

Document D-15-04



Autonome Systeme

Technisch-wissenschaftliche Herausforderungen und Anwendungspotentiale

Wolfgang Wahlster,
Frank Kirchner

07/2015

Bibliographic information published by the German National Library

The German National Library lists this publication in the German National Biography; detailed bibliographic data are available in the internet at <http://dnb.ddb.de>.

© German Research Center for Artificial Intelligence (DFKI) GmbH, 2015

This work may not be copied or reproduced in whole or in part for any commercial purpose. Permission to copy in whole or in part without payment of fee is granted for nonprofit educational and research purposes provided that all such whole or partial copies include the following: a notice that such copying is by permission of the German Research Center for Artificial Intelligence (DFKI) GmbH, Kaiserslautern, Federal Republic of Germany; an acknowledgement of the authors and individual contributors to the work; all applicable portions of this copyright notice. Copying, reproducing, or republishing for any other purpose shall require a licence with payment of fee to German Research Center for Artificial Intelligence (DFKI) GmbH.

Issue D-15-04 (2015)
ISSN 0946-0098

German Research Center for Artificial Intelligence
Deutsches Forschungszentrum für Künstliche Intelligenz
DFKI GmbH

Founded in 1988, DFKI today is one of the largest nonprofit contract research institutes in the field of innovative software technology based on Artificial Intelligence (AI) methods. DFKI is focusing on the complete cycle of innovation – from world-class basic research and technology development through leading-edge demonstrators and prototypes to product functions and commercialization.

Based in Kaiserslautern, Saarbrücken and Bremen, the German Research Center for Artificial Intelligence ranks among the important 'Centers of Excellence' worldwide. An important element of DFKI's mission is to move innovations as quickly as possible from the lab into the marketplace. Only by maintaining research projects at the forefront of science DFKI has the strength to meet its technology transfer goals.

The key directors of DFKI are Prof. Wolfgang Wahlster (CEO) and Dr. Walter Olthoff (CFO). DFKI's research departments are directed by internationally recognized research scientists:

- Knowledge Management (Prof. A. Dengel)
- Cyber-Physical Systems (Prof. R. Drechsler)
- Robotics Innovation Center (Prof. F. Kirchner)
- Innovative Retail Laboratory (Prof. A. Krüger)
- Institute for Information Systems (Prof. P. Loos)
- Embedded Intelligence (Prof. P. Lukowicz)
- Agents and Simulated Reality (Prof. P. Slusallek)
- Augmented Vision (Prof. D. Stricker)
- Language Technology (Prof. H. Uszkoreit)
- Intelligent User Interfaces (Prof. W. Wahlster)
- Innovative Factory Systems (Prof. D. Zühlke)

In this series, DFKI publishes research reports, technical memos, documents (eg. workshop proceedings), and final project reports. The aim is to make new results, ideas, and software available as quickly as possible.

Prof. Wolfgang Wahlster
Director

Autonome Systeme

**Technisch-wissenschaftliche Herausforderungen
und Anwendungspotentiale**

Wolfgang Wahlster, Frank Kirchner

Juli 2015

Kontakt:

Prof. Dr. Dr. h.c. mult. Wolfgang Wahlster
Deutsches Forschungszentrum für Künstliche Intelligenz DFKI GmbH
E-Mail: wahlster@dfki.de
Homepage: <http://www.dfki.de/~wahlster/>

1. Einleitung und Motivation

Autonome Systeme können komplexe Aufgaben in einer bestimmten Anwendungsdomäne selbständig lösen. Autonome Systeme müssen abhängig vom aktuellen Kontext eigenständig einen Handlungsplan generieren, der ein Gesamtziel, das vom Betreiber des autonomen Systems vorgegeben ist, ohne Fernsteuerung und ohne Hilfe menschlicher Operateure erreicht. Eine besondere Herausforderung besteht für autonome Systeme darin, dass sie auch in ungewöhnlichen, bislang nicht bekannten Situationen sicher ihre Ziele mit den ihnen verfügbaren Ressourcen erreichen müssen. Aktuelle gesellschaftliche und wirtschaftliche Herausforderungen in den Themengebieten Mobilität, Produktion und Logistik, Sicherheit, Pflege und Wohnen lassen sich besonders in einer alternden Gesellschaft langfristig nur lösen, wenn eine neue Generation autonomer Systeme entwickelt wird, welche die Akzeptanz der menschlichen Nutzer findet und wirtschaftlich betrieben werden kann. Deutsche Wissenschaftler und Technologieanbieter haben Schlüsselkonzepte autonomer Systeme und international konkurrenzfähige Technologiebausteine entwickelt, so dass die Chance besteht, dass Deutschland Leitanwender, aber auch Leitanbieter autonomer Systeme für wichtige Innovationsfelder werden kann.

Autonome Systeme werden in Zukunft ein entscheidender Faktor sein bei der disruptiven Innovation im Bereich von

- Mobilitätsdienstleistungen (z.B. hochautomatisiertes Fahren für die individuelle Personenbeförderung, fahrerlose öffentliche Verkehrsmittel, Lastentransport in der Logistik),
- in der industriellen oder landwirtschaftlichen Produktion und Logistik (z.B. kollaborative Roboter, Tiefseeproduktion, autonome Flotten von Erntemaschinen),
- der sicheren Operation in für den Menschen lebensgefährlichen oder toxischen Umgebungen (z.B. kontaminierte oder einsturzgefährdete Gebäude, Tiefsee, Weltraum, Terrorabwehr),
- Assistenzleistungen bei der Pflege und Rehabilitation in einer alternden Gesellschaft,
- Automatisierung in der Haushaltsführung, der Sicherheit, Ressourcenschonung und des Komforts im Wohnbereich.

Als Vorteile autonomer Systeme sind hauptsächlich die gleichbleibende Leistungsfähigkeit ohne Ablenkungs-, Überlastungs- und Ermüdungserscheinungen und die hohe zeitliche Verfügbarkeit (minimale Ausfallzeiten durch Wartung) zu sehen.

2. Technisch-Wissenschaftliche Herausforderungen autonomer Systeme

Autonome Systeme verfügen über mindestens drei Komponenten, die für folgende Funktionen zuständig sind:

1. Sensorik
2. Künstliche Intelligenz
3. Aktuatorik

Über die Sensorik wird der Zustand der relevanten Umgebung analysiert, mit Künstlicher Intelligenz werden die Beobachtungen ausgewertet, Schlussfolgerungen gezogen, maschinelle Lernprozesse angestoßen und Handlungspläne berechnet, um die Ziele des autonomen Systems zu erreichen. Schließlich werden die Handlungspläne über die Aktuatorik ausgeführt und damit der Zustand der Umgebung in Richtung auf eine Zielerreichung geändert. In weiteren Iterationen wird dann der Zustand der Umgebung erneut analysiert und so lange weiter transformiert, bis schließlich alle Ziele des autonomen Systems erreicht sind (vgl. Fig. 1).

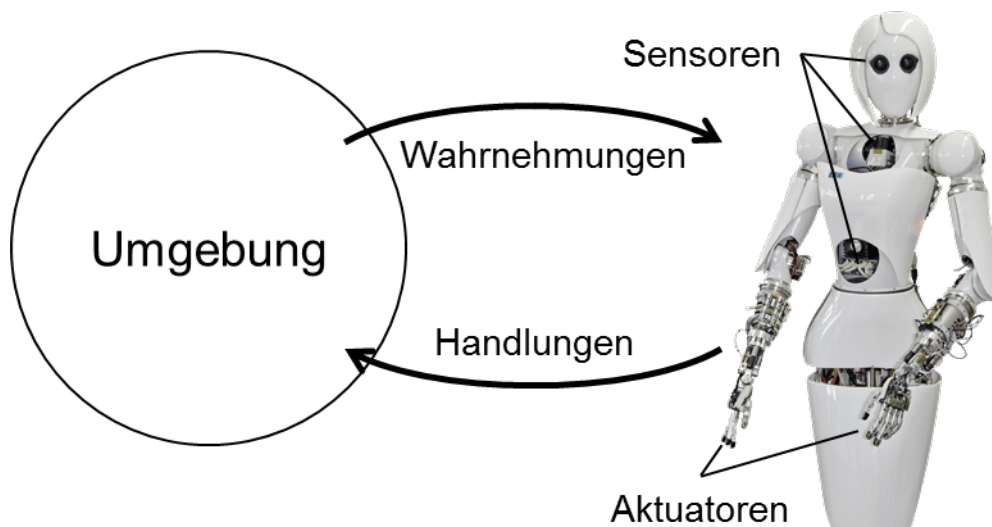


Fig. 1: Das Grundprinzip autonomer Systeme

Die Bausteine autonomer Systeme können als physische Module oder als Softwaremodule realisiert werden. Auf der einen Seite haben Roboter in der Regel physische Sensoren und Aktuatoren, während dagegen Softbots als reine Internet-Agenten ihre sensorischen Beobachtungen rein digital im Internet machen und auch Aktionen nur digital im Internet ausführen (z.B. autonome Auktionsagenten, autonome Systeme im Hochgeschwindigkeitshandel

an der Börse, autonome Zerstörung von kriminellen Bot-Netzen). Es gibt in der Praxis viele Mischformen, in denen Software- und Hardwarekomponenten in autonomen Systemen intelligent zusammenwirken.

Autonome Systeme weisen zahlreiche Merkmale auf, die in verschiedenen Kombinationen intelligentes Verhalten realisieren:

Selbsterklärungsfähigkeit: Das System kann seine Handlungsentscheidungen gegenüber einem Menschen in verständlicher, rationaler Weise erklären.

Fehlertoleranz: Das System kann auch bei Funktionsstörungen in seinen Komponenten seine Aufgaben zumindest partiell weiter erfüllen.

Selbstlernfähigkeit: Das System kann ohne Hilfe von außen rein aufgrund von Erfahrungsdaten und Beobachtungen seine Wissensbasis ergänzen.

Kooperativität: Das System kann mit anderen autonomen Systemen oder Menschen in seiner Umgebung im Team zusammenwirken, um seine Ziele zu erreichen.

Proaktivität: Das System kann vorausschauend agieren und bei seiner Handlungsplanung zukünftig zu erwartende Ereignisse in seiner Umgebung antizipieren.



Fig. 2: Merkmale autonomer Systeme

Die Zielorientierung, Adaptivität und Verlässlichkeit gehören zu den definierenden Merkmalen autonomer Systeme, ohne die ein praktischer Einsatz nicht sinnvoll ist. Eine zumindest partielle Selbstoptimierungs- oder gar Selbstheilungsfähigkeit wird zwar in der Forschung angestrebt, ist aber heute nur in wenigen Demonstrationssystemen realisiert.

2.1. Automatisierte Modellbildung

Allen autonomen Systemen gemeinsam ist die automatisierte Modellbildung. Die interne Verarbeitung von Daten, die über die Sensorik erfasst werden – aber auch solchen Informationen, die z.B. in internen Wissensspeichern und externen Datenbanken gespeichert sind oder die über Kommunikationskanäle abgerufen werden können (z.B. WWW) – bilden die Grundlage für die interne Modellbildung. Diese Modelle sind so vielschichtig und komplex, wie die jeweiligen Anforderungen an das autonome System es erfordern. Sie reichen von Modellen der Eigenschaften eigener Systemkomponenten (z.B. Modell eines Motors, das beschreibt, welche Leistung ein Motor bei gegebenen Umweltbedingungen erbringen kann, z.B. bei Produktionsrobotern) über Modelle, welche die räumliche Umgebung beschreiben (z.B. metrische Karten, die Hindernisse oder nicht befahrbare Gebiete verzeichnen, z.B. bei Robotern im Einsatz in für Menschen unzugänglichen Gebieten) bis hin zu Modellen über das dynamische Verhalten der Umgebung oder das voraussichtliche Verhalten von Agenten in der Umgebung (z.B. Passanten oder andere Fahrzeuge bei autonomen Autos, mit einem kollaborativen Roboter zusammenarbeitender Fabrikarbeiter). Die Modelle müssen nicht nur einmalig akquiriert, sondern während der Lebensdauer eines autonomen Systems immer wieder adaptiert, korrigiert und erweitert werden.

Autonome Systeme können nicht mit vollständigen und absolut sicheren Repräsentationen ihrer Umgebung operieren, denn sie müssen in bisher nicht explorierten, unzugänglichen, toxischen oder durch Katastrophen dramatisch geänderten Umgebungen handlungsfähig bleiben.

2.2. Umgang mit Unsicherheit

Autonome Systeme müssen auch Information in Situationen nutzen können, die geprägt sind von:

- Unsicherheit
- Vagheit
- Unvollständigkeit
- Ressourcenbeschränktheit

Daher müssen probabilistische, possibilistische, evidenzbasierte und entscheidungstheoretische Wissensrepräsentations-, Lern- und Inferenzsysteme zum Einsatz kommen, die auch explizit mit Ressourcenbeschränkungen zeitlicher, räumlicher, kognitiver oder energetischer Art umgehen können. Hierbei hat die Grundlagenforschung in der letzten Dekade enorme Fortschritte gemacht (u.a. Bayessche Netze, POMDPs, DS-Verfahren, Deep Learning).

Insbesondere die Navigation und Selbstlokalisierung innerhalb und außerhalb von technischen Installationen und Infrastrukturen, sowie in schwer zugänglichen und unbekanntem Umgebungen, ist eine zentrale Kompetenz autonomer mobiler Systeme. Durch die Einschränkungen in der Sensorik und der Bewegung der Systeme im Raum sind der Aufbau von Umweltmodellen, die Lokalisierung und die Navigation oftmals extrem erschwert. Intelligente Mobilität schließt dabei einerseits die Systementwicklung hochkomplexer Systeme ein, die ggf. auch mit sehr schwierigem Gelände zurechtkommen müssen, und umfasst andererseits neuartige Algorithmen zur Navigation, Selbstlokalisierung und Kartenbildung in entsprechend komplexen Umgebungen. Flexible, kraftgeführte, dynamische und hochpräzise Manipulatoren und Manipulationsstrategien auch für dem System zunächst unbekannte Objekte sind zentrale Komponenten autonomer Systeme.

2.3. Interaktion mit Menschen und Teambildung

Autonome Systeme können auf absehbare Zeit bei vielen Entscheidungs- und Problemfällen den Menschen aber nicht ersetzen, weil ihnen in völlig unvorhersehbaren Extremsituationen meist der „Common Sense“ als eine Art Alltagsintelligenz sowie die sozial-emotionale Intelligenz fehlt. Daher ist die effiziente und zuverlässige Kommunikation, Interaktion und Kollaboration zwischen Menschen und autonomen Systemen erforderlich, wobei sich die autonomen Systeme immer mehr dem Menschen in seinem Kommunikationsverhalten anpassen müssen als umgekehrt.

Angestrebt wird eine multimodale und dialogbasierte Kommunikation, die alle Sinne des Menschen nutzt, und die Kohärenz sowie die Konversationsprinzipien zwischen menschlichen Kommunikationspartnern als Vorbild nutzt. Dabei kommen neben der gesprochenen Sprache, Gesten, Mimik, Blick- und Kopfbewegungen bis hin zur Körpersprache zum Einsatz, die in einigen Anwendungen auch durch Exoskelette und Gehirn-Computer-Schnittstellen (BCI) ergänzt werden können. Neben der semantischen Fusion der multiplen Modalitäten und der wechselseitigen Auflösung von Mehrdeutigkeiten spielt dabei auch die kontextsensitive Fission geplanter semantischer Ausgaben in Hinblick auf die verteilte Präsentation in akustischen, visuellen oder haptisch-taktilen Informationskanälen eine entscheidende Rolle. Auch Verfahren aus dem Bereich der virtuellen, erweiterten und dualen Realität (VR, AR und DR-Technologien) werden für die menschliche Interaktion mit autonomen Systemen immer wichtiger.

Ein vielversprechender Zukunftstrend ist die Bildung hybrider Teams aus mehreren autonomen Systemen und mehreren Menschen, die sich eine Aufgabe gemäß ihrer spezifischen Fähigkeiten aufteilen und dann gemeinsam lösen. Die Kollaboration zwischen Menschen und autonomen

Systemen setzt ein wechselseitiges Verständnis der jeweiligen Ziele, Pläne und Fähigkeiten aller Teammitglieder voraus.

2.4. Langzeitautonomie und episodisches Gedächtnis

Bei autonomen Systemen bildet die Dauer des angestrebten autonomen Verhaltens eine wichtige Dimension zur Einordnung der Systeme. Heute gibt es bereits etliche Systeme, die sich kurzzeitig autonom verhalten können, z.B. Autopiloten in Flugzeugen und Autos, die kurzfristig und in Standardsituationen Autonomie erreichen. Die Herausforderung besteht aber in der Langzeitautonomie bis hin zum Extrem der gesamten Lebensdauer des Artefakts, die auch in völlig ungewöhnlichen Situationen rationales Verhalten realisieren. Nur dann kann das System ein episodisches Gedächtnis entwickeln, fallbasiertes Schließen aufgrund langer Erfahrungen bei der Problemlösung nutzen und sein Wissen durch maschinelles Lernen perfektionieren.

Ein mittelfristiges Ziel ist es, autonome Systeme kontinuierlich laufen zu lassen, so dass diese Erfahrungswissen über einen langen Zeitraum ohne Unterbrechung aufbauen können. Ein solches semantisches Gedächtnis speichert alle Beobachtungen und Aktionen des Systems und kann zum maschinellen Lernen und zur Selbstoptimierung bis hin zu einer eingeschränkten Selbstreflexion genutzt werden. Besonders bei der Operation in toxischen Umgebungen oder Missionen ohne Rückkehrmöglichkeit für das autonome System ist die sichere Zugriffsmöglichkeit auf dieses als eine Art Black Box realisierte Langzeitgedächtnis für den Systembetreiber von größter Bedeutung.

Gerade die Langzeitautonomie erfordert den Einsatz von standardisierten Werkzeugen zur Soft- und Hardwareentwicklung. Datenaustausch und -adaptation von gespeichertem Wissen über sehr lange Zeiträume ist nur möglich, wenn gemeinsame Formate und Schnittstellen definiert werden, die im besten Fall über Systeme unterschiedlicher Hersteller hinweg eingehalten und benutzt werden.

3. Anwendungsbereiche und Wertschöpfungspotentiale

Die Nutzung der Synergiepotentiale von KI-Technologien, Automatisierungstechnik, Mikrosystemtechnik und Robotik ergibt künftig ein enormes Wertschöpfungspotential. Ein entscheidender Faktor zur Nutzung dieser Potentiale ist der Auf- und Ausbau der nationalen Kompetenzen im Bereich der autonomen Systeme. Dabei ist das Marktpotential für die Nutzung dieser Technologien für die deutsche Industrie als äußerst hoch einzuschätzen. Im Folgenden werden einige Beispiele für vielversprechende Anwendungsbereiche ohne Anspruch auf Vollständigkeit skizziert, die speziell für Deutschland von großem Interesse sind.

3.1. Autonome Mobilitätssysteme

Deutsche Hersteller sind weltweit führend in der Konzeption des hochautomatisierten Fahrens. Bei teilautomatisierten Manövern wie dem Einparken, Kolonnenfahren oder Überholen sind kommerzielle Produkte schon seit längerer Zeit im Einsatz. Robotische Fahrzeuge, die auch in dichtem Stadtverkehr vollautonom fahren können, sind noch im Erprobungsstadium. Auch beim vorausschauenden autonomen Fahren mit extrem hohen Geschwindigkeiten bei volatilen Verkehrssituationen gibt es heute noch keine zuverlässigen und praxistauglichen Lösungen. Autonome Nutzfahrzeuge, insbesondere Erntemaschinen, werden bereits im Flottenverbund erprobt. Eine garantierte automatische Kollisionsvermeidung stellt heute noch Anforderungen an die Verifikation und Zertifizierung aller eingebetteten Komponenten, die noch weiterer Forschung bedarf. Elektro-Fahrzeuge, die sich autonom und ad hoc zu Verbänden zusammenschließen können, um während der Fahrt Energie auszutauschen, oder an mobile Energietankstellen andocken, um während der Fahrt zu tanken, setzen einen hohen Grad an autonomem Verhalten voraus. Auch bei der Fernsteuerung von PKWs als Drohnen (z.B. als Bring- und Abholdienstleistung im Bereich Car Sharing oder Autoverleih) über Mobilfunk sind autonome Systeme erforderlich, da bei Ausfall der Datenverbindung zu den Sensoren und Aktuatoren eines Fahrzeuges aufgrund einer kurzzeitigen Autonomie die Betriebssicherheit des fahrerlosen Fahrzeuges gewährleistet sein muss.

Im schienengebundenen öffentlichen Verkehr sind autonome Systeme technisch einfacher zu realisieren, aber durch die große Zahl von Passagieren die Sicherheitsanforderungen noch erheblich höher als im Individualverkehr. Auch im Schiffsverkehr wird an robotischen Lösungen gearbeitet und im Bereich der Binnenschifffahrt können autonome Transportsysteme eine Grundlage für eine effiziente Logistik der Zukunft bilden.

3.2. Industrielle Produktion

Im Bereich der industriellen Produktion wird die Einführung von autonomen Systemen zu einer massiven Veränderung der gängigen Praxis führen und die Grundlage für eine neue Generation von „Smart Factories“ in einer zweiten Stufe von Industrie 4.0 bilden. Bereits heute erproben BMW und Volkswagen (sowie asiatische Hersteller) das direkte Zusammenarbeiten von Robotersystemen und Menschen bei der Montage von PKW-Baugruppen. Im Bereich der Produktionsrobotik werden kinematisch komplexe, robotische Manipulatoren und Greifer entwickelt, um Menschen bei ihrer täglichen Arbeit zu entlasten. Diese Systeme verfügen über eine weit entwickelte Kinematik und hochauflösende Sensorik, die z. B. komplexe Manipulationsaufgaben auch zweiarmig ermöglichen. Obwohl noch in der ersten Erprobungsphase befindlich, zeigen bereits diese ersten Versuche das enorme Potential, das sich durch solche intelligenten autonomen Systeme bzgl. Mobilität, Manipulationsfähigkeit und Interaktion ergeben. Angefangen von reduziertem Platzbedarf bei der Planung von Produktions- und Montagestraßen - da die Roboter nicht mehr in Sicherheitskäfigen untergebracht sind - über die Entlastung von menschlichen Arbeitern von schweren und physisch belastenden Arbeiten, bis hin zur flexibleren Prozessplanung - z.B. beim kurzfristigen Ausfall von menschlichem Personal oder beim Abfangen von Lastspitzen und logistischen Engpässen - ergeben sich enorme Kosten-, Qualitäts- und Wettbewerbsvorteile.

3.3. Arbeit in für Menschen unzugänglichen, gefährlichen oder toxischen Umgebungen

Alleine die Energiewende löst auf vielen Gebieten einen großen Bedarf an autonomen Systemen aus:

- Kernkraftwerke werden stillgelegt und müssen rückgebaut werden.
- Bergwerke werden geschlossen und dienen als Lagerstätten, die überwacht und kontrolliert werden müssen.
- Windparks werden (auch *Offshore*) errichtet und müssen installiert und gewartet werden.
- Energie wird zunehmend dezentral erzeugt und über weitläufige, intelligente Netze verteilt. Diese Netzinfrastrukturen (*Pipelines*, Kabel, Trassen, usw.) müssen inspiziert und gesichert werden.

Im Bereich Anlagenbau, der -überwachung und -demontage ergeben sich technologische Herausforderungen in diversen Bereichen, von der Reaktion bei Katastrophenszenarien und Anwendungen im Bergbau sowie bei kritischen Anlagen, wie dem Rückbau von Atomkraftwerken und Lagerstätten, bis hin zur direkten Überwachung kritischer Infrastruktur wie Flughäfen, Häfen und andere Gebäude und Areale. In einer vom BMWi beauftragten Studie des VDI-VDE¹ wurde allein der US-amerikanische Markt für 2015 auf ca. 80 Milliarden Dollar prognostiziert, die internationalen Erwartungen gehen noch weit darüber hinaus.

Die Vielfalt der beschriebenen Aufgaben ist die Herausforderung an intelligente, technische Systeme, die hierbei zum Einsatz kommen könnten, um eine effiziente (geringe Zeit und Kosten) und sichere Handhabung zu gewährleisten. Roboter, die beispielsweise zur Sicherung kritischer Infrastrukturen (etwa von Hafenanlagen, Terminals, Flughäfen, Kraftwerken sowie sicherheitskritischen Betrieben) eingesetzt werden sollen, benötigen eine erhöhte Mobilität in komplexen Umgebungen und müssen über zeitlich ausgedehnte Autonomie und Autarkie verfügen, die sich auf fortgeschrittene Sensorik stützt.

So setzt die Robotikforschung in der letzten Dekade bei der Bewältigung schwierigen Geländes verstärkt auf biologisch inspirierte Systeme mit Beinen zur Fortbewegung. Solche Systeme stellen eine Blaupause für einen Roboter dar, der zur u.a. Überwachung von Außenanlagen, zur Grenzsicherung oder im Kampfmittelräumdienst eingesetzt werden kann. Sie erfüllen unter den Bedingungen des Weltraums ganz ähnliche Manipulationsaufgaben, wie sie von Systemen etwa beim Rückbau kontaminierte Anlagen (wie etwa Kernkraftwerken) benötigt werden, wo Rückbau nicht Abriss, sondern das stückweise Disassemblieren komplexer Bauteile, Module und Komponenten bedeutet.

3.4. Nachhaltige maritime Ressourcenbewirtschaftung

Autonome Systeme sind geradezu prädestiniert, die sichere Gewinnung und nachhaltige Nutzung sowie die Überwachung von Umweltstandards beim Abbau maritimer Ressourcen vorzubereiten und effektiver voranzutreiben. Hierbei besonders interessant ist der Abbau mineralischer Rohstoffe, die – von immenser Bedeutung für das Hightech-Land Deutschland – nicht auf unserem Territorium, jedoch in großer Menge auf dem Grund der Ozeane vorkommen. Die entsprechenden Technologien zum nachhaltigen Ressourcenabbau in der Tiefsee sind derzeit weltweit nicht vorhanden. Betrachtet man die Anforderungen, die an derartige

¹ Studie „[Marktpotenzial von Sicherheitstechnologien und Sicherheitsdienstleistungen](#)“, VDI/VDE, 2009

Tiefseetechnologien zu stellen sind (extremer Druck, große Entfernungen, geringe Kommunikationsbandbreite), so wird die Parallelität zur Definition autonomer Systeme evident. Darüber hinaus sind auch im Tiefseeinsatz erhöhte Anforderungen an die Intelligenz und Autonomie der eingesetzten robotischen Systeme zu stellen, die aus der großen Entfernung, bzw. der geringen Kommunikationsbandbreite im Wasser resultieren. Die Lösung ist in allen Fällen der Einsatz von Methoden der Künstlichen Intelligenz, gepaart mit fortschrittlichen Robotiktechnologien.

Im Bereich maritimer Ressourcen findet sich ein enormes Marktpotential für die mit dem Ressourcenabbau in der Tiefsee erforderlichen technischen Systeme, die aufgrund der vorhandenen deutschen Expertise in der Raumfahrtrobotik der heimischen Industrie eine exzellente Positionierungsmöglichkeit auf dem international schnell wachsenden Markt eröffnet. Für die Beschaffung eines einfachen Erkundungsroboters für die Tiefsee (*Autonomous Underwater Vehicle*, AUV) werden heute bis zu 5 Millionen Dollar angesetzt². Dabei wird für die nächsten 25 Jahre ein Bedarf von 903 AUV-Einheiten mit einem Wert von 1,8 Milliarden Dollar pro Jahr prognostiziert. Unter Berücksichtigung der aktuellen Trends bei Technologieentwicklungen im maritimen Bereich wird der Bedarf sogar auf 1.972 Einheiten mit einem Wert in Höhe von 3,751 Milliarden Dollar³ ansteigen.

² Studie "[The AUV Gamechanger Report 2008-2017](#)", Douglas-Westwood, 2008

³ Studie "[The AUV Gamechanger Report 2008-2017](#)", Douglas-Westwood, 2008

German Research Center for Artificial Intelligence (DFKI) GmbH

DFKI Bremen

Robert-Hooke-Straße 1
28359 Bremen
Germany
Phone: +49 421 178 45 0
Fax: +49 421 178 45 4150

DFKI Saarbrücken

Stuhlsatzenhausweg 3
Campus D3 2
66123 Saarbrücken
Germany
Phone: +49 681 875 75 0
Fax: +49 681 875 75 5341

DFKI Kaiserslautern

Trippstadter Straße 122
67608 Kaiserslautern
Germany
Phone: +49 631 205 75 0
Fax: +49 631 205 75 5030

DFKI Projektbüro Berlin

Alt-Moabit 91c
10559 Berlin
Germany
Phone: +49 30 238 95 0

E-mail:

reports@dfki.de

Further information:

<http://www.dfki.de>