

BLOCKADEN BEI DER ETABLIERUNG DER NANOELEKTRONIK

Deutschland gilt als innovativ und im weltweiten Vergleich exzellent in der Grundlagenforschung und Technologieentwicklung. Häufig gibt es jedoch Probleme bei der effizienten Umsetzung innovativer Ideen und Ergebnisse der FuE in konkrete Anwendungen. Auch die Diffusion und Etablierung der aus neuen Schlüsseltechnologien entstandenen Anwendungen am Markt stellen die Unternehmen oftmals vor kaum oder schwer zu überwindende Blockaden. Dies spiegelt sich z. B. aktuell in der Halbleiternanoelektronik im Fall des insolventen, letzten europäischen Speicherchipherstellers Qimonda wider.

Die TAB-Studie »Blockaden bei der Etablierung neuer Schlüsseltechnologien« untersucht die Fragestellung, welche innovationshemmenden sowie -fördernden Faktoren (»Innovationsdeterminanten«) existieren, wenn es um die Etablierung von Schlüsseltechnologien und die Schaffung deutscher Vorreitermärkte (Lead Markets) geht, und wie bestehende Blockaden abgebaut werden können. Denn Vorreitermärkte stellen eine wichtige Bedingung für zukünftige Exporterfolge dar.

Bedeutung und Ausprägung von Innovationsdeterminanten hängen maßgeblich von der Art der Innovation (z. B. Produkt-, Prozessinnovation) und den Phasen des Innovationsprozesses ab (z. B. FuE, Umsetzung, Diffusion) und lassen sich den Dimensionen *Kosten, Wissen, Markt sowie institutionelle Faktoren* zuordnen. Anhand dreier Fallbeispiele zu Nanoelektronik, zu MP3-Player und Mini-Beamer sowie zur Windenergie wurden durch Literaturanalysen, Experteninterviews und Workshops Blockaden in diesen Dimensionen analysiert und Handlungsoptionen abgeleitet.

Die Nanoelektronik nimmt hierbei in mehrerer Hinsicht eine besondere Stellung ein: Aus der Perspektive des Marktes handelt es sich um den Halbleitersktor, in welchem Anwendungen wie der MP3-Player Beispiele eines High-End-Marktes darstellen. Heutige und künftige Nanoelektronikkomponenten werden in zahlreichen Anwenderbranchen nachgefragt und eingesetzt (z. B. der Konsumelektronik, Automobilin-

dustrie, Medizintechnik) und erzielen dort eine enorme Wertschöpfung. Eine Vielzahl von Schlüsseltechnologien und Wissen wirkt hier zusammen (z. B. Material-, Lithografiertechnikeninnovationen), weshalb FuE in der Nanoelektronik zu vielfältigen künftigen Anwendungen führen können.

Die zentralen Erkenntnisse der Fallstudie zur Nanoelektronik werden im Folgenden näher betrachtet und zusammengefasst.

NANOELEKTRONIKENTWICKLUNGEN

Als Nanoelektronik wird in der Regel die auf Silizium basierende Halbleiternanoelektronik (bzw. integrierte Schaltkreise) bezeichnet, deren Strukturbreiten (kleinste, durch Strukturierungsverfahren realisierbare Abmessungen) unter 100 nm liegen, sowie alternative auf der Nanotechnologie beruhende Ansätze. Seit Mitte der 1980er Jahre stellt die CMOS-Technologie (»Complementary Metal Oxide Semiconductor«) die Mainstreamelektronik dar und bildet eine Technikplattform, um Speicher- (z. B. DRAMs) und Logikbausteine (z. B. MPU) in einem Chip zu realisieren.

Ein internationales Industriekonsortium erstellt seit 1999 die »International Technology Roadmap for Semiconductors« (ITRS). Darin wurden 2005 die Begriffe »More Moore«, »More than Moore« und »Beyond CMOS« zur Benennung der zentralen Entwick-

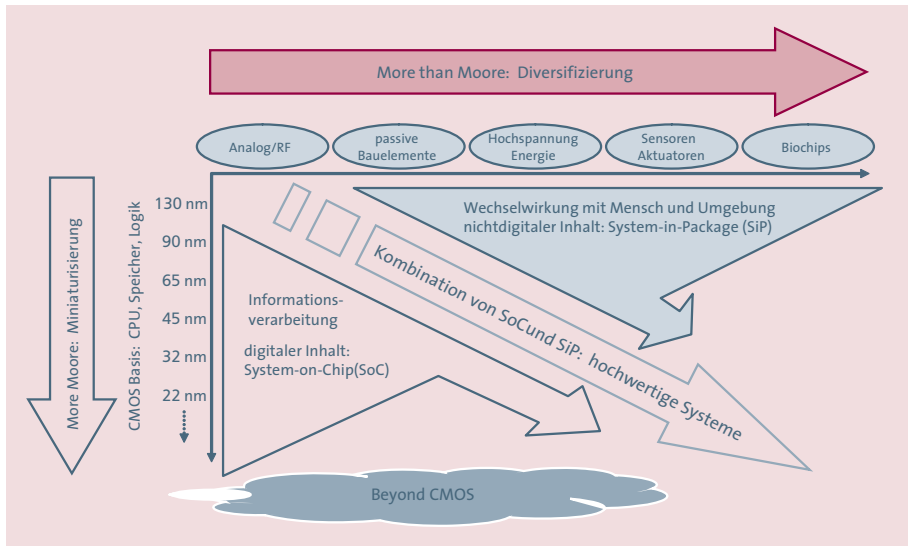
lungsrichtungen der Nanoelektronik geprägt (Abb.).

- > Die Entwicklungen im Bereich »More Moore« zielen auf die weitere Miniaturisierung digitaler Bauelemente unter 100 nm bis an die Grenzen der CMOS-Technologie ab. Ebenso zählen dazu die Bestrebungen, einen Teil oder alle Systemfunktionen auf einem Chip zu integrieren, dem »System-on-Chip« (SoC).
- > Die Entwicklungen im Bereich »More than Moore« betreffen die Diversifizierung dieser Ansätze in breite Anwenderbranchen, zunächst bei Ausnutzung gegenwärtiger Strukturbreiten (bis 90 nm). Ziele sind insbesondere nichtdigitale Anwendungen durch die Integration verschiedener Typen von Chips und weiteren Bauelementen in einem Paket bzw. kompakten miniaturisierten System, dem »System-in-Package« (SiP), sowie die heterogene Integration in SoC oder SiP und somit die Erweiterung der Funktionalität in immer komplexeren Systemen.
- > Der Bereich »Beyond CMOS« zielt auf innovative Technologien und aktive Bauelemente jenseits des ITRS-Miniaturisierungspfads unter Ausnutzung neuer Wirkmechanismen auf der Nanoskala (z. B. Spinelektronik, molekulare Elektronik). Hier befindet man sich größten Teils noch in der Grundlagenforschung.

NANOELEKTRONIKAKTEURE

Die Halbleiternanoelektronik konzentriert sich weltweit auf wenige Cluster, wobei die Region Dresden bzw. der Cluster »Silicon Saxony« heute als stärkster europäischer Standort gilt. Jeder zweite in Europa produzierte Chip kommt bislang aus Dresden. Firmen sind auf allen Stufen der Wertschöpfungskette aktiv. Etwa 200 Un-

ENTWICKLUNGSRICHTUNGEN DER NANOELEKTRONIK



Quelle: International Technology Roadmap for Semiconductors 2005

ternehmen entwickeln, fertigen und vermarkten integrierte Schaltkreise oder dienen der Chipindustrie als Material- und Ausrüstungslieferanten. Zusammen beschäftigen sie rund 20.000 Menschen. Bezieht man die nachgelagerte Elektronik- und IuK-Industrie ein, umfasst der gesamte Bereich rund 1.500 Unternehmen und mehr als 43.000 Beschäftigte. Universitäten, FuE-Einrichtungen und Großunternehmen arbeiten z. T. eng zusammen. Während die Großunternehmen vor allem an Systemlösungen interessiert sind, welche große Produktions- und Absatzmengen versprechen, sind die zahlreichen KMUs die wichtigsten Akteure im Bereich der Produktions-, Analyse- und Ausrüstungstechnologien. Neben Dresden sind zwei weitere europäische Standorte für die Nanoelektronik zentral. In Grenoble, Frankreich, befindet sich der »Pôle de compétitivité mondial MINALOGIC«, bestehend aus 80 Unternehmen, 13 Universitäten und Forschungszentren. Die Region Leuven/Nijmegen/Eindhoven stellt als »Pôle de compétitivité« den dritten großen Cluster dar.

NANOELEKTRONIKFÖRDERUNG

Die europäischen Standorte stehen heute im Wettbewerb mit den USA und Asien. Während innerhalb Europas immer stärker auf die Verhinderung von Wettbewerbsverzerrung und staatlicher Subventionierung gesetzt wird, werden dort Unternehmensansiedlungen stark subventioniert.

Deutschland und Europa sind hingegen vor allem in der Forschungsförderung im Rahmen zahlreicher Programme aktiv. Mit dem Förderprogramm IKT 2020 werden z. B. im Zeitraum von 2007 bis 2011 jährlich rund 380 Mio. Euro von BMBF und BMWI bereitgestellt, wobei Nanoelektronik eines von vier geförderten Themen darstellt. Ab Mitte 2009 fördert das BMBF z. B. mit 40 Mio. Euro über fünf Jahre in der Region Dresden den »Cool Silicon Cluster« zur Entwicklung einer energieeffizienten Elektronik. Auf EU-Ebene stehen im Rahmen der Programme »Cluster for Application and Technology Research in Europe on NanoElectronics«, CATRENE, (2008–2016, Budget: 6 Mrd. Euro)

und »European Nanoelectronics Initiative Advisory Council«, ENIAC, (2008–2017, Budget: 3 Mrd. Euro) fast 1 Mrd. Euro pro Jahr für FuE in den Bereichen »More Moore« und »More than Moore« zur Verfügung. Ziel der Förderung ist die Unterstützung der Zusammenarbeit zwischen europäischen Unternehmen und FuE-Einrichtungen in gesellschaftspolitisch wichtigen Bereichen wie Gesundheit, Mobilität, Energie.

Neben öffentlicher Projektförderung ist in der Vergangenheit aber auch die staatliche Unterstützung des »Silicon Saxony« von Bedeutung gewesen. Zwischen 2002 und 2007 sind z. B. 1,5 Mrd. Euro an öffentlichen und 11 Mrd. Euro an privaten Geldern in die Region geflossen, wobei insbesondere der Bau neuer Chipfabriken finanziert wurde.

NANOELEKTRONIK UND GESCHÄFTSMODELLE

Der weltweite Umsatz der Halbleiterindustrie lag 2007 bei rund 256 Mrd. US-Dollar, wozu die Märkte für Materialien und Halbleiterausrüstung mit jeweils rund 43 Mrd. US-Dollar beitrugen (www.wsts.org; <https://wsts.tsia.org.tw>). Insgesamt beeinflusst die Halbleiterbranche einen Markt von 1.100 bis 1.600 Mrd. US-Dollar in der gesamten Elektronikprodukteindustrie und von über 6.500 Mrd. US-Dollar bezogen auf den Elektronikdienstleistungsmarkt, was 2007 mehr als 13 % des Weltsozialprodukts von rund 49.000 Mrd. US-Dollar ausmachte. Während die drei Regionen USA, Japan und Europa mit ihrer Marktnachfrage in der Halbleiterbranche etwa gleichauf liegen, stellen weitere asiatische Länder wie Taiwan, Südkorea, Singapur und China einen ebenso großen und gleichzeitig stärker anwachsenden Markt dar. Der relative Marktanteil Europas ist von 21 (1997) auf 16 % (2007) gesunken.

Etwa die Hälfte des weltweiten Halbleitermarktes teilen sich die zehn größten Halbleiterhersteller, darunter Intel (USA), Samsung (Südkorea), TI (USA), Toshiba (Japan) und STMicroelectronics (Schweiz). In den letzten Jahren zeigten sich bei den großen Akteuren erhebliche Veränderungen sowohl hinsichtlich ihrer Standorte (in Richtung Asien) als auch bezüglich ihrer Geschäftsmodelle.

- › Das klassische Geschäftsmodell der »Integrated Device Manufacturer« (IDM), welche als Vollhersteller die gesamte Palette von Produktdesign, Entwicklung der Fertigungstechnologie bis hin zu Produktion und Vermarktung der Halbleiter abdecken und mehrere Geschäftsfelder besetzen (z. B. DRAMs für PCs, Flashspeicher für Digitalkameras oder MP3-Player), gerät zunehmend unter Druck. IDMs stehen einerseits mit den auf Produktdesign spezialisierten »Fabless«-Unternehmen im Wettbewerb und müssen sich andererseits gegenüber den »Silicon Foundries« behaupten.
- › Das Geschäftsmodell der »Silicon Foundries« als reine Auftragsfertiger findet insbesondere in Asien zunehmende Verbreitung, z. B. mit TSMC (Taiwan), dem weltweit größten Auftragsfertiger und unter den Top 10 der Halbleiterunternehmen.
- › »Fabless«-Unternehmen, welche nicht selbst produzieren, sind überwiegend in den USA verbreitet (z. B. Qualcomm, Nvidia, SanDisk) und finden sich bereits unter den Top 20.

Bei den europäischen Unternehmen zeigt sich eine Umorientierung vom IDM zum Modell des »Fablite«-Unternehmens, welches nur noch z. T. selbst fertigt, wie z. B. NXP (Niederlande) und Infineon (Deutschland).

INNOVATIONSBLOCKADEN IN DER NANOELEKTRONIK

In dem besonders durch wenige, globale großindustrielle Akteure, wie IDMs und Foundries, charakterisierten Bereich »More Moore«, lassen sich die Blockaden vor allem der Kostendimension zuordnen. Zu zentralen Blockaden zählen die mit jeder Fabrikgeneration steigenden Investitionskosten für Fertigungslinien, inklusive der FuE-Kosten, sodass die wenigen verbleibenden Chiphersteller weltweit in einem besonders harten Wettbewerb stehen. Für die Produktion gilt zudem das zyklische Geschäft mit Massenspeichern als problematisch und risikoreich. In Europa existieren nur noch wenige Hersteller, welche im »leading edge« auf unterschiedlichen Märkten agieren (z. B. Qimonda bei DRAMs, Numonyx bei Flashspeichern, AMD bei Prozessoren). Massive Investitionsförderungen in Fernost, vor allem durch Steuererleichterungen, Subventionen oder Bereitstellung kompletter Infrastrukturen durch den Staat, stellen für die europäischen Standorte, welche dem EU-Beihilferecht unterliegen, ein zusätzliches Problem dar. Infolge enormer Kosten, ungleicher Förderbedingungen sowie einer fehlenden Industriepolitik besteht die Gefahr der Abwanderung der Fertigung aus Deutschland bzw. Europa.

Blockaden im Bereich »More than Moore« sind vor allem marktspezifisch. Dieser Bereich ist stärker durch den Mittelstand geprägt, welcher für die Technologiediffusion in andere Branchen von Bedeutung ist. Zentrale Blockaden werden neben dem fehlenden oder knappen Kapital der KMUs vor allem in der fehlenden oder unzureichenden Kooperation bzw. im mangelnden Technologietransfer zwischen Wissenschaft und Wirtschaft mit dem Ziel der schnellen Identifikation und Besetzung neuer Anwendungen und Marktsegmente gesehen. Hier sind feh-

lende durchschlagende Ideen für Produktinnovationen besondere Herausforderungen. Die z. T. noch fehlende Fokussierung vor allem der Großindustrie hinsichtlich ihrer Produktspektren oder nachhaltiger Geschäftsmodelle ist eine weitere Blockade und erschwert die Wettbewerbsfähigkeit der Unternehmen. Es gibt aber durchaus auch konkrete Bereiche, in welchen Deutschland gut positioniert ist und künftig Vorreiterpositionen einnehmen könnte, wie Nanomaterialwissenschaften, 3-D-Integration, Heterointegration (Sensorik, Aktuatorik), Optoelektronik, Leistungselektronik oder energieeffiziente bzw. »grüne« Elektronik.

Im Bereich »Beyond CMOS« sind heute Universitäten und FuE-Einrichtungen die zentralen Akteure. Blockaden liegen hier vor allem in der Wissensdimension und betreffen z. B. fehlende bzw. unzureichende Lehrangebote und gemeinsame Aktivitäten der Universitäten mit Unternehmen, um den Nachwuchs für eine Unternehmensgründung zu interessieren. Die mangelhafte und wenig zielgerichtete Umsetzung der Forschungsergebnisse der Wissenschaft in die Fertigung bzw. in Produkte ist eine weitere Blockade. Entsprechend besteht z. B. für die Erforschung und Entwicklung neuer nanotechnologischer Verfahren, welche für spätere industrielle Anwendungen herangezogen werden könnten, gezielter Förderbedarf. Schließlich lassen sich noch die fehlende Konzentration der Wissenschaft auf zentrale Themen und Fragestellungen, in denen Deutschland gut aufgestellt ist, sowie die fehlende konsequente Förderung einer Nanoelektronik jenseits der heutigen Halbleiterelektronik als hemmende Faktoren nennen.

Für das »Innovationssystem Nanoelektronik« insgesamt, zeigen sich zentrale Blockaden in der institutionellen Dimension. Auf nationaler und europäischer Ebene fehlen eine gemeinsame Vision

und der politische Wille, sich offensiv zur Nanoelektronik zu bekennen. Synergieeffekte werden oft nicht genutzt, und es kommt aufgrund fehlender Arbeitsteilung zu Doppelarbeiten beispielsweise in Entwicklungslaboren. Europäische Halbleiterunternehmen haben ferner zunehmend mit Patentverletzungen durch Länder wie Taiwan, China, Korea und Nordamerika zu kämpfen, welche u. a. zu Verlusten von Marktanteilen und Marktwerten der Unternehmen führen können. Zu starre Rahmenbedingungen in Forschung und Industrie sowie bürokratische, zeitaufwendige Hürden sind weitere Blockaden. Die zentralen Blockaden sind in der Übersicht zusammenfassend dargestellt.

HANDLUNGSOPTIONEN FÜR DIE NANOELEKTRONIK

Mögliche Handlungsoptionen im Bereich »More Moore« richten sich vor allem an die Großunternehmen und die Politik auf Landes-, Bundes- und EU-Ebene. Um den Großunternehmen eine größere Stabilität zu verschaffen, gewinnt z. B. die proaktive Suche nach ausländischen Investoren weiter an Be-

deutung. Dabei hat sich auch das Thema der EU-Beihilfenkontrolle hinsichtlich des Bereichs »More Moore« als eine Schlüsselfrage herauskristallisiert und wird auch für den langfristig davon abhängigen Bereich »More than Moore« zunehmend relevant. Ein eher kontrovers gesehener direkter staatlicher Eingriff, z. B. durch Staatsbeteiligungen oder Subventionen, steht hier mehreren denkbaren indirekten Unterstützungsmaßnahmen gegenüber, z. B. Währungsausgleich (starker Euro, schwacher Dollar), Ausgleich von Steuernachteilen oder andere Fördermaßnahmen wie PPP-Modelle.

Für eine nachhaltige Förderpolitik stellt sich die Frage, wie selbst im Fall des Verlusts wichtiger Fertigungsstätten das erzeugte Know-how, u. a. in Form von Patenten durch Lizenzen, durch besseren Patentschutz oder neue Geschäfts- bzw. Vermarktungsmodelle exportiert werden kann. Zudem zeigt sich eine stärkere Vernetzung der großen europäischen Standorte und die Schaffung von Technologie- und vor allem Industriepattformen als erforderlich. Durch industrielle Allianzen, wie die IBM-Allianz oder die aufgrund feh-

lender Industriepartner wieder beendete Crolles2-Allianz, könnten z. B. die enormen FuE-Kosten geteilt und Fertigungslinien gemeinsam genutzt werden, was aber einen verstärkten Austausch sowie Kooperationen der Großunternehmen erfordern würde. Ebenso ist die Industrie gefragt, neue Geschäftsmodelle zu entwickeln (z. B. Fabless, Fablite) oder ihr Produktspektrum zu fokussieren, um wichtige High-End-Märkte zu bedienen.

Maßnahmen im Bereich »More than Moore« betreffen vor allem die bessere Unterstützung von KMUs. So könnten Wissenschaftler verstärkt in KMUs entsendet oder der Austausch zwischen diesen im Rahmen einer Neuausrichtung der Mittelstandspolitik stärker gefördert werden, um den Transfer der Forschungsergebnisse für den Mittelstand zu verbessern. Start-ups und KMUs könnten z. B. durch den Aufbau einer Informationslogistik und Plattform für den Mittelstand unterstützt werden. Die Schaffung industrieller Forschungszentren sowie die Förderung transnationaler Kooperationsmodelle könnten die Kooperationen zwischen Wissenschaft und Wirtschaft auf nationaler und internationaler Ebene verstärken.

Im Bereich »Beyond CMOS« ist die Wirtschaft gefordert, sowohl auf breiter Basis die Identifikation attraktiver nanoelektronischer Zukunftstechnologien zu unterstützen und allgemein auf Trends rechtzeitig zu reagieren als auch im Konkreten, Anwendungspotenziale rechtzeitig zu erkennen und aufzugreifen. Start-ups und KMUs im Bereich »Beyond CMOS« könnten durch Konzentration, z. B. auf Nischenmärkte, künftige strategische Wachstumsmärkte besetzen. Alle Programme, welche die Kooperation der beteiligten Partner fördern, wie z. B. CATRENE und ENIAC auf EU-Ebene (s. o.), werden als positiv und wichtig für eine Umsetzung von Forschungsergebnissen bewertet.

BLOCKADEN IN DER NANOELEKTRONIK

»More Moore«	»More than Moore«
<ul style="list-style-type: none"> – steigende Innovationskosten – mangelnde/ungleiche Investitionsförderung – fehlende Industriepolitik/ Unternehmensstrategien – Gefahr der Abwanderung der Fertigung 	<ul style="list-style-type: none"> – unzureichendes Eigenkapital der KMU – fehlende Kooperationen/ Technologietransfer – fehlende Ideen zur Marktbeseztzung – fehlender Fokus (Produkte, Geschäftsmodelle)
»Beyond CMOS«	»Innovationssystem Nanoelektronik«
<ul style="list-style-type: none"> – unzureichende Lehrangebote/ Gründerförderung – mangelnde Umsetzung der Forschungsergebnisse – fehlende Konzentration auf zentrale Themen – geringe, ungezielte Forschungsförderung 	<ul style="list-style-type: none"> – fehlende Vision, Sichtbarkeit, politischer Wille – fehlende (europäische) Arbeitsteilung, Synergien – unzureichende Intellectual-Property-Rights(IPR)-Verwertung/IPR-Schutz – Bürokratie

Quelle: eigene Darstellung

Im Bezug auf das »Innovationssystem Nanoelektronik« sind die Vernetzung der großen europäischen Halbleiterstandorte und die Schaffung einer europäischen Industriepattform zentrale Herausforderungen. Auf nationaler Ebene könnte – so eine konzeptionelle Idee – ein »Deutsches Zentrum für Beyond-CMOS-Technologien« etabliert werden, um die Nanoelektronikforschung gezielt zu bündeln. Synergieeffekte könnten besser genutzt werden, indem z. B. FuE-Einrichtungen bzw. Labore gemeinschaftlich genutzt werden. Der Umgang mit gemeinsam erlangtem geistigen Eigentum (IPR-Verwertung) würde bei zunehmenden Kooperationen stärkere Bedeutung gewinnen und auf nationaler und EU-Ebene auch Patentämter und -anwälte (IPR-Experten allgemein) mit einbeziehen.

FAZIT UND AUSBLICK

Die Nanoelektronik stellt eine strategisch wichtige Zukunftsbranche dar. Sie steht aber aufgrund der starken internationalen Konkurrenz und der rasanten technologischen Entwicklung in Deutschland und Europa vor großen Herausforderungen. Es zeigen sich verschiedene Blockaden bei der Etablierung dieser Schlüsselindustrie, die nur durch ein gemeinsames Handeln der verschiedenen Akteure und einer nachhaltigen Förderpolitik zu beheben sind. Dabei kristallisieren sich auch zentrale Fragen der zukünftigen Wettbewerbsfähigkeit Europas angesichts der aktuellen politischen Rahmenbedingungen heraus. Aufgrund der Bedeutung der EU-Beihilfepolitik und der Rolle des Staates hinsichtlich heu-

tiger und künftiger nachgelagerter Anwenderbranchen sollen diese in einer weiteren TAB-Studie zu »Internationale Wettbewerbsfähigkeit der europäischen Wirtschaft im Hinblick auf die EU-Beihilfepolitik am Beispiel der Nanoelektronik« analysiert werden. Dabei wird eine der zentralen Fragestellungen sein, wie eine nachhaltige Förderpolitik unter den gegebenen Bedingungen der eingeschränkten Beihilfemöglichkeiten erfolgen könnte.

KONTAKT

Dr. Axel Thielmann
0721/6809-299
axel.thielmann@isi.fraunhofer.de