



Robotische Transformation Deutschlands: Autonome KI- gestützte Robotersysteme

Schlüsseltechnologie: Künstliche Intelligenz

1) 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. Solche Anwendungsfelder sind:

- Im **Bauwesen** lassen sich komplexe, gefährliche und arbeitsintensive Tätigkeiten automatisieren, Bauprojekte beschleunigen und 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 **unwegsamen Geländen** – 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.

2) Erläuterung

Um das Potenzial im Bereich der autonomen Robotersysteme 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 zukunftssträchtige Märkte zu erschließen – mit unmittelbarer Wirkung für Wirtschaft und Gesellschaft.

3) Wirtschaftlicher und strategischer Nutzen

Der globale Robotikmarkt wird laut Grand View Research bis 2030 ein Volumen von über 180 Milliarden Dollar erreichen, mit einer jährlichen Wachstumsrate von 20-25%. Das bietet die große Chance, die eigene Wettbewerbsfähigkeit zu stärken und Arbeitsplätze zu sichern. Der deutsche Mittelstand erwirtschaftet 55% des Bruttoinlandsprodukts, installiert aber weniger als 10% 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 min. 3%. In diesem Zusammenhang fordert der deutsche Roboterverband (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.

4) 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 Adoption 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.

5) 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 Institut 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 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 Innovations-system 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 Vorlauftforschung, 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 Leistungsbereichs Verteidigung,
Vorbeugung und Sicherheit VVS
Juergen.beyerer@iosb.fraunhofer.de

© Fraunhofer-Gesellschaft e. V., München 2025