

BEAUFTRAGT VOM



Bundesministerium  
für Bildung  
und Forschung



RAT FÜR TECHNOLOGISCHE  
SOVERÄNITÄT

# Positionspapier **Smarte Robotik**

Rat für technologische Souveränität

## Der Rat für technologische Souveränität

Der „Rat für technologische Souveränität“ ist ein Gremium des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) und wurde im September 2021 einberufen. Er unterstützt das BMBF bei der Identifizierung von Technologiefeldern

mit langfristiger strategischer Bedeutung. Der Rat bündelt eine breite Expertise aus Wissenschaft und Industrie in zentralen Technologie- und Anwendungsfeldern.

Die Mitglieder des Rats für technologische Souveränität sind:

Dr. Viola Bronsema	Prof. Dr. Elsa Kirchner
Prof. Dr. Oliver Falck	Prof. Dr. Oliver Kraft
Prof. Dr. Svenja Falk (Stellv. Vorsitzende)	Prof. Dr.-Ing. Marion Merklein
Dr. Tim Gutheit	Prof. Dr.-Ing. Hans Dieter Schotten
Dr.-Ing. Christina Hack	Prof. Dr. Andreas Tünnermann
Dr.-Ing. Stefan Joeres (Vorsitzender)	

## Technologische Souveränität

Technologische Souveränität ist die Fähigkeit, jederzeit Zugang zu denjenigen Schlüsseltechnologien garantieren zu können, die zur Umsetzung gesellschaftlicher Prioritäten und Bedürfnisse notwendig sind.

Dies umfasst die Verwendung und Weiterentwicklung von Technologien und Produkten unter Berücksichtigung der verfügbaren Ressourcen und notwendigen Dienstleistungen, Lücken sichtbar zu machen und wenn möglich zu schließen, und Standards auf den globalen Märkten mitzubestimmen. Technologische Souveränität kann dabei auch

erfordern, Schlüsseltechnologien und technologiebasierte Innovationen in Europa eigenständig zu entwickeln und eigene Produktionskapazitäten innerhalb der Wertschöpfungsnetze aufzubauen, wenn dies zum Erhalt der staatlichen Handlungsfähigkeit oder zur Vermeidung einseitiger Abhängigkeiten – unter Berücksichtigung sich verändernder geopolitischer Randbedingungen – notwendig ist. Das setzt die Fähigkeit voraus, alle relevanten technologischen Entwicklungs- und Herstellungsprozesse verstehen und bewerten zu können und hat den Anspruch, gleichberechtigt mit strategisch wichtigen Partnern zusammenzuarbeiten.

## Hintergrund des Papiers

Das Bundesministerium für Bildung und Forschung hat den Rat für technologische Souveränität gebeten, das Feld der smarten Robotik im Kontext der technologischen Souveränität zu bewerten. Hintergrund ist eine Analyse des Zukunftsrats des Bundeskanzlers, der die „KI-basierte“ Robotik als ein wesentliches Feld mit großen Potenzialen und mit hoher Signifikanz für die Resilienz Deutschlands

identifiziert hat. Fokus der Analysen des Zukunftsrats waren insbesondere Innovationspotenziale sowie die Marktentwicklung.

In diesem Positionspapier untersucht der Rat für technologische Souveränität, inwieweit Deutschland im Feld der smarten Robotik technologisch souverän ist.

## Executive Summary

Die smarte Robotik ist ein technologieintensives Anwendungsfeld mit hoher gesellschaftlicher und wirtschaftlicher Relevanz. Smarte Roboter können in der Zukunft eine Vielzahl unterschiedlichster Aufgaben übernehmen – von der Paketlieferung per Drohne über den mobilen Agrarroboter zur Ackerbearbeitung und den intelligenten Fertigungsroboter in der Industrie bis hin zum Pflegeroboter in der Alten- und Krankenversorgung.

Dieses Positionspapier analysiert die Voraussetzungen und den aktuellen Stand technologischer Souveränität in der smarten Robotik in Deutschland im Hinblick auf die Verfügbarkeit erforderlicher Schlüsseltechnologien und Komponenten, die Kombination dieser Komponenten zu Gesamtsystemen und die Verfügbarkeit von Kompetenzen in Form von Fachkräften. Die Analysen zeigen, dass Deutschland im internationalen Vergleich im Bereich Robotik gut aufgestellt ist, was insbesondere für „klassische“ Robotikthemen gilt. Schwächen sind am ehesten in Themenfeldern zu beobachten, die stark von Entwicklungen und Innovationen im Bereich künstlicher Intelligenz (KI) in der Robotik geprägt sind. Um weiterhin Zugang zu den „smarten“ Aspekten der Robotik zu haben, sollte forschungspolitisch beim Thema Robotik ein besonderer Fokus auf dieses KI-getriebene Technologiefeld gelegt werden. Auch der Transfer in die konkrete Anwendung sollte unterstützt werden. Konkret werden fünf politische Maßnahmen empfohlen:

- Den Erhalt und Ausbau der relativ guten internationalen Position Deutschlands im Bereich der Robotik mit besonderem Fokus auf aktuelle Trends zu smarten Aspekten der Robotik durch fortgesetzte Förderung von Spitzenforschung und betrieblichen Anwendungen.
- Die Förderung anwendungsorientierter und interdisziplinärer Forschungs- und Entwicklungsprojekte in der smarten Robotik in Produktion und Anwendung unter Einbeziehung großer Industrieunternehmen, KMUs und Start-ups um den hohen Anwendungsnutzen smarterer Robotik zu demonstrieren.
- Den Ausbau und die Vereinfachung der Nutzung von Testmöglichkeiten wie Reallaboren und die Förderung einer visionsgetriebenen Wissenschaftskommunikation zum Thema Robotik.
- Die Unterstützung kontinuierlicher Weiterbildung auf allen Qualifikationsstufen, inklusive der Steigerung der Attraktivität von MINT-Themen im Allgemeinen und der Förderung von Digitalkompetenz.
- Die Einführung eines öffentlich verfügbaren Robotik-Monitorings zur frühzeitigen Identifikation etwaiger Risiken und Potentiale des Feldes.

# Inhaltsverzeichnis

<b>Executive Summary .....</b>	<b>3</b>
<b>1. Smarte Robotik.....</b>	<b>5</b>
<b>2. Technologische Souveränität in der smarten Robotik: Bestandsaufnahme .....</b>	<b>6</b>
2.1. Deutschlands smarte Robotik im internationalen Vergleich.....	7
2.2. Verfügbarkeit von Schlüsseltechnologien und Komponenten.....	9
2.3. Kombination zu Gesamtsystemen: Integration und Interdisziplinarität.....	10
2.4. Fachkräftemangel .....	11
<b>3. Handlungsempfehlungen.....</b>	<b>13</b>

# 1. Smarte Robotik

Zur Definition eines Roboters existieren unterschiedliche Ansätze. Den gängigen Definitionen, z.B. ISO-Norm 8378 oder VDI-Richtlinie 2860, ist gemein, dass der als Roboter bezeichnete Mechanismus programmierbar sein muss, sowie einen gewissen Grad an Beweglichkeit und Autonomie aufweist. Die Definition der Japan Robot Association unterscheidet zusätzlich zwischen verschiedenen Arten von Robotern, je nach ihrer Flexibilität, Art der Programmierung oder ihrem Grad an Autonomie.

Der Betriebsbestand an Industrie- und Servicerobotern im gewerblichen Einsatz belief sich laut der International Federation of Robotics (IFR) mit Stand 2021 auf 4,3 Mio. Roboter weltweit. Mit rund 3,5 Mio. Stück bilden Industrieroboter dabei den größten Anteil, davon entfallen 5 % auf den deutschen Markt, den mit Abstand größten Markt bildet China mit 52 %. Für 2025 prognostiziert die IFR für Industrieroboter eine weltweite jährliche Zuwachsrate von 700.000 Einheiten pro Jahr. In seiner Studie „Industrial Robotics Market“ (Juli 2022) sagt das Marktforschungs- und Strategieberatungsunternehmen Emergent Research allein für Industrieroboter für das Jahr 2030 einen Umsatz von 120 Mrd. US-Dollar voraus.

Das vorliegende Positionspapier legt den Fokus auf smarte Roboter. Diese Roboter sind in der Lage, nicht nur eine festgelegte Aufgabe nach einem statischen Protokoll auszuführen, sondern flexibel auf äußere Umstände zu reagieren, den Kontext und sich ändernde Anforderungen eigenständig zu erkennen und ihre Handlungsweise entsprechend selbstständig anzupassen. Nicht zu den smarten Robotern zählen also beispielsweise Gelenkarmroboter, die in der Fertigung fest definierte und immergleiche Arbeitsschritte wie das Verschweißen oder Verschrauben von Teilen ausführen. Eine autonome Handlung des Roboters ist hier nicht vorgesehen. Anders verhält es sich zum Beispiel mit mobilen, autonomen Montagerobotern, die durch entsprechende Sensorik wie Kameras oder LiDAR (Light imaging, detection and ranging) ihre Umwelt erfassen und dadurch

Arbeitsschritte wie das Lokalisieren und Zusammensetzen von Bauteilen selbstständig, den sich wechselnden Gegebenheiten angepasst planen und umsetzen können.

Unter anderem mit den rasant zunehmenden Fähigkeiten im Bereich des Maschinellen Lernens und der Künstlichen Intelligenz steigen auch die Einsatzoptionen von autonom handelnden Robotern in diversen Anwendungsgebieten. Die Ausführung von Montage- und anderen Fertigungsarbeiten ist dabei nur ein Beispiel für die möglichen Einsatzzwecke smarterer Roboter. In der Landwirtschaft können sie beispielsweise eigenständig Felder bewässern, düngen, ernten oder sogar kranke Pflanzen erkennen und behandeln. Im Logistikbereich können Waren und Sendungen von Robotern nicht nur sortiert und transportiert, sondern auch direkt bis zum Kunden geliefert werden, z.B. per Drohne. Auch im häuslichen Umfeld sind Roboter bereits in Form von Staubsauger- und Wischrobotern im Einsatz, die zunehmend autonom agieren, indem sie Kartierungsfunktionen nutzen, um mit stark veränderlichen Umgebungen umzugehen oder plötzlich auftauchende Hindernisse proaktiv zu umfahren. Der Einsatz im direkten menschlichen Umfeld reicht bis hin zur direkten und ineinandergreifenden Zusammenarbeit von Menschen und Robotern in Form sogenannter Cobots oder der Bewegungsunterstützung durch aktive Exoskelette. In der Zukunft ist einhergehend mit der Verbesserung und Verfeinerung von Roboterfähigkeiten und -eigenschaften eine Zunahme menschnah arbeitender Roboter zu erwarten. Selbst in anspruchsvollen und heterogenen Umgebungen wie der individuellen medizinischen Versorgung oder der Pflege zu Hause wird die Übernahme von Aufgaben durch Roboter zunehmen, um Pflegekräfte zu unterstützen.

Die vielseitigen und komplexen Anwendungszwecke und dadurch erforderlichen Roboterfähigkeiten machen die smarte Robotik zu einem Anwendungsfeld, in dem eine Vielzahl von Schlüsseltechnologien Einsatz finden (siehe Kapitel 2.2).

## 2. Technologische Souveränität in der smarten Robotik: Bestandsaufnahme

Da ein zunehmender Einsatz von smarten Robotern in der Industrie, im Alltag und in vielen anderen Bereichen zu erwarten ist, hat die smarte Robotik eine hohe gesellschaftliche Relevanz. Auch der Zukunftsrat des Bundeskanzlers hat die smarte (KI-basierte) Robotik bereits als ein wesentliches Feld mit großen Potentialen und hoher Signifikanz für die Resilienz Deutschlands identifiziert und insbesondere Innovationspotentiale und die Marktentwicklung analysiert.

Robotik und Automatisierung sind auch international im zunehmenden Fokus von Regierungen. So findet sich das Feld in offiziellen Listen kritischer Technologien bzw. Schlüsseltechnologien von unter anderem Australien, den USA, der EU, Frankreich, China und Korea.

In diesem Papier wird Robotik nicht als eigene Schlüsseltechnologie behandelt, sondern als technologieintensives Anwendungsfeld, das verschiedene Schlüsseltechnologien in sich vereint und auf ihnen aufbaut. Technologische Sou-

veränität in der smarten Robotik ist damit die Fähigkeit, jederzeit Zugang zu smarten Robotern zu haben, sowie zu den Schlüsseltechnologien, Kenntnissen und Fähigkeiten, die notwendig sind, um smarte Roboter zu entwickeln, herzustellen und einzusetzen.

Ein Verlust von technologischer Souveränität im Bereich der smarten Robotik birgt die Gefahr, den Handlungsspielraum bei der Entwicklung und Nutzung der Robotik zu verlieren und damit bei der Herstellung verschiedenster Technologien, Komponenten und Produkte in eine De-facto Abhängigkeit zu geraten. Die technologische Souveränität ist zudem Voraussetzung für den Aufbau und die nachhaltige Sicherung von Exportpotentialen für die Hersteller smarterer Roboter am Wirtschaftsstandort Deutschland.

Es existiert derzeit kein zentrales Monitoring von Entwicklungen im Bereich der smarten Robotik. Als Fundament dieses Positionspapiers dient daher eine Reihe von eigenen Analysen.

### METHODEN

Die in diesem Papier dargestellten Einschätzungen basieren auf empirischen Indikatoren, die die Teilaspekte unserer Definition technologischer Souveränität widerspiegeln. Die Indikatoren sind abgeleitet aus einer **Literaturanalyse**, einer **Patentanalyse** und der **Befragung von Expertinnen und Experten**. Einzelne, themenspezifische Auswertungen, die darüber hinaus durchgeführt wurden, sind hier nicht im Detail aufgeführt, sondern in den entsprechenden Ausführungen im Text beschrieben.

**Wissenschaftliche Publikationen** wurden hinsichtlich der beteiligten Länder, neuen Trends und verwendeten Schlagworte im Kontext der Robotik untersucht. Diese geben insbesondere den Bereich der Grundlagenforschung gut wieder und sind ein zuverlässiger Indikator für vorhandene Expertise innerhalb des Themenfelds Robotik.

Zudem wurden **Berichte verschiedenster Unternehmen** der Robotikindustrie und von **Analysten** ausgewertet. Dabei wurden insbesondere Trends bei Robotersystemen identifiziert, die in absehbarer Zeit zu einer Marktreife gebracht werden können und damit für die Industrie und Gesellschaft nutzbar werden. Aus den Berichten lässt sich zudem eine Einordnung der deutschen und europäischen Start-Up-Landschaft im internationalen Vergleich vornehmen.

**Patentanmeldungen** geben ein Hinweis auf die Innovationskraft der Forschungseinrichtungen und Unternehmen eines Landes. Deswegen wurden sowohl die beteiligten Länder als auch verwendete Schlagworte in aktuellen Patenten analysiert. In einer Top-Down-Analyse wurden zunächst sämtliche Patente betrachtet, die im Zusammenhang mit robotischen Lösungen angemeldet wurden. Zudem wurde in einem Bottom-Up-Ansatz der Fokus auf die smarte Robotik als solche gelegt und im Detail analysiert. Hierbei wurden spezielle diejenigen Patente in der Robotik herausgefiltert, die einen eindeutigen Fokus auf smarte Robotik aufweisen.

**Expertinnen und Experten**, die in der Forschung und Entwicklung neuer Roboter tätig sind, haben einen unmittelbaren Überblick über technologische Neuerungen in der smarten Robotik. Deswegen wurden **Einzelinterviews** durchgeführt, um die globale Forschungs- und Entwicklungslandschaft besser einschätzen zu können. Diese Gespräche dienten als Grundlage für die Einordnung der Ergebnisse der anderen Analysen.

Zur Absicherung der einzelnen Meinungen auf einer breiteren Basis dient eine **Online-Umfrage** unter Robotikexpertinnen und -experten. Diese trägt zu einem umfassenden Bild der smarten Robotik in Deutschland und Europa im internationalen Vergleich bei.

## 2.1. Deutschlands smarte Robotik im internationalen Vergleich

Deutschland ist im Bereich der Robotik wissenschaftlich und wirtschaftlich relativ gut aufgestellt, insbesondere in eher klassischen Feldern wie Steuerungs- und Regelungstechnik, Aktuatorik und Materialinnovationen. In

den letzten zehn Jahren gehört Deutschland sowohl bei der Anzahl hochrangiger wissenschaftlicher Veröffentlichungen als auch bei legislativübergreifenden Patentanmeldungen im Bereich Robotik zu den fünf erfolgreichsten Ländern weltweit. Im europäischen Vergleich liegt Deutschland klar vorn (vergleiche Abbildung 1 und Abbildung 2).<sup>1</sup>

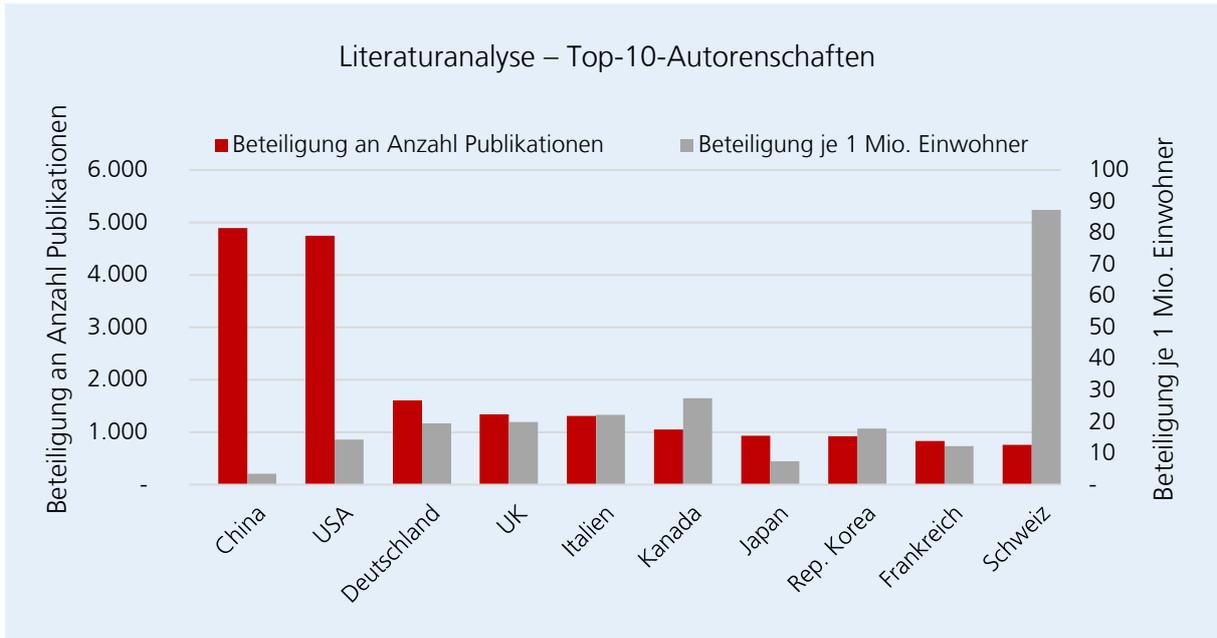


Abbildung 1: Anzahl hochrangiger wissenschaftlicher Veröffentlichungen der Top-10-Länder mit den meisten Zitationen im Bereich der Robotik sowie zum Vergleich deren Normierung auf die Einwohnerzahl dargestellt. Die Zählung der Veröffentlichungen erfolgt nach Beteiligung des jeweiligen Landes, da in der Regel mehrere Länder an einer Publikation beteiligt sind. (Quellen: IEEE Xplore).

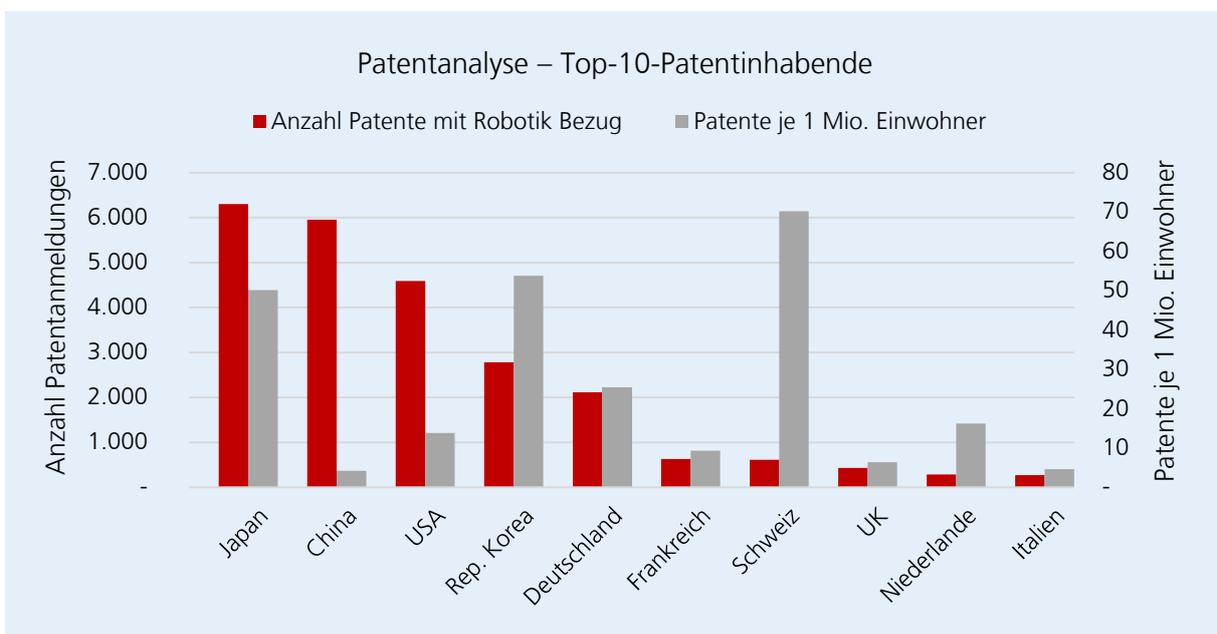


Abbildung 2: Anzahl legislativübergreifender Patentanmeldungen der jeweiligen Top-10-Länder im Bereich der Robotik sowie zum Vergleich deren Normierung auf die Einwohnerzahl dargestellt. (Quellen: PatSnap, Eurostat)

Eine inhaltliche Analyse der Patentanmeldungen im Bereich Robotik aus den letzten zehn Jahren zeigt eine starke Schwerpunktbildung: Die deutsche Expertise liegt insbesondere in Themen konzentriert, die die Mechanik von

Robotern betreffen, weniger bei den „smarten“ Aspekten der Robotik wie künstlicher Intelligenz oder den Kommunikationstechnologien (vergleiche Abbildung 3).

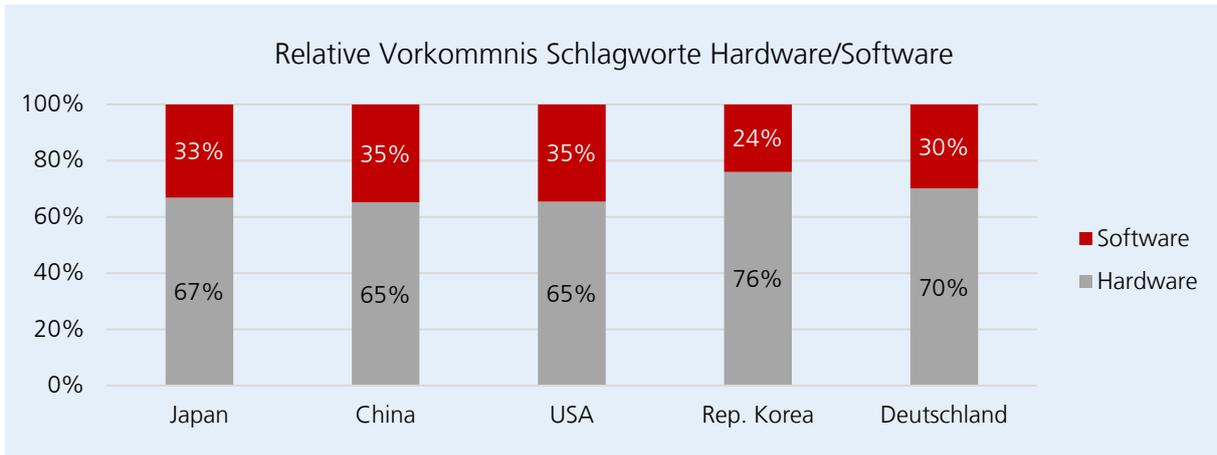


Abbildung 3: Relative Vorkommnis von Hardware-/Software-bezogenen Schlagwörtern in Patenten. (Quelle: PatSnap, eigene Analysen)

Bei den in Deutschland ansässigen Unternehmen mit Robotikbezug handelt es sich vor allem um kleinere Unternehmen und Start-ups. Das Start-up „Agile Robots“ besitzt seit 2021 Einhornstatus. Bei der Gesamtanzahl von Start-ups rangiert Deutschland international auf einem ähnlichen

Niveau wie England und Frankreich (siehe Abbildung 4). Die meisten Start-up-Neugründungen finden in den USA statt, während Expertinnen und Experten auch dem asiatischen Raum, insbesondere Japan, sehr innovative Neugründungen zusprechen.

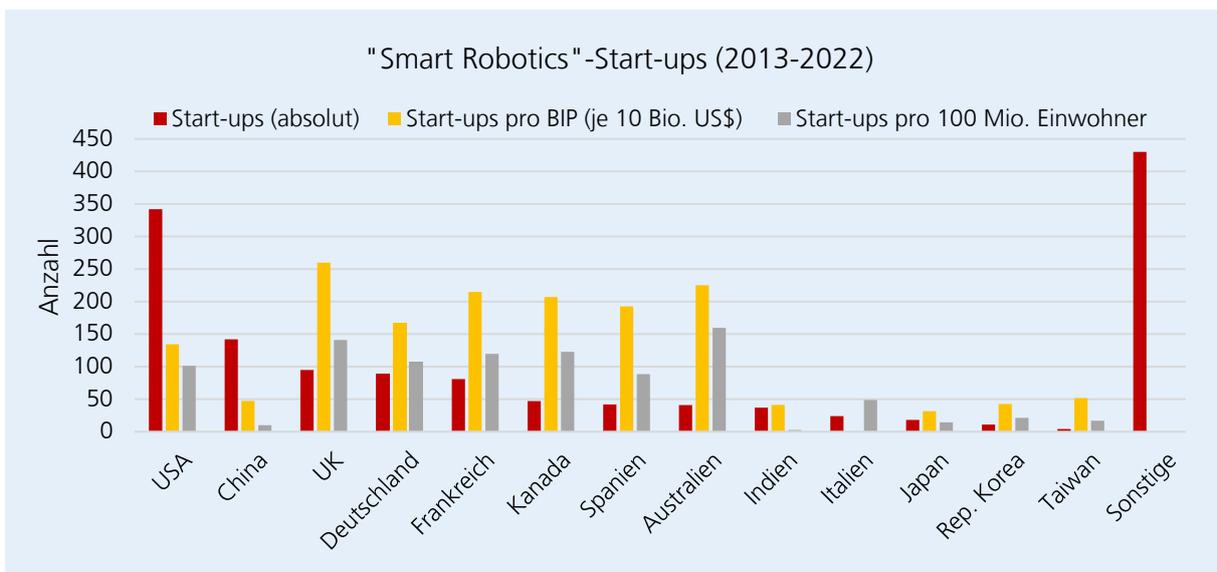


Abbildung 4: Darstellung der 13 Länder mit den meisten „Smart Robotics“-Start-up-Neugründungen in den letzten zehn Jahren: Gesamtzahl, nach Bruttoinlandsprodukt und nach Einwohnerzahl. (Quelle: Startup-Datenbank Dealroom.co)

## 2.2 Verfügbarkeit von Schlüsseltechnologien und Komponenten

Smarte Robotik baut als technologieintensives Anwendungsfeld auf dem Wissen und der Verfügbarkeit von Schlüsseltechnologien wie Künstliche Intelligenz, Mikroelektronik, Sensorik und Kommunikationstechnologien auf. Gleichzeitig bildet die Robotik eine Grundlage für andere Anwendungsfelder, beispielsweise in der industriellen Produktion. Um technologische Souveränität in der smarten Robotik sicherstellen zu können, müssen alle Ebenen analysiert werden – von den Schlüsseltechnologien über deren Zusammenführung im Roboter bis hin zur konkreten Anwendung.

Hardwarekomponenten bilden die Basis smarter robotischer Systeme. Beispielsweise werden für die physischen Funktionen eines Roboters wie Antriebselemente, aber vor allem auch robuste, echtzeitfähige und energieeffiziente mikroelektronische Schaltungen benötigt. Zur Wahrnehmung seiner Umwelt braucht der Roboter außerdem Sensoren, dies können beispielsweise optische, magnetische, Beschleunigungs- oder Temperatursensoren sein.

Netzwerk- und Kommunikationsstrukturen spielen eine große Rolle zur Koordination smarter Roboter in und mit einem System, in dem sie agieren, aber auch zur effizienten Verteilung von Rechenleistung im Einsatz, beispiels-

weise zur Ausführung rechenintensiver Aufgaben wie Simulationen und Analysen. Im Kontext der 6G-Mobilfunkforschung ist smarte Robotik (CoBots und vernetzte Roboter) ein zentrales Anwendungsfeld.

Der Bedarf an Software in der smarten Robotik erstreckt sich von der direkten Ansteuerung der Hardware über Betriebssysteme und Treiber bis hin zu Analyse- und KI-Software zur Verarbeitung von Sensordaten zur smarten Entscheidungsfindung und ihrer Umsetzung in Handlungen des Roboters. Roboter müssen untereinander sowie ggf. mit dem System, in das sie integriert sind, kommunizieren können, um Informationen und Gelerntes austauschen zu können. Rechenleistung muss intelligent verteilt werden, digitale Zwillinge von Umgebungen oder Objekten unterstützen durch Simulation von Vorgängen eine sichere Interaktion. Für eine Entwicklung smarter Roboter ist daher eine enge Verzahnung von Sensorik und Datenverarbeitung essenziell.

Die Analysen (u.a. eine Umfrage unter Robotik-Expertinnen und -Experten, siehe Abbildung 5) zeigen Schwächen in Deutschland im Vergleich zum außereuropäischen Ausland, insbesondere den USA, im Bereich der Künstlichen Intelligenz auf. Dabei stellt die Robotik besondere Anforderungen an die Methoden der KI, die durchaus von aktuell diskutierten Anforderungen an KI-Methoden anderer Bereiche abweichen. In der Robotik findet die KI in sehr

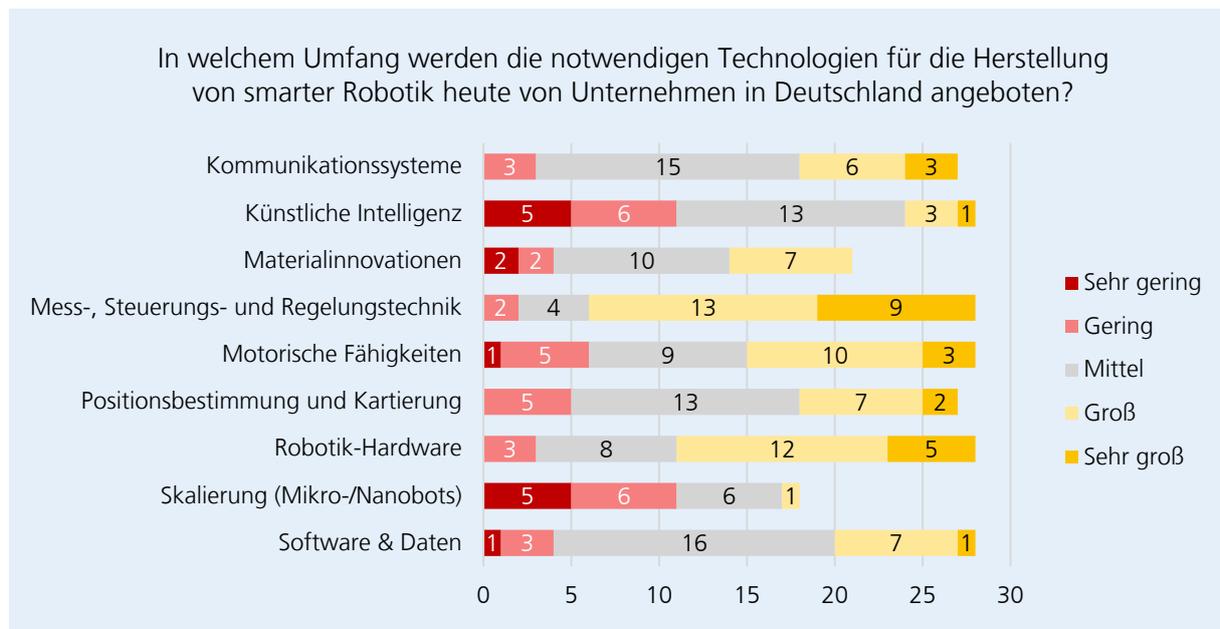


Abbildung 5: Antworten von Robotik-Expertinnen und -Experten auf die Frage nach der Verfügbarkeit verschiedener Technologien in Deutschland. (Quelle: eigene Umfrage; n=31)

vielen verschiedenen Bereichen mit sehr unterschiedlichen Anforderungen Anwendung, wie zum Beispiel die Bildsegmentierung und -erkennung, die Analyse von Tiefenkarten und 3D-Modellen, die Erkennung menschlicher Intentionen anhand von Bewegungen oder Mimik und ganz generell die inhaltlichen Analyse und Kombination von Sensordaten aller Art.

Es existieren einige Programme von Bund und Ländern zur Stärkung der KI-Forschung in Deutschland, beispielsweise die Schaffung von 100 neuen Professuren im Rahmen der „Strategie Künstliche Intelligenz“ der Bundesregierung von 2018, die gleichzeitig dem Mangel an Lehrkräften über alle Ausbildungsstufen hinweg entgegenwirkt (siehe Kapitel 2.4). Mit 14%<sup>ii</sup> ist ein wesentlicher Anteil dieser Professuren im Bereich KI auf das Gebiet der Robotik fokussiert.

### **2.3 Kombination zu Gesamtsystemen: Integration und Interdisziplinarität**

Die Verfügbarkeit und Weiterentwicklung der zugrunde liegenden Schlüsseltechnologien ist eine notwendige, jedoch nicht hinreichende Bedingung für technologische Souveränität in der smarten Robotik. Robotikspezifische Konzepte, Software, Komponenten sowie Know-how in Forschung, Entwicklung und Anwendung sind zwingend notwendig, damit unterschiedliche Basis- und Schlüsseltechnologien zu smarten Robotern kombiniert werden können.

Neben Know-how braucht es außerdem passende Schnittstellen zwischen den einzelnen Komponenten. Zwar gibt es in Deutschland durchaus wettbewerbsfähige Produktion. Der Fokus auf die Integration dieser Einzelkomponenten zu robotischen Gesamtsystemen ist in Deutschland dennoch ausbaufähig. Insbesondere bei der Analyse von Patenten fällt auf, dass vergleichsweise wenige der deutschen Anmeldungen einen Bezug zu ganzen Systemen haben. Hier liegt Deutschland teils deutlich hinter anderen Ländern mit ähnlich vielen oder mehr Patentanmeldungen, insbesondere den USA und Korea.

Mit zunehmender Verbreitung smarter Roboter im nächsten Umfeld des Menschen – im Haushalt, im Verkehr, in der Industrie (Cobots), Medizin und Pflege – verstärkt sich auch der Bedarf an Expertise zur Mensch-Maschine-Schnittstelle und -Interaktion, gerade im Hinblick auf nicht „robotikgeschulte“ Endnutzerinnen und -nutzer. Damit diese Interaktion auf allen Ebenen kontrolliert und zuverlässig ablaufen kann, müssen frühzeitig neben den technischen auch ethische, soziale und psychologische Zusammenhänge betrachtet werden. Roboter müssen nachvollziehbar und

kontrollierbar handeln, damit sowohl die gefühlte als auch die tatsächliche Sicherheit in der Mensch-Roboter-Interaktion gegeben ist (Function Safety und Conformance). Die Beteiligung von Expertinnen und Experten auf den Gebieten Psychologie, Soziologie und Philosophie an der Robotikforschung ist in Deutschland vergleichsweise gering. Eine entsprechende Analyse der Fachliteratur hat hier einen deutlichen Vorsprung der USA, China und UK ergeben.

Ein sicherer Einsatz von Robotern erfordert außerdem ausgiebige Tests, insbesondere auch unter Realbedingungen. Testmöglichkeiten für smarte Roboter sind in Deutschland zwar vorhanden – beispielsweise gibt es für Unterwasserroboter zwei erst kürzlich eröffnete Testbereiche (2019 vor Helgoland und 2021 vor Nienhagen) – allerdings ist die Möglichkeit zur Nutzung durch bürokratische Hürden erschwert. Einschränkende Nutzungsbedingungen, Sicherheitsmaßnahmen und langwierige sowie komplizierte Verwaltungsschritte halten insbesondere kleine Unternehmen von einer Nutzung von Testeinrichtungen und Reallaboren ab. In der Praxis führen viele Robotik-Forschungsteams Tests daher im europäischen Ausland durch. Eine weitere Hürde sind gesetzliche Einschränkungen für Testverfahren, insbesondere in Bezug auf Medizinroboter.

Aktuell erarbeitet das Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz einen Gesetzentwurf zu Reallaboren. Das veröffentlichte Konzept<sup>iii</sup> sieht unter anderem vor, den Zugang zu Testmöglichkeiten in Deutschland durch die Einrichtung von „One-Stop-Shops“ zu erleichtern, insbesondere für kleine und mittlere Unternehmen (KMU) und Forschungsgruppen ohne entsprechende juristische Kapazitäten. Experimentierklauseln sollen in neuen und bestehenden Gesetzen Ausnahmeregelungen schaffen, die das Testen von Neuentwicklungen rechtlich erleichtern.

Aufgrund der vielseitigen Einsatzmöglichkeiten von Robotern sind konkrete Anwendungsfälle oft sehr spezifisch. Die Umsetzung der Integration in Unternehmen ist deswegen häufig kostspielig und langwierig und wird als unverhältnismäßig zu dem erwarteten Nutzen gesehen. Für die Integration sind aktuell Systemintegratoren notwendig, um die smarten Roboter in die Anwendung zu bringen, beispielsweise indem sie den Roboter in den Produktionsprozess an der passenden Stelle eingliedern. Neuere Trends gehen jedoch dahin, diese teure Lösung zu umgehen, indem die smarten Roboter einfach integrierbar entworfen werden. Dies ermöglicht eine Implementierung in verschiedenartige Prozesse, die im besten Fall auch von Laien ausgeführt werden können, ohne dass diese eine besondere Ausbildung hinsichtlich der Bedienung eines solchen Roboters benötigen. Systemintegratoren wären somit in Zukunft möglicherweise nur für eine Ersteinführung vonnöten.

## 2.4 Fachkräftemangel

Neben den erforderlichen Technologien müssen stets auch die Fachkräfte mit entsprechender Expertise für Hardware, Software und Prozesse verfügbar sein. Dabei sind die Entwicklung, Produktion, Betrieb und Wartung von Systemen und Lösungen mit smarten Robotern verschiedene Aufgaben, für die jeweils Fachexpertise vorhanden sein muss.

Der gegenwärtige Fachkräftemangel stellt ein Risiko für die technologische Souveränität dar. Eine Umfrage unter Robotik-Expertinnen und -Experten hat ergeben, dass der Fachkräftemangel in der Robotik je nach Ausbildungsniveau und -fokus unterschiedlich stark ausgeprägt ist. Der Fachkräftemangel in anwendungsorientierten Ausbildungsberufen im Bereich smarter Robotik wird dabei als noch größer eingeschätzt als der Mangel an Hochschulabsolventinnen und -absolventen.

Als Forschungsstandort für robotiknahe Fachbereiche ist Deutschland für besonders erfolgreiche Spitzenforschende (Top-2-Prozent nach h-Index) mittelmäßig attraktiv, wie einer Analyse der Stanford-Liste der erfolgreichsten Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler entnommen werden kann (siehe Abbildung 6). Als insgesamt dritthäufigst vertretenes Land der Liste liegt es vor allen anderen europäischen Ländern und weist auch bei den ganz besonders erfolgreichen Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern (nach h-Index) einen ähnlichen Anteil auf.

Auch bei der Aus- und Weiterbildung in Unternehmen zu Themen der smarten Robotik ist ein Handlungsbedarf gegeben. Dies betrifft insbesondere das Ziel, smarte Roboter in der Breite in die Anwendung zu bringen. Hohe Amortisationszeiten und unklare Geschäftsmodelle und Businesscases wirken dem breiten Einsatz smarter Roboter derzeit noch entgegen.

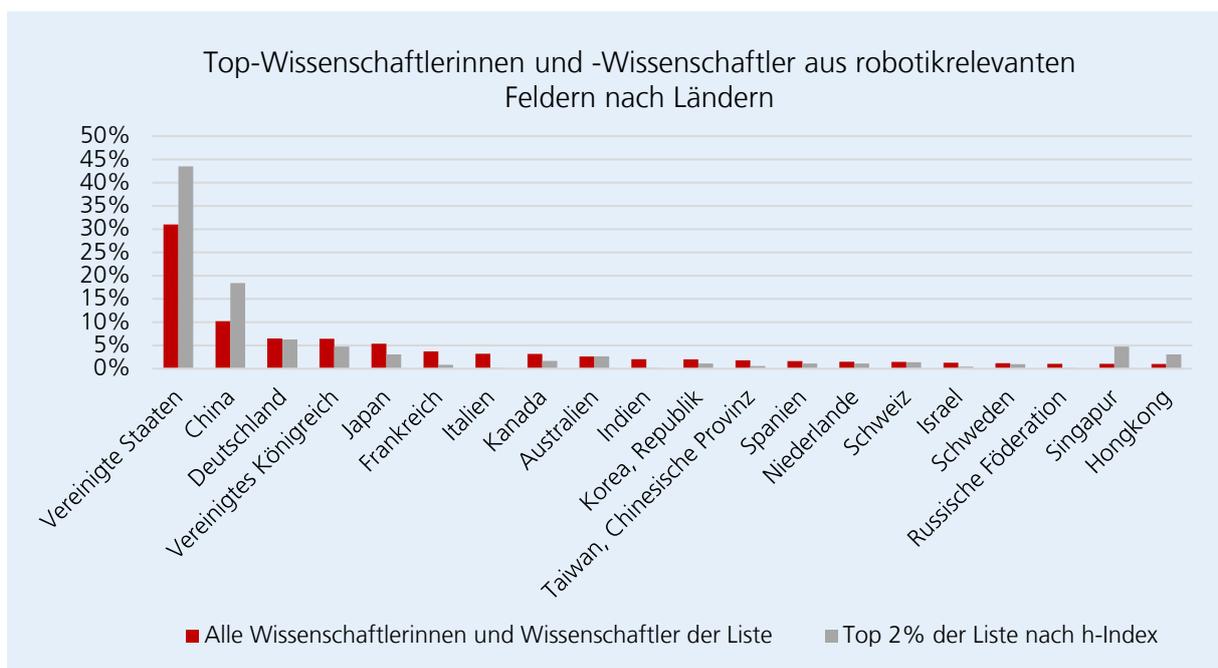


Abbildung 6: Darstellung der 20 Länder mit den meisten Forschenden im Bereich smarte Robotik, nach prozentualem Anteil der „Stanford-Liste“ (siehe Quelle). Zudem ist die Verteilung der Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler, die nach dem h-Index (Durchschnittliche Anzahl Zitationen je Veröffentlichung) am erfolgreichsten sind, dargestellt. (Quelle: Baas, Jeroen; Boyack, Kevin; Ioannidis, John P.A. (2021), „August 2021 data-update for „Updated science-wide author databases of standardized citation indicators““)

Insgesamt ist das vergleichsweise niedrige Niveau digitaler Kompetenzen in Deutschland über alle Bildungsstufen hinweg ein strukturelles Problem, das nicht nur das Anwen-

dungsfeld smarte Robotik betrifft. Hier besteht dringender Aufholbedarf (vergleiche Abbildung 7).

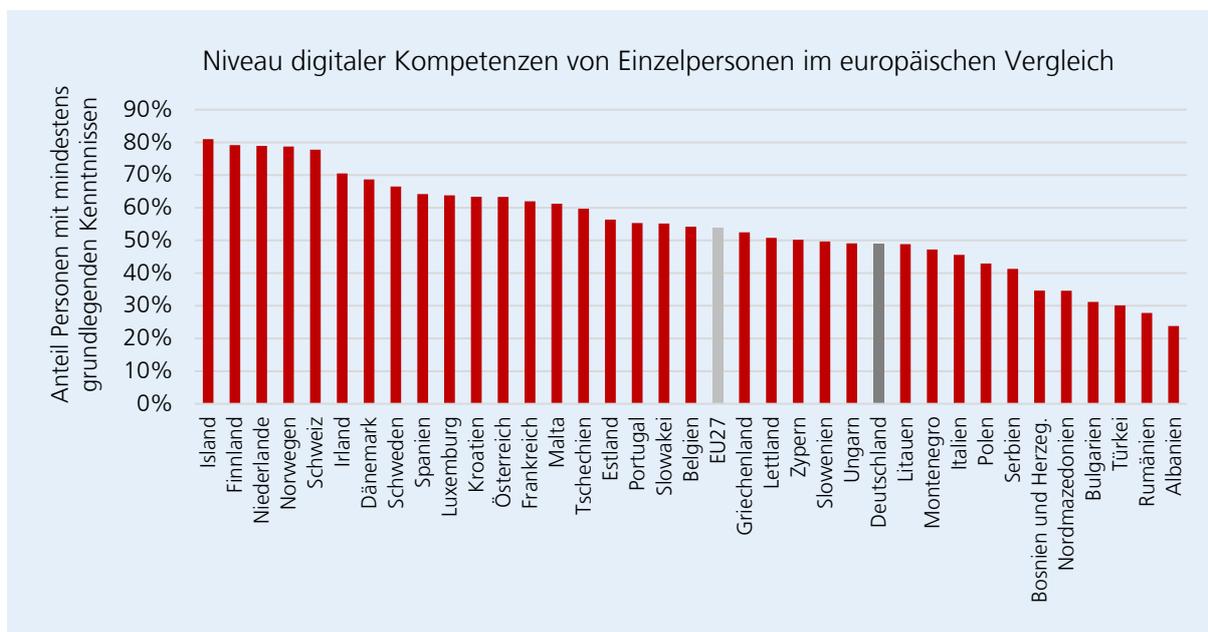


Abbildung 7: Niveau der digitalen Kompetenzen von Einzelpersonen in Europa: aufgetragen ist der Anteil an Personen, die insgesamt grundlegende oder höher als grundlegende digitale Kenntnisse haben – 2021. (Quelle: Eurostat)

## 3. Handlungsempfehlungen

Derzeit ist Deutschland in der Robotik gut aufgestellt, insbesondere in eher klassischen Feldern wie Steuerungs- und Regelungstechnik, Aktuatorik und Materialinnovationen. Diese gute Position, auch im internationalen Vergleich, sollte aufrechterhalten werden. Im Hinblick auf aktuelle Trends zu mehr smarten und autonomen Robotiklösungen ist in Deutschland ein vergleichsweise geringer Fokus auf künstliche Intelligenz und smarte Aspekte der Robotik zu beobachten. Damit die technologische Souveränität in der Robotik auch in Zukunft gewährleistet ist, sollte diesen Aspekten ein besonderer Fokus zuteilwerden.

Zusammenfassend empfehlen wir im Kontext der technologischen Souveränität Deutschlands im Bereich der smarten Robotik die folgenden Maßnahmen:

- Den Erhalt und Ausbau der relativ guten internationalen Position Deutschlands im Bereich der Robotik mit besonderem Fokus auf aktuelle Trends zu smarten Aspekten der Robotik durch fortgesetzte Förderung von Spitzenforschung und betrieblichen Anwendungen.
- Die Förderung anwendungsorientierter und interdisziplinärer Forschungs- und Entwicklungsprojekte in der smarten Robotik in Produktion und Anwendung unter Einbeziehung großer Industrieunternehmen, KMUs und Start-ups um den hohen Anwendungsnutzen smarterer Robotik zu demonstrieren.
- Den Ausbau und die Vereinfachung der Nutzung von Testmöglichkeiten wie Reallaboren und die Förderung einer visionsgetriebenen Wissenschaftskommunikation zum Thema Robotik.
- Die Unterstützung kontinuierlicher Weiterbildung auf allen Qualifikationsstufen, inklusive der Steigerung der Attraktivität von MINT-Themen im Allgemeinen und der Förderung von Digitalkompetenz.
- Die Einführung eines öffentlich verfügbaren Robotik-Monitorings zur frühzeitigen Identifikation etwaiger Risiken und Potentiale des Feldes.

### **Fokus auf marktrelevante Anwendungen smarterer Robotik**

In Deutschland sind Kompetenzen im Bereich des Systems Engineering, d.h. der Kombination von Komponenten

zu Gesamtsystemen, durchaus gegeben. Weniger ausgeprägt sind jedoch Kompetenzen, smarte Roboter auf der Anwenderseite produktiv zu integrieren. Um diese Integration zu fördern, sollte die technische Kompetenz zur konkreten Umsetzung auf Seite der industriellen Anwender unterstützt werden, beispielsweise durch die Einrichtung von Transferzentren. Auch eine zunehmende Bedeutung von Standardisierungen im Austausch mit internationalen Partnern ist mit dem Trend zu größerem Fokus auf KI und den Informations- und Kommunikationstechnologien in der Robotik zu erwarten und daher zu adressieren. Internationale Zusammenarbeit ist besonders in der Forschung grundlegende Voraussetzung für die erfolgreiche Entwicklung neuer robotischer Innovationen.

### **Interdisziplinäre Forschung aus Nutzerperspektive**

Die Integration von Robotern sollte von der Anwendung aus gedacht werden: Im ganzen Entwicklungsprozess sollten Anwendungsszenarien und -ansprüche konsequent berücksichtigt werden. Das bedingt auch eine verstärkte Förderung interdisziplinärer Ansätze bei Forschungsprojekten unter Einbindung verschiedener Fachbereiche und mit konkreter Betrachtung von Nutzungsaspekten, auch unter Einbezug der Industrie. Ethische und psychologische Aspekte sollten, wo sinnvoll, von Anfang an in den Entwicklungsprozess integriert werden, um optimale Voraussetzungen für gesellschaftlich akzeptierte und funktionale Robotiklösungen und -produkte zu schaffen.

### **Förderung und Vereinfachung von Tests unter Realbedingungen**

Bei Testmöglichkeiten für Neuentwicklungen in der Robotik ist eine intensivere Unterstützung und Entlastung von Forschenden notwendig, z.B. durch umfassende Beratung und Betreuung bei der Nutzung von Testfeldern und Reallaboren. Die diesbezüglichen regulativen Bedingungen sollten vereinfacht und Einschränkungen, beispielsweise durch Experimentierklauseln, verringert werden. Reallabore und positiv kommunizierte konkrete Anwendungsszenarien für smarte Roboter bieten außerdem das Potential, die Sichtbarkeit neuer robotischer Innovationen zu erhöhen und ihr gesellschaftliches Bild positiv zu prägen, sowie ein Umfeld für die kontinuierliche Weiterbildung in diesem Bereich zu schaffen.

## **Erhöhung der Attraktivität des Feldes für Fachkräfte und Stärkung der Kompetenzen**

Ein solches Umfeld wirkt außerdem dem Fachkräftemangel entgegen und hilft so, die internationale Wettbewerbsfähigkeit Deutschlands zu erhalten. Um die tatsächliche Umsetzung von robotischen Lösungen in marktfähige Anwendungen zu ermöglichen, ist Bewertungskompetenz auf Seite der Anwender nötig. Diese sollte durch Weiterbildungsangebote auf allen Qualifikationsstufen gestärkt werden, insbesondere für Unternehmen, die dies nicht selbst leisten können. Ein zentrales Mittel sollte dabei die Steigerung der Attraktivität von MINT-Themen sein, die bereits in frühkindlicher Bildung begonnen und kontinuierlich über alle Bildungsstufen hinweg weiterverfolgt werden sollte. Gleiches gilt für die generelle Digitalkompetenz potentieller Robotikanwenderinnen und -anwender, die über alle Altersgruppen und Bildungsniveaus hinweg verbessert werden sollte – mit besonderem Fokus auf ältere Menschen und nichtakademische Berufe – um internationale Rückstände in diesen Bereichen aufzuholen.

## **Einführung eines Robotik-Monitorings zur Identifikation von etwaigen Risiken und Potentialen**

Mit einem speziell auf smarte Robotik zugeschnittenen, langfristigen und öffentlich zugänglichen Monitoring sollten potentielle Risiken und auch Potentiale dieses Feldes politisch sichtbar gemacht werden. Der Fokus sollte dabei auf der frühzeitigen Identifikation einseitiger Abhängigkeiten liegen und dabei geopolitische und geoökonomische Aspekte berücksichtigen. Auch die Verfügbarkeit von Rohstoffen sollte als grundlegende Voraussetzung für technologische Souveränität mit abgedeckt werden, beispielsweise durch die Analyse von Importflüssen. Auf der ökonomischen Seite sollten Venture-Kapital und Startup-Neugründungen im Monitoring beobachtet werden. Internationale Forschungsk Kooperationen sowie die Beteiligung von deutschen Vertretern in internationalen Standardisierungsgremien sollten kontinuierlich erfasst werden. Es ist denkbar, das Monitoring für smarte Robotik in einen bereits existierenden Technologie-Radar zu integrieren, sofern dies mit seiner öffentlichen Verfügbarkeit vereinbar ist.

---

<sup>1</sup> Für die Auswertung der wissenschaftlichen Veröffentlichungen wurde das Qualitätskriterium der Anzahl an Zitationen herangezogen (die 2.000 am häufigsten zitierten Publikationen je Jahr); für die Patente wurde das Qualitätskriterium der Marktbreite nach Patentfamilien herangezogen (Patente mit Anmeldungen in mindestens zwei unterschiedlichen Jurisdiktionen auf Grundlage der sog. Patentfamilien, so dass die Bewertungskriterien mindestens zweier Jurisdiktionen erfüllt sein müssen und darüber hinaus die mehrfache Auswertung inhaltlich identischer Patente vermieden wird).

<sup>2</sup> Quelle: <https://www.bitkom.org/ki/forschung>

<sup>3</sup> Quelle: <https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Publikationen/Digitale-Welt/konzept-fur-ein-reallabore-gesetz.pdf>



## **Impressum**

### **Herausgeber**

Rat für technologische Souveränität, beauftragt vom BMBF

### **Zitierhinweis**

Rat für technologische Souveränität (2023): Positionspapier Smarte Robotik

### **Redaktion**

DLR Projektträger

### **Gestaltung**

DLR Projektträger Kompetenzzentrum Öffentlichkeitsarbeit

August 2023

## **Kontakt**

DLR Projektträger  
Gesellschaft, Innovation, Technologie  
Strategien für Schlüsseltechnologien  
pt-ts@dlr.de



**DLR Projektträger**