

---

MULTIMODALE SENSORIK

# KONZEPTE ZUR UMWELTER- KENNUNG UND -MODELLIERUNG

Kurzstudie

Gefördert durch:



Bundesministerium  
für Wirtschaft  
und Technologie

aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

---

## Inhaltsverzeichnis

1.	Vorwort .....	5
2.	Überblick .....	6
3.	Vorbemerkungen .....	8
4.	Sensorik als Kernfunktionalität der Autonomik .....	10
4.1	Marktanalyse .....	10
4.2	Einordnung der Sensorik als Element autonomer Systeme .....	12
5.	Sensorik in ausgewählten Projekten .....	14
5.1	DyCoNet .....	14
5.2	marion .....	14
5.3	RoRaRob .....	15
5.4	viEMA .....	15
5.5	RoboGasInspector .....	16
5.6	SaLsA .....	16
6.	Analyse .....	18
6.1	Strukturelle Herausforderungen des Marktes .....	18
6.2	Übergeordnete Aspekte .....	18
6.2.1	Plug-and-Play .....	19
6.2.2	Standardisierung .....	19
6.2.3	Sicherheitskritische Software .....	20
6.2.4	Einhaltung von Safety-Standards / Zulassung .....	20
7.	Von der Sensorik zur Umwelterkennung – Strategische Entwicklungsfelder .....	21
7.1	Sensorbasierte Fähigkeiten .....	21
7.2	Sensoren und Sicherheit .....	22
7.3	Sensorkonzepte .....	23
7.4	Technologische Weiterentwicklung .....	24
7.5	Nicht-technische Herausforderungen .....	24
8.	Schlussfolgerungen und Handlungsbedarf .....	26
8.1	Sensoren .....	26
8.2	Generische Sensoren .....	26
8.3	Engineering .....	26
8.4	Rahmenbedingungen .....	26
	Fachgruppe Sensorik .....	28
	Literaturverzeichnis .....	29
	Abbildungsverzeichnis .....	29

---



**Dr. C. Thomas Simmons**

Geschäftsführer AMA  
Fachverband für Sensorik e. V.

## Sensorik als Schlüsseltechnik der Autonomik

Die großen Herausforderungen unserer Zeit bedürfen innovativer Lösungsansätze. Für die Autonomik bedeutet das, dass die Objekte immer flexibler auf ihre Umgebung reagieren und agieren müssen, erst dadurch werden sie zur intelligenten Maschine.

In der Autonomik müssen Umweltdaten präzise erfasst, die Informationen schnell verarbeitet, die Steuerung zuverlässig betrieben und die eigentliche Aktorik gezielt aktiviert werden. Basis all dieser Schritte in der Autonomik sind Daten, die von Sensoren erfasst und bereitgestellt werden. Da Sensoren meist sehr kleine Bauteile sind und überwiegend im Verborgenen arbeiten, stehen sie häufig in Schatten der spektakulären Lösungen. Sehr oft sind es jedoch die Sensoren, die eine intelligente, sprich „smarte“ Lösung erst ermöglichen. Somit gelten Sensorik und Messtechnik als Schlüsseltechnologie der Autonomik.

Je intelligenter und innovativer eine autonome, technische Anwendung ist, desto mehr Informationen benötigt sie über ihre physische Umgebung. Entsprechend hoch sind die Anforderungen an die eingesetzte Sensorik. Bei steigender Leistungsfähigkeit erfassen autonome Objekte mit jeder neuen Gerätegeneration weitere, genauere und zuverlässigere Daten und können Störeinflüsse vermeiden. Durch eine immer stärkere Einbindung von weiteren, verbesserten und intelligenteren Sensoren zeigt sich der direkte Zusammenhang zwischen technischer Innovation und Sensorik.

Das Gebiet der Autonomik ist somit ein sehr spannendes Einsatzgebiet für die Sensorik und Messtechnik. Es verheißt innovationsgeladene Anwendungen und beeindruckende Entwicklungen, die schon jetzt das Thema Automatisierung auf eine neue, sehr interessante Ebene anheben. In der Sensorik beobachten wir dazu die Trends einer immer weiter voranschreitenden Miniaturisierung, erhöhter Zuverlässigkeit, steigender Eigenintelligenz und immer breiteren Einsatzbereichen. Darüber hinaus entwickeln sich moderne Sensoren für den mobilen Einsatz zu integrierten Multisensoren und zu einer ständig anspruchsvolleren, integrierten Signalaufbereitung.

Der Fortschritt in der Autonomik nimmt eine rasante Entwicklung und stellt somit auch zukünftig interessante Herausforderungen an die Sensorik und Messtechnik. Die vorliegende Studie zeigt Ihnen die neuesten Entwicklungen der Sensorik in der Autonomik auf.

Wir laden Sie ein, lassen Sie sich von den Ergebnissen anregen und zu eigenen Produktinnovationen inspirieren.

## 2. Überblick

Autonome Systeme bewegen sich in einer mehr oder minder bekannten Umwelt. Um diese zu erfassen und daraus richtige Schlussfolgerungen abzuleiten, sind leistungsfähige Sensoren zur Umwelterkennung ein unabdingbares Element.

Die Betonung liegt dabei auf der Umwelterkennung, denn zwischen dem Sensorausgangssignal (z.B. einem Messwert, einem Kamerabild) und der wirklichen Erkennung der Umwelt ist es ein weiter Schritt. Wenn wir einen Menschen durch einen Flughafen eilen sehen und dagegen das vorsichtige Vortasten heutiger autonomer Systeme in der gleichen Situation vergleichen, wird die Herausforderung deutlich. Zwar hat das autonome System eine zusätzliche Bürde zu tragen – man verzeiht ihm keinen Unfall, der Mensch darf schon mal mit jemandem zusammenstoßen – aber allein das erklärt nicht den Unterschied.

Die vorliegende Kurzstudie wurde im Rahmen der Begleitforschung des vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie geförderten Technologieprogramms „Autonomik – Autonome und simulationsgestützte Systeme für den Mittelstand“ erstellt. Es wurde eine Analyse der technologischen Herausforderungen und der rechtlichen, methodischen und wirtschaftlichen Randbedingungen durchgeführt und Handlungsempfehlungen abgeleitet, um die Umwelterkennung für autonome Systeme voranzutreiben.

Nach Analyse der laufenden Projekte wurde sehr schnell klar, dass die Stakeholder hier auf qualitative Herausforderungen stoßen, die sich nicht im Rahmen eines einzelnen Projektes lösen lassen. Vielmehr bedarf es eines strategischen, generischen Ansatzes, um den autonomen Systemen zumindest annähernd die Fähigkeiten des Menschen zur Umwelterkennung zu ermöglichen. Die Umwelterkennung ist ein Element des inneren Regelkreises eines autonomen Systems und an dieser Stelle bestimmt das schwächste Glied. Gleichzeitig gilt es, alle Elemente auf die Aufgabe „Umwelterkennung“ einzuschwören – allein bessere Sensoren sind zu wenig.

Die technologischen Herausforderungen lassen sich an einem Beispiel erklären: heutige moderne Kraftfahrzeugmotoren wären ohne Sensoren undenkbar und ohne eine rasante Technologieentwicklung in der Sensorik unbezahlbar. Eine vergleichbare Entwicklung steht der Umwelterkennung für die Autonomik bevor – die Herausforderung ist aber hinsichtlich der Datengewinnung und -verarbeitung erheblich komplexer.

Neben diesen technischen Herausforderungen stehen autonome Systeme vor rechtlichen und wirtschaftlichen Herausforderungen. Sie dürfen keine Unfälle verursachen – eine Haftpflichtversicherung gibt es nicht – und sollen effizienter als vom Menschen gesteuerte Prozesse sein.

Ausgehend von diesem Sachstand wurde 2011/2012 im Rahmen mehrerer Workshops und etwa 15 Experteninterviews die Analyse zum Stand der Technik (und der nichttechnischen Randbedingungen) durchgeführt. Die aus der Analyse abgeleiteten Handlungsempfehlungen lassen deutlich die Bedeutung generischer Lösungen erkennen, aber auch den Umfang der Herausforderungen für die nächsten Jahre. Das gilt insbesondere vor dem Hintergrund der mittelständisch geprägten deutschen Sensorik-Industrie, die heute 30 % des Sensorik-Weltmarktes beliefert und in manchen Segmenten der hochwertigen Industriesensorik Weltmarktanteile von deutlich mehr als 50 % erreicht – eine typische Hidden-Champion-Branche.

In dem im März 2012 erschienenen Weltreport „Sensors Markets 2016“ prognostiziert das Marktforschungs-Unternehmen Intechno Consulting trotz der insgesamt starken deutschen Marktposition im weltweiten Sensormarkt für Westeuropa einen Rückgang der Nachfrage nach Sensoren von 34 % in 2006 auf 29 % in 2016. Der Hauptgrund hierfür ist, dass die westeuropäischen Nachfrager nach Sensoren überwiegend im Bereich der etablierten Industrien zu finden sind; demgegenüber sind die USA und Japan im Bereich der Informations- und Kommunikationstechnologien führend, die wiederum das Hauptwachstumfeld für die zukünftigen Sensormärkte bilden.

Sensoren für Geräte, Systeme und Netze der Informations- und Kommunikationstechnik werden nach der Prognose der Intechno Consulting bis 2016 ein Anteil von 22,9 % am Gesamtmarkt erreichen. Um auch in diesem Wachstumfeld eine starke deutsche Marktposition zu sichern, muss die Umwelterkennung und die dafür notwendige Sensorik in zukünftigen industriepolitischen Strategien angemessen Berücksichtigung finden.

Die angestrebte Autonomie in der zukünftigen Industrie ist nicht allein durch die Wechselwirkung von Objekten und gespeicherten Informationen möglich, sondern bedarf der Erkennung der jeweiligen Umwelt. Dafür gilt es – sinnvoller Weise in mehreren Stufen und auf mehreren Ebenen – das Thema Umwelterkennung voranzutreiben. Dabei besteht Umwelterkennung immer aus einem integrierten Ansatz aus Sensoren und der Signalverarbeitung – das Ziel ist in diesem Sinne ein Subsystem für das Gesamtkonzept Autonomik.

Die Entwicklung des Marktes von der Komponentenfertigung hin zu integrierten, intelligenten und leicht adaptierbaren Lösungen für unterschiedliche Anwendungen der Autonomik stellt ebenfalls ganz neue Anforderungen an die Branche. Gleichzeitig eröffnet Autonomik aber auch neue Chancen, die starke Marktposition der deutschen Sensorikbranche auch in der Zukunft halten und ausbauen zu können. Neben dem Geschäft mit klassischen Subkomponenten und Sensorelementen geht es um die Erschließung neuer Märkte für „intelligente“ Sensoren (smarte Komponenten / Objekte).

Die im Rahmen der vorliegenden Studie erarbeiteten Handlungsempfehlungen dienen dem Ziel, eine effiziente Umwelterkennung für autonome Systeme zu erreichen. Dabei spielen generische Konzepte und die Fusion von klassischem Sensor und Datenverarbeitung eine Hauptrolle. Standards und Normen sollten zukünftig die Implementierung von Umwelterkennung in intelligente Objekte vereinfachen und die hohen Engineering-Kosten vermeiden.

Der Handlungsbedarf erstreckt sich dabei weit über die zum gegenwärtigen Zeitpunkt (2012) laufenden, geförderten Projekte des Technologieprogramms AUTONOMIK hinaus und trägt in vielen Fällen einen stark generischen Charakter. Der zukünftige nachhaltige Erfolg und die wirtschaftlichen Potenziale für den Standort Deutschland lassen sich nur mit einer strategischen Herangehensweise an die aufgezeigten Herausforderungen erreichen. Die Sensorik stellt dabei eine Schlüsselzulieferindustrie dar.

### 3. Vorbemerkungen

Die hier vorliegende Studie wurde im Rahmen der Begleitforschung zum vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi) geförderten Technologieprogramm „Autonomik – Autonome und simulationsbasierte Systeme für den Mittelstand“ erstellt. Neben der Projektarbeit selbst geht es auch darum, die Vernetzung der Projekte im fachlichen Umfeld und untereinander zu intensivieren und Synergien zu befördern. Dazu wurden wichtige Querschnittsthemen, die von übergreifendem Interesse für alle Projekte sind, identifiziert und entsprechende Arbeitsgruppen gebildet. Die vorliegende Studie ist das Ergebnis der Arbeit der Fachgruppe „Multimodale Sensorik – Konzepte zur Umwelterkennung und -modellierung“.

#### AUTONOMIK

„Autonomik – Autonome und simulationsbasierte Systeme für den Mittelstand“ ist ein vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie gefördertes Technologieprogramm. Bei AUTONOMIK geht es um zukunftsweisende Ansätze für die Entwicklung einer neuen Generation von intelligenten Werkzeugen und Systemen, die eigenständig in der Lage sind, sich zu vernetzen, Situationen zu erkennen, sich wechselnden Einsatzbedingungen anzupassen und mit Nutzern und anderen Objekten zu interagieren. Im Vordergrund stehen Anwendungen im Logistik- und Transportbereich sowie in der Service-Robotik. Ein zusätzlicher Schwerpunkt ist das Projekt RAN (RFID-based Automotive Network) zur Optimierung und notwendigen Standardisierung von Logistikprozessen für die gesamte Automobilbranche auf Basis modernster RFID-Technologien. Insgesamt haben sich 14 Projekte für eine Förderung durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie qualifiziert. Rund 100 Unternehmen und wissenschaftliche Einrichtungen wirken an den Vorhaben mit. Einschließlich der Eigenmittel der Fördernehmer beträgt das Projektbudget ca. 110 Mio. Euro. Die anteilige Förderung des BMWi daran beläuft sich auf ca. 55 Mio. Euro.

Die Projekte  
Agilita, Autass, AutoPnP, Autobauolog, Dyconet, Lupo, marion, RAN, Robogasinspector, rorarob, Salsa, simKMU, smartOR, viema

**AUTONOME SYSTEME GEHÖREN ZU DEN 10 TECHNOLOGIEPLATTFORMEN, DIE KÜNFTIG EINEN GROSSEN EINFLUSS AUF DIE MÄRKTE WELTWEIT AUSÜBEN WERDEN.**

#### EINORDNUNG

Frost & Sullivan hat unter der Überschrift „Global Top 10 Hot Technologies to Invest“ die zehn 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, Solar, 3D Integration, White Biotech und Lasers.<sup>1</sup> 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 geförderten AUTONOMIK-Vorhaben zielen, abgedeckt werden.

Der Wert solcher Projekte, die im Zusammenhang mit dieser Thematik stehen, wird von Frost & Sullivan mit derzeit > 11 Mrd. US\$<sup>2</sup> beziffert.

Zur Erschließung dieser Potenziale in Deutschland hat das Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi) mit dem Technologieprogramm „Autonomik – Autonome und simulationsbasierte Systeme für den Mittelstand“ einen wichtigen Förderschwerpunkt gesetzt, der sich insbesondere an mittelständische Hersteller und Anwender richtet.

#### WAS GENAU IST AUTONOMIK?

Autonomik ist aus technischer Sicht keine einzelne neu zu entwickelnde Technologie oder spezifische Funktionalität. Vielmehr geht es bei Autonomik vor allem um die intelligente Verknüpfung vieler bereits existierender Technologien und Entwicklungen mit dem Ziel, neue Funktionalitäten und Qualitäten in unterschiedlichen Anwendungsbereichen zu ermöglichen. Auf diese Weise sollen „autonome Objekte“ um intelligente Fähigkeiten erweitert werden, die es ihnen ermöglichen, selbst komplexe Analyse-, Entscheidungs- und Verarbeitungsprozesse eigenständig durchzuführen oder (Teil-)Aufgaben an andere „kompetente Objekte“ zu delegieren. Wie bei einem Baukasten soll ein technisches System durch Ergänzung passender Objekte um neue Funktionen erweiterbar sein, ohne dass die Gesamtkonstruktion aufwändig angepasst werden muss.

Beispiele für autonome Systeme sind z. B. kooperierende robotische Systeme in der (teil-)autonomen Fertigung,

Assistenzroboter in kleinen Handwerksbetrieben, Service-Roboter im häuslichen Umfeld, fahrerlose Transportsysteme in gemeinsamer Arbeitsumgebung mit personengeführten Fahrzeugen und Fußgängern, smarte Pkw, die beispielsweise auf Autobahnen autonom fahren, sowie autonome logistische Systeme, in denen Transportgüter eigenständig ihren Weg zum Adressaten bestimmen.

#### QUERSCHNITTSTHEMEN MIT ÜBERGREIFENDER BEDEUTUNG FÜR ALLE AUTONOMIK-PROJEKTE

Neben der Projektarbeit selbst innerhalb des Technologieprogramms AUTONOMIK geht es auch darum, die Vernetzung der Projekte im fachlichen Umfeld und untereinander zu intensivieren und Synergien zu befördern. Dazu wurden wichtige Querschnittsthemen, die von übergreifendem Interesse für alle Projekte sind, identifiziert und entsprechende Arbeitsgruppen gebildet:

- Recht und funktionale Sicherheit in der Autonomik
- Multimodale Sensorik – Konzepte zur Umwelterkennung und -modellierung
- Mensch-Technik-Interaktion
- „Betriebssysteme“ für smarte Objekte und Systeme in der Autonomik

Diese Themen adressieren oft zukunftsweisende Fragestellungen für ganze Branchen. Die geförderten Projekte markieren hier häufig den Anfang weitreichender Entwicklungen, die es aufzugreifen gilt. Ziel des AUTONOMIK-Programms ist es daher, über die Projekte hinaus Experten aus relevanten Branchen und Anwendungsbereichen frühzeitig in den Dialogprozess einzubeziehen und entsprechende Impulse auszulösen.

**DIE UMWELTERKENNUNG IST EINE ZENTRALE FUNKTIONALITÄT, UM DIE AUTONOMIE VON SYSTEMEN UND DEREN ZUVERLÄSSIGKEIT UND SICHERHEIT ZU GEWÄHRLEISTEN.**

Während der Laufzeit der anspruchsvollen AUTONOMIK-Projekte wurde zunehmend deutlich, dass wesentliche Defizite im Bereich der Sensorik überbrückt werden müssen. Diese Defizite liegen vor allem in der technischen Umsetzung der Umgebungserkennung. Heutige Sensoren erfassen

unbewertet alle Messdaten ihrer Umgebung. Das führt zu großen Datenmengen, aus denen unter Umständen nur eine Information benötigt wird. Darüber hinaus muss die Information nicht nur fehlerfrei, sondern auch noch schnell gefunden und weitergegeben werden. Für die nachfolgenden, verarbeitenden Systeme ist das eine nahezu unlösbare Aufgabe. Für die komplexe Umgebungserkennung ist eine neue Qualität von Kooperation zwischen Sensor und Signalverarbeitung gefordert. Denkbar wäre z. B. ein in den Sensor integriertes Umgebungserkennungsmodul, das die geschickten Bilder interpretiert. Zusammen mit weiteren, z. B. über das Internet erhaltenen externen Informationen – wie GPS-Daten oder Kartenmaterial – wäre es möglich, dass sich das autonome System sicher in der Umgebung bewegt. Für die unterschiedlichen Anwendungsszenarien „Autonomes Fahren“, „Autonome Assistenzsysteme in der Fertigung“, „Autonomes Überwachen, Inspizieren, Warten“ und „Autonome Systeme in der Logistik“ spielt Sensorik eine zentrale funktionsbestimmende Rolle. Der nachhaltige wirtschaftliche Erfolg der Projekte hängt damit auch wesentlich von der eingesetzten Sensorik ab.

Die Intensivierung des Dialogs zwischen Sensorherstellern, Systemintegratoren und Anwendern bei autonomen Systemen ist deshalb ein Muss. Die erste Analyse durch die AUTONOMIK-Projekte sowie Sensorhersteller und den AMA Fachverband für Sensorik half Vor- und Nachteile eingesetzter Sensorkonzepte sowie bestehende Angebotslücken und technologische Herausforderungen zu identifizieren. Die Ergebnisse werden jetzt im Rahmen dieser Kurzstudie präsentiert.

#### METHODISCHES VORGEHEN

- ▶ Analyse der laufenden AUTONOMIK-Projekte
- ▶ Workshop mit Anwendern, Herstellern und Forschern im Rahmen der Messe Sensorik + Test 2011 am 09.06.2011 in Nürnberg
- ▶ 15 Interviews (08 – 10 / 2011) mit Experten aus den Projekten, der Sensorikforschung und -industrie sowie angrenzenden Wissensgebieten
- ▶ Validierungsworkshop zu den Ergebnissen der Interviews und den darauf basierenden Analysen am 12.12.2011 in Berlin
- ▶ Redaktioneller Entwurf eines Grünbuchs „Sensorik in der Autonomik“ und Abstimmung mit den Mitgliedern des Arbeitskreises
- ▶ Präsentation und Diskussion der Ergebnisse im Rahmen der Messe Sensor + Test im Mai 2012 mit der Fachöffentlichkeit
- ▶ Erstellung der finalen Fassung
- ▶ Einarbeiten von Ergebnissen in den Leitfaden „Sensoren für autonome Systeme“
- ▶ Vorstellung anlässlich der Konferenz AUTONOMIK-Transfer Ende Januar 2013

<sup>1</sup> Quelle: <http://www.competence-site.de/Frost-and-Sullivan-Global-Top-10-Hot-Technologies-to-Invest> (letzter Zugriff 22.09.2010)

<sup>2</sup> Stand: Nov. 2009

## 4. Sensorik als Kernfunktionalität der Autonomik

### 4.1 Marktanalyse

Nach Schätzungen des AMA Fachverbands für Sensorik liegt der Umsatz der deutschen Branche für Sensorik und Messtechnik pro Jahr bei rund 35 Mrd. Euro. Das sind knapp 30 % des Weltmarkts. Das Umsatzvolumen in Deutschland wächst jährlich um rund 2,7 Mrd. Euro. Sensorsysteme aus deutscher Produktion werden zu ca. 35 - 40 % direkt exportiert. Fügt man den indirekten Export hinzu (Maschinen, Anlagen und Produkte mit Sensorsystemen), dann dürfte die tatsächliche Exportquote deutscher Sensorsysteme bei ca. 60 - 70 % liegen. Die Branche umfasst insgesamt 2.000 bis 2.500 Firmen – vom Hersteller zum Wiederverkäufer, vom Ingenieurbüro bis hin zu spezialisierten Dienstleistern – und Institute. Von den rund 800 Sensorherstellern in Deutschland sind ca. 85 Prozent Kleine und Mittlere Unternehmen (KMU). Der größte Einzelmarkt für Sensoren ist die Automobilindustrie. Als „hidden champion“ hat die Branche ein durchschnittliches Wachstum in Deutschland von etwa 8 % pro Jahr während der letzten 30 Jahre zu verzeichnen. Sensoren durchdringen zunehmend etablierte Anwendungssektoren und erschließen fortwährend neue Einsatzgebiete. Weder Produktionstechnologien, moderne Fahrzeuge und innovative Medizingeräte noch intelligente Stromnetze und Gebäudetechnik kommen ohne entsprechende Sensoren aus. Dabei werden sie zugleich immer hochwertiger, spezifischer, robuster und zugleich oftmals intelligenter, kommunikativer und trotzdem preiswerter als die jeweiligen Vorgängergenerationen. Mit dem weiteren dynamischen Vordringen intelligenter Mobilfunkgeräte und Tablet PCs erhält auch der Sensorbedarf einen weiteren Schub<sup>3</sup>.

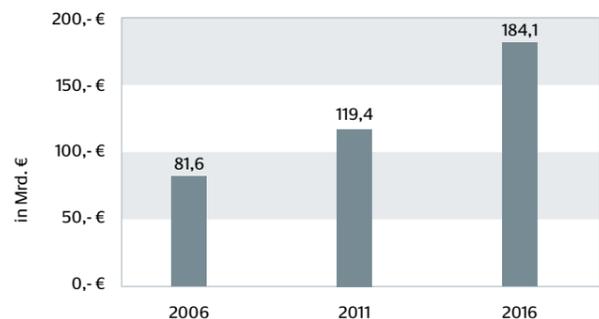


Abbildung 1: Entwicklung des zivilen Sensorikweltmarktes 2006 - 2016 (Intechno Consulting, 2012)

3 Die in diesem Exkurs aufgenommenen Informationen stammen aus der Quelle: [http://www.elektroniknet.de/messen-testen/news/artikel/86235/0/\\_Der\\_Sensorik-Markt\\_ist\\_viel\\_groesser\\_als\\_gedacht\\_/](http://www.elektroniknet.de/messen-testen/news/artikel/86235/0/_Der_Sensorik-Markt_ist_viel_groesser_als_gedacht_/) (zuletzt besucht am 07.03.2012)

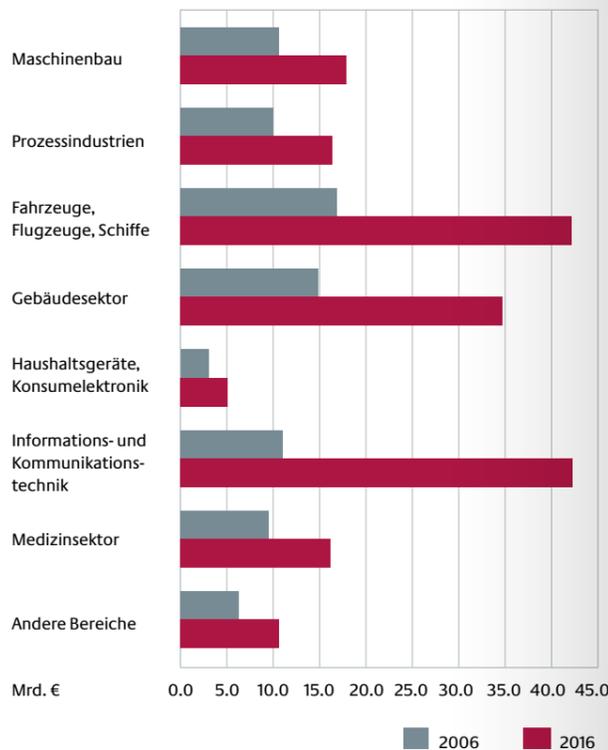


Abbildung 2: Die Entwicklung der weltweiten Sensormärkte 2006 und 2016 nach Anwendungen (Intechno Consulting, 2012)

Mit einer durchschnittlichen jährlichen Wachstumsrate von ca. 9 % wächst der freie zivile Weltmarkt für Sensoren zwischen 2011 und 2016 von 119,4 auf 184,1 Mrd. Euro. Die Marktschätzung von Intechno Consulting für das Jahr 2016 weist aus, dass insbesondere im Bereich der IKT der Bedarf an Sensoren drastisch steigen wird. Insgesamt beträgt der Anteil des Sensormarktes für Geräte, Systeme und Netze der Informations- und Kommunikationstechnologien dann beachtliche 22,9 % und läge damit knapp über dem heute dominanten Markt für Fahr-, Flugzeuge und Schiffe. (Intechno Consulting, 2012)

Westeuropa ist allerdings dabei, Marktanteile zu verlieren – und dies trotz der insgesamt starken deutschen Marktposition im Sensormarkt. Der Hauptgrund hierfür ist, dass die westeuropäischen Nachfrager nach Sensoren überwiegend im Bereich der etablierten Industrien zu finden sind; demgegenüber sind die USA und Japan im Bereich der Informations- und Kommunikationstechnologien führend, die wiederum das Hauptwachstumsfeld für die zukünftigen Sensormärkte bilden.

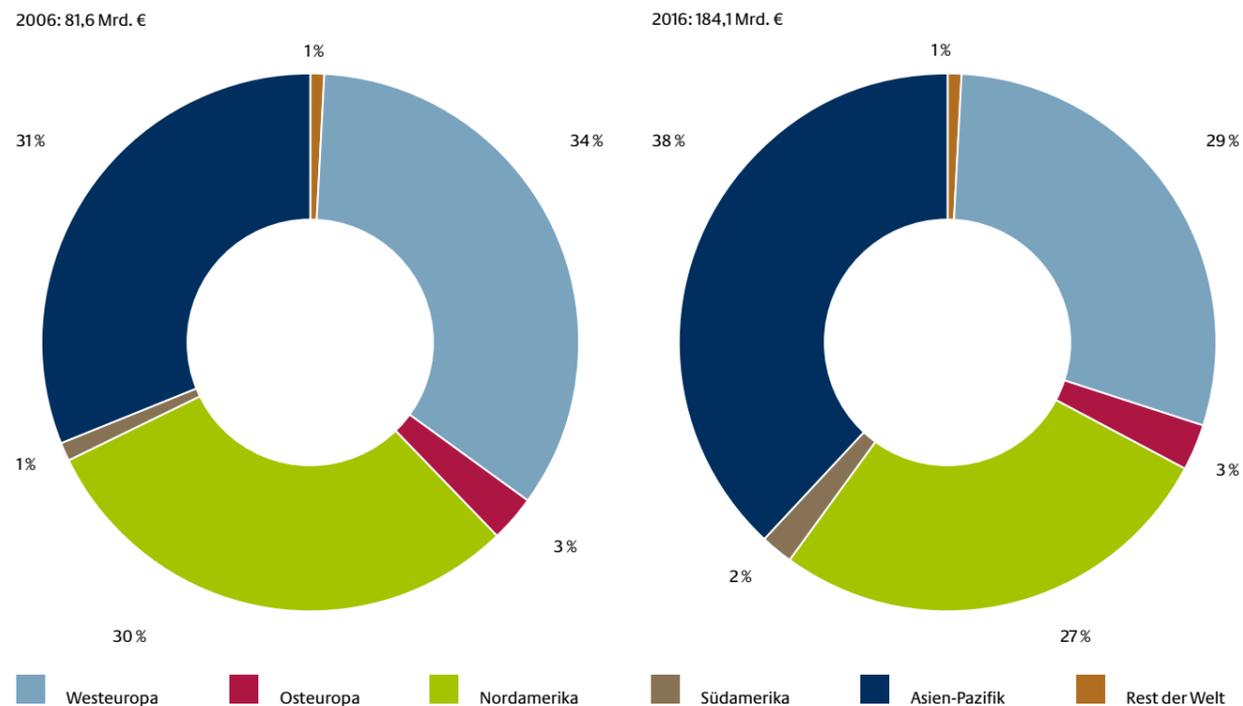


Abbildung 3: Analyse und Prognose des zivilen Weltmarktes für Sensoren von 2006 bis 2016 nach Regionen (Intechno Consulting, 2012)

Intechno Consulting sieht aber auch gerade in den Prozessindustrien eine zunehmende Bedeutung der Sensorik, so z. B. bei räumlich weit verteilten Anlagen sowie bei der zustandsbedingten Überwachung (condition-based monitoring) von Maschinen. Solche Funksensoren benötigen im Allgemeinen eine Batterie, die sich in Zukunft allerdings zunehmend durch das Einführen von »Energy-Harvesting«-Konzepten eliminieren lässt. Hier wird die Energie unmittelbar aus der Umgebung der Sensoren gewonnen (Bewegungswandler, Thermowandler, Vibrationswandler, Lichtwandler). Hierbei wird es sich insbesondere um Sensoren handeln, die in rauer Umgebung zuverlässig einsetzbar sind und für die noch innovative Lösungen gefragt sein werden.

**AUTONOMIK BRINGT NEUE IMPULSE FÜR WEITERES WACHSTUM IN DER SENSORIK-BRANCHE – DIE FACHGRUPPE „SENSORIK“ DER AUTONOMIK-BEGLEITFORSCHUNG FORDERT DAFÜR EINE INTENSIVERE ZUSAMMENARBEIT VON SENSORHERSTELLERN UND ANWENDERN.**

**AUTONOMIK BRINGT NEUE IMPULSE FÜR WACHSTUM IN DER SENSORIK-BRANCHE**

Die Entwicklung des Marktes von der Komponentenfertigung hin zu integrierten, intelligenten und leicht adaptierbaren Lösungen für unterschiedliche Anwendungen, wie sie die Autonomik verwendet, stellt ganz neue Herausforderungen an die Branche. Gleichzeitig eröffnet Autonomik vor allem aber neue Chancen, die starke Marktposition auch in der Zukunft halten und ausbauen zu können. Neben dem Geschäft mit klassischen Subkomponenten und Sensorelementen geht es um die Erschließung neuer Märkte für „intelligente“ Sensoren (smarte Komponenten / Objekte).

Die Entwicklung autonomer Systeme und smarter Objekte, die mit Fähigkeiten versehen sind, sich selbständig via Internet zu vernetzen, sich wechselnden Situationen anzupassen und mit Nutzern zu interagieren, wird wesentlich durch leistungsfähige sensorische Funktionen mitbestimmt. Sensorhersteller müssen dazu verstärkt Kompetenzen in wichtigen Anwendungsbereichen und in der Informatik aufbauen. Die Intensivierung des Dialogs zwischen Sensorherstellern, Systemintegratoren und Anwendern bei autonomen Systemen ist ein entscheidender Faktor für den zukünftigen Erfolg des Wirtschaftsstandorts Deutschland in diesem Bereich.



Abbildung 4: Bottom-up-Prozess in der AUTONOMIK-Begleitforschung

Davon ist auch der Branchenverband AMA überzeugt: „Die Autonomik bringt wichtige Impulse für die Sensorik-Branche. Wir müssen Autonomik nutzen, um unser stetiges Wachstum nachhaltig zu sichern. Deshalb empfehlen wir der Branche, sich des Themas anzunehmen, die Herausforderungen anzugehen und insbesondere die frühe und enge Zusammenarbeit mit den Anwendern zu suchen“, so Thomas Simmons, Geschäftsführer des AMA Fachverbands für Sensorik e.V. Technologisch ist es heute bereits möglich, Komponenten der Informations- und Kommunikationstechnologie und Sensorik in nahezu beliebige Alltagsgegenstände zu integrieren. Es sind aber noch erhebliche Schritte zu bewältigen, damit diese auch intelligent werden. In der weiteren Entwicklung stellen neben Softwaretechnik insbesondere auch Aspekte wie hohe Sicherheitsanforderungen, haftungsrechtliche Fragen und Entwicklungskosten, vor allem für kleine und mittlere Unternehmen, eine große Herausforderung dar. Diese gilt es gemeinsam zu bewältigen.

#### 4.2 Einordnung der Sensorik als Element autonomer Systeme

Die Sensorik stellt ein wesentliches Grundelement autonomer technischer Systeme dar. Abbildung 5 zeigt die Grundstruktur solcher Systeme als Regelkreis. Die Anforderungen an die Sensorik sind unmittelbar von den Einsatzbedingungen abhängig, mit dem Wachstum an Bewegungsfreiheit wachsen die Anforderungen überproportional. Die Sensorik ist die elementare Grundlage für die funktionale Sicherheit und die Informationssicherheit. Sie muss die Grundlagen für das sichere Zusammenspiel zwischen Mensch und Technik / Roboter legen, Umwelt- und Prozessinformationen erfassen und komplexe Sachverhalte sicher erkennen helfen.

Die Analyse der laufenden Projekte des Technologieprogramms AUTONOMIK durch die Begleitforschung ergab, dass sich trotz der Unterschiedlichkeit und Spezifik der einzelnen Projekte gemeinsame Anforderungen erkennen lassen:

- ▶ Es besteht die Notwendigkeit einer leistungsfähigen (Vor-)Verarbeitung der gewonnenen Sensorsignale, die deutlich über die übliche, messtechnisch erforderliche Signalverarbeitung hinausgeht.
- ▶ Es ist eine kontextgerechte Echtzeitfähigkeit erforderlich, die die Handlungsfähigkeit des autonomen Systems nicht bremst.
- ▶ Die einsatzfallspezifischen Umgebungsbedingungen dürfen nicht zur Einschränkung oder zum Versagen der sensorischen Fähigkeiten führen.

Dem stehen bei den laufenden Projekten zurzeit noch einige Schwächen gegenüber:

- ▶ Die Projekte konzentrieren sich sehr stark auf ihre jeweilige Einsatzspezifik, generische Ansätze zur Senkung des heutigen hohen Engineering-Aufwands sind kaum erkennbar.

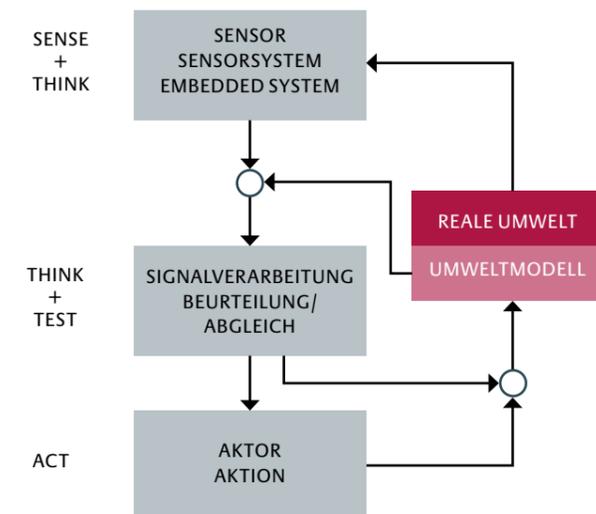


Abbildung 5: Allgemeiner Regelkreis autonomer Systeme

- ▶ In den laufenden Projekten sind Firmen bzw. Forschungseinrichtungen mit Kernkompetenzen im Bereich Sensorik / Messtechnik eher unterproportional vertreten.
- ▶ Es werden vorwiegend Sensoren „off-the-shelf“ genutzt. Neue, eventuell noch nicht veröffentlichte Entwicklungen aus der Sensorik werden nicht eingesetzt. Dieses kann sich im Einzelfall als Hindernis bei der Vermarktung erweisen.
- ▶ Mengeneffekte können nicht ausgeschöpft werden; Sensoren sind gerade bei hoher Funktionskomplexität hochpreisige Investitionsgüter, bei deren späterer Vermarktung die Stückzahlen einen eminenten Einfluss auf den Preis haben.

Das Preis-Mengen-Gefüge ist ein wichtiger Schlüssel, um das Eigeninteresse der Sensorikindustrie an einem verstärkten Engagement in der Autonomik zu steigern. So werden die fahrerlosen Transportsysteme in ihrer heutigen Ausprägung mit hohem Engineering-Aufwand und begrenzten Stückzahlen nur bedingt als attraktiver Markt eingestuft. Hier kann die Konvergenz der Anwendungen mit den zu erwartenden höheren Stückzahlen attraktive Märkte schaffen; das gilt insbesondere vor dem Hintergrund der starken Position deutscher Unternehmen im Markt leistungsfähiger Sensoren für industrielle Anwendungen.

## 5. Sensorik in ausgewählten Projekten

### 5.1 DyCoNet

#### ENTWICKLUNG ENERGIEAUTARKER, INTELLIGENTER NETZWERKE VON LADUNGSTRÄGERN IN DER LUFTFRACHTINDUSTRIE

Ziel von DyCoNet ist es, allen an logistischen Prozessen der Luftfracht Beteiligten jederzeit aktuelle Logistikdaten überall auf der Welt zur Verfügung zu stellen. Luftfrachtcontainer sollen als intelligente Objekte in übergeordnete Unternehmensnetzwerke integrierbar sein. Die in Luftfrachtcontainern eingesetzten Funkknoten bieten die Möglichkeiten, den Inhalt des Containers und den Container selbst zu überwachen (z. B. auf Stoß, unzulässige Temperaturen). So können Auftragnehmer ihren Kunden (Versendern) die Ladungsüberwachung als Mehrwert anbieten.

Weiterhin wird für die Containerüberwachung ein Sensor- und Statusmodul zur Erkennung des Zustandes „Flugmodus“ benötigt, das für die Nutzung einem Zertifizierungsverfahren unterliegt. Die Lufthansa Cargo hat die Arbeiten an diesem Modul aus anderen Aktivitäten eingebracht und im Projektverlauf die erforderlichen Parameter für die Zertifizierungsfähigkeit erreicht. Dieses ist als wichtiger Teilerfolg (Meilenstein) zu werten und bietet auch Spin-Off-Marktpotenzial.

Insgesamt ist die Sensorik in diesem Projekt ein wichtiges Teilelement, auf dem Kernfunktionen aufsetzen. Bei den genutzten Sensoren handelt es sich um handelsübliche Produkte, die einer Zulassung für die Avionik bedürfen. Aus messtechnischer Sicht sind keine besonderen Anforderungen an die Sensoren zu verzeichnen, allerdings aber hinsichtlich Zuverlässigkeit und minimalem Stromverbrauch.

Für die Zukunft erscheint eine höhere Integration der Sensoren und der gesamten Elektronik und Kommunikation (smart system) wirtschaftlich potenzialträchtig und im Sinne der vorgenannten Anforderungen zusätzlich unterstützend, wenn entsprechende Stückzahlen am Markt nachgefragt werden.

### 5.2 marion

#### MOBILE, AUTONOME, KOOPERATIVE ROBOTER IN KOMPLEXEN WERTSCHÖPFUNGSKETTEN

Ziel von marion ist die Automatisierung von Arbeitsprozessen in der Landwirtschaft und im innerbetrieblichen

Transport mit autonomen Fahrzeugen. Kern des Projekts ist die Bewegungs- und Verfahrensplanung mobiler Maschinen als Grundlage für den autonomen Maschinenbetrieb. Im Einsatzfeld Landwirtschaft wird Sensorik für drei Funktionen benötigt. Zur Positionsbestimmung der autonomen Maschinen selbst wird aktuell GPS-RTK (Real Time Kinematics) in Verbindung mit Inertialmesssystemen sowie Beschleunigungssensoren genutzt. Die Positionsbestimmung ist essentiell für autonome Fahrzeuge. GPS-RTK ist die Schlüsseltechnologie für Positionsbestimmung im Outdoorbereich und daher unverzichtbar. Sie ist eine erprobte und weltweit verfügbare Standardtechnologie. Die Erkennung eines Anhängers beim Beladen umfasst die Erkennung der Kontur des Hängers und die Ermittlung des Füllstandes über den Hänger. Hier kommt eine Stereoskopiekamera mit Bildauswertung zum Einsatz. Die Technologie ist eine wichtige Stützsensoren für kooperative Arbeiten und bietet eine gute Entlastung der Fahrer. Sie ist eine Eigenentwicklung von CLAAS und stellt ein Alleinstellungsmerkmal im Wettbewerb dar. Die Umfeldüberwachung dient vorrangig zur Vermeidung von Kollisionen mit mobilen und statischen Hindernissen und zur Ermittlung der Befahrbarkeit. Diese Funktion ist für eine weitreichendere Autonomisierung unverzichtbar. Allerdings ist aktuell noch keine geeignete Lösung verfügbar. Es laufen Forschungsaktivitäten in diesem Bereich.

Auch im Bereich der Intralogistik bestehen hohe Anforderungen an die Sensorik, sowohl für den Fahrer unterstützende Assistenzsysteme als auch für vollautonome Transportroboter.

Die Sensorik ist ein Schlüsselement, um die Entwicklungsziele in beiden Anwendungsszenarien zu erreichen. Nur mit geeigneter Sensorik und ausreichender Qualität der Sensordaten lässt sich eine verlässliche Bewertung der Umgebungssituation vornehmen, auf deren Basis Entscheidungen zur Anpassung des Fahrzeugverhaltens getroffen werden können.

In Bezug auf die Datengüte und Verlässlichkeit der Sensordaten, auch unter wechselnden Beleuchtungsverhältnissen, wie dies für mobile Anwendungen zutrifft, sind Laserscanner gegenwärtig der Maßstab. Zur Umgebungswahrnehmung (Bestimmung der Fahrzeugposition, Kollisionsvermeidung, Fahrbereiche, Szenenanalyse) werden folglich 2D- und 3D-Laserscanner eingesetzt. Allerdings sind diese Sensoren heute nur zu hohen Preisen am Markt verfügbar, so dass sie in preissensitiven Bereichen nicht wirtschaftlich eingesetzt werden können.

Für die Lasthandlingprozesse (Lasterkennung, Regalerkennung) werden neben den Laserscannern noch 3D-time-of-flight-Kameras eingesetzt. Die seit einiger Zeit zur Verfügung stehenden 3D-time-of-flight-Kameras hingegen sind wirtschaftlich sehr viel attraktiver, zudem liefern diese statt 2D- sogar 3D-Daten der betrachteten Szenen. Die Verwendbarkeit dieser Sensorik wird im Projekt überprüft.

Aus der Erfahrung des Projektes sollten bei der weiteren Entwicklung der Sensorik neben einer hohen Zuverlässigkeit, weitem Einsatzbereich und geringen Kosten vor allem standardisierte Schnittstellen zur Systemintegration berücksichtigt werden. Insbesondere die mögliche Sensorfusion sollte schon im Konzept eines Einzelsensors vorgesehen werden.

### 5.3 rorarob

#### SCHWEISSAUFGABENASSISTENZ FÜR ROHR- UND RAHMENKONSTRUKTIONEN DURCH EIN ROBOTERSYSTEM

Ziel des Projektes rorarob ist die Entwicklung eines Roboterassistenzsystems zur Bearbeitung von Schweißaufgaben in der Rohr- und Rahmenfertigung. Die Interaktion zwischen Mensch und Maschine unter ergonomischen und ökonomischen Aspekten ist ein wesentliches Ziel des Projekts.

Im Rahmen des Projektes wird das Sensorsystem SafetyEye der Fa. Pilz GmbH & Co. KG zur Überwachung des Arbeitsraums eingesetzt. Dieses optische Sensorsystem ermöglicht die Definition von räumlichen Sicherheitszonen, die im Falle einer Verletzung definierte Signale einer dazugehörigen Sicherheits-SPS schalten. Kombiniert mit sicheren Robotersteuerungen können verschiedene Sicherheitsfunktionen aktiviert werden. Der Mitarbeiter und die in diesem Fall sehr langsamen Roboter befinden sich innerhalb des virtuellen Zauns. Bei Eintritt eines weiteren Mitarbeiters in den Bereich würde das Assistenzsystem stoppen. Zudem wird der Prozessablauf geschützt, da der Mitarbeiter nicht eigenständig die Bauteile aus der Bereitstellung entnehmen soll.

So kann die Verletzung der äußeren Sicherheitszone die Geschwindigkeit des Roboters verlangsamen (Vorwarnzustand), das Verletzen der inneren Sicherheitszone kann ein „Not-Halt“ auslösen. Durch die Definition mehrerer Sicherheitszonen, die während des Programmablaufes umgeschaltet werden können, weist das System eine sehr hohe Flexibilität auf, was ein Alleinstellungsmerkmal darstellt.

Neben der hohen Flexibilität des Systems war die bereits bestehende Zulassung seitens der Berufsgenossenschaften ausschlaggebend für die Wahl des Systems, um einen möglichst industrienahe Demonstrator realisieren zu können.

Weiterentwicklungspotenzial, für die Sensorik besteht bei dem eingesetzten System Safety-Eye aus Sicht des Projektes „rorarob“ hinsichtlich eines größeren erfassbaren Arbeitsraums und einer Zulassung zur Erkennung von Körperextremitäten (z. B. Finger).

### 5.4 viEMA

#### VERNETZTE, INFORMATIONSBASIERTE EINLERN- UND AUSFÜHRUNGSSTRATEGIEN FÜR AUTONOME MONTAGEARBEITSABLÄUFE

viEMA will ein skalierbares, roboter- und sensorgestütztes Montagekonzept entwickeln, das je nach Situation den Wechsel von Hand- auf Automatenmontage zulässt. Im Projekt viEMA wird in erster Linie kamerabasierte Sensorik zur Erfassung der Umwelt sowie zur Objekterkennung eingesetzt. Dabei stellen beide Funktionen zentrale Elemente des Vorhabens dar, bei denen die eingesetzte Sensorik (Messverfahren und Hardware) immer zusammen mit den eingesetzten Auswertungsalgorithmen (Software) betrachtet werden muss.

Wichtiges Ziel innerhalb des Projekts ist es, ein hochflexibles System zu finden, das eine schnelle und einfache Anpassung an neue Szenarien auch durch fachfremde Bediener ermöglicht. Dazu werden für die Umweltmodellierung zur Kollisionsvermeidung und für eine einfache sowie gleichzeitig robuste Objekterkennung 3D-Messdaten benötigt. Um unter diesen Bedingungen geeignete Daten zu gewinnen, wurde im Projekt ein neues Sensorkonzept basierend auf Lasertriangulation entwickelt, das unempfindlich gegen Fremdlicht, kostengünstig und sowohl für Umweltmodellierung als auch Objekterkennung geeignet ist. Vorteile des entwickelten Konzepts sind eine einfache Kalibrierung sowie die Möglichkeit, gleichzeitig sowohl 2D-Bildinformationen als auch 3D-Messdaten während der Objekterkennung auszuwerten. Dies erlaubt vorhandenes Modellwissen effektiv zur Steigerung der Robustheit sowie der Performance einzusetzen.

Für die Konzeption zukünftiger leistungsfähiger und handhabbarer Sensorik ist die frühzeitige Integration von

Modellwissen sowie die Berücksichtigung der speziellen Charakteristiken und Möglichkeiten der eingesetzten Auswerteverfahren zu berücksichtigen.

### 5.5 RoboGasInspector

#### SIMULATIONSGESTÜTZTER ENTWURF UND EVALUATION EINES MENSCH-MASCHINE-SYSTEMS MIT AUTONOMEN MOBILEN INSPEKTIONSROBOTERN ZUR IR-OPTISCHEN GASLECK-FERNDETEKTION UND -ORTUNG IN TECHNISCHEN ANLAGEN.

In diesem Verbundprojekt wird Sensorik in zwei verschiedenen Einsatzfeldern genutzt. Einerseits werden Sensoren zur Selbstlokalisierung und Kollisionsvermeidung im Rahmen der autonomen Navigation der Roboterplattform eingesetzt. Dazu finden handelsübliche 2D-Laserscanner, ein MEMS-basiertes Trägheitsnavigationssystem sowie eine selbstentwickelte optische Odometrie Anwendung. Der Laserscanner ermöglicht es, mit der Roboterplattform eine Grundrisskarte der Einsatzumgebung zu erstellen. Während des Einsatzes werden die Laser-, Odometrie- und Inertialdaten unter Verwendung der Karte mit probabilistischen Filterverfahren zu genauen Positionsschätzungen integriert. Das Gesamtsystem wird dadurch robust gegen größere GPS-Ungenauigkeiten, wie sie in bebauten Bereichen häufig auftreten. Für den teleoperierten Betrieb kommt zusätzlich eine On-Board-Kamera zum Einsatz.

Andererseits wird spezielle Sensorik für die Arbeits-, d. h. Inspektionsfunktionen des Robotersystems eingesetzt. Hierbei werden infrarot-(IR-)optische, spektral messende Sensoren zur Gasfernmessung eingesetzt. Diese liefern eine integrierende Konzentrationsmessung entlang eines Messpfads. Für scannende Messungen wird das Messgerät automatisch geschwenkt und geneigt. Sehr empfindliche und hochauflösende Wärmebildkameras werden zur Detektion von Flüssigkeitsaustritt oder Gasexpansion über resultierende Temperaturfeldstörungen verwendet. Dabei bleiben konventionelle Einsatzmöglichkeiten (Heißläufer, Überlast etc.) unberührt. Video-Bilder der On-Board-Kamera können mit Wärmebildern fusioniert werden. Abstandsmessungen eines Laserscanners werden zur Effizienzsteigerung der Gasmessung sowie auch zur Umrechnung integraler in mittlere Gaskonzentrationsmesswerte verwendet. IR-optische Fernmessverfahren werden eingesetzt, weil sie insbesondere eine differenzierende Entwicklung von Arbeitsfunktionen gestatten: Inspektionen können aus

sicherer / effizienzsteigernder Entfernung ausgeführt werden. Bereiche können einfacher gescannt werden. Im Mobilitätsbereich ist der Einsatz von Laserscannern zur kartenbasierten Positionsbestimmung und zur Kollisionsvermeidung Stand der Technik.

Eine zukünftige Verbesserung der Einsatzmöglichkeiten von autonomen Systemen könnte durch kostengünstige, schnelle und robuste 3D-Scanner erreicht werden. Diese könnten verschiedene, auch über das betrachtete Einsatzszenario der Autonomie- und Assistenzfunktionen hinausgehende, gute Marktperspektiven eröffnen. Weiterhin würde die Weiterentwicklung kostengünstiger, hochempfindlicher und kompakter Gasmessgeräte für beliebige Gase das Potenzial für parametrierbare, kundenspezifische Überwachungslösungen bieten.

### 5.6 SaLSA

#### SICHERE AUTONOME LOGISTIK- UND TRANSPORTFAHRZEUGE IM AUSSENBEREICH

SaLSA zielt auf die Entwicklung eines Systems von autonomen Transportfahrzeugen, die sich erstmals sicher und schnell in einer gemeinsamen Arbeitsumgebung mit klassischen personengeführten Fahrzeugen und Fußgängern bewegen. Die mit dem Projekt SaLSA angestrebten fahrerlosen Transportsysteme für Außenanwendungen werden neben der bewährten GPS-Technologie zur Navigation mit verschiedenen Sensoren zur Umgebungserkennung ausgestattet. Stationäre sowie an den Fahrzeugen angebrachte Sensorik überwacht während der Bewegung stets eine ausreichende Fläche vor dem Fahrzeug, so dass eine Sicherheit für Personen und Sachwerte gegeben ist. Sobald fahrerlose Transportfahrzeuge in gemeinsamen Bereichen mit Personen und personengeführten Fahrzeugen operieren, sind Sensoren zum Personenschutz obligatorisch. Für Außenanwendungen werden bislang berührende Sensoren („Bumper“) mit geringer Detektionsreichweite eingesetzt, die allerdings nur geringe Fahrgeschwindigkeiten ermöglichen.

Berührungslose Sensoren (z. B. Laserscanner) mit entsprechenden Schutzklassen für Outdoor-Anlagen existieren derzeit nicht. Im Außenbereich, wo Strecken bis zu einigen Kilometern über ein Betriebsgelände führen, steckt in der Überwindung dieser Geschwindigkeitsbeschränkung ein hohes ökonomisches Potenzial. Für das Projekt SaLSA ist

daher ein geeignetes Verfahren mittels outdoor-tauglicher Sensorik eine Schlüsselkomponente zum wirtschaftlichen Erfolg.

Daher sieht das in SaLSA verfolgte Konzept am Fahrzeug eine Kombination verschiedener berührungsloser Sensortechnologien vor. Durch die Fusion unterschiedlicher Messverfahren soll die Zuverlässigkeit des Systems gesteigert werden. Dabei kommen am Markt erhältliche Produkte (z. B. Laserscanner, Stereo-Kamera) sowie eine neuentwickelte outdoortaugliche Mobil-Kamera zum Einsatz. In der Kamera wird ein für den Außenbereich besonders geeigneter 3D-PMD-Sensor eingesetzt. Eine externe leistungsfähige und skalierbare Beleuchtungseinheit dient der Ausleuchtung des Sichtfeldes mit dem für die Entfernungsmessung notwendigen modulierten Licht. Die Kamera berücksichtigt die Anforderungen an einen industriellen Einsatz im Außenbereich.

Zur Erweiterung des herkömmlichen Sicherheitskonzepts für Fahrerlose Transportfahrzeuge stützt sich das Verfahren im Projekt SaLSA zusätzlich auf externe, stationäre Sensorik, mit der die Fahrwege auf einem Betriebsgelände vollständig oder teilweise überwacht werden. Diese Umgebungssensorik kommuniziert ihre Daten an das Fahrzeug, das daraufhin seine Geschwindigkeit anpasst oder einen alternativen, weniger riskanten Fahrweg wählt. Im einfachsten Fall erteilt die Umgebungssensorik eine Freigabe für schnellere Fahrt, falls sichergestellt werden kann, dass in einem ausreichenden Abstand um den Fahrweg keine Hindernisse vorliegen.

Zukünftige Sensorkonzepte werden diesen Trend der Datenfusion verstärkt aufgreifen. Idealerweise wird es für Fahrerlose Transportsysteme eine skalierbare oder modulare Sicherheitseinheit geben, die durch Fusion verschiedener Einzelsensoren ein intelligentes Bewegungsverhalten für das Fahrzeug bestimmt. Eine wichtige Neuerung wird zukünftig die Überwachung des dreidimensionalen Raums um das Fahrzeug herum sein. Die berührungslos arbeitenden Sensoren werden einen großen Bereich sicher überwachen können, so dass die Fahrgeschwindigkeit entsprechend gesteigert werden kann.

## 6. Analyse

### 6.1 Strukturelle Herausforderungen des Marktes

Der heutige Markt für autonome Systeme basiert überwiegend auf dem Projektgeschäft. Der Aufwand für die Anpassung der eingesetzten Hardware an das konkrete Einsatzszenario ist selbst bei ähnlichen Einsatzfällen erheblich. Dieses bedeutet, dass das Engineering einen erheblichen Anteil an den Kosten des Gesamtsystems darstellt. Hinzu kommen erfahrungsgemäß beträchtliche Wartungskosten bei proprietär erstellten Systemen. Allein dadurch werden autonomen Systemen (neben den rechtlichen und technischen Herausforderungen) heute viele preissensitive Einsatzfälle versperrt. Die begrenzten Stückzahlen und große Variantenvielfalt treiben wiederum die Hardwarepreise zusätzlich in die Höhe. Ein Teufelskreis (Abbildung 6), der sich nicht allein durch die quantitative Verbesserung messtechnischer Parameter der eingesetzten Sensorik und eine verbesserte Informationsbasis für Systemintegratoren durchbrechen lässt.

Erforderlich ist vielmehr eine strategische Veränderung des Marktes hin zu einem Produktmarkt, bei dem der Endanwender oder der Systemintegrator (bei komplexen Einsatzfällen) geeignete, in weitem Maße parametrierbare Hardware-

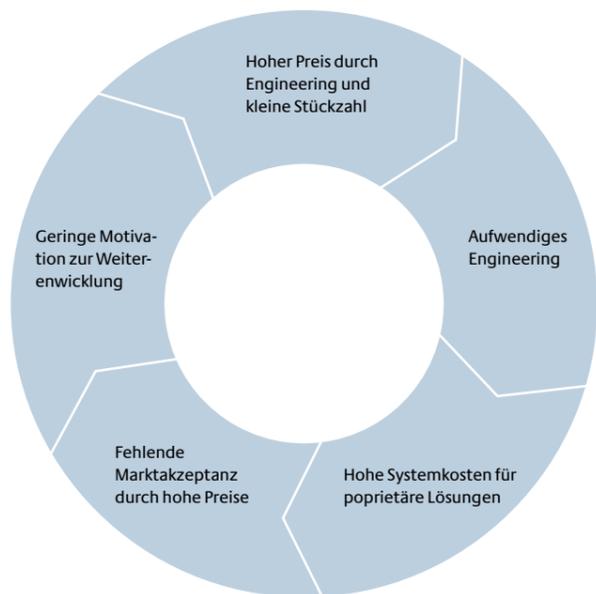


Abbildung 6: Ist-Zustand des Autonomik-Marktes

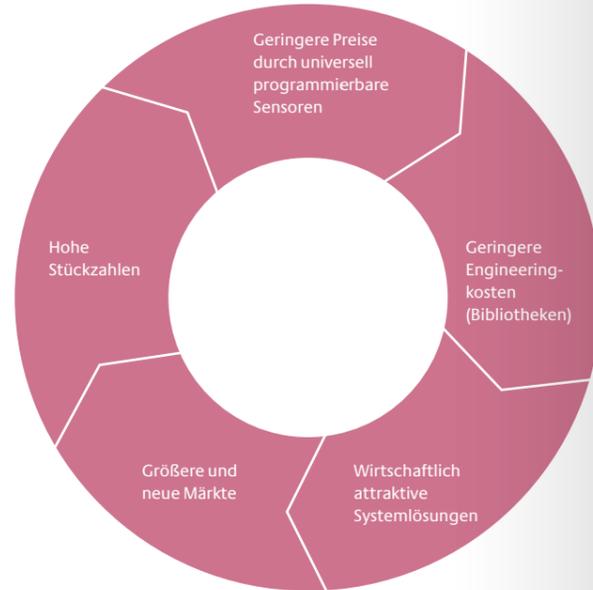


Abbildung 7: Soll-Zustand Autonomik-Markt 2020

Teilsysteme erwerben kann, die sich weitgehend autonom auf ihre jeweilige Einsatzumgebung einstellen können. Dieses senkt gleichzeitig die Wartungs- und Weiterentwicklungskosten; beispielsweise können bei einer notwendigen Erweiterung zusätzliche Teilsysteme ohne zusätzliches Engineering eingefügt werden. In großen Stückzahlen gefertigte, teilstandardisierte Hardware ermöglicht zusätzliche Mengeneffekte bei der Preisgestaltung. Die Weiterentwicklung der Sensorik hin zu einer qualifizierten Umgebungserkennung ist ein Schlüsselement, um den in Abbildung 7 gezeigten Marktmechanismus mit seinem hohen Entwicklungspotenzial zu erreichen.

### 6.2 Übergeordnete Aspekte

Insgesamt ist festzustellen, dass die Ergebnisse der Interviews zwischen den unterschiedlichen Akteurguppen (Sensorikindustrie, Anwender, Forschung), abgesehen von einigen besonderen Anforderungen, nur relativ wenig voneinander abweichen. Weiterhin existieren eine Reihe von Gemeinsamkeiten in den Anwendungsszenarien, die mittelfristig im Komponentenbereich – dazu gehören auch

die Sensoren – zu größeren Stückzahlen führen dürften (Economies of Scale). Anpassungen an das konkrete Anwendungsszenario wird es dennoch geben. Beispielhaft dafür ist die erkennbare Konvergenz zwischen den klassischen Fahrerlosen Transportsystemen und der Robotik hin zu einem mobilen, industriellen Assistenzkonzept. Dabei können auch Plattformkonzepte zum Tragen kommen. Dies kann für die stark durch deutsche Unternehmen dominierte Sensorindustrie zu attraktiveren Marktoptionen führen.

**LETZTENDLICH SIND ABER FÜR DEN ERFOLG DER AUTONOMIK SENSORISCHE FÄHIGKEITEN ENTSCHEIDEND, DIE DEN ANSPRÜCHEN DER ANWENDUNGEN GERECHT WERDEN.**

Neben den sensorischen Fähigkeiten ist die Einbindung in das autonome Gesamtkonzept, die Kommunikationsschnittstelle, eine wesentliche technische Herausforderung. Neben technischen Anforderungen spielen die rechtlichen Rahmenbedingungen (Sicherheit, Zulassung) eine Schlüsselrolle. Insgesamt ergeben sich die in Abbildung 8 gezeigten übergeordneten Zielstellungen. Diese ziehen sich als roter Faden durch die in Kapitel 7 genannten Strategiefelder und werden durch die Begleitforschung als Querschnittsthemen aufgegriffen.



Abbildung 8: Sensorik in der Autonomik – übergeordnete Herausforderungen

### 6.2.1 Plug-and-Play

Gegenwärtig werden Sensoren über standardisierte Schnittstellen an die Gesamtsysteme angeschlossen. Auf der Feldebene haben sich verschiedene Lösungen durchgesetzt (z. B. ProfiBus, CAN-Bus), die jedoch nicht die abstrakte Informationsebene berücksichtigen. Es erscheint nicht zweckmäßig, den Bestand dieser Bussysteme in Frage zu stellen oder eine (aus Sicht der Sensorikindustrie erwünschte) Einschränkung dieser Vielfalt zu fordern. Auf der darunter liegenden Sensorbusebene ist der IO-Link eine zukunftssträchtige Lösung, jedoch für größere Datenmengen bisher ungeeignet.

Eine wesentliche Voraussetzung für die Economy of Scales ist die Fähigkeit zur aufwandsarmen Adaption generischer Sensoriklösungen. In diesem Zusammenhang stellt die dateneffiziente Beschreibung der Umgebung eine Herausforderung dar. Deshalb sollten Datenströme so kompakt wie möglich gehalten werden. Dazu erscheint die Entwicklung einer Hochsprache sinnvoll, die auf einer höheren Abstraktionsebene die Kommunikation zwischen Sensor(en) und zentraler Steuerung übernimmt. Vorbilder hierfür können XML, der DIN/ISO-Code aus dem Werkzeugmaschinenbereich (DIN 66 025 bzw. ISO 6983) und der IO-Link sein. Das Ziel besteht hierbei primär in einer Verringerung des Engineeringaufwandes und der Möglichkeit, Sensoren verschiedener Anbieter ohne Anpassungsprogrammierung einzusetzen. Langfristiges Ziel ist die Wandlung des bisher als Projektmarkt einzustufenden Marktes für autonome Systeme hin zu einem Produktmarkt, in dem der Preis für die einzelnen autonomen Objekte primär über den Gesamtsystempreis entscheidet.

Daraus abzuleiten ist der Bedarf nach einer „intelligenteren“ Sensorik, die innerhalb des Sensors über hohe Rechenleistungen verfügt, um komplexe Aufgaben wie die Umgebungsmodellbildung oder die Objekterkennung abzarbeiten. Ansätze für derartige Lösungen gibt es bereits, z. B. bei Fahrerassistenzsystemen in der Automobilbranche.

### 6.2.2 Standardisierung

Standardisierung spielt als Mittel der Marktdurchdringung eine entscheidende Rolle und ist deshalb voranzutreiben. Die aktive Teilnahme an Standardisierungs- und Normungsprozessen erfordert erhebliche Ressourcen, insbesondere im internationalen Rahmen. In der Messtechnik / Sensorik sind in diesen Prozessen bereits viele deutsche Akteure

engagiert. Für die Autonomik kann auch die Mitwirkung der Endanwender hilfreich sein, die in diese Prozesse unbedingt einzubinden sind.

Die Standardisierung im Bereich der Sensorik für autonome Systeme sollte sich primär auf Fähigkeiten, keinesfalls auf Technologien (Messverfahren) beziehen. Dabei sollten auf der unteren Abstraktionsstufe solche Aspekte wie das Engineering sowie die Wartung unterstützt werden (z. B. Kommunikation eines standardisierten Fähigkeitsprofils; Selbstdiagnose), daneben ist die Abstraktion in intelligenten Sensoren ein interessanter Aspekt (z. B. 3D-Volumenmodell anstatt Datenstream mit 3D-Bildern). Für einfache Sensoren existiert bereits der standardisierte IO-Link (XML) als Beschreibungssprache. Dieses Prinzip erscheint auf komplexere Sensoren übertragbar (XML-basiert oder nach dem Vorbild der DIN 66025/ISO 6983).

### 6.2.3 Sicherheitskritische Software

Die Software zur Auswertung der gewonnenen Sensordaten spielt eine besondere Rolle. An dieser Stelle wird primär solche Software betrachtet, die aus gewonnenen Sensordaten eine Abstraktion vornimmt, weniger die im Sensor integrierte Software zur Umsetzung des Messverfahrens. Software ist dabei dann sicherheitskritisch, wenn durch ihr Fehlverhalten Gefährdungen für die Umwelt – materielle und ökonomische Schäden oder sogar Beeinträchtigungen der Gesundheit von Menschen – entstehen können.

Es ist offensichtlich, dass für autonome Systeme ein Großteil der eingesetzten Software sicherheitskritisch ist, wie etwa für die Fähigkeit „Volumenschutz“. Um solche Gefährdungen weitgehend auszuschließen, ist für sicherheitskritische Anwendungen eine Absicherung der Funktionalität, d. h. der Nachweis eines ausreichenden Sicherheitsniveaus (funktionale Sicherheit), nötig. Dieser Nachweis folgt dabei in vielen Anwendungsbereichen vorgegebenen Normen und Standards, wie etwa der IEC61508, der DO187B oder der ISO26262. In vielen Gebieten, wie z. B. der Avionik oder der Medizintechnik, sind explizite Zulassungen, die den Nachweis eines hinreichenden Sicherheitsniveaus beinhalten, verpflichtend. In diesem Zusammenhang spielen Verfahren zur Qualitätssicherung (Tests, Analysetechniken, formale Beweisverfahren) eine wichtige Rolle.

### 6.2.4 Einhaltung von Safety-Standards / Zulassung

Ein Kernaspekt des Einsatzes autonomer Systeme sind die rechtlichen Implikationen im Hinblick auf die Sicherheit, d. h. Unfallvermeidung. Diese Anforderungen können heute in nicht frei zugänglichen Bereichen (z. B. Produktionsumfeld, Containerterminal) gelöst werden.

Frei zugängliche Bereiche („quasi-öffentlicher Raum“) wie Krankenhäuser, Flughafenterminals oder auch der Straßenverkehr, in denen mit nicht kooperativem Verhalten von Personen zu rechnen ist (Kinder!), stellen völlig andere Anforderungen, die sich gegenwärtig nur durch geringe Bewegungsgeschwindigkeiten und unmittelbare Nothaltmöglichkeit beherrschen lassen. Eine enge Abstimmung mit den Aktivitäten des Arbeitskreises „Recht“ ist an dieser Stelle unabdingbar.

Es existiert zweifelsohne ein Spannungsfeld zwischen Sicherheit, Zuverlässigkeit und Wirtschaftlichkeit. Es gibt eine ganze Reihe von Anwendungen bzw. Fähigkeiten, in der Sicherheit (Safety) nicht so relevant ist, daher erscheint für unterschiedliche Anwendungen eine Aufteilung in zwei Gruppen sinnvoll:

- ▶ Sensoren, die Informationen zur Gewährleistung der Sicherheit und Zuverlässigkeit bereitstellen (Sicherheitsensoren)
- ▶ Sensoren zur zuverlässigen, umfassenden Umgebungserkennung (smarte Sensoren).

Komplexe autonome Systeme setzen für die erforderlichen Sicherheitsstandards den Einsatz sicherheitskritischer Software voraus, wie dieses heute im Bereich der Bahnsignaltechnik oder in Flugzeugen geschieht. Die in diesen Segmenten gewonnenen Erfahrungen müssen für die Autonomik nutzbar gemacht werden.

## 7. Von der Sensorik zur Umwelterkennung – Strategische Entwicklungsfelder

Aus den Interviews wurden fünf strategische Entwicklungsfelder für Sensoren abgeleitet. (Abbildung 9). Die Reihenfolge der Darstellung dieser fünf Felder stellt dabei keinerlei Wertung dar. Vielmehr werden jeweils Stand der Technik und Herausforderungen erläutert.

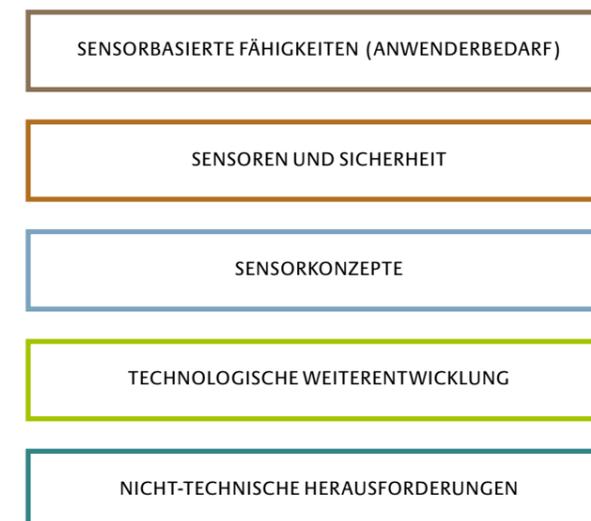


Abbildung 9: Sensoren für autonome Systeme – Strategische Weiterentwicklungsfelder

Im Rahmen der Interviews wurde deutlich, dass eine Betrachtung in der Technologie- bzw. Messprinzipiebene nur von bedingtem Nutzen ist. Vielmehr soll der freie Wettbewerb von Technologien und Messprinzipien in den Vordergrund gestellt werden. Insofern beschränkt sich die weitere Betrachtung der Technologieebene auf einige Beispiele sowie Querverweise auf verfügbare Lösungen in anderen Branchen.

Für den Markterfolg der Sensorik ist außerdem, wie bereits in Kapitel 6 aufgezeigt, eine enge Zusammenarbeit entlang der Wertschöpfungskette unabdingbar. Dieses bedeutet insbesondere die Notwendigkeit der engeren Verknüpfung von Sensorikkompetenzen, Kompetenzen der Umgebungsmodellierung und Systemintegration.



Abbildung 10: Betrachtungsebenen der Weiterentwicklung von Sensoren für die Autonomik

### 7.1 Sensorbasierte Fähigkeiten

Aus Sicht der Endanwender und Systemintegratoren hat bei den sensorbasierten Fähigkeiten die Umgebungserkennung nach Auswertung der Expertenaussagen absolut höchste Priorität. Hier werden noch erhebliche Defizite gesehen, die sowohl auf der Hardware- als auch auf der Softwareseite liegen. Das sichere dreidimensionale Sehen und vor allem das Entwickeln eines entsprechenden Umgebungsmodells aus den Kameradaten (in welcher Form auch immer) weist nach wie vor einen hohen FuE-Bedarf auf – hier ist die Differenz zwischen den menschlichen Fähigkeiten und der Maschine noch besonders gravierend. Die reine Erfassung von zwei- oder dreidimensionalen Bildern ist technisch eher unproblematisch, erzeugt aber riesige Datenmengen. Die Abstraktion und geeignetes Handeln (z. B. Blickwinkel verändern, wenn etwas nicht richtig erkannt werden kann) weist noch großen Entwicklungsbedarf auf. Beispielhaft dafür seien zwei Alltagszenarien genannt: eine im Gang aufgestellte Leiter des Handwerkers und ein aus dem Hochregellager herausragendes Rohrende.

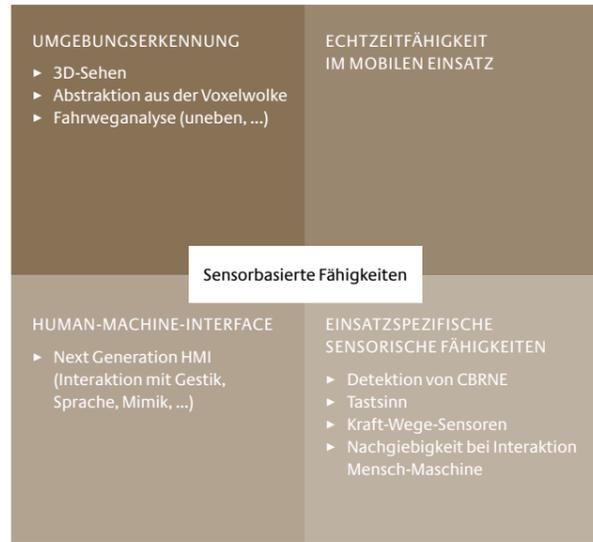


Abbildung 11: Strategiefeld Sensorbasierte Fähigkeiten (Anwenderbedarf)

Mit der Umgebungserkennung eng verknüpft ist die kontextgerechte Echtzeitfähigkeit. Dabei muss nicht immer die hohe Geschwindigkeit von Sensoren in Werkzeugmaschinen erreicht werden. Anwendungsabhängig genügen etwa 5 m/s als maximale Fahrgeschwindigkeit für viele Anwendungen im Innenbereich. Eine Herausforderung stellen dabei eher nicht kooperativ handelnde bewegte Hindernisse dar (z. B. laufende Personen).

Weiterhin besteht auch Weiterentwicklungsbedarf im Bereich des Human-Machine-Interfaces, insbesondere zur Entwicklung neuer Interaktionsmöglichkeiten (Gesten, Sprachen), die einen „natürlicheren“ Umgang ermöglichen. Im Bereich der einsatzspezifischen sensorischen Fähigkeiten kann bereits auf viele Vorarbeiten zurückgegriffen werden (z. B. Kraft-Momenten-Sensoren, elektronischer Tastsinn); von besonderem Interesse ist hier die Verknüpfung von sensorischen Fähigkeiten für die eigentliche Autonomik und für die einsatzbedingten Handlungen (multivalente Sensorik).

7.2 Sensoren und Sicherheit

Der Sicherheitsaspekt ist für die gesamte Wertschöpfungskette autonomer Systeme wichtig. Damit eng verbunden sind unterschiedliche rechtliche Aspekte, die von der Haftung und Gefahrenvermeidung ausgehen. Hier ist auffällig, dass vor allem Ausfallsicherheit und sicherheitskritische Software als Handlungsschwerpunkte in den Mittelpunkt gestellt werden.



Abbildung 12: Strategiefeld Sensoren und Sicherheit

Die Ausfallsicherheit steht in engem Zusammenhang mit dem Markterfolg zukünftiger autonomer Systeme. Das betrifft zum einen die Anforderungen durch Normen oder Gesetze, die letztlich einen Rahmen für die Haftung setzen. Aber auch für die Akzeptanz auf Kundenseite ist es wichtig, dass autonome Systeme bei ihrem Einsatz rechtlich abgesichert sind. Mit der Ausfallsicherheit ebenfalls eng verbunden sind die Aspekte der Zustandsüberwachung und Wartung. Hier spielen wieder betriebswirtschaftliche Überlegungen eine wesentliche Rolle. Hinsichtlich der Umgebungsbedingungen stellen vor allem Outdoor-Szenarien hohe Anforderungen. Die Betrachtungen legen hier eine weitere Unterteilung nahe – einerseits normale Wetterbedingungen, wie sie zwischen Sommer und Winter üblich sind, und andererseits das verschärfte Modell des Harsh environments. Bereits die normalen Wetterbedingungen können heute marktgängige sensorische Systeme an die Grenzen ihrer Leistungsfähigkeit bringen (z. B. flachstehende Sonne bei optischen Systemen). Zusätzliche Herausforderungen entstehen bei Einsatzbedingungen, wie sie in der Landwirtschaft, dem Bergbau oder Bauwirtschaft zu finden sind. Dort sorgen insbesondere abrasiver Staub, Schmutz jeder Art sowie rigorose Reinigungsverfahren für das schnelle Erblinden von normalen Sensoren.

Die zweite Priorität wird an dieser Stelle von den Experten bei der sicherheitskritischen Software gesetzt. Hier zeigt sich auch eine Schwäche vieler Sensorik-Hersteller, die nicht mit dieser Materie vertraut sind, falls sie nicht regelmäßig an Branchen mit entsprechenden Anforderungen (u. a.

Avionik, Bahnsignaltechnik, Automotive) liefern. Die Spanne des Handlungsbedarfs reicht hier von Methoden der Zertifizierbarkeit (insbesondere bei modularen Systemen) über die Fehlertoleranz bis hin zur laufenden Qualitätsabsicherung von Sensordaten (verfälscht? veraltet?). Insgesamt wird in diesem Thema ein hohes Kooperationspotenzial mit entsprechenden Spezialisten gesehen. Die geringere Bewertung der Themen „Volumenschutz“ und „Strategischer Navigationsraum“ wird eher der Tatsache zugeschrieben, dass hier weniger methodische Arbeit zu leisten ist. Dabei stehen beide Aspekte wiederum im engen Zusammenhang mit dem hochpriorisierten Thema Umgebungserkennung. Die an dieser Stelle beschriebenen Bereiche bezeichnen das Navigationsproblem aus sicherheitstechnischer Sicht als Schalenmodell (Abbildung 13). Unter Navigation ist hier nicht nur das Fahren, sondern jegliche Bewegung autonomer Systeme (wie z. B. Roboterarm) zu verstehen.

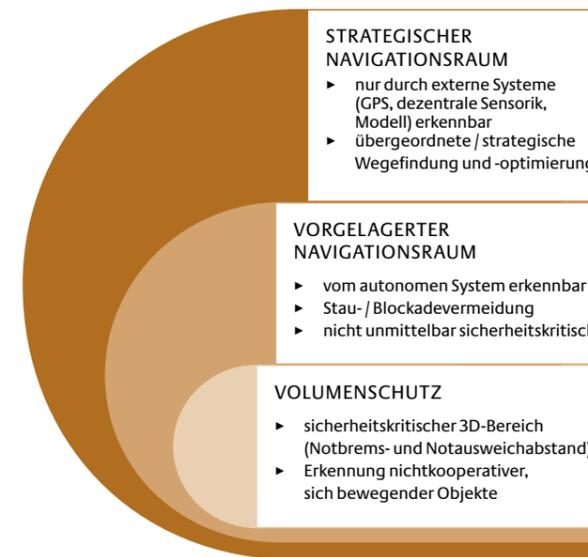


Abbildung 13: Sicherheits-Schalenmodell zur Navigation autonomer Systeme

7.3 Sensorkonzepte

Sensorkonzepte müssen sich zu intelligenteren Subsystemen im Sinne der Umgebungserkennung entwickeln. Die Ergänzung klassischer sensorischer Fähigkeiten hin zu generischen Sensoren mit breitem Einsatzspektrum steht im Mittelpunkt. Die stärkere Integration von Sensorhardware und Signalabstraktion stellt auch neue Anforderungen an die Wertschöpfungskette.

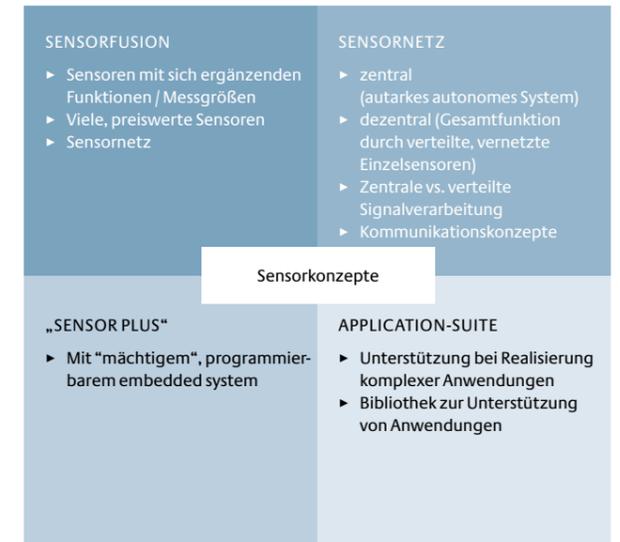


Abbildung 14: Strategiefeld Sensorkonzepte

Bei den Sensorkonzepten weist die Sensorfusion nach Auswertung der Expertenaussagen die höchste Priorität auf. Dabei können entweder Sensoren mit unterschiedlichen Messverfahren kombiniert werden, um Stärken und Schwächen unterschiedlicher Verfahren auszugleichen und um damit eine höhere Zuverlässigkeit – auch unter kritischen Umgebungsbedingungen – zu erreichen, oder eine Vielzahl eher einfacherer, preiswerter Sensoren können ein Gesamtbild ermitteln. Damit eng verbunden ist die örtliche Verteilung von Sensoren – relativ autarke autonome Systeme benötigen tendenziell leistungsfähigere Sensorik, da diese nicht am für die Messung optimalen Punkt (besser in der Fläche) positioniert werden kann. Verteilte vernetzte Einzelsensoren sind gerade im Indoorbereich eine attraktive Möglichkeit, um aus vielen verteilt gewonnenen Informationen ein sensorisches Gesamtbild zu erhalten. Dieses setzt – auch unter Berücksichtigung von Sicherheitsaspekten – eine qualifizierte sichere Kommunikationsarchitektur voraus. Die Ermittlung eines sensorischen Gesamtlagebildes setzt entsprechende Rechenkapazität sowohl im Hard als auch im Softwarebereich voraus. Hier stellt sich im Einzelfall die Frage, ob die Abstraktion an zentraler Stelle erfolgt oder dezentral; dabei sind auch Zwischenmodelle möglich, bei denen nur die innere Schale des Sicherheitsmodells (siehe Abbildung 13) im autonomen System realisiert wird. Auf diesen Bedarf zugeschnitten ist das Konzept „Sensor plus“. Darunter wird ein Sensorsubsystem verstanden, das ein oder mehrere Messverfahren integriert und außerdem eine leis-

tungsfähige Rechnerarchitektur enthält, die deutlich über dem üblichen Firmwarebedarf der integrierten Messverfahren hinausgeht (erweitertes embedded system).

Diese Hardware lässt sich sowohl in den Multisensoraufbau integriert – die aus Kostenüberlegungen attraktivere Variante – als auch dezentral anordnen. Wesentliches Ziel ist eine sensornahe Vorverarbeitung und die Datenreduktion auf die relevanten Informationen – gerade bei bildgebenden Sensoren ein wichtiger Aspekt zur Entlastung der Hauptsteuerung des autonomen Systems.

Die erweiterte Hardware soll auch die Basis für das Konzept „Application suite“ bieten, bei dem leistungsfähige, getestete (und ggf. zertifizierte) Auswertemodule dem Systemintegrator zur Verfügung gestellt werden bzw. sich im Wesentlichen selbst parametrieren können.



Abbildung 15: Strategiefeld technologische Weiterentwicklung

#### 7.4 Technologische Weiterentwicklung

Im Rahmen der Vorarbeiten wurde deutlich, dass eine Fokussierung auf bestimmte Messverfahren oder Technologielösungen für die strategische Weiterentwicklung der sensorischen Fähigkeiten kontraproduktiv ist und auch u. U. den Wettbewerb verzerren könnte. Vielmehr ist es Grundverständnis, dass ein freier Wettbewerb der Messprinzipien und -verfahren (bzw. deren Kombination) den größten technologischen Fortschritt erzielen dürfte. Deshalb verstehen sich alle genannten Technologieempfehlungen dieses Strategiefeldes ausdrücklich nur als Beispiele.

Der Fähigkeit zum breiten Einsatz in Plattformen mit effizienten, allgemein anerkannten Schnittstellen (Plug'n'play) wurde von den Experten die höchste Priorität zugeordnet. Diese Thematik stellt quasi die Spiegelung der in Kapitel 6.2 genannten übergeordneten Aspekte auf der technologischen Ebene dar. Es kann und soll hier nicht die bestehende Vielfalt an marktverfügbaren Schnittstellen (z. B. CAN-open, PROFibus) zur Diskussion gestellt werden, obwohl die Bereitstellung der Schnittstellen durchaus kostentreibend auf den Sensorikmarkt wirkt. Vielmehr geht es um übergeordnete Kommunikationsschichten, die dem Systemintegrator ein Zusammenführen von Komponenten und Subsystemen (verschiedener Hersteller) ermöglicht bzw. vereinfacht. An dieser Stelle soll auf die entsprechenden Aktivitäten in den anderen Querschnittsthemen der AUTONOMIK verwiesen werden.

Kaum niedrigere Priorität ordnen die Experten der Adaption marktverfügbarer Sensoren und Technologien aus anderen

Branchen zu. Diese Adaption lässt vor allem signifikante Kostenvorteile erwarten, sowohl durch höhere Stückzahlen als auch durch die Integration bereits verfügbarer Hightech-Entwicklungen. Potenzialträchtig erscheinen vor allem Anleihen aus stückzahlintensiven Branchen, die für Industriesensoren ansonsten übliche Preisstrukturen deutlich unterbieten können. Zur Erschließung dieses Potenzials ist – wie bereits an anderer Stelle ausgeführt – der Aufbau geeigneter Kooperationsstrukturen außerhalb üblicher Branchengrenzen erforderlich.

Die Weiterentwicklung etablierter Sensorik schneidet gegenüber den anderen Aspekten mit geringerer Priorität ab. Das kann u. a. daran liegen, dass diese Weiterentwicklung ohnehin das Tagesgeschäft der Sensorikanbieter ist und deshalb bei diesen sowieso im Fokus steht.

#### 7.5 Nicht-technische Herausforderungen

Als nicht-technische Herausforderungen werden insbesondere rechtliche, methodische und wirtschaftliche Aspekte des Einsatzes von Sensoren in autonomen Systemen zusammengefasst. Diese Aspekte spielen eine wesentliche Rolle bei der nachhaltigen wirtschaftlichen Entwicklung autonomer Systeme und beeinflussen auch alle vorgenannten technischen Aspekte. Hier werden diese Aspekte unter den Besonderheiten des Einsatzes von Sensoren beleuchtet. Die Anwendung autonomer Systeme in der Wirtschaft und



Abbildung 16: Strategiefeld wirtschaftliche, rechtliche und methodische Herausforderungen

damit der wirtschaftliche Erfolg der Autonomik sind unmittelbar mit der betriebswirtschaftlichen Bewertung des Einsatzes im Sinne einer Total-cost-of-ownership-Betrachtung verbunden. Der Endkunde muss einen Mehrwert durch den Einsatz von autonomen Systemen erhalten – sei es durch geringere Kosten, höhere Verfügbarkeit oder andere Verbesserungen. Nur dann wird er die Investition tätigen. Gerade in der gegenwärtigen Preisstruktur (vgl. Abbildung 6) kommen zu den erheblichen Engineeringkosten noch die hohen Kosten für leistungsfähige Industriesensoren heutiger Bauart hinzu. Zwischenzeitlich verfügbare preiswerte Sensoren aus dem Consumerbereich können weder Genauigkeits- noch Sicherheitsanforderungen erfüllen. Dieses dürfte der Autonomik heute eine Reihe von Anwendungen versperren.

Eng mit den rechtlichen Fragen der Autonomik verknüpft sind die Fragen der Kalibrierung, Zertifizierung und Zulassung. Für wesentliche Fragestellungen existieren keine Normen und Standards, die auch Stückzahleffekte katalysieren können. Mit der Zertifizierung eng verbunden ist die Frage der Haftung und Gewährleistung. Hierbei geht es weniger um die geforderte Produktqualität als solches – diese ist im Industriesektor gut erreichbar. Vielmehr stehen in vielen Autonomik-Anwendungen hohe Haftungsrisiken im Raum, die im Falle eines Rückgriffs auf den Hersteller einer Sensorkomponente für diesen existenzielle Probleme bedeuten können; das gilt umso mehr, da viele Sensorhersteller mittelständische Unternehmen sind.

Die deutsche Sensorik-Industrie ist traditionell sehr exportstark. National unterschiedliche Normen und Rechtsrahmen machen den Export zu einer besonderen Herausforderung. Insofern haben die Aktivitäten zu europäischen Rechtsrahmen in der Robotik (siehe Querschnittsthema Recht in der Autonomik) unmittelbare Auswirkungen auf den zukünftigen Sensorik-Einsatz. Gleiches gilt für Normen und Standards, die als übergeordnetes Thema in 6.2.2 (S. 19) adressiert werden und ein weiteres Teilthema der Begleitforschung zum Programm AUTONOMIK darstellen.

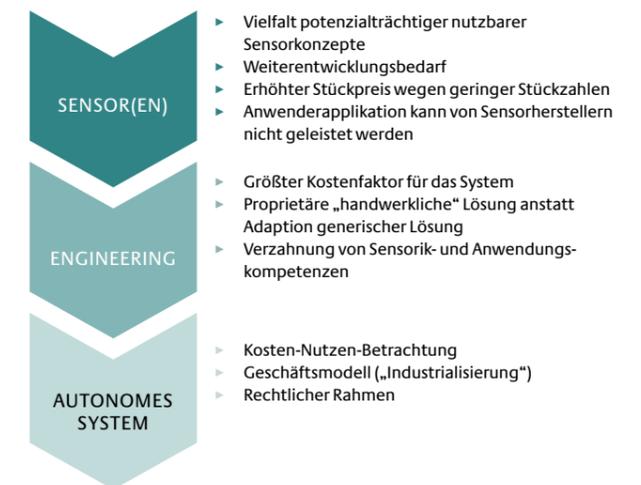


Abbildung 17: Engineering – das Bindeglied zwischen Sensor und System

Wie bereits in Kapitel 6.1 dargestellt, weisen die heutigen Wertschöpfungsprozesse in der Autonomik einen hohen Engineering-Anteil auf, es handelt sich aber quasi um „Handwerk“ (Abbildung 17).

Aus der Erfahrung der Begleitforschung ist festzustellen, dass die Zusammenarbeit zwischen Sensoranbietern und Systemintegratoren noch weiterentwicklungsfähig ist. In dieser Hinsicht hat der Arbeitskreis bereits heute eine wichtige Aufgabe erfüllt und geholfen, Kontakte neu zu knüpfen.

Sensoranbieter (insbesondere die größeren) verfügen über einen großen Erfahrungsschatz in der Applikationsentwicklung. Bei kleineren Sensoranbietern können diese Rolle auch externe Dienstleister übernehmen. Die breite und vor allem verallgemeinerte Verwertung dieses Erfahrungsschatzes steht für die Autonomik noch aus.

## 8. Schlussfolgerungen und Handlungsbedarf

Die Sensorik stellt einen wesentlichen Aspekt des zukünftigen wirtschaftlichen Erfolgs der Autonomik dar. Der Handlungsbedarf erstreckt sich dabei weit über die zum gegenwärtigen Zeitpunkt (2012) laufenden geförderten Projekte hinaus und trägt in vielen Fällen einen stark generischen Charakter. Der zukünftige nachhaltige Erfolg und die wirtschaftlichen Potenziale für den Standort Deutschland lassen sich nur mit einer strategischen Herangehensweise an die aufgezeigten Herausforderungen erreichen. Die Sensorik stellt dabei eine Schlüsselzulieferindustrie dar.

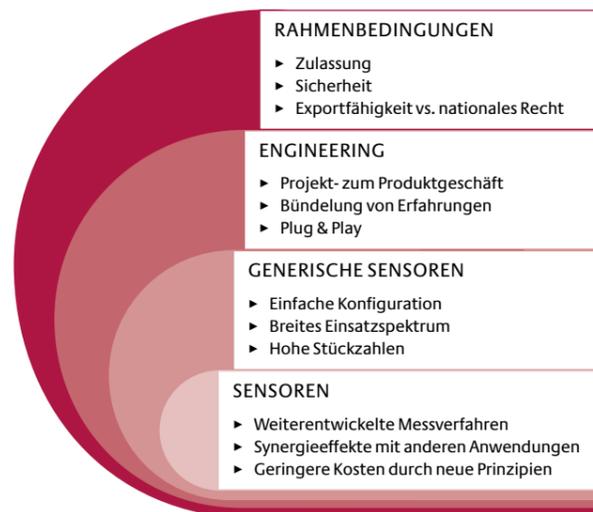


Abbildung 18: Sensorik für autonome Systeme – Handlungsebenen

Aus der Sicht der Sensorikindustrie kann der Autonomikmarkt ein wachstumsträchtiges Segment werden, wenn die heute bestehenden Barrieren überwunden werden können. In Abbildung 18 sind die wichtigsten Handlungsebenen aufgezeigt.

### 8.1 Sensoren

#### BEFUND:

Auch wenn heutige Sensoren bereits wichtige Fähigkeiten für die Autonomik mitbringen, bestehen noch wesentliche Schwachstellen gerade im sicherheitskritischen Volumen-

schutz. Das Zusammenspiel von Primärsensorik und nachfolgender Auswertung (Umgebungsmodellbildung) beschränkt sich weitgehend auf eine Rohdatenübergabe. Hier sind noch erhebliche Defizite gegenüber humanen Fähigkeiten festzustellen. Sensoren sind ein wesentlicher Baustein der Funktions- und Einsatzsicherheit autonomer Systeme.

#### EMPFEHLUNG:

- [1] Zur Erfüllung der langfristigen Zielstellung der Autonomik muss das F&E-Thema „Vom Sensor (Komponente) zum Umgebungserkennungsmodul“ (Subsystem) verantrieben werden. Dieses umfasst die Hardware-, die Softwareseite und deren Interaktion.
- [2] Zukünftige Sensoren resp. Umgebungserkennungsmodulare für autonome Systeme müssen neueste Erkenntnisse aus unterschiedlichen Technologiefeldern wie Optik und Mechatronik, aber auch Erkenntnisse aus der Kognitionsforschung vereinen.
- [3] Die Schnittstellenfähigkeit von Umgebungserkennungsmodulen zur Autonomik-Middleware muss verbessert werden. Dafür gilt es geeignete Konzepte zu entwickeln. IO-Link und XML könnten die Grundlage für die Entwicklung eines Sensor-Busstandards mit hoher Übertragungsrate („Giga<sup>4</sup>-IO-Link“) zwischen Umgebungserkennung und Middleware bilden.

### 8.2 Generische Sensoren

#### BEFUND:

Leistungsfähige Sensoren sind komplexe Komponenten, deren Herstellungspreis stark von der potenziellen, am Markt platzierbaren Stückzahl abhängt. Hohe Stückzahlen lassen sich nur durch ein breites Anwendungsspektrum und Derivate von Massen Anwendungen erreichen.

#### EMPFEHLUNG:

- [1] Geeignete Sensoren aus Massen Anwendungen müssen unter Beachtung von Kostengesichtspunkten für Lösungen der Autonomik weiter verfügbar und integrationsfähig gemacht werden.

<sup>4</sup> Die Bezeichnung „Giga“ deutet die hohen Datenmengen und -raten an, die über diese Schnittstelle zu bewältigen sein werden.

- [2] Die Entwicklung von Sensoren mit integriertem, hochleistungsfähigem embedded system ist weiter voranzutreiben, um eine sensorintegrierte Umgebungserkennung und eine parametrierbare Sensorsteuerung zu ermöglichen. Diese müssen selbstlernende und kognitive Algorithmen sicher abarbeiten können.
- [3] Neben generischen Sensoren müssen Methoden zur Schaffung generischer Umgebungsmodelle weiter entwickelt werden, die sich durch einfache Konfigurierbarkeit („Teach-In und Selbstlernen anstatt proprietäre Programmierung“) auszeichnen

### 8.3 Engineering

#### BEFUND:

Gegenwärtig sind Systemlösungen mit Einsatz sensorbasierter autonomer Systeme sehr stark an die konkreten Einsatzgegebenheiten anzupassen. Der damit entstehende Engineeringaufwand stellt einen signifikanten Kostenfaktor dar und behindert die Erschließung kostensensibler Einsatzbereiche. Die Qualität der jeweilig implementierten Lösung ist sehr stark von den Erfahrungen und Kompetenzen des Systemintegrators (besser Systemdesigners) abhängig. Gegenwärtig kann man durchaus von einer „handwerklichen“ Lösung sprechen, wo industrielle Verfahren notwendig wären. Die Verzahnung von Sensorik- und Anwendungskompetenzen ist unter den Akteuren eher schwach ausgeprägt.

#### EMPFEHLUNG:

- [4] Die Sensorik als enabling technology zur Umwelterkennung ist als zentrales Element bei der Entwicklung einer Autonomik-Plattform von Anfang an mit zu berücksichtigen. Im kurzfristigen Zeithorizont sollten die Herausforderungen an die Sensorik beispielsweise anhand des Einsatzfeldes „Industrielle Servicerobotik“ angegangen werden. Langfristig müssen die Herausforderungen an Sensorsysteme, die in komplexer, nicht kooperativer Umgebungen zum Einsatz gelangen, wie sie im Bereich des Katastrophenschutzes vorzufinden sind, gemeistert werden.
- [5] Vor dem Hintergrund der zunehmenden Virtualisierung von Daten ist die Wechselwirkung zwischen Cloud- und Internet-of-Things-Konzepten einerseits und den Besonderheiten und Fähigkeiten der Umgebungserken-

nung zu untersuchen. Dazu gehört beispielsweise die Verfügbarkeit und andererseits die Verlässlichkeit von Sensordaten („Sensor-Cloud“) und die Rechte an deren Nutzung.

### 8.4 Rahmenbedingungen

#### BEFUND:

Sensoren sind ein Schlüsselement der Sicherheitsarchitektur autonomer Systeme. Ihre Fähigkeiten und ihre Funktion entscheiden – einschließlich der Software – über die Risiken des Einsatzes autonomer Systeme. Die rechtlichen und normativen Rahmenbedingungen sind gegenwärtig noch gering ausgeprägt. Nationale Besonderheiten können den Export erschweren.

#### EMPFEHLUNG:

- [1] Sensorik und Umgebungserkennung müssen als funktionskritische Elemente in zukünftigen industriepolitischen Strategien (z. B. Industrie 4.0) angemessen Berücksichtigung finden.
- [2] Für die Erweiterung der Einsatzmöglichkeiten von autonomen Systemen bedarf es eines rechtlich abgesicherten Zertifizierungsprozesses für zuverlässige Umgebungserkennungsmodulare, insbesondere bei sicherheitskritischen Anwendungen.
- [3] Im Rahmen des EU-Grünbuchs „Sicherheit in der Robotik“ muss der Komplex „Umgebungserkennung“ angemessen berücksichtigt werden.
- [4] Die engere Vernetzung zwischen den Akteuren aus der Sensorik und der Autonomik sollte z. B. durch Netzwerkbildung (Cluster, ZIM Nemo), Arbeitskreise, themenspezifische Veranstaltungen unterstützt werden.
- [5] Die Vertretung deutscher Interessen in internationalen Standardisierungs- und Normungsgremien mit Bezug zur Sensorik sollte von der Industrie als wichtig erkannt, durch die AMA koordiniert und – soweit erforderlich – unterstützt werden. Da die nationale Sensorik-Industrie mittelständisch geprägt ist, verfügt ein einzelnes Unternehmen i.d.R. nicht über die notwendigen Ressourcen dafür.

## Mitglieder der Fachgruppe „Sensorik“

Thomas Barz	Fraunhofer FKI (Robogasinsprector)
Dr. Sebastian Behling	Götting KG (SaLSa)
Dr. Björn Biehler	ifm syntron GmbH (SaLSa)
Alfons Botthof	VDI/VDE-IT
Birgit Buchholz	VDI/VDE-IT
Felix Busch	Technische Universität Dortmund (RoRaRob)
Michael Deubzer	Timing-Architects Embedded Systems GmbH
Dr. Olaf Enge-Rosenblatt	Fraunhofer IIS/EAS (Autass)
H.-H. Götting	Götting KG (SaLSa)
Bärbel Grabe	Götting KG (SaLSa)
Henning Gregor	Universität Potsdam (Lupo)
Dr. Stephan Guttowski	Fraunhofer-Institut für Zuverlässigkeit und Mikrointegration (IZM)
Heiko Haase	Festo AG & Co. KG (AutoPnP)
Rainer Heinstein	VDI/VDE-IT
Prof. Dr. Dr. Eric Hilgendorf	Universität Würzburg
Gerd Kainz	fortiss GmbH (AutoPnP)
Bernd Kärcher	Festo AG & Co. KG (AutoPnP)
Thorsten Knape	BIOLAB Technology Deutschland GmbH
Thilo Krause	Claas Selbstfahrende Erntemaschinen GmbH (marion)
Markus Kreitmair	EnOcean GmbH (DyCoNet)
Prof. Andreas Kroll	Universität Kassel, Fachgebiet Mess- und Regelungstechnik (RoboGasInspector)
Dr. Matthias Künzel,	VDI/VDE-IT
Sander Lass	Universität Potsdam (Lupo)
Roland Liebske	A.D.C. Automotive Distance Control Systems GmbH
Wilfried Mehr	A.D.C. Automotive Distance Control Systems GmbH
Thomas Neugebauer	Götting KG (SaLSa)
Dr. Jens Nolte	Polytec GmbH
Albrecht Pfeil	Leuze
Prof. Alexander Pflaum	Otto-Friedrich Universität Bamberg
Dr. Max Reinecke	Claas Selbstfahrende Erntemaschinen GmbH (marion)
Dirk Schulte	carat robotic innovation GmbH (RoRaRob)
Dr. Dirk Schulz	Fraunhofer-Institut für Kommunikation, Informationsverarbeitung und Ergonomie (FKIE), Forschungsgruppe unbemannte Systeme (RoboGasInspector)
Jochen Schumacher	MPDV Mikrolab GmbH Mikroprozessordatenverarbeitung und Mikroprozessorlabor (Lupo)
Prof. Andreas Schütze	Universität Saarbrücken
Dr. Thomas Simmons	AMA Fachverband für Sensorik e.V.
Prof. Martin Sellen	Micro-Epsilon Messtechnik GmbH & KG
Samuel Soldan	Universität Kassel, Fachgebiet Mess- und Regelungstechnik (RoboGasInspector)
Carsten Thomas	Technische Universität Dortmund – IRPA (RoRaRob)
Volker Viereck	Still GmbH (marion)
Dr. Thomas Wisspeintner	Micro-Epsilon Messtechnik GmbH & KG
Zhixing Xue	FZI Forschungszentrum Informatik (Viema)

## Literaturverzeichnis

Intechno Consulting. (2012). Weltreport „Sensors Markets 2016“. Basel.  
 J. Leo van Hemmen, A. B. (30. Januar 2008).  
 Population vector code: a geometric universal as actuator. Biological Cybernetics.

## Verzeichnis der Abbildungen

Abbildung 1:	Entwicklung des zivilen Sensorikweltmarktes 2006 2016 (Intechno Consulting, 2012) .....	10
Abbildung 2:	Die Entwicklung der weltweiten Sensormärkte 2006 und 2016 nach Anwendungen (Intechno Consulting, 2012) .....	10
Abbildung 3:	Analyse und Prognose des zivilen Weltmarktes für Sensoren von 2006 bis 2016 nach Regionen (Intechno Consulting, 2012) .....	11
Abbildung 4:	Bottom-up-Prozess in der AUTONOMIK-Begleitforschung .....	12
Abbildung 5:	Allgemeiner Regelkreis autonomer Systeme .....	12
Abbildung 6:	Ist-Zustand des Autonomik-Marktes .....	18
Abbildung 7:	Soll-Zustand Autonomik-Markt 2020 .....	18
Abbildung 8:	Sensorik in der Autonomik – übergeordnete Herausforderungen ..	19
Abbildung 9:	Sensoren für autonome Systeme – Strategische Entwicklungsfelder .....	21
Abbildung 10:	Betrachtungsebenen der Weiterentwicklung von Sensoren für die Autonomik .....	21
Abbildung 11:	Strategiefeld Sensorbasierte Fähigkeiten (Anwenderbedarf) .....	22
Abbildung 12:	Strategiefeld Sensoren und Sicherheit. ....	22
Abbildung 13:	Sicherheits-Schalenmodell zur Navigation autonomer Systeme ...	23
Abbildung 14:	Strategiefeld Sensorkonzepte .....	23
Abbildung 15:	Strategiefeld technologische Weiterentwicklung .....	24
Abbildung 16:	Strategiefeld wirtschaftliche, rechtliche und methodische Herausforderungen .....	25
Abbildung 17:	Engineering – das Bindeglied zwischen Sensor und System .....	25
Abbildung 18:	Sensorik für autonome Systeme – Handlungsebenen .....	26

## Impressum

**HERAUSGEBER**  
 AUTONOMIK Begleitforschung  
 VDI/VDE Innovation + Technik GmbH  
 Alfons Botthof

**REDAKTION/GESTALTUNG**  
 LoeschHundLiepold  
 Kommunikation GmbH  
 Ute Rosin

**TEXT**  
 Dr. Matthias Künzel

Steinplatz 1  
 10623 Berlin  
 E-Mail: alfons.botthof@vdivde-it.de  
 www.autonomik.de

Linienstr. 154a  
 10115 Berlin  
 E-Mail: autonomik@lhk.de  
 www.lhk.de

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses  
 des Deutschen Bundestages



AUTONOME UND SIMULATIONSBASIERTE  
SYSTEME FÜR DEN MITTELSTAND