

POSITIONSPAPIER AUS DER AG SILICON GERMANY

# BEDEUTUNG DER MIKROELEKTRONIK FÜR INDUSTRIE 4.0





# BEDEUTUNG DER MIKROELEKTRONIK FÜR INDUSTRIE 4.0

Positionspapier aus der AG Silicon Germany

**Autoren:**

**Dr. Sven Baumann** Zentralverband Elektrotechnik- und Elektronikindustrie e.V. (ZVEI)

**Uwe Gäbler** Infineon Technologies Dresden GmbH

**Dr. Thomas Kaufmann** Infineon Technologies AG

**Prof. Dr. Klaus-Dieter Lang** Fraunhofer-Institut für Zuverlässigkeit und Mikrointegration IZM

**Georg Menges** NXP Semiconductors Germany GmbH

**Mario von Podewils** X-FAB GmbH

**Carsten Puschke** SAP AG

**Dr. Michael Scholles** Fraunhofer-Institut für Photonische Mikrosysteme IPMS

**Dr. Ina Sebastian** Infineon Technologies AG

**Christoph Stoppok** Zentralverband Elektrotechnik- und Elektronikindustrie e.V. (ZVEI)

**Helmut Warnecke** Infineon Technologies Dresden GmbH

**Robert Weichert** Silicon Saxony e.V.

**Dr. Axel Wenzler** Robert Bosch GmbH

## **Inhalt**

1. Zielsetzung des Positionspapiers .....	5
2. Industrie 4.0 .....	6
2.1 Chancen für Deutschland .....	7
2.2 Technische Grundlagen .....	8
3. Rolle der Mikroelektronik .....	9
4. Spezifischer Forschungsbedarf .....	11
4.1 Mikro-Elektro-Mechanische Systeme (MEMS) inkl. Sensoren und Aktoren .....	12
4.2 Embedded Systems on Chip inkl. Spezialprozessoren, spezielle Mikrocontroller und Hightech-Speicher .....	14
4.3 Leistungselektronik .....	15
4.4 Datenübertragung .....	16
4.5 Energy Harvesting .....	17
4.6 Systemintegration .....	18
4.7 IT-Security .....	20
5. Bedarfe in Forschung und Entwicklung aus Sicht der Halbleiterbranche .....	21

## **1. Zielsetzung des Positionspapiers**

Industrie 4.0 – hinter diesem Schlagwort stehen große zukünftige Marktchancen für deutsche Unternehmen in wichtigen Branchen, insbesondere dem Maschinen- und Anlagenbau, dem Automobilbau, der Elektroindustrie sowie der Industrieautomatisierung.

Chancen auf dem Weltmarkt von morgen ergeben sich dabei nicht nur für große Unternehmen, sondern auch für mittelständische Unternehmen in Deutschland – insbesondere jene, die bereits heute mit hochinnovativen Speziallösungen erfolgreich sind („Hidden Champions“).

Die neuartigen Wertschöpfungs- und Geschäftsmodelle, die durch Industrie 4.0 entstehen werden, eröffnen zusätzlich auch sehr kleinen Unternehmen und Gründern hervorragende Markt- und Wachstumschancen, die es gezielt zu entwickeln und zu nutzen gilt.

Bereits heute werden 90 Prozent aller industriellen Produktionsprozesse durch Informations- und Kommunikationstechnik (IKT) unterstützt. Der Anteil der IKT wird in Zukunft weiter wachsen und damit die Intensität der Nutzung stetig zunehmen, da Produktionsprozesse und ihnen zugrunde liegende IKT zunehmend miteinander und mit dem Internet verschmelzen. Der Schlüssel für den Erfolg liegt im perfekten Zusammenspiel von intelligenter Software und Hardware. Diese Kompetenzen bei Industrie 4.0 werden über die künftige Wettbewerbsfähigkeit der deutschen Industrie entscheiden.

Denn moderne elektronische und mikroelektronische Bauelemente und Systeme sind eine wichtige Voraussetzung für die Umsetzung der Ziele im Kontext von Industrie 4.0. Die Mikroelektronikbranche in Deutschland verfügt über das Potenzial, hierfür einen großen Beitrag zu leisten. Sie muss dafür jedoch gezielt in die richtigen Forschungs- und Entwicklungsthemen investieren – bei Forschungsintensitäten von bis zu 20 Prozent erfordert das erhebliche Anstrengungen.

Das nachfolgende Positionspapier zeigt auf, worin die für Industrie 4.0 spezifischen Forschungsbedarfe der Mikroelektronikbranche in Deutschland bestehen und in welche Themen verstärkt investiert werden muss. Deutsche Unternehmen haben sich diesbezüglich gegen starke Konkurrenz in Europa, Asien und den USA zu behaupten.

Es ist eine dringende Notwendigkeit, die breite Hebelwirkung der Mikroelektronik für die internationale Wettbewerbsfähigkeit wichtiger deutscher Industriezweige voll zu entfalten. Das wird am besten funktionieren, wenn Wirtschaft und Wissenschaft eng miteinander kooperieren und die Politik die aktuellen Anstrengungen mit optimalen Rahmenbedingungen und geeigneten Maßnahmen unterstützt.

## 2. Industrie 4.0

„Industrie 4.0 meint im Kern die technische Integration von sogenannten cyber-physischen Systemen (CPS) in die Produktion und Logistik sowie die Anwendung des Internets der Dinge und Dienste in industriellen Prozessen – einschließlich der sich daraus ergebenden Konsequenzen für die Wertschöpfung, die Geschäftsmodelle sowie die nachgelagerten Dienstleistungen und die Arbeitsorganisation.“<sup>1</sup>

Die intelligente Fabrik der Zukunft (Smart Factory) wird sich durch größere Wandlungsfähigkeit und bessere Energie- und Ressourceneffizienz sowie durch stärkere Integration von Kunden und Geschäftspartnern in die Geschäfts- und Wertschöpfungsprozesse auszeichnen. Das führt zu einer deutlichen Verkürzung der „Time to Market“ und bringt großes Potenzial für eine noch stärkere Flexibilisierung der Produktion. Obwohl im Zusammenhang mit Industrie 4.0 von der vierten industriellen Revolution gesprochen wird, ist der Weg dorthin eher ein evolutionärer Prozess, in dem Produktionstechnologien und komplexe industrielle Prozesse schrittweise innoviert werden.

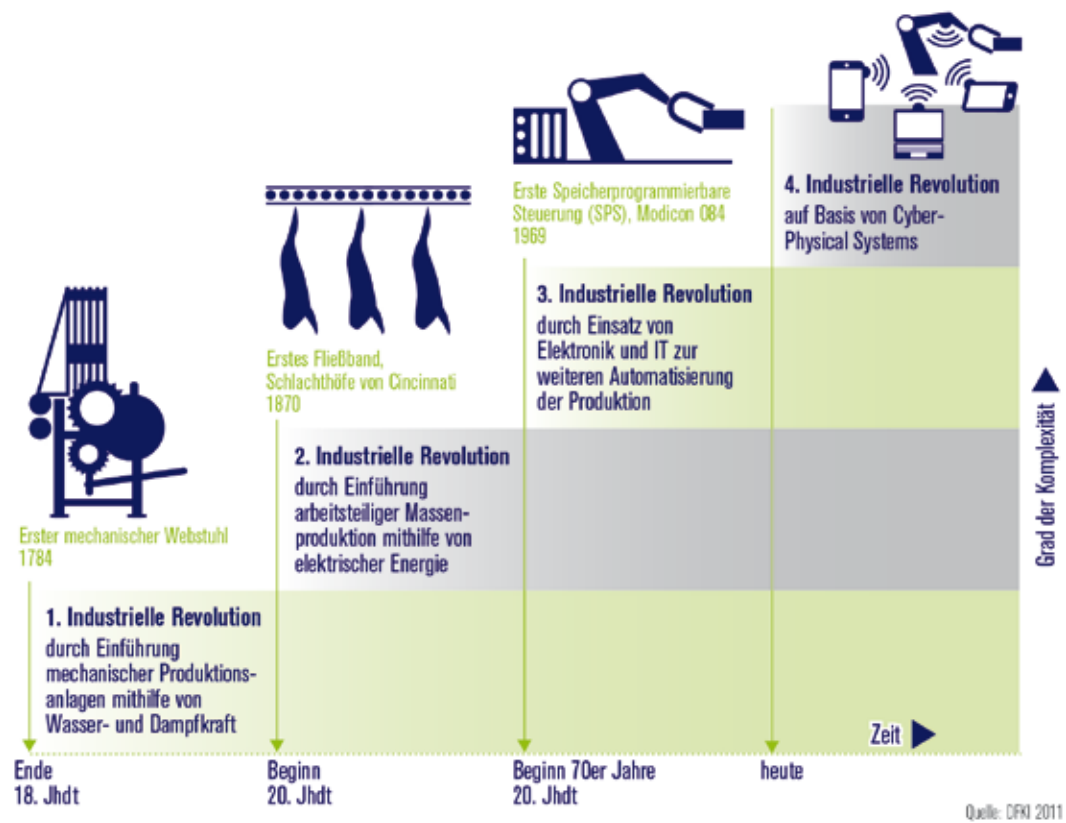


Abbildung 1: Die vier Stufen der industriellen Revolution

<sup>1</sup> Deutschlands Zukunft als Produktionsstandort sichern: „Umsetzungsempfehlungen für das Zukunftsprojekt Industrie 4.0“, Abschlussbericht des Arbeitskreises Industrie 4.0, Seite 18, 2013

## 2.1 Chancen für Deutschland

Von Industrie 4.0 betroffen sind in Deutschland vor allem der Maschinen- und Anlagenbau, die Industrieautomatisierung, der Automobilbau, die Elektroindustrie sowie die chemische und pharmazeutische Industrie.

Neben den großen Unternehmen kommt hierbei den traditionell zahlreichen deutschen Mittelständlern Bedeutung zu, die mit hochinnovativen Speziallösungen auf dem Weltmarkt erfolgreich sind („Hidden Champions“). Jedoch auch kleineren Unternehmen bis hin zu Start-ups werden sich wegen der neu entstehenden Wertschöpfungs- und Geschäftsmodelle viele Chancen am Markt bieten.

Die Industrie war und ist ein wichtiges Rückgrat der deutschen Wirtschaft. Das hat sie nicht zuletzt während der Finanz- und Wirtschaftskrise 2008 bewiesen, von der sich Deutschland schneller als andere Volkswirtschaften erholt hat. Dies zeigt sich im Vergleich mit vielen anderen Ländern Europas bis heute. Deutschland ist ein konkurrenzfähiger Industriestandort und ein führender Fabrikausrüster weltweit.

Obwohl das verarbeitende Gewerbe seit einigen Jahren mit leicht abnehmender Tendenz nur noch weniger als ein Viertel zur Bruttowertschöpfung in Deutschland beiträgt (2013: 21,8 Prozent), u. a. wegen der steigenden Produktivität, nimmt doch das Gewicht dieser Branche insgesamt zu, weil auch industrienaher Dienstleistungen immer stärker zur Wertschöpfung beitragen. Nach dieser Betrachtung liegt die volkswirtschaftliche Bedeutung der Industrie in Summe bei etwa einem Drittel.<sup>2</sup>

Eine starke Basis für dieses Niveau sind die hohen Ausgaben der Industrie für Forschung und Entwicklung (FuE) in Höhe von etwa 45 Mrd. Euro pro Jahr (2011). Das entspricht einem Anteil von fast 90 Prozent der gesamten FuE-Investitionen der Privatwirtschaft. Damit bestimmt die deutsche Industrie klar das Innovationsgeschehen in unserem Land.<sup>3</sup>

Mehr als 75 Prozent der Exportleistung stammten 2012 aus der Industrie. Die Industrie muss qualitativ hochwertige Industrieprodukte erzeugen, um international wettbewerbsfähig zu bleiben und weiterhin Abnehmer für ihre Produkte im Ausland zu finden.

Die Konkurrenten aus Asien und den USA sind stark und werden von ihren Regierungen gezielt durch Förderprogramme gestützt. Es ist wichtig, dass Unternehmen in Europa und Deutschland ebenfalls optimale Rahmenbedingungen vorfinden und durch gezielte Maßnahmen gefördert werden.

Ob als Leitanbieter für intelligente Produktionstechnologien oder als Leitmarkt für „smarte“ Technologien und Produkte, Industrie 4.0 bietet für Deutschland in den nächsten Jahren die große Chance, seine industrielle Wettbewerbsfähigkeit zu festigen oder sogar auszubauen. Allerdings gelingt dies nur, wenn schnell und konsequent gehandelt wird. Produktionsvolumen und viele Arbeitsplätze am Hochlohnstandort Deutschland könnten so gesichert werden. Diese Chance darf nicht vertan werden.

---

<sup>2</sup> Hannes Utikal und Ulrike Walter: Die Zukunft der Industrie in Deutschland – Innovationstreiber für Wirtschaft und Gesellschaft, 2012

<sup>3</sup> Siehe auch: Stifterverband für die Deutsche Wissenschaft, <http://www.stifterverband.info>

## 2.2 Technische Grundlagen

Bereits heute werden etwa 90 Prozent aller industriellen Produktionsprozesse durch IKT unterstützt. Im Zuge der Migration hin zu Industrie 4.0 setzt sich dieser Trend zur Allgegenwärtigkeit der IKT fort. „Autonome, leistungsfähige Kleinstcomputer (eingebettete Systeme oder „Embedded Systems“) werden zunehmend drahtlos untereinander und mit dem Internet vernetzt: Die physikalische Welt und die virtuelle Welt (der Cyber-Space) verschmelzen zu cyber-physischen Systemen (CPS). CPS-Anwendungen und das neue Internetprotokoll IPv6 ermöglichen zukünftig die umfangreiche Vernetzung von Ressourcen, Informationen, Objekten und Menschen über das Internet der Dinge und Dienste.

Durch diese Verknüpfung von Maschinen, Robotern, Lagersystemen sowie anderen Betriebsmitteln mit CPS-Anwendungen werden diese in der Produktion zu intelligenten Ressourcen. Je nach Einsatzzweck sind diese intelligenten Ressourcen mit Sensoren, Mikrocontrollern und Leistungselektronik ausgestattet, die gewissermaßen Sinne, Gehirn und Muskeln der intelligenten Systeme bilden.

Werden intelligente Ressourcen mittels moderner Kommunikationselektronik an schnelle und sichere IT-Systeme angebunden, können sie sich identifizieren und miteinander kommunizieren. Dadurch werden dezentrale sich selbst regulierende Steuerungs- und Regelungsprozesse in der Produktion ermöglicht. Dies wird als Industrie 4.0 bezeichnet.

Die schrittweise Einführung der dafür notwendigen Automatisierungstechnik mit Verfahren der Selbstoptimierung, Selbstkonfiguration und Selbstdiagnose wird nicht nur Menschen bei einer zunehmend komplexeren Arbeit unterstützen, sondern auch eine Industrieproduktion ermöglichen, die durch eine starke Individualisierung (bis zur Losgröße 1) der Produkte unter Bedingungen einer hochflexiblen Hochvolumenproduktion sowie durch einen neuen Grad von Energie- und Ressourceneffizienz gekennzeichnet sein wird.

Wichtige Elemente von Industrie 4.0 sind einerseits die intelligente Fabrik (Smart Factory) und andererseits die intelligenten Produkte (Smart Products)<sup>4</sup>. Basierend auf diesen Elementen entsteht ein Gesamtsystem aus Entwicklung, Fertigung und Infrastruktur, das wesentlich effizienter, aber auch effektiver ist als die Einzelelemente.

Intelligente Fabriken enden nicht am Werkstor, sondern haben als Bestandteil zukünftiger intelligenter Infrastrukturen Schnittstellen zu Smart Buildings, Smart Logistics, Smart Mobility und Smart Grids. Aber nicht nur Produktionsressourcen, sondern auch Produkte werden durch die Verknüpfung mit CPS intelligent (Smart Products). Dadurch sind sie z. B. eindeutig identifizierbar, jederzeit lokalisierbar, verfügen über das Wissen ihres Herstellungsprozesses und können die einzelnen Stationen ihrer Produktion selbstständig ansteuern. In modernen Chip-Fabriken ist dies bereits heute Praxis.

<sup>4</sup> Deutschlands Zukunft als Produktionsstandort sichern: „Umsetzungsempfehlungen für das Zukunftsprojekt Industrie 4.0“, Abschlussbericht des Arbeitskreises Industrie 4.0, Seite 17, 2013



### 3. Rolle der Mikroelektronik

Mikroelektronik wird als Wegbereiter („Enabler“) für Industrie 4.0 wertvolle eigenständige Beiträge liefern. Denn die Eigenschaften und die spezifische Leistungsfähigkeit von CPS werden nicht nur durch deren Software, sondern auch durch deren Elektronik bestimmt. Der Einsatz von robusten Sensorsystemen, drahtlosen und hochfrequenten Übertragungsmodulen, preiswerten Massenspeichern sowie schnellen, energieeffizienten und sicheren Datenverarbeitungsstrukturen trägt zur schrittweisen Erhöhung von Automatisierungsgraden und zu einer verbesserten Logistik bei. Zudem werden immer effizienter arbeitende Aktuator-Systeme auf Basis von Leistungselektronik heute bereits dort eingesetzt, wo dies in der Vergangenheit nicht möglich zu sein schien.

Die Mikroelektronik stellt einen umfangreichen Baukasten bereit, aus dem sich Systemhersteller bedienen können, um Industrie-4.0-Szenarien schrittweise umzusetzen. Natürlich müssen in diesem Baukasten geeignete Bausteine liegen – modular und standardisiert, leistungsfähig und passgenau. Neben der Verkleinerung von Chip-Strukturen („More Moore“) kommt Halbleitern mit immer mehr Funktionen auf einem Chip eine immer stärker Bedeutung zu. Diese Anforderungen werden insbesondere durch sogenannte „More than Moore“-Technologien unterstützt, die eine Hochintegration von vielen Funktionen auf einem Mikrochip zur Verfügung stellen und gleichzeitig überhaupt erst ermöglichen. Darüber hinaus kommt den „More than Moore“-Technologien eine besondere Bedeutung zu, weil Systemintegrationstechnologien (z. B. bei 3-D-Integration auf Waferlevel) eine zentrale Schlüsselrolle im Zusammenhang mit Industrie-4.0-Szenarien einnehmen.

Nur wenn es gelingt, die Fabriken der Zukunft in hohem Maße mit CPS – basierend auf moderner Mikroelektronik – auszurüsten beziehungsweise umzurüsten, werden die im Zusammenhang mit Industrie 4.0 erwarteten Effizienz- und Ressourcengewinne realisierbar.



Abbildung 2: Wissen und Technologien durch Halbleiter generieren 10 Prozent BIP weltweit  
 2010 Welt BIP : \$ 73.300 Mrd., 2010 EU : \$ 15.040 Mrd.

Dabei ist es möglich, bestehende Produktionsanlagen zu modernisieren und diese länger wirtschaftlich zu betreiben. Berücksichtigt man bei zukünftigen Planungsvorhaben von Produktionsanlagen neueste Industrie-4.0-Technologien, werden diese hinsichtlich ihrer funktionalen Breite und Einsatzmöglichkeiten in vollem Umfang wirksam und spielen ihre Vorteile aus. Allerdings werden sich diese Technologien auf lange Sicht eher in evolutionären Schritten durchsetzen und nur selten in Form von Sprunginnovationen. Mikroelektronik muss diese Transformation schrittweise unterstützen.

Letztlich werden jedoch Kriterien wie Funktionalität, Robustheit, Gewicht, Volumen und Preis der Mikroelektronik-Bauelemente darüber entscheiden, ob sie in bestehenden und zukünftigen Produktionsumgebungen einsetzbar und wirtschaftlich sind. Aus den genannten Anforderungen lässt sich ein ganz konkreter Forschungsbedarf für mikroelektronische Bauelemente und Systeme ableiten.

#### 4. Spezifischer Forschungsbedarf

Mikroelektronikprodukte wie Sensoren, Mikrocontroller und Leistungselektronik gehen mit Industrie 4.0 eine besonders vorteilhafte Wechselwirkung ein: Einerseits sind es vor allem mikroelektronische Bausteine und Systeme, die zum hohen Automatisierungsgrad in modernen Fabriken beitragen. Andererseits sind es gerade die Fabriken der Halbleiterindustrie, die von besonders hohen Automatisierungsgraden profitieren, weil nur so die extremen Anforderungen an die Qualität von mikroelektronischen Produkten erfüllt werden können. Gleichzeitig ist damit eine wichtige Voraussetzung geschaffen, Deutschland als Produktionsstandort zu sichern.

Damit moderne Mikroelektronik den Weg hin zu Industrie 4.0 optimal unterstützen kann, sind erhebliche und gezielte Investitionen in Forschung und Entwicklung – gefolgt von der industriellen Umsetzung – unerlässlich.

##### **Die wichtigsten Forschungsbedarfe sind aus Sicht der Autoren:**

1. Mikro-Elektro-Mechanische Systeme (MEMS) inkl. Sensoren und Aktoren
2. Embedded Systems on Chip inkl. Spezialprozessoren, spezielle Mikrocontroller und Hightech-Speicher
3. Leistungselektronik
4. Datenübertragung
5. Energy Harvesting
6. Systemintegration
7. IT-Security

Nachfolgend werden die Forschungsthemen im Einzelnen vorgestellt und ihre spezifische Bedeutung für Industrie 4.0 anhand von Beispielen erläutert.

## 4.1 Mikro-Elektro-Mechanische Systeme (MEMS) inkl. Sensoren und Aktoren

Sensoren und Aktoren sind die Schnittstelle, über die die Anbindung der elektronischen Daten- und Signalverarbeitung an die reale Umwelt erfolgt. Mikro-Elektro-Mechanische Systeme (MEMS), bestehend aus Sensorelement und integrierter Auswerteschaltung (ASIC), werden derzeit in Volumenproduktion vor allem für die beiden Segmente Automotive und Consumer Electronics hergestellt. Doch sie haben auch für Industrie 4.0 grundlegende Bedeutung. Es ist ihre Aufgabe, eine oder mehrere physikalische Größen durch einen Sensor zu erfassen, die Daten aufzubereiten und als analoge oder digitale Information übergeordneten Systemen zur Verfügung zu stellen. Gemessen werden beispielsweise Beschleunigung, Drehrate und Magnetfeld in jeweils bis zu drei Raumrichtungen, Druck und Feuchte sowie die Konzentration von Gasen in Luft oder anderen Umgebungen.

Die Hersteller vermelden eine steigende Nachfrage nach multifunktionalen Sensoren, die in einem System neben elektrischen gleichzeitig auch optische, mechanische, biologische und chemische Daten ermitteln können. Zusätzlich können Devices zur autarken Energieversorgung (Energy Harvesting) in MEMS integriert werden. Derartige Systeme müssen extrem hohe technische Leistungsumfänge bei dramatisch verringertem Gewicht und Volumen sowie gleichzeitig drastisch reduzierten Stromverbräuchen erbringen. Für den Einsatz von MEMS im Segment Industrie 4.0 sind smarte MEMS und die entsprechenden Prozesstechnologien notwendig.

Neue diskrete MEMS-Bausteine, insbesondere für 3-D-Bewegungsverfolgung sowie für technische Überwachungssysteme, müssen entwickelt werden. Auch neuartige MEMS-Mikrofone und -Lautsprecher sowie die dazugehörigen Herstellungsprozesse werden für den Einsatz in zukünftigen CPS-Systemen benötigt.

Eine weitaus größere Rolle als bisher wird die multidimensionale Integration einer hohen Anzahl diskreter MEMS-Sensoren und -Aktoren in integrierte mikroelektronische Systeme spielen. Angestrebt wird gleichzeitig die weitere Miniaturisierung der Bauelemente selbst. So können die notwendigen Volumen- und Gewichtsreduzierungen erzielt werden. Durch die Entwicklung und intensivere Nutzung von modernen Verbindungstechnologien sind zudem wesentlich niedrigere Leistungsaufnahmen als bei derzeit üblichen Systemen erreichbar. Letztlich wird erst dadurch ein energieautarker Betrieb unter Nutzung von integrierten Energieumwandlungssystemen und Energy-Harvesting-Komponenten denkbar.

Einfache Sensoren können in Abkehr von heute etablierten und vergleichsweise teuren Verfahren in Form von gedruckten Schaltungen realisiert und als passive Sensoren ausgeführt werden, die selber keine eigene Energiequelle mit sich führen. Zum drahtlosen Auslesen wird die notwendige Energie ebenfalls drahtlos eingekoppelt.

Grundsätzlich kann man zusammenfassen, dass die Neuentwicklung von bedarfsgerechten MEMS-Bausteinen und den dazugehörigen effizienten Prozess- und Verbindungstechnologien einen wichtigen Beitrag zur Umsetzung des Zukunftsprojektes Industrie 4.0 leistet. Dabei lassen sich erste Systeme für Industrie 4.0 weitgehend aus verfügbaren Komponenten aufbauen. Mit zunehmenden Stückzahlen wird die Nachfrage nach neuen Funktionalitäten, der Druck auf die Kosten sowie auf den Energieverbrauch stark zunehmen. Gleichzeitig muss die Robustheit der MEMS verbessert werden, damit sie auch unter rauen Bedingungen (z. B. hohe oder tiefe Umgebungstemperaturen) eingesetzt werden können. Um dauerhaft wettbewerbsfähig zu sein, müssen daher die MEMS weit über den heutigen Stand hinaus weiterentwickelt werden.

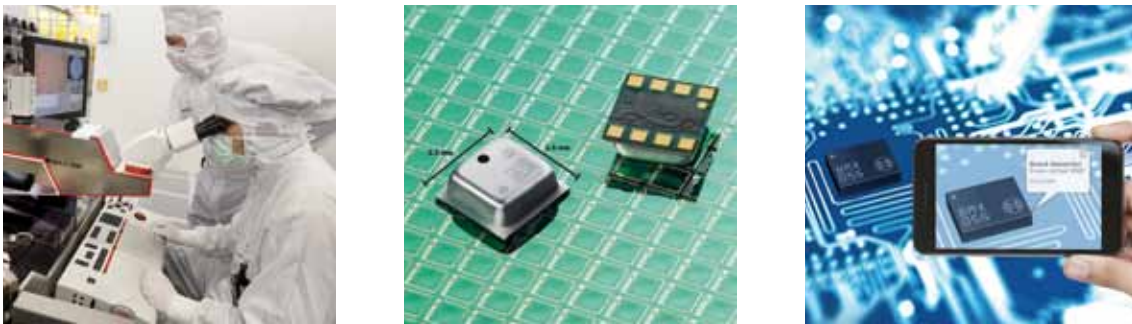


Abbildung 3: Waferfertigung in einer Halbleiterfabrik. In der Halbleiterfertigung entstehen integrierte Schaltkreise (IC) und mikromechanische Bauelemente (MEMS). Ausgangsmaterial sind dünne Siliziumscheiben, so genannte Wafer, mit einem Durchmesser von 200 Millimetern.

### FORSCHUNGS- UND ENTWICKLUNGSZIELE

Deutliche Reduzierung der Leistungsaufnahme

Verbesserung der Systemrobustheit, Lebensdauer, Zuverlässigkeit

Neu- und Weiterentwicklung von Embedded Systems, MEMS, Sensorik und Leistungselektronik

Neu- und Weiterentwicklung von Prozesstechnologien

## 4.2 Embedded Systems on Chip inkl. Spezialprozessoren, spezielle Mikrocontroller und Hightech-Speicher

Komplexe Hochleistungsprozessoren und Mikrocontroller sind die Rechenzentralen eingebetteter intelligenter Systeme. Sie müssen bei geringster Leistungsaufnahme höchste Rechenleistungen erbringen. Dazu sind sie heute in der Regel als Multi-Core-Architekturen ausgeführt und gestatten neben reiner Datenverarbeitung eine Vielzahl von Steuerungs- und Programmablauffunktionen auf der Basis immer komplexerer Firm- und Software. Die Leistungssteigerung ist dabei nur über eine zunehmende Anzahl von Transistoren pro Chip durch die immer weitere Verkleinerung der Strukturgrößen zu erzielen. Bei immer kleiner werdenden Strukturen bestimmen jedoch sogenannte Leckströme der Prozessoren mehr und mehr den Gesamtenergieverbrauch der integrierten Schaltung. Durch die Verwendung neuer Materialien (z. B. die High-k+Metal-Gate-Technologie) kann der Leckstrom bei gleichbleibender Schaltgeschwindigkeit jedoch um mehrere Größenordnungen reduziert werden. Diese Technologie wird heute bereits bei der Herstellung von Consumer-Chips (u. a. Prozessoren, Speicher, Wireless-Anwendungen) eingesetzt. Künftig ist ihre Anwendung auch bei der Fertigung von Produkten für die Industrieautomation zu erwarten.

Speicher, insbesondere nichtflüchtige Flash-Speicher, sind ein weiterer wesentlicher Baustein in dezentral agierenden intelligenten Systemen. Häufig wird die Speicherfunktionalität dabei direkt in den Mikrocontroller eingebettet (Embedded Flash). Weiterhin werden Ansätze zur Minimierung des Energieverbrauchs auch für nichtflüchtige Speicher verfolgt, die z. B. für die dauerhafte Speicherung von Sensordaten in innovativen RFID-Tags und somit als ein weiterer grundlegender Baustein von Industrie 4.0 genutzt werden.

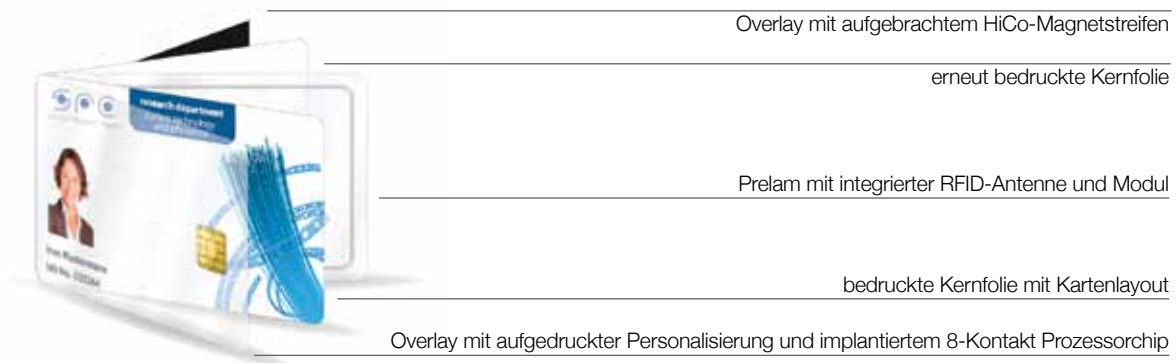


Abbildung 4: Karte in Einzel-Schicht-Darstellung

### FORSCHUNGS- UND ENTWICKLUNGSZIELE

Erhöhung der Systemperformance bis zur Echtzeitfähigkeit
Deutliche Reduzierung der Leistungsaufnahme
Neu- und Weiterentwicklung von Embedded Systems, MEMS, Sensorik und Leistungselektronik
Weiterentwicklung von Prozessoren, Mikrocontrollern, Speichern
Neu- und Weiterentwicklung von Prozesstechnologien
Neu- und Weiterentwicklung von Aufbau- und Verbindungstechniken (2.5-D, 3-D)
Entwicklung sicherer Identifikationssysteme für industrielle Anwendungen

### 4.3 Leistungselektronik

Die Weiterentwicklung der heute vorhandenen Leistungselektronik-Lösungen ist eine wichtige Voraussetzung für die Umsetzung von Industrie-4.0-Konzepten. Denn die eingesetzten Leistungshalbleiter-Komponenten, wie z. B. „smarte“ MOSFETs (Metall-Oxid-Halbleiter-Feldeffekttransistoren) mit integrierten Diagnostik- und Schutzfunktionen, oder hocheffiziente IGBT-Module (Bipolartransistoren mit isolierter Gate-Elektrode) sind – als „Muskeln des Systems“ – ein integraler Bestandteil vieler CPS-Systeme. Zunehmend intelligente und vernetzte Automatisierung wird auch den Einsatzbereich von Leistungshalbleitern weiter vergrößern.

Damit trotz steigender Automatisierung und einer immer größeren Anzahl elektrischer Verbraucher im gesamten Produktionsprozess dennoch weniger Energie verbraucht wird, werden z. B. schon heute zunehmend Antriebe mit elektronischer Drehzahlregelung eingesetzt. Solche Antriebe sind einerseits effizient – das trägt zur Einsparung von Energie bei – und andererseits sehr präzise – was oft eine wichtige Voraussetzung für die hohe Qualität von Produkten ist. Das Einsparpotenzial durch elektronisch geregelte Antriebe wird laut Schätzungen erst zu circa zehn Prozent ausgeschöpft. Rund zehn Prozent des weltweiten Strombedarfs könnten eingespart werden, wenn die dafür infrage kommenden Motoren elektronisch geregelt wären.

Wenn in den kommenden Jahren deutlich mehr Automatisierungslösungen als bisher in den gesamten Produktionsprozess integriert werden, dann muss jede einzelne Leistungshalbleiter-Komponente zwangsläufig sehr zuverlässig und robust sein, um störungsfreie Produktionsabläufe sicherzustellen. In vielen potenziellen Anwendungsbereichen wird deren Einsatz zudem davon abhängen, ob sie kompakt genug sind, somit also eine höhere Leistungsdichte ermöglichen. Hieraus ergeben sich – abseits von der notwendigen Intelligenz und Kommunikationsfähigkeit von cyber-physischen Systemen – eigenständige Forschungsthemen.

Positiver Begleiteffekt: Schrumpfen Größe und Gewicht von elektronischen Steuerungen, sinken auch die Kosten. Durch das bessere Preis-Leistungs-Verhältnis amortisieren sich die Kosten für elektronische Steuerungen daher in immer kürzerer Zeit. Auch darin liegt ein wichtiger Hebel für den verstärkten Einsatz in der industriellen Praxis auf dem Weg zu Industrie 4.0.



Abbildung 5: Leistungshalbleiter-Komponenten wie die Industrial-PROFET™-Serie von geschützten High-Side-Schaltern können extrem hohe Energien verarbeiten und eignen sich somit ideal zum Schalten von induktiven Lasten und zum Ansteuern von Relais – selbst im erweiterten Temperaturbereich von -40 bis 125 °C.

#### **FORSCHUNGS- UND ENTWICKLUNGSZIELE**

Neu- und Weiterentwicklung von Embedded Systems, MEMS, Sensorik und Leistungselektronik

Neu- und Weiterentwicklung von Prozesstechnologien



## 4.4 Datenübertragung

Systeme für Industrie 4.0 müssen autark agieren und folglich drahtlos mit der Umwelt kommunizieren. Die drahtlose Funktechnologie trägt jedoch (neben dem Display, das aber für Industrie 4.0 eine untergeordnete Rolle spielt) hauptsächlich zum Energieverbrauch von portablen Systemen bei.

Für einen energieautarken Betrieb von Systemen für Industrie 4.0 sind alle möglichen Maßnahmen zur Reduktion des Energieverbrauchs zu bündeln. Aus diesem Grund verbessern Innovationen, die die Leistungsaufnahme im Funk-Interface verringern, die Chancen zur weiteren Verbreitung von Industrie 4.0.

Eine Alternative zur Datenübertragung über Funkwellen bietet die optische Datenübertragung. In Entwicklung befindliche Systeme zur optischen Freiraumkommunikation benötigen zwar nominell eine nahezu doppelt so hohe Leistungsaufnahme wie konventionelle Funkmodule. Sie können allerdings deutlich höhere Datenraten erreichen, so dass die für die Übertragung einer bestimmten Datenmenge aufzuwendende Energie letztendlich geringer ist. Deshalb gilt die optische Datenübertragung als interessante Option für Anwendungen, bei denen große Datenmengen ausgelesen oder geschrieben werden.

Darüber hinaus müssen große Anstrengungen z. B. im Bereich der Server-Vernetzungen unternommen werden (siehe Abbildung 3). Hier besteht zurzeit noch sehr viel Forschungs- und Entwicklungsbedarf, da derartige Module heute noch nicht kommerziell verfügbar sind. Bis sie in Preis, Leistung und Zuverlässigkeit den Anforderungen für Industrie 4.0 entsprechen, muss noch sehr viel in FuE-Aktivitäten investiert werden.

DATENÜBERTRAGUNG

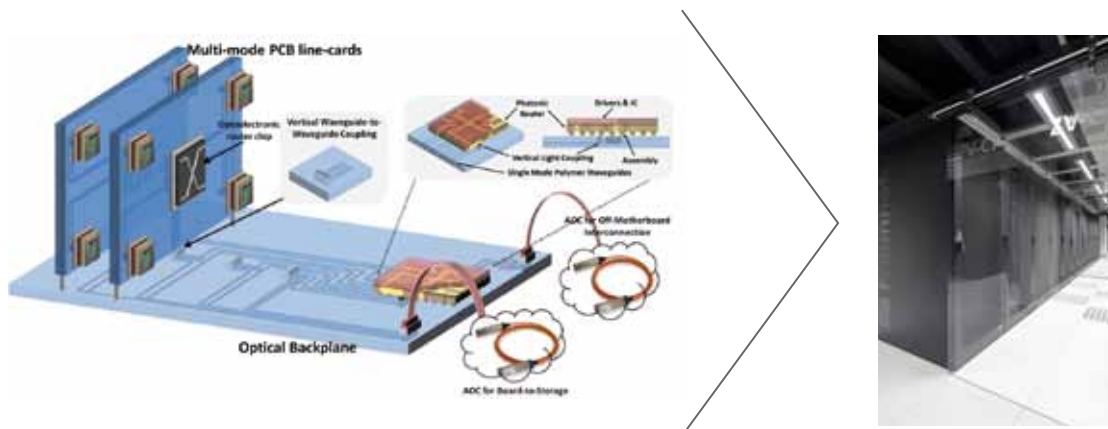


Abbildung 6: Durchgängige optische Hochleistungsdatenübertragung bei der Vernetzung (Halbleiter, Motherboard, Backplane, Server-Rack) in Server-Farmen (EU-Projekt PhoxTroT)

### FORSCHUNGS- UND ENTWICKLUNGSZIELE

Wireless Connectivity mit höchsten Datenraten (Terabit)
Erhöhung der Systemperformance bis zur Echtzeitfähigkeit
Entwicklung spezieller Schnittstellen für die Funkkommunikation
Systementwicklung der drahtlosen Datenübertragung zur Freiraumkommunikation



## 4.5 Energy Harvesting

Energy-Harvesting-Technologien für den Betrieb von drahtlosen Sensornetzwerken und mikroelektronischen Schaltungen beziehen Energie aus der Umgebung unter Nutzung der Photovoltaik, der Thermoelektrik, von RFID-Sendern und von Vibrationen.

Von allen genannten Energiequellen ist nur die Vibration nahezu überall vorhanden. Dies spiegelt sich auch in der stetig wachsenden Marktrelevanz der Vibration-Energy-Harvester wider, die auf Elektrostatik, Elektromagnetik und Piezoelektrik basieren. Der Marktanteil der piezobasierten Generatoren, die von allen mechanisch arbeitenden Harvestern die höchsten Energiemengen liefern, wird laut Marktprognosen bis zum Jahr 2022 den Anteil der thermoelektrischen Energy Harvester überschreiten.

Die derzeit auf dem Markt verfügbaren Energy Harvester sind jedoch aufwendig in der Fertigung. Bei Miniaturisierung werden die Energieerträge zu gering, während die Kosten steigen. Aus diesem Grund sind die Anwendungsbereiche gegenwärtig noch sehr begrenzt.

Forschungsergebnisse haben gezeigt, dass auf dielektrischen Elastomeren oder elektrostriktiven Polymeren basierende Harvester am effizientesten sind. Ihre Eigenschaften lassen sich sowohl im Hinblick auf niedrige Kosten als auch auf hohe Leistungsfähigkeit maßschneidern. Zudem sind beide aufgrund der hohen erzielbaren Deformation für einen Einsatz als Aktoren von besonderem Interesse. Lösungen für hocheffizientes Energy Harvesting sind derzeit Gegenstand der Forschung und Entwicklung (siehe Abbildung 4). Vor einem Einsatz im industriellen Umfeld für Industrie 4.0 sind weitere FuE-Arbeiten erforderlich, um Fertigbarkeit, Integration in mikroelektronische Systeme und Zuverlässigkeit deutlich zu verbessern.



Abbildung 7: In Kohlefaser-Komponenten (CFK-Werkstoff) integrierte autark arbeitende Sensorknoten zur frühzeitigen Riss-Detektion z. B. in Flugzeugen oder Windkraftanlagen

### FORSCHUNGS- UND ENTWICKLUNGSZIELE

Neu- und Weiterentwicklung von Prozesstechnologien

Entwicklung effizienter Energy-Harvesting-Systeme

## 4.6 Systemintegration

Nur durch die Integration der Einzelkomponenten wie Sensor/Aktor, Prozessor, Speicher, Funkmodul, Antenne, Controller und Energieversorgung zu einem Gesamtsystem können multifunktionale, energieeffiziente und hochzuverlässige Systeme als Grundlage für Industrie 4.0 bereitgestellt werden. Durch die in vielen Fällen sehr hohen Systemanforderungen steigt auch die Komplexität im Aufbau der elektronischen Systeme stark an. Standardlösungen können deshalb in vielen Fällen nicht mehr eingesetzt werden. Aufbau- und Integrationstechnologien müssen weiterentwickelt werden, um elektronische Systeme mit kleinsten Baugrößen, geringer Verlustleistung und hoher Zuverlässigkeit bei niedrigen Fertigungskosten herstellen zu können.

Um konkurrenzfähigere Lösungen für Industrie 4.0 bereitstellen zu können, ist zunehmend eine durchgängige Entwicklungs- und Fertigungskette insbesondere für multifunktionale System-in-Packages(SiP)-Lösungen für Smart Systems oder Smart Sensor Systems erforderlich.

Ein weiterer wichtiger Punkt ist die Weiterentwicklung der Embedded Systems in Richtung cyber-physischer Systeme durch intelligente autonome Sensorsysteme. Dafür sind auf kleinstem Raum Sensorfunktionen, Auswerteelektronik, Antennen zur Datenübertragung und vor allem Energieversorgung (Leistungselektronik) zu integrieren. Erforderlich ist außerdem hochwertige und in Echtzeit arbeitende Software. Nur auf diese Weise können Geräte und Objekte vernetzt, über Anwendungsgrenzen hinweg reale Zustände abgefragt und auf Basis dieser Informationen Prozesse gesteuert werden (siehe Abbildung 5).

Modularisierungskonzepte für Silizium-Systeme (Baukastenprinzip mit Funktionsebenen, Kühlungskomponenten, Hochfrequenz- und Antennenmodulen, Sensormodulen etc.) könnten eine hohe Flexibilität ermöglichen und dazu beitragen, die Entwicklungskosten zu reduzieren.

Ein großes Potenzial im Produktionsumfeld hat in diesem Zusammenhang auch der System-in-Package-Ansatz mittels 3-D-Integration. Dies bietet Vorteile, die für bestehende und neue Systeme sehr interessant sind: einfache kabellose Nachrüstung, eine kleine kompakte Bauform, kurze Signalwege sowie eine deutlich verbesserte Energieeffizienz.

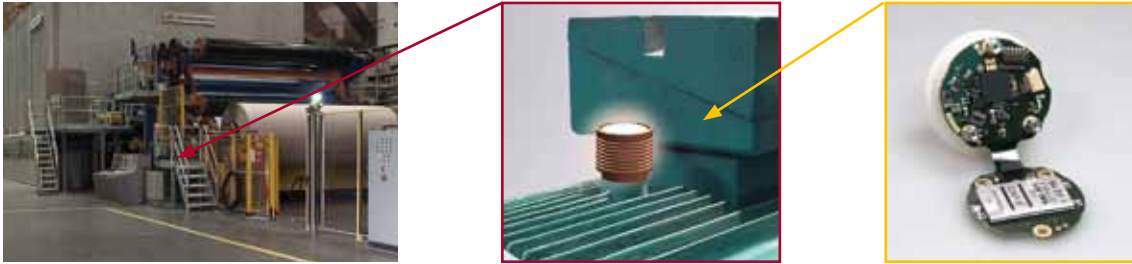


Abbildung 8: Online-Produktionsüberwachung mit autarken Sensorsystemen: Zustandsüberwachung für Produktionsmaschinen während des Betriebes – autarkes, drahtlos vernetztes Sensorsystem zur automatischen Überwachung von Antriebsmotoren (BMBF-Projekt ECoMoS; Partner: Coverteam/ELBAU/Fraunhofer IZM, u.a.)

**FORSCHUNGS- UND ENTWICKLUNGSZIELE**

Wireless Connectivity mit höchsten Datenraten (Terabit)
Erhöhung der Systemperformance bis zur Echtzeitfähigkeit
Verbesserung der Systemrobustheit, Lebensdauer, Zuverlässigkeit
Neu- und Weiterentwicklung von Aufbau- und Verbindungstechniken (2.5-D, 3-D)
Entwicklung spezieller Schnittstellen für die Funkkommunikation
Entwicklung neuer Technologien für fälschungs- und manipulationssicheres Modul-Packaging
Verbesserung der Sicherheit der Systeme in Bezug auf Datenintegrität und funktionale Sicherheit
Systementwicklung von Prototypen und dafür nötiger Fertigungstechnologien

## 4.7 IT-Security

Industrie 4.0 stellt höchste Ansprüche an die Sicherheit der eingesetzten Systeme. Die „Plattform Industrie 4.0“ spricht in diesem Zusammenhang auch von einer neuen Sicherheitskultur, die zu vertrauenswürdigen, resilienten und gesellschaftlich akzeptierten Industrie-4.0-Systemen führen muss. Hierzu leistet Mikroelektronik einen entscheidenden Beitrag.

Durch die Vernetzung der Komponenten mit anderen Komponenten, Anwendungen und Hintergrundsystemen ergibt sich eine Fülle an neuen und hochkomplexen Sicherheitsanforderungen. Zudem umfasst die Vernetzung sowohl die Interaktion als auch die Interoperabilität von einer großen Vielfalt und Anzahl von Systemen – vom zentralen Server, Services in der Cloud, über PCs und Roboter bis hin zu mobilen Aktoren und Sensoren.

Grundsätzlich müssen für die Sicherheit von Industrie 4.0 alle Systemschichten gegen Angriffe geschützt werden, um die Vertrauenswürdigkeit und Integrität sicherzustellen. Für die Hardware folgen daraus besondere Anforderungen, da diese unterste Systemschicht sich nicht auf tiefer liegende Schichten verlassen kann. Sie wird damit zur Wurzel des Vertrauens (Root-of-Trust) in einem vertrauenswürdigen System. Nur über angriffsresistente Hardware gelingt der Schutz der zentralen Schlüssel zur Authentifizierung von Kommunikation und Updates von einer zentralen Steuerung wie auch die sichere Identifizierung anderer Komponenten (siehe Abbildung 6). Ausgehend von einer sicheren Hardware, ist es gleichzeitig möglich, die Integrität von Softwarekomponenten sicherzustellen sowie deren Ausführung zu überwachen und auf Konsistenz zu überprüfen.

Für Industrie 4.0 ist „Security“ eines der zentralen Konzepte. Allein ein ganzheitlicher und entsprechend zertifizierter Sicherheitsansatz kann das Gesamtsystem effektiv gegen Angriffe und Missbrauch schützen. Nur die Mikroelektronik kann durch Ansätze wie Secure Elements – speziellen einzelnen Sicherheitsschaltkreisen in einem System oder speziellen Schaltkreisblöcken in einem Chip – und die Kombination von Sicherheitsmaßnahmen in Hard- und Software auf unterster Ebene das solide Fundament für die Sicherheitsarchitektur einer Industrie 4.0 bilden. Die Sicherheit ist Grundvoraussetzung für die notwendige Ende-zu-Ende-Sicherheit und somit die Akzeptanz der Industrie 4.0. Aus diesem Grunde hat die Mikroelektronik in diesem Bereich grundlegende Bedeutung.

IT-SECURITY

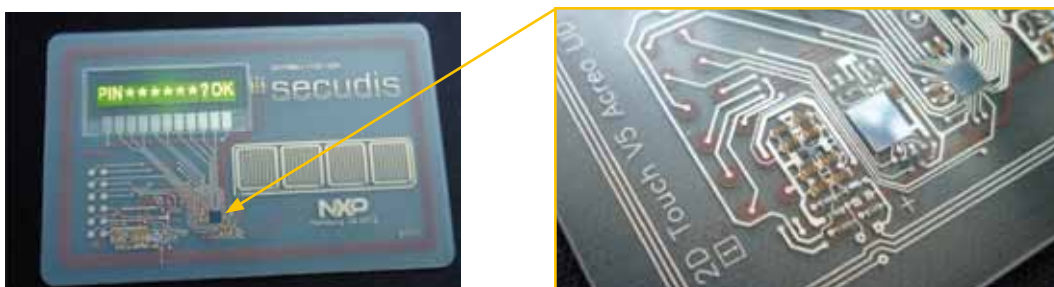


Abbildung 9: Die multifunktionale Identifikationskarte: Identifikation, Monitoring und Prozesssteuerung über intelligente Smart Cards (BMBF-Projekt SECUDIS; Partner: NXP/Bundesdruckerei/Fraunhofer IZM)

### FORSCHUNGS- UND ENTWICKLUNGSZIELE

- Systementwicklung der drahtlosen Datenübertragung zur Freiraumkommunikation
- Entwicklung neuer Technologien für fälschungs- und manipulationssicheres Modul-Packaging
- Verbesserung der Sicherheit der Systeme in Bezug auf Datenintegrität und funktionale Sicherheit
- Systementwicklung von Prototypen und dafür nötiger Fertigungstechnologien

## 5. Bedarfe in Forschung und Entwicklung aus Sicht der Halbleiterbranche

Ausgehend von den in den Kapiteln 4.1 bis 4.7 dargestellten Forschungs- und Entwicklungszielen, fasst die folgende Tabelle die Ziele noch einmal zusammen.

FORSCHUNGS- UND ENTWICKLUNGSZIELE	FORSCHUNGSBEDARFE						
	MEMS inkl. Sensoren und Aktoren	Embedded Systems on Chip	Leistungselektronik	Datenübertragung	Energy Harvesting	Systemintegration	IT-Security
Wireless Connectivity mit höchsten Datenraten (Terabit)				■		■	
Erhöhung der Systemperformance bis zur Echtzeitfähigkeit		■		■		■	
Deutliche Reduzierung der Leistungsaufnahme	■	■					
Verbesserung der Systemrobustheit, Lebensdauer, Zuverlässigkeit	■					■	
Neu- und Weiterentwicklung von Embedded Systems, MEMS, Sensorik und Leistungselektronik	■	■	■				
Weiterentwicklung von Prozessoren, Mikrocontrollern, Speichern		■					
Neu- und Weiterentwicklung von Prozesstechnologien	■	■	■		■		
Neu- und Weiterentwicklung von Aufbau- und Verbindungstechniken (2.5-D, 3-D)		■				■	
Entwicklung spezieller Schnittstellen für die Funkkommunikation				■		■	
Systementwicklung der drahtlosen Datenübertragung zur Freiraumkommunikation				■			■
Entwicklung effizienter Energy-Harvesting-Systeme					■		
Entwicklung sicherer Identifikationssysteme für industrielle Anwendungen		■					■
Entwicklung neuer Technologien für fälschungs- und manipulationssicheres Modul-Packaging						■	■
Verbesserung der Sicherheit der Systeme in Bezug auf Datenintegrität und funktionale Sicherheit						■	■
Systementwicklung von Prototypen und dafür nötiger Fertigungstechnologien						■	

Abbildung 10: Überblick zu Forschungs- und Entwicklungszielen

## Mitglieder der AG Silicon Germany



STAATSMINISTERIUM  
FÜR WISSENSCHAFT  
UND KUNST



STAATSMINISTERIUM  
FÜR WIRTSCHAFT  
ARBEIT UND VERKEHR



Landeshauptstadt  
Dresden





Vorsitzende der AG Silicon Germany:

**Prof. Dr. Dr. Sabine Freifrau von Schorlemer,**  
Sächsische Staatsministerin für Wissenschaft und Kunst

**Dr. Reinhard Ploss,**  
Vorstandsvorsitzender der Infineon AG

Kontakt:

**Silicon Saxony e. V.**  
Manfred-von-Ardenne-Ring 20, Haus F  
01099 Dresden

Telefon: +49 (351) 8925-888  
Fax: +49 (351) 8925-889

E-Mail: [info@silicon-saxony.de](mailto:info@silicon-saxony.de)  
Web: [www.silicon-saxony.de](http://www.silicon-saxony.de)