Fraunhofer

Fraunhofer Moonshot Innovation Brief

Mikroelektronik als strategisches Asset nutzen

Schlüsseltechnologien: Mikroelektronik und Künstliche Intelligenz

Executive Summary

Die Mikroelektronik ist das technologische Rückgrat der digitalen Gesellschaft und ihrer Energiesysteme. Sie trägt wesentlich zu Innovation, technologischer Souveränität und mit etwa 4 Prozent direktem und 15 Prozent indirektem Beitrag zum deutschen Bruttoinlandsprodukt auch signifikant zur Wertschöpfung bei. Die deutschen Schlüsselindustrien sind auf Mikroelektronik angewiesen. Gesellschaftlich wirkt die Mikroelektronik als Enabler für digitale Souveränität, ökologische Transformation und Resilienz, besonders in Krisen und geopolitischen Spannungen. Sie ist entscheidend, um kritische Infrastrukturen zu sichern und innovative Lösungen für Klima- und Energieherausforderungen zu entwickeln.

Deutschland zählt zu den weltweit führenden Standorten, insbesondere in Automotive, Industrie 4.0, Energienetzen und -effizienz. Die Stärken liegen in der engen Verzahnung von Forschung, Entwicklung und industrieller Anwendung, einer hochqualifizierten Fachkräftebasis sowie einer starken industriellen Basis im Maschinenbau und in der Elektroindustrie. Gleichzeitig bestehen für Innovationen in diesen Schlüsselindustrien Schwächen, etwa die Abhängigkeit von außereuropäischen Lieferketten bei Chips, kritischen Materialien und High-End-Designs.

Deutschland hat das Potenzial, durch die Verbindung von KI mit Leistungselektronik bzw. Sensorik technologische Führerschaft zu erlangen und damit die Wettbewerbsfähigkeit ganzer Sektoren nachhaltig zukunftsfähig zu machen, Abhängigkeiten zu verringern, den Wertschöpfungsanteil in Deutschland zu steigern und das in Teilen schwindende Exportpotenzial der deutschen Wirtschaft signifikant zu stärken. Das gemeinsame Positionspapier[1] von BMFTR und BMWE identifiziert drei zentrale Erfolgsfaktoren: Forschung, Fachkräfte und Fertigung. Dabei soll die Forschung Fähigkeiten im Chip-Design fördern und den Transfer »From Lab to Fab« vorantreiben, wobei die Forschungsfabrik Mikroelektronik eine Schlüsselrolle spielt. Die Fachkräfteförderung soll sektorspezifisch verstärkt werden, um die Fachkräftelücke zu schließen. Zudem gilt es, Anreize für die Ansiedlung und Weiterentwicklung innovativer Fertigung in Deutschland zu schaffen. Die hier definierten Moonshot-Projekte erfüllen genau diese Kriterien und bieten die realistische Aussicht auf technologische Führerschaft. Sie bündeln die Kräfte aller wichtigen Akteure des Innovationsökosystem Mikroelektronik, vernetzen sich mit Universitäten, Registered Training Organisations, KMU, Zulieferern, Stakeholdern aus Gesellschaft, Politik und Wirtschaft und bauen auf bestehende Infrastrukturen auf. Sie ermöglichen im Gegensatz zu kleinteiligen Projektformen nicht nur Technologiesprünge, sie beschleunigen auch die Umsetzung in Industrie und Gesellschaft und entfalten damit eine besonders intensive Hebelwirkung auf Wirtschaft, Gesellschaft, Umwelt.

Beispielhaft werden hier zwei Moonshot-Vorhaben vorgestellt: »MegaElectronics – Smarte Leistungselektronik für resiliente Stromnetze«, sowie den neuartigen Ansatz

[1] Forschung, Fachkräfte, Fertigung: Impuls für das Mikroelektronik-Ökosystem in Deutschland und Europa (https://www.bmbf.de/SharedDocs/Downloads/DE/2025/Positionspapier_Mikroelektronik.pdf)

»Embodied AI – die Verkörperung der Künstlichen Intelligenz«, um die digitale Zukunft zu prägen.

MegaElectronics – Smarte Leistungselektronik für resiliente Stromnetze

Die umfassende Elektrifizierung unserer gesamten Energieversorgung erfordert auf dem Weg zu einer versorgungssicheren Klimaneutralität einen weitreichenden Systemumbau, der erhebliche Ressourcen und technologische Fähigkeiten beansprucht. Der kürzliche Blackout in Spanien und Portugal sowie der gezielte militärische Angriff auf die Energieinfrastruktur in der Ukraine verdeutlichen eindrucksvoll die Dringlichkeit einer umfassenden Modernisierung des Stromnetzes, um dessen Stabilität und Resilienz langfristig zu gewährleisten. Das Moonshot-Vorhaben zielt auf eine resiliente Stromversorgung in Deutschland und Europa auf der Basis von neuartigen leistungselektronischen Halbleiterbauelementen. **»Ultra-Wide-Bandgap (UWBG)«-Halbleiterbauelemente** der übernächsten Generation auf Basis von Advanced Intelligent Networks werden eine weltweite Technologieführerschaft ermöglichen. Mit dieser Schlüsseltechnologie werden Bauelemente mit bisher nicht erreichten Leistungsmerkmalen realisierbar, die völlig neue Möglichkeiten in Megawatt-Anwendungen und darüber hinaus erschließen.

Diese neuen Technologien sind Basis für die Produktion von zentralen Komponenten für die Energieinfrastruktur sowie für deren Betrieb. Durch die angestrebte Technologieführerschaft wird die gesamte Wertschöpfungskette der breit aufgestellten nationalen und europäischen Leistungs- und Mikroelektronikbranche gezielt gestärkt – mit neuartigen Materialien und Technologien, welche die Wettbewerbsfähigkeit erhöhen und die Abhängigkeit von außereuropäischen Lieferanten nachhaltig reduzieren. Mit der Entwicklung dieser Technologie und einem konsequenten Ausbau von Fertigungseinrichtungen ist das Ziel, **den europäischen Anteil der Fertigung für die gesamte Wertschöpfungskette von 10 Prozent auf 90 Prozent zu heben, realistisch erreichbar**. Gleichzeitig ergeben sich enorme Chancen für den Export, da es weltweit einen deutlich wachsenden Markt für Neuausrüstung und Umrüstung von Energieinfrastrukturen gibt. Es ist wichtig anzumerken, dass für die Produktion dieser Bauelemente keine Abhängigkeit von Rohstofflieferungen aus dem Ausland bestehen. Ebenso würde auch die systemkritische Abhängigkeit von der Lieferung von herkömmlichen Großtransformatoren überwunden. Auf diesem Technologiefeld ist die Fraunhofer-Gesellschaft derzeit weltweit an der Spitze. Mit diesem Moonshot-Projekt besteht für Deutschland die realistische Chance, weltweit auch Führerschaft in der industriellen Umsetzung zu erringen.

Im Mittelpunkt des Vorhabens steht dabei die Entwicklung neuartiger smarter **Solid-State-Transformatoren (SST)**, welche durch neuartige UWBG-Halbleiter ermöglicht werden und die als intelligente, widerstandsfähige und ressourcenschonende Knotenpunkte das zukünftige Stromnetz prägen. Durch den flexiblen Einsatz neuartiger (Mittelspannungs- und perspektivisch Hochspannungs-) Stromrichter ersetzen sie traditionelle Transformatoren für Leistungsklassen bis in den Multi-Megawatt-Bereich und bilden die Basis für ein effizientes, **stromrichtergeführtes Stromnetz**, das den Herausforderungen der Zukunft gewachsen ist. Durch die Möglichkeit, lokale Energiespeicher miteinzubinden, kann Regelenergie an jedem Netzknoten bereitgestellt und können erweiterte Stabilitäts- und Schutzfunktionen integriert werden, die mit klassischen Transformatoren nicht realisierbar wären.

Der bahnbrechende Technologiesprung der Leistungshalbleitertechnologien der Zukunft auf Basis von UWBG-Materialien am anderen Ende der technologischen Wertschöpfungskette geht weit über bestehende elektronische Bauelemente hinaus. Der **Material- und Ressourceneinsatz bei Kupfer und Eisen auf Systemebene** (SST ersetzt Transformatoren) wird bis zu einem **Faktor von 50** reduziert. Weiterhin wird damit auch erstmals die Systemintegration von Leistungselektronik mit Supraleitern in **kryogenen Systemen** möglich und erschließt neue Möglichkeiten z. B. für elektrische Flugzeugantriebe. Gleichzeitig werden Impulse für die Forschung nach Hochleistungs-Materialien für passive Komponenten wie Induktivitäten, Kondensatoren, Isolatoren und Wärmeübertrager sowie Treiber und alternative Hochstromleiterplatten gegeben.

Zur Realisierung der ambitionierten Ziele ist eine interdisziplinäre Zusammenarbeit notwendig. Basis hierfür ist auf nationaler Ebene ein schlagkräftiges Mikroelektronik-Netzwerk, welches sich über mehrere Fraunhofer-Verbünde und weitere Forschungsinstitute spannt und die die EU-Pilotlinien Advanced Packaging and Heterogeneous Integration for Electronic Components and Systems APECS und Wide-Bandgap WBG (European Chips Act) einbindet. Dieses Netzwerk bietet die einmalige Möglichkeit, alle notwendigen Industriepartner, inklusive innovativer KMU, direkt einzubinden: von Leistungshalbleiter- und -modulherstellern über Komponentenhersteller, Anlagen- und Systemhersteller bis hin zu Systemintegratoren sowie Übertragungsnetzbetreibern und Verteilungsnetzbetreibern. Die dabei adressierten Moonshot-Technologien erschließen über den Fokus auf resiliente Übertragungsnetze hinaus völlig neue disruptive Anwendungsfelder – von supraleitenden elektrischen Systemen in der Luftfahrt, Kernfusion und Quantencomputern bis hin zu ressourceneffizienten Energieversorgungen für Fahrzeuge, Datenzentren, Schiffe und in der Raumfahrt, wodurch sie einen enormen gesellschaftlichen Impact generieren.

Embodied AI – Mit Mikroelektronik die Künstliche Intelligenz verkörperlichen

Die Künstliche Intelligenz stößt derzeit auf eine Energiebarriere: Klassische Graphics Processing Units (GPUs) treiben den Stromverbrauch hoch und zwingen KIs für autonome Systeme in entfernte Rechenzentren. Weil eine energiearme, latenzfreie Ankopplung der örtlichen Sensoren fehlt, können Roboter, Fahrzeuge, Drohnen, Raketen oder auch Satelliten nicht schnell, sicher und eigenständig agieren. Erforderlich ist eine Verkörperlichung, eine **Embodied AI**, bei der die **neuronalen Netze** zugleich leistungsstark, radikal energiesparend und unmittelbar **mit ihren Sensoren, quasi die Sinne der Maschinen, verschmelzen**.
Nach dem Vorbild des unerreicht effizienten Gehirns verarbeiten Spiking Neural Networks (SNN) Signale als »Spikes« statt als Bit-Blöcke.
Kombiniert mit vorverarbeitenden Sensoren und smarten Aktoren entsteht ein System, das detektiert, lernt und handelt – mit Milliwatt- statt Kilowattbedarf.

Der wirtschaftliche und strategische Nutzen dieses Moonshots ist gewaltig: Analysten prognostizieren ab 2029 jährliche Wachstumsraten von knapp 60 Prozent, das adressierbare Marktvolumen für Embodied-AI-Lösungen dürfte bis 2035 die 20-Mrd.-€-Grenze überschreiten. Wer in dieser kurzen Vorlaufphase Handlungsfähigkeit beweist, sichert sich langfristige Wettbewerbsvorteile. Dabei wandelt sich die Leistungskennzahl von »FLOPS pro Dollar« zu »intelligenten Entscheidungen pro Joule« – ein Feld, in dem Deutschland mit effizienzoptimierter Mikrosystem- und Industriekompetenz eine führende Position erreichen kann.

Gesellschaftlich eröffnet die Technologie breite Wirkungsketten: Medizinische Wearables analysieren Vitaldaten rund um die Uhr und entlasten Arztpraxen und Kliniken, autonome Drohnen übernehmen gefährliche Inspektionsflüge ohne Funkanbindung, Produktionsanlagen wechseln von reaktiver zu prädiktiver Wartung, was Ausschuss, Stillstand und CO_2-Emissionen massiv reduziert. In der Raumfahrt können Embodied-AI-Lösungen hocheffizient intelligente Steuerungs- und Auswertungsaufgaben realisieren. Insgesamt stärkt der Ansatz die technologische Souveränität Europas, schafft hochqualifizierte Arbeitsplätze an den Schnittstellen von Mikroelektronik, KI und Robotik und positioniert Deutschland als Taktgeber einer nachhaltigen, energieeffizienten KI-Ära.

Genau an diesem Hebel für disruptive Innovation setzt das Moonshot-Projekt an und schließt vier kritische Lücken. Erstens fehlt bislang eine skalierbare europäische Hardwareplattform, die nichtflüchtige In-Memory-Synapsen und eine heterogene 3D-Chiplet-Integration in einem einzigen Stack vereint. Zweitens existiert keine durchgängige Software-Toolchain, mit der Entwickler SNN-Modelle komfortabel entwerfen, trainieren und auf Hardware ausrollen können. Drittens braucht es dringend energieeffiziente Systeme für daten- und rechenintensive Optimierungsprobleme, die nur durch konsequentes Hardware-Software Co-Design entwickelt werden können. Viertens fehlt ein koordiniertes Ökosystem, das Sensorik, Recheneinheiten und Aktorik gemeinsam denkt und industrialisierbar macht. Durch diesen ganzheitlichen Ansatz – über die gesamte Wertschöpfungskette hinweg – soll die Basis der Embodied-AI-Systemen entstehen.

Strategisch treibt das Projekt den Dreiklang aus **Forschung, Fachkräftegewinnung und Fertigung maßgeblich voran**: Es braucht interdisziplinäre **Spitzenforschung** an neuromorphen Chips und sensomotorischer KI und beschleunigt den Transfer von Grundlagenwissen (Lab) in funktionsfähige Hardware (Fab). Es stärkt Deutschlands Kompetenz in Schlüsseltechnologien wie Chipdesign, neuartige Rechenarchitekturen und Advanced Packaging. Der Weg zur Embodied AI erfordert neue Kompetenzprofile, z. B. in neuronaler Informationsverarbeitung und energieeffizientem Chipdesign. Als Moonshot-Projekt signalisiert es Ambition und Zukunftsorientierung – entscheidend, um die **klügsten Köpfe** im internationalen Wettbewerb zu gewinnen. Die **industrielle Fertigung** von SNN-Beschleunigern – insbesondere durch energieeffiziente, heterogene Chipsysteme, muss in Deutschland sichergestellt werden. Nur so lassen sich Wettbewerbsvorteile realisieren, Abhängigkeiten vermeiden und Spill-Over-Effekte für andere Mikroelektronikanwendungen generieren.

Mit der Infrastruktur der FMD (Forschungsfabrik Mikroelektronik Deutschland) sind in Deutschland die Voraussetzungen für die Realisierung des Moonshots geschaffen. Durch die APECS-Pilotlinie werden sie ausgebaut. Die FMD kann hierbei synergetisch alle wesentlichen Arbeitsbereiche abdecken – vom Schaltungsdesign und der Softwarearchitektur über mikroelektronische und sensorische Chiplets bis hin zur Heterointegration sowie der Testung und Validierung der Systeme. Software-Institute und Universitäten komplementieren die Kompetenzen der FMD. Die großen Investitionen in Deutschland u. a. durch Infineon, GlobalFoundries, TSMC und Bosch erweitern die industrielle Basis für AI-Chips und Sensoren. Erfolgsrezept des Projekts ist die enge Kooperation mit der Industrie aus den Zielbranchen der Mikroelektronik: Automobil, Industrieautomation, Verteidigung, Medizintechnik und Kommunikationssysteme.

Der Ansatz der Embodied AI hat das Potenzial als disruptiver Ansatz, einige der größten Herausforderungen bei autonomen Systemen zu lösen und bestehende Lücken zu schließen. Hierdurch kann Deutschland eine führende Position im Zukunftsfeld nachhaltige KI einnehmen, seine internationale Stärke im Bereich der Industrielösungen unterstreichen,

Fachkräfte gewinnen und wichtige Impulse für die Weiterentwicklung innovativer Mikroelektronikfertigung in Deutschland setze

Über die Fraunhofer-Gesellschaft

Die Fraunhofer-Gesellschaft mit Sitz in Deutschland ist eine der führenden Organisationen für anwendungsorientierte Forschung. Im Innovationsprozess spielt sie eine zentrale Rolle – mit Forschungsschwerpunkten in zukunftsrelevanten Schlüsseltechnologien und dem Transfer von Forschungsergebnissen in die Industrie zur Stärkung unseres Wirtschaftsstandorts und zum Wohle unserer Gesellschaft. Seit ihrer Gründung als gemeinnütziger Verein im Jahr 1949 nimmt sie eine einzigartige Position im Wissenschafts- und Innovationssystem ein.

Knapp 32 000 Mitarbeitende an 75 Instituten und selbstständigen Forschungseinrichtungen in Deutschland erarbeiten das jährliche Finanzvolumen von 3,6 Mrd. €. Davon entfallen 3,1 Mrd. € auf das zentrale Geschäftsmodell von Fraunhofer, die Vertragsforschung. Im Vergleich zu anderen öffentlichen Forschungseinrichtungen bildet die Grundfinanzierung durch Bund und Länder lediglich das Fundament des jährlichen Forschungshaushalts. Sie ist die Basis für wegweisende Vorlaufforschung, die in den kommenden Jahren für Wirtschaft und Gesellschaft bedeutend wird. Das entscheidende Alleinstellungsmerkmal ist der hohe Anteil an Wirtschaftserträgen, der Garant ist für die enge Zusammenarbeit mit Wirtschaft und Industrie und die stetige Marktorientierung der Fraunhofer-Forschung: 2024 beliefen sich die Wirtschaftserträge auf 867 Mio. € des laufenden Haushalts. Ergänzt wird das Forschungsportfolio durch im Wettbewerb eingeworbene öffentliche Projektmittel, wobei eine ausgewogene Balance zwischen öffentlichen und wirtschaftlichen Erträgen angestrebt wird.

Kontakt

Herausgeber
Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der angewandten Forschung e. V.
Hansastraße 27 c, 80686 München
https://www.fraunhofer.de

Ansprechpersonen
Prof. Dr. Constantin Häfner
Vorstand für Forschung und Transfer
Constantin.haefner@zv.fraunhofer.de

Prof. Dr. Albert Heuberger
Vorsitzender des Fraunhofer-Verbunds Mikroelektronik
Albert.heuberger@iis.fraunhofer.de

© Fraunhofer-Gesellschaft e. V., München 2025