

FRAUNHOFER-VERBUND INNOVATIONSFORSCHUNG

## **FRAME**

**FRAUNHOFER MICROELECTRONICS INNOVATION  
ENHANCEMENT –**

Innovationsunterstützende Begleitung der Forschungsfabrik  
Mikroelektronik Deutschland (FMD)

Gründungsprojekt des Fraunhofer-Verbunds Innovationsforschung

Modul 6 – „Impact“

Meilenstein 6.2 – „Innovationssystem Mikro-  
elektronik Deutschland“

## **Institute des Verbunds Innovationsforschung:**

### **Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation IAO**

Leitung: Prof. Dr.-Ing. Prof. e. h. Wilhelm Bauer

Nobelstraße 12, 70569 Stuttgart

Telefon +49 711 970-01

Geschäftsführer des Fraunhofer-Verbunds Innovationsforschung:

Dr.-Ing. Sven Schimpf

Telefon +49 711 970-2457

### **Fraunhofer-Zentrum für Internationales Management und Wissensökonomie IMW**

Leitung: Prof. Dr. Thorsten Posselt

Neumarkt 9-19, 04109 Leipzig

Telefon: +49 (0) 341 231039-0

### **Fraunhofer-Institut für Naturwissenschaftlich-Technische Trendanalysen INT**

Leitung: Prof. Dr. Michael Lauster

Appelsgarten 2, 53879 Euskirchen

Telefon +49 2251 18-0

### **Fraunhofer-Informationszentrum Raum und Bau IRB**

Leitung: Dipl.-Ing. Thomas H. Morszeck

Nobelstr. 12, 70569 Stuttgart

Telefon +49 711 970-2500

### **Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI**

Leitung: Prof. Dr. Jakob Edler (Geschäftsführender Institutsleiter),

Univ.-Prof. Dr. Marion Weissenberger-Eibl (Institutsleiterin)

Breslauer Str. 48, 76139 Karlsruhe

Telefon +49 721 6809-0

# FRAME

## FRAUNHOFER MICROELECTRONICS INNOVATION ENHANCEMENT –

Innovationsunterstützende Begleitung der Forschungs-  
fabrik Mikroelektronik Deutschland (FMD)

Gründungsprojekt des Fraunhofer-Verbunds Innovationsfor-  
schung

## Modul 6 – „Impact“

## Meilenstein 6.2 – „Innovationssystemana- lyse Mikroelektronik Deutschland“

**Liliya Pullmann**  
**Tanja Kaufmann**

**unter Mitarbeit von**  
**Ulrich Schmoch**  
**Sven Wydra**  
**Thomas Reiß**  
**Thomas Schmaltz**

Fraunhofer-Institut für Systemtechnik und Innovationsforschung (ISI)  
Telefon: +49 721 6809 475  
E-Mail: liliya.pullmann@isi.fraunhofer.de

Ein besonderer Dank richtet sich an alle, die uns durch ihre Teilnahme an der Expertenbefragung bei der Erstellung dieser Studie unterstützt haben.

Karlsruhe, August 2019

Projektnummer: 600709

Gesamtkoordination:  
Dr. Thomas Reiß  
Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI, Karlsruhe

# Inhalt

<b>1</b>	<b>Executive Summary .....</b>	<b>6</b>
<b>2</b>	<b>Ziele und Gegenstand der Studie .....</b>	<b>8</b>
<b>3</b>	<b>Technologisches Innovationssystem (TIS).....</b>	<b>9</b>
3.1	Theoretische Grundlage des Konzepts.....	9
3.2	Methodik .....	9
3.3	Abgrenzung des Untersuchungsfeldes .....	10
<b>4</b>	<b>TIS Mikroelektronik Deutschland .....</b>	<b>13</b>
4.1	Struktur des TIS Mikroelektronik Deutschland .....	13
4.1.1	Akteure.....	13
4.1.1.1	Forschungslandschaft .....	13
4.1.1.2	Industriakteure .....	16
4.1.1.3	Intermediäre und Fördereinrichtungen .....	17
4.1.2	Institutionelle Rahmenbedingungen .....	17
4.1.2.1	Europäische Förderinitiativen .....	17
4.1.2.2	Nationale Förderung.....	18
4.1.3	Netzwerke .....	20
4.1.3.1	Regionale Netzwerke.....	20
4.1.3.2	Internationale Netzwerke .....	23
4.2	Technologische Trends .....	24
4.2.1	Aktuelle Entwicklungen .....	24
4.2.2	Zukünftige Entwicklungstrends und -treiber.....	25
4.3	Leistungsfähigkeit des Mikroelektronik-Innovationssystems in Deutschland ..	27
4.3.1	Wissensgenerierung .....	27
4.3.1.1	Innovationskraft der deutschen Mikroelektronik .....	27
4.3.1.2	Anwendungsorientierung der FuE .....	29
4.3.2	Wissensverbreitung/-diffusion durch Netzwerke .....	30
4.3.2.1	Grenzüberschreitende Kooperationen .....	31
4.3.2.2	Rolle der Kooperationen mit Forschungseinrichtungen .....	33
4.3.2.3	Hindernisse bei Kooperationen zwischen der Industrie und den Forschungseinrichtungen.....	34
4.3.3	Einfluss auf die Richtung der Suche.....	34
4.3.4	Marktentwicklung.....	36
4.3.4.1	Besonderheiten aktueller wirtschaftlicher Entwicklungen.....	37
4.3.4.2	Deutsche Mikroelektronikindustrie .....	37
4.3.4.3	Rolle der KMUs.....	40
4.3.5	Unternehmerische Aktivitäten .....	41
4.3.5.1	Rahmenbedingungen für unternehmerische Aktivitäten .....	41
4.3.5.2	FuE-Aktivitäten der Unternehmen.....	43
4.3.5.3	Sicherung des Produktionsstandorts .....	45
4.3.5.4	Nutzung des Potentials neuartiger Technologien und Anwendungen .....	46
4.3.5.5	Unternehmensgründungen und Start-ups .....	48
4.3.5.6	Überführung der Forschungsergebnisse in die Praxis.....	49
4.3.5.7	Nachfragefördernde Maßnahmen .....	50
4.3.6	Ressourcenmobilisierung .....	51
4.3.6.1	Finanzierung.....	51
4.3.6.2	Fachkräftesituation .....	53
<b>5</b>	<b>Rolle der FMD im deutschen Innovationssystem .....</b>	<b>57</b>
5.1	Forschungsverbünde und ihre Bedeutung .....	57
5.2	Die spezifische Rolle der FMD.....	58

<b>6</b>	<b>Handlungsbedarfe und -optionen</b> .....	<b>60</b>
6.1	Wirtschaftspolitischer Rahmen und Grundsatzfragen .....	61
6.2	Forschung und Entwicklung .....	62
6.3	Kooperationen .....	63
6.4	Stärkung der Rolle der KMUs und Start-ups .....	64
6.5	Investitionen .....	64
6.6	Sicherung des Produktionsstandortes .....	65
6.7	Bekämpfung des Fachkräftemangels .....	65
6.8	Bewusstseinsbildung über die Bedeutung der Mikroelektronik .....	66
<b>7</b>	<b>Literatur</b> .....	<b>68</b>
<b>8</b>	<b>Anhang</b> .....	<b>72</b>

Das deutsche Innovationssystem Mikroelektronik weist viele Stärken auf. Es nimmt eine starke Position im Bereich multifunktionaler komplexer More-than-Moore-Technologien ein. Die deutsche Mikroelektronikbranche hat eine Schlüsselposition auf dem Gebiet der Leistungselektronik für verschiedene Anwendungen (vor allem Automotive, Industrie, Maschinen- und Anlagenbau sowie Energie), Sensorik und organische Elektronik inne. Das Innovationssystem zeichnet sich durch eine vielfältige und leistungsfähige Forschungslandschaft aus, die aus vielen Hochschulen und zahlreichen Forschungseinrichtungen mit den für die Mikroelektronik relevanten Forschungsschwerpunkten besteht. Auch die Bundesregierung erkennt die besondere Rolle der Mikroelektronik für die Wettbewerbsfähigkeit der deutschen Wirtschaft an und misst ihrer Förderung eine große Bedeutung bei. Dank langjähriger öffentlicher Förderung haben sich in Deutschland mehrere regionale Cluster mit einem Mikroelektronikfokus etabliert, die günstige Rahmenbedingungen für die Entwicklung der Branche und unternehmerische Aktivitäten bieten.

Gleichzeitig steht das deutsche Innovationssystem Mikroelektronik vor einigen Herausforderungen und Hindernissen, die seine Leistungsfähigkeit und sein Entwicklungspotenzial einschränken. Der zunehmende globale Wettbewerb und eine hohe Innovationsdynamik im Bereich Mikroelektronik stellen das Innovationssystem vor neue Aufgaben. Sie machen eine bessere Anpassung der Forschungslandschaft an die technologischen Trends und globale Entwicklungen notwendig. Aufgrund eines schnellen technologischen Wandels, sehr hoher Kapitalkosten und damit einhergehender hoher Investitionskosten für moderne Mikroelektroniktechnologien, fällt es Unternehmen immer schwerer, die notwendigen Investitionen zu tätigen, um mit dem technologischen Fortschritt mithalten zu können. Insbesondere KMUs haben deshalb vielfach Schwierigkeiten, auf moderne Technologien zuzugreifen und sind dabei zunehmend auf Unterstützung angewiesen. Ein weiteres grundsätzliches Problem des deutschen Innovationssystems Mikroelektronik stellt ein unzureichender Transfer wettbewerbsfähiger FuE-Ergebnisse in die industrielle Praxis dar. Dies betrifft sowohl die Überwindung des „Valley of Death“ beim Übergang von der Initial- zur Wachstumsphase als auch die Geschwindigkeit, mit der innovative Lösungen in marktfähige Produkte umgesetzt werden. Darüber hinaus erfährt die Mikroelektronikbranche in Deutschland einen immer stärkeren Fachkräftemangel, der sowohl die Berufe mit Hochschulabschluss als auch jene mit Berufsabschluss betrifft.

Mit der Etablierung und Förderung der Forschungsfabrik Mikroelektronik Deutschland (FMD) verfolgt die Bundesregierung das Ziel, die Position Deutschlands im globalen Wettbewerb zu stärken. Tatsächlich konnte im Rahmen dieser Studie festgestellt werden, dass dieser neue Akteur des Innovationssystems eine systemrelevante Bedeutung hat. Mit ihrem Leistungsangebot ist die FMD in der Lage, vielen Schwächen des Innovationssystems entgegenzuwirken bzw. seine Defizite zu kompensieren. Von zentraler Bedeutung ist dabei der Zugang zu moderner Forschungsinfrastruktur, die Bündelung von Ressourcen und Kompetenzen sowie das Angebot interdisziplinärer Systemlösungen und technologischer Entwicklungen entlang der gesamten Innovationskette koordiniert aus einer Hand. Grundlegend für die Start-ups und KMUs ist darüber hinaus die Möglichkeit einer Durchführung der Entwicklung und Fertigung von Demonstratoren und Prototypen sowie der Kleinserienfertigung von spezialisierten Mikroelektronikkomponenten, die die FMD bietet.

Die Bundesregierung hat ihre Förder- und Investitionsbemühungen zur Unterstützung der deutschen Mikroelektronik in den letzten Jahren deutlich ausgeweitet. Es werden

laufend neue Initiativen und Projekte ins Leben gerufen, die darauf ausgerichtet sind, die Weiterentwicklung der Mikroelektronik zu fördern. Es steht außer Frage, dass diese wichtigen Schritte maßgeblich zur Stärkung der deutschen Mikroelektronik beitragen bzw. ihre Leistungsfähigkeit verbessern werden. Das genaue Ausmaß ihrer möglichen Auswirkungen wird sich jedoch erst in Zukunft abschätzen lassen. Daneben sind weitere Maßnahmen und Anpassungen bestehender Förderstrategien erforderlich, um noch zielgerichteter sowohl die spezifischen systemischen Schwächen des Innovations-systems Mikroelektronik angehen als auch den globalen technologischen Entwicklungen und Trends angemessen Rechnung tragen zu können.

Die Mikroelektronik ist eine der zentralen Schlüsseltechnologien für Digitalisierung und Innovationen in zahlreichen Branchen und weist eine hohe Bedeutung für die wirtschaftliche Entwicklung Deutschlands auf. Ohne eine leistungsfähige Mikroelektronik ist die Realisierung der Zukunftsprojekte, die eine entscheidende Rolle bei der Sicherung der wirtschaftlichen Wettbewerbsfähigkeit Deutschlands spielen, wie Industrie 4.0, Internet der Dinge, das autonome Fahren und KI, nicht denkbar. Außerdem können große gesellschaftliche Herausforderungen, wie Energiewende, Gesundheits- und Pflegeversorgung und Elektromobilität, ohne mikroelektronikbasierte innovative Lösungen nicht bewältigt werden.

Vor dem Hintergrund der strategischen Bedeutung der Mikroelektronik ist eine genaue Betrachtung der Leistungsfähigkeit des deutschen Innovationssystems Mikroelektronik von besonderer Relevanz. In Anbetracht einer zunehmenden globalen Konkurrenz und beschleunigten Innovationsdynamik in diesem Technologiebereich stellt sich die Frage, ob in Deutschland die vorhandenen Rahmenbedingungen geeignet sind, um zukunfts-trächtige Innovationen und Wertschöpfung zu generieren und sich im globalen Wettbewerb längerfristig behaupten zu können. Diesen zentralen Fragestellungen wird im Rahmen der vorliegenden Studie nachgegangen. Für die dazu notwendigen komplexen Analysen eignet sich der Innovationssystemansatz gut, da dieser mit seinem ganzheitlichen Vorgehen aufzuzeigen vermag, welche Faktoren die Leistungsfähigkeit des Innovationssystems auf gesamtwirtschaftlicher Ebene positiv bzw. negativ beeinflussen und wie diese im Gesamtsystem zusammenwirken.

Bislang sind keine umfassenden aktuellen Analysen des Innovationssystems Mikroelektronik eines Landes oder einer Region bekannt, sodass mit der vorliegenden Studie versucht wird, einen grundlegenden Beitrag zum Verständnis systemischer Stärken und Schwächen des Innovationssystems im Technologiefeld Mikroelektronik zu leisten. Die räumliche Abgrenzung der Analyse auf die nationale Ebene ist zielführend, da die Wettbewerbsfähigkeit eines Landes nach wie vor durch die nationalen Standortbedingungen und die im Rahmen eines Nationalstaates geschaffenen infrastrukturellen Voraussetzungen maßgeblich beeinflusst werden. Daraus ergibt sich eine besondere Verantwortung der nationalen Regierungen für die Entwicklung nationaler Standortfaktoren und die Förderung der wirtschaftlichen und technologischen Leistungsfähigkeit eines Landes.

Ein weiteres Ziel dieser Studie ist die Untersuchung, welche Rolle die Forschungsfabrik Mikroelektronik Deutschland (FMD) als neuer Akteur im deutschen Innovationssystem einnimmt. Von zentraler Bedeutung sind dabei die Fragen, auf welche Weise, in welchem Maße und über welche Wirkungsmechanismen die FMD die Dynamik und Leistungsfähigkeit des Innovationssystems Mikroelektronik beeinflusst.

Die Studie setzt sich wie folgt zusammen: Nach einer kurzen Beschreibung der Methodik folgt eine Darstellung der Struktur des Innovationssystems Mikroelektronik Deutschland. Anschließend werden seine zentralen Funktionen und die Rolle der FMD im Innovationssystem diskutiert. Im Anschluss an die durchgeführte Analyse werden auf der Basis der gewonnenen Erkenntnisse zentrale Handlungsbedarfe aufgezeigt und grundlegende Handlungsempfehlungen für politische Entscheidungsträger und andere Hauptakteure des Innovationssystems zur Förderung der Mikroelektronik in Deutschland abgeleitet.

# 3 Technologisches Innovationssystem (TIS)

## 3.1 Theoretische Grundlage des Konzepts

Das Konzept des Technologischen Innovationssystems (TIS) (Carlsson and Stanckiewicz, 1991) geht auf den Ansatz der Innovationssysteme (Freeman 1987, Lundvall 1992) zurück, dem im Gegensatz zum früheren linearen Verständnis der Innovationsprozesse ein Systemgedanke zugrunde liegt. Die zentrale Idee hinter diesem Ansatz ist, dass Innovationen von einem System abhängen, in die alle Akteure eines Innovationssystems (IS) eingebettet sind. Darunter sind institutionelle und organisatorische Rahmenbedingungen sowie ein komplexes Zusammenspiel verschiedener Faktoren und Beziehungen zu verstehen, die für den Erfolg der Innovationsprozesse verantwortlich sind. Innovationspolitik, die die Lern-, Forschungsprozesse und Technologiediffusion unterstützt, ist heutzutage ohne Berücksichtigung der systemischen Perspektive kaum vorstellbar (Koschatzky et al. 2016).

Laut Erkenntnissen der Innovationsforschung wird der Erfolg von Innovationen maßgeblich davon bestimmt, wie das Innovationssystem aufgebaut ist und wie es funktioniert (Hekkert et al. 2011). Daran knüpft der TIS-Analyseansatz, dessen Ziel ist, die Entwicklung eines bestimmten Technologiefeldes hinsichtlich des Systems, in welches es eingebettet ist, bzw. Strukturen und Prozesse, die es unterstützen oder behindern, zu bewerten (Hekkert et al. 2007, Bergek et al. 2008a).

## 3.2 Methodik

Für die vorliegende Analyse des Innovationssystems Mikroelektronik wird die anwendungsorientierte Heuristik des Technologischen Innovationssystems in Anlehnung an Hekkert (Hekkert et al. 2007, 2011) und Bergek (Bergek et al. 2008a, 2008b) verwendet. Dabei gehören zu den grundlegenden Schritten einer TIS-Analyse die Untersuchung der strukturellen Ausgestaltung und die Abbildung von Funktionen eines technologiespezifischen Innovationssystems. Die Struktur eines TIS setzt sich aus den folgenden Kernelementen zusammen: Akteure, Institutionen („rules of the game“ in Form von Gesetzen und staatlichen Regulierungen), Netzwerke und Technologien (Stand der technologischen Entwicklung und zukünftige Entwicklungstrends). Unter Funktionen eines TIS versteht man die Dynamik einer Reihe von Schlüsselprozessen, die die Entwicklung, Verbreitung und Nutzung von Technologien und damit die Leistungsfähigkeit des Innovationssystems beeinflussen (Bergek et al. 2008a).

Das Innovationssystem Mikroelektronik wird in Anlehnung an Bergek et al. und Hekkert et al. anhand folgender Funktionen analysiert (vgl. Hekkert et al. 2007, 2011; Bergek et al. 2008a, 2008b): 1) unternehmerisches Experimentieren/unternehmerische Aktivitäten, 2) Wissensgenerierung, 3) Wissensdiffusion, 4) Einfluss auf die Richtung der Suche, 5) Marktbildung/Marktentwicklung, 6) Bereitstellung der Ressourcen und 7) Legitimität<sup>1</sup>. Die inhaltlichen Schwerpunkte der von Innovationsforschern ursprünglich ausgearbeiteten Funktionen zielen auf die Untersuchung jünger Technologien und dazugehö

---

<sup>1</sup> Die Funktion „Legitimität“ betrifft vor allem emergente Technologien, welchen noch die Anerkennung und nötige Unterstützung im Innovationssystem fehlen (vgl. Sauer 2018). In der Regel bedarf es für die Förderung einer bestimmten Technologie einer objektiven Begründung – Legitimität. Dies kann eine besondere

riger aufkommender Innovationssysteme ab. Allerdings unterscheiden sich die Eigenschaften und Bedürfnisse der neu entstehenden Innovationssysteme von jenen der etablierten und reifen grundlegend (vgl. Carlsson 1997). Da das deutsche Innovationssystem Mikroelektronik ein ausgereiftes System mit einer fortgeschrittenen Technologie und einem etablierten Markt darstellt, erfolgte die Bewertung der Leistungsfähigkeit des Innovationssystems anhand der Faktoren und Prozesse innerhalb einzelner Funktionen, die der spezifischen Entwicklung und Bedarfen des vorliegenden Innovationssystems und der ihm zugrundeliegenden Technologie Rechnung tragen. Die inhaltlichen Schwerpunkte einzelner Funktionen wurden entsprechend angepasst.

Die Bewertung der Systemfunktionalität eines TIS stellt eine besondere Herausforderung dar. Dafür werden Methoden benötigt, die Aussagen über eine relative "Güte" seiner Funktionen ermöglichen (Bergek et al. 2008b). Um diese Aussage treffen zu können, wird von Innovationsforschern (vgl.: Bergek et al. 2008b, Hekkert et al. 2011) empfohlen, spezifische diagnostische Fragen zu entwickeln. Diese richten sich nach den vorher definierten Zielen der Studie und werden so formuliert, dass sie die zentralen Forschungsfragen in Bezug auf die jeweilige Funktion abdecken und in der Summe eine möglichst objektive Bewertung der Leistungsfähigkeit des zu untersuchenden TIS ermöglichen.

Um ein realistisches Bild über die Leistungsfähigkeit des Innovationssystems Mikroelektronik in Deutschland zu generieren, wurde im Rahmen dieser Analyse ein breiter Methodenmix verwendet. Dieser beinhaltet die Auswertung von relevanten Markt- und Branchenanalysen und -studien, Studium einschlägiger öffentlicher Dokumente, eine umfassende Sichtung von Meldungen in den repräsentativen Online-Medien zu aktuellen Entwicklungen im Bereich der Mikroelektronik und eigene Datenanalysen. Zur systematischen Erfassung der Informationen auf Basis vorher ausgearbeiteter diagnostischer Fragen wurden semistrukturierte Interviews mit insgesamt zwanzig Experten und Vertretern des deutschen Innovationssystems Mikroelektronik durchgeführt. Solche Befragungen werden auch von Innovationssystemforschern ausdrücklich empfohlen (vgl.: Bergek et al. 2008b, Hekkert et al. 2011), da dadurch gewonnene Einblicke zum Verständnis beitragen, wie gut einzelne Funktionen eines TIS tatsächlich erfüllt sind. Dementsprechend dienen die durchgeführten Interviews mit anerkannten Mikroelektronikexperten sowie Vertretern aus der Industrie, den Wirtschaftsverbänden, dem Netzwerk- und Clustermanagement sowie Forschungs- und Hochschulsektor im Rahmen dieser Studie als eine zentrale Quelle für den Erkenntnisgewinn über kritische Aspekte und Faktoren, die das betreffende Innovationssystem maßgeblich beeinflussen.

### 3.3 Abgrenzung des Untersuchungsfeldes

Die Mikroelektronik als eine Schlüsseltechnologie bildet die Grundlage für zahlreiche Technologien und Anwendungen. Gerade diese Breite der Anwendungen stellt eine Herausforderung für die Abgrenzung des Technologiefeldes dar. Darüber hinaus ist die Mikroelektronik ein zunehmend interdisziplinärer Fachbereich, welcher die Teilgebiete

strategische Bedeutung für die Volkswirtschaft anhand ihrer Eigenschaft als kritische Schlüsseltechnologie oder auch einer Technologie, die zur Bewältigung der Umweltprobleme oder Lösung anderer gesellschaftlicher Herausforderungen beiträgt, sein. Die Mikroelektronik wird bereits von den Regierungen weitgehend als eine strategisch wichtige Technologie anerkannt, deren Förderung eine hohe Priorität eingeräumt wird. Deshalb wird die Funktion „Legitimität“ im Rahmen der Analyse des deutschen technologischen Innovationssystems Mikroelektronik nicht explizit, sondern nur im Kontext relevanter Fragestellungen behandelt.

Elektrotechnik, Materialwissenschaften/Ingenieurwesen, Chemie, Physik und Maschinenbau betrifft.

Aus diesem Grunde wird dieser Studie eine breite Definition der Mikroelektronik zugrunde gelegt. Nach der klassischen Definition umfasst der Begriff „Mikroelektronik“ alle Aktivitäten, die mit dem Entwurf, der Entwicklung und der Herstellung von auf Halbleitern basierten elektronischen Schaltungen im Zusammenhang stehen (siehe: Wikipedia<sup>1</sup>). Die breite Definition von moderner Mikroelektronik schließt die Leistungselektronik, mikroelektromechanische Systeme (MEMS), sowie Komponenten wie Sensoren, Aktoren, Mikrocontroller, Hochfrequenz- und Kommunikationsbauteile, Spannungsversorgungen und Optoelektronik-Komponenten mit ein. Neben den traditionellen Mikroelektronikbereichen, werden hiermit neue und zukunftsrelevante Teilbereiche, wie die Optoelektronik, organische und gedruckte Elektronik, sowie Elektronik auf Basis neuartiger Materialien berücksichtigt. In Zukunftsanwendungen, wie Industrie 4.0, autonomes Fahren und Internet der Dinge werden diese Komponenten zunehmend zu komplexen multifunktionalen Mikroelektroniksystemen vereint. Darüber hinaus verschmilzt die Mikroelektronik in zahlreichen Anwendungsbereichen immer mehr mit der Mikrosystemtechnik, weshalb eine klare Trennung beider Bereiche wenig sinnvoll erscheint.

Die relevanten Aktivitäten und Prozesse, auf die sich diese Studie implizit bezieht, sind anhand der folgenden Wertschöpfungskette (Abbildung 1) abgebildet. Diese beinhaltet folgende Komponenten:

- Entwicklung und Design: anwendungsspezifischer Entwurf von Layouts elektronischer Schaltungen, elektronischen Komponenten und Systemen mit Hilfe spezialisierter Software-Design-Tools;
- Inputs:
  - Materialien und Bauelemente für die Fertigung von Halbleiterbauteilen;
  - Technologische Infrastruktur, Fertigungsanlagen für Front- und Back-end-of-line-Fertigung, sowie die Back-end-Prozesse;
  - Prozesstechnologien zur Sicherung der Fertigungsqualität;
- Front-end-of-line-Fertigung: umfasst die Herstellung von elektrisch aktiven Bauelementen (Transistoren, Kondensatoren usw.), Back-end-of-line-Fertigung: umfasst die Verschaltung der einzelnen elektronischen Bauelemente auf dem Chip; beides geschieht unter Einsatz spezieller Verfahren und Technologien zum Schichtaufbau, Strukturierung (Photolithographie) etc.;
- Back-end-Fertigung: umfasst das Schneiden der Wafer in einzelne Chips, Montage, Verpackung und Qualitätskontrolle (Tests);
- Verkauf fertiger Halbleiterbauteile an nachgelagerte Hersteller von Elektronikprodukten und/oder -systemen;
- Integration von Halbleitern in elektronische (End)Produkte.

Abbildung 1 zeigt die zentralen Prozesse der Wertschöpfungskette Mikroelektronik (grüne Markierung). Die ersten drei Schritte der Wertschöpfungskette sind besonders FuE-intensiv. Unterhalb der Prozesse sind die Hauptkategorien der Akteure abgebildet, die auf den einzelnen Stufen vertreten sind (blaue Markierung).

<sup>1</sup> <https://de.wikipedia.org/wiki/Mikroelektronik> (zuletzt geprüft am 12.06.2019).

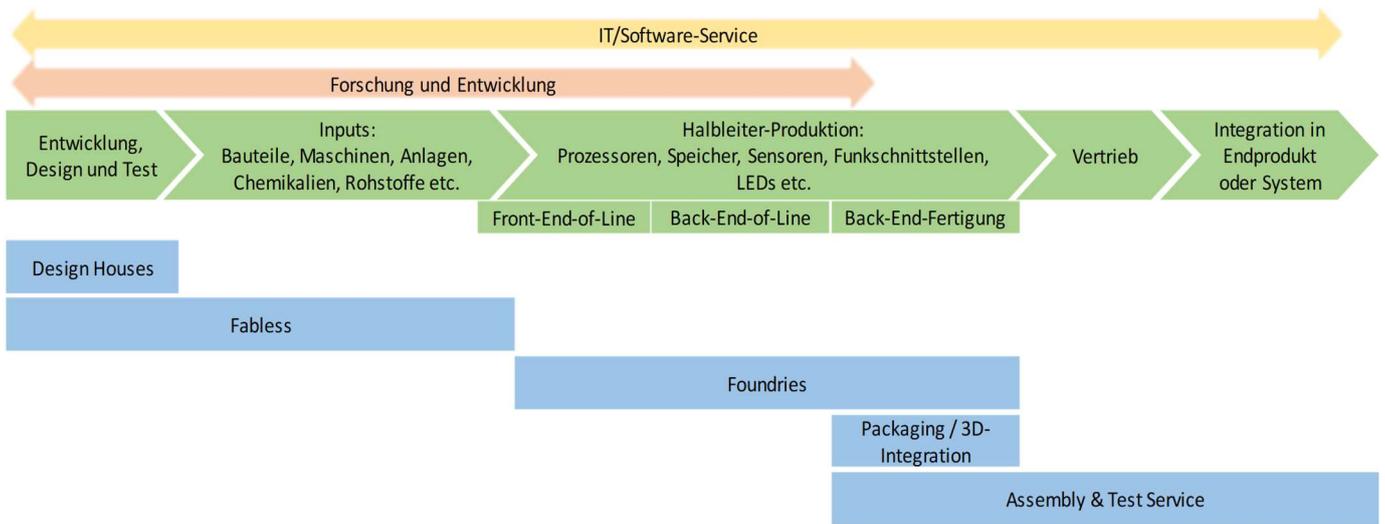


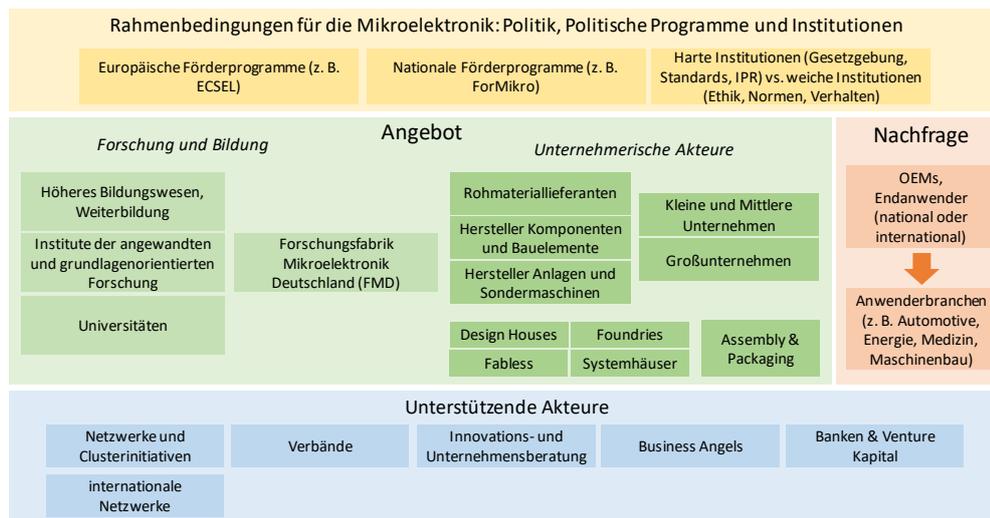
Abbildung 1: Wertschöpfungskette Mikroelektronik

## 4.1 Struktur des TIS Mikroelektronik Deutschland

Im Folgenden erfolgt eine kurze Darstellung der Struktur des Innovationssystems Mikroelektronik. Diese umfasst relevante Akteure, den institutionellen Rahmen<sup>1</sup>, Netzwerke sowie die Beschreibung technologischer Faktoren (vgl. Hekkert et al. 2011) des Innovationssystems Mikroelektronik Deutschland.

### 4.1.1 Akteure

Im deutschen Innovationssystem Mikroelektronik ist eine Vielzahl von verschiedenen Akteuren aktiv, die sich in folgende Gruppen unterteilen lassen: Forschungseinrichtungen, Hochschulen, Unternehmen, Netzwerke, Intermediäre und Fördereinrichtungen (Fach- und Wirtschaftsverbände). Neben diesen Hauptakteuren sind weitere Akteure relevant, die die Entwicklung der Mikroelektronik in Deutschland direkt oder indirekt beeinflussen (Abbildung 2).



**Abbildung 2: Die Struktur des Innovationssystems Mikroelektronik in Deutschland (nach Kuhlmann und Arnold 2001)**

#### 4.1.1.1 Forschungslandschaft

Die deutsche Forschungslandschaft im Mikroelektronikbereich ist sehr vielfältig: neben zahlreichen Forschungseinrichtungen mit den für die Mikroelektronik relevanten Forschungsschwerpunkten spielen viele Hochschulen eine bedeutende Rolle, die neben ihrer primären Rolle der Qualifizierung und Ausbildung auch Forschung in Mikroelektronik betreiben. Die Tabelle 1 fasst zentrale außeruniversitäre Forschungseinrichtungen zusammen, die in Deutschland bei der FuE in Mikroelektronik eine wichtige Rolle spielen.

<sup>1</sup> Unter Institutionen im Rahmen einer Innovationssystemanalyse versteht man vor allem gesetzliche und regulatorische Bestimmungen, die Rahmenbedingungen für das Handeln seiner Akteure und technologische Entwicklungsmöglichkeiten bilden.

Tabelle 1: Forschungsorganisationen mit FuE-Schwerpunkt im Mikroelektronikbereich

Forschungsorganisation	Typ	Forschungsthemen und Kompetenzen
<b>Fraunhofer-Verbund Mikroelektronik</b>	anwendungsorientiert	Die insgesamt 11 Institute des Verbunds Mikroelektronik (Fraunhofer EMFT, ENAS, FHR, HHI, IAF, IIS, IISB, IMS, IPMS, ISIT, IZM) forschen auf den verschiedensten Gebieten Festkörperphysik, Hochfrequenzphysik und Radartechnik, integrierten Systemen und Schaltungen, Bauelementen, Mikrosysteme (MEMS/MOEMS), Sensoren, Aktoren, ASICs, elektronische Nanosysteme, Mikrointegration, Nachrichtentechnik, Siliziumtechnologie und CMOS.
<b>Leibniz-Gemeinschaft</b>	grundlagenorientiert/ anwendungsorientiert	Die zur Leibniz-Gemeinschaft gehörenden Institute IHP und FBH forschen insbesondere an SiGe-BiCMOS Technologie, Si-Photonik, Heterointegration, InP-HBT und GaN-HEMT-MMICs und GaN/AlN-Leistungselektronik.
<b>Max-Planck-Gesellschaft</b>	grundlagenorientiert	Verschiedene Institute der Max-Planck-Gesellschaft, insbesondere die Max-Planck-Institute für Festkörperforschung, Intelligente Systeme, Kohlenforschung, Eisenforschung, Mikrostrukturphysik und Polymerforschung, haben Schwerpunkte in der Nano- und Mikroelektronikforschung.
<b>Helmholtz-Gemeinschaft</b>	grundlagenorientiert	Es forschen zwei Helmholtz-Zentren mit Schwerpunkten in der Nano- und Mikroelektronik. Das Karlsruher Institut für Technologie (KIT) mit besonderem Fokus auf Nanosystemen, gedruckte Materialien, Nanokatalyse, Teratronik und Nanofabrikation. Das Forschungszentrum Jülich unter anderem zu höchstenergieeffizienten Informations- und Kommunikationstechnologien.
<b>Heinz-Nixdorf-Institut, Uni Paderborn</b>	anwendungsorientiert	Entwicklung intelligenter technischer Systeme, Schaltungstechnik für Chipdesign, Fokus auf maschinelles Lernen, Mess- und Automatisierungstechnik.
<b>Edazentrum</b>	anwendungsorientiert	Bündelung der Kompetenzen von mehr als zehn deutschen Hochschulinstitutionen zum Thema Electronic Design Automation (EDA), Projekte mit Industrie zum automatisierten Entwurf von Schaltungen.
<b>Hahn-Schickard-Institute</b>	anwendungsorientiert	Die Hahn-Schickard-Institute mit drei Standorten in Baden-Württemberg sind auf angewandte Forschung in der Mikrosystemtechnik spezialisiert und entwickeln Lösungen für KMUs.
<b>Walter Schottky Institut für Halbleiterphysik, TU München</b>	grundlagenorientiert	Erforschung von Halbleitermaterialien, neuartige Nanostrukturen, Bauelement-Prototypen, Messverfahren, Quantencomputer und Kombination biologischer Systeme mit Halbleitern.

### Forschungsfabrik Mikroelektronik (FMD)

Das Ziel des neuen Forschungskonzepts einer standortübergreifenden Forschungsfabrik für Mikroelektronik ist die Stärkung der Position Deutschlands im globalen Wettbewerb. Durch die Zusammenführung der Forschungskompetenzen der 11 Institutsmitglieder des Fraunhofer-Verbunds Mikroelektronik und 2 Leibnitz-Partnerinstituten – des Ferdinand-Braun-Instituts für Höchstfrequenztechnik und des Leibniz-Instituts für innovative Mikroelektronik – sollte den anderen Akteuren des Innovationssystems Mikroelektronik, vor allem Unternehmen und Hochschulen, der Zugang zum technologischen Know-how und modernen Technologien durch eine interne Koordination aus einer Hand ermöglicht werden. Das Gesamtkonzept der Forschungsfabrik Mikroelektronik

Deutschland (FMD) zielt darauf ab, vorhandene Ressourcen zu bündeln bzw. Kompetenz- und Ausstattungslücken entlang der technologischen Wertschöpfungskette zu schließen, Synergien zwischen Kooperationspartnern effizienter zu nutzen und eigene Leistungsangebote durch eine zentrale Stelle besser zu koordinieren und organisieren. Durch die Modernisierung und den Ausbau der technologischen Ausstattung sollte die Anschlussfähigkeit der eigenen FuE-Aktivitäten gewährleistet und externen Partnern der Zugriff auf einen modernen Technologiepark ermöglicht werden. Durch die Etablierung einer zentralen Koordinierungsstelle wird den Partnern aus der Forschung und Industrie das gesamte Technologieangebot der FMD aus einer Hand als „One-Stop-Shop“ angeboten. Um diese Rolle im deutschen Innovationssystem wahrnehmen zu können, wird die FMD zwischen 2017 und 2020 vom BMBF mit einer Investition in Höhe von ca. 345 Mio € unterstützt. Ein Großteil davon fließt in die Modernisierung und Erweiterung der technologischen Infrastruktur.

Die Forschungsfabrik Mikroelektronik Deutschland (FMD) ist in vier Technologieparks organisiert.

- Technologiepark 1: Innovative Siliziumtechnologien,
- Technologiepark 2: Verbindungshalbleiter auf Basis neuartiger Materialien,
- Technologiepark 3: Heterointegration und
- Technologiepark 4: Design, Test und Zuverlässigkeit für Entwurf und Entwurfsmethoden).



Abbildung 3: Verteilung der BMBF-Förderung für die FMD auf einzelne Standorte. Quelle: BMBF

Folgende Hochschulen spielen eine besonders wichtige Rolle im deutschen Innovationssystem Mikroelektronik aufgrund ihres attraktiven und vielfältigen Studienangebots in der Fachrichtung Mikroelektronik und Elektronik sowie aktiver Forschung<sup>1</sup> in diesem Bereich:

- Technische Universität Dresden
- Technische Universität München
- Technische Universität Berlin
- Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule (RWTH) Aachen
- Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg
- Karlsruhe Institute of Technology (KIT)
- Universität Freiburg im Breisgau
- Universität Stuttgart
- Technische Universität Darmstadt
- Technische Universität Chemnitz
- Gottfried Wilhelm Leibniz Universität
- Technische Universität Braunschweig
- Ruhr-Universität Bochum
- University of Bremen
- Technische Universität Ilmenau
- Universität Ulm
- Friedrich-Schiller-Universität Jena
- Universität Paderborn
- Christian-Albrechts-Universität zu Kiel
- Universität Duisburg-Essen
- Julius-Maximilians-Universität Würzburg
- Ludwig-Maximilians-Universität München
- Technische Universität Dortmund

Laut aktuellen internationalen Hochschulrankings in Bezug auf die Qualität der Lehre und Forschungsstärke im Bereich „Elektrotechnik und Elektronik“ gehören vor allem die TU München, RWTH Aachen, TU Berlin, KIT, Universität Ulm und die TU Dresden in Deutschland zu den Hochschulen mit dem höchsten Ranking.<sup>2</sup>

### 4.1.1.2 Industrieakteure

Deutschland ist der größte und einer der wichtigsten Mikroelektronik-Standorte in Europa. Unter den in der Mikroelektronik aktiven Unternehmen in Deutschland sind sehr verschiedene Unternehmen entlang der gesamten Mikroelektronikwertschöpfungskette vertreten – angefangen vom IC-Design und Maskenherstellung, über MEMS-, MOMS, Sensoren- und Chiphersteller, Unternehmen im Test- und Packaging-Bereich sowie zahlreiche Anwender. Neben den weltweit größten Konzernen, wie dem Chiphersteller und weltweiten Vorreiter in Leistungselektronik Infineon, wichtigen global Players, wie AMD, NXP Semiconductors, STMicroelectronics, einem der größten Leistungselektronik- und Sensoranbieter Bosch (weltweit größter Hersteller von MEMS), dem Auftragsfertiger Globalfoundries, dem bedeutenden Player im Bereich halbleiterbasierte Lichtprodukte Osram und großen Systemhäusern (Anbieter von Komplettlösungen), wie

<sup>1</sup> Die aufgeführten Hochschulen weisen den höchsten Output wissenschaftlicher Publikationen im Themenfeld „Mikroelektronik“ auf (siehe Tabelle Anhang 1).

<sup>2</sup> <https://www.timeshighereducation.com/world-university-rankings> (zuletzt geprüft am 14.04.2019).

Siemens und Bosch, zeichnet sich die deutsche Unternehmenslandschaft in der Mikroelektronik durch eine Vielzahl von so genannten Hidden Champions aus – nach außen wenig bekannten KMUs, die in kleineren Nischen international erfolgreich sind.

#### 4.1.1.3 Intermediäre und Fördereinrichtungen

Tabelle 2: Liste zentraler deutscher Fachverbände im Bereich Mikroelektronik

<b>Name der Organisation</b>	<b>Kernaufgaben</b>
<b>ZVEI – Zentralverband Elektrotechnik- und Elektronikindustrie</b>	Der ZVEI ist gegliedert in 22 Fachverbände und 9 Landesstellen, welche die Interessen von 1.600 Mitgliedsunternehmen der Elektroindustrie vertreten und gemeinsam insbesondere an Standards und Normen für neue Innovationen arbeiten.
<b>VDE – Gesellschaft für Mikroelektronik, Mikrosystem- und Feinwerktechnik (GMM)</b>	Die VDE-GMM gehört zum Ingenieursverband VDI-IT und fördert die Entwicklung der Mikroelektronik, Mikrosystem- und Feinwerktechnik mit Fachtagungen, Workshops, Konferenzen, Strategiepapieren und Nachwuchsförderung. Die 9.500 Mitglieder arbeiten in 7 Fachbereichen und ca. 45 Fachausschüssen.
<b>AMA Verband für Sensorik und Messtechnik</b>	AMA ist das bundesweit größte Netzwerk für die Sensorik und Messtechnik und organisiert Fachmessen, Kongresse, Technologie-Seminare und Thementage. Wissensaustausch und Vernetzung der Akteure wird zusätzlich durch einen Branchenführer für die Sensor-, Mess- und Prüftechnik gefördert.
<b>OptecNet Deutschland e.V.</b>	OptecNet ist der bundesweit größte Photonikverband, der 7 regionale Innovationsnetzwerke in den optischen Technologien verbindet. Schwerpunkte sind internationale Kooperationen, Technologietransfer, Innovationsförderung, Nachwuchsförderung und Öffentlichkeitsarbeit.
<b>IVAM Fachverband für Mikrotechnik</b>	IVAM ist ein international ausgerichteter Fachverband mit Schwerpunkt auf Technologiemarketing. In 6 Fachgruppen arbeiten die Mitglieder unter anderem zu Themen wie Medizintechnik, Wearable Electronics und Mikrofluidik.

#### 4.1.2 Institutionelle Rahmenbedingungen

Die Mikroelektronik wird von der Politik weitgehend als strategisch relevante Schlüsseltechnologie anerkannt (vgl. BMBF 2018, European Commission 2013). Dem wird mit europäischen wie nationalen Förderprogrammen Rechnung getragen, die darauf ausgerichtet sind, sowohl die Forschung und Entwicklung als auch die Umsetzung von Innovationen in marktfähige Produkte zu unterstützen. Im Folgenden werden zentrale politische Maßnahmen zur Förderung der Mikroelektronik auf europäischer und nationaler Ebene dargestellt.

##### 4.1.2.1 Europäische Förderinitiativen

Die Europäische Kommission hat die Mikroelektronik als eine der sechs grundlegenden Schlüsseltechnologien (Key Enabling Technologies – KETs) Europas definiert, deren Förderung im Rahmen des EU-Rahmenprogramms für Forschung und Innovation Horizon 2020 eine große Bedeutung beigemessen wird.

In 2013 legte die Europäische Kommission mit der European Strategy for Micro- and Nanoelectronic Components and Systems ein Programm zur Stärkung der Wettbewerbs- und Wachstumsfähigkeit der Mikro- und Nanoelektronikindustrie in Europa vor. Mit dieser Strategie wurde im Rahmen von Horizon 2020 die Gemeinsame Technologische Initiative ECSEL (*Electronic Components and Systems for European Leadership*) zur

Förderung der Mikro- und Nanoelektronik in Europa ins Leben gerufen. Im Rahmen von ECSEL (Laufzeit: 2014-2024) werden Forschung und Entwicklung im Bereich der Mikroelektronik bzw. Elektroniksysteme durch die Einbindung von Partnern aus der Industrie und Forschung in grenzüberschreitende Verbünde entlang der Wertschöpfungskette unterstützt. Mit ECSEL bündelt die EU Fördermittel aus Horizon 2020 und Beiträgen der Mitgliedstaaten. Dadurch werden Projekte im Umfang von insgesamt bis zu 5 Mrd € ermöglicht, von denen ca. die Hälfte aus dem Horizon 2020-Budget und die andere Hälfte aus Beiträgen der beteiligten Länder und Eigenleistungen der Industrieakteure kommt.

Die im Rahmen der europäischen Forschungsinitiative EUREKA gegründete Cluster "**Pan European Partnership in Micro and Nano-Technologies and Applications**" (PENTA) ermöglicht europäischen Ländern die Beteiligung an grenzüberschreitenden Forschungsprojekten zur Mikroelektronik. Gefördert werden vor allem vorwettbewerbliche, anwendungsorientierte FuE-Vorhaben. Das Förderbudget für den Zeitraum zwischen 2016 und 2020 beträgt ca. 500 Mio €.

Im Jahr 2015 startete die Europäische Kommission darüber hinaus die Initiative "*Smart Anything Everywhere*" (SAE), die durch die Bildung von Digital Innovation Hubs (DIH) umgesetzt wurde. Mit einem besonderen Schwerpunkt auf vernetzten elektronischen Komponenten und Systemen sollte die Initiative insbesondere die KMUs in Europa bei der Einführung digitaler Technologien und Innovationen unterstützen.

Ende 2018 stimmte die EU-Kommission dem europaweit ersten „Important Project of Common European Interest“ (IPCEI) zur Stärkung der Europäischen Mikroelektronik in Höhe von insgesamt 1,75 Mrd € bis 2020 zu. Die staatliche Förderung in Form von Investitionszuschüssen wird direkt an die Industrie gewährt. Auch andere europäische Instrumente, wie Strukturfonds, werden genutzt, um in der EU Unternehmen und Cluster mit dem Mikroelektronikfokus zu unterstützen.

#### 4.1.2.2 Nationale Förderung

Die aktuelle öffentliche Förderung der Mikroelektronik in Deutschland basiert auf der Grundlage des Rahmenprogramms für Forschung und Innovation 2016-2020 „*Mikroelektronik aus Deutschland – Innovationstreiber der Digitalisierung*“. Das Förderprogramm zielt auf den Ausbau vorhandener Stärken und die Schaffung neuer Kompetenzen im Bereich der Mikroelektronik ab und sieht zu ihrer Förderung bis 2020 bis zu 400 Mio € vor. Förderberechtigt sind in Deutschland ansässige FuE-aktive Unternehmen der gewerblichen Wirtschaft, Hochschulen und Forschungseinrichtungen.

Zur Umsetzung der Hightech-Strategie 2025 und des Rahmenprogramms "*Mikroelektronik aus Deutschland – Innovationstreiber der Digitalisierung*" wurde von der Bundesregierung Ende 2018 das Förderprogramm „*Forschung für neue Mikroelektronik*“ (For-Mikro) initiiert. Finanziert werden Forschungsvorhaben mit erheblichem Innovationspotenzial für Mikroelektronik in Hochschulen und außeruniversitären Forschungseinrichtungen mit Sitz in Deutschland, für die ein konkretes Nutzungspotenzial für die Industrie besteht.<sup>1</sup> Einzelne Vorhaben können dabei bis zu 100 Prozent gefördert werden.

Im Rahmen des Investitionsprogramms für die Mikroelektronikforschung werden von der Regierung weitere bis zu 400 Mio € bereitgestellt. Kern des Programms stellt die im April 2017 gestartete *Forschungsfabrik Mikroelektronik Deutschland* dar, deren Ziel es ist, die Forschungskapazitäten von 13 außeruniversitären Forschungseinrichtungen zu

<sup>1</sup> <https://www.bmbf.de/foerderungen/bekanntmachung-2055.html> (zuletzt geprüft am 03.01.2019).

vernetzen, zu bündeln und auszubauen. Elf Fraunhofer-Institute vom Verbund Mikroelektronik sowie zwei Forschungsinstitute der Leibniz-Gemeinschaft (Leibniz-Institut für Höchstfrequenztechnik und das Leibniz-Institut für innovative Mikroelektronik) erhalten dafür rund 350 Mio €. Mit weiteren bis zu 50 Mio € sollen im Rahmen des Programms „Forschungslabore Mikroelektronik (ForLAB)“ Investitionen zur Modernisierung und Erweiterung der wissenschaftlichen Forschungsausstattung an Hochschulen finanziert werden<sup>1</sup>.

Seit 2006 erfolgt im Rahmen einer ressortübergreifenden Strategie die Förderung der Nanotechnologien (siehe BMBF 2016a, Aktionsplan Nanotechnologie 2020). Innovative Nanotechnologien tragen zur Verbesserung der mikro- und nanoelektronischen Bauelemente sowie Erhöhung der Leistungsfähigkeit elektronischer Systeme bei und sind für die Weiterentwicklung der Mikroelektronik von entscheidender Bedeutung.

Darüber hinaus wird von der Bundesregierung seit vielen Jahren die deutsche Photonikbranche aktiv unterstützt. Das aktuelle Programm zur Förderung der Photonik mit einer Laufzeit von zehn Jahren startete im Jahr 2012. Dabei investierte die Bundesregierung zwischen 2012 und 2016 ca. 100 Mio € jährlich in die Photonik-FuE (BMBF 2016b, Agenda Photonik).

Die Weiterentwicklung der Mikroelektronik hängt auch von den Fortschritten in der Quantentechnologie ab, die von der Bundesregierung im Rahmen des Programms „Quantentechnologien – von den Grundlagen zum Markt“ im Zeitraum 2018 bis 2022 mit ca. 650 Mio € gefördert wird.<sup>2</sup>

Im Rahmen der „Forschungsagenda für das autonome Fahren“ fördert das BMBF seit 2015 die Forschung zum autonomen Fahren. Der Fokus der Förderung liegt unter anderem auf Sicherheitstechnologien für das autonome Fahren und zuverlässige Elektronik und Sensorik. Seit kurzem gehören auch Anwendungen der künstlichen Intelligenz zum weiteren Schwerpunkt der Förderung (Bundesregierung 2019a).

In der ersten Hälfte 2019 wurde von der Bundesregierung eine Reihe weiterer Maßnahmen zur Förderung der Mikroelektronik bekannt gegeben. Dazu zählen die Richtlinie zur Förderung von Forschungsinitiativen auf dem Gebiet der „Mikroelektronik für Industrie 4.0“<sup>3</sup>, die Richtlinie zur Förderung des Pilotinnovationswettbewerbs „Energieeffizientes KI-System“ und die Richtlinie zur Förderung von Forschungsvorhaben für „Zukunftsfähige Spezialprozessoren und Entwicklungsplattformen (ZuSE)“<sup>4</sup>. Am 15. April 2019 gab das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) die Richtlinie zur Förderung von Verbundforschungsprojekten bekannt, die der Entwicklung von spezialisierten neuartigen Prozessoren und KI-fähiger Hardware gewidmet sind. Im Rahmen der neuen Digitalstrategie (BMBF 2019a) verpflichtet sich die Bundesregierung, innovative Automobilelektronik mit einem Schwerpunkt auf sichere und zuverlässige KI-spezifische Elektronik für das Auto und die Entwicklung von IT-Sicherheitslösungen in Zukunft stärker zu unterstützen. Die Leitinitiative „Vertrauenswürdige Elektronik – Made in Germany“ zielt darauf ab, Deutschlands Kompetenzen im Bereich Entwurf und die Herstellung vertrauenswürdiger, sicherer Elektronikkomponenten und -systeme zu stärken. Außerdem soll die Weiterentwicklung innovativer Ansätze zur Analyse und Verifizierung der Sicherheit von Hardware und cyber-physikalischen Systemen gefördert werden.

<sup>1</sup> <https://www.bmbf.de/foerderungen/bekanntmachung-1513.html> (zuletzt geprüft am 06.02.2019).

<sup>2</sup> <https://www.bmbf.de/de/quantentechnologien-7012.html> (zuletzt geprüft am 19.07.2019).

<sup>3</sup> <https://www.bmbf.de/foerderungen/bekanntmachung-2349.html> (zuletzt geprüft am 19.07.2019).

<sup>4</sup> <https://www.bmbf.de/foerderungen/bekanntmachung-2422.html> (zuletzt geprüft am 19.07.2019).

Eine besondere Bedeutung misst die Bundesregierung der Förderung der deutschen KMUs bei. Mit der Förderrichtlinie „*KMU-innovativ*“ werden vom BMBF seit 2007 zusätzlich zu thematischen Förderprogrammen mit durchschnittlich 10 Mio € pro Jahr KMUs gezielt dabei unterstützt, innovative Elektroniksysteme sowie Technologien für zukunftsrelevante Anwendungen, wie autonomes Fahren, Industrie 4.0 und Smart Health zu entwickeln.

Um die Vernetzung und den Austausch zwischen den Unternehmen und der Forschung zu stärken, unterstützt das deutsche Bundeswirtschaftsministerium (BMWi) im Rahmen des „*Zentralen Innovationsprogramms Mittelstand (ZIM)*“ marktorientierte FuE-Projekte der KMUs mit Forschungseinrichtungen. Gefördert werden Projekte in allen Technologiefeldern, so auch die Mikrosystemtechnik, Elektrotechnik, Messtechnik und Sensorik.

Deutschland beteiligt sich darüber hinaus an verschiedenen europäischen Förderprogrammen und Forschungsinitiativen zur Förderung der Mikroelektronik. So nimmt Deutschland aktiv teil an dem europäischen Forschungsprogramm ECSEL, das deutschen Akteuren Innovationskooperationen mit Unternehmen und Forschungseinrichtungen aus anderen europäischen Ländern ermöglicht. Für das Programm werden vom Bund und Land Sachsen gemeinsam bis zu 400 Mio € bereitgestellt. Im Rahmen des Europäischen Projekts zur Unterstützung des Aufbaus von industrieller Wertschöpfung in Europa „*Important Project of Common European Interest*“ (IPCEI) fördert das BMWi mit ca. 820 Mio € Investitionen im Mikroelektronikbereich in Deutschland.<sup>1</sup> Bei der Europäischen Forschungsinitiative EUREKA beteiligt sich das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) am europäischen Cluster PENTA mit dem Förderbeitrag von insgesamt 50 Mio €. Es ermöglicht den teilnehmenden Ländern transnationale Forschungsprojekte zur Mikroelektronik.

### 4.1.3 Netzwerke

#### 4.1.3.1 Regionale Netzwerke

Die deutsche Mikroelektronikbranche ist relativ stark in regionalen Netzwerken organisiert. Gezielte und langfristig ausgerichtete Förderprogramme der Bundes- und Länderregierungen zur Förderung der Ansiedlung und Vernetzung konnten dazu beitragen, dass sich in Deutschland einige regionale Konzentrationen der Mikroelektronikindustrie etabliert haben.

Die größte regionale Konzentration der Mikroelektronikindustrie hat sich im Raum Sachsen rund um Dresden etabliert. Aber auch in Bayern (München sowie Nürnberg/Erlangen), Baden-Württemberg (Freiburg), Thüringen (Jena) und Nordrhein-Westfalen gibt es eine hohe Konzentration von Akteuren im Bereich der Mikroelektronik. Kleinere Konzentrationen sind außerdem um Saarbrücken, Frankfurt an der Oder und Itzehoe zu finden.

#### *Silicon Saxony*

Das um den Standort Dresden entstandene Cluster *Silicon Saxony* gehört neben den Mikroelektronik-Clustern in Eindhoven/Leuven und Grenoble zu den größten Europäischen Clustern im Bereich Mikro- und Nanoelektronik. Das Cluster umfasst die gesamte Wertschöpfungskette der Mikroelektronik und verbindet zahlreiche Hersteller, Entwickler, Zulieferer, Dienstleister, Anwender sowie Forschungseinrichtungen und Hochschulen.

<sup>1</sup> [https://ec.europa.eu/germany/news/20181218-genehmigung-foerderung-mikroelektronik-sachsen\\_de](https://ec.europa.eu/germany/news/20181218-genehmigung-foerderung-mikroelektronik-sachsen_de) (zuletzt geprüft am 02.02.2019).

Nach der Wiedervereinigung führte eine gezielte finanzielle Förderung in Form von milliardenschweren Subventionen der Landesregierung Sachsen zur Ansiedlung von namhaften Global Players in der Mikroelektronikbranche, wie Siemens, AMD und Infineon, denen später weitere weltweit bedeutende Halbleiterentwickler und -produzenten, wie Globalfoundries, X-Fab, Bosch, Phototronics, SAW Components und viele andere Unternehmen und Unternehmensgründungen folgten.

Mit Stand von 2018 sind im Silicon Saxony Cluster etwa 2.300 Firmen mit ca. 60.000 Beschäftigten aktiv, die einen Jahresumsatz von 14 Mrd € erwirtschaften. Davon arbeiten etwa 26.000 Beschäftigte alleine in der Halbleiter-Industrie.<sup>1</sup> Kernkompetenzen der in der Region angesiedelten Akteure liegen besonders in den Bereichen Mikro- und Nanoelektronik, Telekommunikationstechnologie, Photovoltaik, IT und Informationstechnik, energieeffiziente Systeme, Smart Systems und vernetzte Sensorik sowie organische und gedruckte Elektronik<sup>2</sup>. Auch der Schwerpunkt der Forschungsfabrik Mikroelektronik Deutschland liegt in Sachsen, durch die vielen im Verbund beteiligten Institute, welche dort ansässig sind.

Auf Basis des etablierten Silicon-Saxony-Standorts wurden weitere innovative Subcluster gegründet: „Cool Silicon e. V.“ (gegründet 2009) mit dem Schwerpunkt energiesparende Mikroelektronik und „Organic Electronics Saxony“ (gegründet 2008) zur Förderung neuer Lösungen auf dem Gebiet organischer Elektronik.<sup>3</sup> Als Reaktion auf die wachsende Bedeutung der Sensortechnologien wurde 2018 der Innovationscluster Sensorik Sachsen (SenSa) ins Leben gerufen.

Neben klassischen Vernetzungs- und Kooperationsplattformen bietet Silicon Saxony seinen Mitgliedern Unterstützung bei Innovationsprozessen, der Förderung vom Fachkräftenachwuchs, dem Wissens- und Technologietransfer, Marketing und Messeauftritte und betreibt eine gemeinsame Standortvermarktung<sup>4</sup>.

### ***It's OWL Ostwestfalen-Lippe***

Das Technologie-Netzwerk „It's OWL“ verbindet ca. 400 Akteure aus Maschinenbau, Elektro-, Elektronik- und Automobilzuliefererindustrie in Ostwestfalen-Lippe<sup>5</sup>. Es wurde im Rahmen des Spitzenclusterwettbewerbs vom BMBF gefördert, um die sektorübergreifende Forschung und Entwicklung in der Automatisierungstechnik und Mechatronik voranzutreiben. Der Fokus von It's OWL liegt auf Industrie 4.0 und digitalen Geschäftsmodellen, Aktivitäten im Bereich 5G, Industrie 4.0, Mass Customization und künstliche Intelligenz.

It's OWL bietet seinen Mitgliedern neben einer Informations- und Vernetzungsplattform Weiterbildungsmaßnahmen, die Koordination von Transferprojekten sowie Unterstützung bei der Entwicklung von neuen Geschäftskonzepten für die intelligente Fertigung<sup>6</sup>. Ein besonderes Leistungsangebot stellt der Industrie 4.0 Check dar, bei dem der Stand der Unternehmen bei der Automatisierung und Digitalisierung ihrer Produktion überprüft wird und im Anschluss Beratung zur möglichen Weiterentwicklungen gegeben wird.

<sup>1</sup> <https://www.heise.de/newsticker/meldung/Von-Bosch-bis-Infineon-Saechsische-Chip-Industrie-stockt-Jobs-auf-4059970.html> (zuletzt geprüft am 10.10.18).

<sup>2</sup> <https://www.silicon-saxony.de/netzwerk/region/> (zuletzt geprüft am 10.10.18).

<sup>3</sup> <https://oes-net.de/ueber-oes/> (zuletzt geprüft am 13.02.19).

<sup>4</sup> <https://www.silicon-saxony.de/leistungen/portfolio/> (zuletzt geprüft am 13.02.19).

<sup>5</sup> <https://www.its-owl.de/industrie-40/rolle-von-its-owl/> (zuletzt geprüft am 21.11.18).

<sup>6</sup> <https://www.its-owl.de/unsere-angebote/> (zuletzt geprüft am 13.02.19).

## **MicroTEC Südwest**

MicroTEC Südwest ist ein branchenübergreifendes Netzwerk zur Förderung der Erforschung, Entwicklung und Produktion intelligenter Produkte mit integrierter Mikrosystemtechnik. Sein räumlicher Schwerpunkt liegt in Baden-Württemberg rund um Freiburg im Breisgau, das entstandene Netzwerk aber teilweise auch darüber hinaus. Als eines der Spitzencluster wurde MicroTEC Südwest von der Bundesregierung zwischen 2010 und 2015 mit ca. 40 Mio € gefördert<sup>1</sup>.

Unter mehr als 110 Mitgliedern des Netzwerkes sind Unternehmen, Forschungseinrichtungen und Hochschulen. Neben großen Unternehmen wie Bosch, Festo, Roche Diagnostics, ABB, Zeiss, Endress Hauser und Sick, gibt es viele innovative kleine und mittelständische Unternehmen. Zu dem Netzwerk gehören zahlreiche Forschungseinrichtungen, wie die Hahn-Schickard-Institute für angewandte Forschung sowie einige Fraunhofer-Institute und Hochschulen, wie das Institut für Mikrosystemtechnik (IMTEK) der Universität Freiburg sowie das Karlsruher Institut für Technologie (KIT). MicroTEC Südwest fördert Kooperationen und den Wissens- und Technologieaustausch zwischen den Mitgliedern über die gesamte Wertschöpfungskette der Mikrosystemtechnik. Außerdem werden zukünftige Trends und Potentiale diskutiert, Handlungsempfehlungen ausgearbeitet und Qualifizierungsmaßnahmen angeboten<sup>2</sup>.

## **Photonik-Netzwerk OptoNet e.V**

Im OptoNet Thüringen sind 187 Unternehmen mit insgesamt 15.800 Beschäftigten vereinigt, welche im Bereich der optischen Technologien arbeiten. Das thematische Spektrum umfasst mechanische Optik, Messtechnik & Sensorik, Mikro- & Faseroptik, Laser- und Strahlquellen, Optoelektronik, Photovoltaik, Lichttechnik und Optische Materialien. Dazu zählen z. B. Laser und Lasersysteme, Laser-Scanning-Mikroskope, optische bzw. optoelektronische Komponenten sowie optische Mess-Systeme<sup>3</sup>. Die zwei größten Unternehmen sind ZEISS in Jena und die Jenoptik AG. Über Netzwerkveranstaltungen und Kooperationsvermittlung hinaus, bietet OptoNet e.V. seinen Mitgliedern Beratung zu Fördermöglichkeiten, Unterstützung bei Technologieprojekten, Weiterbildungsmaßnahmen und eine Plattform für ein gemeinsames Handeln insbesondere im Hinblick auf Interessensvermittlung<sup>4</sup>.

## **NanoMikro+Werkstoffe.NRW**

Der Landescluster NanoMikro+WerkstoffePhotonik.NRW hat seinen Sitz in Düsseldorf und entstand 2009 im Rahmen einer Exzellenzinitiative der Landesregierung. Über 200 Unternehmen, welche im Bereich der Nanotechnologie, Mikrosystemtechnik, Photonik oder der Werkstoffe arbeiten, gehören zum Cluster. Insgesamt gibt es im Bereich der Mikrosystemtechnik über 350 Akteure in Nordrhein-Westfalen. Der Tätigkeitsfokus des Clusters liegt vor allem auf interdisziplinärem Austausch und Vernetzung bei Veranstaltungen, wie z. B. NRW Nanokonferenz<sup>5</sup>.

<sup>1</sup> <https://www.pressebox.de/inaktiv/bmbf-bundesministerium-fuer-bildung-und-forschung/Spitzencluster-MicroTEC-Suedwest-gestartet/boxid/381696> (zuletzt geprüft am 10.10.18).

<sup>2</sup> <https://www.microtec-suedwest.de/netzwerk/was-wir-leisten> (zuletzt geprüft am 08.02.19).

<sup>3</sup> <https://www.optonet-jena.de/> (zuletzt geprüft am 21.11.18).

<sup>4</sup> <https://www.optonet-jena.de/geschaeftsstelle/unsere-angebote-und-leistungen/> (zuletzt geprüft am 08.02.19).

<sup>5</sup> <http://nmwp.nrw.de/> (zuletzt geprüft am 08.02.19).

Das Netzwerk „ECPE European Center for Power Electronics e.V.“ mit dem räumlichen Schwerpunkt in Bayern (Erlangen/Nürnberg/München) verbindet rund 49 KMUs, 59 große Unternehmen, 64 Hochschulen, 25 Forschungseinrichtungen und 11 weitere Organisationen. Diese decken die gesamte Wertschöpfungskette der Leistungselektronik ab und schließen dabei auch einige europäische Akteure mit ein. Wichtige Akteure in diesem Netzwerk sind Liebherr Elektronik, Continental Automotive, KIMO Industrie Elektronik, Infineon, Siemens, Semikron, BMW sowie verschiedene Hochschulen, Universitäten und Forschungsinstitute – z. B. das Fraunhofer IISB oder die TU München<sup>1</sup>.

Neben der nationalen Förderung profitiert das Cluster zusätzlich von der Förderung der Landesregierung Bayern. Das Hauptziel des Clusters ist der Ausbau der Leistungselektronik durch die Unterstützung der vorwettbewerblichen Gemeinschaftsforschung im „ECPE Joint Research Programme“ in den Bereichen Automotive, Industriesysteme, erneuerbare Energien und Smart Grids. Gleichzeitig sollen Fachkräfte zu aktuellen Fachthemen aus- und weitergebildet werden.

#### **4.1.3.2 Internationale Netzwerke**

##### ***EPoSS (European Technology Platform on Smart Systems Integration)***

EPoSS ist eine industrie-getriebene Policy-Initiative auf europäischer Ebene. Sie definiert Bedürfnisse für FuE und Innovation und erforderliche politische Rahmenbedingungen für die Integration Smarter Systeme und integrierter Mikro- und Nanosysteme<sup>2</sup>. Die Mitglieder des europäischen Netzwerks sind Unternehmen und Forschungsorganisationen aus mehr als 20 europäischen Mitgliedstaaten. Die beteiligten Akteure umfassen die gesamte Wertschöpfungskette der Smart Systems Integration und möchten einen gemeinsamen europäischen Ansatz von der Grundlagenforschung bis zur Produktion vorantreiben. Außerdem werden über die Technologieplattform auch Roadmaps und strategische Forschungs- und Entwicklungsagenden geschaffen. EPoSS bringt sich dabei auch ein in die Diskussion um die Prioritäten für das nächste Rahmenprogramm der EU für Forschung und Innovation.

##### **Silicon Europe**

Silicon Europe ist ein internationales Meta-Cluster, der zwölf große Europäische Cluster in den Bereichen Elektronik und Digitalisierung vereinigt. Zu den zugehörigen Clustern gehört unter anderem auch Silicon Saxony. Silicon Europe fungiert nicht nur als Kollaborationsplattform, sondern auch als Dachverband, welcher gemeinsame Interessen artikuliert und als Intermediär zwischen den relevanten Partnern aus Forschung, Industrie und Regierungsinstitutionen agiert. Mit insgesamt über 2.500 Clustermitgliedern (Unternehmen und Forschungsorganisationen) kann Silicon Europe zu einem der weltweit größten Forschungsnetzwerke in der Mikroelektronik gezählt werden. Wissenstransfer zwischen den Mitgliedern, aber auch Sichtbarkeit nach Außen, wird durch große internationale Veranstaltungen und Messen wie etwa der SEMICON oder internationalen Kooperationsprojekten gewährleistet<sup>3</sup>.

<sup>1</sup> <http://www.clusterle.de/seitennavigation/cluster-leistungselektronik/organisation/> (zuletzt geprüft am 10.10.18).

<sup>2</sup> <https://www.smart-systems-integration.org/vision-mission> (zuletzt geprüft am 12.06.2019).

<sup>3</sup> <https://www.silicon-europe.eu/media/publications/> (zuletzt geprüft am 07.01.2019).

Die Microtechnics Alliance ist ein Kooperationsverbund zwischen den französischen Mikrosystemtechnik-Clustern Pôle des Microtechniques und Minalogic, dem Cluster Micronarc aus der Schweiz und microTEC Südwest. Ziel des Verbunds ist der internationale Austausch bei Konferenzen und die gemeinsame Teilnahme an Ausschreibungen für europaweite Projekte. Der thematische Fokus lag bislang auf Smart Systems und dem Zugang zu gemeinsamer europäischer Förderung.

## 4.2 Technologische Trends

### 4.2.1 Aktuelle Entwicklungen

Die bisherige Entwicklung der Mikroelektronik war lange Zeit stark vom Moorschen Gesetz (Moore's law) geprägt – einer auf empirischen Beobachtungen basierten Faustregel, wonach die Anzahl der Schaltkreiskomponenten auf einem Chip und die Leistungsfähigkeit der Chips in regelmäßigen Abständen kontinuierlich ansteigt. Damit verbunden ist eine immer stärkere Miniaturisierung und Erhöhung der Transistordichte auf Basis der CMOS-Technologie (Complementary Metal-Oxide-Semiconductor) bei gleichzeitiger Leistungssteigerung der Chips. Da die Miniaturisierung zunehmend an ihre physikalischen Grenzen stößt, etablieren sich in einigen Bereichen immer mehr Ansätze der 3D-Integration. Die Technologie ermöglicht, dass mikroelektronische Systeme immer kleiner und gleichzeitig leistungsfähiger werden. Die exponentielle Leistungssteigerung führte zu sinkenden Chip-Preisen, sodass vor allem große Unternehmen, die kostengünstig produzieren und stärker von „economies of scale“ profitieren, in der Lage sind wirtschaftlich zu produzieren. Die fortschreitende Miniaturisierung ist jedoch nicht beliebig fortsetzbar, da sie früher oder später an physikalische Grenzen stoßen wird (Waldrop 2016), die auch nicht mehr mit 3D-Integration kompensiert werden können.

Neben der Fortführung der Entwicklungen in der Mikroelektronik nach Moore's Law („More Moore“), gewinnt in den letzten Jahren der so genannte „More than Moore“-Trend an Bedeutung, wonach nicht nur die Skalierung der Schaltkreiskomponenten, sondern auch die Effizienz- und Funktionalitätssteigerung der Chips eine wichtige Rolle spielen. Bei den More-than-Moore-Technologien kommt das Konzept der Heterointegration (d. h. kombinierter Einsatz verschiedener Komponenten der Halbleitertechnologien für optimierte Nutzung ihrer Eigenschaften) zur Anwendung. Dabei können digitale, analoge und mikroelektro-mechanische Bestandteile, wie Komponenten zur Datenverarbeitung und Kommunikation, Sensoren und Bausteine zur Energiegewinnung oder für das Energiemanagement, sowie optoelektronische Komponenten zu einem multifunktionalen System vereint werden. Der Vorteil der More-than-Moore-Technologien liegt in ihrem breiten Anwendungsspektrum. Insbesondere in den zukunftsorientierten Anwendungen, wie Internet der Dinge und Industrie 4.0 spielen die More-than-Moore-Technologien eine bedeutende Rolle.

Die Mikroelektronikbranche sieht sich heute mit grundlegenden Problemen konfrontiert, da die weitere Leistungssteigerung mit Hilfe von herkömmlichen Technologien nur eingeschränkt möglich ist. Daher besteht ein dringender Bedarf, neuartige Materialien, Technologien und Verbindungslösungen zu entwickeln, und zwar jenseits der konventionellen Halbleitertechnologien, der Von-Neumann-Computerarchitektur sowie herkömmlicher Informationsverarbeitungs- und Speichermethoden, um zukünftig Rechen- und Speicherkapazitäten weiterhin steigern zu können.

## 4.2.2 Zukünftige Entwicklungstrends und -treiber

Viele zukünftige Anwendungen lassen sich vor allem mit Hilfe komplexer und innovativer Mikroelektroniktechnologien realisieren, die erhebliche Forschungs- und Entwicklungsanstrengungen erfordern.

So wird in Zukunft der Bedarf an leistungsfähigen Mikroelektroniktechnologien voraussichtlich stark zunehmen. Ein großes Nachfragepotenzial für Leistungselektronik geht vor allem von der Elektromobilität aus, die für hohe Spannungen ausgelegte Leistungshalbleiter benötigt. Auch die Entwicklung und Verbreitung von 5G-fähigen Geräten sowie netzbetriebene Anwendungen, zu denen beispielsweise intelligente und schnelle Ladetechniken gehören, sind ebenfalls auf spannungsfeste Leistungselektronik angewiesen.<sup>1</sup> Mit dem Wachstum und der weiteren Verbreitung erneuerbarer Energien wird die effizientere Energieumwandlung stetig an Bedeutung gewinnen. Folglich wird in den nächsten Jahren der Bedarf an leistungsfähigeren Halbleitern auch in diesem Sektor stark steigen. Zu den leistungsfähigen Halbleitertechnologien gehören Leistungshalbleiter aus Siliziumkarbid (SiC) und Galliumnitrid (GaN), die im Vergleich zu Halbleitern aus Silizium viel robuster und effizienter sind. Dementsprechend erwartet man für diesen Technologiebereich bis 2025 hohe Wachstumsraten. Marktanalysten prognostizieren für 2025 eine Nachfrage nach Siliziumkarbid- und Galliumnitrid-basierter Leistungselektronik von über 3 Mrd €. <sup>2</sup> Diese Technologien bieten demnach in den nächsten Jahren gute Geschäfts- und Wachstumschancen für etablierte und neue Marktteilnehmer.

Mit der Verbreitung des autonomen Fahrens wird die Nachfrage nach weiteren Mikroelektroniktechnologien, wie Radar-, Lidar- und Ultraschallsensoren rapide steigen.

Ein weiterer wichtiger Treiber für zukünftige Entwicklungen in der Mikroelektronikbranche sind die Automatisierung sowie Anwendungen im Internet der Dinge, von Industrie 4.0 und Robotik. Signifikantes Wachstum wird dabei insbesondere bei Microcontrollern, robuster Sensorik, Speichern, drahtlosen und hochfrequenten Übertragungsmodule, schnellen, energieeffizienten und sicheren Datenverarbeitungsstrukturen sowie effizient arbeitenden Aktuator-Systemen erwartet (Positionspapier „Bedeutung der Mikroelektronik für Industrie 4.0“). Für IoT- und KI-getriebene Anwendungen, wie Smart Cities und Industrie 4.0, benötigt man darüber hinaus fortschrittliche Designansätze, die mechanische, elektrische und andere Komponenten integrieren.<sup>3</sup>

Ein weiteres zukunftsrelevantes Thema für Deutschland und Europa ist Edge Computing, das eine lokale Datenverarbeitung ermöglicht. Für Edge Computing sind weitere Fortschritte bei Sensoren und energiesparenden Chip- und Computerarchitekturen zwingend erforderlich. Gerade für autonome Systeme, wie Industrie 4.0 und das autonome Fahren, ist dies von grundlegender Bedeutung, da hier die Daten in Echtzeit bzw. mit einer möglichst geringen Latenz ausgewertet werden müssen. Die Realisierung der sensornahen Intelligenz, d. h. komplexer Systeme, die verschiedene Funktionen in sich vereinen, einschließlich der künstlichen Intelligenz, und intelligent auf ihre Umgebung reagieren wird dabei eine wichtige Rolle spielen.

<sup>1</sup> <https://www.elektronikpraxis.vogel.de/vier-schlueseltechnologien-fuer-innovationen-im-jahr-2017-a-617394/> (zuletzt geprüft am 07.01.2019).

<sup>2</sup> <https://www.elektronikpraxis.vogel.de/neue-markttrends-und-moderates-wachstum-spannende-zukunft-der-halbleiterindustrie-a-648844/> (zuletzt geprüft am 07.01.2019).

<sup>3</sup> <https://www.elektronikpraxis.vogel.de/diese-sechs-ki-trends-werden-2019-fuer-ingenieure-und-wissenschaftler-wichtig-a-792756/> (zuletzt geprüft am 07.01.2019).

Eine zunehmend größere Bedeutung für den Erfolg der Mikroelektronik werden multifunktionale Systeme sowie die Fähigkeit haben, durch die Integration von Hardware- und Software-Komponenten entlang der Wertschöpfungskette, Gesamtlösungen anbieten zu können. Diese Fähigkeit, komplexe Systeme, wie Internet-der-Dinge-Gesamtlösungen, entwickeln und implementieren zu können, wird aus Sicht der Mikroelektronikexperten entscheidend für die Sicherung des Technologievorsprungs in Deutschland sein.<sup>1</sup>

Zugleich wächst im Zuge der Digitalisierung die Bedeutung vertrauenswürdiger und sicherer Elektronikkomponenten und -systeme. Ihre Beherrschung erfordert die Stärkung der Kompetenzen in den Bereichen Entwurf, Analyse und Verifikation der Sicherheit von Hardware und cyber-physikalischen Systemen<sup>2</sup> sowie eine bessere Abstimmung von Soft- und Hardware.

Mikroelektronik auf Basis organischer Materialien wird eine immer wichtigere Rolle spielen und dürfte insbesondere für Anwendungen in der Medizin von großer Relevanz sein. Für weitere Fortschritte in der Medizin und Gesundheitsvorsorge wird der Bedarf an innovativer organischer Mikroelektronik, wie z. B. neuartigen Biosensoren, steigen.

Eine besondere Bedeutung bei der Sicherung der Wettbewerbsfähigkeit wird in Zukunft die Künstliche Intelligenz (KI) spielen. Für KI-Prozesse sind hohe Rechengeschwindigkeiten notwendig, für die sich herkömmliche Standardprozessoren nicht optimal eignen. Dadurch gewinnt die Entwicklung von speziellen KI-Chips, die besonders leistungsfähig sind und andere Funktionen integrieren, welche KI- und Deep-Learning-Prozesse unterstützen, stark an Bedeutung. Ein fundamental neuer Technologieansatz in der Mikroelektronik ist die Entwicklung von Chipdesigns, die eine Hardwareimplementierung des in der KI verwendeten Modells des menschlichen Lernens (Neuronen und Synapsen) darstellen. Solche neuromorphen Chips bilden die Vernetzung von Neuronen mit Synapsen nach, die Speicher und Prozessor vereinen und lernfähig sind. Das Ziel der Forschung ist es, solche Chips mit jeder Generation dem menschlichen Gehirn immer ähnlicher und immer effizienter zu machen. Die Lernfähigkeit neuromorpher Chips auf der Hardwareebene spielt dabei eine entscheidende Rolle. Abgesehen davon haben neuromorphe Chips andere positive Eigenschaften, wie Energieeffizienz und Robustheit gegenüber Fehlerfunktionen (Wesseler 2018). Die Weiterentwicklung der KI-dedizierten Mikroelektroniktechnologie, die Lernprozesse unterstützt, ist auch von entscheidender Bedeutung für die Robotik.

Besondere Herausforderungen an die Weiterentwicklung der Mikroelektroniktechnologien stellt das Aufkommen und die Verbreitung neuer Rechenparadigmen, wie neuromorphes und Quantum Computing. Sie werden in Zukunft an Bedeutung gewinnen, insbesondere bei Anwendungen und Aufgaben, die sich mit herkömmlichen Rechenarchitekturen nicht oder nicht optimal lösen lassen. Ferner eröffnen Fortschritte in der Mikroelektronik neue Möglichkeiten für die Entwicklung der nächsten Generation von Distributed/Edge Computing sowie zentralisiertem Computing für die Cloud zur Unterstützung des digitalen Wandels.

<sup>1</sup> <https://www.elektronikpraxis.vogel.de/europas-halbleiterindustrie-wir-sollten-uns-auf-den-systemgedanken-fokussieren-a-783342/> (zuletzt geprüft am 02.03.2019).

<sup>2</sup> <https://www.bmbf.de/de/wir-muessen-die-mikroelektronik-beherrschen-8341.html> (zuletzt geprüft am 29.04.2019).

## 4.3 Leistungsfähigkeit des Mikroelektronik-Innovationssystems in Deutschland

Die Leistungsfähigkeit des Innovationssystems Mikroelektronik Deutschland wird anhand der vorher definierten Funktionen bzw. Faktoren innerhalb dieser Funktionen bewertet, die die Fähigkeit des Innovationssystems in Bezug auf die Generierung, Verbreitung, Umsetzung der Innovationen und Nutzung relevanter Technologien im Bereich Mikroelektronik maßgeblich beeinflussen. Das Ziel ist dabei, die Entwicklungen zu identifizieren, die die Funktionalität und das Potenzial des Innovationssystems behindern oder einschränken, um auf Basis der gewonnenen Erkenntnisse Handlungsempfehlungen zur Beseitigung dieser ableiten zu können.

### 4.3.1 Wissensgenerierung

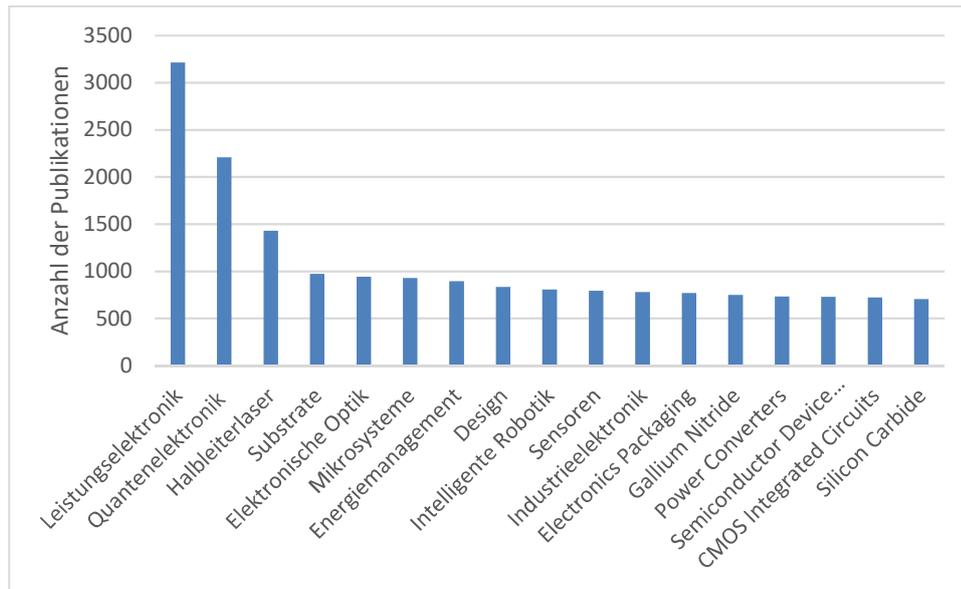
Mikroelektroniktechnologie wird zunehmend von hohem technischem Fortschritt, kurzen Innovations- und Produktlebenszyklen bei gleichzeitig steigender technischer Komplexität geprägt. Um diesen Herausforderungen gerecht zu werden, ist das Vorhandensein einer leistungsstarken und qualitativ hochwertigen Wissenschafts- und Forschungslandschaft außerordentlich wichtig.

#### 4.3.1.1 Innovationskraft der deutschen Mikroelektronik

Deutschland weist eine breite und ausdifferenzierte Wissensbasis mit Relevanz für die Mikroelektronikindustrie auf, was sowohl die Patentanalyse als auch die Auswertung wissenschaftlicher Publikationen erkennen lassen. In die Wissensgenerierung sind verschiedene Arten von Akteuren mit unterschiedlichen Rollen involviert: Hochschulen, Forschungseinrichtungen und Unternehmen. So werden in der Publikationsdatenbank Scopus ungefähr 140 verschiedene in Deutschland angesiedelte Organisationen gezählt, darunter Universitäten, Forschungsinstitute, Unternehmen, Fachhochschulen, die im Zeitraum zwischen 2009 und 2018 im Themenfeld „Mikroelektronik“ zahlreiche wissenschaftliche Publikationen veröffentlicht haben.

Die Auswertung wissenschaftlicher Publikationen in der Datenbank „Scopus“ hat ergeben, dass Deutschland im Zeitraum 2009-2018 bei der kumulierten Anzahl der Publikationen im Themenfeld „Mikroelektronik“<sup>1</sup> nach den USA und China den dritten Platz belegt, allerdings mit großem Abstand. Die wichtigsten Themen mit den höchsten Publikationsraten der deutschen Hochschulen, Forschungseinrichtungen und Unternehmen sind dabei: Leistungselektronik, Halbleiterlaser, Quantumelektronik, Substrate, Optoelektronik, Mikrosysteme, Energiemanagement, Design, Elektronik für Robotik, Sensoren, Industrieelektronik, Electronic Packaging, neue Materialien und einige andere (Abbildung 4). Für den Überblick der in Deutschland angesiedelten Organisationen mit den meisten wissenschaftlichen Publikationen im Bereich Mikroelektronik siehe Tabelle Anhang 1.

<sup>1</sup> Die Suche in der Datenbank „Scopus“ erfolgte mit Hilfe der Suchbegriffe „semiconductor\*“, „electronic\*“, „microelectronic\*“, „chip\*“ und „microsystem\*“.



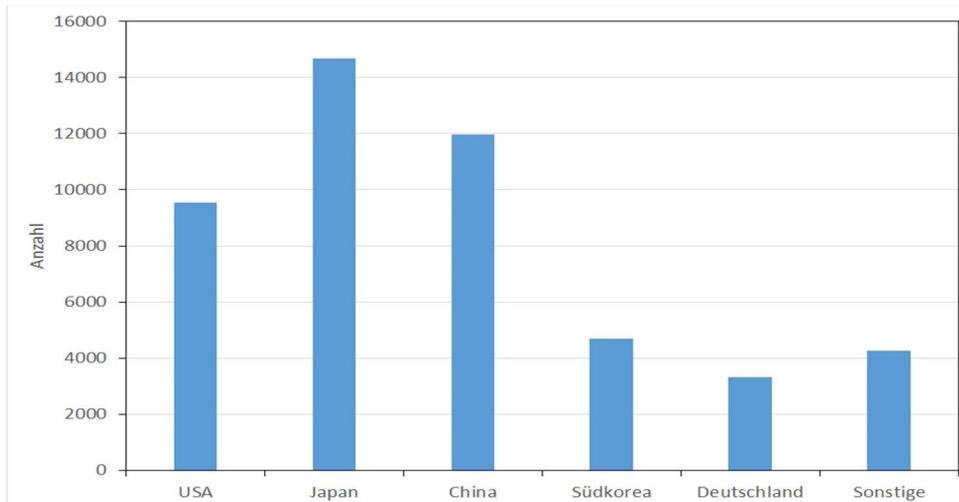
**Abbildung 4: Themen mit den höchsten Publikationsraten in Deutschland zwischen 2009 und 2018, Quelle: Scopus**

Auch die Patentstatistik<sup>1</sup> bestätigt, dass Deutschland bei Halbleitern zu den weltweit innovationsstärksten Ländern in Mikroelektronik zählt<sup>2</sup>. Das Land verzeichnet sehr hohe Patentanmeldungen in diesem Bereich, bleibt jedoch deutlich hinter den global führenden Wettbewerbern China, Japan und den USA zurück (Abbildung 5). Zu den Organisationen in Deutschland mit der höchsten Zahl von Patentanmeldungen gehören Osram, Bosch, Merck und Siemens. Auch die Fraunhofer-Gesellschaft zählt zu den größten deutschen Anmeldern (Tabelle Anhang 2).

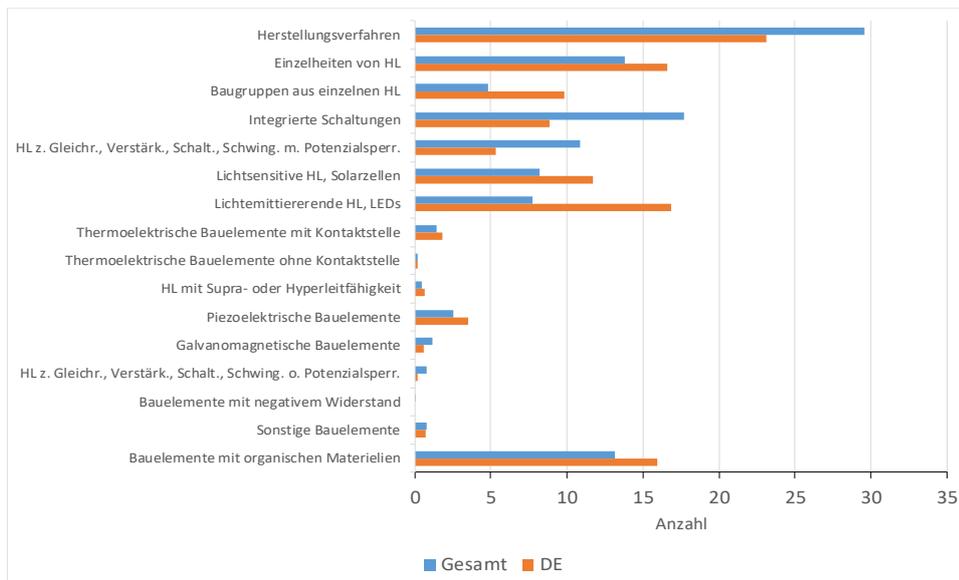
In den Teilfeldern liegen die Schwerpunkte der deutschen Mikroelektronikbranche bei Solarzellen, LEDs sowie Bauteilen mit organischen Materialien (Abbildung 6). Die starke Orientierung auf LEDs dürfte wesentlich auf die führenden Aktivitäten von Osram zurückzuführen sein. Darüber hinaus nimmt Deutschland eine starke Position im Bereich Herstellungsverfahren für die Halbleiterindustrie, Einzelheiten von Halbleitern und Baugruppen aus einzelnen Halbleitern ein.

<sup>1</sup> Die Patentauswertung nutzt die gleiche Abgrenzung, wie sie vom Fraunhofer IMW im Rahmen des FRAME-Projekts entwickelt wurde. Da zum Zeitpunkt der Durchführung dieser Studie aktualisierte WPI-Daten vorlagen, konnten für die vorliegende Patentauswertung aktuellere Daten herangezogen werden.

<sup>2</sup> Die Patentauswertung erfolgte anhand einer Analyse der Unterklasse H01L (Halbleiter) der Internationalen Patentklassifikation. Es werden, um einen Vergleich von Ländern zu ermöglichen, transnationale Patentanmeldungen untersucht. Das sind Anmeldungen, die entweder am Europäischen Patentamt oder bei der World Intellectual Property Organisation (WIPO) (PCT-Anmeldungen) ohne Doppelzählungen angemeldet sind.



**Abbildung 5: Weltweite Patentanmeldungen in der Mikroelektronik 2014-2016, Quelle: Datenbank World Patents Index (WPI)**



**Abbildung 6: Patentanmeldungen zu Teilfeldern in der Mikroelektronik, deutsche im Vergleich zur weltweiten Verteilung 2014-2016, Quelle: Datenbank World Patents Index (WPI)**

#### 4.3.1.2 Anwendungsorientierung der FuE

Von Mikroelektronikexperten und Industrievertretern wurde weitgehend bestätigt, dass die Forschungseinrichtungen (insbesondere Fraunhofer-Institute aufgrund ihrer Anwendungsorientierung) mit ihren FuE-Aktivitäten im Großen und Ganzen sehr gut die aktuellen Bedarfe der Industrie bzw. industrierelevante Themen abdecken. Auch zukunftsrelevante Anwendungsbereiche, wie Industrie 4.0 und Smart Energy, werden gut damit berücksichtigt.

Grundsätzlich wurde eine enge Verknüpfung zwischen der Lehre, Forschung und Anwendung von Befragten auch für die deutschen Hochschulen bescheinigt. Dieses wird

unter anderem von zahlreichen Koautorenschaften im Mikroelektronikbereich von Unternehmen, wie Infineon, Siemens, Bosch, Globalfoundries Germany, Osram Opto Semiconductors, E.ON und Carl Zeiss, mit vielen deutschen Hochschulen bestätigt.

Jedoch wurde von Mikroelektronikexperten darauf hingewiesen, dass es, über die Förderung der auf einzelne Anwendungsbereiche ausgerichteten Themen hinaus, einen größeren Bedarf an themenübergreifender Förderung der FuE für erfolversprechende neue Querschnittstechnologien gebe. Sie sind notwendig, um die Technologieführerschaft in wichtigen Bereichen im globalen Kontext mittel- bis langfristig zu sichern. Von Mikroelektronikexperten und Industrievertretern wurde weitgehend bestätigt, dass die Forschungseinrichtungen (insbesondere Fraunhofer-Institute aufgrund ihrer Anwendungsorientierung) mit ihren FuE-Aktivitäten im Großen und Ganzen sehr gut die aktuellen Bedarfe der Industrie bzw. industrierelevante Themen abdecken. Auch zukunftsrelevante Anwendungsbereiche, wie Industrie 4.0 und Smart Energy werden gut damit berücksichtigt.

### 4.3.2 Wissensverbreitung/-diffusion durch Netzwerke

Eine der zentralen Erkenntnisse der Innovationsforschung ist, dass Innovationen in der Regel nicht in Isolation zustande kommen, sondern das Ergebnis einer Interaktion zwischen Forschungseinrichtungen, Produzenten, Zulieferern und Anwendern sind. So sind die Interaktionen bzw. der Wissens- und Erfahrungsaustausch mit frühen Anwendern entscheidend für erfolgreiche Innovationen, da diese so verbessert und an Anforderungen und Nutzungsbedingungen von Anwendern angepasst werden bzw. dadurch neue Anwendungsmöglichkeiten ermittelt werden können. Es sind diese kumulativen Anpassungen und Verbesserungen, die den langfristigen Wert einer Innovation ausmachen (Lennart 2014).

In Interviews wurde weitgehend bestätigt, dass für Unternehmen von verschiedenen Größen Vernetzungen und der Austausch mit Partnern ein wesentlicher Schlüssel zum Erfolg sind. Zusätzlich wird im Bereich der Mikroelektronik aufgrund steigender Komplexität der Mikroelektronikprodukte die interdisziplinäre Zusammenarbeit immer dringender.

Neben der Finanzierung von FuE werden öffentlich geförderte Projekte von Unternehmen auch dafür genutzt, sich mit anderen Partnern zu vernetzen und Synergien zu erheben. Vernetzungen sind vor allem dann aus Sicht der teilnehmenden Unternehmen besonders wertvoll, wenn sie Partner entlang der gesamten Wertschöpfungskette zusammenführen. Dabei ist die vorwettbewerbliche Kooperation von besonderer Bedeutung für Unternehmen, da sie diesen ermöglicht, neue Produkte nicht nur zielgerichteter und kostengünstiger zu entwickeln, sondern auch unmittelbar an die Bedürfnisse der potenziellen Anwender bzw. Abnehmer anzupassen. Dank Kooperationen entlang der Wertschöpfungskette können involvierte KMUs neue Produkte entwickeln und sie später erfolgreich vermarkten. Dadurch bekommen die KMUs eine Chance, zu globalen Marktplayern heranzuwachsen.

Die Bundesregierung misst der Unterstützung von Zusammenarbeit und Netzwerken eine große Bedeutung zu, was sich in einer Vielzahl öffentlicher Maßnahmen und geförderter Projekte mit Fokus auf die Förderung von Kooperationen widerspiegelt. Ein wichtiges Instrument dafür sind industrielle Verbundprojekte, die relevante Partner aus der Wissenschaft und Wirtschaft zur anwendungsnahen Lösung einer konkreten Problemstellung zusammenführen. Solche Verbundprojekte werden im Rahmen aktueller nationaler Förderprogramme, wie ZIM und KMU-innovativ, und des europäischen Forschungsrahmenprogramms Horizon 2020 gefördert. Auch die themenoffene Fördermaßnahme Innovationsforen Mittelstand zielt darauf ab, die Bildung und den Ausbau

interdisziplinärer regionaler und überregionaler Netzwerke sowie nachhaltiger Partnerschaften zwischen Unternehmen, Bildungs- und Forschungseinrichtungen zu unterstützen.<sup>1</sup>

Ein günstiges Umfeld für Kooperationen und eine stärkere Vernetzung relevanter Akteure konnte durch die Etablierung dynamischer Cluster mit einem Mikroelektronikfokus geschaffen werden (siehe Abschnitt Netzwerke). Diese erfolgte infolge gezielter langfristig ausgerichteter Fördermaßnahmen der Bundesregierung und Regierungen der Bundesländer. Eine wichtige Voraussetzung dafür, dass Kooperationen zustande kommen und gut funktionieren, ist das gegenseitige Vertrauen zwischen den Partnern. Viele Cluster in Deutschland bieten ihren Mitgliedern netzwerkfördernde Maßnahmen, die darauf abzielen, relevante Akteure zusammenzubringen, den Austausch zwischen ihnen zu unterstützen und das gegenseitige Vertrauen zu stärken. Dadurch funktionieren Kooperationen innerhalb organisierter Netzwerke bzw. Cluster in der Regel ganz gut. Viele Befragte haben dabei eine besondere Rolle von Silicon Saxony hervorgehoben, das mit seinem aktiven Networking und Kooperationsanbahnungsmaßnahmen entscheidend zum Erfolg solcher Kooperationen beiträgt.

#### 4.3.2.1 Grenzüberschreitende Kooperationen

Das Bewusstsein über die Notwendigkeit, auch über die Grenzen hinweg enger zu kooperieren, um sich im internationalen Wettbewerb gegen die immer stärker werdende Konkurrenz in Asien und den USA behaupten zu können, ist in den letzten Jahren in Deutschland und Europa deutlich gewachsen. Grenzüberschreitende Kooperationen werden in der EU im Rahmen der Gemeinsamen Technologischen Initiative zur Förderung der Mikro- und Nanoelektronik in Europa ECSEL und der europäischen Forschungsinitiative EUREKA gefördert. Eine besondere Unterstützung gilt dabei den Innovationspartnerschaften entlang der Wertschöpfungskette zur Förderung von Systeminnovationen im Bereich der Mikroelektronik.<sup>2</sup>

##### Box 1: Erfolg einer europäischen Kooperation: Ein Fallbeispiel

ZEISS Semiconductor Manufacturing Technology (SMT) zusammen mit dem niederländischen Partner ASML entwickelten mit Hilfe einer langjährigen Förderung von der Bundesregierung, der Regierung der Niederlande und der Europäischen Kommission ein neues EUV-Lithographie-System (Lithographieoptiken mit extremem ultraviolettem Licht) der vierten Generation mit einer Belichtungswellenlänge von 13,5 Nanometer, welches in 2018 zur Serienreife gebracht wurde. Diese neue Technologie ermöglicht die Herstellung von wesentlich leistungsfähigeren, kleineren (aktuell unter 10 nm), billigeren und energieeffizienteren Chips. Somit ist das neue EUV-System eine wichtige Enabler-Technologie für die Weiterentwicklung der Mikroelektronik und das Vorantreiben mikroelektronischer Innovationen in vielen wichtigen zukunftsrelevanten Bereichen und Anwendungen, wie Internet der Dinge, Industrie 4.0, Elektromobilität und autonomes Fahren. Anfang 2019 wurde das neue EUV-System von vielen Kunden in den Massenproduktionsprozessen zur Fertigung von einer neuen Generation leistungsfähigerer Chips eingeführt. In Europa wird diese Technologie jedoch aufgrund fehlender Produktionskapazitäten für Chips mit kleinster Strukturgröße nicht eingesetzt.

ZEISS und ASML arbeiten an der Weiterentwicklung der Lithographie-Plattform weiter, welche eine geometrische Chip-Skalierung und eine noch viel bessere Auflösung und Positionierungsgenauigkeit erlauben sollte. Sie sollte eine Belichtung von kritischen Strukturgrößen auch unterhalb von 7 nm ermöglichen. Zum Vergleich: die neuesten Chips von TSMC und Samsung haben bereits die Strukturgröße von 7 nm. Allerdings werden sie noch auf herkömmlichen Deep-Ultraviolet- (DUV) Systemen gefertigt, die Licht der Wellenlänge 193 nm nutzen. Im Gegensatz zur klassischen Lithographie-Systemen, ermöglicht EUV wesentlich stabilere und weniger fehleranfällige Prozessknoten auch bei geringeren Strukturgrößen.

<sup>1</sup> <https://www.bmbf.de/de/innovationsforen-mittelstand-3064.html> (zuletzt geprüft am 19.06.2019).

<sup>2</sup> <https://www.bmbf.de/foerderungen/bekanntmachung-1474.html> (zuletzt geprüft am 05.03.2019).

Technologieoffene FuE-Kooperationsprojekte der KMUs mit ausländischen Partnern werden von der Bundesregierung zusätzlich im Rahmen des Zentralen Innovationsprogramms Mittelstand (ZIM) unterstützt. Zur Förderung der Zusammenarbeit mit internationalen Akteuren in Netzwerken wurde das ZIM um das Modul „ZIM-Kooperationsnetzwerke International“ erweitert. Des Weiteren sind die jüngsten Förderbemühungen der Bundesregierung auf eine Verbesserung der internationalen Vernetzung deutscher Start-ups ausgerichtet. Spezielle Programme dafür sind: „German-Accelerator-Programm“, „EXIST“ und verschiedene Start-up-Exchange-Programme (BMWi 2018a).

Auch für die deutschen Forschungseinrichtungen und Hochschulen werden grenzüberschreitende Kooperationen immer bedeutsamer. So bestehen bereits erfolgreiche Kooperationen der Institute des Fraunhofer Mikroelektronik-Verbunds mit Forschungseinrichtungen aus Frankreich, Schweiz, Belgien, Österreich und Finnland. Die FuE-Experten betonen, dass FuE-Kooperationen innerhalb der EU immer dringender werden, um die kritische Masse für FuE und Innovationen zu erreichen sowie um gemeinsame Standards zu schaffen.

Grenzüberschreitende Kooperationen innerhalb der EU funktionieren nach Aussagen der Befragten in der Regel ganz gut. Industrievertreter beanstanden jedoch, dass aufgrund beschränkter Förderbudgets auf der EU-Ebene nur einige wenige von vielen förderwürdigen Projekten gefördert werden können. Eine der zentralen Botschaften der Experten ist, dass die EU-Länder viel stärker zusammenarbeiten müssen, um Europa im globalen Wettbewerb zu stärken. Insbesondere bei zukunftsorientierten Anwendungen, wie 5G, Internet der Dinge, das autonome Fahren und KI, sind solche Kooperationen dringend notwendig. Wenn es Deutschland und Europa gelingt, führende europäische Forschungseinrichtungen und Unternehmen stärker in Kooperationen entlang der gesamten Wertschöpfungskette einzubinden und das Know-how in den für den Wettbewerb entscheidenden Technologien und Anwendungen zu akkumulieren, haben sie eine bessere Chance, sich gegen die internationale Konkurrenz behaupten zu können.

#### Box 2: Europäisches Forschungsprojekt „Productive 4.0“

Als Teil des Europäischen ECSEL Programms für die Mikroelektronik, wurde im April 2017 unter Koordination der Infineon Technologies AG das grenzüberschreitende Europäische Forschungsprojekt „**Productive 4.0**“ gestartet. Am Projekt arbeiten 30 Partner aus Deutschland sowie 79 weitere Teilnehmer aus 19 europäischen Ländern. Darunter sind Unternehmen wie BMW, Bosch, Philips, Thales, NXP, STM, SAP, ABB, Volvo, Ericsson und wissenschaftliche Einrichtungen, wie das Karlsruher Institut für Technologie, die Fraunhofer-Gesellschaft und die TU Dresden.

Ziel des Projektes ist die Schaffung einer universellen Plattform, die über Wertschöpfungsketten und Branchen hinweg angewandt werden kann und die digitale Vernetzung in Echtzeit von produzierenden Unternehmen, Produktionsanlagen und Produkten fördert. Die Kooperationspartner setzen sich dabei mit Methoden, Konzepten und Technologien auseinander, die der effizienten Funktionsweise einer solchen Plattform zugrunde liegen sollten. Zudem beschäftigen sie sich mit Komponenten und Infrastruktur des „Internets der Dinge“. Im Hinblick auf die Technologien, soll im Rahmen des „Productive 4.0“ insbesondere die Kompetenz der Europäischen Länder für Mikroelektronik gestärkt werden, da diese eine zentrale Rolle bei der Digitalisierung der Fertigungsindustrie und eines verbesserten Supply-Chain-Managements spielt.

Die Laufzeit des Projektes beträgt 3 Jahre. Das Projekt hat ein Gesamtvolumen von 106 Mio €. Davon werden 51 Mio von der EU und den beteiligten Mitgliedsstaaten getragen. Der Freistaat Sachsen und das BMBF finanzieren das Projekt gemeinsam mit 9,6 Mio €. Der Förderansatz der Kofinanzierung aus regionalen, Mitgliedsländer- sowie europäischen Mitteln ist einmalig und hat einen Modellcharakter für weitere für Europa strategisch wichtige Projekte.

Abgesehen von beschränkten Förderbudgets, die für solche Kooperationen vorgesehen sind, war die bisherige Förderung in Europa und Deutschland<sup>1</sup> der Ansicht von Befragten nach nicht ausreichend, um zukunftsrelevante technologische Entwicklungen und Trends voranzutreiben. Häufig habe man in Deutschland und Europa lediglich zeitlich verzögert auf technologische Entwicklungen und den Vorsprung in andere Weltregionen mit eigenen Förderprogrammen reagiert, die es allerdings nicht ermöglichen, die technologische Führerschaft zu übernehmen, sondern allenfalls dazu reichen, den Anschluss in diesen wichtigen Bereichen nicht zu verlieren.

Ein weiterer kritischer Punkt, auf den insbesondere die Industrievertreter aufmerksam machten, ist ein sehr aufwändiger und langwieriger Beantragungsprozess, der für EU-Projekte notwendig ist. Dieser wäre jedoch mit der Schnellebigkeit der Innovationszyklen der Mikroelektroniktechnologien und ihren Anwendungen nicht (mehr) kompatibel.

#### 4.3.2.2 Rolle der Kooperationen mit Forschungseinrichtungen

Die Bedeutung der Kooperationen mit Forschungseinrichtungen wurde in der akademischen Literatur weitgehend untersucht (z. B. Jacobsson und Perez (2010), Martin und Tang (2007), Salter et al. (2000), Broström (2007), Hughes (2010), Lennart (2014)). Tatsächlich geht der Beitrag der akademischen Forschung weit über die Entwicklung neuer Technologien hinaus. Abgesehen vom Zugang zu Technologien und Kompetenzen, fördern die Kooperationen zwischen der Industrie und den öffentlichen Forschungseinrichtungen einen effektiven Wissenstransfer, ermöglichen den Unternehmen den Zugang zur spezialisierten Infrastruktur (z. B. Reinräume) sowie innovativen Methoden und Software. Durch die Zusammenarbeit mit der akademischen Forschung tut sich für die beteiligten Unternehmen eine viel breitere Perspektive hinsichtlich des Potenzials einer Technologie auf, wodurch sich für Unternehmen neue Wege zur Lösung aktueller Probleme und die Realisierung neuer Geschäftsmöglichkeiten eröffnen (vgl. Lennart 2014).

Im Bereich der Mikroelektronik gibt es ein breites Spektrum an Themen und Fragestellungen, wo Kooperationen mit Forschungseinrichtungen und anderen Partnern dringend erforderlich sind. In Interviews wurden unter anderem folgende Bereiche genannt, bei denen Unternehmen häufig auf Kooperationen mit Forschungseinrichtungen angewiesen sind: Mikroelektronik-Packaging, 3-D-Integration, Zuverlässigkeit, Bewertung, industrielle Umsetzbarkeit von Technologien, Prozessentwicklung. Grundsätzlich gibt es bei Unternehmen einen großen Bedarf an Kooperationen mit Forschungseinrichtungen bei der Weiterentwicklung von More-than-Moore-Technologien und ihren Anwendungen. Ferner braucht man auch bei den Themen der Standardisierung Kooperationen zwischen Forschungseinrichtungen und Unternehmen. Ein wesentliches Hindernis für Unternehmen ist darüber hinaus der mangelnde Zugang zu Entwurfswerkzeugen (Design Tools) (vgl.: Boosting Electronics Value Chain in Europe 2018) und die fehlenden Fertigungsmöglichkeiten von kleineren Serien anwendungsspezifischer Mikroelektronikprodukte. Es wird außerdem insbesondere für die KMUs und Start-ups immer schwieriger, auf spezialisierte Ausrüstung zuzugreifen, die sehr kostspielig in der Anschaffung und Wartung ist und ein gut ausgebildetes Fachpersonal für ihre Handhabung erfordert. Das macht es notwendig, die nötige technologische Infrastruktur und Fertigungsdienstleistungen den Unternehmen anderweitig, z. B. über Forschungseinrichtungen, verfügbar zu machen.

Auch große Unternehmen mit eigenen FuE-Abteilungen gehen häufig Kooperationen mit Forschungseinrichtungen ein, um Zugang zu komplementärem Wissen, Technologien und Ressourcen zu erhalten oder ein besseres Verständnis zugrundeliegender physikalischer und technischer Prozesse zu erreichen. Insofern wird von Unternehmen das

<sup>1</sup> Die Befragungen wurden im Zeitraum Dezember 2018 bis März 2019 durchgeführt.

differenzierte Leistungsangebot mit verschiedenen FuE-Schwerpunkten und Kompetenzen zahlreicher wissenschaftlicher Einrichtungen in Deutschland sehr geschätzt. Insbesondere in den neuen Anwendungsfeldern, wie autonomes Fahren, KI, 5G, Industrie 4.0, Edge Computing, intelligente Medizintechnik etc., werden von allen Unternehmen Kooperationen mit Forschungseinrichtungen angestrebt. Ein weiteres wichtiges Motiv für Kooperationen der Unternehmen mit FuE-Einrichtungen ist ihre gute internationale Vernetzung. Dadurch erhoffen sich industrielle Partner zusätzlich den Zugang zu externem Know-how und eine höhere internationale Sichtbarkeit.

Zunehmend wichtiger für die Wettbewerbsfähigkeit der deutschen Mikroelektronik ist die Fähigkeit, komplexe Problem- bzw. Systemlösungen anzubieten. Dafür sind nicht nur Kooperationen zwischen Unternehmen und Forschungseinrichtungen erforderlich, auch Forschungseinrichtungen selbst müssen viel enger miteinander zusammenarbeiten. Das setzt allerdings Veränderungen in ihrer Verwaltungs- und Organisationsstruktur sowie die Zentralisierung einiger Prozesse zur Schaffung besserer Rahmenbedingungen für solche Kooperationen und Senkung der Transaktionskosten voraus.

#### **4.3.2.3 Hindernisse bei Kooperationen zwischen der Industrie und den Forschungseinrichtungen**

Laut Aussagen befragter Industrievertreter funktionieren Kooperationen mit Forschungseinrichtungen in Deutschland in der Regel gut. Jedoch zeichnen sich bei Kooperationen zwischen der Industrie und Forschungseinrichtungen einige Herausforderungen ab. So beklagen insbesondere kleinere Unternehmen die komplizierte und aufwändige Vertragsgestaltung aufseiten der Forschungseinrichtungen. Im Hinblick auf Kooperationen mit Forschungseinrichtungen sind für Unternehmen die Kontinuität und die langfristige Planbarkeit sehr wichtig, die von Forschungseinrichtungen wegen Budgetbeschränkungen nicht immer gewährleistet werden können.

Ein natürliches Konfliktpotenzial ergibt sich häufig aus der Ausrichtung und Interessenlage öffentlicher Forschungseinrichtungen und Geschäftsinteressen der Unternehmen. Bei den Forschungseinrichtungen stehen naturgemäß wissenschaftliche Aspekte im Vordergrund, während Unternehmen vor allem Interesse daran haben, die FuE-Ergebnisse zügig in Produkte zu überführen.

Da ein starkes strategisches Interesse an den IP-Rechten sowohl bei der Industrie als auch bei wissenschaftlichen Institutionen besteht, kommt es manchmal zu Interessenkonflikten zwischen den Partnern bei der Sicherung des geistigen Eigentums. Insbesondere große Unternehmen sind sehr daran interessiert, exklusive IP Rechte an den Forschungsergebnissen zu übernehmen. Deswegen gestaltet sich das Verhandeln von Verträgen in Bezug auf die IP-Rechte mit großen Unternehmen besonders schwierig. Häufig scheitern Kooperationsverträge zwischen Unternehmen und Forschungseinrichtungen, wenn beide Seiten an ihren Maximalforderungen festhalten. Kleinere Unternehmen sind in dieser Hinsicht viel kooperationswilliger, da sie viel dringender auf den Zugang zu Technologien und Lösungen angewiesen sind.

#### **4.3.3 Einfluss auf die Richtung der Suche**

Die Funktion bezieht sich auf Aktivitäten und Haltungen und die davon ausgehenden Signalmechanismen, die die Erwartungen und das Verhalten der Akteure eines Innovationsystems in Bezug auf eine bestimmte Technologie prägen (Bergek et al. 2008b). Tatsächlich hat vor allem die Politik einen entscheidenden Einfluss auf die Richtung der Suche, die für die Entwicklung eines TIS von größerer Bedeutung ist (Sauer 2018). Im Folgenden wird diskutiert, inwieweit die von der Bundesregierung festgelegten Förderschwerpunkte und die damit vorgegebene Richtung der technologischen Entwicklung

zur Sicherung der Zukunftsfähigkeit und zum mittel- bis langfristigen Erfolg der deutschen Mikroelektronik im Kontext des globalen Wettbewerbs beitragen können.

Im Rahmenprogramm der Bundesregierung „Mikroelektronik aus Deutschland – Innovationstreiber der Digitalisierung“ wurden die Schwerpunkte für die FuE-Förderung festgelegt, die stark auf die in Deutschland vorhandenen Stärken aufbauen. Zu diesen zählen:

- Weiterentwicklung von More-than-Moore-Technologien, insbesondere von multifunktionalen Systemen, die verschiedene elektronische Komponenten enthalten,
- Leistungselektronik für effiziente Energienutzung,
- Entwicklung innovativer Tools für Chip- und Systemdesigns,
- Mikroelektronikbasierte Sicherheitstechnologien und -funktionen sowie
- Entwicklung fortgeschrittener Elektronik-Fertigungstechnologien.

Bei der Erschließung neuer technologischer Potenziale steht vor allem die Entwicklung neuer „Beyond CMOS“-Ansätze auf Basis alternativer physikalischer Effekte, neuer Materialien, Bauelemente und Systemkonzepte im Fokus der nationalen Förderung. Wichtige FuE-Themen sind dabei: eindimensionale Elektronik (Nanowire, Carbon Nanotubes etc.), organische und gedruckte Elektronik, Graphen-basierte Elektronik, neue Aufbau- und Verbindungstechniken (z. B. Self Assembling etc.). Die Förderung der FuE ist dabei auf zukunftsrelevante Anwendungsbereiche ausgerichtet, wie Industrie 4.0, Elektromobilität und autonomes Fahren, effiziente Energieversorgung und smartes Gesundheitssystem. Diese FuE-Bereiche in den genannten Anwendungsfeldern werden durch die Forschungsthemen und Kompetenzen der beteiligten FMD-Forschungsinstitute gut abgedeckt.

Nach überwiegender Ansicht der Experten ist es wichtig und richtig, bei der Ausrichtung der Förderprogramme an Deutschlands vorhandene Stärken anzuknüpfen, sodass die Festlegung der bisherigen Förderschwerpunkte und ihre Förderung durch die Regierung eine breite Zustimmung findet. Die Weiterentwicklung von More-than-Moore-Technologien ist aus Sicht von Experten ein wichtiges Thema für die Wettbewerbsfähigkeit Deutschlands. Die Förderung der Leistungselektronik, auch auf Basis neuer Materialien, wie Siliciumcarbid und Galliumnitrid, ist angesichts zukünftiger technologischer Trends und Entwicklungen von grundlegender Bedeutung. Die Stärkung der Kompetenzen bei Sensor-Technologien ist insbesondere mit Blick auf wichtige Zukunftsanwendungen von besonderer Relevanz. Des Weiteren bedarf es weiterer FuE-Anstrengungen zur Erhöhung der Zuverlässigkeit von elektronischen Systemen beim autonomen Fahren. Weitere für Deutschland wichtige Themen, die von den aktuellen öffentlichen Förderprogrammen berücksichtigt werden, sind die Weiterentwicklung von MEMS, 3-D-Integration, Embedded Systems und Systemintegration. Ebenfalls ist die Förderung von mikroelektronikbasierten Sicherheitstechnologien angesichts ihrer strategischen und wirtschaftlichen Bedeutung von grundlegender Bedeutung für Deutschland und Europa.

Mit dem aktuellen Rahmenprogramm zur Förderung der Quantentechnologien leistet die Bundesregierung einen wichtigen Beitrag zum Ausbau der FuE-Kompetenzen in diesem wichtigen Technologiebereich, der auch für die Weiterentwicklung der Mikroelektronik von Bedeutung ist. Jedoch gibt es aus Sicht der Experten noch einige wichtige Schwerpunkte und Technologien, die bisher nicht ausreichend gefördert werden. Dazu gehören die neuartige Elektronik für KI und die Entwicklung neuartiger Prozessoren – strategisch wichtige Technologien, die in anderen Ländern, allen voran den USA, bereits seit vielen Jahren sehr intensiv unterstützt werden. Für KI und die Unterstützung der Digitalisierung ist man zunehmend auf neuartige Elektronik angewiesen, die in der Lage ist, schnell, effizient und mit wenig Energieverbrauch große Volumen an Daten zu

verarbeiten. Das erfordert erhebliche FuE-Anstrengungen im Bereich innovativer Mikroprozessoren. Neue Hardware-Technologien für die KI wie kognitives, neuromorphes und Quantencomputing sollten nach Aussage der Experten in Deutschland und Europa daher viel stärker als bisher gefördert werden. Da Deutschland vorhandene Herausforderungen in diesen Bereichen nicht alleine stemmen kann sowie um eine kritische Masse gegenüber den Wettbewerbern zu erreichen, ist eine intensivere grenzüberschreitende Kooperation in Europa notwendig. Die aktuelle Förderung des HPC (High Performance Computing) auf europäischer Ebene geht vielen Mikroelektronikexperten nicht weit genug, da einerseits die gesamte Fördersumme als nicht ausreichend betrachtet wird und andererseits die bisherigen Förderansätze nicht wesentlich über die Förderung der FuE hinausreichen. Hervorzuheben sind an dieser Stelle die jüngsten Bemühungen der Bundesregierung zur Förderung neuartiger Prozessoren und KI-fähiger Hardware (siehe Abschnitt 4.1.2.2 Nationale Förderung), die darauf abzielen, die Weiterentwicklung dieser wichtigen Technologien in Deutschland voranzutreiben. Ihre Wirkung wird sich jedoch erst in Zukunft abschätzen lassen.

Andererseits wird es von den befragten Experten, insbesondere den FuE-Experten, als problematisch empfunden, dass heutzutage Technologien häufig nur in Verbindung mit einer konkreten aktuellen Anwendung gefördert werden. Technologien für radikal neue Anwendungen und zukunftsrelevante Querschnittstechnologien werden dabei nur wenig berücksichtigt.

Als ein großes Manko der europäischen und deutschen Förderpolitik wird von Experten herausgestellt, dass bislang keine Strategie im Hinblick auf die zukunftsgerichtete Sicherung der technologischen Eigenständigkeit von besonders relevanten Technologien – zu welchen auch Mikroelektronik oder zumindest einige strategisch sehr wichtige Mikroelektroniktechnologien gehören – Deutschlands und Europas erkennbar ist. Die Lenkung der Forschungsrichtung erfolgt vor allem aus der Perspektive der aktuellen Bedürfnisse einzelner Stakeholder in Deutschland und Europa. Dabei besteht das Risiko, dass viele zukunftsrelevante Themen und Technologien und volkswirtschaftlich bedeutende Bereiche außer Acht gelassen werden können. So ist die deutsche Automobilindustrie im zukunfts wichtigen Bereich autonomes Fahren zu stark auf das Know-how von nicht-europäischen (meistens US-amerikanischen) Technologieanbietern angewiesen. Diese Abhängigkeit wird von den Experten als kritisch eingeschätzt.

In einem nicht ausreichenden Maße wurden aus Sicht einzelner Experten in Deutschland darüber hinaus weitere wichtige Kompetenzen, wie Entwurfswerkzeuge (Design Tools), Design-Know-how und die Methodikentwicklung gefördert.

Als problematisch wird von einigen Experten bewertet, dass die öffentliche Förderung in Deutschland und Europa fast ausschließlich auf Entwicklungen in Deutschland bzw. Europa abstellt und dabei zu wenig die globale Konkurrenz bzw. globale technologische Entwicklungen im Auge hat. Eine viel stärkere Orientierung an den globalen technologischen Trends und Entwicklungen wäre notwendig, um sich besser auf globale Herausforderungen vorbereiten und optimal im internationalen Wettbewerb aufstellen zu können.

#### **4.3.4 Marktentwicklung**

In diesem Abschnitt erfolgt eine kurze Darstellung der aktuellen Marktentwicklungen der deutschen Mikroelektronikbranche und eine Bewertung der marktseitigen Wettbewerbsposition Deutschlands im internationalen Vergleich.

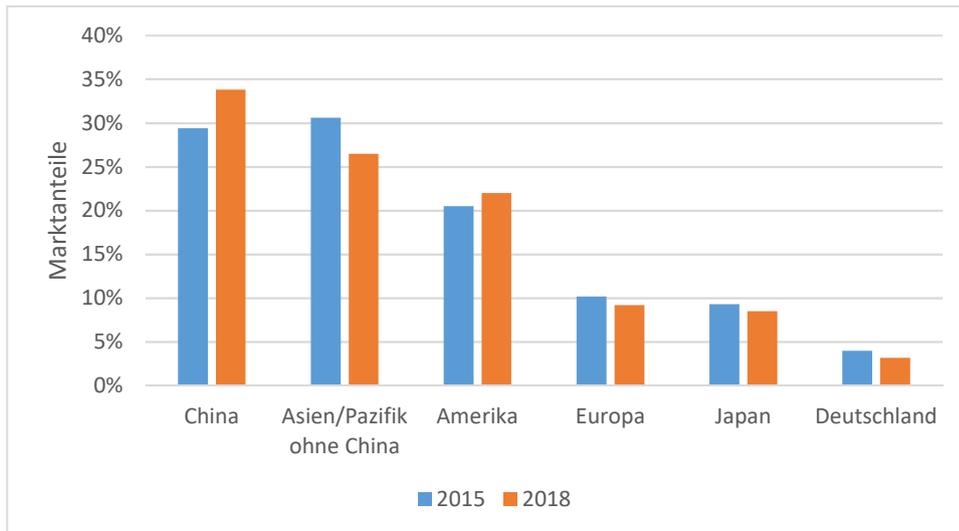
#### 4.3.4.1 Besonderheiten aktueller wirtschaftlicher Entwicklungen

Die Fertigung von Komponenten in jeweils kleinstmöglichen Strukturgrößen und höchster Funktionalitätsintegration ist erst ab einer bestimmten Größe der Halbleiterfabrik und bei ausreichendem Produktionsvolumen rentabel. Deshalb sind aktuell nur sehr große Unternehmen dazu in der Lage, diese wirtschaftlich zu produzieren. Aufgrund eines schnellen technologischen Wandels, sehr hoher Kapitalkosten und damit einhergehenden hohen Investitionskosten für moderne Technologien, sind immer weniger Unternehmen in der Lage, die notwendigen Investitionen zu tätigen, um mit dem technologischen Fortschritt mithalten zu können. Angesichts sehr hoher Kosten für Fertigungsstätten für Leading-Edge-Technologien<sup>1</sup> (Strukturbreiten unter 10 nm) können nur sehr wenige Unternehmen, die in der Lage sind, sehr große Mengen rentabel zu produzieren, die notwendigen Investitionen für die Errichtung und den Betrieb dieser hochmodernen Halbleiterfabriken wirtschaftlich rechtfertigen. Weltweit verfügen nur die Integrated Device Manufacturers (IDMs) Samsung in Südkorea und Intel in den USA sowie die technologieführende Foundry TSMC in Taiwan über so hochmoderne Halbleiterfertigungsstätten. Viele Unternehmen versuchen daher eine Zeitlang mit größeren Strukturgrößen konkurrenzfähig zu bleiben, indem sie die Funktionalität ihrer Produkte stärker anwendungsspezifisch ausbauen, um Märkte in diesem Bereich zu bedienen. Andere dagegen haben ihr Fertigungsgeschäft komplett aufgegeben, was seit Jahren mit einem zunehmenden Fabless-Trend in der deutschen und europäischen Mikroelektronik einhergeht. Zum anderen prägen seit Jahren viele Fusionen und Akquisitionen die globale Mikroelektronikbranche, durch die Unternehmen ihre Marktanteile zu erhöhen und ihre Kosten zu senken versuchen, um auf dem globalen Markt wettbewerbsfähig zu bleiben.

#### 4.3.4.2 Deutsche Mikroelektronikindustrie

Deutschlands Anteil am Weltmarkt für Mikroelektronik betrug im Jahr 2018 etwa 3,2 Prozent (Abbildung 7). Das machte mehr als 30 Prozent des gesamten EU-Anteils aus, der sich auf insgesamt 9,2 Prozent des Weltmarktumsatzes belief. Zwischen 2013 und 2018 ist der deutsche Halbleitermarkt jährlich mit einer durchschnittlichen Wachstumsrate von 1,7 Prozent gewachsen. Das liegt deutlich unter dem Niveau der globalen Marktführer USA (11,9 %), Südkorea (9,0 %), China (12,4 %) und Malaysia (9,6 %) (ZVEI 2019). Wegen der starken Konkurrenz und massiver (meistens stark subventionierter) Investitionen in Asien und den USA, haben der europäische und der deutsche Marktanteil in den letzten Jahren kontinuierlich abgenommen. Verstärkt wurde diese Entwicklung in den letzten Jahren durch zahlreiche Übernahmen von europäischen Unternehmen durch nicht-europäische Konzerne. Nach Japan und den USA gehört Deutschland dagegen zu den Ländern mit dem höchsten Pro-Kopf-Verbrauch an Halbleiterprodukten (ZVEI 2018).

<sup>1</sup> Die Kosten für eine moderne Halbleiterfabrik beliefen sich im Jahr 2006 auf 2 bis 3 Mrd US\$. Im Jahr 2015 betrug die Kosten für eine moderne Fab, wie Samsung, etwa 14 Mrd US\$ (Trusted Microelectronics 2017).



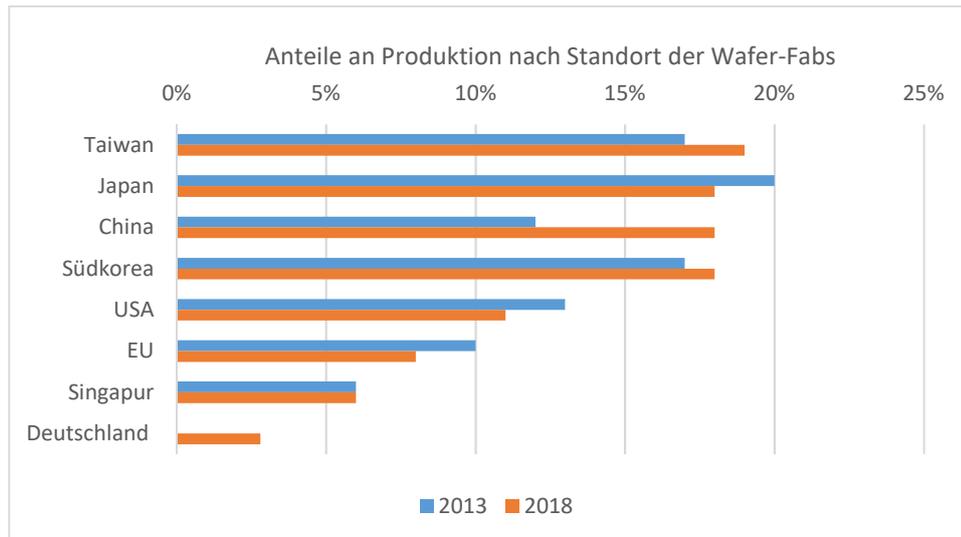
**Abbildung 7 Regionale Verteilung der Marktanteile für Mikroelektronik in 2015 und 2018. Quelle: ZVEI 2017; ZVEI 2019.**

Von 2017 auf 2018 verzeichnete der deutsche Halbleitermarkt mit 5 Prozent und dem erzielten Umsatz in Höhe von 15,2 Mrd US\$ ein viel höheres Wachstum (ZVEI 2019), was jedoch deutlich unter dem weltweiten Zuwachs von ca. 15 Prozent lag<sup>1</sup>. Die Ursache für das aktuell starke Wachstum des weltweiten Halbleitermarkts ist vor allem auf eine hohe Nachfrage nach Speichertechnologien zurückzuführen. Da in Deutschland keine Speicherherstellung mehr stattfindet, kann hier nicht von diesem starken Wachstum profitiert werden. Nach Berechnungen von ZVEI beträgt das Wachstum des weltweiten Halbleitermarkts ohne Speichertechnologien lediglich 8 Prozent<sup>2</sup>. Insgesamt beobachtet man in den letzten Jahren eine steigende Nachfrage nach Elektronik, die zu zeitweiligen Lieferengpässen und Verknappung elektronischer Bauteile geführt hat<sup>3</sup>. Davon waren insbesondere Autohersteller und die Automatisierungsindustrie betroffen. Die hohe Nachfrage ist vor allem darauf zurückzuführen, dass in Industrieprodukten immer mehr Funktionen elektronisch geregelt werden.

<sup>1</sup> <https://www.zvei.org/verband/fachverbaende/fachverband-pcb-and-electronic-systems/deutscher-halbleiter-markt-schliesst-2018-mit-starkem-wachstum-ab/> (zuletzt geprüft am 19.06.2019).

<sup>2</sup> <https://www.zvei.org/verband/fachverbaende/fachverband-pcb-and-electronic-systems/deutscher-halbleiter-markt-schliesst-2018-mit-starkem-wachstum-ab/> (zuletzt geprüft am 19.06.2019).

<sup>3</sup> <https://www.heise.de/newsticker/meldung/Folge-des-Digitalbooms-Elektronikteile-sind-knapp-4218501.html?view=print> (zuletzt geprüft am 13.11.18).



**Abbildung 8 Halbleiterproduktion in 2013 und 2018. Länder-Verteilung der Produktion nach Standort der Wafer-Fab (Front-End-Fertigung, inkl. Foundries), Quelle: ZVEI 2019.**

Etwa 78 Prozent der weltweiten Front-End-Fertigungskapazität (inklusive Foundries) befindet sich heutzutage in Asien, mit Taiwan, Japan, China und Südkorea als größten Fertigungsstandorten (Abbildung 8). Nur 8 Prozent der Produktionskapazität ist aktuell in der EU angesiedelt, mehr als ein Drittel davon (2,8 %) in Deutschland (ZVEI 2019). Europa verzeichnete in der Vergangenheit die höchste Rate bei der Fertigungsverlagerung ins Ausland (weitgehend Asien). Ein weiterer Grund für eine rückläufige Produktion in Europa ist der wachsende Anteil von Fabless-Unternehmen. Dagegen produzieren japanische und chinesische Firmen nahezu ausschließlich in ihren Heimatländern. Der Aufbau neuer Kapazitäten findet daher überwiegend in Asien – allen voran China, Taiwan und Südkorea und Japan<sup>1</sup> – statt. Mehr als die Hälfte der Kapazitäten für Leading-Edge-Technologien (< 25 nm) befinden sich in Taiwan und Südkorea. Dagegen ist Europas (und Deutschlands) Anteil an größeren Linienbreiten deutlich höher als ihr Gesamtanteil. Der Grund dafür liegt in Europas Spezialisierung im Bereich diskreter Leistungshalbleiter und Smart-Power-ICs (ZVEI 2018). Die ursprünglich geplanten Investitionen von Globalfoundries in den Aufbau der Produktionslinie für eine 7nm-Technologie in Deutschland wurden im Sommer 2018 wegen zu hoher Investitionskosten auf Eis gelegt. Stattdessen setzt das Unternehmen laut eigenen Angaben auf eine Differenzierungsstrategie, d. h. weg vom reinem „More Moore“ hin zu Miniaturisierung in Verbindung mit anwendungsoptimierten Prozessen.

Deutschland nimmt weltweit eine starke Position im Bereich multifunktionaler komplexer More-than-Moore-Technologien ein<sup>2</sup> (VDE 2014), deren Bedeutung für die deutsche Mikroelektronikbranche zunimmt (GTAI 2017/2018). Hervorzuheben ist die Schlüsselposition der deutschen Mikroelektronikbranche auf dem Gebiet der Leistungselektronik für verschiedene Anwendungen (vor allem Automotive, Industrie, Maschinen- und Anlagebau und Energie), Sensorik und Aktorik. Mit global gut aufgestellter Automobil-, Maschinen-, Anlagebau, Medizin und Energietechnik hat Deutschland wettbewerbsfähige Anwenderbranchen. Die Mikroelektronikbranche ist neben einigen

<sup>1</sup> Japan hat in der Vergangenheit einige seiner Produktionsstätte ins Ausland verlagert. Neuerdings werden von japanischen Firmen neue Fabs ausschließlich in ihrem Heimatland geplant und eingerichtet (ZVEI 2018).

<sup>2</sup> Die Aussage wurde im Rahmen der Befragung von vielen Experten bestätigt.

Großkonzernen stark von KMUs geprägt.<sup>1</sup> Weltweit hat Deutschland eine Schlüsselposition bei stromsparenden, energieeffizienten elektronischen Komponenten. Im Bereich elektronischer Bauelemente spezialisiert sich Deutschland vor allem auf Leistungshalbleiter, Hochfrequenz-Schaltungen, Analog- und Mixed-Signal-Schaltungen und mikroelektromechanische Systeme (MEMS). Deutsche Unternehmen sind darüber hinaus führend in der Photonik, d. h. der Erzeugung, Kontrolle, Messung und Nutzung von Licht in der Produktionstechnik, den Netzwerktechnologien, der Bildverarbeitung, Messtechnik, optischen Komponenten und Medizintechnik. Unternehmen in Europa, darunter eine hohe Anzahl von KMUs, sind Weltmarktführer im Bereich intelligenter Mikrosysteme, wie z. B. medizinischer Implantate oder MEMS-Sensorik und Hochfrequenztechnologien. Zu den weiteren wichtigen Schlüsselkompetenzen Deutschlands gehört die Systemkompetenz, welche das Beherrschen komplexer Elektroniksysteme, die aus Hardware und eingebetteter Software bestehen, umfassen (VDE 2014). Darüber hinaus gehört Deutschland zu den weltweit führenden Anbietern von Sondermaschinen und Anlagen für die Chipfabriken und Fertigungsstraßen für Mikroelektronikunternehmen sowie fortschrittlichen Automatisierungs- und Nachautomatisierungstechnologien für die Mikroelektronikbranche.

Aus dem „More Moore“-Bereich hat sich Deutschland weitgehend zurückgezogen. Hier spielt weiterhin lediglich die FuE eine wichtige Rolle, wie die Weiterentwicklung der Designfähigkeit.

#### 4.3.4.3 Rolle der KMUs

Aufgrund der sehr hohen Investitionskosten sind vor allem sehr große Mikroelektronik-Unternehmen in der Lage, diese zu tätigen und standardisierte Produkte wirtschaftlich zu produzieren. Dennoch sind in Deutschland auch die KMUs von großer Bedeutung für die Wettbewerbsfähigkeit der deutschen Mikroelektronikbranche, da sie verschiedene industrielle Anwender bedienen, die nicht-standardisierte, dafür aber spezialisierte und stark anwendungsspezifische Mikroelektronikprodukte benötigen. Insbesondere für die Anwendungen in der Industrie, Medizin und Automotive ist der Bedarf an anwendungsspezifischen Mikroelektronikprodukten groß. Diese Produkte werden in der Regel in geringen Mengen produziert und verkauft, sodass ihre Fertigung für große Unternehmen wirtschaftlich unattraktiv ist.

Viele von diesen KMUs zeichnen sich durch eine hohe Innovationsdynamik, gute Produktqualität und eine starke Exportorientierung aus. Im Außenraum sind sie häufig selten bekannt und werden deshalb als so genannte Hidden Champions bezeichnet (VDE 2014). Sie besetzen und etablieren sich in eher kleineren Marktnischen<sup>2</sup>. So spezialisiert sich eine Reihe von kleineren Unternehmen auf die Entwicklung von Schaltungsdesigns für die Autoindustrie und Maschinenbau. Des Weiteren sind viele KMUs aktiv im Bereich der Fertigung der Halbleiter auf kleineren Wafern für Spezialanwendungen, MEMS sowie Elektronikkomponenten, die meistens in kleinen bis mittleren Stückzahlen für spezialisierte Endanwender hergestellt werden.

Eine global wichtige Stellung nehmen die deutschen KMUs bei der Fertigung technischer Ausrüstung für die Halbleiterproduktion ein. Die technologisch bedeutsame und innovative Sensorikbranche wird in Deutschland auch stark von KMUs geprägt. Da Sensorik sich durch eine Vielfalt von verschiedenen Anwendungen auszeichnet und meistens keine großen Stückzahlen notwendig sind, können innovative KMUs erfolgreich diese Nische besetzen. Laut Expertenschätzungen gibt es in Deutschland in diesem

<sup>1</sup> <https://www.elektronikpraxis.vogel.de/trendanalyse-sensor-technologien-marktentwicklung-und-loesungen-a-768388/> (zuletzt geprüft am 19.06.2019).

<sup>2</sup> [https://www.nw.de/nachrichten/wirtschaft/22398671\\_Hidden-Champions-Meister-der-Nische.html](https://www.nw.de/nachrichten/wirtschaft/22398671_Hidden-Champions-Meister-der-Nische.html) (zuletzt geprüft am 12.03.2019).

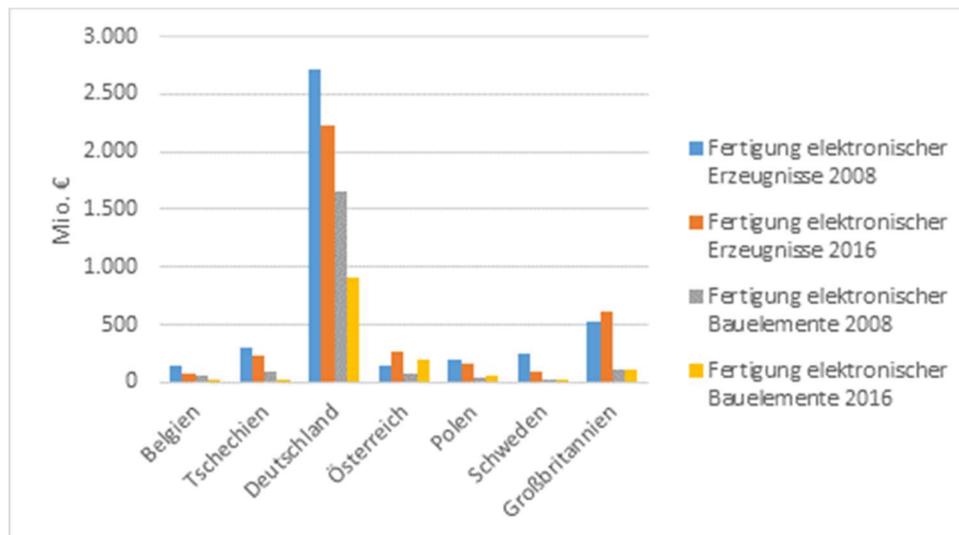
Bereich ungefähr 500 KMUs. Auch in diesen Marktsegmenten sind die deutschen KMUs im globalen Wettbewerb sehr gut aufgestellt.

### 4.3.5 Unternehmerische Aktivitäten

Im folgenden Abschnitt wird diskutiert, inwieweit in Deutschland Rahmenbedingungen geschaffen worden sind, die unternehmerische Aktivitäten und das unternehmerische Experimentieren im Bereich Mikroelektronik positiv beeinflussen und deutschen Unternehmen dabei helfen, sich im globalen Wettbewerb besser aufzustellen.

#### 4.3.5.1 Rahmenbedingungen für unternehmerische Aktivitäten

Der hohe Investitionsbedarf in immer kürzeren Abständen im Bereich der Mikroelektronik stellt einen erheblichen Kostenfaktor für die Branche dar. So liegt die Investitionsquote der elektronischen Bauelementbranche in Deutschland aktuell um ca. 40 Prozent<sup>1</sup> höher als die durchschnittliche Investitionsquote des verarbeitenden Gewerbes. Maschinen und Ausrüstungen, die für die FuE-Aktivitäten sowie Produktion moderner Mikroelektronik benötigt werden, sind sehr kostspielig, was zur Folge hat, dass KMUs und selbst große Unternehmen Schwierigkeiten haben, Neuinvestitionen zu stemmen. Dieses und ein sich zunehmend beschleunigender technologischer Wandel haben zur Folge, dass in Deutschland und Europa die Investitionen in die Halbleiter- als auch Elektronikproduktion rückläufig sind. Sie befinden sich auf einem deutlich niedrigeren Niveau als in China und den USA.<sup>2</sup> Tatsächlich zeigen die Daten, dass in Deutschland die Bruttoinvestitionen des privaten Sektors in Maschinen und Ausrüstungen für die Fertigung elektronischer Erzeugnisse im Jahr 2016 um etwa 18 Prozent und im Bereich Fertigung elektronischer Bauelemente um ca. 45 Prozent gegenüber 2008 zurückgingen<sup>3</sup> (Abbildung 9).



**Abbildung 9: Abbildung: Bruttoinvestitionen der Unternehmen in Maschinen und Ausrüstungen, Quelle: Eurostat**

<sup>1</sup> Berechnungen basieren auf den Eurostat-Daten, detaillierte jährliche Unternehmensstatistik: <https://ec.europa.eu/eurostat/data/database> (zuletzt geprüft am 12.03.2019).

<sup>2</sup> <https://www.wivo.de/unternehmen/it/wegen-konkurrenz-aus-china-apple-zulieferer-aus-oesterreich-fordert-staatliche-hilfe/21043086.html> (zuletzt geprüft am 12.03.2019).

<sup>3</sup> Die von der offiziellen Statistik erfassten Segmente „Elektronische Bauelemente und Leiterplatten“ und „Fertigung elektronischer Erzeugnisse“ umfassen eine Produktbreite, die über die Halbleiter- bzw. Mikroelektroniktechnologien hinausgeht. Da eine genauere Abgrenzung der Mikroelektronik in der offiziellen Statistik bisher nicht möglich ist, werden im Folgenden für die Abschätzungen einiger quantitativer Zusammenhänge diese beiden Segmente als Proxyindikatoren benutzt.

Aus diesen Gründen spielt die öffentliche Förderung eine zentrale Rolle für die Bereitschaft der Unternehmen, neue Investitionen zu tätigen. So wurde von den Mikroelektronikexperten und Industrievertretern weitgehend bestätigt, dass das Vorhandensein günstiger Rahmenbedingungen und Anreize, die die Investitionstätigkeit der Unternehmen unterstützen, die Investitionsbereitschaft der Unternehmen erheblich zu erhöhen vermag. Angesichts hoher Subventionen, die in den anderen Ländern getätigt werden, sind sie für Unternehmen zu einem wichtigen Wettbewerbsfaktor geworden. Abgesehen von der öffentlichen Unterstützung der Investitionstätigkeit der Unternehmen gibt es eine Reihe weiterer Faktoren, die ihre Investitionsaktivitäten und unternehmerische Aktivitäten beeinflussen.

Unternehmen richten ihre Investitionsentscheidungen zum großen Teil nach der Qualität der Standortbedingungen. Tatsächlich wurde auch von zahlreichen Experten bestätigt, dass attraktive Standortbedingungen ein entscheidender Faktor für die Bereitschaft der Unternehmen zu investieren und ihren unternehmerischen Erfolg sind. Diese werden vor allem mit erfolgreichen und dynamischen Clustern in Verbindung gebracht. Unternehmen siedeln sich bevorzugt dort an, um Vorteile der Standortfaktoren, lokale Ressourcen und Synergieeffekte oder Nähe zu ihren wichtigen Geschäfts- und Innovationspartnern nutzen zu können. Kooperationen innerhalb solcher Cluster tragen zur Verbesserung der Leistungsfähigkeit und Wettbewerbsfähigkeit der Unternehmen bei, da dadurch das Lernen ermöglicht und die Diffusion des neuen Wissens beschleunigt wird, was zu einem höheren Produktivitätswachstum führt und den Innovationsprozess begünstigt. Solche Cluster dienen als Magnete für qualifizierte Arbeitskräfte und Investitionen, da sie das Vorhandensein vorteilhafter Rahmenbedingungen für Wettbewerbsfähigkeit und bessere Ertragschancen signalisieren. Auch gibt es in Clustern einen verstärkten Austausch zwischen der Industrie und dem regionalen Bildungssektor, was einer besseren Anwendungsorientierung und stärkeren Berücksichtigung der Industriebedarfe im Rahmen der Hochschul- und Berufsschulausbildung zu Gute kommt. In Deutschland haben sich dank öffentlicher Förderung mehrere regionale Cluster mit Mikroelektronikfokus etabliert (siehe Abschnitt 4.1.3), die günstige Rahmenbedingungen für die Entwicklung der Branche im Allgemeinen und unternehmerische Aktivitäten bieten. Besonders attraktive Standortbedingungen für Mikroelektronik sind in Deutschland aber vor allem am Standort Silicon Saxony vorzufinden, die sich im Laufe der Zeit durch eine konsequente Cluster-Förderung entwickelt haben. In Interviews wurde von verschiedenen Stakeholdern, allen voran Unternehmen, mehrfach bestätigt, dass das Cluster Silicon Saxony für Unternehmen aus diesen Gründen ein bevorzugter Investitionsstandort ist.

Zu den Faktoren, die das Investitionsverhalten und wirtschaftliche Aktivitäten negativ beeinflussen, gehört der in Deutschland unzureichende Ausbau der digitalen Infrastruktur (vor allem der Mangel an flächendeckend verfügbarer Breitbandnetze). Im internationalen Vergleich fällt Deutschland auch beim Ausbau der 5G-Netze deutlich zurück. Die unzureichende digitale Infrastruktur ist ein Hemmnis für die wichtigsten Anwendungsfelder der Mikroelektronik, wie Internet der Dinge, Industrie 4.0 und Smart Energy, da sie eine effiziente Umsetzung mikroelektronikbasierter Systemlösungen in diesen für den künftigen Wettbewerb zentralen Applikationen wesentlich beeinträchtigt.

Mikroelektronikproduzierende Unternehmen haben einen hohen Strombedarf. Da die Stromkosten in Deutschland im internationalen Vergleich relativ hoch sind, betrachten die in Deutschland angesiedelten Unternehmen dies als einen erheblichen Wettbewerbsnachteil. Die hohen Stromkosten liegen vor allem an den Umlagen, Abgaben und der Stromsteuer, die in Deutschland höher als in anderen Ländern sind (Hintemann und Clausen 2018).

Die reinen Personalkosten als kostenseitiger Wettbewerbsfaktor spielen dagegen für Unternehmen eine immer weniger wichtige Rolle. Zurückzuführen ist dies auf die weltweit steigenden Gehälter für qualifizierte Fachkräfte und zunehmende Automatisierung im Bereich der Mikroelektronik. Somit haben für Unternehmen die rein faktorkostenbasierten Anreize, Produktionsstätte ins Ausland zu verlagern, deutlich abgenommen.

Aktuelle geopolitische Entwicklungen beeinflussen auf vielfältige Weise das operative und strategische Geschäft von global agierenden Unternehmen. Unternehmen werden zunehmend von internationalen (vor allem US-amerikanisch-chinesischen) Handelsstreitigkeiten betroffen und sehen ihre Unternehmensentwicklungen durch politische Eingriffe beeinträchtigt (z. B. durch Verhinderungen des Erwerbs von (Mehrheits-)Beteiligungen an einem als strategisch wichtig eingestuften Unternehmen). Auch macht den deutschen und europäischen Unternehmen die wachsende chinesische Konkurrenz zu schaffen, die dadurch verstärkt unter Wettbewerbsdruck geraten.

#### 4.3.5.2 FuE-Aktivitäten der Unternehmen

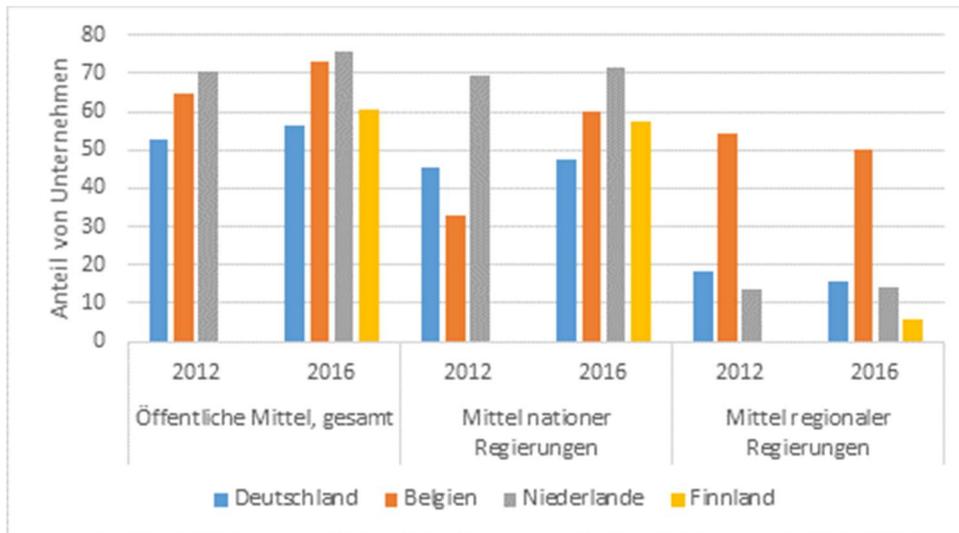
Die Halbleiterindustrie gehört zu einer der forschungsintensivsten Branchen (Boosting Electronics Value Chain in Europe 2018). Die Entwicklung von neuen Technologien im Elektronikbereich ist allgemein mit sehr hohen Investitionskosten verbunden.

Unternehmen finanzieren den Großteil ihrer FuE-Aufwendungen aus dem laufenden Geschäftsbetrieb. Dennoch wird die zusätzliche öffentliche Förderung der FuE-Aktivitäten von Unternehmen aus genannten Gründen als ein wichtiger Faktor für die eigene finanzielle Risikominimierung betrachtet. Insbesondere KMUs sind zunehmend auf die öffentliche Unterstützung angewiesen. Nach Aussagen der Industrievertreter eröffnet sich durch öffentlich finanzierte Forschungsprojekte für Unternehmen eine Möglichkeit, Forschungsthemen nachzugehen, die sie ohne Förderung nicht verfolgen könnten.

In realen Größen sind FuE-Investitionen der Unternehmen in Deutschland, die sich auf Fertigung von Elektronikzeugnissen spezialisieren, von 5,4 Mrd € im Jahr 2009 auf 6,4 Mrd € im Jahr 2016 um insgesamt 18 Prozent angestiegen.<sup>1,2</sup> Innerhalb der EU gehört Deutschland damit zu den Ländern mit den höchsten FuE-Aufwendungen des Unternehmenssektors. Nur in den Niederlanden (+ 54 %) und Österreich (+ 24 %) war das Wachstum höher. Im Bereich der Herstellung elektronischer Bauelemente erhöhten sich die FuE-Ausgaben der Unternehmen in Deutschland von 974 Mio € im Jahr 2009 auf ca. 1,2 Mrd im Jahr 2015, was einer Steigerungsrate von insgesamt 23 Prozent entspricht. Dabei steigt auch der Anteil der öffentlichen Finanzierung an Gesamtinvestitionen der Unternehmen in FuE kontinuierlich an. In der letzten Zeit profitieren in Deutschland immer mehr sich aktiv um Innovationen bemühende Unternehmen von der öffentlichen Förderung (Abbildung 10).

<sup>1</sup> Die Berechnungen basieren auf Daten vom Eurostat, Statistiken über Forschung und Entwicklung: <https://ec.europa.eu/eurostat/web/science-technology-innovation/data/database> (zuletzt geprüft am 12.03.2019).

<sup>2</sup> Im internationalen Vergleich war das Wachstum in diesem Zeitraum von Wettbewerbern China (um 140 %) und Südkorea (um 74 %) wesentlich höher.



**Abbildung 10: Anteil innovativer Unternehmen im Bereich Fertigung elektronischer Erzeugnisse, die öffentliche Förderung erhalten, Quelle: Eurostat, gemeinschaftliche Innovationserhebung (CIS)**

Von großem Vorteil ist für Unternehmen nach Einschätzung der Experten eine indirekte Förderung in Form steuerlicher Anreize (EFI 2019), da solche Förderung ihnen eine Planungssicherheit ermöglicht und einen erheblichen administrativen Aufwand erspart, der mit der Beantragung der Fördermittel verbunden ist. Insofern werden die jüngsten Bemühungen der Bundesregierung, ein Gesetz zur Einführung und Regelung der steuerlichen Forschungsförderung in Deutschland auf den Weg zu bringen, ausdrücklich begrüßt.

Die auf nationaler und europäischer Ebene vorhandenen, auf KMUs ausgerichteten öffentlichen Förderprogramme werden von den Experten als eine gute Basis zur Förderung von Innovationsaktivitäten des Mittelstands eingeschätzt. Diese Förderprogramme sind sehr wichtig für die Stärkung der Innovationsfähigkeit der KMUs und werden von diesen in der Regel intensiv genutzt. Allerdings betrachten die Befragten als problematisch, dass die Ausschreibungsbedingungen und die darauffolgenden Genehmigungsprozesse auf allen Ebenen zu aufwändig und langwierig sind und bei der Schnelligkeit der Entwicklungszyklen ein nicht unerhebliches Innovationshindernis darstellen. Im Bereich der Mikroelektronik, insbesondere bei der Ausrichtung auf zukunftsrelevante Anwendungen, wie Industrie 4.0, Unterhaltungselektronik, KI, sind die Innovationszyklen relativ kurz und dauern in der Regel etwa ein bis zwei Jahre. Die üblichen Vorlaufzeiten von öffentlich geförderten Forschungsprojekten sind mit einem Jahr und länger und der Laufzeit von drei Jahren dazu häufig inkompatibel. Ein vielfach identifiziertes Problem ist zudem die mangelnde Geschwindigkeit bei Entscheidungs- sowie Umsetzungsprozessen auf europäischer Ebene. So hat die Entscheidung in Bezug auf die Genehmigung und Umsetzung des Mikroelektronik-IPCEI's aus Sicht der Experten viel zu lange gedauert.

Neben dem bürokratischen Aufwand bei der Beantragung und Bearbeitung der öffentlich geförderten Projekte, der für Unternehmen, insbesondere für KMUs, eine große Herausforderung darstellt und diese sogar manchmal davon abschreckt, sich an Projekten zu beteiligen, werden Unternehmen mit weiteren Hemmnissen konfrontiert. So dauern nach der Aussage der Industrievertreter gerade kleinere Forschungsvorhaben mit schneller zu erreichenden Zielen bei Forschungseinrichtungen zu lange. Insofern werden von der Industrie eine Beschleunigung der Entwicklungsprozesse und eine

<sup>1</sup> Important Project of Common European Interest

größere Flexibilität bei FuE-Projekten gefordert. Kurzfristige Projekte sollten viel stärker möglich sein, da aufgrund beschleunigter Innovationszyklen in Mikroelektronik eine schnelle Reaktion sehr wichtig ist.

Ein weiteres Innovationshemmnis, welches vorwiegend die KMUs betrifft, ist der mangelnde Zugang zu den State-of-the-Art-Technologien und Fertigungsmöglichkeiten, die sie benötigen, um mit neuartigen Technologien zu experimentieren und diese zu vermarkten.

#### 4.3.5.3 Sicherung des Produktionsstandorts

Viele Experten wiesen darauf hin, dass die bisherigen Förderbemühungen sicherlich zur Verbesserung aktueller wirtschaftlicher Dynamik beitragen und einzelne Forschungsthemen vorantreiben; für eine Weiterentwicklung der Mikroelektronik in Deutschland im Sinne der Sicherung der globalen technologischen Spitzenposition des Landes wären sie jedoch nicht ausreichend.

Die Befragten waren sich einig, dass die bisherige nahezu ausschließliche Konzentration der Förderung auf FuE für den Mikroelektronikstandort Deutschland nicht ausreichend sei, da dieser ohne industrielle Möglichkeiten sein Potenzial nicht oder nur eingeschränkt entwickeln können werde. Die Experten wiesen zudem darauf hin, dass auch das Abstellen auf die FuE-Fähigkeit eines Landes bei der Definition der technologischen Führerschaft zu kurz greife. Sowohl die Gesprächspartner aus der Industrie als auch jene aus dem FuE-Sektor sind davon überzeugt, dass die technologische Führerschaft eines Landes nicht nur die Forschung und Entwicklung, sondern auch die Umsetzung wichtiger Technologien im Rahmen des eigenen Innovationssystems voraussetze.

Die Sicherung der Produktion im Mikroelektronikbereich ist aus verschiedenen Gründen wichtig (vgl. Wydra et al. 2010). Zum einen funktioniert die FuE am besten in direkter Umgebung zur Produktion. Damit innovative Entwicklungen in marktfähige Produkte umgesetzt werden können, ist eine enge Zusammenarbeit mit der Industrie von grundlegender Bedeutung, da sich viele FuE-Probleme erst in der Produktion lösen lassen und Lernprozesse bei der Überführung in die industrielle Nutzung wichtig sind. Zum anderen verliert Deutschland als industrieller Produktionsstandort und exportorientierte Volkswirtschaft, die auf die Umsetzung von Innovationen in marktgängige Produkte angewiesen ist, wesentliche Teile der Wertschöpfung, wenn lediglich die FuE in Deutschland und deren Umsetzung in marktfähige Produkte im Ausland erfolgt. Viele Befragte äußerten in diesem Zusammenhang die Befürchtung, dass beim Rückgang der Produktion in relevanten Technologiefeldern mittel- bis langfristig auch das Know-how in der dazugehörigen Forschung und Entwicklung verloren gehen dürfte. Tatsächlich konnte diese Entwicklung in der Vergangenheit nach Aussage der Experten mehrfach beobachtet werden (siehe auch Bengtsson 2001; Meixell et al. 2014).

Die Bundesregierung weist der digitalen Souveränität Deutschlands im Zeitalter der Digitalisierung eine zentrale Bedeutung zu, da diese für die „die Beherrschung von Schlüsselkompetenzen und -technologien“ (BMW 2015) eine wichtige Voraussetzung ist. Die fehlende Kontrolle über wichtige Teile der Wertschöpfungskette und die sich daraus ergebenden Sicherheitslücken bei strategisch entscheidenden und systemrelevanten Technologien sind für Volkswirtschaften mit unkalkulierbaren Risiken verbunden. Somit ist es zur Sicherung der digitalen Souveränität Deutschlands von grundsätzlicher Bedeutung, dass man Kontrolle über kritische Hardwarekomponenten und ihre Fertigung hat. In ihrem Bericht an die Europäische Kommission vom 19. Juni 2018 betonen die Vertreter der europäischen Mikroelektronikindustrie die Notwendigkeit der Souveränität der europäischen Elektronikkomponentenindustrie in strategisch wichtigen Sektoren, wie Luft- und Raumfahrt, Verteidigung und Sicherheit sowie in Schlüsselinfrastrukturen wie Stromnetzen, Verkehr, Wasser und Telekommunikation/Internet.

Zum anderen erhöhe die zunehmende Bedeutung von halb-/vollautonomen intelligenten Systemen den Bedarf an sicheren, und zuverlässigen Elektronikkomponenten, für die vertrauenswürdige Design- und Fertigungsquellen erforderlich sind. Aus Sicht der Industrievertreter sind auf europäischer Ebene zusätzliche Anstrengungen erforderlich, um ein Ökosystem zu schaffen, das alle Schritte von der Entwicklung der Technologien bis zur Herstellung innovativer, strategisch relevanter und vertrauenswürdiger Komponenten in Bereichen umfasst, in denen Souveränität für Europa von wesentlicher Bedeutung ist (Boosting Electronics Value Chain in Europe 2018). Viele Experten in Deutschland fordern unter Verweis auf diese Gründe bei Sicherheitstechnologien bzw. sicherheitsrelevanter Mikroelektronik eine konsequente Förderung der gesamten Wertschöpfungskette vom Chipdesign bis zur Fertigung. Dies schließt auch die Entwicklung und Fertigung eigener Kryptochips mit ein.<sup>1</sup> Vor dem Hintergrund einer zunehmend unsicheren geopolitischen Entwicklung halten es viele Experten für wichtig, dass Europa die Fähigkeit entwickelt, die kritischen Elemente eines technologisch fortschrittlichen Datenverarbeitungssystems eigenständig konzipieren und fertigen zu können. Dieses setzt jedoch eine sachliche Grundsatzdiskussion, begleitet von einer eingehenden Prüfung und Verständigung zwischen Politik und Sachverständigen darüber voraus, welche Technologien dabei als kritisch bzw. strategisch wichtig zu betrachten und deshalb besonders förderwürdig sind.

Viele Industrievertreter und Mikroelektronikexperten stellten heraus, dass die technologische Führerschaft Deutschlands und Europas bei Mikroelektronik ohne den Anschluss an die so genannten Leading-Edge-Technologien (Technologien zur Fertigung leistungsfähiger Chips auf Basis feinsten Strukturen, aktuell unter 10 nm) nicht gewährleistet werden könne. Hier sehen viele Mikroelektronikexperten auch angesichts der zunehmenden Bedeutung dieser Technologien für die in Zukunft strategisch besonders wichtigen Anwendungen, wie 5G, Internet der Dinge, autonomes Fahren, mikroelektronikbasierte Sicherheitssysteme und KI, ein erhebliches Hemmnis für das deutsche und europäische Innovationssystem. Außerdem ist eine zunehmende Abhängigkeit der deutschen und europäischen Unternehmen bei diesen kritischen Spitzentechnologien von nur wenigen nicht-europäischen Zulieferern<sup>2</sup> mit erheblichen Risiken verbunden. Vor diesem Hintergrund rufen viele Industrievertreter und FuE-Experten dazu auf, zu prüfen, inwieweit in Europa die Etablierung einer europäischen Foundry möglich wäre, durch die die europäischen Unternehmen einen zuverlässigen Zugang zu sicheren und vertrauenswürdigen Spitzentechnologien zur Fertigung von leistungsfähigen Halbleitern mit kleinsten Strukturbreiten erhalten können.

#### 4.3.5.4 Nutzung des Potentials neuartiger Technologien und Anwendungen

Die Zukunftsfähigkeit der Mikroelektronikbranche hängt davon ab, inwieweit die Unternehmen in der Lage sind, das Potenzial neuartiger Technologien und Anwendungen zu nutzen und in neue Produkte, Geschäftsideen bzw. -modelle umzusetzen. Darüber hinaus bieten Komponenten und Systeme für die neuen Anwendungen, wie autonomes Fahren, Industrie 4.0 und IK gute Gewinn- und Wachstumschancen, sodass zur Sicherung des wirtschaftlichen Erfolgs der Unternehmen unabdingbar ist, in neue Technologiesegmente einzusteigen bzw. ihre Unternehmensstrategie darauf auszurichten.

Bereits die in 2016 durchgeführte Studie zum Digitalisierungsfortschritt in der Elektroindustrie (Frietsch et al. 2016) hat gezeigt, dass die Digitalisierung in der Elektrotechnik- und Elektronikindustrie sowohl in der Umsetzung als auch in der strategischen Ausrichtung deutlich über dem Durchschnitt der deutschen Wirtschaft liegt. Tatsächlich ist die

<sup>1</sup> <https://www.vde.com/de/presse/pressemitteilungen/vde-fordert-staerkung-mikroelektronik-standort-europa> (zuletzt geprüft am 25.06.2019).

<sup>2</sup> Weltweit gibt es nur noch drei Auftragsfertiger, durch die der Zugang zu Leading-Edge-Technologien möglich ist: Samsung in Südkorea, TSMC in Taiwan und Intel in den USA.

Mikroelektronikbranche führend in der Anwendung digitaler Technologien und der Umsetzung der Industrie 4.0. Die Elektronik- und Mikroelektronikunternehmen in Deutschland sind stark automatisiert und vernetzt. Hohe Kapitalkosten veranlassten sie dazu, eigene Prozessabläufe in den letzten Jahren stärker zu automatisieren, zu vernetzen und mit der Robotertechnik auszustatten, um die eigene Wettbewerbsfähigkeit im globalen Vergleich zu verbessern. Eine Reihe von Unternehmen in Deutschland, wie Fabmatics, Xenon, Systema und AIS, spezialisieren sich auf Automatisierungstechnologien und schließen sich in Netzwerken zusammen, um auch komplexe Automatisierungsaufgaben gemeinsam bewältigen zu können.<sup>1</sup> In zahlreichen Unternehmen fallen durch ein hohes Maß an Vernetzung der Maschinen untereinander viele Daten an bzw. werden viele Daten erfasst, die ausgewertet werden müssen, um ihre Entwicklungs- und Fertigungsprozesse effizienter zu steuern und zu überwachen. Jedoch wurde von Unternehmensvertretern berichtet, dass dieses aufgrund eines massiven Mangels an (hoch)qualifizierten Fachkräften noch nicht zufriedenstellend erfolgen kann.

Für die Förderung der zukunftsorientierten Anwendungsfelder, wie Industrie 4.0 und autonomes Fahren gibt es sowohl auf der nationalen als auch europäischen Ebene bereits einige wichtige Förderansätze. In Interviews wurde weitgehend bestätigt, dass die meisten Unternehmen über aufkommende technologische Trends im Allgemeinen gut informiert sind. Dafür sorgen zahlreiche Diskussionen über neuartige Technologien und Anwendungen sowie Konferenzen und verschiedene Foren, wo viel darüber berichtet wird. Hier spielen insbesondere Netzwerke und Cluster eine wichtige Rolle, die verschiedene Informations- und Netzwerkveranstaltungen organisieren, um Unternehmen über neue Trends und Entwicklungen zu informieren sowie relevante Akteure zusammenzubringen. Um bestehende Schwierigkeiten und Unsicherheiten der KMUs bei neuen digitalen Technologien und Anwendungen und ihrer Umsetzung in konkrete Strategien und Geschäftsmodelle zu adressieren, wird den Unternehmen seitens der Regierung eine gezielte Unterstützung angeboten. So können die KMUs in Deutschland im Rahmen der Initiative „Mittelstand-Digital“ eine nutzenorientierte Unterstützung bei der digitalen Transformation ihrer Wertschöpfungsprozesse erhalten. Durch die Mittelstand-4.0-Kompetenzzentren, die ein zentraler Bestandteil der Initiative sind, werden den KMUs spezifische, auf individuelle Bedürfnisse der Unternehmen zugeschnittene kostenfreie Angebote zur Umsetzung der Industrie 4.0 zur Verfügung gestellt. Zudem ist zusätzlich ein neues Förderprogramm „Investitionszuschuss Digitalisierung im Mittelstand“ geplant, das KMUs bei der Generierung neuer Geschäftsmodelle unterstützen sollte. Mit dem Vorhaben „go-digital“ erhalten KMUs bis 100 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter finanzielle Förderung für externe Beratungs- und Umsetzungsleistungen in den Bereichen „Digitalisierte Geschäftsprozesse“, „Digitale Markterschließung“ und „IT-Sicherheit“ (Bundesregierung 2019b).

Allerdings stimmen die befragten Experten weitgehend überein, dass für die Förderung neuer Technologien für die zukunftsrelevanten Anwendungen weitaus höhere Investitionen und gezieltere Maßnahmen notwendig sind, um Produktentwicklungen zu ermöglichen, die anschließend in einer Wertschöpfungskette umgesetzt werden können. Von entscheidender Bedeutung für die Entwicklung neuer Technologien ist daher die Schaffung eines günstigen Ökosystems, welches diese Entwicklungen unterstützt und vorantreibt.

Im Zeitalter der KI gehört die KI-dedizierte Hardware zu den Schlüsseltechnologien, deren Beherrschung maßgeblich für die Wettbewerbsfähigkeit sein wird. Auch in der Mobilität wird die KI in Zukunft ein wichtiges Element der automatisierten Wertschöpfungskette

<sup>1</sup> <https://oiger.de/2018/08/02/auf-der-werbetrommel-steht-jetzt-industrie-4-0-statt-chipstadt-dresden/168914> (zuletzt geprüft am 25.06.2019).

sein<sup>1</sup>. Obwohl Deutschland bei der Forschung im Bereich KI-dedizierte Hardware gut aufgestellt ist, wurde dieses Potenzial bei der Umsetzung in praxisrelevante Konzepte und marktfähige Produkte nach Meinung der Experten bislang wenig genutzt. Aus Sicht der Experten sind dafür nicht nur FuE-Anstrengungen entscheidend, sondern auch eine konsequente Unterstützung bei der Überführung der FuE-Ergebnisse in die Praxis und das Vorantreiben einer KI-Anwenderindustrie. Zur Förderung der Überführung der FuE-Ergebnisse im KI-Bereich in die Praxis werden von Fachleuten gezielte Transferprojekte in Kooperation zwischen Forschung und Anwendung vorgeschlagen. Des Weiteren sollte in öffentlich finanzierten Forschungsprojekten die Umsetzung der FuE-Ergebnisse am Markt stärker berücksichtigt werden (Fraunhofer 2018).

Zunehmend wichtiger für den Erfolg der Mikroelektronik ist darüber hinaus die Integration der Hardware- und Software-Komponenten für eingebettete Systeme (embedded systems) und die Fähigkeit, Gesamtlösungen für Industrie 4.0 und Internet der Dinge anzubieten. Hierfür ist eine viel intensivere Zusammenarbeit als bislang entlang der Wertschöpfungskette und die Anpassung der Innovations- und Geschäftsstrategien von Unternehmen erforderlich.

#### 4.3.5 Unternehmensgründungen und Start-ups

Junge Unternehmen bzw. Unternehmensgründungen, die neue Technologien entwickeln und mit neuen Geschäftsideen experimentieren, spielen eine wichtige Rolle für die langfristige Branchendynamik. Dementsprechend kommt der Förderung der Unternehmensgründungen und Start-ups in vielen Ländern eine wichtige Rolle zu.

Die Zahl der Unternehmensgründungen<sup>2</sup> im Bereich Elektronik in Deutschland ist von 1426 im Jahr 2007, auf 876 im Jahr 2012 und auf 591 im Jahr 2016 kontinuierlich und in erheblichem Maße zurückgegangen. Diese Entwicklung ist im Wesentlichen auf die steigende Kapitalintensität und den hohen Investitionsbedarf, den mangelnden Zugang zur Finanzierung, insbesondere dem Venture Capital, und den fehlenden Zugriff auf die moderne technologische Infrastruktur zurückzuführen. Abgesehen davon fehlt vielen innovativen Gründern schlichthin der Zugang zu Informationen über passende Finanzierungsmöglichkeiten. Andererseits trägt eine konstant hohe Nachfrage nach hochqualifizierten Ingenieuren und eine gute Arbeitsmarktlage dazu bei, dass der Anteil der selbstständigen Ingenieure in den letzten Jahren systematisch abgenommen hat.<sup>3</sup>

Grundsätzlich können von Start-ups im Bereich Mikroelektronik kleinere innovative Nischen besetzt werden, die weniger kapital- und investitionsintensiv sind, wie Design- und Software-Entwicklung. Im Hardwarebereich ist der mangelnde Zugriff auf die nötige Technologie (d. h. Infrastruktur, Anlagen, Entwicklungstools) ein großes Markteintrittshindernis für kleine technologieorientierte Unternehmen. Neue Technologien, wie Entwicklung spezialisierter, KI-Prozesse unterstützender Hardware und Mikroelektroniktechnologien auf Basis neuartiger Materialien bieten sehr gute Wachstums- und Gewinnchancen auch für kleinere Unternehmen. Dementsprechend werden in vielen Ländern (vor allem in den USA, Israel, Großbritannien) diese Chancen aktuell auch zunehmend von innovativen Start-ups aufgegriffen. Auch in China erfolgt in den letzten Jahren eine intensive Förderung innovativer Start-ups im Halbleiterbereich (SEMI 2018). In Deutschland waren es bislang nur wenige Start-ups, die in diese neuen Markt- und Technologiesegmente einstiegen und ihr Potenzial nutzen konnten.

<sup>1</sup> <https://www.goingpublic.de/going-public-und-being-public/digitalisierung-in-der-automotive-branche-ki-wird-zentrales-element-der-wertschoepfungskette-sein/> (zuletzt geprüft am 29.04. 2019).

<sup>2</sup> Siehe: Eurostat, Strukturelle Unternehmensstatistik, Unternehmensdemographie: <https://ec.europa.eu/eurostat/web/structural-business-statistics/data/database> (zuletzt geprüft am 29.04. 2019).

<sup>3</sup> <https://www.elektroniknet.de/markt-technik/karriere/elektroingenieure-verdraengen-informatiker-wieder-155076.html> (zuletzt geprüft am 14.12.2018).

Die Bundesregierung reagierte auf die rückläufige Gründungsdynamik in der jüngsten Zeit mit der Entwicklung zusätzlicher maßgeschneiderter Förderangebote und gründungsfreundlicher Regelungen. Hierzu sollte die Förderung von Unternehmensgründungen und innovativen Start-ups in den nächsten Jahren schrittweise auf bis zu 150 Mio € pro Jahr erhöht werden. Des Weiteren sollten Netzwerke, Kompetenzzentren und Innovationslabore um technologie- und anwendungsfeldspezifische Instrumente zur Förderung von Gründungen erweitert und Spitzencluster hinsichtlich der Schaffung eines günstigen Umfelds für innovative Start-ups gestärkt werden (BMBF 2017, 2019a, Bundesregierung 2019b). In den letzten Jahren wurden die Förderprogramme darüber hinaus um gründerfördernde Beratungsangebote und Dienstleistungen erweitert, die den Start-ups unter anderem den Zugriff auf Infrastrukturen ermöglichen (BMBF 2019a, Bundesregierung 2019b). Im Bereich der Mikroelektronik erfolgt dies vor allem im Rahmen spezieller Leistungsangebote der FMD. Weitere Maßnahmen sind auf eine gezielte Unterstützung der Ausgründungen und Start-ups bei der Validierung und Vermarktung von Forschungsergebnissen und beim Einwerben von Venture Capital ausgerichtet (BMBF 2017, 2019). Zu den wichtigen Instrumenten der Gründerförderung zählen Programme, wie „EXIST“, „High-Tech Gründerfonds“, „Gründung-innovativ“, „INVEST – Zuschuss für Wagniskapital“ und die EIF-Programme für Wagniskapitalfinanzierungen (BMBF 2018, BMWi 2018a).

Die Möglichkeit, auf externe Technologien zurückgreifen zu können, ist von existentieller Bedeutung und für Neugründungen eine notwendige Voraussetzung. Die Experten sind sich darüber einig, dass die FMD hier eine zentrale Rolle als Enabler spielen kann, indem sie kleinen Unternehmen und Neugründungen den Zugriff auf die wichtige Forschungsinfrastruktur und Technologien sowie eine rasche und kosteneffiziente Übersetzung ihrer Ideen in konkrete innovative Produkte ermöglicht. Dadurch kann für die Start-ups und Neugründungen die Markteintrittsbarriere gesenkt werden.

Die jüngsten Bemühungen der Bundesregierung bei der Förderung innovativer Gründungen und Start-ups sind vielversprechend. Ihre konkreten Auswirkungen auf die Gründungs- und Innovationsdynamik werden sich jedoch erst in Zukunft beobachten lassen.

#### 4.3.5.6 Überführung der Forschungsergebnisse in die Praxis

Ein grundsätzliches Problem des deutschen Innovationssystems ist seine unzureichende Fähigkeit, FuE-Ergebnisse erfolgreich in die industrielle Praxis bzw. kommerzielle Nutzung zu überführen. Auf die Problematik des so genannten „Tal des Todes“, in der sich Schlüsseltechnologien in Deutschland und Europa befinden, d. h. einer Kluft zwischen wettbewerbsfähigen FuE-Ergebnissen und ihrer Überführung in die Praxis und die Notwendigkeit ihrer Überwindung mit Hilfe konsequenter Maßnahmen, machen immer wieder Sachverständige aufmerksam (z. B. High Level Expert Group on KETs 2015). Die Ursache dafür wird in der schwachen Unterstützung der Markteinführung von Innovationen gesehen, die in anderen Ländern, wie China, USA, Japan und Taiwan gezielter gefördert wird. Laut Aussagen der befragten Industrievertreter besteht noch ein erheblicher Handlungsbedarf bei der Förderung der Umsetzung der FuE-Ergebnisse in die kommerzielle Nutzung. Dies betrifft sowohl allgemein die Überwindung des „Tals des Todes“ als auch die Geschwindigkeit, mit der in Deutschland innovative Lösungen in marktfähige Produkte umgesetzt werden.

Grundsätzlich sind in Deutschland und Europa Möglichkeiten vorhanden, Anschubfinanzierungen für die Initialphase zu erhalten. Mit öffentlichen Programmen, wie KMU-Innovativ oder das Zentrale Innovationsprogramm Mittelstand (ZIM) wird versucht, gezielt auf die Bedürfnisse von KMUs einzugehen. Nach der Aussage der Industrievertreter gestaltet sich in Deutschland und Europa dagegen die Förderung der Wachstumsphase viel schwieriger. Unternehmen wären sehr häufig mit dem „Problem der

Durststrecke“, d. h. mangelnder Finanzierung bei der Skalierung vom Prototyp zur kommerziellen Serienfertigung und dem Übergang von Initial- zu Wachstumsphase konfrontiert. Das würde vor allem radikale, häufig stark anwendungsspezifische Produktneuerungen betreffen, die potenziellen Anwendern noch nicht bekannt sind und Investitionen in ihre kommerzielle Serienfertigung für Unternehmen deshalb mit größeren Unsicherheiten und Risiken verbunden sind.

Möglichkeiten zur Investitionsförderung in Deutschland sind vor allem für die Unterstützung der KMUs und Start-ups vorgesehen (BMW i 2016). Auch ist es für die KMUs möglich, bei der Umsetzung innovativer Technologien<sup>1</sup> in marktfähige Produkte im Rahmen einzelner Fördermaßnahmen unterstützt zu werden. Außerdem gibt es auf der Ebene einzelner Bundesländer einige Förderinstrumente zur Förderung der Markteinführung von KMUs, jungen Unternehmen und Start-ups. So wird für die Markteinführung innovativer Produkte vom Freistaat Sachsen den KMUs und Start-ups mit Sitz in Sachsen finanzielle Förderung in Form von Zuschüssen bis zu 150.000 € und Darlehen bis zu 500.000 € gewährt.<sup>2</sup> Für die spätere Wachstumsphase stehen jungen Unternehmen Wagniskapitalangebote des ERP-Sondervermögens (European Recovery Program) zur Verfügung, die die KfW gemeinsam mit dem Europäischen Investitionsfonds anbieten (BMBF 2018). Das Ziel der neuen „Tech Growth Fund“-Initiative der Bundesregierung ist es, innovativen Unternehmen in der Wachstumsphase den Zugang zu den sogenannten Venture-Debt-Finanzierungen zu ermöglichen. Die „Tech Growth Fund“-Initiative besteht aus mehreren Modulen, die verschiedene Aspekte der Wagniskapitalfinanzierung adressieren. Die Förderung erfolgt in Zusammenarbeit mit der KfW, der Europäischen Investitionsbank (EIB) und dem Europäischen Investitionsfonds (EIF) (BMW i 2018a).

#### 4.3.5.7 Nachfragefördernde Maßnahmen

Nachfragefördernde Instrumente können erheblich zu einer positiven Marktentwicklung beitragen und Innovationen fördern (vgl. Edquist et al. 2015, OECD 2011). Beispielsweise spielten die nachfragestimulierenden Maßnahmen eine entscheidende Rolle bei der Entwicklung und Diffusion neuer umweltfreundlicher Energietechnologien in Deutschland (Rogge et al. 2015) und anderen Ländern. Für den Erfolg vieler Hochtechnologiecluster, wie z. B. Silicon Valley, war die öffentliche Nachfrage sehr wichtig. So hat zum Beispiel die US-Regierung eine lange Zeit innovative Technologien im Bereich der Mikroelektronik in Auftrag gegeben und dafür erhebliche Mittel zur Verfügung gestellt. Dagegen haben gezielte markt- bzw. nachfragestimulierende Instrumente bei der Förderung der Mikroelektronik in Deutschland und Europa bislang keine Rolle gespielt. Allerdings profitiert die Mikroelektronikbranche indirekt durch die Maßnahmen zur Unterstützung der Energiewende, E-Mobilität und des Netzausbaus, die eine steigende Nachfrage nach elektronischen Bauelementen und Leistungselektronik zur Folge hat. Dass in Deutschland und Europa eine direkte nachfrageorientierte Förderung innovativer und strategisch bedeutender Mikroelektroniktechnologien nicht stattfindet, betrachten die Befragten als eine Schwachstelle und einen klaren Nachteil gegenüber den Ländern, die solche Förderung seit geraumer Zeit praktizieren. Insbesondere sehen die Mikroelektronikexperten einen dringenden Handlungsbedarf bei der Förderung strategisch besonders relevanter mikroelektronikbasierter Technologien, wie der Sicherheitstechnologien.

<sup>1</sup> Wie, zum Beispiel, IT-Sicherheitslösungen (BMBF 2019a).

<sup>2</sup> <http://www.foerderdatenbank.de/Foerder-DB/Navigation/Foerderrecherche/suche.html?get=views;document&doc=9571> (zuletzt geprüft am 12.06.2019).

Im Folgenden wird dargestellt, inwieweit im Innovationssystem Ressourcen vorhanden sind, die notwendig sind, um für die Mikroelektronik relevantes neues Wissen generieren, es in konkrete Technologien umsetzen sowie diese effizient anwenden zu können.

#### 4.3.6.1 Finanzierung

Der schnelle technologische Wandel und intensive globale Wettbewerb im Mikroelektronikbereich erfordern eine ständige Aktualisierung der technologischen Ausrüstung und Investitionen in aufkommende Technologien und FuE. Der Investitionsbedarf für eine neue Halbleiterfabrik wächst mit jeder Technologiegeneration und beträgt aktuell mehrere Milliarden Euro (Boosting Electronics Value Chains in Europe 2018).

In vielen Ländern – allen voran China<sup>1</sup>,<sup>2</sup> Japan<sup>3</sup>, Singapur, Taiwan<sup>4</sup> und Südkorea<sup>5</sup> – wird die Mikroelektronikbranche von staatlicher Seite stark subventioniert und anderweitig unterstützt, was zu Verzerrungen im globalen Wettbewerb führt (vgl. Lewis 2019; BMWi 2018b). Auch in den USA werden von einzelnen Bundesstaaten verstärkt öffentliche Mittel eingesetzt, um die Ansiedlung von Halbleiterfabriken dort zu begünstigen.<sup>6</sup> Seit 2014 wurden vom chinesischen Staat Investitionen in dreistelliger Milliardenhöhe getätigt, um eine wertschöpfungsintensive Produktion von leistungsfähigen Halbleitern aufzubauen und das Land von Importen der Halbleitertechnologie unabhängig zu machen. Bis 2018 investierten chinesische Firmen insgesamt 103,5 Mrd US\$ in den Aufbau neuer Fertigungslinien.<sup>7</sup> Für den Zeitraum 2015-2020 sind von der chinesischen Regierung Investitionen in Höhe von ca. 118 Mrd US\$ in die heimische Halbleiterindustrie vorgesehen (Lewis 2019).

Auch in den USA werden massive öffentliche und private Investitionen in die Mikroelektronik getätigt. So sind vom Pentagon in den Jahren 2019-2023 Investitionen in Höhe von 2 Mrd US\$ zur Förderung von Mikroelektronik-Innovationen im Sicherheits- und Verteidigungsbereich geplant.<sup>8</sup> Vor dem Hintergrund der Förderoffensive in China werden in den USA die Stimmen aufseiten der Industrie immer lauter, öffentliche Investitionen in die halbleiterrelevanten Bereiche deutlich zu erhöhen und die Branche noch stärker zu unterstützen, um die internationale Spitzenposition nicht zu verlieren (vgl. SIA 2019). Aktuell investiert die US-Regierung ca. 1,5 Mrd US\$ jährlich in Forschungsprogramme, die sich speziell auf die Förderung der Halbleiterindustrie konzentrieren (ebd.). Angesichts

<sup>1</sup> [https://www.golem.de/news/halbleiter-china-pumpt-47-milliarden-us\\$-in-eigene-chip-industrie-1805-134314.html](https://www.golem.de/news/halbleiter-china-pumpt-47-milliarden-us$-in-eigene-chip-industrie-1805-134314.html) (zuletzt geprüft am 29.04.2019).

<sup>2</sup> <https://www.nextbigfuture.com/2019/02/semiconductor-race-and-parity-is-key-to-global-technological-competition.html> (zuletzt geprüft am 29.04.2019).

<sup>3</sup> <https://asia.nikkei.com/Economy/Japan-to-pump-funding-into-AI-chip-development> (zuletzt geprüft am 29.04.2019).

<sup>4</sup> [https://www.handelsblatt.com/today/opinion/semiconductors-free-chips-for-every-one/23570588.html#w\\_t=2156275886649792473&wt\\_t=1564580998828](https://www.handelsblatt.com/today/opinion/semiconductors-free-chips-for-every-one/23570588.html#w_t=2156275886649792473&wt_t=1564580998828) (zuletzt geprüft am 29.04.2019).

<sup>5</sup> [http://world.kbs.co.kr/service/contents\\_view.htm?lang=g&board\\_seq=362054](http://world.kbs.co.kr/service/contents_view.htm?lang=g&board_seq=362054) (zuletzt geprüft am 29.04.2019).

<sup>6</sup> [https://www.handelsblatt.com/today/opinion/semiconductors-free-chips-for-every-one/23570588.html#w\\_t=2156275886649792473&wt\\_t=1564580998828](https://www.handelsblatt.com/today/opinion/semiconductors-free-chips-for-every-one/23570588.html#w_t=2156275886649792473&wt_t=1564580998828) (zuletzt geprüft am 29.04.2019).

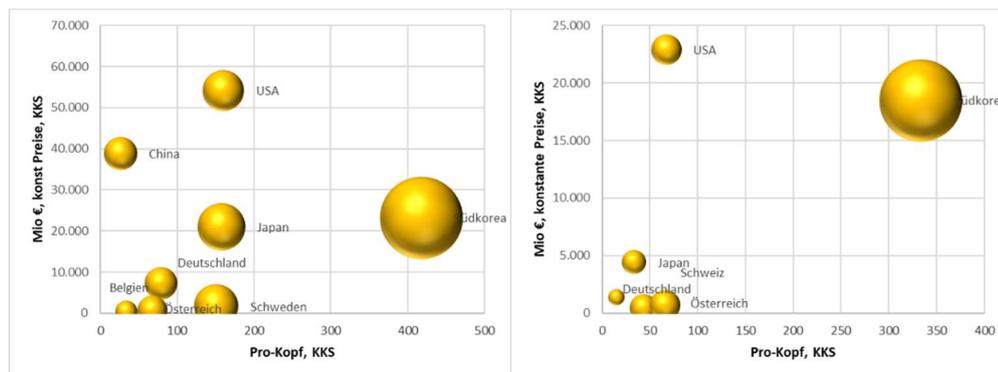
<sup>7</sup> <https://www.elektroniknet.de/markt-technik/halbleiter/china-investiert-am-meisten-154986.html> (zuletzt geprüft am 29.04.2019).

<sup>8</sup> <http://www.nationaldefensemagazine.org/articles/2018/6/14/official-pentagon-investing-billions-into-micro-electronics> (zuletzt geprüft am 29.04.2019).

wachsender handelspolitischer Spannungen zwischen den USA und China erwarten die Experten sowohl aufseiten von China als auch von den USA eine massive Erhöhung der Investitionen in Mikroelektronik, um eine technologische Unabhängigkeit in diesem Bereich zu erlangen.<sup>1</sup>

Nach Angaben des IC Insights' Strategic Review, investieren US-amerikanische Mikroelektronikkonzerne einen immer größeren Teil ihres Umsatzes in FuE, um ihre Marktführerschaft zu behaupten. So betragen 2017 die FuE-Investitionen von Intel 21,1 Prozent (13,1 Mrd US\$), von Qualcomm 20,2 Prozent (3,5 Mrd US\$) und von Nvidia 23 Prozent (1,8 Mrd US\$) ihres jeweiligen Umsatzes. Auch viele asiatische Unternehmen erhöhen massiv ihre FuE-Ausgaben. Von 2016 auf 2017 steigerte beispielsweise Samsung seine FuE-Investitionen um 19 Prozent auf 3,4 Mrd US\$ und TSMC um 20 Prozent auf 2,7 Mrd US\$.<sup>2</sup> Laut IC Insights sind es vor allem US-amerikanische und asiatische Unternehmen, die mit Abstand die höchsten FuE-Investitionen im Halbleitersbereich leisten. In China sind die FuE-Investitionen des Unternehmenssektors in der Fertigung elektronischer Erzeugnisse von 14,1 Mrd € im Jahr 2008 auf ca. 40 Mrd € im Jahr 2016 um insgesamt 183 Prozent gestiegen. Im Gegensatz dazu lagen die entsprechenden FuE-Ausgaben in Deutschland 2016 nur 5 Prozent höher als 2008. In einigen anderen europäischen Ländern, wie Österreich, Frankreich und den Niederlanden, ist dieses Wachstum höher als in Deutschland, jedoch deutlich schwächer im Vergleich zu China und Südkorea ausgefallen.

Die FuE-Investitionen Deutschlands und anderer europäischer Länder in Fertigung elektronischer Erzeugnisse sowie elektronischer Bauelemente und Leiterplatten sind im Vergleich zu den Wettbewerbern Südkorea, den USA, Japan und China sowohl in absoluten als auch relativen Größen deutlich geringer (Abbildung 11). Die Investitionen der in Deutschland angesiedelten Unternehmen in elektronische Bauelemente und Leiterplatten sind im internationalen Vergleich besonders gering (Abbildung 11, rechts).



**Abbildung 11. FuE-Investitionen der Unternehmen im Jahr 2015.**

**Links: im Bereich „Fertigung elektronischer Erzeugnisse“. Rechts: „Elektronische Bauelemente und Leiterplatten. Die Größe der Blasen entspricht dem prozentualen BIP-Anteil, Quelle: Eurostat.**

Am 18. Dezember 2018 wurde von der Europäischen Kommission das Projekt zur Förderung von Forschung und Innovation der Mikroelektronik in Frankreich, Deutschland, Italien und Großbritannien als Vorhaben von gemeinsamem europäischen Interesse (IPCEI)

<sup>1</sup> <https://www.dw.com/de/wirtschaftliches-wettr%C3%BCsten-zwischen-usa-und-china-wird-weitergehen/a-49440163> (zuletzt geprüft am 29.04.2019).

<sup>2</sup> <https://oiger.de/2018/02/19/6-mehr-ausgaben-fuer-mikroelektronik-forschung/166866> (zuletzt geprüft am 29.04.2019).

in Höhe von 1,75 Mrd € genehmigt. Den höchsten Förderanteil – bis zu 820 Mio € – erhalten die Teilnehmer aus Deutschland. Die öffentliche Förderung sollte weitere ca. 3 Mrd € an privaten Investitionen mobilisieren.

Die befragten Experten halten die jüngsten Investitionsbemühungen der Bundesregierung<sup>1</sup> (siehe Abschnitt 4.1.2) für einen wichtigen und dringlichen Schritt in die richtige Richtung. Die öffentliche Förderung wird als ein wesentlicher Katalysator betrachtet, die ein Vielfaches an privaten Investitionen nach sich zieht. Nach der Aussage der Befragten sind solche Investitionsbemühungen dringend notwendig, um das eigene Innovationssystem im Umfeld der sich intensivierenden globalen Konkurrenz zu stärken. Vor dem Hintergrund der Größenordnungen öffentlicher Investitionen und Fördermaßnahmen in Asien und den USA, reichen diese aus Sicht der befragten Mikroelektronikexperten und Unternehmensvertreter nicht aus, um die deutsche und europäische Mikroelektronik für den globalen Wettbewerb angemessen zu rüsten. Der globale Subventionswettbewerb im Mikroelektronikbereich ist einer der Gründe für eine verringerte Investitionsbereitschaft bzw. stärkere Abhängigkeit der Investitionsbereitschaft hiesiger Unternehmen von einer öffentlichen Förderung.

#### 4.3.6.2 Fachkräftesituation

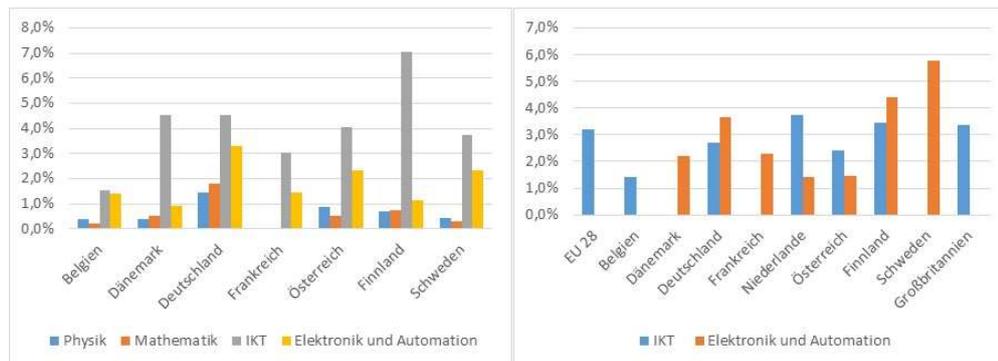
Der seit einigen Jahren zu beobachtende Fachkräftemangel stellt ein ernsthaftes Problem für die Wettbewerbsfähigkeit der Mikroelektronikbranche in Deutschland dar. So wird es für Unternehmen trotz eines überdurchschnittlichen Wachstums der Gehälter für Elektrotechnikingenieure und zunehmenden Such- und Anwerbungsaufwands immer schwieriger, offene Stellen zu besetzen. Diese Problematik verschärft sich in Zeiten einer guten Konjunktur weiter. Aktuell dauert die Suche nach qualifizierten Fachkräften teilweise zwischen sechs und acht Monaten.<sup>2</sup> Insbesondere die kleineren und mittelständischen Unternehmen haben damit ein immer größeres Problem. Das betrifft sowohl die Berufe, die ein Studium voraussetzen, als auch jene, die eine Berufsausbildung erfordern. Nach Aussage des stellvertretenden Vorsitzenden des VDE-Fachausschusses „Studium, Beruf und Gesellschaft“, Thomas Hegger, ist die Situation bei der Besetzung von Facharbeiterpositionen im elektrotechnischen Bereich teilweise noch schwieriger. Experten gehen davon aus, dass sich die Lücke in den nächsten Jahren weiter vergrößern wird: Nach einer Studie des Instituts der deutschen Wirtschaft und des VDE dürften dem deutschen Arbeitsmarkt in den nächsten zehn Jahren bis zu 100.000 Elektrotechnikingenieure fehlen (Koppel 2018).

In den Interviews wurde bekräftigt, dass aktuell dringend Spezialisten sowohl im Fertigungs- als auch im Designbereich (Analog- und Hochfrequenzdesign) sowie Fachkräfte mit Systemkompetenzen benötigt werden. Insbesondere vor dem Hintergrund der zunehmenden Automatisierung und der Notwendigkeit, digitale Daten zu verarbeiten, melden die betroffenen Unternehmen große Schwierigkeiten, ausreichend qualifizierte Fachkräfte im Softwarebereich, für Data Analytics und KI zu bekommen. So kann der wachsende Bedarf an Fachkräften mit Software- und Datenanalytik-Kenntnissen in Kombination mit dem Domänenwissen im Mikroelektronik- bzw. Halbleiterbereich derzeit nur sehr eingeschränkt gedeckt werden.

<sup>1</sup> Die Aussage bezieht sich auf öffentliche Investitionen der Bundesregierung für den Zeitraum 2016-2020. Diese betreffen vor allem die öffentliche Förderung der Mikroelektronik-FuE in Höhe von ca. 400 Mio € und weitere ca. 400 Mio € für das Investitionsprogramm für die Mikroelektronikforschung (FMD und ForLAB) sowie IPCEI und die Finanzierung von EU-Programmen.

<sup>2</sup> <https://www.mdr.de/wissen/hightech-standort-mitteldeutschland-100.html> (zuletzt geprüft am 10.12.2018).

Die Ursachen für den sich verschärfenden Fachkräftemangel sind vielfältig. In Deutschland und Europa entscheidet sich die Mehrheit der Abiturienten für ein Studium der Geistes-, Kultur- und Sozialwissenschaften. Im EU-Durchschnitt gehen kumulativ 54 Prozent und in Deutschland 52 Prozent aller Abschlüsse im tertiären Bereich auf diese Fachrichtungen zurück. Der Anteil der Abschlüsse in MINT-Fächern ist dagegen viel geringer: 26 Prozent im EU-Durchschnitt und ca. 36 Prozent in Deutschland.<sup>1</sup> Abbildung 12 zeigt, dass Deutschland im europäischen Vergleich hinsichtlich des Anteils an Abschlüssen in den für die Mikroelektronik relevanten Fachrichtungen zwar nicht schlecht dasteht, diese jedoch gemessen an der Gesamtanzahl aller Abschlüsse nur einen geringen Prozentsatz ausmachen.



**Abbildung 12: Anteil der Abschlüsse gemessen an Gesamtanschlüssen in 2016. Links: im gesamten tertiären Bereich (Stufen 5-8). Rechts: Anteil berufsbildender Abschlüsse im Sekundarbereich, Quelle: eigene Berechnungen auf Basis der Daten von Eurostat**

Besorgt äußerten sich die Befragten über die im OECD-Vergleich niedrigen Bildungsausgaben Deutschlands<sup>2</sup>. Vielfach machten die Befragten zudem auf das aus ihrer Sicht allgemeine Absinken des Bildungsniveaus aufmerksam. Hier wirken sich die Versäumnisse der Vergangenheit aus. Angesichts der beschleunigten Innovationsdynamik, einer zunehmenden Komplexität und Interdisziplinarität<sup>3</sup> werden Systemverständnis, Problemerkennungs- und Problemlösungskompetenz, Kreativität und die Fähigkeit, sich in neue Themen und Aufgabenstellungen einzuarbeiten zu können, immer wichtiger. All diese Fähigkeiten werden von Unternehmen mit Elektronik- bzw. Elektrotechnikfokus dringend benötigt. Gerade in Bereichen, wie autonomes Fahren, Industrie 4.0 und künstliche Intelligenz, sind diese Kompetenzen grundlegend und für die Entwicklung technischer Systeme unabdingbar.

Jedoch beobachten viele Experten nach eigenen Angaben seit mindestens zehn Jahren eine abnehmende Problemlösungs- und Systemkompetenz der deutschen Hochschulabsolventen: Die Unternehmensvertreter beklagen einen Mangel an tiefgründigem physikalisch-mathematischem Verständnis bei vielen Absolventen. Die Gründe dafür werden vielfach in herabgesetzten Anforderungen an die Hochschulzugangsvoraussetzungen (Abitur, Fachabitur) gesehen, die in den letzten Jahrzehnten systematisch zu Gunsten steigender Absolventenzahlen gesenkt wurden. Dadurch werden die für das Studium erforderlichen Kenntnisse, vor allem in Mathematik und Physik, nicht mehr ausreichend

<sup>1</sup> Berechnungen beziehen sich auf Daten von Eurostat: Statistik über Bildung und Weiterbildung von 2016. <https://ec.europa.eu/eurostat/web/education-and-training/data/database> (zuletzt geprüft am 10.12.2018).

<sup>2</sup> <https://data.oecd.org/eduresource/public-spending-on-education.htm> (zuletzt geprüft am 10.12.2018).

<sup>3</sup> Für die moderne Mikroelektronik ist die interdisziplinäre Verschränkung von Physik, Ingenieurwissenschaften, Elektrotechnik und Informatik charakteristisch.

vermittelt. Aus Sicht der Befragten bringen Studienanfänger häufig nicht die inhaltlichen Voraussetzungen für ein erfolgreiches Studium mit. Die unzureichenden Vorkenntnisse in Mathematik und Physik gelten als zentrale Gründe für das häufige und frühe Scheitern der Studierenden und die hohen Studienabbruchsquoten in den für die Mikroelektronik relevanten Fächern<sup>1</sup>. Zudem wiesen viele Gesprächspartner darauf hin, dass der seit vielen Jahren bestehende Trend zu Spezial- und Kombinationsstudiengängen in der Regel mit einem abnehmenden Grundlagewissen und reduzierten analytischen Fähigkeiten einhergeht.

Mit dem aktuellen Bund-Länder-Programm wird bereits versucht, die Hochschulen bei der Verbesserung der Studienbedingungen und Qualität der Lehre zu unterstützen. Die Maßnahmen zielen unter anderem darauf ab, die Betreuungssituation von Studierenden, z. B. durch spezielle Mentoringprogramme, im MINT-Bereich zu verbessern (MINT-Aktionsplan des BMBF (2019b)).

Außerdem sind sowohl auf der Bundes- als auch auf regionalen Ebene (vor allem in regionalen Clustern) einige Initiativen zur Stärkung des Interesses der Kinder und Jugendlichen an MINT-Berufen und zur Erhöhung ihrer Attraktivität vorhanden (MINT-Aktionsplan des BMBF (2019b)). Dennoch fehlen in Deutschland nach Einschätzung der befragten Experten weiterhin öffentlichkeitswirksame Informationskampagnen, die den Nutzen der Elektronik verdeutlichen und den gesellschaftlichen Status sowie die Anerkennung dieser Berufe zu verbessern helfen. Entscheidend ist nach Ansicht der Mikroelektronikexperten, dass neben der Förderung der MINT-Fächer Kindern und Jugendlichen frühzeitig persönliche Perspektiven und berufliche Entwicklungsmöglichkeiten aufgezeigt werden.

Die Problematik des Fachkräftemangels wird nach Aussage vieler Befragten auch dadurch verschärft, dass immer mehr hochqualifizierte Fachkräfte und junge Talente ins Ausland gehen, wo sie ihr Potenzial besser realisiert sehen sowie attraktivere Lebensbedingungen und Karriereperspektiven vorfinden.

Um dem Fachkräftemangel entgegenzuwirken bzw. qualifizierte Fachkräfte anzulocken, bieten Unternehmen besondere Leistungen an und führen verschiedene Maßnahmen durch. Zu diesen gehören freiwillige Sozialleistungen sowie verschiedene Recruitingmaßnahmen, wie die Teilnahme an Absolventenkongressen, Angebot an Praktika und die Möglichkeit, in Kooperationen mit Hochschulen Abschlussarbeiten zu absolvieren. Allerdings erfordert dies zusätzliche Ressourcen, die sich eher größere als kleinere Unternehmen leisten (können).

Bei der Bekämpfung des Fachkräftemangels spielen in Deutschland Cluster eine wichtige Rolle, indem sie diverse Schulungs- und Weiterbildungsmaßnahmen sowie Informationskampagnen zur Erhöhung der Attraktivität von spezifischen Berufen unter Kindern und Jugendlichen im Allgemeinen und Mädchen im Besonderen anbieten. Um mehr Mädchen und junge Frauen für eine Ausbildung oder ein Studium in den MINT-Fächern zu gewinnen, wurden vom BMBF spezielle Projekte und Initiativen ins Leben gerufen. Zu den zentralen Maßnahmen zählen die Durchführung des bundesweiten jährlichen Girls' Day, MINT-Angebote mit Schwerpunkt auf der Förderung von Schülerinnen, der Nationale Pakt für Frauen in MINT-Berufen „Komm, mach MINT“ und „Erfolg mit MINT – Neue Chancen für Frauen“ (MINT-Aktionsplan des BMBF (2019b)). Vom Clustermanagement werden regelmäßig Veranstaltungen und berufsbegleitende Weiterbildungsangebote organisiert, die Kontakte und den Austausch zwischen der In-

<sup>1</sup> So beträgt die aktuelle Abbruchquote von Studierenden in der Fachrichtung Elektrotechnik um die 60 %: <https://www.faz.net/aktuell/wirtschaft/ingenieur-mangel-digitale-welt-braucht-mehr-elektroingenieure-15887189.html> (zuletzt geprüft am 10.12.2018).

dustrie und Hochschulen bzw. Studierenden fördern. Des Weiteren tragen in Deutschland Wettbewerbe wie „INVENT a CHIP“ und „LABS for CHIPS“ positiv zur Mobilisierung der Humanressourcen und Nachwuchsförderung im Bereich der Mikroelektronik bei (siehe Box 2).

**Box 3: Wettbewerbe „Invent a Chip“ und „Labs for Chips“**

**INVENT a CHIP** ist ein jährlich stattfindender Wettbewerb zur Entdeckung und gezielter Förderung junger Talente im Bereich Mikroelektronik, der gemeinsam vom VDE Verband der Elektrotechnik, Elektronik und Informationstechnik e.V. und dem Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) mit Unterstützung von zahlreichen Unternehmen organisiert und finanziert wird. Die wissenschaftliche Betreuung des Wettbewerbs erfolgt durch das Institut für Mikroelektronische Systeme der Leibniz Universität Hannover.

Die Teilnahmeberechtigten sind Schüler aus den Klassenstufen 8 bis 13. Während der ersten Runde des Wettbewerbs müssen die Teilnehmer Fragen rund um das Thema Mikroelektronik beantworten und können dabei Preise gewinnen. In der zweiten Runde können Ideen der Schüler zur Chipentwicklung eingereicht werden. Die Urheber von zwölf besten Chipideen werden an die Uni Hannover eingeladen, wo sie unter vorher erläuterten Wettbewerbsbedingungen und Unterstützung von Fachexpertinnen und Fachexperten ihre Idee in die Praxis umsetzen können. Als Belohnung erhalten erfolgreiche junge Entwickler neben Sach- bzw. Geldleistungen auch spezielle Sonderpreise, die weitere gezielte Fördermöglichkeiten ihrer Fähigkeiten und Interessen beinhalten. Dazu gehört die Aufnahme ins Auswahlverfahren für ein Stipendium der Studienstiftung des deutschen Volkes, Kontakte zu Hochschulen und Unternehmen, die ihnen wichtige Einblicke in die Praxis ermöglichen. Gleichzeitig schärft eine erfolgreiche Teilnahme an „INVENT a CHIP“ das Bewusstsein der Schüler in Hinsicht auf Berufsmöglichkeiten im Mikroelektronikbereich und eröffnet vielversprechende Berufs- und Karriereperspektiven. Der Wettbewerb trägt somit positiv zur Mobilisierung der Humanressourcen im Innovationssystem Mikroelektronik bei.

**LABS for CHIPS** stellt eine in 2018 eingeführte Erweiterung des Wettbewerbs INVENT a CHIP dar. Es zielt darauf ab, das Interesse an Mikroelektronik beim Nachwuchs zu fördern und die Grundideen des Chipdesigns näher zu bringen. Gefördert werden einzelne kreative und praxisorientierte Projekte rund um das Thema Mikroelektronik.

## 5.1 Forschungsverbünde und ihre Bedeutung

Mit der steigenden Komplexität von Technologien wird es zunehmend schwieriger, die gesamte Kompetenzbasis in einer Organisation zu konzentrieren. Diese Komplexität spiegelt sich heutzutage sowohl in der Breite als auch im schnellen Wandel des Wissens wider, zu dem Unternehmen und andere Akteure Zugang benötigen. Andererseits erhöht die immer stärkere Beschleunigung von Innovationen den Bedarf voneinander zu lernen. Dadurch wächst auch die Notwendigkeit, das Fachwissen aus vielen verschiedenen Bereichen stärker zu bündeln. Zusätzlich entsteht im Bereich der Mikroelektronik aufgrund steigender Investitions- und Betriebskosten auch bei der Technologieentwicklung der Druck zu einer Realisierung von Skaleneffekten, die erst durch die Zusammenführung der Kompetenzen und Bündelung des Technologieangebots möglich sind.

Engere Kooperation zwischen wissenschaftlichen Einrichtungen trägt zur Steigerung der Leistungsfähigkeit der Forschung bei. Der regelmäßige Austausch von wissenschaftlichen Institutionen und ihre Kooperation untereinander fördern Lernprozesse und die Bildung des impliziten Wissens. Eine Zusammenarbeit in Forschungsverbänden kann zu deutlichen Effizienzgewinnen durch einen effizienteren Einsatz von Ressourcen, Nutzung von Komplementaritäten, Vermeidung von Doppelstrukturen und Schließung vorhandener Kompetenzlücken führen. Darüber hinaus ermöglicht eine enge Verzahnung und stärkere Kooperation beteiligter Forschungseinrichtungen innerhalb des Verbunds externen Partnern einen Zugang zu einem breiteren Spektrum an Informationen und Wissen. Forschungsprojekte mit zu einem Forschungsverbund organisierten Einrichtungen tragen somit umso mehr zur Generierung des neuen Wissens und Verbreitung von personengebundenem implizitem Wissen bei. Durch den Zugang externer Partner zu Forschungseinrichtungen, die in einem Verbund eng kooperierender wissenschaftlicher Einrichtungen mit einer klar definierten Aufgabenteilung und Kompetenzen organisiert sind, können für sie bessere (Forschungs)Ergebnisse erzielt werden. Die Gemeinschaftsforschung und Bündelung der Forschungskapazitäten ermöglichen darüber hinaus die Bildung einer kritischen Masse, welche notwendig ist, um im Wettbewerb mit großen internationalen Forschungseinrichtungen bestehen zu können. Forschungseinrichtungen, die eng in einem Verbund zusammenarbeiten, sind zudem viel mehr in der Lage, technologische Entwicklungen in ihrem Gesamtkontext zu betrachten und Lösungen zu finden, die zu für den Innovationsprozess entscheidenden übergreifenden Optimierungen komplexer Technologien führen. Auch die für die Mikroelektronik wichtige Fähigkeit, komplexe Problem- und Systemlösungen anzubieten, ist vor allem durch eine intensive Kooperation und den Austausch zwischen einzelnen relevanten Forschungseinrichtungen möglich.

Trotz ihrer vielen Vorteile sind Kooperationen in größeren Forschungsverbänden auch mit einigen Herausforderungen verbunden. Diese betreffen vor allem Koordinierungsschwierigkeiten bzw. einen höheren Aufwand beim Management gemeinsamer Projekte, aber auch Interessen- und Zielkonflikte, die zwischen einzelnen Organisationseinheiten und dem Verbund entstehen können. Aus Sicht einzelner Forschungsorganisationen, die gleichzeitig an einem Verbund teilnehmen, können solche Kooperationen zu einem Wettbewerb zwischen ihnen und dem Verbund führen und eine stärkere Ressourcenverteilung zugunsten des Verbunds zur Folge haben. Mit der wachsenden Bedeutung des Forschungsverbunds wird von einzelnen Organisationseinheiten der Verlust eigener Wettbewerbsvorteile bzw. ihrer ursprünglichen Rolle in der Forschungslandschaft befürchtet. Darüber hinaus können diese Gründe zu Identifikations- und Motivationsproblemen der eigenen Mitarbeiter führen. Letztlich müssen die kollektiven

Vorteile gegen die individuellen Nachteile abgewogen werden, wobei stets auch das Potenzial nur gemeinsam erreichbarer Ziele (z. B. Entwicklung innovativer Produkte, Aufbau technologischer Kompetenz) einzubeziehen ist.

## 5.2 Die spezifische Rolle der FMD

Neben den im vorherigen Abschnitt genannten Vorteilen, die Forschungsverbünde für ein Innovationssystem mit sich bringen, wird im Folgenden auf Basis der Interviewergebnisse die Rolle und Bedeutung der FMD im deutschen Innovationssystem Mikroelektronik diskutiert.

Das Leistungsangebot der FMD umfasst den Zugang zu modernen Technologien, die durch die Zusammenführung einzelner Technologiekompetenzen mögliche interdisziplinäre Systemlösungen und die Abdeckung der gesamten Innovationskette vom Design über die Komponentenfertigung und Systemintegration bis hin zu Test und Zuverlässigkeitsanalyse beinhalten. Um bundesweit koordinierte Technologie- und Systementwicklungen anbieten zu können, wurden die technologischen Kompetenzen der Institute zu sechs Themenfeldern zusammengefasst und weiterentwickelt – den so genannten Technologieplattformen: „Microwave und Terahertz“, „Power Electronics“, „Extended CMOS“, „Optoelectronic Systems“, „Sensor Systems“ und „MEMS Actuators“.<sup>1</sup> Neben der Entwicklung und Fertigung von Demonstratoren und Prototypen bietet sich für die KMUs und Start-ups durch die FMD die Möglichkeit, Pilot- und auch Kleinserienfertigung für spezialisierte Mikroelektronikkomponenten durchzuführen, auf die sie ansonsten keinen Zugriff haben. Darüber hinaus stellt die FMD eine frühzeitige Technologieberatung und -begleitung durch Experten zur Verfügung und bietet eine gesonderte Unterstützung für innovative Gründungen und Start-ups. Die Dienstleistungen der FMD werden von externen Partnern organisiert und koordiniert aus einer Hand als ein One-Stop-Shop-Konzept angeboten.

Die im Rahmen dieser Studie durchgeführte Befragung ergab, dass die Industriepartner und andere Akteure des Innovationssystems in der FMD einen deutlichen Mehrwert sehen. Die Experten stimmten überein, dass Deutschland im Bereich Mikroelektronik als Forschungsstandort viele Stärken hat. Jedoch führt gerade die Vielfalt verschiedener Forschungseinrichtungen zu Fragmentierung der Forschungslandschaft und Unübersichtlichkeit der Kompetenzzuordnung, Unklarheiten über Strukturen und unzureichende Eindeutigkeit der Ansprechpartner, sodass eine zentrale Koordination aus Sicht externer Partner sehr wünschenswert ist. Ein weiteres Argument zugunsten der FMD ist, dass die Ressourcen durch eine stärkere Bündelung und Vermeidung von paralleler Arbeit viel effizienter genutzt werden können. Aus Sicht der Befragten ist es von großem Vorteil, dass durch die FMD eine Bündelung der Kompetenzen sowie eine bessere Organisation und Koordination der Forschungsaktivitäten der einzelnen Forschungsinstitute möglich ist. Viele Interviewpartner wiesen darauf hin, dass es bei Kooperationen in themenübergreifenden Projekten, in die gleichzeitig verschiedene Institute eingebunden wurden, in der Vergangenheit immer wieder zu Kommunikations- und Koordinationsproblemen kam, die die Zusammenarbeit erheblich erschwerten. Dieses ließe sich durch Kooperationen in größeren Verbänden, wie der FMD, und eine zentrale Koordinierungsstelle wesentlich reduzieren. Somit bietet das One-Stop-Shop-Konzept für Unternehmen eine neue Qualität für Kooperationen mit relevanten Forschungseinrichtungen. Der Aufbau und die Gewährleistung klarer Kompetenzstrukturen ist aus Sicht der Interviewten ein deutlicher Vorteil für die Industrie.

Das Leistungsangebot der FMD stellt nach Aussagen der Industrievertreter und Mikroelektronikexperten einen klaren Mehrwert für das deutsche Innovationssystem dar. Das

<sup>1</sup> [https://www.enas.fraunhofer.de/de/ueber\\_uns/kooperationen1/FMD.html](https://www.enas.fraunhofer.de/de/ueber_uns/kooperationen1/FMD.html) (zuletzt geprüft am 10.07.2019).

betrifft sowohl den Zugang zur modernen Infrastruktur als auch die Fähigkeit der FMD, die komplette Wertschöpfungskette vom Design über die Komponentenfertigung und Systemintegration bis hin zu Test und Zuverlässigkeitsanalyse adressieren zu können. Durch die Möglichkeit der zur FMD zusammengeschlossenen und eng kooperierenden Institute komplexe Systemlösungen zu entwickeln, erhofft die Industrie für sich eine bessere Positionierung im globalen Wettbewerb.

Die FMD wird von Experten übergreifend als ein wichtiges Angebot für mittelständische und kleinere Unternehmen betrachtet. Wegen zu hoher Kosten und eines schnellen technologischen Wandels im Bereich Mikroelektronik sind sie häufig dem Risiko ausgesetzt, im Wettbewerb abgehängt zu werden. Durch das Leistungsangebot der FMD kann dieser Entwicklung entgegengewirkt werden. Bei kleineren Unternehmen (KMUs und Start-ups) ist der Bedarf am Zugang zu neuen Technologien besonders groß, um Nischenprodukte fertigen zu können und damit ihre Marktführerschaft in speziellen Marktsegmenten zu behaupten. Hier werden Kooperationen mit der FMD angestrebt, um Zugriff auf moderne Technologien zu erhalten, eigene Technologien weiter zu entwickeln, neue Technologien zu testen oder wenn besondere Design- und Entwicklungsdienstleistungen, z. B. für die Entwicklung komplexer Systeme, benötigt werden. Experten und Unternehmensvertreter haben bestätigt, dass der mangelnde Zugang der KMUs zu Pilot- und Kleinserienfertigung von angepassten Spezialprodukten, die von großen Unternehmen in der Regel nicht übernommen wird, für sie in der Tat eine große Herausforderung darstellt. Die Idee, dass die FMD in Zukunft komplette Lösungen bis zum TRL9 anbietet, d. h. bis zur Fertigung von Kleinserien, stößt weitgehend auf eine positive Resonanz und ist ausdrücklich seitens der KMUs und Mikroelektronikexperten gewünscht. Zusätzlich bietet die FMD ein auf Start-ups und Gründer zugeschnittenes Unterstützungsangebot „FMD-Space“ an.

Die Experten sind sich darüber einig, dass durch die Möglichkeiten, die die FMD den KMUs und Start-ups bietet, diese eine viel bessere Chance haben, sich an die Herausforderungen des technologischen Wandels und des globalen Wettbewerbs anzupassen und sich gegenüber der globalen Konkurrenz besser behaupten zu können. Aus diesen Gründen ist dieses Forschungsmodell für die Mehrheit der Befragten systemrelevant und zukunftssträftig.

## 6 Handlungsbedarfe und -optionen

Basierend auf den qualitativen Experteneinschätzungen werden im Folgenden Handlungsbedarfe aufgezeigt und Handlungsoptionen zur Förderung des Innovationssystems Mikroelektronik abgeleitet.

Thematisch sind die Handlungsoptionen auf folgende Handlungsfelder ausgerichtet:

- Wirtschaftspolitischer Rahmen und Grundsatzfragen
- Forschung und Entwicklung
- Kooperationen
- Bekämpfung des Fachkräftemangels
- Stärkung der Rolle der KMUs und Start-ups
- Investitionen
- Sicherung des Produktionsstandorts
- Bewusstseinsbildung über die Bedeutung der Mikroelektronik

Die folgende Tabelle fasst die im Rahmen der Studie abgeleiteten Handlungsoptionen zur Erhöhung der Leistungsfähigkeit des deutschen Innovationssystems Mikroelektronik zusammen. Diese richten sich an Akteure der Industrie, Politik und Wissenschaft.

**Tabelle 3: Handlungsoptionen zur Erhöhung der Leistungsfähigkeit des deutschen Innovationssystems Mikroelektronik**

### Handlungsoptionen

#### Wirtschaftspolitischer Rahmen und Grundsatzfragen

- Entwicklung einer ganzheitlichen Förderstrategie für besonders wichtige Schlüsselbereiche der Mikroelektronik
- Stärkere Berücksichtigung globaler technologischer Trends und Entwicklungen in den Förderprogrammen
- Durchführung einer unabhängigen Studie zur Technologiefrüherkennung im Bereich Mikroelektronik

#### Forschung und Entwicklung

- Fokussierung auf ressortübergreifende und interdisziplinäre FuE
- Entwicklung eines *Fast Track Systems* für eine unkomplizierte, unbürokratische und schnelle Beantragung und Bearbeitung von Förderprojekten
- Beschleunigung der Entwicklungsprozesse und eine höhere Flexibilität bei dem Projektmanagement
- Stärkere Berücksichtigung zukunftsrelevanter und strategisch wichtiger Technologiefelder, wie KI-Elektronik, neuartige Prozessoren und Next Generation Computing

#### Kooperationen

- Ausbau grenzüberschreitender/internationaler Kooperationen
- Weiterentwicklung der Rahmenbedingungen und Schaffung der Anreize zur Förderung enger Kooperationen zwischen den Forschungseinrichtungen

#### Stärkung der Rolle von KMUs und Start-ups

- Gewährleistung eines sicheren Zugangs zu modernen Technologien bzw. Infrastrukturen
- Bessere Vernetzung mit bestehenden europäischen Technologieplattformen und -diensten
- Schaffung einer langfristigen Möglichkeit zur Pilot- und Kleinserienfertigung anwendungsspezifischer Spezialprodukte
- Weiterentwicklung gründerfreundlicher Rahmenbedingungen

**Investitionen**

- Höhere öffentliche Investitionen in FuE
- Schaffung marktkonformer Anreize zur Stärkung der Investitionsneigung von Unternehmen
- Einführung nachfragefördernder Instrumente zur Unterstützung von Mikroelektroniktechnologien und -anwendungen, die zur Bewältigung gesellschaftlicher Herausforderungen beitragen

**Sicherung des Produktionsstandortes**

- Förderung der Umsetzung von FuE-Ergebnissen in die kommerzielle Nutzung
- Gezielte Unterstützung der KMUs beim Übergang von der Initial- zur Wachstumsphase
- Entwicklung konkreter Lösungen zur Beschleunigung der Umsetzung von FuE-Ergebnissen
- Auf- und Ausbau der Kapazitäten zur Entwicklung und Fertigung kritischer Elemente eines technologisch fortschrittlichen Datenverarbeitungssystems
- Prüfung der Optionen für die Etablierung einer europäischen Foundry zur Sicherung eines Zugangs zu *Leading Edge Technologies* in Europa

**Bekämpfung des Fachkräftemangels**

- Erhöhung öffentlicher Investitionen in Bildung
- Intensivere Nachwuchsförderung im MINT-Bereich während der gesamten Schulzeit
- Erweiterung der Leistungsangebote an Hochschulen um Informationsmaßnahmen, Tutorien und Nachholkurse, insbesondere in Fächern mit hohen Durchfallquoten
- Verbesserung der Betreuungsrelation zwischen Studierenden und Lehrenden
- Entwicklung des Selbstverständnisses innovativer Unternehmen, in seine Mitarbeiter zu investieren und systematisch aus- bzw. weiterzubilden
- Schaffung der Rahmenbedingungen durch die Arbeitgeber für bessere Karrieremöglichkeiten und Chancen zur beruflichen und persönlichen Verwirklichung sowie langfristigen Planungssicherheit der Arbeitnehmer
- Entwicklung neuer Ausbildungsprofile an den Schnittstellen zwischen Mikroelektronik und Softwareentwicklung bzw. Datenanalytik

**Bewusstseinsbildung über die Bedeutung der Mikroelektronik**

- Durchführung regelmäßiger Image- und Informationskampagnen zur Verdeutlichung der Bedeutung von Mikroelektronik
- Regelmäßiger Austausch von Schülerinnen und Schülern mit Fachkräften aus Unternehmen und Wissenschaft

## 6.1 Wirtschaftspolitischer Rahmen und Grundsatzfragen

In Interviews wurde vielfach auf die Bedeutung einer **ganzheitlichen Wirtschaftsstrategie** bzw. **eines ganzheitlichen Förderkonzepts** verwiesen, ohne welches große Teile des wirtschaftlichen Potenzials der Mikroelektronik ungenutzt bleiben oder verloren gehen würden. Ein solches Förderkonzept sollte darauf abzielen, die Mikroelektronik als Basistechnologie entlang der gesamten Wertschöpfungskette zu unterstützen sowie die Einheit von Forschung, Entwicklung und Produktion zumindest in strategisch besonders wichtigen Schlüsselbereichen zu gewährleisten. Aufgrund begrenzter Ressourcen wird man die für diese Schlüsselbereiche kritischen Technologien identifizieren und geeignete Lösungsstrategien zur Erhaltung ihrer nationalen Verfügbarkeit entwickeln müssen. Dies umfasst sowohl eine genaue Definition und klare Identifizierung von Technologiefeldern<sup>1</sup>, die zur Sicherung der technologischen und digitalen Souveränität Deutschlands wichtig sind, als auch die Entwicklung von konkreten Lösungsstrategien, wie man diese in allen relevanten Technologiebereichen erhalten kann. Ein weiteres Ziel einer solchen Strategie ist die Schaffung eines günstigen Ökosystems, das die Entwicklung der Mikroelektronik vorantreibt und unterstützt. Dazu gehört ein flächen-

<sup>1</sup> Gemeint sind breitere Technologiefelder, wie z. B. KI dedizierte Mikroelektronik.

deckender Ausbau der digitalen Infrastruktur (Breitband, 5G) zur Erschließung relevanter Anwendungsfelder der Mikroelektronik (wie Industrie 4.0, Internet der Dinge, autonomes Fahren und Smart Energy), der Abbau der Innovations- und Investitionshindernisse und die Verbesserung der Standortbedingungen für die Mikroelektronik.

Zum anderen führt aus Sicht der Experten die bisherige, nahezu ausschließliche Orientierung der Förderprogramme an Entwicklungen und Bedarfe der deutschen und europäischen Standorte und Vernachlässigung globaler Entwicklungen dazu, dass sich die deutsche und europäische Mikroelektronikbranche im Umfeld der globalen Konkurrenz nicht optimal aufstellen kann. Dadurch kann dem erklärten Ziel der deutschen und europäischen Förderpolitik (siehe Hightech-Strategie 2025), die globalen technologischen Trends und Entwicklungen im Bereich der Mikroelektronik aktiv mitzugestalten und den technologischen Vorsprung zu sichern, nicht angemessen Rechnung getragen werden. Daher bedarf es in Zukunft neben **der Orientierung an den Bedürfnissen der deutschen Industrie** auch einer **stärkeren Berücksichtigung globaler technologischer Trends und Entwicklungen in den Förderprogrammen**.

Insgesamt bemängeln die Interviewpartner die aus Ihrer Sicht vornehmlich reaktive Position Deutschlands im Vergleich zu seinen Wettbewerbern: Es gäbe grundsätzlich zu wenig langfristig orientierte visionäre Förderkonzepte und FuE, sodass Deutschland und Europa im Bereich der Mikroelektronik weltweit immer seltener eine aktiv gestaltende Rolle übernehmen. Vielmehr werde mit den aktuellen Förderprogrammen und der darauf basierenden FuE lediglich auf globale technologische Trends und Entwicklungen reagiert. Daher erscheint im Vorfeld der Aufstellung eines Förderprogramms die **Durchführung einer unabhängigen Studie zur Technologiefrüherkennung** besonders sinnvoll. Diese sollte Erkenntnisse über relevante künftige technologische Entwicklungen und Trends liefern, die bei der Formulierung der Förderstrategien berücksichtigt werden können. Eine stärker zukunftsorientierte, langfristig ausgerichtete Förderpolitik würde Deutschland in die Lage versetzen, nicht nur auf wichtige globale technologische Entwicklungen reagieren, sondern diese aktiv gestalten zu können. Im Zuge dessen sollten auch Unternehmen dazu motiviert werden, stärker an der strategisch wichtigen langfristigen Wachstumsorientierung festzuhalten – im Gegensatz zur Orientierung an kurzfristigen finanziellen Zielen, die zur schnellen Ausschüttung von möglicherweise nicht nachhaltigen Gewinnen führen.

## 6.2 Forschung und Entwicklung

Zur Förderung der FuE lassen sich auf der Basis der gewonnenen Erkenntnisse folgende Handlungsoptionen ableiten. Zum einen sollte aufgrund zunehmender Komplexität und Interdisziplinarität der Innovationsprozesse im Bereich Mikroelektronik eine größere Aufmerksamkeit der **ressortübergreifenden bzw. interdisziplinären FuE** gelten. Bei komplexen Themen bzw. Technologien sollten die Förderinstrumente stärker ressortübergreifend sein, da Optimierungen einzelner Komponenten ohne Berücksichtigung weiterer technologierelevanter Aspekte nur selten zu Optimierung des Gesamtsystems führen, weil dabei wichtige komponentenübergreifende Optimierungspotenziale häufig unbenutzt bleiben. Von Bedeutung wäre es in diesem Zusammenhang, einen strategischen Rahmen für besonders wichtige Bereiche und Querschnittstechnologien zu schaffen, um gemeinschaftliche Forschung zu betreiben. Dieser sollte jedoch so beschaffen sein, dass er zwar die Ziele der zu entwickelnden Lösungen skizziert, jedoch nicht den dabei zu beschreitenden Weg zu detailliert vorgibt. Dieses könnte beispielsweise dadurch geschehen, dass innerhalb einzelner Technologiefelder nicht zugleich die dabei verwendete Technologie und deren Anwendung vorgegeben werden. Nur so sei es im Rahmen der Förderprojekte möglich, optimale bzw. alternative Lösungen zu finden.

Des Weiteren wurde von den Experten und insbesondere von den Vertretern der mittelständischen und kleineren Unternehmen immer wieder darauf hingewiesen, dass der

hohe administrative Aufwand bei der Beantragung einer Förderung und der Projektbearbeitung ein wesentliches Hindernis im deutschen und europäischen Innovationssystem Mikroelektronik sei. Aufgrund der immer kürzeren Innovationszyklen und eines sich beschleunigenden Wettbewerbs wiegt dieses umso schwerer, sodass es zielführend ist, darüber nachzudenken, wie man den Aufwand für Unternehmen reduzieren und ihnen trotzdem einen angemessenen Zugang zur FuE-Förderung ermöglichen kann. So wird beispielsweise von einigen Experten **die Entwicklung und Implementierung eines Fast Track Systems** vorgeschlagen, das ein unkompliziertes, unbürokratisches und schnelles Beantragen und Bearbeitung von Förderprojekten im Bereich neuer Technologien ermöglicht. Überdies sollte aufgrund der Schnelllebigkeit der Innovationszyklen darüber nachgedacht werden, wie man **Entwicklungsprozesse beschleunigt und eine höhere Flexibilität bei der Projektförderung** erreicht. So sollte es in Zukunft eher möglich sein, Projekte auch schneller beginnen zu können bzw. flexible Projektlaufzeiten anzubieten.

Zudem wird von den Experten eine stärkere Berücksichtigung zukunftsrelevanter und strategisch besonders wichtiger Technologiefelder, wie **spezielle Elektronik für KI, Entwicklung neuartiger Prozessoren und Next Generation Computing**, bei der öffentlichen Förderung angemaht.

### 6.3 Kooperationen

Kooperationen zur Förderung von Lernprozessen, Technologietransfers und Produkt- sowie Prozessentwicklungen sind von entscheidender Bedeutung für den Erfolg der Innovationsprozesse in der Mikroelektronikbranche und sollten in Zukunft noch stärker unterstützt werden. Die zunehmende Komplexität und Interdisziplinarität der Mikroelektronik erfordert eine viel engere Verzahnung zwischen Industrie und Forschungseinrichtungen, branchenübergreifende Kooperationen und die Überwindung des „Silo-Denkens“.

In Interviews wurde vielfach auf die besondere Bedeutung grenzüberschreitender Kooperationen im Bereich Mikroelektronik hingewiesen, deren Potenzial noch nicht ausreichend erschlossen wird. Das Instrument der öffentlichen Förderung sollte daher auf allen Ebenen noch intensiver dazu genutzt werden, um **grenzüberschreitende europäische und außereuropäische Kooperationen** und die Einbindung führender internationaler Forschungseinrichtungen und Unternehmen in Kooperationen entlang der Wertschöpfungskette zu unterstützen. Natürlich müssen sich auch die Unternehmen selbst verstärkt um strategische Partnerschaften<sup>1</sup> bemühen, um die eigene Effizienz zu steigern, Kostenersparnisse zu erzielen und Investitionsrisiken zu reduzieren.

Daneben sind viel engere Kooperationen zwischen betreffenden Forschungseinrichtungen erforderlich. Es ist daher notwendig, sowohl **die Rahmenbedingungen weiterzuentwickeln als auch Anreize zu schaffen, um eine engere Kooperation zwischen den Forschungseinrichtungen zu fördern**. Diese sind auch angehalten, eine stärkere Vernetzung untereinander in Zukunft zu ermöglichen (z. B. durch die Anpassung ihrer Organisationskultur, bessere digitale Vernetzung, Abbau organisatorischer Hürden).

<sup>1</sup> So können solche strategischen Partnerschaften ihren Teilnehmern beispielsweise die Senkung von Fixkosten durch eine gemeinschaftliche Organisation und Durchführung von Schulungen und Informationskampagnen, die Beteiligung an Forschungs- und Bildungsprojekten sowie den gemeinsamen Erwerb von Lizenzen bzw. Nutzung der Forschungsinfrastruktur ermöglichen.

## 6.4 Stärkung der Rolle der KMUs und Start-ups

KMUs und innovative Start-ups spielen eine wichtige Rolle für die Innovationsdynamik und die Wettbewerbsfähigkeit der Mikroelektronikbranche. Gleichzeitig werden sie zunehmend mit Problemen konfrontiert, die sie aus eigener Kraft nicht bewältigen können, sodass sie verstärkt auf Unterstützung angewiesen sind. Eine der zentralen Voraussetzungen für ihre längerfristige Etablierung am Markt ist die **Gewährleistung eines sicheren Zugangs zu modernen Technologien**.

Durch die Etablierung der FMD wird den KMUs und Start-ups der **Zugriff auf einen modernen Anlagebestand** ermöglicht. Diese zentrale Rolle der FMD im deutschen Innovationssystem ist durch ihre weitere Förderung zu bewahren und so auszubauen, dass sie auch die zukünftigen Anforderungen der deutschen Mikroelektronik erfüllen kann. **Bestehende europäische Technologieplattformen und -dienste**, die einen Zugriff auf relevante Technologien ermöglichen, wie das Europäische Netzwerk für Multi-Project Wafer Services, **sollten besser vernetzt werden**. KMUs sollten dabei unterstützt werden, einen besseren Zugang zu diesen zu erhalten.

Eine weitere zentrale Voraussetzung für den Erfolg der KMUs und Start-ups im deutschen Innovationssystem ist die **Schaffung einer Möglichkeit** für Forschungseinrichtungen **zur Pilot- und Kleinserienfertigung ihrer maßgeschneiderten und anwendungsspezifischen Spezialprodukte**. Die dazu benötigten Technologien und das Know-how liegen beispielsweise in der FMD vor.

Ergänzend soll die deutsche **Gründer- und Start-up-Szene durch die Weiterentwicklung gründerfreundlicher Rahmenbedingungen**, wie steuerliche Berücksichtigung der Verluste, bessere Bedingungen für das Wagniskapital gefördert werden.

## 6.5 Investitionen

Bei den Befragten zeichnete sich ein klarer Konsens darüber ab, dass für Mikroelektronik als eine strategisch wichtige Schlüsseltechnologie viel höhere Investitionen als bisher notwendig sind, damit Deutschland und Europa technologische Führerschaft erlangen und bewahren können. Die **Steigerung privater und öffentlicher Investitionen** ist aus Sicht der Experten angesichts wachsender Konkurrenz aus Asien und den USA und der aktuellen Gefahr für Deutschland und Europa, den Anschluss an globale Entwicklungen zu verlieren, umso dringlicher. Neben **höheren öffentlichen Investitionen in FuE**, sollten von der Bundesregierung zusätzliche **marktkonforme Anreize** gesetzt werden, **um die Investitionsneigung der Unternehmen zu stärken**. Dazu zählen beispielsweise günstige Abschreibungsmechanismen, bevorzugte steuerliche Behandlung bzw. bevorzugte Berücksichtigung bei Genehmigungsverfahren der Unternehmen, die reale Investitionen tätigen. Das **Instrument der steuerlichen FuE-Förderung** spielt bei der Mobilisierung zusätzlicher Ressourcen des Industriesektors in FuE eine wichtige Rolle. Des Weiteren plädieren Experten dafür, das EU-Beihilferecht angesichts von Wettbewerbsverzerrungen in dem für eine Volkswirtschaft strategisch wichtigen Technologiefeld Mikroelektronik im Sinne der Sicherung globaler Wettbewerbsfähigkeit von Europa über die IPCEI-Regelung hinaus weiterzuentwickeln. Dabei ist zu berücksichtigen, dass solche Maßnahmen höchst umstritten sind, da sie unter anderem externe Kosten verursachen sowie die Wettbewerbsbedingungen für andere Marktteilnehmer innerhalb Europas verzerren.

Zur Förderung der Investitionen und Innovationen von **Mikroelektroniktechnologien und -anwendungen, die zur Bewältigung gesellschaftlicher Herausforderungen einen besonderen Beitrag leisten** können (z. B. im Gesundheitsbereich, bei der Bekämpfung des Klimawandels, dem Ausbau der Netzinfrastruktur und ihrer Sicherheit)

sollte geprüft werden, inwieweit diese mit Hilfe bestimmter nachfragefördernder Instrumente unterstützt werden können. Grundsätzlich denkbare Instrumente wären hierbei: öffentliche Beschaffungsmaßnahmen, Kaufbezuschussung und die Schaffung zusätzlicher Steueranreize (Abschreibungsmöglichkeiten und Steuererleichterungen).

## 6.6 Sicherung des Produktionsstandortes

Die Sicherung des Produktionsstandortes ist für eine exportorientierte Volkswirtschaft, wie Deutschland, von grundlegender Bedeutung. Dabei warnen die Experten, dass ein Rückgang der Mikroelektronikproduktion in Deutschland und Europa erfahrungsgemäß mit dem Verlust von Know-how in der zugehörigen FuE einhergehe und damit für den deutschen Mikroelektronikstandort wichtige Entwicklungspotenziale verloren gingen.

In Deutschland besteht ein erheblicher Handlungsbedarf bei der **Förderung einer Umsetzung von FuE-Ergebnissen in die kommerzielle Nutzung**. Zur Unterstützung der Überführung der FuE-Ergebnisse in die Praxis im KI-Bereich (z. B. KI-Elektronik) werden von Fachleuten gezielte Transferprojekte in Kooperation zwischen Forschung und Anwendung vorgeschlagen (Fraunhofer 2018). Aus Sicht der Experten sollten künftige Förderinstrumente noch gezielter als bisher Unternehmen, insbesondere kleine und mittelständische, beim **Übergang von der Initial- zur Wachstumsphase** unterstützen. Eine wesentliche Schwachstelle ist dabei auch die Geschwindigkeit, mit der in Deutschland innovative Lösungen in marktfähige Produkte umgesetzt werden. Deshalb sollten in Zukunft konkrete Lösungen gefunden werden, wie man die **Umsetzung der FuE-Ergebnisse beschleunigen** kann.

Mit Blick auf die aktuellen geopolitischen Unsicherheiten wird von Experten darüber hinaus die Fähigkeit von Europa als strategisch wichtig erachtet, **kritische Elemente eines technologisch fortschrittlichen Datenverarbeitungssystems eigenständig entwickeln und fertigen** zu können. Daher sollte diesem Thema in Europa und Deutschland eine viel größere Aufmerksamkeit gewidmet werden.

Ferner wurde vielfach betont, dass der fehlende **Zugang zu Leading Edge Technologies** (Spitzentechnologien mit kleinsten Strukturbreiten) zur Fertigung von leistungsfähigen Halbleitern für Anwendungen, wie das autonome Fahren, KI, 5G Telekommunikation und Sicherheitssysteme, eine erhebliche Einschränkung für die Wettbewerbsfähigkeit der europäischen Mikroelektronikbranche darstelle. Zudem ist die Abhängigkeit von einigen wenigen nicht-europäischen Zulieferern für europäische Unternehmen mit beträchtlichen Risiken verbunden. Vor diesem Hintergrund wird von vielen Experten die Etablierung einer **auf die europäische Wertschöpfungskette ausgerichteten europäischen Foundry** nahegelegt, die den europäischen Unternehmen den Zugriff auf diese kritische Spitzentechnologie ermöglichen würde. Diese Option wäre hinsichtlich ihrer Verhältnismäßigkeit von Kosten und Nutzen sorgfältig zu prüfen.

## 6.7 Bekämpfung des Fachkräftemangels

Ein großes Problem des deutschen Innovationssystems ist ein sich immer stärker bemerkbar machender Fachkräftemangel im Bereich Elektronik/Mikroelektronik.

So äußerten sich die Experten über die im OECD-Vergleich **niedrigen Bildungsinvestitionen Deutschlands** besorgt. Damit Deutschland seine Rolle als globaler Technologieführer in Zukunft nicht verliert, sollten die Investitionen in Bildung deutlich erhöht werden. Als Orientierung können dafür die Bildungsinvestitionsniveaus führender Technologieländer und zentraler Wettbewerber dienen.

Die aktuell sehr hohen Quoten der Studienabbrecher im Bereich Elektrotechnik/Elektronik/Mikroelektronik erfordern eine **bessere Vorbereitung auf das Studium durch eine Förderung der MINT-Fächer entlang der gesamten Bildungskette**. Es ist von grundlegender Bedeutung, bereits im Vorschulbereich das Interesse für naturwissenschaftliche Phänomene und Technik nachhaltig zu wecken und grundsätzliche Lernkompetenzen zu fördern. Um dem Fachkräftemangel im MINT-Bereich frühzeitig vorzubeugen, sollte eine **intensive Nachwuchsförderung während der gesamten Schulzeit** erfolgen, um die Schüler besser auf das Studium vorzubereiten. Zum anderen stehen auch **Hochschulen mehr in der Pflicht, über ihre Studienfächer besser zu informieren, ihr Bildungsangebot für Studierende um Tutorien und Nachholkurse zu erweitern sowie Lerngruppen zu initiieren**. Eine **Verbesserung der Betreuungsrelation zwischen Studierenden und Lehrenden** ist eine wichtige Voraussetzung für eine bessere Betreuung von Studierenden, die die Anzahl von Studienabbrüchen reduzieren würde.

Zur Förderung der Problemlösungs- und Systemkompetenz der Hochschulabsolventen ist es aus Sicht der Experten entscheidend, dass während des Bachelor-Studiums das benötigte Grundlagenwissen konsequent vermittelt wird, welches den Studierenden ein fächer- und prozessübergreifendes Systemverständnis ermöglicht. Dies könnte bedeuten, dass eine Spezialisierung erst im Rahmen der Masterstudiengänge erfolgen kann. Dabei ist darauf zu achten, dass die grundlegende Fähigkeit, sich ein Leben lang weiterzubilden und neue Themenbereiche erarbeiten zu können, vermittelt wird. Gut ausgebildete Arbeitskräfte steigern die Erträge der Unternehmen und tragen entscheidend zu ihrem Wettbewerbsvorteil bei. Es sollte deshalb zum **Selbstverständnis eines innovativen Unternehmens** zählen, **in seine Mitarbeiter zu investieren und diese weiterzubilden**. Es ist daher entscheidend, dass Unternehmen viel stärker als bisher in die Weiterbildung investieren und regelmäßige Weiterbildungsmaßnahmen sowie die nötigen Freiräume für Weiterbildung und Forschung ihrer Mitarbeiter anbieten.

Eine zentrale Maßnahme zur Bekämpfung des Fachkräftemangels im naturwissenschaftlich-technischen Bereich ist es, die Voraussetzungen dafür zu schaffen, dass die zugehörigen Berufswege attraktiver werden. Dabei dürften **bessere Karrieremöglichkeiten und Chancen zur beruflichen und persönlichen Verwirklichung sowie langfristige Planungssicherheit** von grundlegender Relevanz sein, um im globalen Wettrennen um Talente zu bestehen und der Abwanderung gut qualifizierter und Arbeitskräfte vorzubeugen. Hier werden auch die Arbeitgeber in der Pflicht gesehen, derartigen Entwicklungen mit entsprechenden Arbeitsangeboten entgegenzuwirken.

Zur Entwicklung für die Mikroelektronik wichtiger **neuer Ausbildungsprofile an den Schnittstellen zwischen dem Domänenwissen im Mikroelektronikbereich und Softwareentwicklung** bzw. Datenanalytik sollten Unternehmen zusammen mit Bildungseinrichtungen geeignete Bildungs- und Ausbildungsangebote ausarbeiten

## 6.8 Bewusstseinsbildung über die Bedeutung der Mikroelektronik

Obwohl von der Bundesregierung und den Sachverständigen die Mikroelektronik bereits als eine strategisch relevante Technologie anerkannt wurde, fehlt auf der gesamtgesellschaftlichen Ebene noch größtenteils das ausgeprägte Bewusstsein für die Bedeutung der Mikroelektronik für den technologischen Fortschritt sowie ihre Rolle für Deutschland als Wirtschafts- und Innovationsstandort. Aus diesem Grunde sind zusätzliche **Image- und Informationskampagnen** notwendig, **die den wirtschafts-**

**lichen und gesellschaftlichen Nutzen dieser wichtigen Technologie verdeutlichen** und so zur Verbesserung der gesamtgesellschaftlichen Akzeptanz und des Status der relevanten Berufe beitragen.

---

Handlungsbedarfe und -optionen

---

Um das Bewusstsein der Kinder und Jugendlichen hinsichtlich der Berufsmöglichkeiten zu schärfen und ihnen Einblicke in die Praxis zu ermöglichen, wäre der **Kontakt zu und ein regelmäßiger Austausch mit Fachkräften aus Unternehmen und Wissenschaft** hilfreich. Dieser könnte im Rahmen von Workshops, Trainings bzw. Schüler- und Studentenpraktika sowie Gesprächen mit Vertretern aus Wirtschaft und Wissenschaft erfolgen. Entsprechend sollte die Wirtschaft und Wissenschaft ihr Engagement diesbezüglich erhöhen.

## 7 Literatur

Bengtsson, Lars (2001): Outsourcing Manufacturing – An Analysis of a Learning Dilemma. Proceedings of the 4th International QMOD Conference 12-14 September, 2001, Sweden, S. 424-433.

Bergek, Anna; Jacobsson, Staffan; Carlsson, Bo; Lindmark, Sven; Rickne, Annika (2008a): Analyzing the functional dynamics of technological innovation systems: A scheme of analysis. In: Research Policy 37, S. 407-429.

Bergek, Anna; Hekkert, Marko; Jacobsson, Staffan (2008b): Functions in innovation systems: A framework for analysing energy system dynamics and identifying goals for system-building activities by entrepreneurs and policy makers. RIDE/IMIT Working Paper No. 84426-008.

BMBF – Bundesministerium für Forschung und Bildung (2016a): Aktionsplan Nanotechnologie 2020. Eine ressortübergreifende Strategie der Bundesregierung.

BMBF – Bundesministerium für Forschung und Bildung (BMBF) (2016b): Agenda Photonik 2020. Trends, Herausforderungen, Chancen. Update 2016.

BMBF – Bundesministerium für Forschung und Bildung (2017): Mehr Chancen für Gründungen. Fünf Punkte für eine neue Gründerzeit.

BMBF – Bundesministerium für Forschung und Bildung (2018): Mikroelektronik aus Deutschland – Innovationstreiber der Digitalisierung Rahmenprogramm der Bundesregierung für Forschung und Innovation 2016–2020.

BMBF – Bundesministerium für Forschung und Bildung (2019a): Digitale Zukunft: Lernen. Forschen. Wissen. Die Digitalstrategie des BMBF.

BMBF – Bundesministerium für Forschung und Bildung (2019b): Mit MINT in die Zukunft! Der MINT-Aktionsplan.

BMWi – Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (2015): Leitplanken Digitaler Souveränität. Nationaler IT Gipfel 2015.

BMWi – Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (2016): Wirtschaftliche Förderung. Hilfen für Investitionen und Innovationen.

BMWi – Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (2018a): 10 Punkte für mehr Gründungen.

BMWi – Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (2018b): Industrie 4.0 in der Republik Korea. Informationsveranstaltung zu Südkorea.

Boosting Electronics Value Chains in Europe (2018): A Report to Commissioner Gabriel, 19 June 2018.

Broström, Anders (Hrsg.) (2007): Collaboration for competitiveness: towards a new basis for regional innovation policy“, SISTER Working Paper.

- Bundesregierung (2019a): Aktionsplan Forschung für autonomes Fahren. Ein übergreifender Forschungsrahmen von BMBF, BMWi und BMVI.
- Bundesregierung (2019b): Digitalisierung gestalten. Umsetzungsstrategie der Bundesregierung.
- Carlsson, B. (1997): *Technological Systems and Industrial Dynamics*. Cleveland: Kluwer Academic Publishers.
- Carlsson, B.; Stankiewicz, R. (1991): On the nature, function and composition of technological systems. In: *Journal of Evolutionary Economics* (1), S. 93-118.
- Edquist, Charles; Vonortas, Nicholas S.; Zabala-Iturriagagoitia, Jon Mikel and Edler, Jakob (2015): *Public Procurement for Innovation*. EU-SPRI Forum on Science, Technology and Innovation Policy. London: Edward Elgar Publishing.
- EFI – Expertenkommission Forschung und Innovation (2019): *Gutachten zur Forschung, Innovation und technologischen Leistungsfähigkeit Deutschlands*.
- European Commission (2013): *A European Strategy for Micro- and Nanoelectronic Components and Systems*. DG Connect.
- European Commission (2015): *Pilot Production in Key Enabling Technologies*. Internal Market Industry, Entrepreneurship and SMEs.
- Fraunhofer (2018): *Maschinelles Lernen – Kompetenzen, Anwendungen und Forschungsbedarf*. München: Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der angewandten Forschung e.V.
- Freeman, C. (1987): *Technology policy and economic performance – Lessons from Japan*. S. 1-155. London: Pinter Publishers.
- Frietsch, Rainer et al. (2016): *Die Elektroindustrie als Leitbranche der Digitalisierung. Innovationschancen nutzen, Innovationshemmnisse abbauen*. ZVEI-Innovationsstudie. ZVEI in Kooperation mit Fraunhofer ISI und IW Consult.
- GTAI (2017/2018): *Microelectronics in Germany*. Germany Trade and Invest.
- Hekkert, M. P.; Suurs, R. A. A.; Negro, S. O. et al.(2007): *Functions of Innovation systems: A new approach for analyzing technological change*. In: *Technological Forecasting & Social Change* 74, S. 413-432.
- Hekkert, Marko; Negro, Simona; Heimeriks, Gaston; Harmsen, Robert (2011): *Technological Innovation System Analysis. A manual for analysts*. University Utrecht.
- Hintemann, R.; Clausen, J. (2018): *Bedeutung digitaler Infrastrukturen in Deutschland. Chancen und Herausforderungen für Rechenzentren im internationalen Wettbewerb*. Berlin: Borderstep Institut.
- Hughes, A. (2010): *The Multi-faceted role of universities*. In: *ESRC Society Now*, Issue 7 (Summer 2010).
- Jacobsson, Staffan; Vico, Eugenia Perez (2011): *Towards a systemic framework for capturing and explaining the effects of academic R&D*. In: *Technology Analysis & Strategic Management* 22 (7).

Koppel, Oliver (2018): Erwerbstätigkeit von E-Technik- Ingenieuren im Spiegel des Mikrozensus – Aktualisierungsstudie 2018. Studie in Kooperation mit dem Verband der Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik (VDE). Köln: Institut der deutschen Wirtschaft.

Koschatzky, Knut, Stephanie Daimer, Jonathan Köhler, Ralf Lindner, Lisa Nabitz, Patrick Plötz, Rainer Walz, Philine Warnke (2016): Innovationssystem breiter denken: Fünf Thesen an die Innovationspolitik zu einem neuen Innovationssystemverständnis. Karlsruhe: Fraunhofer ISI.

Lennart, Elg (2014): Innovations and new technology - what is the role of research? Implications for public policy. Vinnova.

Lewis, James A. (2019): Learning the Superior Techniques of the Barbarians China's Pursuit of Semiconductor Independence. Centre for Strategic and International Studies.

Lundval, Bengt-Åke. (1992): National Systems of Innovation. Towards a Theory of Innovation and Interactive Learning. London: Pinter Publishers.

Martin, B.R.; Tang, P. (2007): The benefits from publicly funded research. Brighton: SPRU Electronic Working Paper Series.

Meixell, J. Mary; George N. Kenyon and Peter Westfall (2014): The effects of production outsourcing on factory cost performance: an empirical study. In: Journal of Manufacturing Technology Management 25 (6), S. 750-774.

OECD (2011): Demand-side Innovation Policies. <https://doi.org/10.1787/9789264098886-en> (zuletzt geprüft am 5.09.2019).

Positionspapier aus der AG Silicon Germany. Bedeutung der Mikroelektronik für Industrie 4.0.

Rogge, Karoline S. Barbara Breitschopf, Katharina Mattes (Fraunhofer ISI); Uwe Cantner, Holger Graf, Johannes Herrmann, Martin Kalthaus (Friedrich-Schiller-Universität Jena); Christian Lutz, Kirsten Wiebe (Gesellschaft für Wirtschaftliche Strukturforchung mbH (GWS) Osnabrück (2015): Grüner Wandel: Erneuerbare Energien, Policy Mix und Innovationsergebnisse des GRETCHEN-Projektes zum Einfluss des Policy Mixes auf technologischen und strukturellen Wandel bei erneuerbaren Stromerzeugungstechnologien in Deutschland.

Salter, A.J., D'Este, P., Pavitt, K., Scott, A., Martin, B.R., Genua, A., Nightingale, P., Patel, P. (2000): Talent, Not Technology: The Impact of Publicly Funded Research on Innovation in the UK. SPRU, University of Sussex.

Sauer, Andreas (2018): Funktionale Dynamik von Technologischen Innovationssystemen im Bereich der Erneuerbaren Energietechnologien: Das Beispiel der weltweiten Durchsetzung von batteriebetriebenen Fahrzeugen und Plug-in-Hybridfahrzeugen. Dissertation, Universität Hohenheim.

SEMI (2018): China IC Ecosystem Report, 2018 Edition.

SIA – Semiconductor Industry Association (2019): WINNING THE FUTURE. A Blueprint for Sustained U.S. Leadership in Semiconductor Technology.

VDE (2014): Hidden Electronics. Ein Positionspapier zur Situation der Elektronik-Wirtschaft in Deutschland und Europa.

Waldrop, Mitchell (2016): The chips are down for Moore's law. In: Nature 530, abrufbar unter <https://www.nature.com/news/the-chips-are-down-for-moore-s-law-1.19338> (zuletzt geprüft am 5.09.2019).

---

Literatur

---

Wesseler, Berthold (2018): Hardware pusht KI. In: iX Developer 2018 – Machine Learning. S. 38-43.

Wydra, S.; Blümel, C.; Nusser, M.; Thielmann, A.; Lindner, R.; Mayr, C. (2010): Internationale Wettbewerbsfähigkeit der europäischen Wirtschaft im Hinblick auf die EU-Beihilfepolitik am Beispiel der Nanoelektronik. TAB-Arbeitsbericht 137. Berlin: Büro für Technikfolgen-Abschätzung beim Deutschen Bundestag.

ZVEI (2017): Mikroelektronik – Trendanalyse bis 2021. Vorstellung langfristiger Trends 2011 – 2016 – 2021.

ZVEI (2018): Mikroelektronik – Trendanalyse bis 2022. Vorstellung langfristiger Trends 2012 – 2017 – 2022.

ZVEI (2019): Mikroelektronik – Trendanalyse bis 2023. Vorstellung langfristiger Trends 2013 – 2018 – 2023.

## 8 Anhang

**Tabelle Anhang 1: In Deutschland angesiedelte Organisationen mit hohem Publikationsoutput<sup>1</sup> im Bereich „Mikroelektronik“ (kumulierte Anzahl für die Zeitperiode 2009-2018)**

Organisation	Anzahl der Publikationen
Technische Universität Dresden	1475
Technische Universität München	1442
Technische Universität Berlin	1367
Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule (RWTH) Aachen	1205
Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg	1082
Karlsruhe Institute of Technology (KIT)	1036
Infineon Technologies AG	971
Universität Freiburg im Breisgau	819
Universität Stuttgart	755
Technische Universität Darmstadt	684
Technische Universität Chemnitz	629
Ferdinand-Braun-Institut, Leibniz-Institut für Höchstfrequenztechnik	600
Forschungszentrum Jülich FZJ	598
Fraunhofer Institute for Reliability and Microintegration IZM	554
Gottfried Wilhelm Leibniz Universität	532
Technische Universität Braunschweig	497
Ruhr-Universität Bochum	477
University of Bremen	472
Robert Bosch GmbH	454
Technische Universität Ilmenau	451
Universität Ulm	430
Institut für innovative Mikroelektronik IHP	420
Friedrich Schiller Universität Jena	402
Universität Paderborn	396
Fraunhofer Institute for Applied Solid State Physics IAF	390
Siemens AG	384
Christian-Albrechts-Universität zu Kiel	359
Universität Duisburg-Essen	356
Fraunhofer Institute for Electronic Nano Systems ENAS	324
Deutsches Zentrum für Luft- Und Raumfahrt	319
Julius-Maximilians-Universität Würzburg	290
Ludwig-Maximilians-Universität München	288
Technische Universität Dortmund	287

<sup>1</sup> Auf Basis der Recherche in der Publikationsdatenbank „Scopus“. Die Suche erfolgte mit Hilfe der Suchbegriffe „semiconductor\*“, „electronic\*“, „microelectronic\*“, „chip\*“ und „microsystem\*“.

**Tabelle Anhang 2: Patenanmeldungen in der Mikroelektronik 2015-2016 mit deutschen Erfindern**

Anhang

OSRAM OPTO SEMICONDUCTORS GMBH	373
BOSCH GMBH ROBERT	128
MERCK PATENT GMBH	117
OSRAM OLED GMBH	101
SIEMENS AG	68
FRAUNHOFER GES FOERDERUNG ANGEWANDTEN EV	56
APPLIED MATERIALS INC	50
INTEL IP CORP	47
LUMILEDS HOLDING CO LTD	39
CYNORA GMBH	38
BASF SE	35
NOVALED GMBH	33
HERAEUS DEUT GMBH & CO KG	31
KONINK PHILIPS NV	30
OSRAM GMBH	29
INFINEON TECHNOLOGIES AG	25
OSRAM OPTO SEMICONDUCTORS LLC	25
LUMILEDS LLC	22
INTEL CORP	19
ATOTECH DEUT GMBH	18
AZUR SPACE SOLAR POWER GMBH	18
CONTINENTAL AUTOMOTIVE GMBH	18
SILTRONIC AG	17
HEPTAGON MICRO OPTICS PTE LTD	16
NEXPERIA BV	16
NXP BV	16
BANGERT S	14
TRINAMIX GMBH	14
HERAEUS PRECIOUS METALS GMBH & CO KG	13
KLA TENCOR CORP	13
SNAPTRACK INC	13
AIXTRON SE	13
ANSHI CO LTD	12
KARLSRUHER INST TECHNOLOGIE	12
ASML NETHERLANDS BV	11
EPCOS AG	11
MAHLE INT GMBH	11
SILTECTRA GMBH	11
HANWHA Q CELLS GMBH	11
DANFOSS SILICON POWER GMBH	10
MUEHLBAUER GMBH & CO KG	10
PHYSIK INSTR PI GMBH & CO KG	10

Quelle: Datenbank World Patents Index (WPI)

Tabelle Anhang 3: Schwächen und Stärken des deutschen Innovationssystems Mikroelektronik

Funktion	Stärken	Schwächen
Wissensgenerierung	Breite und ausdifferenzierte Wissensbasis, vielfältige Forschungslandschaft, differenziertes Leistungsangebot der RTOs	Themenübergreifende FuE und Förderung der Querschnittstechnologien finden nicht in ausreichendem Maße statt; Fokus auf Detaillösungen, weniger auf Systemlösungen
	Deutschland weltweit auf Platz 3 beim Publikationsoutput und Platz 5. bei Patentanmeldungen	Verhältnismäßig geringer Anteil an zukunftsorientierter, langfristig ausgerichteter Forschung und Entwicklung
	Hochschulen mit hohen internationalen Rankings im Bereich „Elektrotechnik und Elektronik“ in Bezug auf Qualität der Lehre und Forschungsstärke (TU München, RWTH Aachen, TU Berlin, KIT, TU Dresden, Universität Ulm)	Fragmentierung der Forschungslandschaft; Unübersichtlichkeit der Kompetenzzuordnung; Unklarheiten über Strukturen; Kommunikations- und Koordinationsprobleme bei organisationsübergreifenden FuE-Projekten
	Forschungsstärke in Leistungselektronik, Quantenelektronik, Optoelektronik, organischer Elektronik, Mikrosysteme, Elektronik für Energiemanagement. Wichtige Rolle von Industrie 4.0 und Smart Energy	Beschränkter Zugang zu einer modernen FuE-Infrastruktur
	Hohe Anwendungsorientierung der FuE; enge Verknüpfung zwischen Lehre, Forschung und Anwendung	Optimierungsbedarf bei der Nutzung von Komplementaritäten und Schließung vorhandener Kompetenzlücken
Einfluss auf die Richtung der Suche	Förderung wichtiger Technologien, wie More-than-Moore, Leistungselektronik, Sensor-Technologien, organische Elektronik, Embedded Systems, Systemintegration etc. Förderschwerpunkte bauen auf vorhandenen Stärken auf.	Fehlen einer ganzheitlichen Strategie zur Sicherung der Wettbewerbsfähigkeit von Deutschland und Europa in Hinblick auf die Schlüsseltechnologie Mikroelektronik
	Förderung ist auf zukunftsrelevante Anwendungsbereiche ausgerichtet, wie Industrie 4.0, Elektromobilität, Smart Energy und Smart Health	Unzureichende Orientierung der Förderprogramme an globale technologische Trends und Entwicklungen
	Jüngste Förderbemühungen der Regierung mit Fokus auf zukunftsrelevante und strategisch wichtige Technologien, wie neuartige Elektronik für KI und autonomes Fahren, Quantentechnologien und neuartige Prozessoren	Förderung einzelner Technologien erfolgt hauptsächlich in Verbindung mit einer konkreten Anwendung
Wissensdiffusion	Vielzahl von regionalen Netzwerken (Cluster) mit einem Mikroelektronikfokus	Beschränkte Förderbudgets bei gleichzeitig steigendem Bedarf an grenzüberschreitenden europäischen bzw. internationalen Kooperationen
	Kooperationen werden durch eine Vielzahl öffentlicher Förderprogramme und Projekte systematisch gefördert	Governance-Strukturen und organisatorische Rahmenbedingungen von RTOs stellen eine Barriere für Kooperationen untereinander dar
	Zunehmende Bedeutung grenzüberschreitender Kooperationen für RTOs und Hochschulen	
	Unternehmen arbeiten viel mit RTOs zusammen	
Marktentwicklung	Größter Mikroelektronik-Standort in Europa. Abdeckung der gesamten Wertschöpfungskette. Globale Player, wie Bosch, Infineon, AMD, NXP Semiconductors, Globalfoundries etc.	Deutschlands Anteil am Weltmarkt nimmt kontinuierlich ab
	Starke Position bei:	Rückläufige Produktion (aktuell nur 2,8 %) der weltweiten Fertigungskapazität in Deutschland)
	<ul style="list-style-type: none"> <li>„More than Moore“-Bereich, Leistungselektronik für Automotive, Industrie, Maschinen- und Anlagebau und Energie;</li> <li>Sensorik, Photonik und Aktorik</li> <li>Anlagen und spezielle Ausrüstung für Mikroelektronikunternehmen</li> </ul>	
	Wettbewerbsvorteil im Bereich anwendungsspezifische Leistungselektronik mit höherer Funktionalität	Fehlende Kapazitäten für Leading-Edge-Technologies in Europa, zunehmende Abhängigkeit von einigen wenigen nicht-europäischen Zulieferern
	Vielzahl von KMUs („Hidden Champions“), die in kleineren Nischen international erfolgreich sind	Zunehmender Wettbewerbsdruck; wachsende chinesische Konkurrenz

Funktion	Stärken	Schwächen
Unternehmerische Aktivitäten	Attraktive Standortbedingungen aufgrund einer Vielzahl von gut funktionierenden erfolgreichen Clustern, insb. Silicon Saxony	Hoher Investitionsbedarf in kürzeren Abständen; mangelnder Zugang der KMUs und Start-ups zu State-of-the-Art-Technologien
	Einführung steuerlicher Forschungsförderung	Hoher bürokratischer Aufwand bei der Beantragung und Bearbeitung der Projekte (insb. EU-Projekte)
	Anwendung digitaler Technologien und Umsetzung der Industrie 4.0 in der deutschen Mikroelektronikbranche weit über dem industriellen Durchschnitt	Unzureichender Ausbau digitaler Infrastruktur
	Vorhandensein öffentlicher Förderprogramme für KMUs zur Stärkung ihrer Innovationskraft (z. B. KMU-innovativ, ZIM)	Unzureichende Überführung wettbewerbsfähiger FuE-Ergebnisse in die industrielle Praxis bzw. kommerzielle Nutzung
	Indirekte Unterstützung der Mikroelektronikbranche durch die Förderung von Energiewende, E-Mobilität und Netzausbau	Starker Rückgang von Unternehmensgründungen (auch von Start-ups) in 2007-2016. Hohe Markteintrittsbarrieren für Gründungen und Start-ups durch hohe Kosten und mangelnden Zugang zu Technologien
	Einführung einer Reihe von öffentlich finanzierten Programmen und Initiativen zur Förderung von innovativen Gründungen und Start-ups in den letzten Jahren	Mangelnder Zugang der KMUs zu Pilot- und Kleinserienfertigung
	Vorhandensein spezieller bedarfsorientierter, öffentlich geförderter Angebote zur Unterstützung der KMUs und Start-ups bei der Umsetzung neuer Technologien und Anwendungen in konkrete Strategien und Geschäftsmodelle	Steigender Bedarf an und beschränkter Zugang zu sicheren und zuverlässigen Elektronikkomponenten
Ressourcenmobilisierung	Öffentliche Investitionen der Bundesregierung für den Zeitraum 2016-2020:	Private Investitionen der deutschen Halbleiterindustrie in Maschinen und Ausrüstungen waren in den letzten Jahren rückläufig
	<ul style="list-style-type: none"> <li>Förderung der Mikroelektronik-FuE (ca. 400 Mio €)</li> <li>Investitionsprogramm für die Mikroelektronikforschung (FMD und ForLAB) in Höhe von 400 Mio €</li> </ul>	FuE-Investitionen der Unternehmen gemessen am BIP geringer als in den USA, Japan, Südkorea, China, Österreich und Schweden
	Genehmigung von IPCEI Ende 2018: deutsche Unternehmen erhalten ca. 820 Mio €, Mobilisierung von privaten Investitionen in Höhe von ca. 3. Mrd €	Starke Abhängigkeit der Investitionsbereitschaft von öffentlicher Förderung
	Möglichkeiten für Anschubfinanzierungen und die Initialphase in Deutschland und EU vorhanden durch öffentliche Förderprogramme	Unzureichende Finanzierungsmöglichkeiten für die Wachstumsphase (Skalierung vom Prototyp zur Serienfertigung) von radikalen risikobehafteten Innovationen
	Im EU-Vergleich gehört Deutschland zu den Ländern mit dem höchsten Anteil an Abschlüssen in den für die Mikroelektronik relevanten Fachrichtungen (sowohl im Tertiär- als auch Sekundarbereich)	Im Vergleich zu den Abschlüssen in anderen Fachrichtungen ist der Anteil der für die Mikroelektronik relevanten Abschlüsse sehr gering
	Steigende Gehälter für qualifizierte Fachkräfte; große Unternehmen bieten freiwillige Sozialleistungen an und führen Recruitingmaßnahmen durch	Fachkräftemangel (Elektrotechnikingenieure, Facharbeiter); Mangel an Fachkräften mit Systemkompetenzen
	Cluster bieten Schulungs-, Weiterbildungs- und berufsrelevante Informationsmaßnahmen an	Hohe Quoten von Studienabbrechern in den für die Mikroelektronik relevanten Studiengängen (bis zu 70 %)
	Durchführung der Schülerwettbewerbe „INVENT a CHIP“ und „LABS for CHIPS“	Niedrige Bildungsausgaben Deutschlands im internationalen Vergleich
	Eine Reihe öffentlich geförderter Maßnahmen zur Gewinnung von mehr Mädchen und jungen Frauen für eine Ausbildung oder ein Studium in MINT-Fächern	Unzureichende Vorbereitung der Abiturienten auf das Studium der MINT-Fächer
	Jüngste Maßnahmen der Bundesregierung sind auf Erleichterung des Zugangs zu Risikokapital und Förderung der Risikokapitalfinanzierung ausgerichtet	Beobachtete abnehmende System- und Problemlösungskompetenz der Hochschulabsolventen seit der Bologna-Reform
	Mangel an öffentlichkeitswirksamen Informationskampagnen, die den Nutzen der Mikroelektronik und die Bedeutung relevanter Berufe verdeutlichen bzw. ihren Status verbessern	
	Im internationalen Vergleich geringe Investitionen zur Förderung neuer zukunftsrelevanter Technologien, wie KI, neuartige Prozessoren und Next Generation Computing	