



Organic Computing – Systemforschung zwischen Technik und Naturwissenschaften

Organic Computing – Systems Research between Engineering and Natural Science

Christian Müller-Schloer, Universität Hannover

Was ist Organic Computing?

Die Organic Computing Initiative wurde im Jahr 2003 von mehreren Fachgliederungen der GI und der ITG ins Leben gerufen und hat sich seitdem erfolgreich als interdisziplinäres Forschungsgebiet etabliert. Ausgangspunkt für die Vision des Organic Computing (OC) ist die Beobachtung der unterschiedlichen Eigenschaften technischer und natürlicher Systeme. Natürliche Systeme besitzen die so genannten Self-x-Eigenschaften: Sie sind selbstorganisierend, -konfigurierend, -optimierend, -heilend und -schützend. Sie sind in der Lage, sich in unsicheren Umgebungen auf die jeweils vorherrschenden Bedingungen einzustellen. Dabei erreichen sie oft nicht die jeweils bestmöglichen Eigenschaften in den Einzeldisziplinen. Vielmehr erlaubt ihnen eine ausgewogene Mischung von Fähigkeiten im Zusammenspiel mit Adaptionsmechanismen, sich auf unterschiedlichste Umweltbedingungen flexibel einzustellen. Natürliche Systeme sind robust und selbst-stabilisierend. All dies sind Charakteristika lebender Systeme. Maturana und Varela definieren demgemäß als zentrale Eigenschaft eines lebenden Organismus die Fähigkeit, seine Funktion aufrecht zu erhalten, und noch mehr, sich auch selbst zu reproduzieren. Sie verwenden dafür

den Begriff der Autopoiese. Autopoiese ist die Fähigkeit, sich „selbst zu machen“ (griech. *αὐτο ποιείν*)¹.

Wir wissen heute nicht genug über die Mechanismen der Selbstorganisation lebender Systeme. Typisch aber ist das Zusammenspiel großer Populationen von teilautonomen Einheiten, seien es Zellen im Körper, Ameisen im Staat oder Neuronen im Gehirn. Dabei wird weitgehend auf zentrale Steuerungen verzichtet, die Lokalität der Kommunikation und der Zusammenschluss zu Subsystemen scheinen der wesentliche Mechanismus zu sein. Die Elemente komplexer selbstorganisierender Systeme können, nach A. Koestler² und K. Popper³, als Holonen beschrieben werden, d.h. sie verhalten sich zugleich als Teil und als Ganzes. Der Begriff Holon (von griechisch *hólos* [ὅλος] und *on* [ὄν]: ganzes Seiendes) wurde von Arthur Koestler geprägt und bedeutet ein Ganzes, das Teil eines anderen Ganzen ist. So ist z.B. eine Zelle für sich ein Ganzes, jedoch Teil eines umfassenderen Ganzen, eines Organs, das

¹ Maturana, H.: Erkennen: Die Organisation und Verkörperung von Wirklichkeit, Vieweg, 1985

² Koestler, A.: Die Wurzeln des Zufalls. Scherz Verlag, München; 1984; ISBN 3502153868

³ Popper, K., Eccles, John C.: Das Ich und sein Gehirn, Piper, 1989

wiederum Teil des Gesamtsystems ist. In ihrer Rolle als Ganzes zeigen Holonen Eigenschaften der Autonomie, Abgrenzung, Konkurrenz und Selbsterhaltung. In ihrer Rolle als Teil kooperieren sie mit gleichartigen Elementen, bilden Verbünde und Symbiosen.

Die Eigenschaften lebender Systeme sind auch für unsere immer komplexer werdenden technischen Systeme wünschenswert. Dabei ergibt sich jedoch als grundlegendes Problem die fehlende Zielgerichtetheit natürlicher Systeme: Sie versuchen ausschließlich zu überleben, ihre Entwicklung ist ansonsten ungerichtet. Dies steht im deutlichen Gegensatz zum technischen, von einem Ingenieur oder Informatiker entwickelten System, welches einer bestimmten Spezifikation genügen muss. Dieser Widerspruch der „gesteuerten Emergenz“ dürfte im Zentrum der OC-Forschung der kommenden Jahre liegen. Es ist heute unklar, ob und wie er gelöst werden kann.

Wo steht Organic Computing heute?

Akzeptiert man als Ziel der OC-Forschung ein komplexes technisches System mit Self-x-Eigenschaften, so kann man feststellen, dass wir uns diesem Ziel sowohl von der Seite der technischen wie auch von der Seite

der natürlichen Systeme annähern (Bild 1). Die technische Vorgehensweise folgt dabei dem ingenieurwissenschaftlichen Ansatz, die Untersuchung der natürlichen Systeme dem naturwissenschaftlichen.

Auf dem Gebiet komplexer in der Regel eingebetteter und mikroprozessorbasierter Systeme wird bereits heute eine große Anzahl von Technologien und *Subsystemen* entwickelt, welche als Bausteine für OC-Systeme nutzbar sind. Hierzu gehören Verfahren des Machine Learnings, Clusterings und Data Minings, der Adaptivität von Systemen (Parametrisierung, Softcores), der Überwachung (Monitoring, Design-by-contract, Assertions) sowie der Kooperationsmechanismen in Netzen (Discovery and Matching, Taxonomien, Webservices, Semantic Web). Konkrete Projekte oder bereits existierende *Systeme* mit ersten OC-Grundeigenschaften sind allen voran das Internet, aber auch Software Defined Radio, rekonfigurierbare Protokollstacks oder die EvoArch aus der DaimlerChrysler-Forschung, welche in diesem Heft vorgestellt wird.

Umgekehrt hat die Untersuchung natürlicher Systeme zu einem reichen Erfahrungsschatz und ersten daraus resultierenden Werkzeugen und Subsystemen geführt. Hier sind vor allem evolutionäre

und genetische Algorithmen zu nennen, künstliche neuronale Netze sowie Schwarm- und Ameisenalgorithmen. Eine Reihe von Software-Systemen erlaubt die experimentelle Untersuchung lebensähnlicher und Ordnung erzeugender Vorgänge in der *Computersimulation*, wie etwa Tom Ray's Tierra, John Conway's Game of Life, Multi-Agenten-Systeme (z.B. Woods), die Candle Movers (der verblüffende Versuch mit primitiven Robotern, welche trotz scheinbar chaotischer Vorgehensweise reguläre Strukturen erzeugen) oder Stephen Wolfram's nicht unumstrittene Theorie zellulärer Automaten (A New Kind of Science). Eine Reihe von eher *theoretisch* orientierten Arbeiten hatte die Untersuchung natürlicher Systeme zum Ziel. Emergentes Verhalten wurde von I. Prigogine anhand von chemischen autokatalytischen Reaktionen nachgewiesen (dissipative Strukturen). Das Gehirn, welches in neuerer Zeit durch fortschrittliche bildgebende Verfahren auch in vivo untersucht werden kann, weist offenbar charakteristische dynamische Ordnungsstrukturen auf, welche mit seinen Funktionen korrelieren. Schließlich wurden und werden im Rahmen der New Science of Complexity (NSOC) komplexe physikalische Systeme formal untersucht. CAS (complex ad-

aptive systems) sind komplexe Systeme, die ein besonderes Anpassungsvermögen an ihre Umwelt aufweisen. Dieser Begriff hat sich in den 1980er-Jahren etabliert und bezeichnet die mathematische und informatische Modellierung von biologischen, wirtschaftswissenschaftlichen und physikalischen Systemen. Die Theorie der Self organized criticality (SOC) untersucht kritische Zustandsübergänge, welche Selbstorganisationsvorgänge begleiten.

Das wachsende Interesse sowohl der naturwissenschaftlichen wie auch der ingenieurwissenschaftlichen Forschung an den Phänomenen der Selbstorganisation und Emergenz scheint zu einer Annäherung an das Ziel organischer technischer Systeme von zwei Seiten zu führen. Allerdings täuscht der Maßstab des Bildes 1: Wir wissen nicht, wie weit die beiden Forschungsgebiete noch auseinander liegen, wie groß also die noch zu schließende Lücke ist. Einzelne Erfolge wie etwa die Anwendung evolutionärer und genetischer Algorithmen zur Optimierung oder die zunehmende „Plastizität“ technischer Systeme (im Sinne einer Selbstanpassung wie heute schon ansatzweise beim Universal Serial Bus USB oder bei Microsofts Universal Plug and Play (UPnP)) sind jedoch ermutigend.

Besonders erwähnenswert erscheint mir der Versuch der OC-Forschung, interdisziplinär zu arbeiten. Die Überbrückung allein der sprachlichen Unterschiede zwischen Technikern und Naturwissenschaftlern ist, wie manche Workshops bereits gezeigt haben, mühevoll aber durchaus lohnend. Das Thema OC eignet sich jedoch für noch weitere Brückenschläge: Von der Technik über die Natur- bis hin zu den Geisteswissenschaften. Die philosophischen Aspekte des OC sind offensichtlich (vgl. z.B. die Beiträge von Klaus Mainzer⁴). Ihre Diskussion kann zu einer konstruktiv-kri-

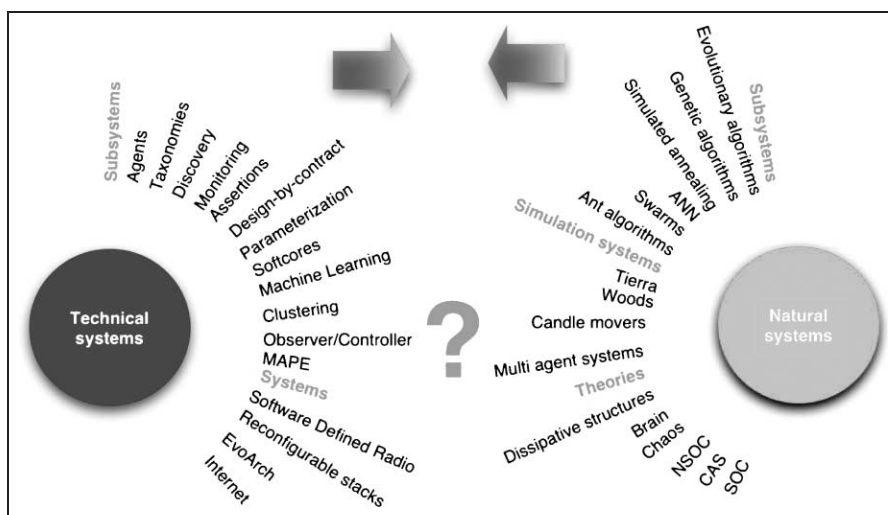


Bild 1 Eine Annäherung an die Ziele des Organic Computing erfolgt sowohl von der technischen als auch von der naturwissenschaftlichen Seite.

⁴ Mainzer, K.: Thinking in Complexity. The Complex Dynamics of Matter, Mind, and Mankind, Springer 1994

tischen Technik-Sicht anregen, welche angesichts der wachsenden Dominanz technischer Systeme vom Machbaren hin zum menschlich Wünschenswerten führen sollte.

Dieses Heft

Im vorliegenden Heft sollen unterschiedliche Aspekte der für OC relevanten aktuellen Forschung beleuchtet werden. Dabei wird der Bogen von grundlegenden Untersuchungen natürlicher Systeme hinsichtlich ihrer informationsverarbeitenden Eigenschaften bis zu ersten technischen Realisierungen organischer Systeme geschlagen. *Gerhard Roth*, Universität Bremen, gibt einen Einblick in die aktuelle Gehirnforschung aus Sicht der Verhaltensphysiologie und der Entwicklungsneurobiologie. Er vergleicht Aufbau und Verhaltensweise des Gehirns mit heutigen Computern und diskutiert die Aussichten des Organic Computing, einzelne Eigenschaften des Gehirns nachzuahmen. *Kirstie Bellman* von der Aerospace Corporation, El Segundo, Ca., entwickelt, ausgehend von der Analyse tierischen Verhaltens, eine grundlegende Architektur für technische Systeme mit Bewusstsein. Hierzu sind Einblicke in das tatsächliche Systemverhalten (kognitive Instrumentierung), eine Beurteilung der Situation (Reflexion) sowie Eingriffe in das selbst-generierende System notwendig. *Fabian Rochner et al.*, Universität Hannover, untersuchen den anscheinend grundlegen-

den Widerspruch in organischen Computersystemen, neue Lösungen bottom-up zu entwickeln und gleichzeitig ein top-down vorgegebenes Ziel anzustreben. Sie diskutieren hierzu als technische Lösung eine Observer/Controller-Struktur. Eine Voraussetzung für selbstorganisierende Systeme ist ihre hinreichende Plastizität – möglichst zur Laufzeit. *Jürgen Becker et al.*, Universität Karlsruhe, beschreiben den Einsatz dynamisch rekonfigurierbarer Hardwarearchitekturen. Sie vergleichen diese Technologien mit der genetischen Kontrolle der Entwicklung und Funktion biologischer Zellen. *Rolf Würtz*, Ruhr-Universität Bochum, stellt ein auf organischen Prinzipien basierendes System zur Gesichtserkennung vor. Es verwendet eine Kombination einer Vielzahl von Hinweisen, welche sich zu einem Erkennungsvorschlag selbst organisieren. *Peter Hofmann et al.*, DaimlerChrysler, beschreiben ein bereits in Ansätzen existierendes mechatronisches Demonstrationsfahrzeug, welches auf Basis der evolutionären Architektur EvoArch Eigenschaften wie Ausfallsicherheit, Erweiterbarkeit, Selbstdiagnose und Selbstheilung zeigt.

Ich möchte allen Autoren dieses Hefts danken, die den, wie ich meine erfolgreichen, Versuch unternommen haben, auf engem Raum den Begriff des Organic Computing allgemeinverständlich aus ihrer jeweiligen Sicht darzustellen. Allen Beteiligten, insbesondere den

Herausgebern und den Gutachtern, danke ich für die konstruktive Zusammenarbeit.



Prof. Dr.-Ing. Christian Müller-Schloer

promovierte nach dem Studium der Elektrotechnik im Jahr 1977 an der TU München mit einer Arbeit aus dem Gebiet der Halbleitertechnologie. Von 1977 bis 1990 war er Mitarbeiter des Forschungslabors der Siemens AG in München, von 1980 bis 1982 am Siemens Corporate Research Lab in Princeton/New Jersey. Arbeitsgebiete waren u. a. CAD-Verfahren für die Planung von Datennetzen, Kryptographie, Entwurfsautomatisierung für integrierte Schaltungen sowie Prozessor- und Systemarchitekturen. 1991 wurde er an die Universität Hannover berufen, wo er das Institut für Systems Engineering – Fachgebiet System- und Rechnerarchitektur (SRA) leitet. Arbeitsschwerpunkt ist der Entwurf komplexer elektronischer Systeme, insbesondere Systemsimulation und adaptive und organische Systeme. Prof. Müller-Schloer ist Mitbegründer der Organic Computing Initiative.

Adresse: Institute of Systems Engineering,
System and Computer Architecture,
Appelstraße 4, 30167 Hannover,
Tel.: +49-511-762-19730,
Fax: +49-511-762-19733,
E-Mail: cms@sra.uni-hannover.de