

Matthias Künzel / Alfons Botthof

Sensorik der Dinge

Zusammenfassung

Die Produktionstechnik ist ein bedeutender Wirtschaftsfaktor in Deutschland. Mit dem Zukunftsprojekt Industrie 4.0 erhält dieser eine neue Qualität und damit Wettbewerbsfähigkeit. Die laufende Diskussion dazu fokussiert heute sehr stark die Informationstechnik und eine digitale Welt. Das Konzept „Sensorik der Dinge“ ergänzt deshalb das Konzept „Industrie 4.0“ und verleiht ihm im übertragenen Sinne Augen und Ohren zur realen Welt und öffnet damit neue Märkte und Wachstumschancen für die deutsche Industrie.

Der heute erreichte Stand der Informationstechnik ermöglicht einen nahezu uneingeschränkten Austausch von Informationen zwischen einzelnen Objekten. Gleichzeitig hat die Weiterentwicklung der Hardware die Integration enormer Rechenleistungen auf kleinsten Raum ermöglicht. Darauf aufbauend entstand das Konzept der „Cyber Physical Systems“ als autonome, selbststeuernde physikalische Objekte, das sich auf viele Arbeits- und Lebensbereiche anwenden lässt. Das Internet der Dinge ermöglicht den scheinbar schrankenlosen Austausch und die Verwendung von Informationen. Damit ist es aber auf die digitale Welt beschränkt. Unsere reale Umgebung besteht gerade außerhalb der noch wohlstrukturierten Produktionswelt in erster Linie aus natürlichen, nicht digitalisierten Elementen, die weder ihren Standort noch ihre Temperatur twittern. Vor diesem Hintergrund

kommt der Sensorik und Messtechnik eine Schlüsselfunktion als Schnittstelle zu. Erst mit der sensorischen Erfassung der Dinge wird das Internet der Dinge komplett, um in einer dynamischen Welt realer Objekte und Vorgänge durch neue Anwendungen neue Märkte zu erschließen. Zentrale Schlüsselfunktion ist die Umgebungserkennung, die technisch realisiert werden muss. Das Ziel ist hier die Fusion von generischer Sensorik und lernfähigem Umweltmodell zur validen Umwelterkennung – und das zu akzeptablen Preisen.

1 Das Zukunftsprojekt „Industrie 4.0“

Unter dem Titel „Industrie 4.0“ wird in der aktuellen industriepolitischen Diskussion die Umsetzung der 4. Industriellen Revolution am Standort Deutschland adressiert (Abbildung 1). Diese beschreibt die Implementierung und Nutzung von autonomen, selbststeuernden, wissensbasierten und sensorgestützten Produktionssystemen.

Die rasanten technischen Fortschritte im IT-Sektor eröffnen völlig neue Anwendungsoptionen. In vielen Zukunftsprojekten der Hightech-Strategie spielen „Cyber Physical Systems“ im Sinne von intelligenten, selbststeuernden Netzen zwischen physischen

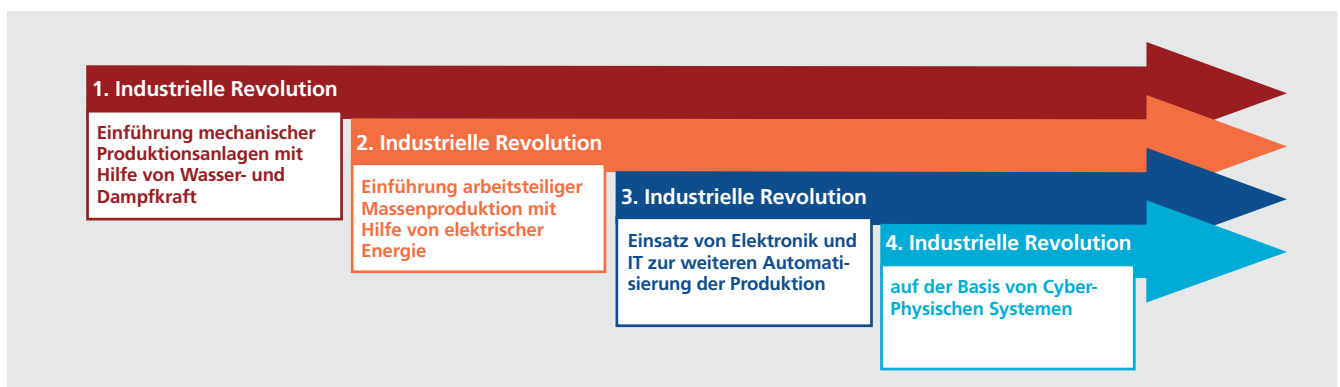


Abb. 1: Die 4 Stufen industrieller Revolutionen (nach DFKI)

Gegenständen eine wichtige Rolle, so in der Energieversorgung, im Verkehrswesen, in der Industrieproduktion oder in der Gestaltung von Wohnungen. Das Zukunftsprojekt zielt in einem darüber hinausweisenden Schritt auf die Vernetzung dieser Netze untereinander. Die sich dadurch neu eröffnenden Potenziale für die Organisation unserer Lebens- und Arbeitswelt können zum Ausgangspunkt einer neuen industriellen Revolution werden. (Bundesministerium für Bildung und Forschung, 2012)

Kennzeichen der künftigen Form der Industrieproduktion sind die starke Individualisierung der Produkte unter den Bedingungen einer hoch flexibilisierten (Großserien-) Produktion, die weitgehende Integration von Kunden und Geschäftspartnern in Geschäfts- und Wertschöpfungsprozesse und die Verkopplung von Produktion und hochwertigen Dienstleistungen, die in so genannten hybriden Produkten mündet. (Bundesregierung, 2012) Getrieben wird dieser Prozess von der Notwendigkeit, an Hochlohnstandorten eine wettbewerbsfähige Produktion zu ermöglichen. Dies hat eine besondere Bedeutung für den Standort Deutschland, das – im Gegensatz zu anderen Industrieländern – seine herstellende und verarbeitende Industrie in den letzten zehn Jahren weiter auf hohem Niveau halten und ausbauen konnte und damit nicht zuletzt ein wichtiger Pfeiler in der Krise der letzten Jahre darstellte.

Das mit dem Modell der Cyber-physical Systems verbundene Paradigma lässt sich mit verschiedenen Szenarien verbinden. Beispielhaft dafür seien die Produktionstechnik (Industrie 4.0 / Smart Factory) und die Energietechnik (Smart Grid) genannt, für die entsprechende Abbildungen bereits erarbeitet werden (Forschungsunion im Stifterverband für die deutsche Wissenschaft, 2012). Dem übergeordnet sind intelligente Umgebungen, wie sie mit dem Szenario Smart City / Metropolitan Solutions beschrieben sind.

Mit Industrie 4.0 wird die Umsetzung im industriellen Umfeld vorgenommen (Produktion: Smart factory). Folgerichtig können nach diesem naheliegenden, ersten Schritt weitere komplexe systemische Lösungen wie Smart Cities aufbauend auf intelligenten Verkehrs-, Haus- und Gebäudemanagementsystemen, smarten Infrastrukturen bspw. zur Energieversorgung und Kommunikation angegangen werden. Die „Smart factory“ stützt sich auf vier Säulen mit entsprechenden Herausforderungen und damit verbundenen Handlungsbedarfen: „Reales Umfeld“, „Wirtschaftliches Umfeld“, „Mensch und Arbeit“ sowie „Faktor Technologie“. Die Handlungsbedarfe umfassen die Beherrschung komplexer Prozesse ohne zentrale Steuerung, ein hohes Maß an ad-hoc-Anpassungs- und Wandlungsfähigkeit, die Berücksichtigung von Wertschöpfungsketten übergreifenden Regelschleifen zu Ressourceneffizienz sowie die Realisierung dezentraler vernetzter Produktionsstätten. Zur erfolgreichen Bewältigung der anspruchsvollen Herausforderungen kann der Standort Deutsch-

land auf seine starke Kompetenz in den Bereichen Automatisierungstechnik, Embedded Systems, Mikrosystemtechnik und Sensorik aufbauen.

Industrie- und forschungspolitisch wird dieser Prozess durch eine Reihe von Aktivitäten und Projekten von Wirtschaft und Politik unterstützt. Verschiedene Roadmaps zu Teilgebieten wie die „Nationale Roadmap Embedded Systems“ (ZVEI - Zentralverband Elektrotechnik- und Elektronikindustrie, 2009) und laufende Technologieförderprogramme – zu diesem gehört das höchst einschlägige Programm Autonomik des BMWi – greifen bereits heute diesen Prozess auf.

2 Autonome Systeme als Element von Industrie 4.0

Entsprechend dem Anspruch von Industrie 4.0 ist die Selbststeuerung – die Autonomie – das Schlüsselement in den Systemen der Zukunft. Die Steuerung erfolgt nicht mehr nach einem Top-down-Konzept, in dem eine leistungsstarke Zentraleinheit alle Teilprozesse überwacht, koordiniert und optimiert; vielmehr liegt den Prozessen ein dezentrales, Bottom-up-Konzept zugrunde. Die Elemente bzw. Teilprozesse verfügen über eine eigene „Intelligenz“, um ihren Auftrag abzuarbeiten. Der Begriff „Cyber Physical Systems“ ist insofern etwas irreführend, als diese eigentlich die „Atome“ bestenfalls Moleküle des Gesamtsystems darstellen. Das autonome Agieren ist insbesondere bei komplexen hierarchischen Strukturen von Vorteil, da die Komplexität der Steuerung reduziert werden kann. Risiken bestehen bei solchen dezentralen Konzepten vor allem bei unzureichenden Kapazitäten für einzelne Prozessschritte, da es keine Gesamtoptimierung gibt. Diese Konstellation ist etwa mit dem Individualverkehr vergleichbar, wo sich solche Probleme in Staus infolge hohen Verkehrsaufkommens manifestieren.

Bezogen auf das Gesamtkonzept Industrie 4.0 agieren die einzelnen Elemente auf der Basis reglungstechnischer und zunehmend auch kognitiver Grundlagen. Diese sind ihnen in der Herstellungsphase aufgeprägt worden und können sich durch „Lernen“ (die Aufnahme zusätzlicher für autonomes Handeln entscheidungsrelevanter Informationen) und durch „Erfahrungen“ (die Auswertung von abgearbeiteten Abläufen) weiterentwickeln. Je nach Grad der Autonomie besteht ein unterschiedliches Verhältnis zwischen den „vorgeprägten“ Fähigkeiten und den „erlernbaren“ Fähigkeiten: beispielsweise kann ein Umgebungsmodell (z. B. hochaufgelöst vorliegende Geodaten) von einer Zentraleinheit übertragen werden oder selbst erfasst werden (Vor-Ort-Daten sich bewegender Objekte).

Ein wesentliches Element der Cyber Physical Systems ist die Fähigkeit zur Kommunikation der einzelnen Elemente unter-

einander. Das kann von der gegenseitigen Übertragung von Grundinformationen zur Aufgabe des einzelnen Systems (z. B. Auskunft über Fahrziel) über die Veröffentlichung von lokalen Sensordaten zur Optimierung entfernter Systeme (z. B. niedrige Geschwindigkeit infolge Staus) bis hin zur Koordinierung der Aufgabenteilung im Sinne eines Schwarmverhaltens reichen.

3 Sensoren in autonomen Systemen

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

Die Betonung liegt dabei auf der Umwelterkennung, denn zwischen dem Sensor-Ausgangssignal (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 miteinander vergleichen, wird die Herausforderung deutlich. Zwar hat das autonome System gegenwärtig noch eine zusätzliche Bürde zu tragen – jeder Unfall kann mit kaum vorhersehbaren Rechts- bzw. Kostenfolgen verbunden sein. Verursacht der Mensch diesen, gibt es klare Regeln und ggf. Versicherungen zur Abdeckung der Risiken – aber allein das erklärt nicht den Unterschied.

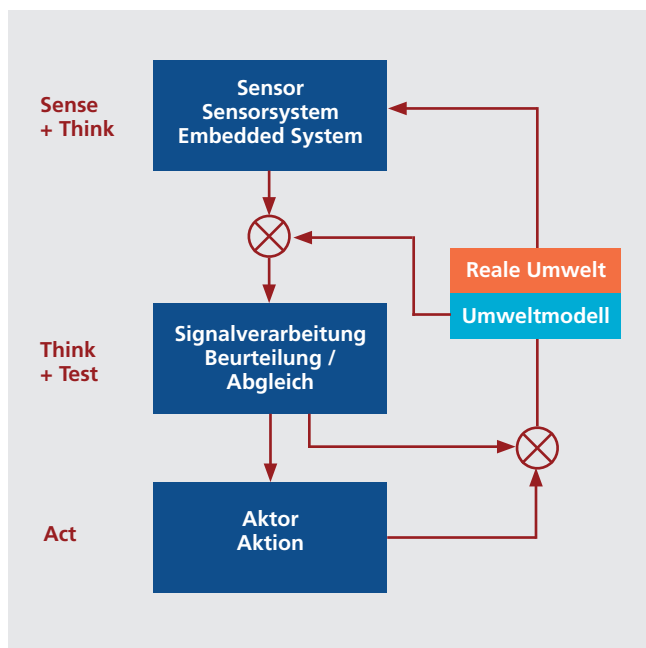


Abb. 2: Allgemeiner, vereinfachter Regelkreis autonomer Systeme (© iit)

Die Sensorik ist ein wesentliches Grundelement autonomer technischer Systeme. Abbildung 2 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 (im Sinne einer Validität). Sie muss die Grundlagen für das sichere Zusammenspiel zwischen Mensch und technischem Artefakt wie bspw. einem Roboter legen, Umwelt- und Prozessinformationen erfassen und komplexe Sachverhalte sicher erkennen helfen.

4 Sensorik und Umwelterkennung im Rahmen von Industrie 4.0

Das Thema Sensorik ist in der Forschung rund um das Internet der Dinge und das zukünftige Internet durchaus verankert (Abbildung 3). Forschungen werden jedoch häufig auf die informationstechnischen Fragestellungen reduziert, wie in der Abbildung deutlich wird. Wireless Sensor Network oder die Sensor-Cloud betrachten den Sensor selbst bzw. den Messwertaufnehmer als Black Box.

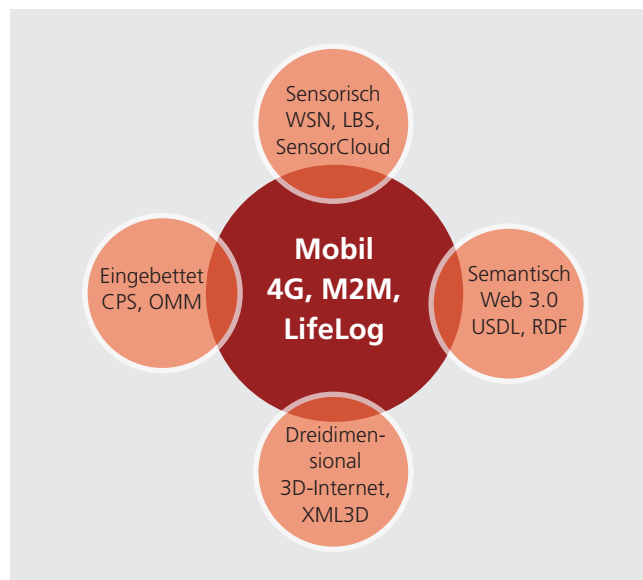


Abb. 3: Megatrends der Internetforschung (© W. Wahlster, DFKI)

Eine solche Herangehensweise verschenkt aber das Potenzial für Entwicklungen in diversen Industriesektoren. Gerade vor dem Hintergrund der starken Marktstellung deutscher Unternehmen in der Messtechnik/Sensorik zeichnen sich hier attraktive Zukunftsmärkte ab, die in idealer Weise Stärken der deutschen Industrie, wie Kundenorientierung, Innovationsfähigkeit und

Systemfähigkeit weiter befördern. Die Sensorik und ihre Weiterentwicklung ist wichtige Grundlage für die Umsetzung der Vision vom

Internet der Dinge

Das Internet der Dinge geht von der vollständigen informationstechnischen Beschreibung seiner Umwelt aus. Dieses ist aber – gerade außerhalb der bislang noch wohlstrukturierten Welt der Produktion – weder heute noch in der Zukunft realistisch. Das Anwendungsszenario „Assistent für selbstbestimmtes Leben im Alter“ zeigt das in aller Deutlichkeit: ein vollständiges digitales Modell einer Wohnung ist kein realistisches Szenario und wohl auch kein wünschenswertes. Deshalb bedarf es einer Ergänzung um die

Sensorik der Dinge

Die „Sensorik der Dinge“ ermöglicht das Erkennen der realen, „analogen“ Umwelt, eine angemessene Reaktion auf wechselnde Situationen und die Möglichkeit einer situationsgerechten Kommunikation mit dem Menschen. Diese unidirektionale Funktion des Erkennens wird durch die Aktorik ergänzt, die dem autonomen System die Reaktion bzw. Einwirkung auf die reale Umwelt ermöglicht und damit das erforderliche Zusammenspiel komplettiert.

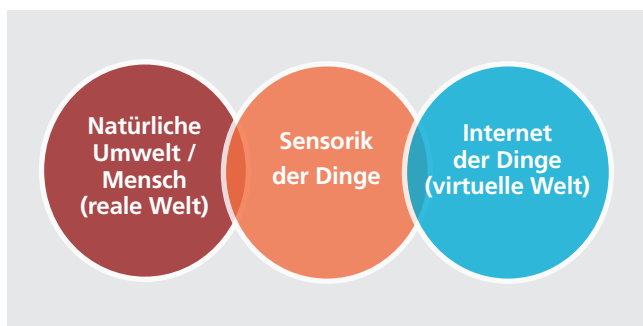


Abb. 4: Sensorik der Dinge als Bindeglied des Internets der Dinge zur realen Welt (© iit)

Auch in weiterer Zukunft werden nicht alle Dinge in der Umgebung intelligent sein und ihren Zustand twittern. Die Einführung des Internets der Dinge wird keine Revolution sein, bei denen alle Gegenstände ohne vollständiges digitales Modell oder Zustandsbeschreibung verschwinden. Der Blick in einen Garten und den darin agierenden autonomen Rasenmäher – bereits heute keine Fiktion mehr – zeigt eher ein realistisches Bild der Zukunft. Wenn mittelfristig autonome Fahrzeuge unterwegs sein werden, so dürften die Autobahnen ihre erste Domäne werden. Auch in der Produktionstechnik ist die Verschrottung oder Nachrüstung aller eingesetzten Maschinen in kurzer Zeit weder bezahlbar noch sinnvoll. Wo die Grenze zur Autonomie im Einzelfall gezogen wird, ist dann nicht nur eine technische, sondern auch eine gesellschaftliche und eine wirtschaftliche Frage.

5. Umwelterkennung als Markt der Zukunft

Zusammenfassend lassen sich die technologischen Herausforderungen an einem Beispiel erklären: heutige moderne Kraftfahrzeugmotoren und auch künftige elektrische Antriebe sind ohne Sensoren undenkbar und ohne eine rasante Technologieentwicklung bei der Herstellung und Integration von Sensoren unbezahlbar (Abbildung 5).

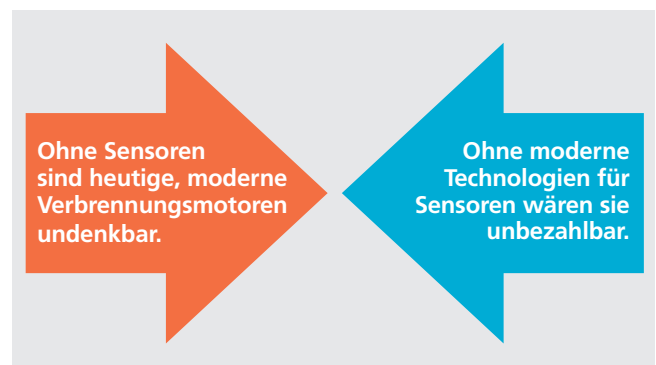


Abb. 5: Massenmarkt Automotive für Messwertaufnehmer: Aufgabe gelöst (© iit)

Eine vergleichbare Entwicklung steht im Bereich der Umwelterkennung für die Autonomik resp. für Industrie 4.0 noch bevor – die Herausforderungen sind aber hinsichtlich der Datengewinnung und -verarbeitung erheblich komplexer (Abbildung 6). Die Entwicklung des Marktes von der Komponentenfertigung hin zu integrierten, intelligenten und leicht adaptierbaren Lösungen für unterschiedliche Anwendungen, wie sie autonome Systeme ermöglichen, stellt ganz neue Herausforderungen an Forschung und Industrie. 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 resp. Sensorysysteme (smarte Komponenten / Objekte / Systeme).

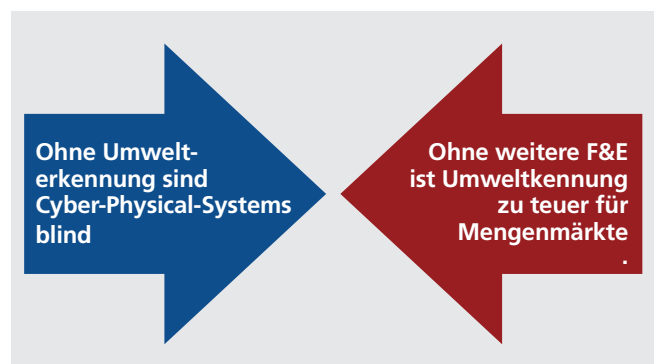


Abb. 6: Mengenmarkt für Umgebungserkennungssysteme: Aufgabe der Zukunft (© iit)

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 vor diesem Hintergrund ein entscheidender Faktor für den zukünftigen Erfolg des Wirtschaftsstandorts Deutschland in diesem Bereich.

6. Innovationspolitische Implikationen

Die gegenwärtige industriepolitische Diskussion zu Industrie 4.0 spiegelt die hohen Erwartungen an das Potenzial des Einsatzes der Informations- und Kommunikationstechnik im Innovationsfeld „Produktion“ wider. Bei der Betrachtung von Workflows und Funktionen in der smarten „Fabrik der Zukunft“ spielen eingebettete Systeme und Software eine zentrale Rolle. Nicht minder wichtig erscheint uns aber die periphere „intelligente“ Hardware, insb. die (vernetzte) Sensorik. Die Betrachtung von sensorischen Funktionen erfolgt jedoch häufig nur im Rahmen der von ihnen erzeugten Daten und ihrer Schnittstellen. Häufig gebrauchte Schlagworte wie „autonome Sensornetzwerke“ belegen dies. Dabei bleibt der eigentliche Schritt der digitalen Abbildung der realen Welt für eine informationstechnische Verarbeitung weitestgehend im Dunkeln.

Mit dem vorgestellten Konzept „Sensorik der Dinge“ soll Licht in dieses Dunkel gebracht werden – immerhin eine Black Box von hoher innovationspolitischer Bedeutung, denn in diesem Dunkel arbeitet eine typische Hidden-Champion-Branche mit 250.000 Arbeitsplätzen und 35 Mrd. Euro Umsatz in Deutschland.

Für die Ausgestaltung des Konzeptes Industrie 4.0 sollten folgende Aspekte berücksichtigt werden, die sich sowohl auf die eigentliche F&E als auch auf Rahmenbedingungen beziehen:

- ▶ **Die Umgebungserkennung ist eine Schlüsselfunktionalität für den Erfolg von Industrie 4.0.** Weder leben wir in einer vollständig digitalisierten Welt, noch werden Industrie-, Stadt- oder gar natürliche Umgebungen von heute auf morgen vollständig digitalisiert sein.
- ▶ Zukünftige Sensoren resp. Umgebungserkennungsmodule für Industrie 4.0 müssen **neueste Erkenntnisse aus unterschiedlichen Technologiefeldern** wie Elektronik, Optik, Informatik und Mechatronik, aber auch Erkenntnisse aus der Kognitionsforschung vereinen. Da die dafür erforderliche Breite an Kompetenzen nicht in einem Unternehmen / einer

Forschungseinrichtung vorhanden ist, bedarf es der **Implementierung neuer Kooperationskonzepte**.

- ▶ Leistungsfähige Sensoren sind komplexe Komponenten, deren Herstellungspreis stark von der potenziellen, am Markt platzierten Stückzahl abhängt. Zur Kostensenkung sind **hohe Stückzahlen universeller Bauarten** unabdingbar. Solche Sensoren müssen semantisch adressierbar sein sowie selbstlernende und kognitive Algorithmen sicher abarbeiten können („Teach-In und Selbstlernen anstatt proprietäre Programmierung“).
- ▶ 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 Umgebungserkennung stärker zu untersuchen. Dazu gehören beispielsweise die Verfügbarkeit und die Verlässlichkeit (**Integrität, Authentizität**) von **Sensordaten** („Sensor-Cloud“) und die **Rechte an deren Nutzung**.
- ▶ Sensoren sind ein Schlüsselement der **Sicherheitsarchitektur von Industrie 4.0**. Ihre Fähigkeiten und ihre Funktion entscheiden – einschließlich der Software – über die Beherrschbarkeit von Risiken des Einsatzes und damit den Erfolg von Industrie 4.0. Die **rechtlichen und normativen Rahmenbedingungen** dafür sind gegenwärtig noch **gering bis unzureichend ausgeprägt**. Nationale Besonderheiten können so beispielsweise den Export erschweren. Hier besteht dringender Handlungsbedarf, allerdings letztendlich auf europäischer Ebene.

Die Sensorik ist eine Schlüsselzulieferindustrie der deutschen Wirtschaft. Ohne sie sind die wirtschaftlichen Erfolge im Maschinen- und Anlagenbau, im Fahrzeugbau oder der Logistik undenkbar. Sie vereint alle „typisch deutschen“ Eigenschaften einer Industriebranche, um die wir im Ausland beneidet werden – innovationsstark, technologiegetrieben, mittelständisch und B2B-orientiert.

Es ist aber auch eine Hidden-Champion-Branche, die bislang zu Unrecht außerhalb des Fokus der Innovationspolitik steht. Die Branchenvertreter rufen nicht offensiv nach staatlicher Unterstützung und argumentieren mit Marktversagen. Die Technologien und Produkte der Sensorindustrie provozieren keine kritischen Kommentare von Technikfolgen-Abschätzern. Selbst herausragende F&E-Ergebnisse eignen sich i. d. R. wenig für die innovationspolitische Öffentlichkeitsarbeit – zu komplex, zu physikalisch-technisch, nicht konsumentenverständlich.

Sensoren und Messsysteme spielten in der Forschungs- und Technologiepolitik immer wieder eine Schlüsselrolle, ohne

jedoch explizit adressiert zu werden. Die Förderprogramme des BMBF zur Mikrosystemtechnik, zur zivilen Sicherheit und zu den optischen Technologien legten und legen die wissenschaftlichen Grundlagen für viele moderne Sensorbauformen und -konzepte – genau, effizient, universell und preiswert. Vorsichtige Schätzungen legen nahe, dass mindestens 5 % der Fördermittel im technologieoffenen Zentralen Innovationsprogramm Mittelstand (ZIM) des BMWi in die Entwicklung neuer Messsysteme und Sensoren fließen.

„Industrie 4.0“ stellt neue Herausforderungen an die Sensorik-Branche, die sich vom Komponentenentwickler zu einem Zulieferer von interoperablen Systemkomponenten zur Umwelterkennung und -bewertung weiter entwickeln muss. Dazu gilt es, diese Industrie in frühen Stadien komplexer Systementwicklungen wie „smarte Fabrik“ oder künftig beispielsweise auch „Metropolitan Solutions“ einzubinden.

Literaturverzeichnis

AMA Fachverband für Sensorik e.V. (kein Datum). Branchenverzeichnis Sensor- und Messtechnik. Abgerufen am 13.6. 2012 von www.ama-sensorik.de/site/de/281/branchenverzeichnis.html

Bundesministerium für Bildung und Forschung. (2012). Bundesbericht Forschung und Innovation 2012. Berlin, Bonn.

Bundesregierung. (14.6.2012). Industrie 4.0. Abgerufen am 14. 06 2012 von www.hightech-strategie.de/de/2676.php

Forschungsunion im Stifterverband für die deutsche Wissenschaft. (2012). Bericht der Promotorengruppe Kommunikation - Im Fokus: Das Zukunftsprojekt Industrie 4.0. Berlin.

www.competence-site.de/Frost-and-Sullivan-Global-Top-10-Hot-Technologies-to-Invest. (kein Datum). Abgerufen am 22.9.2010

www.elektroniknet.de/messen-testen/news/article/86235/0/_Der_Sensorik-Markt_ist_viel_groesser_als_gedacht_/. (kein Datum). Abgerufen am 7.3. 2012

Künzel, M. (2012). Multimodale Sensorik – Konzepte zur Umwelterkennung und -modellierung (Kurzstudie im Auftrag des BMWi). Berlin.

ZVEI - Zentralverband Elektrotechnik- und Elektronikindustrie. (2009). Nationale Roadmap Embedded Systems. Frankfurt.

Kontakt:

*Institut für Innovation und Technik (iit)
Steinplatz 1
10623 Berlin*

Dr. Matthias Künzel, Alfons Botthof
Tel.: 030 31 00 78-286
E-Mail: kuenzel@iit-berlin.de, botthof@iit-berlin.de

Layout: André E. Zeich

iit-Perspektive Nr. 11 vom November 2012