Fraunhofer Moonshot Innovation Brief

Advanced Materials & Production – Crucial for Earth & Ready for Space

Schlüsseltechnologien: KI, klimaneutrale Energieerzeugung, Mikroelektronik, Biotechnologie

Executive Summary

Schlüsseltechnologien für die effiziente Energiewandung und -speicherung, boden- wie luftgebundene (klimaneutrale) Mobilität, die Mikroelektronik ebenso wie die Biotechnologie oder die Raumfahrt sind essenziell auf fortschrittliche Materialien und Produktionstechnologien **(Advanced Materials & Production)** angewiesen. Entscheidende Erfolgsfaktoren im globalen Wettbewerb bilden dabei **Qualität, Effizienz und Schnelligkeit beim Technologietransfer**. Die Hebel sind konsequente **Digitalisierung, Automatisierung** und der Einsatz **Künstlicher Intelligenz (KI)**.

In der digitalen Materialforschung ist Deutschland derzeit in einer europäischen **Spitzenposition**, in der Produktionstechnik trotz aktueller Herausforderungen weiterhin weltweit an der Spitze. Um diese Positionen zu halten und in ertragsstarke Geschäftsmodelle auszubauen, braucht es vermehrt und beschleunigt **Produkt- und Prozessinnovationen**. Diese müssen **energie-, material- und ressourceneffizient** sein. Das gilt insbesondere für Produkte auf Basis hochspezialisierter, hochleistungsfähiger Materialien/Materialsysteme und die damit untrennbar verknüpften Produktionsprozesse etwa für den **Wachstumsmarkt Raumfahrt und Weltraumwirtschaft, aber auch für den Mobilitätssektor, die Energiewende, den Sicherheits- und Verteidigungssektor oder die Bauwirtschaft der Zukunft.**

Produkte für diese Sektoren basieren vielfach auf komplexen **Materialsystemen** und hochwertigen **Verbundwerkstoffen**. Die Kreislaufführung solcher Advanced Materials ist aus ökonomischer und ökologischer Sicht höchst erstrebenswert, jedoch fehlen hierzu vielfach noch **skalierbare und damit wirtschaftlich tragfähige Konzepte (Design for Circularity)**. Auch steckt die digitale Transformation für diese Werkstoffe noch in ihren Anfängen. **Durchgängiges, digitales Abbilden relevanter Wertschöpfungsketten**, vom Material über die Produktion bis zum Produkt und Rezyklat, idealerweise über mehrere Wertschöpfungszyklen hinweg, verspricht enorme Effizienz- und Innovationsschübe.

Fortschritte bei der Verfügbarkeit von strukturierten Materialdaten erlauben heute das **qualitätsgesicherte Training von KI-Modellen**. Der Einsatz solcher KI-Modelle eröffnet zahlreiche neue Möglichkeiten: zum Beispiel präzisere, schnellere und damit **kostengünstigere Materialentwicklung** für die jeweilige Zielanwendung, **prognosefähige Bauteilauslegung, sichere industrielle Nutzung kreislaufgeführter Materialien** (Sekundärmaterialien und -rohstoffe), skalierbare Produktionsprozesse. Durch Automatisierung, Digitalisierung und KI als **Effizienzmotoren**, verbunden mit innovativen Logistikkonzepten wird das enorme Potenzial von Advanced Materials & Production gehoben und für **neue, nachhaltige Geschäftsmodelle industriell relevant skaliert**. Durch die hohe Querschnittswirkung werden zahlreiche etablierte Märkte adressiert (s.o.), und neue Marktsegmente wie etwa New Space können wirtschaftlich erschlossen werden. **Neue Marktchancen** entstehen für Unternehmen entlang der gesamten Wertschöpfungskette, sowohl für **OEM als auch für deren komplette Liefernetzwerke**. Hiervon profitieren insbesondere zahlreiche KMU.

Vorschlag

Ziel der Initiative **»Advanced Materials & Production – Crucial for Earth, Ready for Space«** ist es, eine **wirtschaftliche Circular Economy** für Advanced Materials zu etablieren, indem das Potenzial moderner Material- und

Produktionsforschung synergistisch genutzt wird. Durch leistungsfähige Bauteile und Komponenten werden Innovationen in Wachstumsmärkten wie Raumfahrt, Sicherheit und Verteidigung oder klimaneutrale Mobilität beschleunigt. Hierbei stehen **Verbundmaterialien und komplexe Materialsysteme** im Fokus. Sie werden für zahlreiche Zukunftstechnologien in steigenden Mengen und Varianten zwingend benötigt, sind gleichzeitig aber für die effiziente und automatisierte Produktion sowie für die Kreislaufführung besonders anspruchsvoll.

Der **globale Markt für Verbundwerkstoffe wurde im Jahr 2022 auf 93,7 Mrd. US-Dollar** geschätzt und soll zwischen 2023 und 2030 mit einer durchschnittlichen jährlichen Rate von 7,2 Prozent wachsen (Grand View Research, 2023). Dies ist auf die branchenübergreifend **steigende Nachfrage nach ressourceneffizienteren und leichteren Bauteilen und Bauweisen** (Leichtbautechnologien), vor allem in der Luft- und Raumfahrt, der Transportindustrie, aber auch im Bauwesen und anderen Branchen zurückzuführen. Der **globale Markt alleine für Raumfahrt und Weltraumwirtschaft** erlebt aktuell ein durchschnittliches jährliches Wachstum von bis zu 9 Prozent und soll **bis 2035 ein Marktvolumen von bis zu 1,8 Bill. US-Dollar** erreichen (McKinsey & Company, 2024). In Deutschland umfasst der direkte **Wertschöpfungsbeitrag des Leichtbaus** inklusive der zugehörigen Dienstleistungen laut einer aktuellen Studie (econmove, 2024) branchenübergreifend rund 124 Mrd. Euro bzw. knapp **4 Prozent der deutschen Wirtschaftsleistung**.

Durch »Advanced Materials & Production« können diese Marktchancen für Unternehmen, insbesondere für KMU entlang der Zulieferketten in den oben genannten Märkten erschlossen werden. Gleichzeitig bietet diese Initiative zahlreiche Möglichkeiten für Start-ups. Bereits **vorhandene und mit der Forschung gut vernetzte Ökosysteme** wie die deutsche Initiative Leichtbau, das Netzwerk der Fraunhofer-Allianz Aviation & Space und produktionstechnische Netzwerke etwa rund um Manufacturing-X bilden eine hervorragende Ausgangsbasis für den Technologietransfer. Auf europäischer Ebene bildet das Ökosystem des Vereins IAM-I (Innovative Advanced Materials Initiative) eine **ideale Plattform für den Transfer**.

Neue Funktionalitäten und hohe Funktionsintegration in Advanced Materials kombiniert mit passgenauen, KI-gestützten Produktionsverfahren nach einem Design for Circularity ermöglichen neue nachhaltige und **wettbewerbsfähige Produkte für die terrestrische Industrie wie auch für die Weltraumwirtschaft (NewSpace)**. Durch die Entwicklung und Nutzung von fortschrittlichen Materialien, Fertigungsprozessen und Logistikkonzepten können eine **Skalierung auf industrielle Maßstäbe** und eine **erhebliche Kostenreduktion** (Zielsetzung für Raumfahrtprodukte: - 90 Prozent) unter Beibehaltung hoher Qualitätsstandards erzielt werden.

Insbesondere für Luft-, Raumfahrt- und NewSpace-Anwendungen besteht ein vielfältiger **Bedarf an Advanced Materials von konstant hoher Qualität**. Gleichzeitig müssen die entsprechenden **Produktionsprozesse** (in der Vergangenheit z. B. Manufaktur einzelner Satelliten) auf neue Größenordnungen (industrielle Serienfertigung) **hochskaliert** werden.

Diesem Bedarf kann Deutschland durch fokussiertes Zusammenführen des vorhandenen **exzellenten Know-hows in der digitalen Materialforschung und der Industrie 4.0/5.0** erfolgreich begegnen und eine international führende Wettbewerbsposition erreichen. Der durchgängige Einsatz modernster digitaler Technologien entlang von Wertschöpfungsketten und Materiallebenszyklen (Digital Twins) ist gleichzeitig auch essenziell für eine effiziente, wirtschaftliche und damit in der Breite wirksame **Circular Economy**. Durch Integration **ganzheitlicher prädiktiver Bilanzierungsmethoden** (ökonomische, ökologische und technische Bewertungen) in den Gesamtprozess bis hin zur Bewertung der Sicherheit und Zuverlässigkeit von Sekundärmaterialen und -produkten aus Kreislaufprozessen wird ein maßgeblicher Beitrag zur grünen und digitalen Transformation **(Twin Green and Digital Transition)** der deutschen und europäischen Industrie **(Green Industrial Deal)** geleistet. Wertschöpfungszeiträume für hochwertige Advanced Materials werden verlängert, Materialeffizienz und Ressourcensouveränität gesteigert.

Ergebnisse aus bisherigen nationalen Forschungsförderprogrammen wie etwa **»Vom Material zur Innovation«** (jetzt **»Mat2Twin«**) des BMFTR, den Luftfahrtforschungsprogrammen **LuFo (aktuell »LuFo Klima«)** und dem **»Technologietransfer-Programm Leichtbau TTP LB«** des BMWE haben bereits eine sehr gute Basis für eine erfolgsversprechende Umsetzung des hier skizzierten Vorhabens geschaffen. Künftig zu erwartende Bekanntmachungen sowie Calls im Rahmen der **Europäischen Partnerschaft »Innovative Advanced Materials for EU – IAM4EU«** lassen weitere Möglichkeiten für FuE und Technologietransfer erhoffen.

Mit den **Fraunhofer-Verbünden Werkstoffe, Bauteile – Materials und Produktion** stehen, bezogen auf ihre jeweiligen wissenschaftlich-technischen Domänen, zwei der größten FuE-Einheiten in Europa als verantwortliche Treiber mit entsprechender **Transfer-Mission** für die Umsetzung des Vorhabens zur Verfügung. Die Institute sind sehr gut mit weiteren, in diesem Kontext **relevanten Leistungsträgern im deutschen Forschungssystem vernetzt**. Hierzu zählen vor allem die in den entsprechenden Domänen operierenden Institute der Max-Planck-Gesellschaft, der Helmholtz-Gemeinschaft, Technische Universitäten und Einrichtungen wie das Deutsche Forschungszentrum für Künstliche Intelligenz DFKI aber auch die Fraunhofer-Institute des IuK-Verbunds. Das Ökosystem wird durch die Vernetzung mit Unternehmen

(KMU, Großunternehmen, Start-ups), Industrieverbänden und Vertretern der Politik in den oben genannten Anwender- bzw. Bedarfsträger-Netzwerken komplettiert.

Zur Umsetzung des Vorhabens, insbesondere zum Aufbau passender Digitaler Zwillinge von Materialien und Prozessen sowie zur Integration von Methoden der Künstlichen Intelligenz in die Prozesse werden eine **leistungsfähige IT-Infrastruktur** sowie entsprechende Software-Lösungen benötigt. Angesichts der notwendigen industriellen Validierungen und Absicherungen besteht Bedarf an einem **längerfristigen Förderprogramm** von ca. 8 bis 10 Jahren.

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. Peter Gumbsch
Vorsitzender des Verbunds Werkstoffe, Bauteile - Materials
Peter.gumbsch@iwm.fraunhofer.de

© Fraunhofer-Gesellschaft e. V., München 2025

Fraunhofer Moonshot Innovation Brief

Batteriezellproduktion in einem souveränen Ökosystem: Partnerschaften entlang der Wertschöpfungskette

Schlüsseltechnologien: Klimaneutrale Mobilität, klimaneutrale Energieversorgung

Executive Summary

Batterien sind eine **Schlüsseltechnologie** für die Transformationen des 21. Jahrhunderts. Sie bilden bereits heute das Herz zahlreicher Produkte des täglichen Lebens in sogenannten 3C-Anwendungen (Consumer, Communication, Computer). Zukünftig werden weitere Anwendungsgebiete an Bedeutung gewinnen, u.a. in der Medizintechnik (z. B. Assistenzroboter in der Pflege), im Bereich der Verteidigung und im Zivilschutz (z. B. Drohnen für Überwachung/Verteidigung) oder in der Raumfahrt (z. B. Satelliten, Raumstationen). Leistungsfähige Batterien sind unverzichtbar für die E-Mobilität und tragen als stationäre Speicher wesentlich zum Ausbau erneuerbarer Energien und damit zur Mobilitäts- und Energiewende in Deutschland bei. Sie werden zukünftig allgegenwärtig in mobilen und stationären Anwendungen (z. B. V2G, Netzstabilisierung) sein und daher Teil künftiger kritischer Infrastrukturen. In der kommenden Dekade ist mit einem **kontinuierlichen und signifikanten Anstieg der Nachfrage** zu rechnen. Gleichzeitig wird es eine **Diversifizierung von Batterietechnologien** geben. Die Produktion von Batterien und das Recycling der Materialien bieten strategisch verlässliche und stabile Bezugsquellen und ein enormes wirtschaftliches Potenzial in dem Übergang zu einer Kreislaufwirtschaft. Damit ist die Batteriezellproduktion in Deutschland und Europa direkt und indirekt mit einem erheblichen **Wertschöpfungs- und Beschäftigungspotenzial** verbunden.

Heute stammt allerdings ein Großteil der benötigten Batterien aus Asien (insbesondere China). Für die Technologiesouveränität Deutschlands und Europas und um Material-, Komponenten- und Anlagenlieferanten ebenso wie Zell-, Systemhersteller und Recycler nachhaltig am Markt zu etablieren, sind maßgeschneiderte Batterien tiefgehend zu verstehen, zügig zu entwickeln und kosteneffizient sowie resilient zu produzieren.

Institute und Einrichtungen der Fraunhofer-Gesellschaft bilden im engen Schulterschluss mit Universitäten ein Ökosystem mit einer durchgängigen Forschungs- und Entwicklungspipeline. Wichtige Bestandteile dieses Ökosystems sind u.a. die über ForBatt modernisierten und erweiterten Pilotlinien in Deutschland, u. a. gebündelt an der TU München mit TUM.Battery / TUMint.Energy Research, an der TU Braunschweig mit der Battery LabFactory Braunschweig (BLB), in Ulm am Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung Baden-Württemberg (ZSW) sowie in Dresden/Freiberg mit dem Fraunhofer BatteryCampus. Diese werden ergänzt durch Infrastrukturen, die eine weitere Industrialisierung der Forschungsergebnisse ermöglichen. Hierzu steht mit der Fraunhofer-Einrichtung Forschungsfertigung Batteriezelle FFB (Münster) eine herausragende Infrastruktur zur Skalierung von Produktionsprozessen zur Verfügung. Das Fraunhofer-Zentrum für Energiespeicher und Systeme ZESS (Braunschweig) und das Fraunhofer-Institut für Gießerei-, Composite- und Verarbeitungstechnik IGCV (Augsburg) bieten alle Voraussetzungen für die anwendungsorientierte Forschung bis zur Skalierung von Feststoffbatterien. Dieses Ökosystem ermöglicht die Entwicklung und Testung neuer Batteriezelltypen/-chemien sowie die Entwicklung und Erprobung neuer Anlagen und Prozesse bis hin zu Recycling- und Re-Syntheseprozessen. In den genannten Infrastrukturen bestehen für Unternehmen – insbesondere aus dem Maschinen- und Anlagenbau (Mittelstand) – hervorragende Möglichkeiten, Anlagen zu testen, zu demonstrieren und auch mit Anlagen anderer Hersteller zu vernetzen.

Dies hat in den letzten Jahren zu einer Vielzahl an Kooperationen innerhalb des Batterie-Ökosystems geführt. Dieses Know-how und die getätigten Investitionen gilt es nun mit einer erfolgreichen industriellen Umsetzung wirksam zu machen. Im Ökosystem werden Fachkräfte ausgebildet, welche die dringend benötigten Kompetenzen durch intensive wissenschaftliche Arbeit und praxisnahe Ausbildung erworben haben. Fraunhofer stellt ein wichtiges Bindeglied zwischen universitärer Forschung, Ausbildung für und mit der Industrie und die skalierbare Anwendung der Batterietechnologien für eine wettbewerbsfähige Industrie dar. Daraus ergibt sich: Nur durch die Bündelung von Kräften und den Aufbau strategischer Partnerschaften mit kritischer Masse – die sich in ihren Kompetenzen und Infrastrukturen optimal ergänzen und gemeinsam skalierbare Lösungen für und mit der Industrie entwickeln – lässt sich in den kommenden Jahren ein wettbewerbsfähiges Industrie-Ökosystem aus Deutschland und Europa heraus erfolgsversprechend gestalten.

Erläuterung

Um Technologiesouveränität zu erlangen und die genannten Potenziale zu heben, sind gezielte, ambitionierte und technologieorientierte Forschungsimpulse erforderlich. Im Mittelpunkt stehen dabei **Anwendungsbereiche**, in denen Batterien maßgeblich den Produkterfolg bestimmen:

- **Automotive Performance:** Batteriezellen mit hoher Energiedichte und Schnellladefähigkeit bei hoher Zyklenstabilität
- **Automotive Kosten:** Batteriezellen mit ausreichender Energiedichte, Schnellladefähigkeit sowie hoher Zyklenstabilität
- **Zivilschutz/Verteidigung Drohnen:** Höchste gravimetrische Energiedichte bei vergleichsweise geringer Zyklenstabilität
- **Luft-/Raumfahrt:** Hohe gravimetrische Energiedichte bei hoher Zyklenstabilität (Erdorbit) bzw. hoher kalendarischer Stabilität (Tiefenraum-Missionen) bei höchster Zuverlässigkeit und Beständigkeit gegenüber Temperatureinflüssen sowie Strahlung
- **Stationäre Speicher:** Niedrigere Energiedichte bei maximaler Zyklenstabilität und minimalen Kosten

Diese Ziele adressieren die Pläne der EU und Deutschlands zur Kompetenzsicherung im Bereich kritischer Technologien und tragen dazu bei, die Wettbewerbsfähigkeit der deutschen und europäischen Batterie- und Anwenderindustrien zu stärken. Mögliche **Förderinitiativen** sollten die folgenden miteinander verzahnten Technologien umfassen:

- **Weiterentwicklung der Lithium-Ionen-Batteriezellen** zur Erhöhung der Energiedichte (z. B. NMC811, NCA), zur Erhöhung der Sicherheit (LFMP) sowie zur Vermeidung kritischer Rohstoffe (z. B. kobaltfreie Kathoden mit LNMO), insbesondere aber durch kostengünstigere alternative Batteriechemien wie Natrium-basierte Batterien
- **Prototypische Produktion von Feststoffbatterien** (Sulfid-, Oxid-, Polymer-basiert)
- **Etablierung durchgängiger Produktionsumgebungen** sowohl für Li- und Na-Ionen Batterien mit Flüssigelektrolyten (u. a. Fraunhofer FFB) als auch Feststoffbatterien (u. a. Fraunhofer ZESS), welche die Skalierbarkeit und Umsetzbarkeit in der industriellen Praxis nachweisen und einen schnellen Transfer in die Industrie ermöglichen. Dazu gehört der Ausbau der Fähigkeiten zu einer Pilotproduktion im MWh-Maßstab.
- Mit Fokus auf Li- und Na-Ionen Batterien sollte der Fokus auf die (Weiter-)Entwicklung alternativer, innovativer und nachhaltiger **Prozesstechnologien und deren Überführung in die industrielle Anwendung** gelegt werden (notwendige Basis für den Vorsprung der deutschen Industrie im Maschinen- und Anlagenbau). Darüber hinaus sollte die bestehende Produktionsinfrastruktur auch für großskalige Produktion von Na-Ionen-Batterien befähigt werden.

Mit Fokus auf Feststoffbatterien sind hohe volumetrische oder hohe gravimetrischer Energiedichte vorrangig zu verfolgen. Das übergeordnete Ziel besteht darin, prototypische Produktionslinien für vielversprechende Feststoffbatteriedesigns (Festelektrolyte, Anodenkonzept) zu entwickeln und aufzubauen, die eine Produktion von bis zu 1 MWh ermöglichen und die Skalierbarkeit der Produktion von Komponenten und Zellen demonstrieren. Dabei sollten geeignete Produktionslinien für mindestens zwei Festkörperzelldesigns mit einer Kapazität von bis zu 50 Ah adressiert werden, die eine hohe spezifische Energie und Energiedichte, mitunter unterschiedlich stark ausgeprägt, Schnellladefähigkeit und gegenüber Flüssigelektrolytbasierten Zellen deutlich verbesserte Sicherheit versprechen. Bei der Zellentwicklung und -produktion sollte die Kreislaufführung der Materialien gleich mitkonzipiert werden, um möglichen Vorbehalte diesbezüglich auszuschließen.

Darüber hinaus sollten Förderanreize und Projekte, bei denen der Staat als Ankerkunde auftritt, das Ökosystem so stärken, dass Forschung und Entwicklung zur Produktion von Batteriezellen in kleineren Stückzahlen ermöglicht wird und sich damit auch Zellentypen rentabel fertigen lassen, die sonst zunächst unwirtschaftlich wären. Das ermöglicht den Markteinstieg auch über kleinere (aber absolut gesehen große)

Spezialmärkte (bspw. wenn der Batteriebedarf für den EU Sicherheits-/Verteidigungsmarkt zu 100 Prozent durch ein europäisches Ökosystem gedeckt werden soll).

Entsprechend gilt: Die Fokussierung auf Anwendungen und Auswahl geeigneter Technologien muss Hand in Hand mit den Souveränitätszielen und gemeinsam mit der Industrie entlang einer spezifischen deutschen/europäischen Industrialisierungsroadmap (inkl. Geschäftsmodelle, Lieferbeziehungen, Vermarktungspartnerschaften etc.) erfolgen. Diese muss dabei die herausfordernde Wettbewerbssituation, insbesondere mit China, um die Wertschöpfung im Bereich Batterie aktiv berücksichtigen.

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. Christoph Herrmann
Vorsitzender des Fraunhofer-Verbunds Produktion
Christoph.herrmann@ist.fraunhofer.de

© Fraunhofer-Gesellschaft e. V., München 2025

Fraunhofer

Fraunhofer Moonshot Innovation Brief

Nationale Translationsallianz zur Stärkung des Technologietransfers in der Biomedizin

Schlüsseltechnologien: Künstliche Intelligenz und Biotechnologie

Executive Summary

Biotechnologische und digitale Innovationen in einer durchgängigen Wertschöpfungskette beschleunigen den Transfer von Ideen aus der biomedizinischen Grundlagenforschung in die Gesundheitswirtschaft.

Die **industrielle Gesundheitswirtschaft** ist für Deutschland bereits heute eine Schlüsselindustrie, die mit ihren Branchensegmenten **Pharma, Medizintechnik, Diagnostika und digitale Medizin** jährlich mehr als 100 Mrd. € zur Bruttowertschöpfung beiträgt. Schlüsseltechnologien wie Biotechnologie, digitale Medizin, Präzisionsmedizin, Biomedical Engineering und neue Arzneimittelklassen wie z. B. Gen- und Zelltherapeutika sind dabei wichtige Innovationstreiber für künftiges Wachstum.

Wesentliche **Hürden** für biomedizinische Innovationen sind zum einen deren komplexe, zeit- und kostenintensive Wertschöpfungsketten, aber auch die organisatorische Fragmentierung des deutschen Gesundheitsinnovationssystems samt fehlender Anreize. Trotz exzellenter biomedizinischer Grundlagenforschung und international wettbewerbsfähiger Unternehmen gelingt der Brückenschlag zwischen Grundlagenforschung und Anwendung noch zu selten, auch weil langfristige horizontale Kooperationsformate entlang der Wertschöpfungsketten bisher fehlen.

Wir schlagen deshalb die Etablierung einer **nationalen Translationsallianz** als Kooperationsinfrastruktur für Innovationspartner aus Gesundheitsforschung, Gesundheitswirtschaft und Regulation vor. Übergeordnete **Mission** dieser Translationsallianz ist die Erschließung zusätzlicher Wachstumspotenziale und die Stärkung der Innovationskraft in der Gesundheitswirtschaft verbunden mit einer Steigerung der Bruttowertschöpfung auf rund 150 Mrd. € bis 2030 und der Schaffung hochqualifizierter Arbeitsplätze.

Angesichts des demographischen Wandels wird eine **bezahlbare Gesundheitsversorgung** ein immer wichtigerer Standortfaktor für Deutschland. Neben der Steigerung der Wertschöpfung sollte daher die Entwicklung kosteneffektiver Lösungen für die Gesundheitsversorgung ein weiteres Ziel der Translationsallianz sein. Ein hohes Potenzial bieten hier insbesondere Künstliche Intelligenz, Digitalisierung und Telemedizin, Automatisierung, Robotik und Sensorik. Um diese Potenziale voll auszuschöpfen, ermöglicht die Translationsallianz ein **disziplinenübergreifendes Zusammenwirken** unterschiedlicher Professionen, insbesondere der medizinischen, naturwissenschaftlichen und ingenieurswissenschaftlichen Disziplinen sowie der Informatik / Data Science und der Gesundheitsökonomie.

Nationale Translationsallianz

Wirtschaftlicher und strategischer Nutzen

Die **industrielle Gesundheitswirtschaft** ist eine Schlüsselindustrie für Deutschland. Sie leistet wichtige Beiträge zur industriellen Wertschöpfung, benötigt aber keine milliardenschweren staatlichen Investitionen, braucht keine seltenen Rohstoffe und hat einen vergleichsweise kleinen CO_2-Abdruck. Die Branche trägt mit ihren Sektoren **Pharma, Medizintechnik, Diagnostika und digitale Medizin** (drugs, devices, diagnostics, data) derzeit rund 100 Mrd. € pro Jahr zur Bruttowertschöpfung in Deutschland bei.

Die Gesundheitswirtschaft verfügt über ein erhebliches **Wachstumspotenzial**, wie u. a. eine vielbeachtete Studie

im Auftrag des BDI deutlich machte. Sollte es gelingen, Innovation und digitale Transformation rasch zu stärken, kann der Studie zufolge die industrielle Gesundheitswirtschaft bereits 2030 eine Bruttowertschöpfung von rund 155 Mrd. € erreichen. Ergänzend dazu hat auch die Europäische Kommission vor kurzem in ihrem Strategiepapier »Choose Europe for life sciences« aufgezeigt, wie die EU bis zum Jahr 2030 der weltweit attraktivste Standort für die Lebenswissenschaften werden kann. Schlüsseltechnologien wie die **Biotechnologie**, die **Künstliche Intelligenz** und **digitale Technologien** gelten dabei als zentrale Innovationstreiber für künftiges Wachstum in der industriellen Gesundheitswirtschaft. Offensichtliche Mängel unserer Gesundheitsversorgung, insbesondere im ländlichen Raum, können nur durch eine Ertüchtigung der Gesundheitswirtschaft beantwortet werden, indem deren innovative Ideen und Lösungen schneller im Versorgungssystem ankommen.

Derzeitige Hürden

Deutschland verfügt über eine exzellente biomedizinische und medizintechnische Grundlagenforschung sowie eine international wettbewerbsfähige Gesundheitswirtschaft, jedoch gelingt der Brückenschlag für den **Technologietransfer** von Forschungsergebnissen in die Anwendung noch zu selten – und wenn, dann dauert er zu lange. Unter anderem verhindern mangelnde Effizienz in der Umsetzung der komplexen Wertschöpfungsketten und die starke Fragmentierung des Gesundheitsinnovationssystems die optimale Entfaltung der Innovationsdynamik. Kooperationen zwischen den Akteuren der Grundlagenforschung, der angewandten Forschung, der experimentellen Entwicklung, der Translation und der Regulation finden derzeit meist nur punktuell und zeitlich befristet statt. Um den Technologietransfer effizienter zu gestalten und zu beschleunigen, fehlt insbesondere ein strukturelles Kooperationsformat für die langfristige horizontale Zusammenarbeit aller Akteure entlang der Wertschöpfungsketten mit klarem Fokus auf Transfergeschwindigkeit und Gesamtproduktivität.

Struktur und Mission der nationalen Translationsallianz

Die **nationale Translationsallianz** soll eine solche horizontale Kooperation ermöglichen und dafür komplementäre Expertisen und Infrastrukturen systematisch zusammenführen. Als öffentlich-private Partnerschaft zwischen **universitärer und außeruniversitärer Forschung** mit der **Gesundheitswirtschaft,** dem **öffentlichen Gesundheitsdienst** und den **regulatorischen Behörden** soll die Translationsallianz nach dem Modell der Stakeholder-Governance ein nationales Ökosystem für einen effektiveren und schnelleren Transfer von Innovationsimpulsen aus der biomedizinischen Grundlagenforschung in die Gesundheitsversorgung bilden und einen Mehrwert für alle daran beteiligten Interessengruppen schaffen.

Die **übergeordnete Mission** der Translationsallianz ist, bis 2030 rund 50 Mrd. € zusätzliche Wertschöpfung in allen Teilsegmenten der industriellen Gesundheitswirtschaft zu realisieren. Erreicht werden kann dies durch Effizienzgewinne mittels einer koordinierten Zusammenarbeit aller Akteure, durch neue Kooperationsformate, die Verbindung der jeweiligen FuE-Kompetenzen sowie die Schaffung von Übergabepunkten zwischen Grundlagenforschung, angewandter Forschung, experimenteller Entwicklung, prospektiver Erprobung und Transfer. Hierzu werden vorhandene FuE-Infrastrukturen gemeinsam genutzt und – wo nötig – durch gemeinsam betriebene Reallabore sowie Digital Hubs zur Beschleunigung des Transfers ergänzt. Durch Einbeziehung von regulatorischer Expertise und Gesundheitsökonomie sowie sogenannten regulatorischen Sandboxes fließen die Anforderungen für eine spätere Marktzulassung und Erstattung von Anfang an zielführend in die Entwicklungen ein. Blaupause für einen beschleunigten Transfer ist das Zusammenwirken aller Akteure bei der SARS-CoV-2-Test- und Impfstoffentwicklung.

Ziele und Strategie

Als disziplinenübergreifende **Schlüsseltechnologie** ist die **Biotechnologie** mit ihren Anwendungsfeldern Medizintechnik, digitale Medizin, Präzisionsmedizin sowie neue Arzneimittelklassen wie Gen- und Zelltherapeutika ein entscheidender Innovationstreiber für die industrielle Gesundheitswirtschaft und bietet besonders hohe Wertschöpfungspotenziale. Neben der Steigerung der Bruttowertschöpfung der industriellen Gesundheitswirtschaft soll ein weiteres Augenmerk der Translationsallianz auf der Entwicklung kosteneffektiver Lösungen zur Gesundheitsversorgung der Bevölkerung liegen. Hierfür bieten Künstliche Intelligenz, Digitalisierung, Automatisierung und Sensorik für Prävention, Ambulantisierung und kurative Therapien ein besonders hohes Potenzial. Aufgabe der Translationsallianz ist deshalb nicht nur die horizontale Vernetzung aller Akteure entlang konkreter Wertschöpfungsketten, sondern auch das **disziplinenübergreifende Zusammenwirken** unterschiedlicher Professionen, u. a. der medizinischen, natur- und ingenieurswissenschaftlichen Disziplinen sowie der Informatik / Data Science und der Gesundheitsökonomie.

Die **Translationsallianz** hat als Public Private Partnership das übergeordnete Ziel, **mehr** wissenschaftlich exzellente Ideen und Erkenntnisse aus der Grundlagenforschung **schneller** in die Anwendung zu bringen und durch

strukturierte Übergabepunkte die regulatorischen Hürden **effektiver** zu überwinden.

Partnernetzwerk

Die Fraunhofer-Gesellschaft ist aufgrund ihrer satzungsgemäßen Aufgaben, ihrer konsequenten Anwendungsorientierung und Kooperationskultur sowie ihrer einzigartigen **Multidisziplinarität** prädestiniert, ein **nationales Ökosystem** zur Förderung des Technologietransfers in der Biomedizin und Medizintechnik federführend zu implementieren. Fraunhofer kann die erforderlichen Transferinfrastrukturen und Expertisen bereitstellen, u. a. für **industriekonformes Projekt- und Qualitätsmanagement** und Vertragswesen, um so die nationale Translationsallianz möglichst rasch zu operationalisieren. Im Rahmen der Proof-of-Concept-Initiative, einem gemeinsamen Pilotprogramm der Fraunhofer-Gesellschaft, der Helmholtz-Gemeinschaft, der Hochschulmedizin und der forschenden Industrie, wurden bereits die wichtigen Vorarbeiten für eine systematische Zusammenarbeit aller Innovationspartner geleistet. Als weitere Vorarbeiten können transdisziplinäre Pilotprojekte der Fraunhofer-Gesellschaft eingebracht werden, z. B. multidisziplinäre Datenplattformen, autarke KI-Modelle, Digital-Twin-Lösungen, medizinische Avatare, intelligente Medizinrobotik und Labordiagnostik sowie automatisierte Produktion von Zell- und Gentherapeutika.

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. Gerd Geißlinger
Vorsitzender des Fraunhofer-Verbunds Gesundheit
Gerd.geisslinger@itmp.fraunhofer.de

© Fraunhofer-Gesellschaft e. V., München 2025

Fraunhofer Moonshot Innovation Brief

Kernfusion als Wegbereiter für eine resiliente Energieversorgung, disruptive Innovationen und Hightech-Wachstum

Schlüsseltechnologien: Klimaneutrale Energieversorgung

Executive Summary

Die Kernfusion zeichnet sich durch ihre Resilienz als Energiequelle aus, da sie eine nahezu unbegrenzte und emissionsfreie Energieversorgung unabhängig von externen Faktoren wie Wetterbedingungen, Tageszeit oder jahreszeitlichen Schwankungen ermöglicht. Die vom damaligen BMBF beauftragte internationale Expertenkommission für Inertial Fusion Energy (IFE) betont neben der langfristigen Perspektive für die Energieversorgung auch die strategische Bedeutung der Technologieentwicklung für die Wirtschaft und Innovationskraft Deutschlands. Jüngst wurde in den USA ein Meilenstein erreicht: Erstmals konnte durch die Laserträgheitsfusion ein selbsttragendes (brennendes) Plasma erzeugt werden, dass mehr Energie abgab, als durch die Laser eingetragen wurde. Dieser Erfolg belegt die physikalische Machbarkeit der kontrollierten Laserfusion und differenziert sie eindeutig von anderen Fusionsansätzen, die bislang keine Energiegewinnbringende Zündung demonstriert haben.

In der Magnetfusion, einem grundsätzlich anderen Ansatz, wurden ebenfalls bedeutende Fortschritte bei der Beherrschung heißer Plasmen erzielt. Mit dem Stellarator W7-X in Greifswald wurde ein fortschrittliches Reaktordesign erfolgreich umgesetzt, das den stabilen und effizienten Einschluss von Plasmen über längere Zeiträume demonstriert. Diese Erfolge basieren neben der Grundlagenforschung unter anderem auf deutschen Schlüsseltechnologien wie Fertigungstechnik, Supraleitendem Spulenbau, Lasertechnik, Diamantbasierten Targets, Materialphysik, Plasmadiagnostik sowie präziser Modellierung und Simulation.

Die Spill-over-Effekte der Fusionsforschung schaffen bereits heute Wertschöpfung: Hochleistungslaser, Directed Energy, Präzisionstechnik und moderne Fertigungs- sowie Sensorsysteme profitieren direkt. Diese Technologien stärken Industrien, schaffen Arbeitsplätze und eröffnen Exportpotentiale für Hochtechnologie »Made in Germany«. Ein globaler Technologiewettlauf hat begonnen, mit Milliardeninvestitionen weltweit. Deutschland muss handeln, um technologische Führungspositionen zu halten und durch gezielte Förderung Wertschöpfung, Technologietransfer und internationale Wettbewerbsfähigkeit zu sichern. Vernetzte Technologie-Hubs sind entscheidend, um Forschung und Industrie effizient zusammenzubringen und Anwendungen zu skalieren.

1. Wertschöpfung

Durch Forschung zur Kernfusion entsteht Deep Tech zur Beherrschung physikalischer Grenzbereiche bei der Herstellung von Werkstoffen, Komponenten und Systemen, besonders in den Technologiebereichen Lasertechnik und Optik, Werkstoffwissenschaften und Fertigungstechnik, Sensorik und Steuerungstechnik sowie Hochfeldmagnete und Supraleitung. Spill-over-Effekte in weitere Zukunftsbranchen wie z. B. der Luft- und Raumfahrt, Wehrtechnik und Medizintechnik sind unmittelbar innerhalb von wenigen Jahren spürbar. Langfristig ist die Kernfusion der entscheidende und CO_2-neutrale Enabler für die energieintensive Industrie zur strategischen Grundstoffversorgung in offenen und geschlossenen Stoffkreisläufen wie z. B. bei der Erzeugung von Wasserstoff und seiner Derivate, Sekundärkreisläufen von Werkstoffen oder der »Carbon Capture and Storage«-Technologie (CCS). Damit kann die Kernfusion entscheidende

Beiträge für die technologische und wirtschaftliche Souveränität leisten.

2. Status quo und Handlungsbedarf

Die technologischen Durchbrüche haben bewirkt, dass die Kernfusion international aus den staatlichen Forschungslaboren über Start-ups das Interesse des Kapitalmarkts gefunden hat. Damit sind die Voraussetzungen für ein zügiges Entwickeln von Public-Private-Partnerships gegeben, um den nächsten Meilenstein – einen funktionsfähigen energieliefernden Prototyp — innerhalb der nächsten zwei Dekaden zu erreichen. Dafür sind eine Parallelisierung und Vernetzung von Grundlagenforschung, angewandter Forschung der Fraunhofer-Gesellschaft, Start-ups und Industrieunternehmen zum Aufbau einer skalierbaren, souveränen industriellen Supply Chain notwendig. Der Staat muss dabei eine aktive Rolle übernehmen: als Ankerkunde, um Technologien marktfähig zu machen, und durch gezielte Förderung von Kooperationen zwischen Forschung und Industrie. Hochrisikoprojekte und sogenannte Moonshots, die hohe Entwicklungskosten und Risiken mit sich bringen, sollten staatlich getragen werden, um private Investitionen zu erleichtern und die Entwicklung zu beschleunigen.

3. Fraunhofer-Beiträge zu Fokusthemen

Fokusthema Material- und Produktionstechnik

Die Auslegung, Qualifizierung, Herstellung, wirtschaftliche Skalierung und Instandhaltung von Schlüsselkomponenten sind entscheidend für die Realisierung eines Fusionskraftwerks. Speziell für Anforderungen, die aus dem Dauerbetrieb eines Kraftwerks resultieren, sowie für die benötigen Komponentengrößen müssen neue Materialkonzepte entwickelt und deren effiziente Skalierung entlang der Prozesskette der Komponentenfertigung betrachtet werden. Dabei sollte sich auf folgende Schwerpunkte fokussiert werden:

- Plasma-Facing Components (First Wall, Divertor-Materialien, Wartung/Wechsel)
- Tritium-Zyklus (Brutmaterialien, Abscheidung, Tritium-Leckdichtigkeit)
- Strahlungsresiliente Sensorik (Remote Handling, Plasmamonitoring)

Dabei sollen folgende Ziele verfolgt werden:

- Schaffung einer simulativ experimentellen Datengrundlage für die tatsächlichen Belastungsparameter im Fusionsprozess zur KI-gestützten Hochdurchsatzratenentwicklung von Werkstoffen
- Stückzahl-, geometrie- und dimensionsflexible Fertigungstechnologien
- Testinfrastrukturen für Lebensdauertuntersuchungen an generischen Prototypen bei multipler Belastung

Daraus resultieren USP für die deutsche Industrie in den Bereichen:

- Simulationsgestütztes Legierungsdesign für Hochleistungswerkstoffe im Bereich der Mehrfeldbeanspruchung (Thermomechanisch, elektromagnetische Strahlung in breitem Wellenlängenbereich, Teilchenstrahlung) -> Beispiel für Spill-over-Effekt – Nutzung im Bereich Wehrtechnik innerhalb der nächsten fünf Jahre
- Infrastruktur zur Werkstoffprüfung unter Einsatzbedingungen in kooperativer Nutzung im Ökosystem -> Voraussetzung für die Genehmigungsfähigkeit
- Infrastruktur und Kompetenzen im Design sowie Ver- bzw. Bearbeitung von relevanten Werkstoffen zur Herstellung von Fusionskomponenten -> direkter Transfer in den innovativen Mittelstand; direkte Beförderung der Reifegrade der Forschungsinfrastruktur der Fusionsforschung

Fokusthema hochrepetierende Hochenergielasersysteme für die Laserfusion

Wir empfehlen die Gründung eines Moonshot--Projekts **PhotonForge**, also ein Joint Venture Exzellenzhub, der die besten Expertinnen und Experten aus Deutschland – von Fraunhofer-Instituten, Helmholtz- und Max-Planck-Gesellschaften, Universitäten sowie der Photonik-Industrie – zusammenführt. Dieser Hub würde durch seine Strahlkraft auch international führende Talente anziehen und eine Plattform für bahnbrechende Innovationen in der Hochenergielasertechnologie schaffen. Ziel ist es, durch koordinierte Spitzenforschung und gezielte Investitionen in die Infrastruktur Deutschlands Führungsrolle in der Laserfusion zu sichern und auszubauen.

Die Entwicklung hochrepetierender Hochenergie-Lasersysteme (HELS) mit den notwendigen Pulsenergien, Wiederholraten und Wirkungsgraden stellt eine der größten technologischen Herausforderungen dar und ist eine kritische Schlüsseltechnologie für die Laserfusion. Ohne leistungsfähige und bezahlbare Laser kein Fusionskraftwerk. Kritische Komponenten wie Frequenzkonverter, High-Brightness-Laserdioden und Großapertur-Pockelszellen sind bisher nicht verfügbar, und die effiziente Wärmeabfuhr sowie die Belastbarkeit optischer Elemente müssen dringend zur Anwendung reifen.

Ein koordinierter Hub vereint die Kompetenzen der deutschen Forschung und Industrie, um diese Herausforderungen effizient anzugehen. Der Staat sollte dabei

als **Ankerkunde** auftreten und die nötigen **nichtnicht-wiederkehrenden Entwicklungskosten (NRE)** für riskante, technologisch transformative Forschung übernehmen.

Vision: Zwei weltweit führende Lasersysteme in drei bis fünf Jahren

Das Ziel des Exzellenzhubs ist die Entwicklung von **zwei HELS-Prototypen und der Demonstration kritischer Laserelemente**, die folgende Meilensteine erreichen:

- **Leistungssteigerung um eine Größenordnung**: Pulsenergien bis 10 kJ und hohe Wiederholraten (~20 Hz), einer WPE>8 Prozent, Prozent, mit deutlichem Vorsprung gegenüber dem Stand der Technik
- **Beschleunigter Lebensdauerprüfstand** für Belastungs- und Zuverlässigkeitsuntersuchungen von Laserkomponenten, um neue Standards zu schaffen und systemische Betriebs-Expertise beim Umgang mit Höchstleistungslasern aufzubauen
- Demonstration **innovativer Schlüsselkomponenten**: Großapertur-Pockelszellen und Frequenzkonverter in den UV-Bereich, optische Isolatoren für Multi-kJ- und Multi-kW-Systeme und die Wärmeabführung aus kritischen optischen Bauelementen
- **Entwicklung von optischen Fertigungstechnologien** für Hochratendurchsatz von Optiken für den Einsatz in HELS

Diese Systeme wären nicht nur ein technologischer Durchbruch für die Laserfusion, sondern auch ein Treiber für die deutsche Laser- und Photonikindustrie, mit Anwendungen in Energie, Raumfahrt, Verteidigung und weiteren Schlüsselbranchen.

Deutschland verfügt über weltweit führende Kompetenzen in der Lasertechnologie und Photonik. Fraunhofer-Institute sind international anerkannt für ihre Fähigkeit, technologische Durchbrüche in industrielle Anwendungen zu überführen. In Kombination mit den Grundlagenforschungskapazitäten von Helmholtz-Gemeinschaft und Max-Planck-Gesellschaft sowie der Innovationskraft der mittelständischen Photonikindustrie ergibt sich ein einzigartiges Ökosystem für disruptive Forschung und Entwicklung.

Diese PhotonForge-Initiative würde

- die deutsche Photonikindustrie durch technologische Führerschaft in einem entscheidenden Zukunftsmarkt stärken und dem internationalen Wettbewerb mit Stärke begegnen,
- Wertschöpfung und Arbeitsplätze in diesem Hochtechnologiebereich sichern, der Deutschland seit den 80er Jahren geprägt hat und in dem Deutschland noch führend ist,
- internationale Spitzenforscherinnen und -forscher anziehen und so Deutschlands Innovationskraft weiter steigern.

Strategische Investition in die Zukunft

Der Aufbau eines Laser-Moonshot--Exzellenzhubs erfordert gezielte Investitionen in Infrastruktur wie Belastungstester und Plattformen für die Entwicklung und Bewertung von Systemkomponenten. Dies ist eine strategische Maßnahme, um Deutschlands technologische Führungsrolle zu festigen und die wirtschaftliche Wettbewerbsfähigkeit in Schlüsselbereichen wie der Laserfusion und darüber hinaus nachhaltig zu steigern. Damit kann die Wettbewerbsfähigkeit der deutschen, von mittelständischen Unternehmen geprägten Photonikindustrie durch folgende USPs gesteigert werden:

- Erweiterung der Kombination von Pulsenergie bei hoher mittlerer Leistung um mindestens eine Größenordnung gegenüber dem Stand der Technik innerhalb der nächsten fünf Jahre
- Erstmalige systematische Untersuchung der Lebensdauer/Belastbarkeit der Komponenten
- Entwicklung relevanter Systemkomponenten, insbesondere effiziente Kühlsysteme, Diagnostik- sowie Ansteuerungs- und Regelungssysteme
- Erstmalige Demonstration einer Großapertur-Pockelszelle für Pulsenergien über 100 Joule bei hoher Repetitionsrate 10…100Hz
- erstmalige Untersuchung optischer Isolatoren im relevanten Energie- und Leistungsbereich (>100J und >1…10kW)
- Robuste, hochbelastbare optomechanische Komponenten

Akzeptanzpfade und Zukunftsszenarien

Das Vorhaben adressiert das Risiko eines Akzeptanzdefizits und macht dessen frühzeitige Bearbeitung zu einem strategischen Vorteil. Ziel ist ein neuer Standard für die technologie- und innovationspolitische Gestaltung in Deutschland.

Indem es Technologieetablierung und gesellschaftliche Perspektiven frühzeitig und systematisch verknüpft, schafft das Projekt langfristige Planungssicherheit für Forschung, Entwicklung und Investitionen. Im Innovationsökosystem werden Forschungspartner in der Fusionsforschung, Industrie

und Start-ups, Bundesämter/Behörden und zivilgesellschaftliche Akteure in die Dialog- und Szenarioprozesse eingebunden. Schlüsselakteure aus Forschung, Industrie und Politik begleiten das Projekt über die gesamte Laufzeit.

4. Finanzvolumen und Förderformate

Für die Umsetzung wird ein Finanzvolumen von ca. 300 Mio. € über einen Zeitraum von minimal fünf und maximal siebensieben Jahren als angemessen und effizient umsetzbar eingeschätzt. Dabei sollten ca. 100 Mio. € als Forschungsinfrastruktur der angewandten Forschung investiert werden, ca. 30 Mio. € für den Betrieb über fünf Jahre, ca. 60 Mio. € ermöglichen eine effiziente Transfervorbereitung durch strukturierte angewandte Forschung und 110 Mio. € sollten zur direkten Transferetablierung durch Verbundprojekte mit Industrie eingesetzt werden.

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. Christoph Herrmann
Vorsitzender des Fraunhofer-Verbunds Produktion
Christoph.herrmann@ist.fraunhofer.de

© Fraunhofer-Gesellschaft e. V., München 2025

Fraunhofer Moonshot Innovation Brief

Wettbewerbsfähige KI-Modelle für die deutsche Wirtschaft

Schlüsseltechnologie: Künstliche Intelligenz

Executive Summary

Unternehmen müssen ihre Innovationskraft und Produktivität steigern, um ihre Wettbewerbsposition zu erhalten und auszubauen. Gleichzeitig wachsen Anforderungen an strategische Autonomie und technologische Souveränität. Künstliche Intelligenz (KI) ist die Technologie mit dem größten Potential für wirtschaftliche Wettbewerbsfähigkeit und gesellschaftlichen Wohlstand. **Deutschland kann bei industrieller KI (engl. »Industrial AI«) ein globales Alleinstellungsmerkmal entwickeln, wenn es gelingt, ein leistungsfähiges Ökosystem für Daten und KI aufzubauen**. Derzeit dominieren internationale Großunternehmen den Markt, insbesondere bei großen Sprachmodellen, bei der Recheninfrastruktur und bei Datenplattformen. Infolgedessen besteht für staatliche Einrichtungen, Industrie und Mittelstand das Risiko der technologischen und somit strategischen Abhängigkeit und einer Schwächung der Wettbewerbsposition. Zudem ist ohne eigene Leistungsangebote auch der Verlust strategisch wichtiger Kompetenzen wahrscheinlich. KI-Innovation gelingt, wenn die Stärken des deutschen und europäischen Wertschöpfungssystems gefördert und ausgebaut werden.

- KI-basierte Anwendungen führen zu Innovations- und Wettbewerbspotentialen und ergänzen bestehende industrielle Leistungsangebote, also traditionelle Stärken der deutschen Wirtschaft, in komplementärer Weise.
- Im Gegensatz zu anderen Wirtschaftsräumen sind KI-Ressourcen in Deutschland und Europa verteilt und unterliegen nicht der Kontrolle durch den Staat oder nur weniger Marktteilnehmer. Offene KI-Ökosysteme ermöglichen die diskriminierungsfreie Partizipation aller Teilnehmer und die faire Verteilung der Innovationsrendite von KI.
- Unternehmen verfügen über einen Datenschatz mit enormem Wertpotential für industrielle KI und industrielle Grundlagenmodelle. Diese Daten müssen über geeignete Infrastrukturen wie Datenräume in Ökosystemen geteilt werden. Dafür sind offene Standards und hochskalierende Basisdienste für die Interoperabilität von Daten zu fördern.
- Deutschland verfügt über exzellente Anwendungsexpertise, insbesondere auf ingenieur- und naturwissenschaftlichen Gebieten. Mit speziellen KI-Anwendungen für diese Domänen können deutsche Unternehmen international ein Alleinstellungsmerkmal erzielen.
- Deutschland hat ausgezeichnete Forschungskapazitäten an Universitäten und Forschungseinrichtungen sowie vielversprechende Start-ups und Joint Ventures im Bereich KI, deren ökonomische Skalierung ein wichtiges innovationspolitisches Ziel sein muss.

Um diese Stärken zu bündeln, muss Deutschland KI- und Datenfabriken errichten, in denen Modelle, Wissen, Recheninfrastruktur, Kapital und Daten im Wertschöpfungsökosystem zusammengeführt werden. Erfolgskritisch ist eine enge Koordination und Zusammenarbeit zwischen Industrie, Forschung und Politik.

Dieser Moonshot Innovation Brief verfolgt das Ziel, dass Deutschland seinen industriellen Datenschatz nutzt und bis 2030 weltweit führend bei industrieller KI ist. Denn so gelingt die ökologisch und ökonomisch nachhaltige Transformation von Wirtschaft und Gesellschaft. Um

das Ziel zu erreichen, sind jetzt Maßnahmen in drei Stoßrichtungen zentral:

1. Entwicklung von KI-Basistechnologien wie leistungsfähige, offene Sprachmodelle, Datenfabriken für das Training von KI-Modellen unter Wahrung der Datensouveränität und vertrauenswürdige KI-Infrastrukturen.
2. Anwendung deutscher KI-Modelle und -Technologien in sicherheitsrelevanten und öffentlichen Bereichen wie der Verwaltung, der Mobilität und bei kritischen Infrastrukturen.
3. Schaffung von Innovationsräumen für das KI-Ökosystem zur Förderung disruptiver Technologien und Anwendungen in der Robotik, im Bauwesen, in Produktion und Logistik sowie in der Gesundheitswirtschaft.

Erläuterung des KI-Moonshots

Wirtschaftlicher und strategischer Nutzen

Die Initiative »Wettbewerbsfähige KI-Modelle für die deutsche Wirtschaft« verfolgt zwei Ziele: den **wertschöpfenden Einsatz** von KI-Modellen und -Technologien **zum Wohle von Wirtschaft und Gesellschaft** und die langfristige Wahrung der **technologischen Souveränität Deutschlands**.

KI-Wertschöpfung

KI hat hohes Innovations- und Wertschöpfungspotential in fast allen industriellen und gewerblichen Leistungsangeboten. **Industrielle KI** ist ein Wachstumsfeld für die deutsche Wirtschaft und integriert leistungsfähige Hardware (z. B. Sensorik und Robotik) mit kundenzentrierten Dienstleistungen unter Nutzung KI-basierter Lösungen. Insbesondere in Produktion und Logistik und in der Gesundheitsversorgung sind industrielle KI-Anwendungen zur Erhöhung der Resilienz und Wettbewerbsfähigkeit von Wertschöpfungsnetzwerken zu fördern und zu stärken.

Förderimpulse für visionäre disruptive KI-Anwendungen sind dort nötig, wo neue Innovationsräume entstehen, also an der Schnittstelle von **KI, Robotik, Sensorik und Life Sciences** mit enormem volkswirtschaftlichen Wertschöpfungs- und damit Wohlstandspotential.

Exemplarisch sind KI-basierte Verfahren für die **Mensch-Maschine-Interaktion** wie Brain-Computer-Interfaces, multimodale Assistenzsysteme und adaptive, situativ mit dem Nutzer agierende KI-Agenten. Auch semantisch modellierte, interoperable Digitale Zwillinge, wie sie in Bauwesen, Energieversorgung und Katastrophenschutz Anwendung finden, bieten vielfältige Innovationspotentiale für datenbasierte Planung, vorausschauende Instandhaltung und resiliente Infrastruktursteuerung. Gleiches gilt für generative KI in Produktentwicklung und Engineering, die Kreativprozesse beschleunigen und individualisierte Lösungen ermöglichen.

Darüber hinaus bietet die **Kombination aus KI und spezieller Hardware** (Embodied AI) neue Ansätze zur Automatisierung im physischen Raum. Von der robotischen Gebäudedigitalisierung bis zur mobilen KI-gesteuerten Inspektion entstehen Anwendungen, die Effizienz, Präzision und Zugänglichkeit massiv steigern. Diese Entwicklungen verlangen Investitionen in robotische Plattformen, Sensorik, On-Device-Verarbeitung und softwareseitige Steuerung.

In strategisch wichtigen Sektoren sind Maßnahmen zur Ertüchtigung und zum Wissenstransfer für die Unternehmen zu ergreifen sowie Daten- und KI-Fabriken einzurichten, um den industriellen Datenschatz unter Wahrung der Datensouveränität und fairer Verteilung der KI-Innovationsrendite aus dem KI-Ökosystem zu heben. Zusätzlich sind Begleitmaßnahmen zur Erhöhung des KI- und Daten-Reifegrads der Industrie zielführend sowie die Förderung einfacher, hoch skalierender Basisdaten- und KI-Dienste.

KI-Souveränität

KI-Souveränität betrifft das gesamte Wertschöpfungssystem. Hierzu gehören erstens **souveräne, skalierbare KI-Infrastrukturen**, also leistungsfähige, vertrauenswürdige Sprachmodelle für spezifische Anwendungsdomänen, datenschutzkonforme Verfahren für verteiltes, föderiertes Training auf sensiblen Daten sowie Datenräume zum souveränen Teilen von Daten und sicheren Modellbetrieb und sichere Software-Supply-Chains auf Basis vertrauenswürdiger Plattformtechnologien (z. B. Confidential Computing, Trusted Execution Environments) und schließlich offene, interoperable Test- und Erprobungsumgebungen.

Zweitens sind **generative Basismodelle** zu entwickeln, die entlang spezifischer Anwendungsdomänen wie Verwaltung, Produktion oder Mobilität veredelt und für konkrete Einsatzszenarien adaptiert werden können. Ergänzt wird dies durch föderierte Lernverfahren, über die sensible Daten aus öffentlicher Verwaltung oder industriellen Prozessen lokal genutzt werden, ohne zentrale Speicherlösungen zu kompromittieren. Durch die Kombination dieser Technologien entstehen modelloffene KI-Architekturen, die Vertrauen schaffen und zugleich hohe Skalierbarkeit gewährleisten. In Testfeldern werden KI-Komponenten in realitätsnahen simulierten Umgebungen erprobt, zertifiziert und weiterentwickelt – etwa in Form virtueller Verwaltungen oder digitaler Fabriken. Hier können Technologielieferanten, öffentliche Auftraggeber und Regulatoren gemeinsam an Standards und Schnittstellen arbeiten.

Spezialisierte **Rechenkapazitäten** bilden den dritten strategischen Baustein eines souveränen KI-Wertschöpfungssystems: Große Sprachmodelle erfordern spezielle Hardware,

etwa GPU-Cluster oder Edge-Server, die für Training und Inferenz optimiert sind. Diese Infrastruktur muss skaliert national verfügbar sein. Souveränität erlangt Deutschland nur über die gesamte KI-Wertschöpfungskette – von Daten und Modellen über Trainingsverfahren bis hin zur Infrastruktur.

Viertens entscheidet der Einsatz vertrauenswürdiger KI über staatliche Handlungsfähigkeit, Versorgungssicherheit und gesellschaftliche Resilienz in **sensiblen Anwendungsfeldern** wie der öffentlichen Verwaltung, der Mobilität, der kritischen Infrastruktur und der Lieferkettensteuerung. Gleichzeitig sind diese Sektoren durch hohe Anforderungen an Datenschutz, Nachvollziehbarkeit und Robustheit geprägt. Hier braucht es domänenspezifisch trainierte KI-Systeme, die erklärbar und zuverlässig agieren – auch in sicherheitskritischen Szenarien.

Förderwürdig sind daher Projekte, die KI-Lösungen für diese Anwendungsbereiche entwickeln und in praxistaugliche Demonstratoren überführen. Dies umfasst Sprachassistenzsysteme für Verwaltungsprozesse, KI-basierte Analysewerkzeuge für die Sicherheitslage, Agentensysteme zur intelligenten Steuerung kritischer Infrastruktur oder autonome Einheiten für logistische Aufgaben. Ergänzt werden muss dies durch validierte Methoden zur Risikobewertung, Transparenzmechanismen und technische Schutzmaßnahmen gegen Missbrauch und Verzerrung. Zentrale Bedeutung hat die Interoperabilität mit bestehenden Fachverfahren, Infrastrukturen und gesetzlichen Vorgaben. KI-Systeme müssen in föderale IT-Landschaften eingebettet werden können.

Subthemen und Förderstrukturen

Mit der Initiative werden folgende Themen für Förderprogramme adressiert:

Förder-schwer-punkte	**Förderinhalte**
Daten-/ KI-Infra-struktur	– Data Labs: Daten- und KI-Fabriken auf Basis großer Foundation-Modelle und Data Spaces – Energieeffiziente KI-Recheninfrastruktur (CPUs, GPUs) – orchestriert mit KI im Edge Cloud-Kontinuum – Entwicklung einer sicheren, resilienten Betriebsinfrastruktur für die Digitalisierung in Deutschland – Souveräner KI-Stack für resiliente Energieinfrastrukturen
KI-Modellfamilien	– Branchenspezifische Foundation-Modelle für die deutsche Industrie – mit Fokus auf strategische Sektoren – Modellvielfalt: LLMs, kleine spezifische Modelle, Retrieval-Augmented Generation (RAG), multimodal, Reasoning-Fähigkeiten, Robotic LLMs – Sichere und vertrauenswürdige KI
KI-Anwendungen	– Industrielle KI, z. B. automatisiertes Produktdesign, KI-Robotik (Embodied AI, Human Brain Interaction) – KI-Souveränität für die öffentliche Verwaltung (z. B. Bürgerassistenzsysteme, Urban Twins) – Verlässliche Erkennung von Desinformation durch modulare KI-Frameworks und intelligente Systeme
KI-Geschäftsmodelle	– KI als Produktinnovation, v. a. im Bereich Agentic AI – Schaffen von KI-Champions in Deutschland/Europa – Verknüpfung mit anderen Technologien wie Virtual Worlds

Partnernetzwerk des KI-Moonshots

Die Umsetzung der Initiative »Wettbewerbsfähige KI-Modelle für die deutsche Wirtschaft« erfordert Kooperation und Koordination der wesentlichen Akteure aus Forschung, Industrie und Politik über den gesamten Innovationslebenszyklus sowie unter Nutzung bereits laufender und verwandter Initiativen. Zu letzteren zählen AI Gigafactories, die 8ra-Initaitive, die IPCEI-Vorhaben CIS und AI sowie EDIC-Arbeiten (z. B. zur Mobilität und zu Digital Commons) und Datenrauminitiativen wie Manufacturing-X. Der Befähigung von KMU ist vor dem Hintergrund der Skalierung von Innovation in besonderer Weise Rechnung zu tragen. Erfolgreiche KI-Innovation erfordert eine enge Zusammenarbeit verschiedener Disziplinen – wie den Anwendungsbereichen (u. a. Industrie, Gesundheit, Energie, Verwaltung), den KI-/Datenwissenschaften und den Wirtschafts- und Rechtswissenschaften.

Synergien & Transferpotential der KI-Moonshots

KI kann als Querschnittstechnologie gesehen werden, die in allen Domänen einsetzbar und mit fast allen Themen der Hightech-Agenda eng verwoben ist. Es ergeben sich inhaltliche infrastrukturelle Synergien zu anderen Fraunhofer-Moonshots (z. B. Robotik, Gesundheit und Mikroelektronik).

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. Boris Otto
Vorsitzender des Fraunhofer-Verbunds IUK-Technologien
Vorsitz@iuk.fraunhofer.de

© Fraunhofer-Gesellschaft e. V., München 2025

Fraunhofer

Fraunhofer Moonshot Innovation Brief

Wirtschaften und Leben im geschlossenen System

Schlüsseltechnologien: Klimaneutrale Energieversorgung und Biotechnologie

Executive Summary

Der Moonshot zum »Wirtschaften und Leben im geschlossenen System« zielt darauf ab, **Lösungen für extreme Herausforderungen** zu entwickeln, die sich von der Raumfahrt bis hin zu globalen Krisensituationen erstrecken. Dieser Anspruch erfordert einen grundlegenden **Paradigmenwechsel** hin zu einer vollständigen stofflichen **Kreislaufwirtschaft**, die alle Aspekte der Ressourcennutzung, Produktentwicklung und -sicherheit integriert. Angesichts der jährlichen Entnahme von über 100 Milliarden Tonnen Rohstoffen, die zu einer erheblichen Überschreitung planetarer Grenzen führt, ist die Implementierung der **Circular Economy** (CE) als nachhaltige Alternative unerlässlich.

Für rohstoffarme Regionen wie Deutschland und die EU ist es wichtig, die Abhängigkeit von externen Lieferanten von Rohstoffen zu verringern und die Resilienz der produzierenden Industrie zu stärken. Dieser Prozess erfordert nicht nur einen sicheren Zugang zu essenziellen Rohstoffen, sondern auch innovative Produktionsmethoden, die mit begrenzten Wasserressourcen und einer nachhaltigen Energieversorgung auskommen und gleichzeitig die Produktsicherheit gewährleisten. Insbesondere stehen wiederverwendete Materialien im Fokus, die oft unbekannte Zusammensetzungen aufweisen, was neue Ansätze in der Sicherheitsbewertung erfordert.

Fraunhofer verfügt über die notwendigen **Strukturen, Ressourcen und das Know-how**, um die Transformation zu zirkulären Wirtschaftsmodellen aktiv voranzutreiben. Durch die bestehende enge Vernetzung von Wissenschaft, Industrie, Politik und Gesellschaft, z. B. in **CIRCONOMY-Hubs**, wird die gemeinsame Entwicklung von Lösungen in vielen Bereichen der Gesellschaft gefördert. Diese integrierte Herangehensweise ermöglicht eine **effektive Zusammenarbeit** und den **raschen Austausch von Wissen** zwischen den Disziplinen, was die Umsetzung innovativer Ideen enorm beschleunigt.

Um die komplexen Herausforderungen erfolgreich zu bewältigen, sind **nachhaltige Förderinstrumente** – auch über klassische Projektlaufzeiten hinaus – sowie **starke Netzwerke** erforderlich. Diese Strukturen werden entscheidend sein, um die Transformation zur Circular Economy in Europa und Deutschland voranzutreiben und kreative Ansätze zur Ressourcennutzung und -verwertung zu entwickeln.

Motivation für das Thema

Wirtschaften und Leben im geschlossenen System eröffnet Lösungsmöglichkeiten für extreme Anforderungen. Das **geschlossene System ist skalierbar**, von der Raumkapsel über ein abgeschottetes oder isoliertes Wirtschaftssystem, sei es extraterrestrisch oder im Konfliktfall, bis zum gesamten Planeten mit seinen planetaren Grenzen. Das geschlossene System erfordert eine **vollständige stoffliche Kreislaufwirtschaft** und damit einen **Paradigmenwechsel** für den Begriff »Wirtschaften«. Dies gilt insbesondere für die Bereiche Ressourcenallokation und -nutzung, Produktherstellung, Produktsicherheitsbewertung und Produktnutzung.

Geschlossene Systeme und/oder Kreisläufe sind für Resilienz und Krisenbeherrschung auf unterschiedlichen Skalen unerlässlich. Sie sind der nächste konsequente Entwicklungsschritt der Circular Economy. Über 100 Milliarden Tonnen Rohstoffe werden jährlich der Umwelt entnommen – und zu ca. 93 Prozent linear bewirtschaftet, d. h. menschlichen

Materiallagern zugeführt oder als Emissionen in die Umwelt entlassen. Dieses Wirtschaftsmodell ist ökonomisch sehr erfolgreich, überschreitet jedoch die **planetaren Grenzen** (vergleiche. auch den Earth Overshoot Day). Zum **nachhaltigen Management von Ressourcen** ist das Konzept des zirkulären Wirtschaftens (**Circular Economy** – CE) global zurzeit die **einzige Lösung**. Ziel der Circular Economy ist es, die Rohstoffentnahme aus der Umwelt so zu steuern, dass Quellen und Senken maximal geschont und das aus dem Bevölkerungswachstum resultierende Konsum- und Wohlstandswachstum dauerhaft befriedigt werden kann. Daher ist ein Wandel des bisherigen linearen hin zu einem zirkulären Wirtschaftssystem unumgänglich. Aus diesem Grunde betrachtet Circular Economy die Produktions-, Konsum- sowie Entsorgungsphase integriert.

Bedeutung des Themas im Außenraum, externer Bedarf

Deutschland und die EU sind als rohstoffarme Regionen stark abhängig von externen Kohlenstoffquellen, was geopolitisch riskante Abhängigkeiten schafft. Der am 8. Juli 2025 veröffentlichte »Action Plan« der EU-Kommission adressiert diese Problematik durch Maßnahmen zur Stärkung der Resilienz der chemischen Industrie, darunter die Gründung einer Allianz für kritische Chemikalien und die Analyse von Lieferketten und Produktionsstandorten.

Für eine zirkuläre und ressourcenschonende Wirtschaftsweise – vergleichbar mit geschlossenen Systemen wie im Weltall – sind drei sektorenübergreifende Voraussetzungen zentral:

- **Zugang zu Rohstoffen** und Intermediaten zur Herstellung essenzieller Chemikalien und Materialien
- Realisierung von Produktionsprozessen mit **begrenzten Wasserressourcen** und einer **nachhaltigen Energieversorgung**
- **Produktsicherheit** für Mensch, Tier und Umwelt

Die Umsetzung dieses Konzepts erfordert Technologien zur Nutzung nachhaltiger Kohlenstoffquellen sowie ein neues Verständnis von Produktsicherheit: In der Kreislaufwirtschaft stehen wiederverwendete Produkte mit oft unbekannter Zusammensetzung im Fokus, nicht mehr einzelne Ausgangsstoffe. Die **klassische Risikobewertung stößt an Grenzen**, da Einzelstofftests nicht ausreichen. Stattdessen braucht es neue Testverfahren auf Produktebene, die bislang weder etabliert noch validiert sind. Das vorhandene Wissen über molekulare Stoffwirkungen muss gebündelt werden, um tierversuchsfreie, human- und ökotoxikologisch relevante Testsysteme zu entwickeln. Diese sollen eine chargenweise Bewertung ermöglichen, unterstützt durch KI-gestützte Analyse von Wirkstoffdatenbanken.

Neben Kohlenstoff ist Wasser eine weitere kritische Ressource, die für Leben und industrielle Prozesse – vor allem für Reinigungsprozesse – unverzichtbar ist. Derzeit fehlen jedoch skalierbare, automatisierte und digitalisierte Lösungen für eine **wasserfreie bzw. effiziente Produktion** und Anlagenreinigung. Konventionelle Verfahren sind personal- und energieintensiv. Für eine zukunftsfähige Versorgung sind daher smarte, kreislauffähige Produktionstechnologien mit kontrolliertem, geringem Wasserbedarf erforderlich. Der Fokus liegt auf Wasserkreislaufführung, Wasserrückgewinnung und der Nutzung von Brauchwasser inklusive der dafür erforderlichen nachhaltigen Energieversorgung (Nexus).

Bedeutung des Themas für Fraunhofer

Wirtschaften und Leben in geschlossenen Systemen erfordert ein **neuartiges systemisches Denken und Umsetzen von Projekten** – vor allem, wenn Dimensionen von der Raumkapsel bis zur Volkswirtschaft adressiert werden. Fraunhofer verfügt über umfassendes **Know-how, technische Infrastrukturen** auf allen Skalierungsebenen (Labore, Technika) sowie **eigene Technologien** (TRL bis 8), um zirkuläres Wirtschaften für nahezu alle Branchen in die Praxis umzusetzen. Fraunhofer hat zugleich die Schlagkraft, seine **Kapazitäten** flexibel für **große, systemische FuE-Vorhaben** zu bündeln und zu managen. Dafür sind regionale und überregionale Strukturen etabliert und optimiert.

Wirtschaften und Leben in geschlossenen Systemen erfordert systemische Forschung für die Bereitstellung von Grundstoffen, Lebensmitteln und Arzneien sowie für sichere Produktwelten – unter Einsatz möglichst weniger, knapper und/oder kritischer Ressourcen wie Wasser, Kohlenstoff und Biomasse. Das Moonshot-Thema integriert daher auch die strategischen Forschungsfelder der Hightech Agenda **Gesundheitsforschung und Nachhaltigkeitsforschung**, liefert Lösungen für die Raumfahrt und das Konfliktmanagement. Mit dem Fraunhofer-eigenen CIRCONOMY®-Hub-Ansatz legt Fraunhofer einen Vorschlag vor, um verteilte Innovationsökosysteme erfolgreich zu etablieren. CIRCONOMY-Hubs vernetzen kooperierende Akteure aus Wissenschaft, Wirtschaft, Politik, Administration und Gesellschaft. Sie bilden das Fundament für die langfristige Verwertung von Forschungsergebnissen und das rasche Umsetzen in Zukunftsmärkten, Förderstruktur und Sub-Themen.

Für die erfolgreiche Bearbeitung solch komplexer und systemischer Herausforderungen bedarf es eines Paradigmenwechsels im wirtschaftlichen und förderrechtlichen Sinne. So werden die von Fraunhofer vorgeschlagenen **CIRCONOMY-Hubs** nicht als Projekte, sondern als **zukunftsgestaltende Infrastrukturen** verstanden, die eine **Dekade der zirkulären Transformation** begleiten. Sie stellen die Anschlussfähigkeit an europäische und globale Initiativen sicher. Dafür ist eine auf mindestens **zehn Jahre angelegte**

Förderschiene mit einem Volumen von insgesamt 150 bis 200 Mio. € erforderlich (Systemforschungsförderung).

Zur Bündelung der **Schwarmintelligenz** aus allen angrenzenden Technologiebereichen unter Einbezug der Silent Stakeholder (NGOs, Jugend, etc.) bedarf es neutraler, technologieoffener und ergebnisfokussierter Handlungs- und Transferräume (z. B. **Reallabore, Zukunftswerkstätten/Transformationszentren, Cluster und Hubs**). Erst so wird die Einbeziehung von unterschiedlichen, Impact-relevanten Perspektiven möglich. Die Realisierung kann durch ein Multi-Stakeholder-Governance-Modell unter Nutzung von KI-Systemen als neutrale Moderatoren komplexer Datenlagen sowie unter Federführung von interministeriellen Taskforces oder Zukunftsräten erfolgen. Spezifisch kann der Moonshot ein Important Project of Common European Interest **IPCEI** (z. B. derzeit in Vorbereitung im Bereich **Biotechnologie** und ggf. folgend für die **chemische Industrie**) vorbereiten, wofür nationale Unterstützung aus der Politik sehr hilfreich ist.

Partnernetzwerk

Die Europäische Union treibt mit dem Clean Industrial Deal, dem Circular Economy Action Plan sowie dem für 2026 geplanten Circular Economy Act gezielt Prozessinnovationen zur Circular Economy voran. Dies wird von zahlreichen Circular-Economy-Strategien auf nationaler Ebene (u. a. der Nationalen Kreislaufwirtschaftsstrategie in Deutschland NKWS) unterstützt. Dabei sind Resilienz und Ressourcenunabhängigkeit auch auf europäischer Ebene prioritär. **Fraunhofer** hat durch **Mitwirkung** in den verschiedensten Gremien, Netzwerken und strategischen Partnerschaften, wie z. B. **Bio-based Industries Consortium (BIC), SusChem** und der Processes4Planet-Partnerschaft **A.SPIRE** die Möglichkeit, die in Deutschland entwickelten Technologien auf Europa zu skalieren. Politisch ist Fraunhofer über sein Büro in Brüssel in alle Konsultationen und Vorbereitungen eingebunden. Auf **Projekt- und Gremienebene** gibt es **intensiven Austausch** mit der **Stoffregulation** (UBA, BfR, ECHA, EFSA) und Beteiligung an der **Richtlinienentwicklung** (VDI, DIN/ISO, OECD).

Fraunhofer hat bereits 2021 in einem Projektkonsortium von 16 Fraunhofer-Instituten erarbeitet, wie souveräne Wertschöpfungszyklen und die Transformation zum zirkulären Wirtschaften mittels **missionsorientierter CIRCONOMY-Hubs in der Praxis umgesetzt** werden. Diese Strukturen fokussieren jeweils ein spezifisches Forschungsthema der Circular Economy (z. B. nachhaltige Chemie, industrielle Biotechnologie) und sind über eine gemeinsame Plattform miteinander vernetzt. Die Hubs schaffen und nutzen einen **gemeinsamen Datenraum**, der schnelles Lernen innerhalb und zwischen CIRCONOMY-Hubs ermöglicht sowie die **besten Lösungen vernetzt**. Ein **erster Hub** wird auf Landesebene in Bayern zum Thema **Circular Carbon Technologies CCT** bereits **gefördert**, ein **zweiter Hub** zum Thema **Stoffkreisläufe im Bausektor** befindet sich im Aufbau. Ziel ist es, deutschlandweit eine Architektur aus missionsorientierten CIRCONOMY-Hubs aufzubauen, welche direkt an die aktuell erarbeiteten Innovationsstrategien und Roadmaps auf EU- und Landesebenen anschlussfähig ist und diese rasch in die Praxis umsetzt.

Warum Deutschland jetzt handeln muss

Deutschland muss jetzt handeln, um seine ökologische Stabilität, wirtschaftliche Souveränität und technologische Führungsrolle zu sichern – im europäischen und globalen Kontext. Der Moonshot bildet die Grundlage dafür. Er zielt auf die Entwicklung skalierbarer Lösungen für extreme Herausforderungen – von Raumfahrt bis Klimakrise – durch den Aufbau geschlossener, zirkulärer Systeme.

- **Planetare Notwendigkeit**: Über 100 Milliarden Tonnen Rohstoffe werden jährlich entnommen, ca. 93 Prozent davon jedoch ausschließlich linear verwertet – das überschreitet planetare Grenzen.
- **Geopolitische Relevanz:** Deutschland und die EU sind rohstoffarm und es bestehen große Risiken bei Importen kritischer Ressourcen (z. B. Metalle, Kohlenstoff, Biomasse wegen der Begrenzung von nutzbaren Flächen, Wasser bei langanhaltenden Trockenzeiten) – geschlossene Systeme stärken die Resilienz.
- **Technologische Disruption**: Neue Produktdesigns für Wiederverwendung und Recycling, KI-gestützte Sicherheitsbewertungen für komplexe Materialströme, wasser- und energieeffiziente Produktionstechnologien, Digitalisierung durch Produktpässe, IoT und Automatisierung sind erforderlich
- **Fraunhofer als Enabler**: Mit CIRCONOMY-Hubs, TRL-8-Technologien und interdisziplinärer Forschung kann Fraunhofer die Transformation systemisch vorantreiben.

Warum ein disruptiver Wandel erforderlich ist

Der Moonshot steht für einen disruptiven Entwicklungssprung – technologisch, wirtschaftlich und gesellschaftlich. Er fordert einen radikalen Wandel in Wirtschaft und Industrie, weg vom linearen Take-Make-Waste-Modell hin zu einer vollständig stofflichen Kreislaufwirtschaft. Er sichert Deutschlands Zukunftsfähigkeit und globale Führungsrolle:

- **Neue Geschäftsmodelle und gesteigerte Wertschöpfung:** Produkte werden für Wiederverwendung, Reparatur und Recycling entwickelt (zirkuläres Produktdesign) – von Produktion zu Nutzung, Rückführung und Service, z. B. durch Product-as-a-Service-Modelle, regionale Stoffkreisläufe schaffen neue Wertschöpfungslogiken.

- **Ressourceneffiziente Produktion:** Bei einer Defossilisierung der chemischen Industrie stehen nur noch drei Kohlenstoffquellen zur Verfügung: Rezyklate, Biomasse und CO_2 – Technologien für die industrielle Produktion mit diesen Stoffen existieren bisher nicht. Die Nutzung alternativer Kohlenstoffquellen, der Einsatz von wasser- und energiearmen Prozessen sowie die vollständige Kreislaufführung müssen zum Standard werden.
- **Neue Sicherheitsstandards:** KI-gestützte, produktbasierte Testverfahren ersetzen klassische Einzelstoffbewertungen und schaffen größere Sicherheit für Industrie und Verbraucher.
- **Digitalisierung und Automatisierung:** Digitale Produktpässe, IoT und KI steuern Materialflüsse, verlängern Produktlebenszyklen und reduzieren Kosten.

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. Andrea Büttner
Vorsitzende des Fraunhofer-Verbunds Ressourcentechnologien und Bioökonomie
andrea.buettner@ivv.fraunhofer.de

© Fraunhofer-Gesellschaft e. V., München 2025

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

Fraunhofer Moonshot Innovation Brief

Institutionalisiertes Deutsches Quantenökosystem

Schlüsseltechnologien: KI, klimaneutrale Energieerzeugung, Mikroelektronik, Biotechnologie

Executive Summary

Die Nutzbarmachung der Quantentechnologien gilt als eine der größten Chancen im 21. Jahrhundert. Sie ermöglicht sichere Kommunikation, leistungsstarkes Quantencomputing und präzise Messtechnik. Potenzielle Anwendungen sind beispielsweise neue Medikamente und neue Verfahren zur 3D-Bildgebung in der Medizin.

Daher wurden und werden Quantentechnologien in Deutschland und der Welt stark gefördert und sind bei uns auch in Forschungseinrichtungen exzellent abgebildet, unter anderem mit mehreren Nobelpreisträgern. Nun kommt es darauf an, die Wertschöpfung in Deutschland zu sichern und auszubauen und dabei auch Abhängigkeiten von anderen Ländern wie den USA oder China zu reduzieren.

Hier schlagen wir drei Projekte vor, die doppelten Gewinn für unsere Nation versprechen: (a) Adressierung von »White Spots«, also hochrelevanten Feldern, die bisher allenfalls peripher oder nur im Bereich der Grundlagen gefördert wurden und (b) Demonstration der Bündelung der Kräfte in Deutschland, um mit vorhandenen Ressourcen den bestmöglichen Sprung bei den ausgewählten Quantentechnologiefeldern zu erreichen.

Universal-Kleinsatelliten für Quanteninformationstechnik: Für die Quantenkommunikation und das vernetzte Quantencomputing sind optische Links unentbehrlich, bevorzugt per Satellit. Es gibt hierzu laufende Vorhaben, welche die Machbarkeit zeigen und erste High-End-Space-Produkte ermöglichen. Für einen großen Markterfolg ist aber noch ein wichtiger Schritt zu gehen: Die jüngeren Erfolge des »New Space« müssen mit der Quantentechnologie kombiniert werden: Aus kostengünstigen Komponenten zusammengebaute Satelliten schaffen die Voraussetzung zur Serienfertigung und damit zum wirtschaftlichen Betrieb eines Netzes durch Unternehmen. Wir schlagen vor, einen entsprechenden Kleinsatelliten zu entwickeln, der weniger als 1 Mio. € je Satellit kostet. Dafür wird es nötig sein, photonische integrierte Schaltkreise weiterzuentwickeln und einzusetzen, welche dann in Masse günstig zu fertigen sind. Auch geht es um die Qualifikation des kompletten Satelliten für den Einsatz im Weltraum, anstatt jede Komponente einzeln zu prüfen. Diese Satelliten sollen so universell konzipiert werden, dass sie auch Zusatzaufgaben zur Erdbeobachtung übernehmen können, z. B. im Kontext Sicherheit und Klima.

Universal-Software-Plattform für Quantencomputer: Beim Weg zum Quantencomputer werden unterschiedliche Hardwarekonzepte verfolgt und gefördert. Jedoch erhält die Entwicklung von Software bislang zu wenig Aufmerksamkeit. Bei den PCs übersteigen die Umsätze mit Software (Beispiel Microsoft) die Hardwarekosten deutlich. Das wird auch bei Quantencomputern so sein. Hier versuchen schon jetzt insbesondere amerikanische Unternehmen, Standards zu schaffen. Noch besteht die Chance, europäische Alternativen zu etablieren: Dafür ist die Entwicklung von Algorithmen zur Simulation und Optimierung inklusive Benchmarking sowie zur sicheren Übertragung von Quantenzuständen als europäische Tools erforderlich. Hierzu müssen wir in Software investieren, die im Sinne von Software-Hardware Co-Design mittels verschiedener Layer sehr flexibel alle unterschiedlichen Quantencomputertypen steuern kann, hohe Leistung bietet und auf die Vernetzung mehrerer Rechner ausgerichtet ist – analog zum Erfolg der Grafikprozessoren (Beispiel Nvidia).

Kapazitäten orchestrieren und bündeln: In Deutschland

haben wir eine sehr rege Quantencommunity, an Universitäten, bei der Fraunhofer-Gesellschaft, bei der Max-Planck-Gesellschaft, in der Helmholtz-Gemeinschaft und der DLR sowie bei zahlreichen Unternehmen. Hier sehen wir Potenziale, durch mehr Interaktion, Kommunikation und Transparenz zu stärkerer Schlagkraft zu kommen. Es ist im Interesse aller, Redundanzen zu vermeiden und Erfahrungen zu teilen. Dies bei einem verständlichen Wettbewerb zwischen Einrichtungen, Forschenden, Unternehmen und Bundesländern zu erreichen, ist nicht einfach, aber für globale Wettbewerbsfähigkeit essenziell. Wir schlagen vor, ein Governance-Modell zu entwickeln, das Kooperationen fördert und Redundanzen vermeidet. Dieses Modell wollen wir zunächst prototypisch für die beiden oben genannten Unterfangen einsetzen und die gesamte Community einbinden. Das »Role Model« für den Umgang miteinander kann dann für alle Gebiete der Quantentechnologie eingesetzt werden.

Ziele und Ansatz:

1. Kleinsatelliten für Quantenkommunikation

- Entwicklung modularer, kostengünstiger Kleinsatelliten zur sicheren Übertragung von Quantenzuständen oder allgemein von Informationen
- Aufbau einer Infrastruktur zur Parallelisierung/Zusammenschaltung von Quantencomputern
- Anwendungen in sicherer Kommunikation, Computing aber auch Erdbeobachtung

2. Pan-europäische Programmierplattform für Quantencomputing

- Entwicklung einer Plattform für Quantenprogrammierung inklusive der Bereitstellung algorithmischer Tools, welche der Community zugänglich gemacht wird und alle Hardware-Quantencomputer-Systeme adressiert
- Optimierung der Nutzung verteilter Quantenressourcen durch Bündelung räumlich verteilter Quantencomputer

3. Orchestrierung der Quantenforschung und -entwicklung in Deutschland zur allseitigen Nutzung

- Integration von Standards und Governance-Ansätzen zur Unterstützung der Hauptprojekte
- Entwicklung eines Quantenatlas und Matchmaking-Tools zur Vernetzung von Akteuren

Innovationspotenziale:

- Quanteninformation: Schaffung der Voraussetzungen zum Aufbau einer Infrastruktur für Quantenkommunikation und vernetztes Quantencomputing
- Technologische Souveränität: Reduzierung der Abhängigkeit von nicht-europäischen Technologien
- Nachhaltigkeit: Entwicklung ressourcenschonender Technologien und effizienter Netzwerke
- Wirtschaftliche Chancen: Beschleunigung der Entwicklung marktfähiger Quantenanwendungen und Förderung neuer Geschäftsmodelle zum Bau von Quantenmaschinen

Förderbedarf und Zeithorizont:

- Gesamtkosten: ca. 100 Mio. € über fünf Jahre
- Zeithorizont: erste Ergebnisse innerhalb von drei Jahren, vollständige Umsetzung in fünf Jahren

Erläuterungen

Das Projekt »Institutionalisiertes Deutsches Quantenökosystem« kombiniert drei zentrale Initiativen: die Entwicklung von Kleinsatelliten für die Quantenkommunikation, die Schaffung einer pan-europäischen Programmierplattform für Quantencomputing und die Unterstützung durch Governance- und Standardisierungsmaßnahmen. Ziel ist es, Deutschland als globalen Vorreiter in der Quanteninformationstechnik zu etablieren, technologische Souveränität zu sichern und wirtschaftliches Wachstum zu fördern.

Wirtschaftlicher und strategischer Nutzen

Wertschöpfung:

- Schaffung eines Standards für günstige und breit einsetzbare Kleinsatelliten
- Aufbau neuer Märkte zur Quantenkommunikation und für Quantencomputing-Software
- Exportchancen durch Kleinsatelliten und Softwarelösungen für Quantenvernetzung
- Stärkung der deutschen Raumfahrtindustrie und des Sektors Information und Kommunikation

Zielmärkte:

- Große Industriezweige wie Logistik, Finanzsysteme und Verteidigung profitieren direkt.
- KMU erhalten Zugang zu Quantenressourcen und können neue Geschäftsmodelle entwickeln.

Strategische Vorteile:

- Aufbau technologischer Souveränität und Unabhängigkeit von nicht-europäischen Anbietern
- Sowohl Quantenhardware als auch -software erreichen Spitzenleistungen und müssen vereint werden, um globale Standards für Wertschöpfung zu schaffen
- Erhöhte Attraktivität für internationale Investitionen und Spitzenkräfte

Quantifizierbarer Impact:

- Kleinsatelliten: Entwicklung soll sich als Standard durchsetzen – mehr als 50 Prozent Marktanteil bei Quantensatelliten als Ziel
- Programmierplattform: Ziel ist eine europäische Toolbox von Quantenalgorithmen
- Governance: Vermeidung von Doppelstrukturen und effizientere Nutzung von Fördermitteln

Förderstruktur und Sub-Themen

Kleinsatelliten für Quantenkommunikation:

- Entwicklung modularer, kostengünstiger Kleinsatelliten zur sicheren Übertragung von Quantenzuständen oder allgemein optischen Signalen
- Anwendungen in sicherer Kommunikation, globaler Zeitsynchronisierung und Erdbeobachtung
- Nutzung bestehender Fraunhofer-Kompetenzen (z. B. Satellit ERNST) und Kooperation mit deutschen Launch-Providern

Pan-europäische Programmierplattform:

- Entwicklung einer Open-Source-Plattform für hardwareunabhängige Quantenprogrammierung
- Integration bestehender europäischer Lösungen, Schaffung eines »Abstraction Layers« für Quantenhardware und Design von Quantenalgorithmen zur Simulation und Optimierung
- Förderung der Nutzung verteilter Quantenressourcen und Unterstützung von KMU

Governance und Standards:

- Entwicklung eines Quantenatlas und eines Matchmaking-Tools zur Vernetzung von Akteuren
- Konsolidierung regionaler Roadmaps und Abstimmung mit einer nationalen Strategie
- Monitoring globaler Entwicklungen und Ableitung konkreter Handlungsempfehlungen

Infrastruktur:

- Aufbau von Testbeds für die sichere Übertragung von Quantenzuständen und die Vernetzung von Quantencomputern
- Integration von Quantenhardware in High-Performance Computing Zentren im Rahmen einer »Next Generation Computing«-Strategie
- Synergien mit anderen Technologien wie photonischen Netzwerken und Laserinfrastrukturen

Partnernetzwerk

Verantwortlichkeiten:

- Fraunhofer-Institute führen die Entwicklung von Kleinsatelliten, Softwarelösungen und Governance-Modellen durch
- Industriepartner (z. B. Start-ups, Telekommunikationsanbieter) treiben die Kommerzialisierung voran
- Politische Unterstützung durch Bundesministerien und europäische Förderprogramme

Netzwerk:

- Zusammenarbeit mit deutschen Quanteninitiativen (z. B. Munich Quantum Valley, QuantumBW, Quantum Valley Lower Saxony)
- Integration europäischer Partner über Programme wie Quantum Technology & Application Consortium (QUTAC), Quantum Business Network (QBN) und QuantERA – ERA-NET Cofund in Quantum Technologies
- Einbindung von KMU und Start-ups zur Förderung von Innovationen und Skalierung

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. Karsten Buse
Vorsitzender des Fraunhofer-Verbunds Light & Surfaces
Karsten.buse@ipm.fraunhofer.de

© Fraunhofer-Gesellschaft e. V., München 2025

Fraunhofer Moonshot Innovation Brief

Robotische Transformation Deutschlands: Autonome KI-gestützte Robotersysteme

Schlüsseltechnologie: Künstliche Intelligenz

Executive Summary

In der Robotik vollzieht sich gerade ein fundamentaler Wandel: **Autonome KI-gestützte Robotersysteme** werden in den kommenden Jahren viele Einsatzbereiche grundlegend verändern, und zwar in einer Weise, die weit über die klassische Automatisierung hinaus geht. Moderne robotische Systeme arbeiten nicht nur präzise, zuverlässig und können Menschen in anspruchsvollen oder gefährlichen Einsatzbereichen entlasten. Ausgestattet mit den enormen Fortschritten in der generativen KI werden aus den Robotern schon heute **autonome Systeme mit beachtlicher maschineller Intelligenz, Interaktivität und Teamfähigkeit**.

Diese robotische Transformation, die insbesondere in den USA und China vorangetrieben wird, schreitet rasant voran – mit enormem gesellschaftlichem und wirtschaftlichem Potenzial:

Zum einen durch neue Produkte und Innovationen, mit denen sich die deutsche Industrie als Technologietreiber in einem weltweiten stark wachsenden Zukunftsmarkt positionieren kann. Zum anderen bieten KI-gestützte Roboter die Chance, den wachsenden Fachkräftemangel in unterschiedlichen Branchen abzufedern und gleichzeitig neue attraktive und hochwertige Arbeitsplätze schaffen.

Damit Deutschland bei dieser **robotischen Transformation** künftig eine weltweit führende Rolle spielen kann, muss in Wirtschaft und Gesellschaft der innovative Einsatz von KI-gestützten Robotern entschlossen katalysiert und forciert werden. Deutschland bringt dafür exzellente Voraussetzungen mit: Die Fraunhofer-Gesellschaft und weitere Forschungseinrichtungen verfügen über herausragende Kompetenzen in den Bereichen Automatisierungstechnik, Mechatronik, Robotik, Sensorik, Systemtechnik und Künstlicher Intelligenz. In Verbindung mit einer starken Industrie im Maschinen- und Anlagenbau sowie in der Systemtechnik kann ein einzigartiges Innovationsökosystem für einen bedeutenden Zukunftsmarkt entstehen.

Bei der Entwicklung neuartiger KI-gestützter Roboter ist es von strategischer Bedeutung, gezielt auf Anwendungsfelder zu setzen, in denen Deutschland bereits über eine starke Forschungs- und Innovationsbasis verfügt. Zudem ist es vorteilhaft, solche Einsatzbereiche zu identifizieren, die noch ein erhebliches unerschlossenes wirtschaftliches Potenzial aufweisen und in denen in drei bis vier Jahren eine internationale Technologieführerschaft erlangt werden kann:

- Im **Bauwesen** lassen sich komplexe, gefährliche und arbeitsintensive Tätigkeiten automatisieren, Bauprojekte beschleunigen und lässt sich die Ausführungsqualität verbessern.
- Im **Gesundheitswesen** ermöglichen robotische Assistenzsysteme neue Ansätze in Pflege, Rehabilitation und insbesondere der Präzisionschirurgie.
- In der **industriellen Produktion** steigern autonome Systeme die Produktivität, Flexibilität und Anpassungsfähigkeit von Fertigungsprozessen – auch bei kleinen Losgrößen.
- Im **Unterwassereinsatz** lassen sich mit autonomen Robotern Aufbau, Inspektion und Wartung kritischer Offshore-Infrastrukturen effizienter und sicherer umsetzen, aber auch unterseeische kritische Infrastrukturen schützen.

- Neuartige, schwerlastfähige, beinbasierte Robotersysteme bieten Lösungen für den Einsatz in **unwegsamem Gelände** – etwa in der Forst- und Landwirtschaft, auf Deponien, im Bauwesen oder in der Katastrophenbewältigung.

Eine gezielte Förderung dieser Bereiche – in der Forschung, in der industriellen Entwicklung und bei der Anwendungseinführung – kann für Deutschland technologische Alleinstellungsmerkmale hervorbringen und helfen, neue profitable Märkte mitzugestalten und zu erobern.

Was wird sich durch KI-gestützte autonome Robotersysteme grundlegend ändern?

Die Verschmelzung von KI und Robotik markiert einen radikalen Technologiesprung – Roboter werden zu selbstständig handelnden, lernenden und interagierenden Akteuren in offenen, unstrukturierten und dynamischen Umgebungen.

Diese »verkörperte Intelligenz« (Embodied AI) erlaubt es Robotern, Sprache zu verstehen, komplexe Situationen zu erfassen, aus Erfahrungen zu lernen und flexibel auf Veränderungen zu reagieren – nicht nur am Fließband, sondern auch auf der Baustelle, im OP-Saal, unter Wasser oder in Katastrophengebieten. Was bislang als nicht automatisierbar galt, wird mit KI-gestützten autonomen Robotern erstmals technisch möglich. Diese Entwicklung ist nicht evolutionär – sie ist disruptiv. Sie verschiebt die Grenze des Automatisierbaren grundlegend – und damit auch die Spielregeln von Wertschöpfung, Arbeitsteilung und technologischer Souveränität.

Warum muss Deutschland auf diesem Feld jetzt handeln?

Der weltweite Wettlauf um die Technologieführerschaft im Bereich der KI-gestützten autonomen Robotersysteme hat längst begonnen. Die USA und China investieren mit strategischem Fokus und Milliardenprogrammen in autonome Systeme, die schon heute reale Märkte besetzen und Standards setzen. Wer jetzt zögert, riskiert nicht nur den Verlust technologischer Souveränität, sondern auch den Zugriff auf zentrale Zukunftsmärkte und Wertschöpfungsketten. Gleichzeitig wächst der Handlungsdruck im Inland: Der akute Fachkräftemangel, eine alternde Gesellschaft und zunehmende Infrastrukturrückstände stellen Wirtschaft und Staat gleichermaßen vor enorme Herausforderungen.

Deutschland hat die Kompetenzen, aber es fehlt an Tempo, Größe und systemischer Bündelung. Jetzt ist der Moment, um gezielt zu investieren – in Forschung, Testfelder, Praxistransfer und den Mittelstand. Was heute noch visionär klingt, wird in wenigen Jahren globaler Standard sein. Wenn Deutschland jetzt nicht handelt, handeln andere. Wer heute die Grundlagen für autonome robotische Systeme legt, gestaltet die Welt von morgen. Wer es nicht tut, wird sie importieren.

Erläuterung

Um das Potenzial im Bereich der autonomen Robotersystem zu heben, bedarf es gezielter, ambitionierter und technologiegetriebener Forschungsimpulse. Die nachfolgenden Vorschläge skizzieren zentrale Innovationsfelder, in denen Deutschland in kurzer Zeit technologisch führend werden kann – gestützt durch bestehende Forschungskompetenzen, industrielle Nachfrage und skalierbare Anwendungsperspektiven. Dabei stehen solche **Innovationsfelder im Vordergrund**, in denen autonome Robotersysteme besonders **große gesellschaftliche und wirtschaftliche Wirkung zeitnah** entfalten:

Autonome Baumaschinen: Während autonome Systeme bereits in der Logistik und in der Landwirtschaft eingesetzt werden, ist ihr Potenzial gerade im volumenstarken Markt der Bauwirtschaft noch fast unerschlossen. Körperlich anstrengende Aufgaben, Materialtransporte, Erdaushübe, Tiefbauarbeiten und speziell der Straßenbau eignen sich besonders für den Einsatz autonomer Arbeitsmaschinen. Vor dem Hintergrund des bestehenden Sanierungsstaus in Deutschland und des Fachkräftemangels bietet der gezielte Einsatz autonomer Baumaschinen große Chancen.

Autonome beinbasierte Schwerlastroboter: Rad-/Kettengetriebene mobile Roboter stoßen in unstrukturiertem Gelände rasch an ihre Grenzen. Beinbasierte Roboter bieten hier deutliche Vorteile – verfügbare Systeme (z. B. Boston Dynamics) zeigen zwar eindrucksvoll die Möglichkeiten, es mangelt jedoch an entscheidenden Eigenschaften wie Nutzlastkapazität und Modularität, um diese für reale Arbeitsaufgaben im Baubetrieb, in Land- und Forstwirtschaft bzw. in Verteidigung und Sicherheit einzusetzen.

KI-gestützte Assistenzrobotik in der Chirurgie: In der onkologischen Präzisionschirurgie ist die vollständige Tumorentfernung entscheidend. Die manuelle Durchführung derart komplexer Eingriffe führt oft zu körperlicher Belastung und Ermüdung des OP-Teams, was die Qualität der Behandlung beeinträchtigen kann. KI-basierte Tumorverteilungsbestimmung in Verbindung mit einem Assistenzroboter mit Laserapplikator ermöglicht hochpräzisen Tumorabtrag und kann die chirurgische Qualität und Patientensicherheit deutlich steigern.

Intelligente Roboter für die Produktion: Der Mittelstand ist das exportstarke Rückgrat der deutschen Wirtschaft, jedoch besonders vom Fachkräftemangel betroffen. Viele Unternehmen produzieren in kleinen Losgrößen und benötigen daher flexible, einfach einsetzbare Robotiklösungen. Um wettbewerbsfähig zu bleiben, sind intuitive Planungs- und Inbetriebnahmetools sowie sprachbasierte Bedienkonzepte (Large-Language-Modelle) entscheidend. Dadurch wird

Automatisierung auch für nicht spezialisierte Anwender schnell nutzbar.

Autonome Unterwasserrobotik: Seegebiete sind von großer strategischer und wirtschaftlicher Bedeutung. Offshore-Windanlagen, Pipelines und Kabeltrassen sind kritische maritime Infrastrukturen, deren Aufbau, Wartung und Rückbau mit hohen Risiken und Kosten verbunden sind. Der Einsatz autonomer Systeme bietet hier entscheidende Vorteile: Sie ermöglichen sichere und wirtschaftliche Einsätze unter Wasser, die effiziente Bergung von Altmunition, helfen beim Schutz unterseeischer Infrastrukturen und reduzieren zugleich die Gefährdung von Tauchern.

Die skizzierten Innovationsfelder bieten Deutschland die Chance, gezielt robotische Souveränität aufzubauen, technologische Exzellenz zu demonstrieren und zukunftsträchtige Märkte zu erschließen – mit unmittelbarer Wirkung für Wirtschaft und Gesellschaft.

Wirtschaftlicher und strategischer Nutzen

Der globale Robotikmarkt wird laut Grand View Research bis 2030 ein Volumen von über 180 Mrd. US-Dollar erreichen, mit einer jährlichen Wachstumsrate von 20 bis25 Prozent. Das bietet die große Chance, die eigene Wettbewerbsfähigkeit zu stärken und Arbeitsplätze zu sichern. Der deutsche Mittelstand erwirtschaftet 55 Prozent des Bruttoinlandsprodukts, installiert aber weniger als 10 Prozent aller in Deutschland verkauften Robotersysteme und profitiert im Gegensatz zu Großunternehmen bislang nur wenig von den technologischen Möglichkeiten. Zudem trifft der Fachkräftemangel den Mittelstand besonders hart – sowohl im produzierenden Gewerbe als auch im Dienstleistungsbereich. Allein zur Abfederung des demographischen Wandels benötigt Deutschland ein jährliches Wachstum der Arbeitsproduktivität von mindestens 3 Prozent. In diesem Zusammenhang fordert der Deutsche Robotikverband (DRV) 1 000 000 Roboter in Deutschland bis 2030. Vor dem Hintergrund eines weltweit stark wachsenden Robotikmarkts und eines sich zuspitzenden Fachkräftemangels im deutschen Mittelstand muss der **Einsatz KI-gestützter Robotersysteme jetzt entschlossen vorangetrieben** werden. Damit lassen sich die dringend benötigten Produktivitätszuwächse realisieren, die Wettbewerbsfähigkeit stärken und die wirtschaftliche Resilienz der deutschen Wirtschaft nachhaltig verbessern.

Die **Entwicklung und Herstellung** entsprechender **intelligenter Robotersysteme** durch **deutsche Unternehmen** bietet darüber hinaus die Chance, in den aufgeführten Anwendungsfeldern sowohl technologisch als auch wirtschaftlich eine **dominante Rolle** zu spielen.

Förderstruktur und Sub-Themen

Die Initiative »Autonome KI-gestützte Robotersysteme« verfolgt das Ziel, Deutschland als führenden Standort für intelligente, sichere und adaptive autonome Robotersysteme zu etablieren. Im Fokus steht der Aufbau eines durchgängigen Innovationssystems – von der Grundlagenforschung zu KI-Robotik über skalierbare Reallabore bis zur breiten Adaption in der Industrie, insbesondere im Mittelstand. Die Förderstruktur soll dabei vier eng verzahnte Bereiche umfassen: (1) die Entwicklung vertrauenswürdiger KI-Modelle für Robotik, etwa multimodaler Agenten, die Sprache, Sensorik und physisches Handeln intelligent verbinden; (2) den Aufbau leistungsfähiger Testumgebungen und digitaler Roboter-Zwillinge im Bauwesen sowie von Unterwassertestfeldern für Wartung und Monitoring kritischer Infrastrukturen; (3) die gezielte Befähigung des Mittelstands durch Low-Code-Plattformen, Referenzarchitekturen und Transferformate; und (4) die forcierte prototypische Einführung KI-basierter Robotersysteme in den skizzierten Anwendungsfeldern, mit speziellem Fokus auf den Mittelstand.

Partnernetzwerk

Ein solches Vorhaben kann nur in enger Partnerschaft zwischen Wissenschaft, Industrie und Politik gelingen. Die Fraunhofer-Gesellschaft, Universitäten, Hochschulen und die Industrie verfügen über herausragende wissenschaftliche und technische Kompetenzen in den Bereichen Automatisierungstechnik, Mechatronik, Robotik, Sensorik, Systemtechnik und KI. Durch die gezielte Verknüpfung dieser Kompetenzen mit bestehenden und sich im Aufbau befindlichen Forschungsinitiativen kann das gesetzte Ziel einer zügigen und praxisnahen Umsetzung wirkungsvoll unterstützt und beschleunigt erreicht werden:

- Durch das sich im Aufbau befindliche Robotics Institute Germany (RIG) besteht Zugriff auf die führende Robotik-Forschung in Deutschland.
- Das anwendungsnahe Projekt »RoX« bündelt über 20 Leitanbieter und -anwender KI-basierter Robotik. Synergien bestehen hinsichtlich generischer Roboterfähigkeiten, Simulation und Inbetriebnahme sowie digitalen Roboter- und Datenökosystemen.
- Im Forschungs- und Innovationszentrum 6 »KI-basierte Robotik« in Heilbronn werden Methoden zur einfachen und intuitiven Inbetriebnahme von Robotersystemen erforscht.
- Das Kompetenzzentrum »ROBDEKON« erforscht und entwickelt autonome und teilautonome Roboter zur Dekontamination in menschenfeindlichen Umgebungen, etwa bei Altlasten- und Deponiesanierungen oder im kerntechnischen Bereich.

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. Jürgen Beyerer
Vorsitzender des Fraunhofer-Leistungsbereichs Verteidigung, Vorbeugung und Sicherheit VVS
Juergen.beyerer@iosb.fraunhofer.de

© Fraunhofer-Gesellschaft e. V., München 2025