



ACADEMIA ENGELBERG

2nd Dialogue on Science – 15 - 17 October 2003
in Engelberg, Switzerland

Hayeks Katallaxie: Ein zukunftsweisendes Kon- zept für die unsichtbare und schlaue Welt?

Günter Müller, Prof. Dr.,

Institut für Informatik und Gesellschaft - Telematik,

Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, Deutschland

Kontakt:

Friedrichstr. 50, DE-79098 Freiburg

E-Mail: mueller@iig.uni-freiburg.de



Einführung

Ob ein Leben in einer informatisierten Welt zum Fluch oder Segen wird, ist nicht beantwortbar. Goethe hat in seinem Zauberlehrling vor dem Geist oder der Flasche gewarnt. Vermeiden hat er ihn nicht können. Dieser Vortrag soll zeigen, dass das Unsichtbare zumindest theoretisch beherrscht werden kann. Sicher ist, dass der mobile Einsatz von Informationstechnologie und die zunehmende Allgegenwärtigkeit von Computern in Alltagsgegenständen Realität wird. Ihre Dienste sind jederzeit und an jedem Ort verfügbar, können sich der Umwelt anpassen und je nach Kontext neu konfigurieren sowie mit der notwendigen Software versehen, auch Entscheidungen treffen. Eine Theorie zur Erhaltung von planbarem Handeln und Koordination auf der Ebene des Gesamtsystems bei Entscheidungsfreiheit der Individuen hat Hayek für Volkswirtschaften entwickelt. In diesem Vortrag wird exemplarisch gezeigt, dass die Erklärungskonzepte ökonomischer Selbstorganisation zumindest eine Option für eine dezentrale Koordination von Informationssystemen sowie zu deren Gestaltung sind. Für experimentelle Systeme, in denen unsichtbare Mikroprozessoren simuliert wurden, konnte in einer Reihe von Experimenten in Freiburg gezeigt werden, dass durch eine gezielte Veränderung dieser Rahmenbedingungen das Verhalten der einzelnen Elemente direkt und damit das Verhalten des Gesamtsystems indirekt beeinflusst werden [Eyma00; Pado01; Sack02].

Hayeks Katallaxie und Selbstorganisation

„Denn in Wirklichkeit können wir eine Ordnung von Unbekanntem nur dadurch bewirken, dass wir es veranlassen, sich selbst zu ordnen“ [Haye96, S. 88].

Das Lebenswerk von Friedrich August von Hayek [Haye01] das damit verbundene Konzept der Katallaxie¹ ist meist nur Gegenstand weltanschaulicher Diskussionen. Der technische Fortschritt in der Mobilität und Miniaturisierung und damit die Entstehung wirklich dezentraler Informationssysteme legen jedoch die Idee nahe, Hayeks Katallaxie-Konzept und die sich daraus ergebende „spontane Ordnung“ als konkrete Anregung für die Gestaltung und Koordination von Informationssystemen zu nutzen.

¹ Das altgriechische Wort *katallatein* bedeutet nicht nur „austauschen“, sondern auch „versöhnen“ und „Feindschaft beilegen“. Im ökonomischen Kontext wurde der Begriff Katallaxie zuerst von Ludwig von Mises als Bezeichnung für die theoretische Wissenschaft, die sich mit dem Marktgeschehen befasst, benutzt.



Selbstorganisation in Informationssystemen

Auf der Suche nach Beispielen der Selbstorganisation richtet sich der Blick auf Artefakte anderer Wissenschaftszweige, z.B. die biologische Evolution und ökonomische Märkte [Kauf95]. In Adam Smith' Beschreibung der „unsichtbaren Hand“ [Smit90] konkurrieren Marktteilnehmer um begrenzte Ressourcen und koordinieren sich allein durch Verfolgung ihres eigenen Nutzens. Eine formale Beschreibung dieses selbstorganisierenden Marktmechanismus existiert jedoch bis heute nicht.

Grundsätzlich können (Informations-) Systeme bei Vorliegen folgender Eigenschaften als selbstorganisierend bezeichnet werden [MuKS03] [Prob92]:

- Komplexität: Ein selbstorganisierendes System ist ein komplexes Netzwerk von sich wechselseitig beeinflussenden Interaktionen. Die Beziehungen zwischen den einzelnen Komponenten sind dynamisch, somit kann jede Veränderung eine bestehende Ordnung verändern oder durch die lokale, eigennützige Optimierung der Komponenten eine neue erzeugen.
- Autonomie: Ein selbstorganisierendes System steuert sich selbst innerhalb eines gegebenen Regelrahmens, der die Aktionsmöglichkeiten der einzelnen Komponenten einschränkt und in Form von Verboten definiert ist. Die Beziehungen und Interaktionen innerhalb des Systems werden endogen hervorgerufen und ergeben systemweite Muster.
- Redundanz: Es existiert kein "Organisator", der alleine für die Gestaltung des Systems zuständig ist. Entscheidungen werden dezentral von redundanten Komponenten getroffen, denen nur unvollständige, direkt verfügbare Informationen sowie begrenzte Verarbeitungsmöglichkeiten zur Verfügung stehen. Eine Sicht auf das Gesamtsystem und ein Wissen über die Interdependenzen existiert nicht.

Abstraktionsebenen der technischen Entwicklung

Zwei Entwicklungstendenzen haben das Potential, die Nutzung und Einsatzgebiete von Informationssystemen auf breiter Basis zu verändern. Erstens ermöglicht der **mobile Einsatz von Informationssystemen** den Menschen eine globale Erreichbarkeit bei gleichzeitiger Beibehaltung der gewohnten Dienste. Zweitens führt die **Einbettung von Rechnern** zu einer „Allgegenwärtigkeit“ von Information. Diese Entwicklung der Hardware erfordert Softwaresysteme, welche die Interaktion zwischen einer Infrastruktur aus allgegenwärtigen Rechnern und einer informatisierten Anwendungsdomäne steuern und koordinieren (Bild 1).

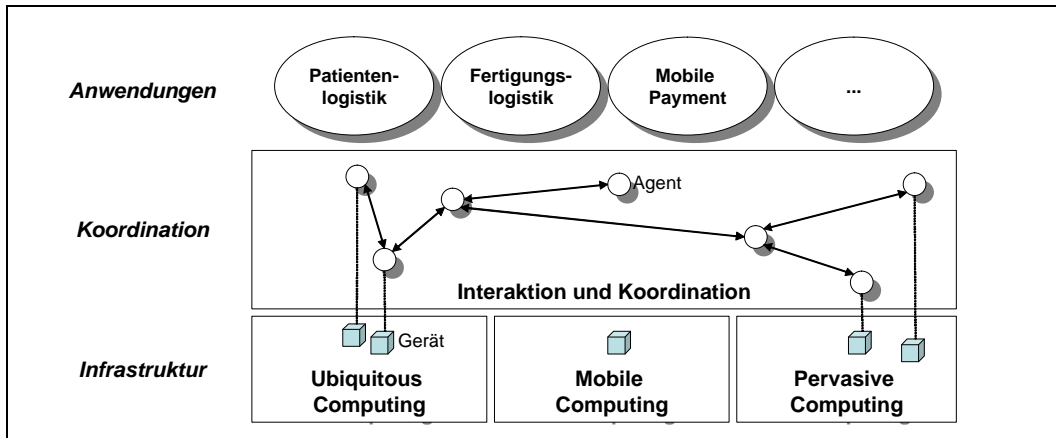


Bild 1 Ein Schichtenmodell dezentraler Informationssysteme

Derzeit werden anhand der Eigenschaften „mobil“, „kontextsensitiv“ und „verschwindend“ drei separate Entwicklungsrichtungen unterschieden [LyYo02]:

Beim **Mobile Computing** bewegen sich die Zugangsgeräte physikalisch mit ihren Besitzern und mit ihnen der Zugang zu IT-Diensten. Wesentliches Merkmal des Mobile Computing in einer ersten Phase [MuEK02] ist, dass sich die Vorstellung oder Konstitution eines Dienstes - abgesehen vom mobilen Zugang - vom stationären Fall nicht unterscheidet.

Beim **Pervasive Computing** nutzt ein Gerät Umgebungsinformationen für eine permanente und nahtlose Anpassung seiner internen Realitätsmodellierung an eine sich ständig verändernde Wirklichkeit [Matt01]. Dies setzt eine intelligente oder „smarte“ Umwelt voraus, die ein in sie eindringendes Gerät entdeckt und über dessen Sensoren oder Kommunikationsschnittstellen mit ihm kommuniziert.

Ubiquitous Computing (UC) schließlich kombiniert die beiden vorhergehenden Entwicklungen. Jeder Rechner steht während des Bewegens unablässig mit der Umwelt in Wechselwirkung. Dienste und die interne Realitätsmodellierung passen sich ständig und selbstständig der Wirklichkeit an [BaBe02], wobei sich die einzelnen Geräte in ihren Fähigkeiten und Ressourcen stark voneinander unterscheiden. Durch die Kommunikation mit der Umwelt können sie zum Ausgleich „Metadienste“ bilden, die durch die spontane Vernetzung von lokal nahen, mobilen und stationären Geräten und deren Diensten ermöglicht werden [MuEK02].

Spontane Ordnung in unsichtbarer Welt

Ausgangspunkt der Experimente ist die Wertschöpfungskette in Abb. 2- Holzfäller, Schreiner und Möbelhersteller und führen wirtschaftliche Handlungen selbständig durch. Sie agieren in den Experimenten als automatisierte Produzenten [KeHG00], die auf den elektronischen Marktplätzen benötigte Inputfaktoren von anderen Agenten kaufen, diese durch einen (simulierten) Pro-

duktionsprozess in ein Zwischen- oder Endprodukt umwandeln und das hergestellte Produkt wiederum an andere Agenten verkaufen.

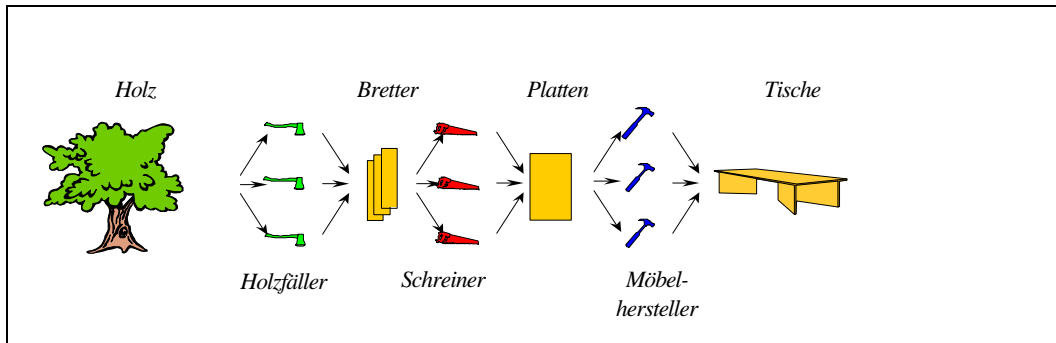


Bild 2 Wertschöpfungskette der Experimente

Im ersten Experiment geht es um die Findung von Preisen. In der Verhandlungsphase startet ein Agent eine bilaterale Preisverhandlung und entsprechend eines monotonen Konzessionsprotokolls [RoZl94] werden alternierend Gebote ausgetauscht, bis es zu einer Einigung oder einem Verhandlungsabbruch² kommt. Der realisierte Transaktionspreis verändert bei beiden Agenten die subjektive Einschätzung des Marktpreises mit entsprechenden Rückkopplungen auf die Strategie. Außerdem wird der Initialpreis, mit dem ein Agent in die Verhandlung einsteigt, im Sinne der Nutzenmaximierung erhöht bzw. vermindert (vertiefend [Eyma00]).

² Eine Verhandlung wird beispielsweise dann abgebrochen, wenn der Angebotspreis des Verhandlungspartners außerhalb eines Bandes um die subjektive Einschätzung des aktuellen Marktpreises liegt.

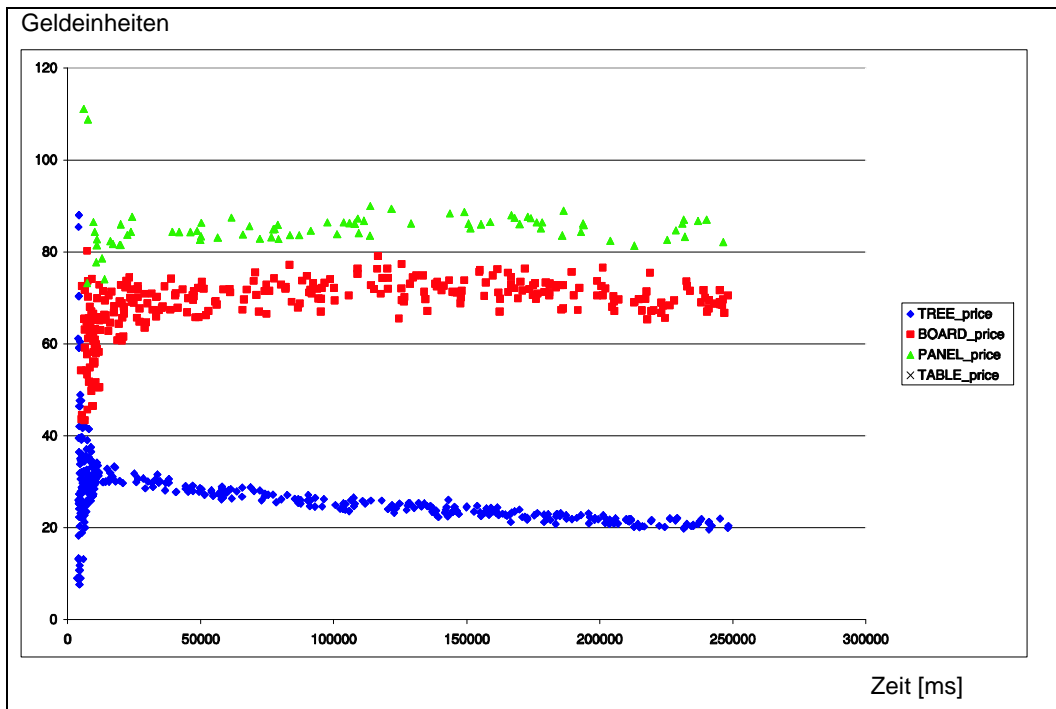


Bild 3: Experiment 1 – Selbstorganisation über Preisverhandlungen

Ein exemplarischer Simulationslauf, ausgehend von zufällig initialisierten Preisvorstellungen der Agenten, ist in Bild 3 dargestellt, in dem jeder einzelne Punkt eine erfolgreich abgeschlossene Transaktion repräsentiert und den Verkaufspreis des Gutes markiert. Es ist zu sehen, dass sich bereits nach wenigen Transaktionen ein Preisband für die Produkte der einzelnen Wertschöpfungsstufen ergibt und eine stabile Koordination, bzw. eine spontane Ordnung entsteht.

In einem zweiten Szenario wird die implizite Annahme „redlicher Kaufleute“ fallengelassen. Hier treten Agenten auf, die sich betrügerisch verhalten und als Käufer erhaltene Ware nicht bezahlen, bzw. als Verkäufer bezahlte Waren nicht liefern. Die Experimente zeigen in einem ersten Schritt, dass ein solches Verhalten zu einer kurzfristigen Gewinnoptimierung der betrügenden Agenten führt, allerdings i.d.R. auch den Zusammenbruch des Gesamtsystems nach sich zieht. In einem zweiten Schritt kann gezeigt werden, dass durch eine dezentrale Berücksichtigung des Betrugsrisikos in Form von Reputationsinformationen betrügerische

Agenten faktisch ausgeschlossen werden, der Zusammenbruch verhindert wird und eine „bessere“ (im Sinne von „robustere“) spontane Ordnung entstehen kann (vertiefend [Pado01]).

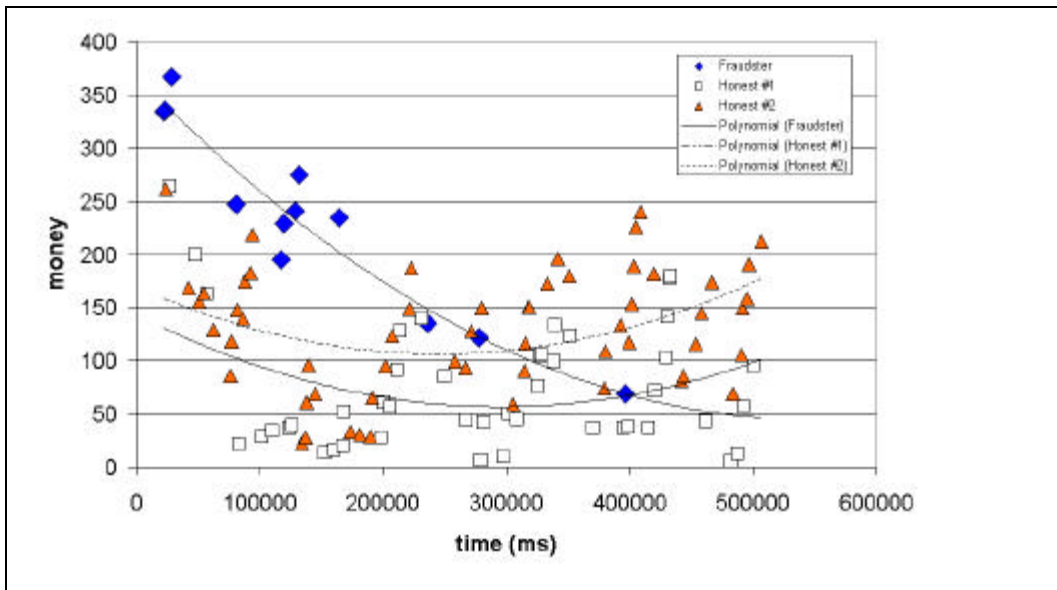


Bild 4 Experiment 2 – Selbstorganisation durch dezentrale Anpassung der Verhaltensregeln

Im dritten Simulationsszenario werden die Agenten zur Erfassung ihrer Umgebung mit einem zusätzlichen Messsystem ausgestattet, das es ihnen nach wenigen Transaktionen ermöglicht, den marktplatzspezifischen Verhandlungsspielraum einzuschätzen. Diese Kontextinformation wird zur Anpassung des eigenen Verhandlungsverhaltens genutzt und bestimmt die Festlegung von Initialangeboten und den Ablauf der Verhandlungseröffnung [Sack02].

Bild 5 zeigt den Verlauf des Experimentes und die Tendenz zur Ordnung.

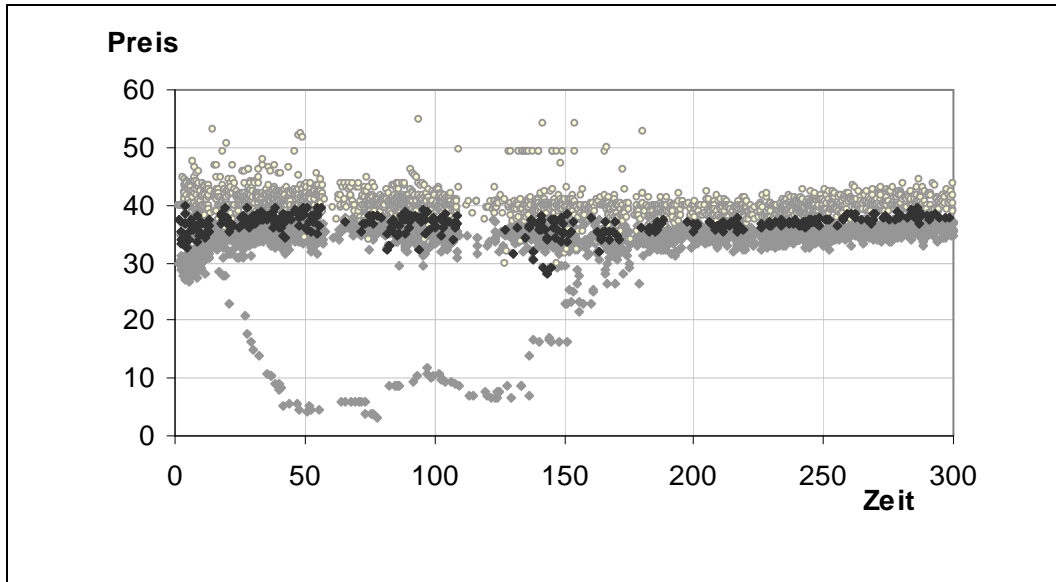


Bild 5 Experiment 3 – Selbstorganisation durch Kontexterkenntung

Wird der Mensch überflüssig - ist die Welt automatisierbar?

Die Welt ist nicht automatisierbar, da auch in Zeiten der zunehmenden Miniaturisierung von Speicher und Prozessoren und der Informatisierung von Alltagsgegenständen die Warnung vor der „Anmaßung von Wissen“ bedacht werden muss.

In drei durchgeführten Experimenten konnte gezeigt werden, dass eine Kommunikation über Preissignale, die Gestaltung eines institutionellen Regelrahmens sowie die Verarbeitung von Kontextinformationen auf eine selbstorganisatorische Ordnung hinführt. Es ist jedoch genauso gut möglich, durch gezielte Verletzung der Spielregeln die Selbstkoordination wieder zum Erliegen zu bringen. Ein automatisiertes Handeln der Akteure, wie im Ubiquitous Computing und beim Einsatz von Software-Agenten vorgesehen, erzeugt alleine noch kein akzeptables Verhalten des Gesamtsystems, z.B. im Sinne von Robustheit, Beherrschbarkeit und der Einhaltung von Sicherheitskriterien für den einzelnen Teilnehmer.

**Literaturverzeichnis**

- [AdGT03] *Adams, Terry; Ferguson, Glover; Tobolski, Joseph F.*: An Introduction to Silent Commerce: Creating New Sources of Value from Intelligent Objects. Accenture Technology Labs, Chicago, 2003.
- [AnKu02] *Anderson, David P.; Kubiawicz, John*: The Worldwide Computer. Scientific American 286 (2002) 3, S. 28-35.
- [BaBe02] *Banavar, Guruduth; Bernstein, Abraham*: Software Infrastructure and Design Challenges for Ubiquitous Computing. Communications of the ACM 45 (2002) 12, S. 92-96.
- [Eyma00] *Eymann, Torsten*: Avalanche - ein agentenbasierter dezentraler Koordinationsmechanismus für elektronische Märkte. Dissertation, Albert-Ludwigs-Universität Freiburg 2000.
- [Eyma03] *Eymann, Torsten*: Digitale Geschäftsagenten. Springer Xpert.press, Heidelberg, 2003.
- [Haye96] *Hayek, Friedrich A. von*: Die verhängnisvolle Anmaßung - die Irrtümer des Sozialismus. Mohr, Tübingen, 1996.
- [Haye01] *Hayek, Friedrich August von*: Gesammelte Schriften in deutscher Sprache. Mohr Siebeck, Tübingen, 2001.
- [Kauf95] *Kauffman, S.*: At Home in the Universe. Oxford University Press, New York, 1995.
- [KeHG00] *Kephart, Jeffrey O.; Hanson, James E.; Greenwald, Amy R.*: Dynamic Pricing by Software Agents. Computer Networks 32 (2000) 6, S. 731-752.
- [LyYo02] *Lyytinen, Kalle; Yoo, Youngjin*: Issues and Challenges in Ubiquitous Computing. Communications of the ACM 45 (2002) 12, S. 62-65.
- [MaCr94] *Malone, Thomas W.; Crowston, Kevin*: The Interdisciplinary Study of Coordination. ACM Computing Surveys 26 (1994) 1, S. 87-119.
- [Matt01] *Mattern, Friedemann*: Ubiquitous Computing - Der Trend zur Informatisierung und Vernetzung aller Dinge. In: *Roszbach, Gerhard* (Hrsg.): Mobile Internet. Tagungsband 6. Deutscher Internet-Kongress. dpunkt Verlag, Heidelberg, 2001, S. 107-119.
- [MaLa01] *Mattern, Friedemann; Langheinrich, Marc*: Allgegenwärtigkeit des Computers - Datenschutz in einer Welt intelligenter Alltagsdinge. In: *Müller, Günter; Reichenbach, Martin* (Hrsg.): Sicherheitskonzepte für das Internet. Springer, Berlin, 2001, S. 7-26.
- [Muel83] *Müller, Günter*: Entscheidungsunterstützende Endbenutzersysteme. Teubner, Stuttgart, 1983.
- [MuEK02] *Müller, Günter; Eymann, Torsten; Kreutzer, Michael*: Telematik- und Kommunikationssysteme in der vernetzten Wirtschaft. Oldenbourg, München, 2002.
- [MuKS03] *Müller, Günter; Kreutzer, Michael; Strasser, Moritz; Eymann, Torsten; Hohl, Adolf; Nopper, Norbert; Sackmann, Stefan; Coroama, Vlad*: Geduldige Technologie für ungeduldige Patienten: Führt Ubiquitous Computing zu mehr Selbstbestimmung? In: *Mattern, Friedemann* (Hrsg.): Living in a Smart Environment. Springer, Heidelberg, 2003.
- [Pado01] *Padovan, Boris*: Ein Vertrauens- und Reputationsmodell für Multi-Agenten Systeme. Dissertation, Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, 2001.



- [Prob92] *Probst, Gilbert J. B.*: Selbstorganisation. In: *Frese, E.* (Hrsg.): Handwörterbuch der Organisation. Pöschel, Stuttgart, 1992, Sp. 2255-2269.
- [RoZl94] *Rosenschein, Jeffrey S.; Zlotkin, Gilad*: Rules of encounter - designing conventions for automated negotiation among computers. MIT Press, Cambridge, 1994.
- [Sack02] *Sackmann, Stefan*: Bilaterale Preisverhandlungen von Software-Agenten - Ein Modell und System zur Analyse des marktplatzspezifischen Verhandlungsspielraums. Dissertation, Albert-Ludwigs-Universität Freiburg 2002.
- [ScFi02] *Schoder, Detlef; Fischbach, Kai; Teichmann, Rene*: Peer-to-Peer. Springer, Heidelberg, 2002.
- [Smit90] *Smith, Adam*: Der Wohlstand der Nationen: Eine Untersuchung seiner Natur und seiner Ursachen. Deutscher Taschenbuch Verlag, München, 1990.
- [WeBr96] *Weiser, Mark; Brown, J. S.*: The Coming Age of Calm Technology. Xerox PARC, <http://www.ubiq.com/hypertext/weiser/acmfuture2endnote.htm>, 1996, letzter Zugriff 2003-01-23.
- [Weis99] *Weiss, Gerhard*: Multiagent Systems. MIT Press, Cambridge, 1999.