* within the engineering process of self-organising distributed software applications.

This thesis analyses the concept of SO in detail and denotes the inherent positive characteristics of these systems such as scalability, robustness and self-adaptivity. However, it also identifies negative characteristics such as unintended emergent phenomena, non-linear and non-deterministic behaviour and the shortfall of formal methods to analyse the runtime behaviour that challenge all together the purposeful utilisation of the concept of SO for distributed applications. Due to these specific characteristics of self-organising systems, standard development methods for distributed systems cannot be applied or have to be significantly redesigned. Additionally, most development methods that specifically target self-adaptive systems focus on design and modeling and thereby neglect later phases of the development process, such as implementation and evaluation.

Consequently, this thesis identifies the specific requirements for the system implementation and evaluation within the software development process for self-organising applications and discloses the fundamental impact of decentralised coordination for such systems. Based on these results, a new approach for the implementation of self-organising systems is proposed. From a conceptual point of view, it consists of an *integration architecture* that recommends and guides the separation of functional concerns from those of coordination. At the technical level, it is accompanied by a corresponding *reference implementation* that demonstrates the applicability of the concept and, furthermore, presents ways of a seamless integration of the proposed development approach for self-organising systems into a well-established software implementation framework for distributed applications. The subsequent *evaluation phase* is addressed by a new method that allows *quantitative* evaluations of the runtime behaviour of self-organising applications. The underlying concept takes into account the proposed integration architecture and also allows for - in most cases - automatically conducting evaluation studies. It consists of a *methodology* that guides the evaluation process stepwise, a *formal language* that allows for specifying evaluation scenarios and a corresponding *execution infrastructure*.

In conclusion, this thesis leads to a novel approach for systematic and guided construction as well as for (automated) evaluation of self-organising applications and addresses related issues both at a conceptual and also at a concrete technical level.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Motivation	1
1.2	Gegenstand der Forschung	3
1.3	Problemstellung	4
1.4	Zielsetzung	5
1.5	Vorgehensweise	6
1.6	Ergebnisse und Beiträge	8
2	Zur Konzeption selbstorganisierender Systeme	11
2.1	Selbstorganisation	11
2.1.1	Definition	12
2.1.2	Emergenz	13
2.1.3	Adaptivität	15
2.2	Selbstadaptive Systeme	17
2.2.1	Dimensionen	17
2.2.2	Hierarchie	18
2.2.3	Autonomic Computing	21
2.2.4	Organic Computing	24
2.2.5	Charakteristische Unterscheidungsmerkmale	26
2.3	Selbstorganisation durch Koordination	27
2.3.1	Konzeptionelles Modell	27
2.3.2	Koordination und Interaktion	28
2.3.3	Koordinationsmechanismen	30
2.4	Bedeutung selbstorganisierender Systeme für verteilte Systeme	33
2.4.1	Charakteristischen Eigenschaften	34
2.4.2	Nichtfunktionale Anforderungen	36
2.5	Zusammenfassung	37
3	Zur Entwicklung selbstorganisierender Systeme	39
3.1	Analyse der Hauptbestandteile	39
3.1.1	Feedback-Schleifen	40
3.1.2	Koordination	43
3.1.3	Agenten und Aktive Komponenten	46
3.1.4	Umgebung	50
3.2	Systematische Entwicklung selbstorganisierender Systeme	54
3.2.1	Herausforderungen	54
3.2.2	Prinzipielle Entwicklungsstrategien	57
3.2.3	Existierende Entwicklungsansätze	59
3.3	Spezielle Herausforderungen für die Konstruktion	67

3.4	Spezielle Herausforderungen für die Evaluation	69
3.5	Zusammenfassung	72
4	Konstruktion selbstorganisierender Systeme	75
4.1	Übersicht	75
4.2	Klassifikation und Erweiterbarkeit von existierenden Ansätzen .	75
4.2.1	Allgemeine Klassifikation	76
4.2.2	Bewertung	79
4.2.3	Das Konzept des Environment Support	80
4.3	Vorgehensweise	82
4.4	Die Integrationsarchitektur des Coordination Space	83
4.4.1	Konzeptuelles Modell	83
4.4.2	Softwaretechnische Betrachtung	86
4.4.3	Verteilung	90
4.4.4	Meta-Modell für indirekte Interaktion	92
4.5	Die Ausführungsumgebung des Coordination Space	94
4.5.1	Programmiersplattform	95
4.5.2	Applikationskonzept	95
4.5.3	Umgebungen	97
4.5.4	Realisierung	98
4.5.5	Verteilung	102
4.6	Implementierung von Koordinationsmedien	105
4.6.1	Lokale Varianten	105
4.6.2	Verteilte Varianten	108
4.7	Zusammenfassung	111
5	Evaluation selbstorganisierender Systeme	115
5.1	Übersicht und Motivation	115
5.2	Existierende Ansätze	117
5.2.1	Unzulänglichkeit formaler Methoden	117
5.2.2	Bestehende Arbeiten zur Verhaltensanalyse	119
5.2.3	Bestehende Arbeiten zur Vergleichsanalyse	130
5.3	Vorgehensweise	147
5.4	Methode der Evaluation	148
5.4.1	Generelle Übersicht	149
5.4.2	Prinzipielle Auswahl	150
5.4.3	Formale Szenariobeschreibung	151
5.4.4	Durchführung und Messung	152
5.4.5	Evaluation und Bewertung	152
5.5	Formale Beschreibungssprache	154
5.5.1	Aufbau	154
5.5.2	Generelle Komponenten	156
5.5.3	Spezifische Komponenten	164
5.6	Ausführungsumgebung	172
5.6.1	Konzeptioneller Aufbau der Architektur	173

5.6.2	Prototypische Umsetzung	179
5.7	Einordnung von Metriken	187
5.7.1	Allgemeine Betrachtung	188
5.7.2	Spezielle Betrachtung	190
5.8	Zusammenfassung	191
6	Anwendung und Bewertung	197
6.1	Selbstadaptive Service-Auswahl und Prozessausführung	197
6.1.1	Architektur der Ausführungsumgebung	197
6.1.2	Betrachtung der Systemdynamik	198
6.1.3	Erklärungsmodell für die Service-Auswahl	201
6.1.4	Konstruktion der Ausführungsumgebung	202
6.1.5	Evaluierung des Anwendungsszenarios	205
6.1.6	Bewertung	208
6.2	Digitale Pheromone	210
6.2.1	Optimierung von Ameisenkolonien	211
6.2.2	Rettung von Erdbebenopfern	214
6.2.3	Bewertung	215
6.3	Mars-Welt	215
6.3.1	Szenariobeschreibung	216
6.3.2	Konstruktion	216
6.3.3	Evaluierung unterschiedlicher Anwendungsszenarien	218
6.3.4	Bewertung	220
6.4	Zusammenfassung	221
7	Zusammenfassung und Ausblick	223
7.1	Zusammenfassung	223
7.2	Ausblick	228
	Eigene Veröffentlichungen	231
	Abbildungsverzeichnis	235
	Tabellenverzeichnis	239
	Verzeichnis der Codebeispiele	241
	Literaturverzeichnis	243
	Abkürzungsverzeichnis	273
	Eidesstattliche Versicherung	275
