

Alfons Botthof und Marc Bovenschulte

Die Autonomik als integratives Technologieparadigma

Im Jahr 2010 hat Frost & Sullivan unter der Überschrift „Global Top 10 Hot Technologies to Invest“ 10 Technologieplattformen benannt, die künftig einen großen Einfluss auf die Märkte weltweit ausüben dürften und Kapitalgebern hohe Erträge in Aussicht stellen. Autonomous Systems finden sich in dieser Reihe neben Nanomaterials, Flexible Electronics, Advanced Batteries and Energy Storage, Smart Materials, Green IT, CIGS¹ Solar, 3D Integration, White Biotech und Lasers.²

Stark aus militärischen Kontexten getriebene Entwicklungen in Richtung autonomer Systeme und Lösungen, finden gegenwärtig zunehmende Aufmerksamkeit durch Industrien, die im zivilen Sektor enorme Anwendungspotenziale sehen. Dies sind solche, die auch von den Anwendungskontexten, auf die die FuE-Arbeiten der im Rahmen des Programms Autonomik des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie geförderten Vorhaben zielen, abgedeckt werden. Der Wert solcher Projekte, die im Zusammenhang mit dieser Thematik laufen, wird von Frost & Sullivan mit derzeit > 11 Mrd. US\$³ beziffert.

Die Informations- und Kommunikationstechnik (IKT) stellt einen wesentlichen Pfeiler unserer Volkswirtschaft dar. Seit dem letzten Jahrhundert wird ein Bündel zunehmend konvergierender Technologien entwickelt, die für die Realisierung der komplexen Funktionen „Informieren“ und „Kommunizieren“ benötigt werden. Das Ermöglichen dieser Funktionen setzt zahlreiche ausgereifte Technologien („enabling technologies“) und deren Zusammenwirken in Systemen voraus. In gleicher Weise ist das neue Technologieparadigma Autonomik zu verstehen: Um die Funktionalität „autonomes Handeln technischer Systeme“ realisieren zu können, sind Durchbrüche in unterschiedlichen wissenschaftlichen Disziplinen bereits erreicht, absehbar und noch anzustreben. Die Autonomik⁴ ist somit kein etabliertes Technologie- oder Anwendungsfeld, sondern beschreibt die technologisch stufenweise realisierbare Vision von Objekten und Systemen, die – ausgehend von den existierenden IuK-Technologien – nach

und nach ein immer höheres Maß an Autonomie und damit auch von „Handlungsvollmacht“ erlangen. Durch eine sich nach und nach immer stärker herausbildende „Intelligenz“ dieser Objekte werden Teile des menschlichen Handelns im Hinblick auf das Treffen von Entscheidungen stückweise formalisiert und damit auf technische Artefakte übertragbar. Die „Intelligenz“ repräsentiert dabei das Maß an Komplexität (und Uneindeutigkeit) von Situationen, in denen ein derartiges Objekt sinnvolle und intendierte Entscheidungen treffen und eigenständig Aktionen ausführen kann.

Die Bausteine der Autonomik

Es ist Kennzeichen der Autonomik, dass sie bestehende technologische Entwicklungen aufgreift und miteinander in Beziehung setzt, die ihrerseits nur unzureichend scharf zu definieren sind und bereits untereinander über mehr oder weniger ausgeprägte Schnittmengen verfügen; die Autonomik kann daher als Musterbeispiel für die Konvergenz von technologischen Entwicklungen angesehen werden. Dabei ist die genannte Unschärfe nicht zwangsläufig in dem Umstand zu suchen, dass es sich um konvergierende Technologien handelt. Im Unterschied zu einer jederzeit wieder auflösbaren Überlappung (wie sie im Falle einer interdisziplinären Kooperation gegeben ist) führt die Konvergenz zu einer nicht wieder auflösbaren Verschmelzung zweier oder mehrerer Disziplinen bzw. Technologien, Anwendungen etc. Dabei ist die Konvergenz grundsätzlich geeignet, eine definitorische Schärfung zu befördern. Im Falle der Nanobioteknologie ergibt sich beispielsweise trotz der Fusion zweier Disziplinen eine deutlich schärfere Fokussierung als sie die beiden Ausgangsdisziplinen haben: der Dachbegriff „Nanotechnologie“ und die „Biologie“. Durch die gemeinsame Adressierung der molekularen Ebene ergibt sich hingegen für die Nanobioteknologie ein vergleichsweise eng umrissener Ansatz.

1 CIGS: Copper, Indium, Gallium, Selenium

2 Quelle: <http://www.competence-site.de/Frost-and-Sullivan-Global-Top-10-Hot-Technologies-to-Invest> (letzter Zugriff 22.09.2010)

3 Stand: Nov. 2009

4 Siehe hierzu das gleichnamige Programm des BMWi: <http://www.autonomik.de/>

Im Falle der Autonomik konvergieren im wesentlichen zwei selbst noch emergente Technologiekonzepte: Das Ubiquitous/Pervasive Computing und das Internet der Dinge. Um zu verstehen, welche technologisch-thematischen Schwerpunkte aus dieser Konvergenz resultieren, sollen die beiden Ausgangspunkte zunächst eigenständig betrachtet werden.

Ubiquitous Computing/Pervasive Computing/ Ambient Intelligence

Seit über 30 Jahren ist zu beobachten, dass sich die Leistungsfähigkeit von Mikroprozessoren etwa alle 18 Monate verdoppelt („Moore’s law“). Eine ähnlich hohe Leistungssteigerung gilt auch für andere Technologieparameter wie die Kommunikationsbandbreite in drahtgebundenen und drahtlosen Netzen. Dieser Trend führt dazu, dass Computer in Zukunft noch wesentlich kleiner, preiswerter und damit gleichsam im Überfluss vorhanden sein werden. In den nächsten Jahren wird sich die Computerlandschaft daher beträchtlich ändern. Traditionelle Computer-Plattformen wie Workstations, PCs und Server werden schon seit einigen Jahren durch kleinere, persönliche Geräte wie PDAs, Smart Phones, Palmtops und Subnotebooks und jüngst durch so genannte Tablet PCs ergänzt. Zunehmend werden Computer in Form von so genannten „micro controlern“ und „embedded systems“ auch in Alltagsgegenstände integriert, wobei sie deren Funktion deutlich erweitern, sei es als Fahrerassistenzsystem im Auto oder als flexible Software-Steuerung für einen Heizkessel, der dann über den PC im Arbeitszimmer oder das Mobilfunktelefon bedient werden kann.

Bereits 1988 prägte Mark Weiser, der ehemalige Chefarchitekt des Palo Alto Research Center (PARC) von Xerox, die technologische Vision des „Ubiquitous Computing“ als einer allgegenwärtigen Infrastruktur der Informations- und Kommunikationstechnik (IuK). Seine Definition des „Ubiquitous Computing“ gilt noch heute als fundamentale Ausgangsbetrachtung für alle daraus resultierenden technologischen und sozialpolitischen Betrachtungen und bilden die Grundlage sowohl von „smart objects“ als auch des Internets der Dinge. Weiser definierte, dass von „Ubiquitous Computing“ gesprochen werden kann, wenn genau die folgenden vier Merkmale erfüllt sind:

- ▶ Mikrocomputer („embedded computing devices“) werden in physikalische Objekte beliebiger Gestalt eingebracht und verdrängen im Weiteren bisherige Dienste von Desktop-Systemen.
- ▶ Diese neuen eingebetteten Systeme zeichnen sich dadurch aus, dass sie sehr klein und nahezu unsichtbar für den Anwender sind.
- ▶ Dabei ergänzen die eingebetteten Mikrocomputer die ursprünglichen Mehrwerte der einbezogenen physikalischen Objekte um eine neue Dimension der Gesamtanwendungsmöglichkeit des Objektes.
- ▶ Im Zentrum der Kommunikation zwischen Gerät und Anwendung steht die Service-Mobilität und nicht das Gerät selbst. Gerade dieser letzte Punkt differenziert damit „Ubiquitous Communication“ von den bekannten Funktechnologien.

Ubiquitous Communication zeichnen sich durch die Verfügbarkeit der eigentlichen Anwendungsdienste aus unabhängig von der eigentlichen Zielplattform. Dienste werden plattformunabhängig je nach den gegebenen physikalischen Möglichkeiten des expliziten Geräts angeboten, sei es auf dem Mobilfunkgerät, dem PDA oder anderen Geräte, die Mehrwerte zur Kommunikation anbieten wollen.⁵

Der technologische Fortschritt in der Mikroelektronik und der Kommunikationstechnik hat dazu geführt, dass die technische Vision des Ubiquitous Computing in den Bereich des Machbaren gerückt ist. In der fachlichen Diskussion wird für die allgegenwärtige IuK-Infrastruktur mittlerweile auch häufig und in einer gewissen Erweiterung die Begriffe „Pervasive Computing“ oder „Ambient Intelligence“ verwendet. Ziel all dieser Konzepte ist es, durch die Allgegenwart von Informations- und Kommunikationssystemen den Anspruch „Alles, immer, überall“ im Hinblick auf Datenverarbeitung und -übertragung zu realisieren. Diese Anwendungsform wird durch mehrere Eigenschaften bestimmt:

- ▶ **Miniaturisierung:** Die IuK-Komponenten werden kleiner und mobiler.
- ▶ **Einbettung:** Die IuK-Komponenten werden in Gegenstände des Alltagslebens integriert und machen diese zu „Smart Objects“.
- ▶ **Vernetzung:** Die IuK-Komponenten sind miteinander vernetzt und kommunizieren in der Regel per Funk. Sie sind damit nicht Teil einer festen Umgebung bzw. Anwendung, sondern sind darauf ausgelegt, sich spontan zu Netzwerken zusammen zu schließen. Es gibt eine Vielzahl von Maschine-Maschine-Interaktionen, in die der Mensch bewusst nicht eingebunden ist, um seine Aufmerksamkeit nicht zu überfordern.
- ▶ **Allgegenwart:** Die eingebetteten IuK-Komponenten werden einerseits immer allgegenwärtiger, sind andererseits aber für den Menschen zunehmend unauffälliger oder ganz unsichtbar. Die überwiegende Zahl der Komponenten wird zwar vielfältige Schnittstellen zur Umgebung besitzen, aber keine Visualisierungskomponenten mehr enthalten.

5 Weiser, M. (1991): The Computer for the 21st Century. Scientific American, 265(3), S. 94-104

- **Kontextsensitivität:** Die IuK-Komponenten beschaffen sich durch Sensoren und die Kommunikation Informationen über ihren Nutzer und ihre Umgebung und richten ihr Verhalten danach aus.⁶

Pervasive Computing und Ambient Intelligence beschreiben in einer Erweiterung des Ubiquitous Computing gleichsam einen komplementären Ansatz zur Virtuellen Realität: Statt die gesamte Welt im Computer abzubilden und zu simulieren, werden alle Gegenstände der realen Welt Teil eines Informations- und Kommunikationssystems – reale und virtuelle Welt überlagern sich und verschmelzen miteinander.

Das Internet der Dinge

Im Internet der Dinge wird die digitale Vernetzung, die aus dem Internet bekannt ist, auf die reale Welt ausgedehnt. Damit soll es möglich werden, dass beliebige Objekte (Konsumgüter, Kleidung, Werkstücke, Tickets, Haushaltsgeräte, Maschinen, Transport- und Verkehrsmittel, Pflanzen und Tiere, Personen etc.) identifizierbar, lokalisierbar und miteinander korrelierbar sind. Egal, ob in derselben Fabrikhalle oder auf zwei Kontinenten: Informationen über die unterschiedlichsten Gegenstände können miteinander verknüpft, ausgetauscht und verarbeitet werden. Auf diese Weise werden Alltagsgegenstände zu „smart objects“, die miteinander vernetzt sind, auf ihre Umgebung reagieren und mit ihren Nutzern interagieren.

Die Technologien, die das Internet der Dinge ermöglichen, werden maßgeblichen Einfluss auf die Lebens- und Arbeitswelt jedes Einzelnen haben. Die Verbreitung und der Einsatz moderner Informations- und Kommunikationstechnologien gelten heute als Voraussetzung für eine dynamische wirtschaftliche Entwicklung und für die Zukunftsfähigkeit im globalen Wettbewerb. Gleichzeitig sind die Veränderungsprozesse, die durch die IuK-Technologien ausgelöst, ermöglicht und beschleunigt werden, enorm. Die neuen Technologien wirken sich auf immer weitere Bereiche in Wirtschaft, Verwaltung, Wissenschaft und im Privatleben aus. Sie nehmen Einfluss auf das gesellschaftliche und individuelle Leben. Die Entwicklungen der Mobiltelefonie und der Internet-Technologie innerhalb der letzten zehn Jahre stehen beispielhaft für das Veränderungspotenzial der IuK-Technologien.

Im Internet der Dinge sollen Informationen direkt und ohne weitere ordnende Eingriffe durch Menschen ausgetauscht werden können. Zum Beispiel sollen sich Postsendungen eigenständig

ihren Weg suchen, da sie und die umgebende Netzwerkstruktur „wissen“, wohin sie müssen. Objekte gelangen so auf optimalem Wege an ihr Ziel und können dabei lokalisiert, verfolgt und bei Bedarf beeinflusst werden. Damit solche realen Pakete Anschluss an das Internet der Dinge finden, benötigen sie eine eindeutige digitale Identifizierbarkeit, über die sie individuell adressiert werden können.

Um eine Identifizierung von Waren zu ermöglichen, gibt es seit 20 Jahren den Barcode, der in Form von Strichfolgen (1D-Barcode) Aussagen zu seinem Träger macht. Um die Nachteile des Barcodes zu überwinden (geringe Informationsdichte auch beim 3D-Barcode, anfällig für Verschmutzung/Zerstörung, direkter Sichtkontakt nötig), wird seit einigen Jahren verstärkt die *Radio Frequency Identification (RFID)* eingesetzt. Mit Hilfe von RFID können beispielsweise Güter während ihres Transports verfolgt oder Zugänge zu Betriebsräumen kontrolliert und dokumentiert werden.

Die RFID-Technologie wird als eine entscheidende Voraussetzung für das Internet der Dinge angesehen, da sie beliebige Dinge der realen Welt direkt mit digitalen Prozessen der Kommunikation und Informationsverarbeitung verbindet. Dabei ist das Erkennen individueller Waren (nicht nur Chargen oder Lieferungen), das so genannte *Item-tagging*, eine wesentliche Voraussetzung für das Einbeziehen selbst kleiner Gegenstände in das Internet der Dinge.

Die Information, die gegenwärtige passive RFID-Chips in sich tragen, besteht aus einer mehrstelligen Zahlenfolge, die nach einem bestimmten System/Standard strukturiert ist. Über diese Nummer kann das Produkt, das den Chip trägt, über eine Datenbank mit beliebigen Informationen korreliert werden; etwa Herstellungsland, Mindesthaltbarkeitsdatum oder auch die Anweisung, wie das Stück weiterbearbeitet werden muss. Die Frage, wer die Verwaltung der Daten organisiert und kontrolliert, ist Gegenstand kontroverser Debatten.

Neben dem Ansatz passiver RFID-tags gibt es auch Bestrebungen, RFID-Chips mittels Mikrosystemtechnik und anderer weiter zu entwickeln und ihnen zusätzliche Informationen und Funktionalitäten zu geben. So sind größere Speicherkapazitäten möglich, die umfassendere Informationen ohne eine hinterlegte Datenbank direkt auf dem Chip bereitstellen. Zudem können Speicher nicht nur ausgelesen, sondern auch beschrieben werden. Somit können die Chips neue Informationen speichern, die sie beispielsweise über Sensoren aus der Umwelt aufnehmen oder von anderen Geräten/tags empfangen. Neben der

6 Hilty, L. et al. (2003): Das Vorsorgeprinzip in der Informationsgesellschaft. Auswirkungen des Pervasive Computing auf Gesundheit und Umwelt. TA-SWISS, TA 46/2003, Bern

eindeutigen Identifikation bieten solche Chips oder die künftig weiter miniaturisierte Variante der e-Grains⁷ – vernetzbare, mobile Kleinstrechner – viele Funktionen, die sie und die damit ausgestatteten Dinge zu „smart objects“ machen. Dies ist eine wichtige Voraussetzung, damit Objekte miteinander kommunizieren und automatisierte Prozesse ausführen zu können. Auf der Grundlage der „smart objects“, die sich kaum wahrnehmbar in Alltagsgegenstände integrieren lassen oder diese selbst „intelligent“ machen, und der „Intelligenz“ (besser: die universelle Verfügbarkeit von Informationen), die im Internet steckt, ist das Internet der Dinge realisierbar.

Das Konzept der Autonomik

Wie das Internet der Dinge und das Ubiquitous/Pervasive Computing ist die Autonomik eine Metapher für die Eigenständigkeit und Universalität von Kommunikations- und Austauschprozessen technischer Systeme. Gleichzeitig repräsentiert sie zentrale und wichtige Trends, die auch in anderen wissenschaftlich-technischen Kontexten wiedererkennbar sind:

- ▶ Miniaturisierung/Systemintegration,
- ▶ Konvergenz,
- ▶ Dezentralisierung,
- ▶ Vernetzung,
- ▶ Selbstorganisation.

Diese Trends (bemerkenswert ist die hohe Übereinstimmung mit der für das Ubiquitous/Pervasive Computing vorgenommenen Charakterisierung – s. o.) werden als wichtige Faktoren angesehen, die nicht nur bestehende Entwicklungen logisch fortführen, sondern neue Ansätze und Qualitäten aufzeigen und damit ein Potenzial für Sprunginnovationen und daraus resultierende Umwälzungsprozesse vermuten lassen.

Die Verbindung von Pervasive/Ubiquitous Computing und Internet der Dinge führt zu einer gemeinsamen technologischen aber auch anwendungsrelevanten Schnittmenge, die fallweise durch eine hoch entwickelte Sensorik und eine vielfältige Aktorik ergänzt wird. Durch die Integration unterschiedlicher sensorisch erfasster Parameter und das Zusammenführen von Daten aus unterschiedlichen Quellen einerseits und die Implementierung eines „Weltmodells“, das die Verarbeitungs- und Handlungsregeln des Systems beschreibt, entstehen kontextabhängig agierende, autonome Systeme (Abbildung 1). Das „Weltmodell“ beschreibt einen hoch entwickelten Katalog an

Handlungsmaximen für ein autonomes System und ist in Analogie zu einem handlungsleitenden Wertekanon beim Menschen zu sehen.⁸ Unter Rückgriff auf ein solches „Weltmodell“ soll es dem autonomen System möglich werden, unbekannte Situationen unter bestimmten Maßgaben einzuschätzen und so diejenige Lösung zu finden/anzuwenden, die am ehesten „im Sinne des Auftraggebers“ ist.

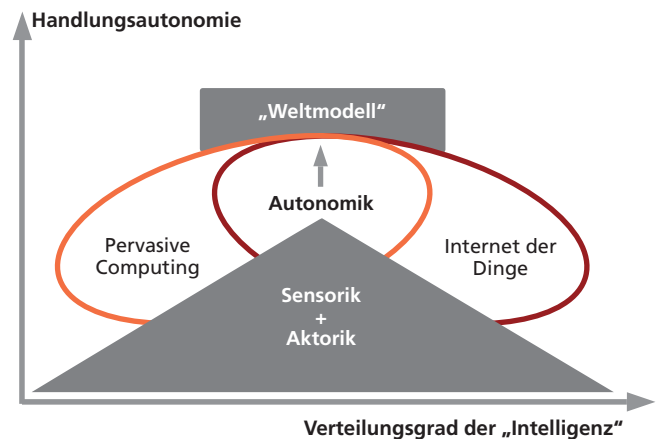


Abbildung 1: Verortung der Autonomik. Erst durch die Schaffung/Implementierung eines „Weltmodells“ wird der Anspruch eines eigenständig handelnden Systems eingelöst.

Dabei kann das „Weltmodell“ sehr einfach beschaffen sein (einfache ja-nein- oder wenn-dann-Bedingungen), wenn das System in genau definierten Umgebungen mit festgelegten Regeln eingesetzt wird. Im Falle von echter, sich an dem Vorbild menschlicher Handlungen orientierender Autonomie erfordert das „Weltmodell“ ein sich flexibel an unbekannte Situationen anpassendes kognitives System, das stets bemüht ist, anhand intrinsischer Maßgaben („Werte“) ein möglichst optimales Ergebnis zu erzielen. Für multifaktorielle Kontexte gehört hierzu die Fähigkeit zur Antizipation und ggf. Abstraktion – eine große Herausforderung für die Künstliche Intelligenz und semantische Technologien.

Die Autonomik ist sowohl ein bedeutsames Meta-Thema, als auch eine für zahlreiche Branchen und Unternehmen relevante und konkretisierbare Chance, da das Thema in einzelnen Sektoren (Handel, Logistik, industrielle Produktion) seinen Ausgangspunkt findet und sich vermutlich sehr rasch in einer prägenden und paradigmatischen technologischen Entwicklung manifestieren wird. Ausgehend von dem Ubiquitous/Pervasive Computing und dem Internet der Dinge und aufgrund einer hohen

7 Ein Begriff, den das Fraunhofer Institut IZM in Berlin geprägt hat (siehe <http://www.egrain.org/>). Ansonsten ist auch der Begriff des „smart dust“ aus dem MIT in Boston geläufig.

8 Der Umstand, dass es noch keine ausdifferenzierte technische Definition eines „Weltmodells“ gibt, macht es notwendig, sich an die Beschreibung von menschlichen Eigenschaften und Fähigkeiten anzulehnen – ein Umstand, der angesichts der Vorbildfunktion der menschlichen Autonomie für technische Entwicklungen ebenso naheliegend wie hilfreich sein dürfte.

Entwicklungs- und Umsetzungsdynamik lassen sich gegenwärtig nachfolgend genannte, besonders exponierte Anwendungsbereiche für die Autonomik ausmachen:

- ▶ Logistik & Verkehr
- ▶ Produktion & Fertigungsplanung
- ▶ Medizintechnik & Healthcare
- ▶ Robotik & Smart Home
- ▶ Sicherheit & Überwachung

Die Systematisierung der Autonomik

Wie oben bereits ausgeführt, ist die Autonomik aufgrund der ihr zugrunde liegenden Konvergenzen weder eine neue und eigenständige Technologie noch lässt sie sich auf ein Anwendungsfeld einschränken. Vielmehr greift sie existierende Technologien und Entwicklungen auf und integriert diese mit dem Ziel, möglichst viele Analyse-, Verarbeitungs- und Entscheidungs- sowie Ausführungsvorgänge vom Menschen auf technische Artefakte zu übertragen. Dieser Dreisprung aus Erfassen der Umwelt, Verstehen

der Umwelt und Manipulation der Umwelt ist dabei ebenso kennzeichnend für die Autonomik wie die Variabilität ihrer Ausprägungen. Diese erstrecken sich von autonomen Systemen in eng beschriebenen und hochgradig standardisierten Umgebungen (industrielle Produktion) bis hin zu Systemen in unbekannt und wechselnden Umgebungen (Erkundungsroboter).

Aufgrund der genannten Variabilität ist es daher nötig, das Konzept der Autonomik anhand von Eigenschaften und Leistungsparametern in Abhängigkeit von den dafür notwendigen Technologien und vor dem Hintergrund unterschiedlicher Entwicklungsstufen (beschränkt, teil- und vollautonom) zu betrachten. Anschließend können die verschiedenen Ausprägungen der Autonomik in den jeweiligen Anwendungsfeldern spezifiziert und konkretisiert werden. Für die Charakterisierung der Systeme ergibt sich somit das unten folgende Definitionsschema.

Die für die vollautonomen Systeme beschriebene Dimension „Self-X“ fasst all jene Fähigkeiten zusammen, die mit dem Eigenzustand des Systems zusammenhängen und dabei sowohl das „Selbst“ auch als den umgebenden und ggf. kooperierenden Kontext (Schwarmintelligenz etc.) betreffen.

Kategorie	Funktionalitäten
Beschränkt autonome Systeme	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Eigenständig agierende Systeme in eng definierten Umgebungen mit geringer Variabilität und Komplexität der Parameter, daher nur aufgabenspezifische Sensorik. ▶ Handlungsautonomie gemäß fester Regeln. ▶ Keine Mobilität oder aber auf der Basis fester baulicher Vorgaben.
Teilautonome Systeme	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Eigenständig agierende Systeme in sich beschränkt ändernden Umgebungen mit mittlerer Variabilität und Komplexität der Parameter; Integration unterschiedlicher Informationen aus unterschiedlichen Quellen (Sensoren). ▶ Handlungsautonomie auf der Grundlage von Regeln unter Verarbeitung von variierenden Parametern. ▶ Adaptivität und Flexibilität. ▶ Eigenständige Mobilität innerhalb eines vorgegebenen Rahmens.
Vollautonome Systeme	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Eigenständig agierende Systeme in unbekannt und sich ändernden Umgebungen. ▶ Hohes Maß an Variabilität und Komplexität von zum Teil unbekannt Parametern, daher umfassende Sensorik und Datenfusion. ▶ Handlungsautonomie anhand eines „Weltmodells“, das nur die Aufgabe, nicht aber deren Lösungsweg vorgibt. ▶ Lernfähigkeit und Fähigkeit zur Abschätzung unterschiedlicher Lösungsmöglichkeiten (Ergebnisantizipation). ▶ Freie Mobilität und energetische Unabhängigkeit (temporär oder dauerhaft). ▶ „Self-X“ (Selbstorganisation, Selbstdiagnose & Selbstheilung, Selbstverortung etc.)

Tabelle 1: Charakterisierung und Kategorisierung der Autonomik.

Die weitere Entwicklung der Autonomik

Die Beherrschbarkeit von Risiken und Gefahren bestimmt auch und gerade in der Autonomik die gesellschaftliche Akzeptanz neuer Lösungen, deren Nutzen für den Einzelnen und die Wirtschaft in vielen Fällen unbestritten sind. Die Technologien zur Realisierung von Funktionalitäten wie

- ▶ Ganzheitliches Erfassen der Umwelt (mittels multimodaler Sensorik, Sensorfusion/Sensorsysteme)
- ▶ Erkennen des eigenen und des Zustands/Status und Standorts anderer, interaktionsfähiger Objekte (mittels Lokalisierungs- und Identifikationstechnologien)
- ▶ Verarbeitung/Interpretation von codierten und nicht codierten Informationen (mittels embedded systems und Software)
- ▶ Multimodale Interaktion und Kommunikation mit Menschen und anderen Objekten (mittels M2M/HMI-Technologien und semantischer IKT)

sowie

- ▶ der Fähigkeit zur Selbstorganisation in wechselnden Einsatzumgebungen, Situations-, Kontext- und Selbstbewusstsein,
- ▶ der Fähigkeit zum „Lernen“ beispielsweise von Profilen interagierender Objekte aber auch Personen.

sind soweit fortgeschritten, dass wirtschaftliche und damit konkurrenzfähige Produkte und Dienstleistungen bereits heute entwickelt werden können und die künftigen Lebens- und Arbeitswelten verändern werden. In transdisziplinären Herangehensweisen unter Einbezug der Kognitionswissenschaft ist das technologische und wirtschaftliche Potenzial zweifelsohne erschließbar, perspektivisch aber der sozioökonomische Impact nur schwer quantitativ und qualitativ abzuschätzen.

Gegenwärtig ist die Erforschung und Entwicklung autonomer Systeme Gegenstand umfassender und mit Nachdruck betriebener Aktivitäten. Dabei weisen avancierte Projekte in ihrer Zielstellung viele Merkmale auf, die auch und insbesondere für die Autonomik richtungweisend sind. Das Leistungsprofil orientiert sich dabei an einer technischen Umsetzung humaner Fähigkeiten. Die resultierenden Beschreibungen der obersten Ebene des zu entwickelnden technischen Artefakts erscheinen dabei seltsam vertraut, da sie ähnlich wie die Termini „Handlungsvollmacht“ und „Weltmodell“ mit Begriffen aus der menschlichen und nicht der technischen Welt operieren. Besonders eindrucksvoll geschieht dies beim aktuellen Sonderforschungsbereich Transregio 62 (Universitäten Ulm und Magdeburg), der die

Entwicklung einer sogenannten „Companion-Technologie“ für kooperative technische Systeme zum Ziel hat: „Das Forschungsvorhaben folgt der Vision, dass technische Systeme der Zukunft Companion-Systeme sind – kognitive technische Systeme, die ihre Funktionalität vollkommen individuell auf den jeweiligen Nutzer abstimmen: Sie orientieren sich an seinen Fähigkeiten, Vorlieben, Anforderungen und aktuellen Bedürfnissen und stellen sich auf seine Situation und emotionale Befindlichkeit ein. Dabei sind sie stets verfügbar, kooperativ und vertrauenswürdig und treten ihrem Nutzer als kompetente und partnerschaftliche Dienstleister gegenüber.“⁹

Im Rahmen der Exzellenzinitiative wurde eine New Field Group am Karlsruher Institut für Technologie eingerichtet, die sich auf zwei Ebenen mit autonomen technischen Systemen befasst: Zum einen sollen aus philosophischer und anthropologischer Perspektive Konzeptionen zur Beurteilung von kooperativen Mensch-Technik-Schnittstellen in Bezug auf zunehmende Autonomie der Technik entwickelt werden, zum anderen werden entwicklungsbegleitend konkrete Anwendungsbereiche autonomer Informations- und Kommunikationstechnik hinsichtlich rechtlicher, ethischer, ökonomischer und sozialer Folgen analysiert.¹⁰

Im Raum München befasst sich ein von Bund und Ländern gefördertes strategisches Exzellenzcluster mit der Thematik „Cognition for Technical Systems“ (CoTeSys). In interdisziplinären Teams bearbeiten ca. 120 Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler Forschungsfragen zu CoTeSys und demonstrieren die entwickelten Methoden und Verfahren in technischen Szenarien mit humanoiden und Industrie-Robotern, in der Fertigungstechnik sowie in der Fahrzeugsteuerung.¹¹

Bei der Betrachtung von Querschnittsaspekten der Autonomik fällt auf, dass ein zentraler Schritt von den gegenwärtig noch stark regelbasierten und nur sehr eingeschränkt autonomen Anwendungen hin zu dem, was auch landläufig den Vorstellungen von Autonomie entspricht, darin besteht, eine umfassende Kontextsensitivität zu implementieren. Das System muss demnach eigenständig erkennen, an welcher Stelle in einem Prozess sich eine Tätigkeit befindet und welches nun die logische und sinnvolle nächste Tätigkeit ist. Dazu ist es aber zudem notwendig, dass das System über eine gewisse Selbstwahrnehmung hinsichtlich Aufenthaltsort (bzw. räumliche Lage bei immobil Systemen), Zustand und Leistungsumfang verfügt, um festzustellen, was es zur Lösung eines Problems überhaupt beitragen kann. Dies gilt umso stärker, je weniger die jeweilige Umgebung, in der das System operiert, im Vorhinein definiert oder auch nur bekannt ist. Insbesondere bei derartigen Ansätzen der

⁹ Weitere Informationen: <http://www.sfb-trr-62.de/>

¹⁰ siehe hierzu M. Gutmann (2009): Autonome technische Systeme, in: Institut für Technikfolgenabschätzung und Systemanalyse (Hg.): Technikfolgenabschätzung – Theorie und Praxis Nr. 1, 18. Jahrgang – Mai 2009, S. 82-86.

¹¹ Weitere Informationen: <http://www.cotesys.org/>

Autonomik müssen verschiedene und unerwartete Situationen antizipiert werden, die wiederum ein nahezu universelles Set an Werkzeugen (Sensorik und Aktorik sowie Informationsverarbeitung) erfordern. Eine derartige Ausprägung von eigenständig vagabundierenden und handelnden Systemen ist eine geeignete Metapher, mit der sich auch hoch ambitionierte Anwendungen der Autonomik beschreiben lassen und die unter Stichworten wie „Schwarmintelligenz“ und „Self-X“ Eingang in die Literatur gefunden haben. In ihr spielt als Handlungsrahmen auch stets das in der Einleitung eingeführte „Weltmodell“ eine zentrale Rolle, um einzuschätzen, was adäquate und „gewünschte“ Aktionen bzw. Resultate in der jeweiligen Situation sein könnten.

Bisherige Betrachtungen legen nahe, dass ein großes Anwendungspotenzial der Autonomik dabei nicht in Systemen liegt, die völlig eigenständig und fernab jeder Zivilisation unbekannte

Räume erkunden. Vielmehr besteht die weitaus wahrscheinlichere Ausprägung der Autonomik in der engen Kooperation mit dem Menschen. Durch die Unterordnung des autonomen Systems unter den Menschen (und nicht sein Ersatz!) bieten sich Perspektiven, die sich auch in heutige Arbeits- oder Lebenskontexte einfügen lassen, ohne dass dafür komplett neue Rahmenbedingungen erschaffen werden müssten. So besteht die Möglichkeit, das Dilemma der maschinellen Entscheidungen dadurch aufzulösen, dass das autonome System eigenständig Handlungsvorschläge macht, diese aber vom Menschen bestätigt bzw. ausgelöst werden müssen – auf diese Weise lässt sich etwa die Frage der Produkthaftung deutlich entschärfen. Eine solche Aufgaben- oder auch Entscheidungsteilung lässt sich problemlos in die als Klassiker geltende Taxonomie von Automatisierungsstufen nach *Sheridan* und *Verplank*¹² einordnen; der genannte Fall würde der Stufe 5 oder ggf. auch 6 entsprechen (vgl. Tabelle 2).

Automatisierungsstufe	Systemmerkmale
1	Der Computer bietet keine Unterstützung an, der Mensch muss alles machen.
2	Der Computer schlägt eine vollständige Menge von Handlungsalternativen vor und
3	schränkt die Auswahl auf einige wenige ein,
4	schlägt eine Alternative vor,
5	führt den Vorschlag aus, wenn der Mensch ihn bestätigt, oder
6	erlaubt dem Menschen eine begrenzte Zeit, ein Veto einzulegen, um eine automatische Ausführung zu verhindern,
7	führt automatisch aus und informiert den Menschen,
8	informiert ihn über die Ausführung nur wenn er anfragt, und
9	informiert ihn über die Ausführung nur wenn der Computer dies entscheidet.
10	Der Computer entscheidet alles und handelt autonom, ignoriert den Menschen.

Tabelle 2: Automatisierungsstufen nach *Sheridan* und *Verplank*¹³

Tatsächlich wird es für viele Bereiche der Autonomik notwendig werden, auch die Automatisierungsstufe 10 zu realisieren, da allein aufgrund der Vielzahl zukünftiger Systeme und der vielfältigen parallelen und sequenziellen Austausch- und Verarbeitungsprozesse eine individuelle Bestätigung kaum mehr möglich ist. Die Autonomik funktioniert gerade dann gemäß ihrem selbst gewählten Titel und Anspruch, wenn intelligente Objekte scheinbar unbemerkt miteinander interagieren und so ein Leistungsangebot entsteht, das permanent und auch ohne explizite Nutzung gleichsam „natürlich“ zur Verfügung steht. Informationsverarbeitung wird damit zu einer immerwährenden Hintergrundaktivität. Dabei werden autonome Systeme

zukünftig in großem Maße dezentralisierte und komplexe Systeme mit einer Vielzahl von Dienst Anbietern und Betreibern sein und daher potenziell viele Möglichkeiten für gezielte Störungen und Angriffe sowie für technische Ausfälle bieten. Ein großer Teil der Interaktionen in der Autonomik werden vom Menschen nicht bewusst wahrgenommen, so dass beim Nutzer weder eine individuelle Einwilligung in bzw. Auslösung von Aktivitäten, noch ein Wissen um mögliche Konsequenzen seiner Handlung vorausgesetzt werden kann. Dementsprechend kommt dem „Weltmodell“ für tatsächlich weitgehend autonome Systeme eine zentrale Bedeutung zu, um kooperative Anwendungen im Sinne des Menschen/Nutzers zu realisieren.

12 Sheridan, T.B. und Verplank, W.L. (1978): Human and Computer Control of Undersea Teleoperators. MIT Man-Machines-Systems Laboratory Report, Cambridge, MA.

13 Zitiert nach: Hauß, Y. und Timpe, K.-P.: Automatisierung und Unterstützung im Mensch-Maschine-System. S. 48. In: Timpe, K.-P., Jürgensohn, T., Kolrep, H. (Hrg.) (2002): Mensch-Maschine-Systemtechnik. Symposium, Düsseldorf.

Die zunächst paradox anmutende Situation, dass die Autonomik sowohl die Automatisierungsstufe 5 bzw. 6 als auch die Stufe 10 adressiert, lässt sich aus der Art der Organisation der Autonomik erklären – handelt es sich um ein verteiltes (Netzwerk-) System oder eher um ein zentralisiertes/integriertes System? Abbildung 2 setzt die unterschiedlichen Ausprägungen kooperativer bzw. autonomer Systeme zueinander in Bezug.

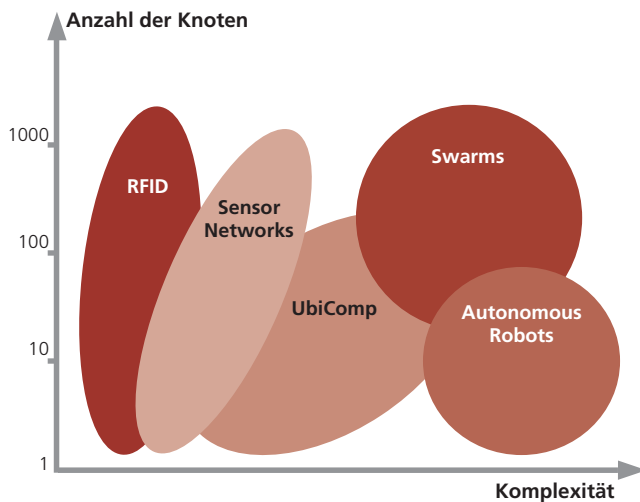


Abbildung 2: Verhältnis der Anzahl der Netzwerkknoten zur Komplexität des Leistungsspektrums (Quelle: Strese, H. (2007), VDI/VDE-IT¹⁴).

Kooperative Systeme können gemäß verschiedener Ebenen betrachtet werden. Ausgehend von Knotenpunkten wie RFID-tags sind Sensor-Netzwerke und das Internet der Dinge eine logische nächste Stufe. Wird durch eine fortschreitende Systemintegration die Funktionalität weiter erhöht, entstehen im Ubiquitous bzw. Pervasive Computing autonome und mobile (oder zumindest agile) Knoten. Daran schließen sich Schwärme intelligenter Objekte an, die bei einer weiteren Komplexität der Leistungsmerkmale eine fortgeschrittene Robotik ermöglichen. In diesem Sinne verringert sich die Zahl der Netzwerkmitglieder (Knoten) mit zunehmender Komplexität.

Einen Ausblick auf das künftige Zusammenspiel von Menschen und autonomen Artefakten beschreibt das Thema „Mensch-Technik-Kooperationen“ aus dem aktuellen BMBF-Foresight-Prozess.¹⁵ Im Kern gelingt es dem Thema erstmalig, eine positive und nicht militärisch bestimmte Vision für das 2002 geprägte Wissenschaftsparadigma der konvergierenden Technologien (NBIC: Nano, Bio, Info, Cogno)¹⁶ zu formulieren. Grundannahme der „Mensch-Technik-Kooperationen“ ist, dass es durch eine zunehmende „Computerisierung“ des Menschen (intel-

ligente Implantate und die Ausstattung seiner unmittelbaren Umgebung mittels Pervasive Computing/Ambient Intelligence) einerseits und dem Bestreben, Computer (bzw. Software- und IKT-basierte Artefakte) immer natürlicher (= „menschlicher“) zu machen andererseits zu einer neuen Qualität der Interaktion zwischen beiden Welten kommt, die über heutige Ansätze von Schnittstellen-Design (Human Machine Interfaces) etc. weit hinausgeht. Aus einem Kreis von Forschungsthemen, die von der sozialen Robotik über semantische Technologien, künstliche Intelligenz bis hin zum Neuro-Enhancement reichen und unter Einschluss eines weiten Spektrums von Geistes- und Sozialwissenschaften – hier reicht die Spannweite von den Verhaltenswissenschaften über Philosophie bis hin Anthropologie – wurden in dem Foresight-Prozess vier thematische Kristallisationspunkte identifiziert, die auch für die Autonomik als Zielhorizont Relevanz erlangen können:

- ▶ Der sich neu verortenden Mensch
- ▶ Maschinelle Agenten
- ▶ Mensch-Technik-Teams
- ▶ Mensch-Technik-Kultur

Als technologische Merkmale/Voraussetzungen für zukünftige Mensch-Technik-Kooperationen werden dabei ganz ähnlich zu den Voraussetzungen für die Autonomik oder auch das Ubiquitous/Pervasive Computing die folgenden „enabler“ gesehen:

- ▶ Verfügbarkeit großer Informationsbestände durch Digitalisierung und schnelle Internetzugänge,
- ▶ Echtzeit-Verarbeitung der Informationsmassen in einer Vielzahl technologischer Systeme durch erhebliche Steigerung der Rechenleistung und Miniaturisierung der Schaltkreise,
- ▶ Breite Anwendungspotenziale dank hoher Integration verschiedenster Komponenten auf kleinstem Raum durch Mikrosystemtechnik,
- ▶ Drahtlose Vernetzung und ubiquitäre Einbettung der Systeme,
- ▶ Deutlich verbesserte Algorithmen der Mustererkennung,
- ▶ Breiter Zugang zu satellitengestützter Positionierung.

Hinzu kommen noch zwei Aspekte, die sich in den bisherigen Beschreibungen nicht finden, aber von hoher Bedeutung für die Ausprägung avancierter Leistungsmerkmale wie „Kontextsensitivität“ und „Weltmodell“ sowie „Kooperation“ sind:

- ▶ Möglichkeit maschineller Interpretation von Information durch semantische Technologien,

14 WING Consortium (ed.) (2007): Watching IST Innovation and Knowledge – Impact Analysis in the Domain of Future and Emerging Technologies. Studie im Auftrag des Generaldirektorats für Informationsgesellschaft und Medien der Europäischen Kommission, Luxemburg.

15 Cuhl, K., Ganz, W., Warnke, P. (Hrg.) (2009): Foresight-Prozess im Auftrag des BMBF: Zukunftsfelder neuen Zuschnitts. Karlsruhe/Stuttgart; S. 15 ff.

16 Roco, M. C. and Bainbridge, W. (ed.) (2002) Converging Technologies for Improving Human Performance. National Science Foundation, Arlington.

- Tiefgreifende Erkenntnisse über das menschliche Gehirn und Entwicklung von Neuroprothesen.

Deutlich wird hieran, dass zukünftige autonome und kooperative Systeme nicht nur technische Entwicklungen erfordern, sondern auch solide Erkenntnisse über das menschliche Denken, Fühlen, Kommunizieren und Verhalten (Kognition). Aus den Verbindungen und Querbezügen entstehen sowohl technische als auch gesellschaftliche Herausforderungen. Insbesondere stellt sich die Frage, wie in einem Geflecht von intelligenter und teilweise autonom agierender Technik eigentlich situationsabhängige Entscheidungshierarchien festgelegt werden. Wie kann es gelingen, das individuelle „Weltmodell“

– also die Gesamtheit aus Interessen, Vorlieben, Abneigungen, Gewohnheiten, Bezügen, Werten etc. – des Nutzers zu entwerfen und mittels Algorithmen auf ein dynamisches technisches System zu übertragen? Hierfür sind heute gängige Profile völlig unzureichend, auch wenn es im Automobil natürlich funktionierende Assistenzsysteme gibt, Internet-Buchhändler automatisch Profile und Empfehlungen für weitere Einkäufe erzeugen, Sprachsteuerung in eng begrenzten Kontexten passabel funktioniert und eine Reihe von Implantaten seit Jahren klaglos ihren Dienst verrichten. Angesichts der Vielschichtigkeit der Kooperationsbeziehungen und -ebenen der zukünftigen Autonomik erscheint eine Vision, wie sie sich in den von Isaac Asimov erdachten Roboter-Gesetzen¹⁷ manifestiert, plötzlich ganz nah.

17 Erstmals beschrieben in der 1942 erschienenen Erzählung „Runaround“

Kontakt:

Dr. Marc Bovenschulte, Alfons Botthof

*Institut für Innovation und Technik
in der VDI/VDE Innovation + Technik GmbH*

*Steinplatz 1
10623 Berlin
Tel.: 030 310078-108 | -195
E-Mail: bovenschulte@iit-berlin.de | botthof@iit-berlin.de*

Layout: Jennifer Büttner

iit-Perspektive Nr. 02 vom Januar 2011