

Gries, Christin-Isabel; Tenbrock, Sebastian; Wernick, Christian

Working Paper

Auswirkungen von innovativen digitalen Technologien auf den Markt für industrielle Robotik-Anwendungen

WIK Diskussionsbeitrag, No. 500

Provided in Cooperation with:

WIK Wissenschaftliches Institut für Infrastruktur und Kommunikationsdienste GmbH, Bad Honnef

Suggested Citation: Gries, Christin-Isabel; Tenbrock, Sebastian; Wernick, Christian (2023) : Auswirkungen von innovativen digitalen Technologien auf den Markt für industrielle Robotik-Anwendungen, WIK Diskussionsbeitrag, No. 500, WIK Wissenschaftliches Institut für Infrastruktur und Kommunikationsdienste, Bad Honnef

This Version is available at:

<https://hdl.handle.net/10419/280414>

Standard-Nutzungsbedingungen:

Die Dokumente auf EconStor dürfen zu eigenen wissenschaftlichen Zwecken und zum Privatgebrauch gespeichert und kopiert werden.

Sie dürfen die Dokumente nicht für öffentliche oder kommerzielle Zwecke vervielfältigen, öffentlich ausstellen, öffentlich zugänglich machen, vertreiben oder anderweitig nutzen.

Sofern die Verfasser die Dokumente unter Open-Content-Lizenzen (insbesondere CC-Lizenzen) zur Verfügung gestellt haben sollten, gelten abweichend von diesen Nutzungsbedingungen die in der dort genannten Lizenz gewährten Nutzungsrechte.

Terms of use:

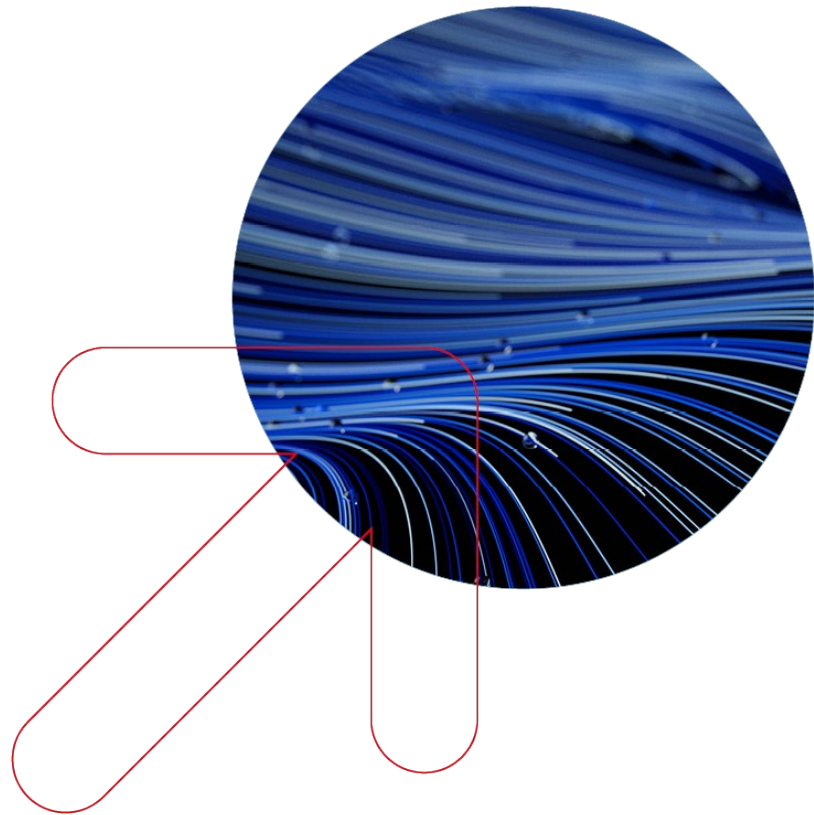
Documents in EconStor may be saved and copied for your personal and scholarly purposes.

You are not to copy documents for public or commercial purposes, to exhibit the documents publicly, to make them publicly available on the internet, or to distribute or otherwise use the documents in public.

If the documents have been made available under an Open Content Licence (especially Creative Commons Licences), you may exercise further usage rights as specified in the indicated licence.

WIK • Diskussionsbeitrag

Nr. 500



Auswirkungen von innovativen digitalen Technologien auf den Markt für industrielle Robotik-Anwendungen

Autoren: Dr. Christin Gries, Dr. Sebastian Tenbrock, Dr. Christian Wernick

Bad Honnef, November 2023



WIK

Wissenschaftliches Institut
für Infrastruktur und
Kommunikationsdienste

Impressum

WIK Wissenschaftliches Institut für
Infrastruktur und Kommunikationsdienste GmbH
Rhöndorfer Str. 68
53604 Bad Honnef
Deutschland
Tel.: +49 2224 9225-0
Fax: +49 2224 9225-63
E-Mail: info@wik.org
www.wik.org

Vertretungs- und zeichnungsberechtigte Personen

Geschäftsführerin und Direktorin	Dr. Cara Schwarz-Schilling
Direktor Abteilungsleiter Smart Cities/Smart Regions	Alex Kalevi Dieke
Direktor Abteilungsleiter Netze und Kosten	Dr. Thomas Plückebaum
Direktor Abteilungsleiter Regulierung und Wettbewerb	Dr. Bernd Sörries
Leiter der Verwaltung	Karl-Hubert Strüver
Vorsitzender des Aufsichtsrates	Dr. Thomas Solbach
Handelsregister	Amtsgericht Siegburg, HRB 7225
Steuer-Nr.	222/5751/0722
Umsatzsteueridentifikations-Nr.	DE 123 383 795

Stand: Juli 2023

ISSN 1865-8997

Bildnachweis Titel: © Robert Kneschke - stock.adobe.com

Weitere Diskussionsbeiträge finden Sie hier:

<https://www.wik.org/veroeffentlichungen/diskussionsbeitraege>

In den vom WIK herausgegebenen Diskussionsbeiträgen erscheinen in loser Folge Aufsätze und Vorträge von Mitarbeitern des Instituts sowie ausgewählte Zwischen- und Abschlussberichte von durchgeführten Forschungsprojekten. Mit der Herausgabe dieser Reihe bezweckt das WIK, über seine Tätigkeit zu informieren, Diskussionsanstöße zu geben, aber auch Anregungen von außen zu empfangen. Kritik und Kommentare sind deshalb jederzeit willkommen. Die in den verschiedenen Beiträgen zum Ausdruck kommenden Ansichten geben ausschließlich die Meinung der jeweiligen Autoren wieder. WIK behält sich alle Rechte vor. Ohne ausdrückliche schriftliche Genehmigung des WIK ist es auch nicht gestattet, das Werk oder Teile daraus in irgendeiner Form (Fotokopie, Mikrofilm oder einem anderen Verfahren) zu vervielfältigen oder unter Verwendung elektronischer Systeme zu verarbeiten oder zu verbreiten.

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	II
Summary	III
1 Hintergrund, Ziel und Methodik der Studie	1
2 Ökosystem und Markt für Industrierobotik	3
2.1 Was sind Robotik-Anwendungen für die Industrie ?	3
2.2 Bisherige Entwicklung des Marktes für Robotik-Anwendungen in der Industrie	4
2.3 Ökosystem für industrielle Robotik-Anwendungen	7
2.3.1 Global tätige Roboterhersteller	9
2.3.2 Anbieter auf vor- und nachgelagerten Wertschöpfungsstufen	10
2.3.3 Rolle von Kooperationen	12
3 Wie verändert sich der Robotik-Markt durch innovative digitale Technologien?	14
3.1 Innovative digitale Technologien mit Relevanz für die Robotik	14
3.2 Digitale Technologien als Enabler für neue Anwendungen und Weiterentwicklungen im Markt für Industrierobotik	17
3.2.1 Vereinfachung der Roboterimplementierung	19
3.2.2 Robotereinsatz für komplexe Aufgaben	25
3.2.3 Roboter-Kollaboration mit Menschen	27
3.2.4 Mobile autonome Roboter	31
3.2.5 Robotik in der Smart Factory	35
4 Fazit	40
Literaturverzeichnis	41

Zusammenfassung

Digitale Technologien sind im Markt für industrielle Robotik seit jeher relevant, da Software zur Robotersteuerung grundlegend für die Entwicklung von klassischen Industrierobotern war. Als Entwickler und Hersteller von klassischen Industrierobotern haben sich globale Akteure wie KUKA und FANUC etabliert, die Hard- und Software typischerweise zukaufen und ihre Roboter mittels Systemintegratoren bei den Anwenderunternehmen implementieren lassen. Im Bereich der Robotik-Zulieferer und -Implementierung sind vielfältige Marktakteure mit einem hohen Spezialisierungsgrad tätig.

Für die Effizienz von Produktionsprozessen in der Großserienfertigung, insbesondere in der Automobilbranche, haben Robotik-Anwendungen zentrale Bedeutung erlangt. Für kleine und mittlere Unternehmen (KMU) hingegen fehlte es bisher meist an bedarfsgerechten Robotik-Angeboten, die spezifische Anforderungen an eine leichte Implementierbarkeit, geringe Kosten und flexible Einsatzmöglichkeiten erfüllen können.

Innovative digitale Technologien führen zu Veränderungen im Robotik-Markt, die primär auf die erweiterten Möglichkeiten für die Datengewinnung (mittels Sensorik), -verarbeitung (mittels Software/KI), -speicherung (z.B. über Cloud/Edge) und -übertragung (z.B. 5G) zurückzuführen sind.

Die Potentiale der Digitalisierung werden insbesondere von vielfältigen neuen Anbietern genutzt, um die Robotik-Implementierung und -nutzung stark zu vereinfachen, mit Robotern komplexere Aufgaben und hohe Variantenvielfalt zu bewältigen und eine engere und risikolosere Zusammenarbeit der Roboter mit Menschen zu ermöglichen. Diese Weiterentwicklungen können auch die Nutzungshürden von KMU deutlich senken.

Einige innovative Anwendungen in der Robotik sind nur durch Vernetzung realisierbar. So entsteht mit mobilen autonomen Robotern eine neue Robotervariante im Bereich der professionellen Servicerobotik, die auf drahtloser Vernetzung basiert. Sie spielen auch eine Rolle in der noch als Zukunftsvision zu sehenden smarten Fabrik, in der eine vollständige Vernetzung aller Maschinen, Anlagen und Prozesse angestrebt wird.

Die Veränderungen der Industrierobotik durch digitale Technologien vollziehen sich graduell und haben, anders als in vielen anderen Märkten, bisher nicht zu disruptiven Entwicklungen geführt, die bestehende Geschäftsmodelle obsolet machen. Vielmehr schaffen die digitalisierungsgetriebenen Veränderungen schrittweise zusätzliches Umsatzpotential im Markt für industrielle Robotik-Anwendungen, von dem vielfältige Akteure im Robotik-Ökosystem profitieren können.

Summary

Digital technologies have been relevant in the market for industrial robotics for several decades, as software for robot control is a fundamental element for the development of classic industrial robots. The developers and manufacturers of classic industrial robots are global players such as KUKA or FANUC who typically purchase hardware and software from third parties and have their robots implemented by system integrators. A wide range of market players with a high degree of specialisation are active as component suppliers and system integrators.

Robotics applications have become highly important for the efficiency of production processes in large-scale production, particularly in the automotive industry. For small and medium-sized (SME) companies, however, there has been a lack of robotic applications that can fulfil their specific requirements for simple implementation and usage, low costs and flexible operation.

Innovative digital technologies are leading to changes in the robotics market, which are primarily based on their expanded options for data generation (using sensors), processing (using software/AI), storage (e.g. via cloud/edge) and transmission (e.g. 5G).

The potential of digitalisation is predominately used by a variety of new players. It helps to simplify the implementation and use of robotics, to handle more complex tasks and a high product diversity and to enable a close and safe cooperation between robots and humans. These developments may also increase the demand of SMEs' for robotic services.

Connectivity is a precondition for some of these new developments. For example, mobile autonomous robots are a new robot variant in the field of professional service robotics that is based on wireless connectivity. They also play a crucial role in the (vision of a) smart factory, which will rely on completely connected machines, systems and processes.

The changes in industrial robotics enabled by innovative digital technologies are taking place gradually and, unlike in many other markets, have not yet led to disruptive developments that threaten existing business models. Instead, the changes driven by digitalisation gradually create additional revenue potential in the market for industrial robotics for the benefit of a wide range of players in the robotics ecosystem.

1 Hintergrund, Ziel und Methodik der Studie

Der Markt für Robotik-Anwendungen in der Industrie ist durch ein jahrzehntelanges Wachstum charakterisiert, das primär mit Angeboten für die Großserienfertigung generiert wurde. Insbesondere große Automobilhersteller nutzen Roboter heute im Rahmen von umfassenden Automatisierungslösungen zur Effizienzsteigerung und Sicherung ihrer globalen Wettbewerbsfähigkeit. Für kleine und mittlere Anwenderunternehmen mangelte es hingegen bisher meist an Robotik-Angeboten, die ihre spezifischen Ansprüche an eine leichte Implementierbarkeit, geringe Kosten und flexible Einsatzmöglichkeiten abbilden konnten.

Seit einigen Jahren zeichnen sich Veränderungen im Robotik-Markt ab, die insbesondere durch innovative digitale Technologien ermöglicht wurden. So nutzen Anbieter im Robotik-Markt die Möglichkeiten von Fortschritten in den Bereichen Sensorik, Software/KI, Cloud/Edge und drahtloser Konnektivität für komplett neue und Weiterentwicklungen bestehender Robotik-Anwendungen.

Der vorliegende Diskussionsbeitrag befasst sich mit den Trends im Markt für industrielle Robotik-Anwendungen, bei denen innovative digitale Technologien als Treiber fungieren, und setzt sich mit den damit verbundenen Veränderungen im Robotik-Wertschöpfungs-system auseinander.

Um die Studienergebnisse fundiert und ausgewogen zu erarbeiten, wurde ein mehrstufiger Untersuchungsansatz gewählt:

- **Desk Research:** Öffentlich zugängliche Studien, Statistiken, Artikel und andere einschlägige Veröffentlichungen wurden ausgewertet, um relevante inhaltliche Schwerpunkte zu setzen sowie mögliche Interviewpartner und Workshop-Teilnehmer zu identifizieren.
- **Expertengespräche:** Mehr als 20 qualitative Interviews mit Vertretern von Anbietern, Anwendern, Forschungsinstitutionen und anderen Akteuren wurden geführt, um die verschiedenen Perspektiven auf die Rolle der Digitalisierung für industrielle Robotik-Anwendungen zu berücksichtigen. Diese fanden im 1. Halbjahr 2023 über Videokonferenzen sowie persönlich auf der Messe automatica im Juni 2023 statt.
- **Workshop:** Am 11. Mai 2023 wurde ein virtueller Workshop zum Thema „Digitalisierung von Robotik-Anwendungen für die Industrie“ durchgeführt. Über 50 Vertreter aus der Politik, von Anbieter- und Anwenderunternehmen, Verbänden, mittelstandsrelevanten Institutionen und Behörden diskutierten die Potenziale und Herausforderungen von Robotik-Anwendungen für den Einsatz in Industriebetrieben.

Die Studie gliedert sich wie folgt:

Zunächst sollen in Kapitel 2 die **Grundlagen für das Verständnis des Ökosystems und des Marktes für industrielle Robotik-Anwendungen** gelegt werden. So werden Robotik-Anwendungen für die Industrie in definitorischer Hinsicht erläutert und die bisherige Marktentwicklung auf der Basis öffentlich zugänglicher Daten aufgezeigt. Anschließend wird das Robotik-Ökosystem mit Blick auf die relevanten Wertschöpfungsstufen und Akteursgruppen vorgestellt.

In Kapitel 3 steht die **Rolle innovativer digitaler Technologien für den Robotik-Markt** im Vordergrund. Nach einer kurzen Einführung über die generellen Möglichkeiten, die digitale Technologien für die Entwicklung industrieller Robotik-Anwendungen bieten, werden zentrale Markttrends abgegrenzt und analysiert. Ausgehend von der aktuellen Marktlage wird jeweils aufgezeigt, welche innovativen digitalen Technologien den jeweiligen Markttrend ermöglichen und wie sich dies in neuen Robotik-Anwendungen niederschlägt. Jeder Markttrend wird auch in Bezug auf die potentiellen Auswirkungen auf das Robotik-Wertschöpfungssystem analysiert. Zusätzlich wird anhand von ausgewählten Beispielen aufgezeigt, wie Anbieter von Robotik Anwendungen die Möglichkeiten der Digitalisierung für ihre Geschäftsmodelle nutzen.

Abbildung 1-1: Aufbau der Studie



Quelle: WIK

2 Ökosystem und Markt für Industrierobotik

2.1 Was sind Robotik-Anwendungen für die Industrie ?

Der **Begriff „Roboter“** wird **häufig als Sammelbezeichnung** für ein breites Spektrum an Maschinen und Anwendungen genutzt, die von Chatbots bis hin zu selbstfahrenden Autos und bewaffneten Drohnenflugzeugen reichen.

Im engeren Sinne bezieht sich der Robotik-Begriff auf **physische Geräte bzw. Maschinen, die für die automatische Ausführung von Aufgaben programmiert werden können.**

Roboter können auch zu einem weitgehend **autonomen** Ausführen von Arbeiten befähigt werden, das nur sehr begrenzte menschliche Intervention erfordert. Dies wird durch eine entsprechende **Interaktion des Roboters mit der Umgebung** ermöglicht, die technisch z.B. auf der Basis von Sensoren, Aktoren und Informationsverarbeitung realisiert wird.¹ Diese Definition deutet bereits auf die hohe Relevanz digitaler Technologien (in Form von Hard- und Software) für die Robotik hin.

Basierend auf technischen Kriterien können Roboter in **Industrieroboter** und **Service-roboter** unterschieden werden.² Diese Abgrenzung hat die ISO (International Organization for Standardization)³ für die Entwicklung von Normen vorgenommen. Sie wird auch von der IFR (International Federation of Robotics⁴) bei der statistischen Erfassung des Robotik-Marktes angewendet (siehe Kapitel 2.2).⁵

Industrieroboter können für vielfältige Aufgaben eingesetzt werden, deren Abgrenzung nicht immer eindeutig ist:

- Handhabung: Bestücken und Entfernen von Handhabungsobjekten, Aufnehmen und Bewegen von Objekten, Palettieren, Stapeln und Verpacken
- Montage: Zusammenbau von Bauteilen
- Fügen: Schrauben, Schweißen, Löten, Kleben, Schneiden
- Oberflächenbehandlung: lackieren, schleifen, polieren emaillieren
- Schneiden
- Qualitätskontrolle, Messen, Testen und Prüfen

¹ Siehe zur Robotik-Definition auch VDMA (o.D.), S. 8 und ISO: Robotics – Vocabulary, <https://www.iso.org/obp/ui/en/#iso:std:iso:8373:ed-3:v1:en> (zuletzt abgerufen am 16.11.2023)

² Mit Blick auf die Nutzer ist diese Unterscheidung nicht trennscharf siehe hierzu VDMA (o.D.), S. 8

³ In der „International Organization for Standardization“ entwickeln die ISO-Mitglieder (nationale Einrichtungen) internationale Normen, die später (freiwillig) in nationale Normen übernommen werden.

⁴ Internationale Dachverband der nationalen Robotik-Verbände

⁵ Siehe z.B. ISO: Robotics Vocabulary, <https://www.iso.org/obp/ui/en/#iso:std:iso:8373:ed-3:v1:en> (zuletzt abgerufen am 16.11.2023), Nummer 3.6 und 3.7

Den Einsatzschwerpunkt bilden Robotik-Anwendungen zur Handhabung von Objekten.⁶

Die Leistungsfähigkeit von Industrierobotern wird auf der Basis von Kriterien wie z.B. Traglast, Reichweite, Dynamik und Genauigkeit definiert. Darüber hinaus werden Industrieroboter anhand ihres **kinematischen Aufbaus** unterschieden, d.h. anhand der Anordnung und Anzahl der an der Bewegung beteiligten Achsen (z.B. Knickarmroboter, Delta Roboter, SCARA Roboter).⁷

Typischerweise handelt es sich bei Industrierobotern um **industrielle Robotik-Systeme**, die bedarfsspezifisch für konkrete Anwendungsfälle ausgestaltet werden und im Wesentlichen die folgenden Bestandteile umfassen⁸:

- Manipulator (entspricht dem eigentlichen Roboter bzw. Roboterarm)
- Endeffektor (entspricht dem Bearbeitungswerkzeug am Ende des Roboterarms, z.B. Greifer)
- Robotersteuerung (Funktionsüberwachung und Kontrolle des Roboters und der angeschlossenen Peripherie, Kommunikation mit dem Anwender)⁹
- Sensoren
- Peripherie (Sammelbegriff für ergänzendes Zubehör wie z.B. Werkzeugwechsler, Zusatzmodule und Einrichtungen wie z.B. Schutzzäune)

Ein oder mehrere **Robotersysteme** mit den dazugehörigen Maschinen und Schutzbereichen werden häufig auch als **Roboterzelle**, mehrere Roboterzellen als **Roboterlinie** bezeichnet.¹⁰

Für Industrieunternehmen spielen neben den Industrierobotern zunehmend auch **professionell einsetzbare Serviceroboter** eine Rolle, die vor allem für Aufgaben im Transport- und Logistikbereich sowie für die Gebäudereinigung und -überwachung genutzt werden. Dazu gehören mobile autonome Roboter (siehe Kapitel 3.2.4), die auch wichtige Elemente für die Realisierung von umfassenderen Automatisierungslösungen sind (siehe Kapitel 3.2.5).

2.2 Bisherige Entwicklung des Marktes für Robotik-Anwendungen in der Industrie

Aufgrund der bereits aufgezeigten Abgrenzungsunschärfe ist der Markt für Robotik-Anwendungen in Industrieunternehmen, den wir in der folgenden Studie betrachten, nicht eindeutig statistisch zu erfassen. Relevante Trends und Entwicklungsrichtungen sind

⁶ Im Jahr 2022 entfielen auf die Handhabung 48% der weltweiten Robotik-Neuinstallationen, siehe International Federation of Robotics (IFR) (2023), S. 14

⁷ Siehe zu diesen Klassifikationen ausführlicher IFR, <https://ifr.org/industrial-robots> (zuletzt abgerufen am 16.11.2023)

⁸ Siehe z.B. o.V. (2023d)

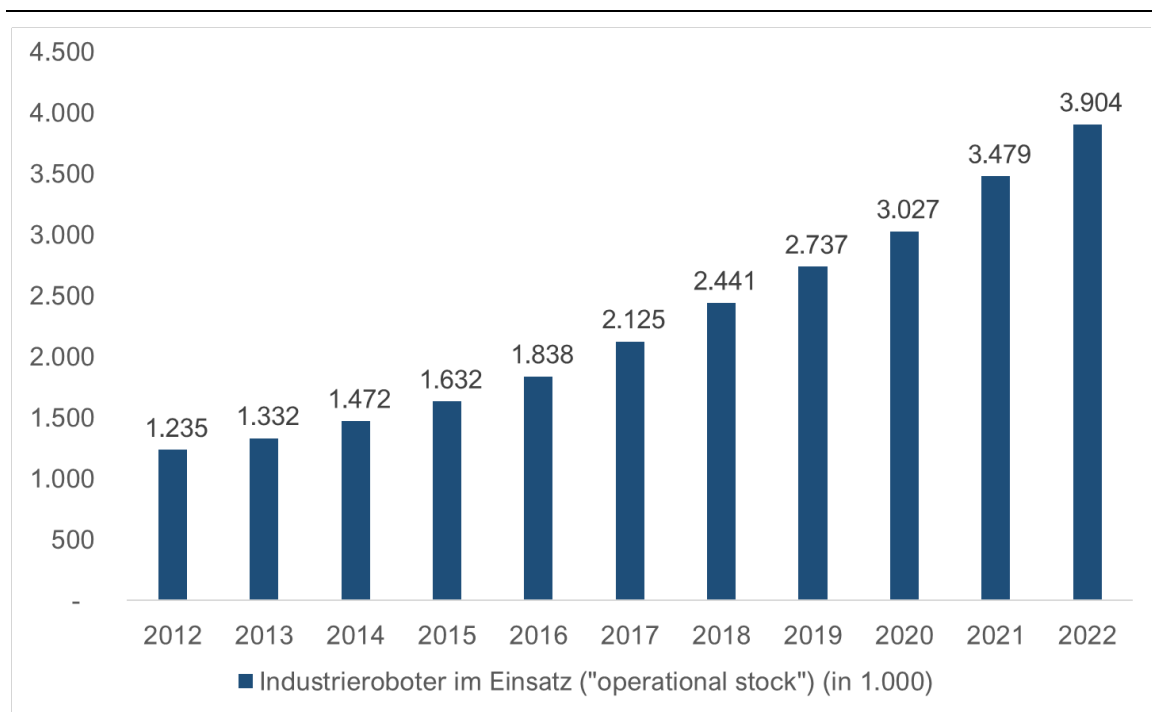
⁹ Siehe hierzu auch Taschew (2022), S. 7

¹⁰ Siehe z.B. Pilz (2018)

jedoch auf Basis der kontinuierlich durchgeführten statistischen Erhebungen der IFR nachvollziehbar. Diese basieren auf Herstellerbefragungen und legen für die Unterscheidung in Industrie- und Serviceroboter die technische Begriffsdefinition der ISO zugrunde.¹¹

Der weltweite **Markt für Industrieroboter** ist seit seiner Entstehung in den 70er Jahren kontinuierlich gewachsen und hat sich in den 90er Jahren mit einer besonders hohen Dynamik entwickelt.¹² Innerhalb der vergangenen zehn Jahre hat sich der weltweite Industrieroboterbestand fast verdreifacht (siehe Abbildung 2-1).¹³ Die gewichtete durchschnittliche Wachstumsrate (CAGR) lag zwischen 2012-2022 bei 13 %.¹⁴ Insgesamt wurden im Jahr 2022 weltweit 553.000 Industrieroboter verkauft.¹⁵

Abbildung 2-1 Industrieroboter weltweit (2012-2022)



Quelle: WIK basierend auf IFR¹⁶

Das weltweite Wachstum des Industrierobotereinsatzes ist dabei stark vom chinesischen Markt geprägt.¹⁷ Im Jahr 2022 entfielen auf China mehr als die Hälfte (52%) der

¹¹ Ein Großteil der Daten und Fakten ist verfügbar unter International Federation of Robotics (IFR) (2023b)

¹² Vgl. hierzu in Bezug auf die Roboternutzung in Deutschland zwischen 1980 und 2002: Armbruster, H. et al. (2006), S. 3

¹³ Siehe International Federation of Robotics (IFR) (2023c), S. 11

¹⁴ Siehe International Federation of Robotics (IFR) (2023c), S. 11

¹⁵ Siehe International Federation of Robotics (IFR) (2023c), S. 10

¹⁶ Siehe International Federation of Robotics (IFR) (2023c), S. 10 und 11

¹⁷ Vgl. zu einem Vergleich von China mit den USA und Deutschland VDMA (2023), S. 23

Neuinstallationen von Industrierobotern weltweit.¹⁸ Deutschland hat einen Anteil von 5% an den weltweiten Neuinstallationen von Industrierobotern.¹⁹

In Bezug auf die **Anwenderbranchen** spielt bei den Industrieroboterinstallationen im weltweiten Markt die Elektronikindustrie die wichtigste Rolle, gefolgt von Automobil, Metall- und Maschinenbau.²⁰ Diese Reihenfolge spiegelt die Bedeutung der Branchen im wichtigsten Markt China (und auch in Japan) wieder.²¹ In Deutschland hingegen haben für die Robotik (ebenso wie in den USA) die Automobilindustrie und der Metall- und Maschinenbau die größte Bedeutung.²²

Der Markt für professionell eingesetzte **Serviceroboter** ist im Vergleich zum Markt für Industrierobotik sehr klein, wächst jedoch stärker.²³ Der Bereich Transport und Logistik ist das wichtigste Einsatzfeld der professionell genutzten Serviceroboter mit einem Anteil von über 50% an den verkauften Einheiten im Jahr 2022.²⁴

Die Nutzung von Robotern im verarbeitenden Gewerbe ist von der **Größe der Anwenderunternehmen** abhängig (siehe Abbildung 2-4): Während etwa die Hälfte der großen Industrieunternehmen in Deutschland Robotik einsetzen, sind dies bei mittelständischen Unternehmen (50-249 Beschäftigte) nur etwa ein Viertel der Betriebe. Für Industrieunternehmen mit weniger als 50 Beschäftigten spielt die Robotik (noch) eine sehr geringe Rolle. Industrieroboter sind in allen Größenklassen deutlich stärker verbreitet als professionelle Serviceroboter.

¹⁸ Siehe International Federation of Robotics (IFR) (2023c), S. 18

¹⁹ Siehe International Federation of Robotics (IFR) (2023c), S. 17

²⁰ Siehe International Federation of Robotics (IFR) (2023c), S. 12

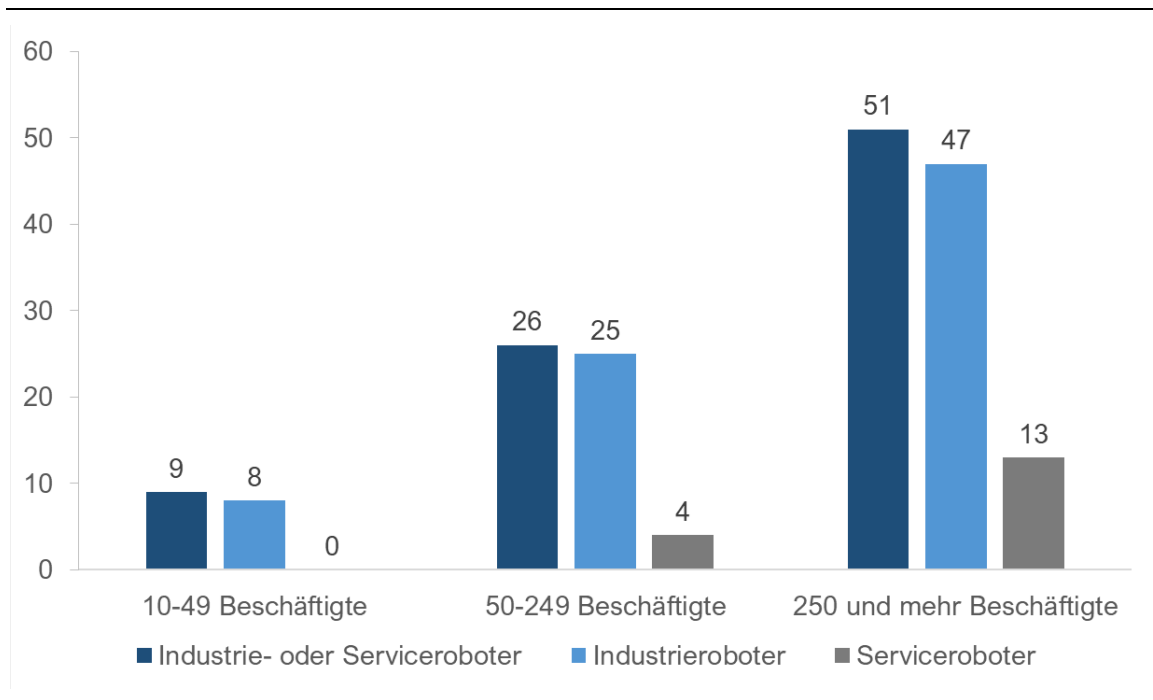
²¹ Siehe International Federation of Robotics (IFR) (2023c), S. 20 und 22

²² Siehe International Federation of Robotics (IFR) (2023c), S. 24 und 29

²³ Einen Anhaltspunkt für diese Entwicklung bieten die Markterhebungen der IFR, die jedoch nicht den gesamten Markt der Servicerobotik abbilden. Die IFR wies für das Jahr 2022 weltweit 158.000 neu installierte Serviceroboter für den professionellen Einsatz aus. Der Zuwachs gegenüber dem Vorjahr betrug bei professionell eingesetzten Servicerobotern 48%, bei Industrierobotern nur 5%. Diese Angaben bilden nur einen Ausschnitt des Marktes ab und basieren auf Angaben von 239 Herstellern. siehe International Federation of Robotics (IFR) (2023c), S. 10 und S. 37 (Daten für den weltweiten Bestand an Servicerobotern sind nicht öffentlich verfügbar)

²⁴ Siehe International Federation of Robotics (IFR) (2023c), S. 38

Abbildung 2-2 Nutzung von Industrie- und Servicerobotern in deutschen Unternehmen des verarbeitenden Gewerbes (2022)



Quelle: Destatis²⁵

Spezifische Charakteristika des Robotik-Angebots stehen einer stärkeren Nutzung durch KMU (bisher) entgegen. So entsprechen die vorhandenen Robotik-Lösungen insbesondere in Bezug auf Investitionshöhe, Installationsaufwand und Bedienbarkeit bisher weitgehend noch nicht dem Bedarf der kleineren Industriebetriebe.²⁶

2.3 Ökosystem für industrielle Robotik-Anwendungen

In die Entwicklung, Produktion, Vermarktung und Installation von industriellen Robotik-Anwendungen ist eine **Vielzahl an Anbietern** involviert, die in ihren Geschäftsmodellen stark variieren.

Für die Entwicklung von innovativen Robotik-Anwendungen ist ein **hoher Forschungsaufwand** erforderlich, den Unternehmen häufig in Kooperation mit Universitäten (z.B. TU München, RWTH Aachen, Karlsruher Institut für Technologie KIT) und außeruniversitären Forschungseinrichtungen (z.B. Fraunhofer, DLR) erbringen. Aus der Forschungslandschaft sind auch viele Start-Ups (z.B. robominds, Agile Robots) hervorgegangen.²⁷ Staatliche Forschungsförderung spielt in den führenden Industrieländern eine

²⁵ Siehe Destatis (2022)

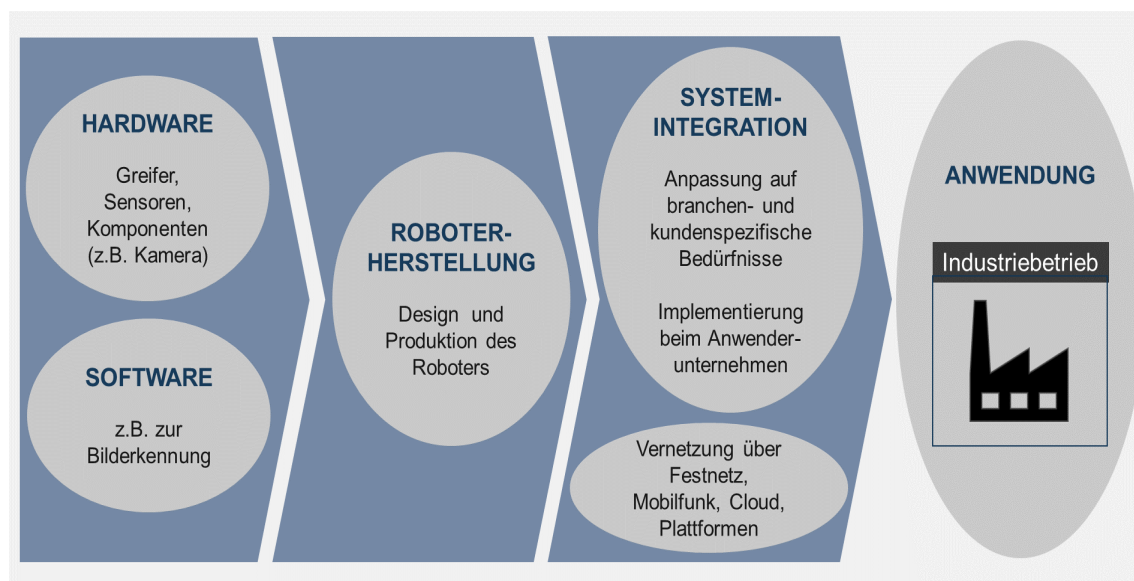
²⁶ Siehe z.B. auch Armbruster, H. et al. (2006)

²⁷ Siehe für ausgewählte Forschungsprojekte z.B. VDI/VDE (2020), S. 39-55

wesentliche Rolle zur Verbesserung der Rahmenbedingungen der nationalen Robotik-Branchen.²⁸

Das wichtigste Unterscheidungsmerkmal der Robotik-Anbieter bildet zunächst ihre **Positionierung im Wertschöpfungssystem**. Dieses umfasst vielfältige Teilleistungen, die von der Entwicklung von Hard- und Softwarekomponenten über Design und Produktion bis hin zur Implementierung bei den Anwenderunternehmen reichen (siehe Abbildung 2-5). Darüber hinaus differenzieren sich die Anbieter industrieller Robotik-Anwendungen hinsichtlich der von ihnen adressierten **Einsatzfelder, Anwenderbranchen und Kundengruppen**. Daneben gibt es Akteure, die **Robotik als Teil eines breiten Produktportfolios** anbieten oder zusätzlich zu einem bestehenden Kerngeschäft (z.B. Automation) entwickeln. Der Fokus der nachfolgenden Ausführungen zum Ökosystem liegt auf dem Bereich der Industrierobotik, die für industrielle Anwenderunternehmen bedeutender ist als die Servicerobotik. Der Markt für Servicerobotik weist in den vor- und nachgelagerten Wertschöpfungsstufen Gemeinsamkeiten mit der Industrierobotik auf, ist jedoch im Bereich der Roboter-Herstellung durch andere Marktakteure geprägt.

Abbildung 2-3 Ökosystem Robotik-Anwendungen für die Industrie



Quelle: WIK

²⁸ Siehe zur staatlichen Förderung der Forschung in der Robotik in den weltweit führenden Industrieländern auch IFR (2023): Roboter-Forschung: Wie Asien, Europa und Amerika investieren – Globaler IFR-Report 2023, https://ifr.org/downloads/press2018/DE-2023-JAN-12-IFR-PRESSEMELDUNG-RD-World_Robotics_Programme.pdf

2.3.1 Global tätige Roboterhersteller

Der Großteil der Umsätze im weltweiten Robotik-Markt wird von **global tätigen Roboterherstellern** erwirtschaftet, die bereits seit den 70er Jahren Industrieroboter entwickeln. Zu den Pionieren gehörte auch der in Deutschland gegründete (und inzwischen dem chinesischen Technologiekonzern Midea²⁹ gehörende) Roboterhersteller KUKA mit seinem 1971 entwickelten sechsachsigen Roboter „Famulus“. Die ersten wichtigen Anwenderunternehmen der Industrierobotik waren Automobilhersteller, darunter auch Mercedes-Benz.³⁰ Die Roboterhersteller entwickelten in der Entwicklungsphase der Industrierobotik verschiedene proprietäre Ansätze, z.B. eigene Programmiersprachen für die Robotersteuerung, die bis heute den Markt prägen.³¹

Die führenden Roboterhersteller sind nicht vertikal integriert (eine Ausnahme bildet ABB³²). Vielmehr liegt ihr **Fokus** auf dem **Design und der Produktion von Industrierobotern**, die sich hinsichtlich ihrer Kinematik unterscheiden und in Bezug auf Leistungsmerkmale wie Traglast und Reichweite unterscheiden (siehe Kapitel 2.1). Ihr Produktportfolio hat sich in den letzten Jahren stark erweitert und umfasst z.B. inzwischen auch kollaborative Roboter.

Die für die Produktion erforderliche Hard- und Software wird überwiegend von Zulieferern bezogen. Die nachgelagerte Anpassung der Roboter auf spezifische Einsatzfelder erfolgt durch Spezialisten und die Implementierung beim Anwenderunternehmen wird an zertifizierte Partner übertragen.

Den meisten Marktforschern zufolge gehören die Roboterhersteller **ABB, Kuka, Fanuc, Mitsubishi, Yaskawa** heute zu den umsatzstärksten Anbietern weltweit. Es liegen jedoch keine konsistenten Angaben zum Marktanteil dieser Anbieter vor, da u.a. Herausforderungen bei der Erfassung der Robotik-Umsätze bestehen. So erwirtschaften alle Global Player einen Großteil ihres Umsatzes in Geschäftsfeldern außerhalb der Robotik und trennen die Robotik in unterschiedlicher Weise von diesen ab. In diesem Zusammenhang ergibt sich ein Zurechnungsproblem auch daraus, dass Robotik-Anwendungen häufig Teil größerer Automatisierungslösungen sind. Schließlich gibt es mit Blick auf die Märkte, in denen die Unternehmen tätig sind, große Unterschiede – so konzentrieren sich einige der größten Anbieter sehr stark auf den besonders relevanten asiatischen Markt.

²⁹ <https://www.midea.com/de/ueber-midea> (zuletzt abgerufen am 16.11.2023)

³⁰ Siehe z.B. Gasparetto, A. and Scalera, L. (2019), S. 24-35, und, Item 24 (2022): Die Geschichte der Robotik einfach erklärt, 16. Februar 2022, <https://blog.item24.com/robotik-anwendungen/die-geschichte-der-robotik-einfach-erklart/> (zuletzt abgerufen am 16.11.2023)

³¹ Siehe zu einer ausführlichen Auseinandersetzung mit der Programmiersprachen für Industrieroboter z.B. Taschew, M. (2022), S. 107 ff.

³² ABB Robotics verfügt als einziger Roboterhersteller über ein integriertes Angebot und weitet dieses durch Eigenentwicklung und Zukäufe aus, <https://new.abb.com/products/robotics/de#:~:text=ABB%20Robotics%20ist%20einer%20der,unserer%20wertsch%C3%B6pfenden%20Software%20entwickelt%20und> (zuletzt abgerufen am 16.11.2023)

Im Umkehrschluss spielen in Europa und den USA auch andere Robotik-Anbieter eine wichtige Rolle. Einer Markterhebung von Meyer Industry Research (2020)³³ zufolge gehören in **Deutschland** Bosch Rexroth, Jungheinrich, KUKA, Linde und SSI Schäfer zu den fünf umsatzstärksten Roboterherstellern (gefolgt von ABB und der Dürr AG). Etwa die Hälfte der erhobenen Roboterhersteller ist hinsichtlich ihres Umsatzes (weniger als 50 Mio. Euro Jahresumsatz) und der Beschäftigtenzahl (weniger als 250 Beschäftigte) dem Mittelstand zuzurechnen.³⁴ Diese häufig als eigentümergeführte Familienunternehmen agierenden Roboterhersteller sind meist stark spezialisiert und in ihrem spezifischen Marktsegment weltweit bedeutend. Etwa drei Viertel der TOP 50 Roboterhersteller in Deutschland spezialisieren sich auf die Entwicklung und Produktion eines Robotertyps. Gleichzeitig bildet die Robotik meist nur einen Teilbereich der gesamten Angebotsspektrens der Unternehmen.³⁵

Auch in Bezug auf **spezifische Branchen und Einsatzfelder** gibt es Weltmarktführer, die jedoch ebenfalls schwierig zu erfassen sind. So gilt z.B. im Bereich der kollaborierenden Roboter (Cobots) das 2005 in Dänemark gegründete Unternehmen Universal Robots als Marktführer (siehe auch Kapitel 3.2.3).³⁶ Bei Robotik-Anwendungen für Automobilhersteller spielen auch deutsche Anbieter zentrale Rollen, z.B. die Dürr AG, die eigenen Angaben zufolge internationaler Marktführer für schlüsselfertige Lackier- und Endmontageanlagen sowie Maschinen- und Robotertechnik in der Automobilindustrie ist.³⁷

2.3.2 Anbieter auf vor- und nachgelagerten Wertschöpfungsstufen

Die Palette an Komponenten, die in Robotik-Systemen eingesetzt werden, ist sehr breit: Hardware umfasst z.B. Sensoren, Greifer, Endeffektoren, Werkzeug, Halterung oder Kamera. Software ist u.a. für die Verarbeitung von Daten/Bildern, für Fernwartung, Teaching oder für benutzerfreundliche Oberflächen erforderlich.

Hier besteht ein Betätigungsfeld für spezialisierte Anbieter. Die Anbieterstruktur ist bei all diesen Produkten und Lösungen jeweils sehr unterschiedlich und aufgrund der Vielfalt der Akteure nicht leicht zu erfassen. Während in einigen Bereichen der Robotik-Zulieferung (z.B. bei zentralen Elektronikkomponenten) meist große asiatische Hersteller führend sind, gibt es bei anderen Komponenten **auch weltweit bedeutende mittelständische Anbieter**. Die jeweilige Marktposition der spezialisierten Anbieter ist schwieriger zu beurteilen als die der großen Roboterhersteller. Zu den Unternehmen, die eigenen Angaben zufolge weltweit führend in spezialisierten Segmenten der Robotik sind, gehören z.B. die in Deutschland ansässige Sick AG mit einem Fokus auf sensorbasierte

³³ Anmerkung: die Studie erfasst Hersteller von Robotern, keine Hersteller von Komponenten oder Integratoren, siehe Meyer Industry Research (2020)

³⁴ Definition der EU (abweichend von z.B. IfM, das bei Beschäftigten den Schwellenwert bei 500 ansetzt), siehe Institut für Mittelstandsforschung Bonn (IfM) (2023)

³⁵ Siehe Meyer Industry Research (2020)

³⁶ Siehe Bruch, G. (2022)

³⁷ Siehe <https://www.durr.com/de/unternehmen/die-marke-duerr> (zuletzt abgerufen am 16.11.2023)

Applikationen für industrielle Anwendungen³⁸ und die aus Österreich stammende FerRobotics Compliant Robot Technology GmbH mit einem Schwerpunkt im Bereich der sensitiven und intelligenten Robotererelemente.³⁹

Die Anpassung der Robotik-Systeme auf branchen- und anwenderspezifische Bedürfnisse und die Implementierung in den Betrieben wird bei klassischen Industrierobotern typischerweise über Partner (**Systemintegratoren**) realisiert. So sind in Deutschland beispielsweise 123 Unternehmen als Systempartner von KUKA zertifiziert (z.B. Maschinenbauunternehmen wie HAHN Automation).⁴⁰

Systemintegratoren können ihr Leistungsportfolio sehr unterschiedlich ausgestalten. So fungiert der Systemintegrator mit einem breit angelegtem Angebotsspektrum als verantwortlicher Projektpartner des industriellen Anwenderunternehmens von den ersten Bedarfsanalysen über die Investitions- und Projektplanung bis hin zur Installation und Inbetriebnahme einer Robotik-Lösung. In dieser Rolle wählt er auch die geeigneten Komponenten aus, übernimmt die Koordination mit Hard- und Softwareanbietern und erarbeitet Sicherheits- und Schulungskonzepte sowie Bedienungsanleitungen und Wartungspläne. Darüber hinaus gibt es eine Vielzahl von Spezialisierungsmöglichkeiten im Bereich der Systemintegration, z.B. auf Aspekte der technischen Implementierung i.e.S., die sich auf die Schnittstellenprogrammierung zu übergeordneten Steuerungen und Standardschnittstellen und die Integration in die Produktionsprozesse beziehen können. Schließlich gibt es noch Tätigkeitsfelder für weitere Spezialisten, die z.B. Service und Wartung von Robotern übernehmen (z.B. Cobolution). Ihr Angebot umfasst unterschiedliche vertragliche Vereinbarungen mit Blick auf die Leistungen und Kosten.⁴¹

Für vernetzte Roboter ist **Konnektivität** unverzichtbar. Diese wird in ähnlicher Weise und von ähnlichen Akteuren realisiert wie bei anderen IoT-Anwendungen. Die Robotik-Implementierung richtet sich typischerweise an den bereits genutzten Systeme des Anwenderunternehmens aus. Daher gehören die Anbieter im sehr vielfältigen Markt für Cloud Computing⁴² (z.B. die führenden Cloud-Anbieter Amazon AWS und Microsoft Azure) und die Netzbetreiber zur Anbindung der Cloud über leitungsgebundene Netzinfrastrukturen oder Mobilfunk (z.B. Deutsche Telekom⁴³) zu den wichtigsten Akteuren. Potentiell kann sich hier aber auch für Robotik-Hersteller und -spezialisten ein Betätigungsfeld eröffnen - KUKA hatte sich bspw. mit eigenen Cloud-Lösungen befasst, nutzt nun aber die großen

³⁸ 2022: 12.000 Mitarbeitende, Konzernumsatz von rund 2,2 Mrd. Euro, 50 Tochtergesellschaften und Beteiligungen weltweit, siehe Sick, <https://www.sick.com/de/de/ueber-sick/w/about-sick/> (zuletzt abgerufen am 16.11.2023)

³⁹ Siehe <https://www.ferrobotics.com/unternehmen/> (zuletzt abgerufen am 16.11.2023)

⁴⁰ Siehe KUKA, <https://www.kuka.com/de-de/branchen/systempartner> (zuletzt abgerufen am 16.11.2023)

⁴¹ z.B. fallweise Abrechnung nach Aufwand, kontinuierliche Wartungsverträge, 24h-Support z.B. den Aufbau und die Inbetriebnahme des Roboters, Reparaturen bei unerwarteten Störungen, Maschinenstillstand und Produktionsunterbrechung, Wartung und Ersatzteilservice

⁴² Vgl. zum Cloud Computing ausführlich Godlovitch, I.; Kroon, P. (2022), S. 9 ff.

⁴³ Siehe das Angebot Cloud Connect zur Verbindung der Unternehmensnetzwerken mit den Cloudanbietern: <https://geschaeftskunden.telekom.de/magenta-business-networks/netzwerke-fuer-standorte-und-clouds/cloudconnect> (zuletzt abgerufen am 16.11.2023)

Cloud-Plattformen Azure und AWS.⁴⁴ Weitere Spezialisten können sich dabei einbringen, um die Konnektivität für Roboter zu realisieren (z.B. Device Insight⁴⁵).

Schließlich ist zu beobachten, dass im Robotik-Markt spezialisierte **Marktplätze entstehen**, die Anwender und Hersteller von Robotik zusammenführen. Zu diesen Akteuren gehören z.B. RBTX (Teil der IGUS GmbH)⁴⁶, XITO und Unchained Robotics. Hier werden Bestandteile von Robotik-Systemen angeboten, entweder einzeln erworben oder mit Hilfe eines Konfigurators als Komplettlösung zusammengestellt werden können. Die Angebote sind auf eher kostengünstige und standardisierte Anwendungsfälle ausgerichtet, die keine intensive Beratung brauchen (z.B. bietet RBTX Hardware zwischen 3.000 und 30.000 Euro an⁴⁷). Teilweise werden auch schlüsselfertige Lösungen für gängige Prozesse offeriert (z.B. „Malocher-Bot“ von Unchained Robotics, ab 90.000 Euro für die Palettierung⁴⁸).

2.3.3 Rolle von Kooperationen

Aufgrund der Komplexität der für Robotik-Anwendungen zu erbringenden Teilleistungen und der Vielfalt an Marktakteuren mit unterschiedlichem Fokus haben **Kooperationsbeziehungen** eine hohe strategische Bedeutung.

In Bezug auf die beteiligten Kooperationspartner spielen dabei insbesondere zwei Formen von Kooperationen eine Rolle.

Zum einen vereinbaren kleinere Spezialisten eine Zusammenarbeit, um ihren jeweiligen Stärken zusammenzuführen (z.B. modulare Robotik und KI: Robco und robominds). Sie kooperieren auch, um spezifische Robotik-Anwendungen für bestimmte Branchen oder Einsatzfelder gemeinsam zu entwickeln (z.B. Intralogistik, siehe Abbildung 2-6).

Zum anderen gehen Global Player Kooperationen mit kleinen Spezialanbietern ein. ABB nutzt beispielsweise eine strategische Partnerschaft mit dem Schweizer Start-up Seven-sense⁴⁹, um deren Lösungen in den Bereichen KI und 3D-Vision für sein Angebot an mobilen autonomen Robotern zu nutzen.⁵⁰ Global tätige Hersteller ergänzen auf diese Weise das klassische Industrieroboter-Portfolio um Spezialausstattung oder um innovative Lösungen. Ihre kleineren Partnerunternehmen profitieren von einer stärkeren Sichtbarkeit im Markt und können das Vertrauen ihrer Kunden durch den Nachweis an

⁴⁴ Siehe zur Strategie von KUKA in Bezug auf die Cloud z.B. Dose, J. (2022)

⁴⁵ z.B. zur Realisierung einer Edge-Schnittstelle für die Anbindung eines KUKA Roboters an eine Microsoft Azure Cloud bei der Lego Group, <https://www.kuka.com/de-de/unternehmen/presse/news/2022/03/kuka-roboter-in-die-cloud-gebracht> (zuletzt abgerufen am 16.11.2023)

⁴⁶ Siehe detaillierter zum Geschäftsmodell z.B. Koller, P. (2022)

⁴⁷ Siehe <https://rbtx.com/de-DE/rbtxpert> (16.11.2023)

⁴⁸ Siehe [Unchained Robotics MalocherBot Palettieren S](https://unchainedrobotics.de/?utm_source=google&utm_medium=cpc&utm_campaign=domainpro-tect&gad_source=1&gclid=EAlaIqobChMjI-10deVggMVnpWDBx2g0AHtEAAAYASAAEglbuPD_Bw) und https://unchainedrobotics.de/?utm_source=google&utm_medium=cpc&utm_campaign=domainpro-tect&gad_source=1&gclid=EAlaIqobChMjI-10deVggMVnpWDBx2g0AHtEAAAYASAAEglbuPD_Bw (zuletzt abgerufen am 16.11.2023)

⁴⁹ Gegründet im Jahr 2018 als Ausgründung aus der Eidgenössischen Technischen Hochschule Zürich.

⁵⁰ Siehe z.B. ABB (2021b)

Zuverlässigkeit gewinnen. Für finanzstarke Global Player spielen dabei auch Akquisitionen von Spezialisten eine Rolle, wenn diese eine strategische Bedeutung haben. Ein Beispiel ist die Übernahme der ASTI Robotics durch ABB zur Erschließung des Segments der autonomen mobilen Roboter.⁵¹

Es ist bei der Vermarktung von Robotik-Anwendungen nicht immer ersichtlich, welche Komponenten zusammenwirken und ob diese zugekauft oder vom Anbieter selbst entwickelt werden. An dem in Abbildung 2-6 gezeigten Beispiel soll das Zusammenwirken vielfältiger spezialisierter Anbieter veranschaulicht werden. Es handelt sich dabei um eine Anwendung im Bereich Intralogistik, die ein vollautomatisiertes Lagersystem unter Einbeziehung verschiedener Roboterarten und aller zugehörigen Soft- und Hardwarekomponenten umfasst. Die Umsetzung der Anwendung wurde vom KI-Spezialisten robominds initiiert und von 8 Unternehmen aus Dänemark und Deutschland gemeinsam realisiert.⁵²

Abbildung 2-4 Praxisbeispiel Kooperation für eine Robotik-Anwendung im Warenlager

	Komponenten	Wertschöpfungsstufe	Anbieter
Robotik-Anwendung „vollautomatisiertes vertikales Lagersystem“	KI-Skills	KI-Technologie	robominds, München/D
	Saugnapf	Greifertechnik	piab, Butzbach/D
	Lagerlifter	Lagersystem	EFFIMAT, Odense/DK
	Cobot	Roboterarm	Universal Robots, Odense/DK
	Autonomer mobiler Roboter	Mobiler Roboter	MIR, Odense/DK
	Rollenförderer	Roboterausrüstung	ROEQ, Vissenbjerg/DK
	Sicherheitssystem	Sensorhersteller	Sick, Waldkirch/D
	Automatisierungstechnik	Systemintegration	ECOSPHERE, Fichtenau/D

Quelle: WIK basierend auf robominds, <https://www.robominds.de/loesungen/sina> (Graphik erweitert um Anmerkungen)

⁵¹ Siehe ABB (2021a)

⁵² Siehe zu den Funktionen und Komponenten im Detail <https://www.robominds.de/loesungen/sina> (zuletzt abgerufen am 16.11.2023)

3 Wie verändert sich der Robotik-Markt durch innovative digitale Technologien?

3.1 Innovative digitale Technologien mit Relevanz für die Robotik

Unter digitalen Technologien können auf einem hohen Abstraktionsniveau grundsätzlich alle Technologien zusammengefasst werden, die auf (Computer-)Hardware, Software und Vernetzung basieren.⁵³ Digitale Technologien bildeten in Form von Software zur Robotersteuerung eine grundlegende Voraussetzung für die Entwicklung von klassischen Industrierobotern.⁵⁴ Einige der ursprünglich entwickelten Konzepte wurden in der Industrierobotik bis heute weitgehend beibehalten (z.B. herstellereigene Programmiersprachen), während in der deutlich später entstandenen Servicerobotik vergleichsweise fortschrittlichere Softwarearchitekturen, Schnittstellen und Bedienkonzepte Anwendung finden.⁵⁵

Die Veränderungen der Industrierobotik durch digitale Technologien vollziehen sich graduell und haben, anders als in vielen anderen Märkten, bisher nicht zu disruptiven Entwicklungen geführt, die bestehende Geschäftsmodelle obsolet machen. Innovationen im Bereich der digitalen Technologien fungieren als Enabler für die Entwicklung von deutlich erweiterten und auch komplett neuen Robotik-Anwendungen für die Industrie. Sie bieten verbesserte Möglichkeiten für die Datengewinnung (mittels Sensorik), -verarbeitung (mittels Software/KI), -speicherung (z.B. über Cloud/Edge) und -übertragung (z.B. 5G). Der Nutzen für die Robotik entsteht dabei weniger durch die Leistungsfähigkeit einzelner digitaler Technologien als durch ihr Zusammenwirken. So erfordert z.B. die Verarbeitung eines hohen Datenvolumens für KI-Anwendungen auch ausreichende Speichermöglichkeiten. Die Umsetzbarkeit von mobilen/autonomen Robotik-Anwendungen (siehe Kapitel 3.2.4), die von einer sicheren Echtzeit-Navigation abhängen, erfordert nicht nur umfassende Sensorik und KI, sondern auch Cloudlösungen und WLAN sowie zunehmend auch leistungsfähige Mobilfunkinfrastruktur.⁵⁶

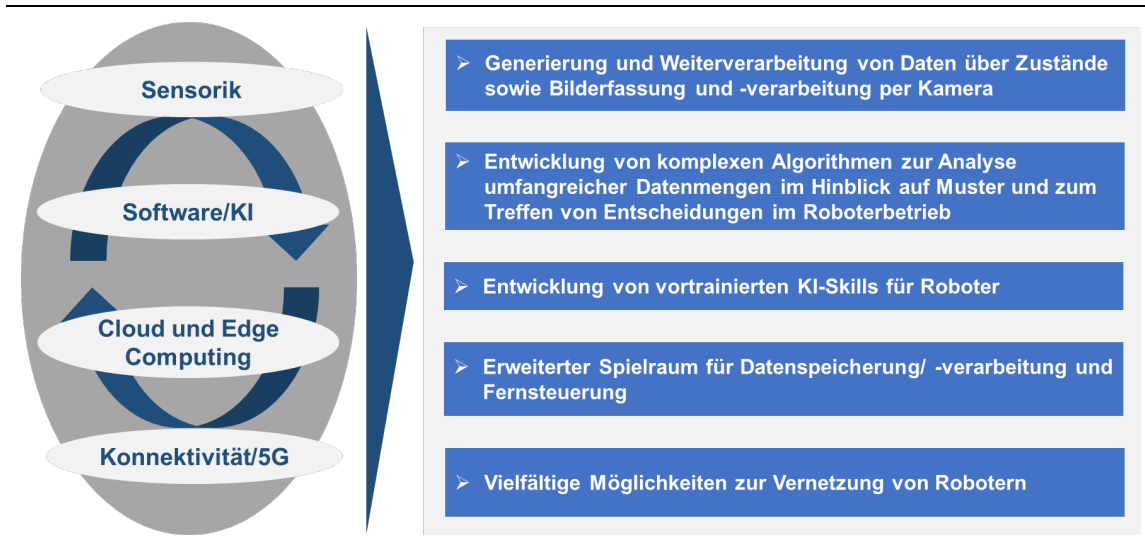
⁵³ Siehe Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) (2022), S. 4

⁵⁴ Der Beginn der kommerziellen Einführung der Industrierobotik wird häufig auf 1961 datiert, als der US-amerikanische Roboter-Anbieter Unimation den Industrieroboter Unimate bei General Motors für das Entnehmen und Vereinzeln von Spritzgussteilen einführte, siehe z.B. Marsh, Allsion (2022)

⁵⁵ Siehe Taschew, M. (2022), S. 10

⁵⁶ Siehe hierzu ausführlich International Federation of Robotics (IFR) (2021)

Abbildung 3-1 Was können digitale Technologien für die Robotik leisten?



* Digitale Technologien = Technologien, die auf (Computer-)Hardware, Software und Vernetzung beruhen
Quelle: WIK

Sensoren sind technische Bauteile oder Hardwaremodule, die eine Vielzahl unterschiedlicher Messgrößen erfassen und in ein weiter verarbeitbares elektrisches Signal umwandeln. Das Spektrum der messbaren Indikatoren ist sehr breit und umfasst z.B. physikalische Eigenschaften wie Temperatur, Feuchtigkeit, Druck, Schallwellen, Helligkeit oder Beschleunigung. Die über Sensorik generierten Messgrößen können beispielsweise zur Überwachung von Zuständen genutzt werden (z.B. Feststellung von Temperaturschwankungen) oder erlauben die Erfassung von menschlicher Anwesenheit (z.B. mittels Bewegungs- oder Wärmesensoren). Auch die Bilderfassung per Kamera erfolgt über Sensorik. Während früher nur einfache Sensoren (z.B. Temperaturfühler) verfügbar waren, werden heute neuartige Messkonzepte und integrierte Sensorsysteme entwickelt, die z.B. verschiedene elektronische Komponenten umfassen und in Bauteile integrieren, um den spezifischen Anforderungen ihres jeweiligen Einsatzfeldes zu entsprechen.⁵⁷ Dabei werden Software-, Elektronik- und Sensorentwicklung zunehmend miteinander verbunden.⁵⁸ Für die Robotik sind Sensoren zentral, da sie die grundlegenden Daten für die weitere Verarbeitung mittels entsprechender Software/KI-Lösungen generieren.⁵⁹

Software prägt die Industrierobotik seit ihrer Entstehung, da sie die Steuerung des Roboters ermöglicht und kontinuierlich weiterentwickelt wurde und wird. Roboter benötigen

⁵⁷ Siehe z.B. <https://www.ims.fraunhofer.de/de/Kernkompetenz/Smart-Sensor-Systems/Integrated-Sensor-Systems.html> (zuletzt abgerufen am 16.11.2023)

⁵⁸ Siehe zu Entwicklungstrends bei Sensoren und relevanten Technologien ausführlich Werthschützky, R. (2022)

⁵⁹ Siehe für einen Überblick über Sensormodule, die in der Robotik eingesetzt werden, z.B. auch <https://www.roboter-bausatz.de/c/diy-elektronik/erweiterungsmodule/sensoren/> oder <https://www.te.com/deu-de/whitepapers/sensors/the-role-of-sensors-in-the-evolution-of-robotics.html> (zuletzt abgerufen am 16.11.2023) und für einen Gesamtüberblick über etwa 100 Parameter, die mittels Sensoren im Markt gemessen werden Werthschützky, R. (2022), S. 12

für die Ausführung einer Aufgabe ein Programm, das die Abläufe (z.B. Start-, Zwischen- und Zielpunkte sowie die jeweils auszuführende Bewegung) vorgeben muss. Die Programmierung in der Robotik basiert auf verschiedenen Programmiersprachen, die teilweise herstellerspezifisch sind.⁶⁰ Innovative Robotik-Anwendungen sind nur mit entsprechender Software umsetzbar, z.B. für die Weiterverarbeitung und Aufbereitung von Sensordaten oder für die Bildverarbeitung.

Von zentraler Bedeutung für die Robotik sind dabei Entwicklungen im Bereich der **Künstlichen Intelligenz (KI)**⁶¹, die auf Basis komplexer Algorithmen umfangreiche Datenmengen im Hinblick auf Muster analysieren und darauf aufbauend Entscheidungen treffen. Sie ermöglichen die Einsetzbarkeit des Roboters für komplexere Aufgaben, die eine hohe Flexibilität erfordern (siehe Kapitel 3.2.2).⁶² Der Roboter erhält durch die KI sozusagen ein „Gehirn“, das Daten in Echtzeit interpretieren und umgehend entsprechende Handlungen vornehmen kann. Dies bildet einen zentralen Fortschritt für die Einsatzmöglichkeiten des Roboters: Roboter mit KI-Skills benötigen keinen Einlernprozess für jedes einzelne Objekt bzw. jede Umgebung, sondern sind bereits „vortrainiert“ für die Handhabung vielfältiger Objekte oder das Navigieren in unbekanntem Umgebungen. Für Roboter bedeutet dies eine Weiterentwicklung von vorgegebenen Ausführungen für eine stark eingegrenzte Tätigkeit hin zu selbständigen Handlungen in sich verändernden Umgebungen.

Die Verarbeitung großer Datenmengen stellt hohe Anforderungen an die Rechenleistung und Übertragungskapazitäten. Hier kommen v.a. **Edge- und Cloud-Technologien** zum Einsatz. Die Nutzung von **Cloud-Plattformen**⁶³ für Robotik-Anwendungen ermöglichen Updates und Upgrades von Software, Fernzugriff zur Steuerung, Programmierung und Simulationen mit einem „Digitalen Zwilling“ des Roboters sowie die kontinuierliche Messung und Auswertung der Roboterdaten. So kann z.B. bei fahrenden Transportrobotern durch die komplette Verlagerung der Steuertechnik in die Cloud die Ausführung vielfältiger Aufgaben ermöglicht sowie eine verbesserte Kooperation und Koordination zwischen verschiedenen Robotern realisiert werden. Häufig werden hohe Rechenkapazitäten auch nur vorübergehend benötigt (z.B. für das Trainieren der Algorithmen) und können mittels der Cloud entsprechend flexibel bereitgestellt werden.⁶⁴ Komplementär können **Edge-Gateways** zwischen dem Roboter und der Cloud geschaltet werden, um Daten bereits auf lokaler Edge-Ebene zu sammeln, zu konsolidieren und zu verschlüsseln. Sie dienen auch

⁶⁰ z.B. Karel (FANUC), KRL (Kuka), Inform (Yaskawa), RAPID (ABB), siehe o.V. (2021)

⁶¹ Siehe zu KI ausführlich z.B. Fraunhofer IKS (2023)

⁶² „Konventionelle Industrieroboter sind nur Maschinen, die von einem zum anderem Punkt fahren, da sie Punkt-für-Punkt eingelernt werden müssen. Die Prozesse sind dadurch starr und unflexibel. Der Einsatz von künstlicher Intelligenz ermöglicht es Robotern, Augen (3D-Kameras) zu verwenden, um Dinge zu sehen. Sie bietet lokale Intelligenz, um eigene Bewegungspläne zu erstellen, sodass Objekte ohne eine exakte Punkt-zu-Punkt-Programmierung gehandhabt werden können. Mit der Option zusätzlicher Kraftsensoren kann der Roboterarm auch mit "Gefühl" ausgestattet werden, um die genaue Position von Objekten zu erkennen.“ Robominds, <https://www.robominds.de/robominds/robominds-ki> (zuletzt abgerufen am 16.11.2023)

⁶³ Siehe zu Cloud-Plattformen ausführlich Godlovitch, I.; Kroon, P. (2022)

⁶⁴ Siehe <https://news.microsoft.com/de-de/cloud-fuer-ki-einsatz-und-roboter/> (zuletzt abgerufen am 16.11.2023)

dazu, fehlende Cloud-kompatible Kommunikationsprotokolle der angeschlossenen Roboter zu ergänzen und die Cloud zu entlasten⁶⁵. Edge- und Cloud-Technologien können daher gemeinsam als Treiber für die zunehmende Vernetzung gesehen werden und spielen eine wesentliche Rolle für die Realisierung der Smart Factory (siehe Kapitel 3.2.5).⁶⁶

Für die Anbindung des Roboters an die Cloud sind **Konnektivitätstechnologien** erforderlich. Hier sind neben Festnetztechnologien (z.B. Industrial Ethernet) verschiedene Funktechnologien von Bedeutung, die eine hohe Vielfalt an Möglichkeiten im lizenzierten oder lizenzfreien Spektrum abdecken. Die 5G Technologie ermöglicht die Entwicklung von Robotik-Anwendungen, die hohe Ansprüche an eine geringe Latenz und hohe Zuverlässigkeit stellen (z.B. mobile autonome Roboter, siehe Kapitel 3.2.4).

3.2 Digitale Technologien als Enabler für neue Anwendungen und Weiterentwicklungen im Markt für Industrierobotik

Das jahrzehntelange Wachstum im Markt für Industrierobotik vollzog sich bisher im Segment großer Anwenderunternehmen und fokussierte stark auf die Automobilindustrie (Hersteller und Zulieferer). Bereits vor 20 Jahren gab es die Erkenntnis, dass „kleinere, leichter handhabbare, schnell installierbare und günstige Industrieroboter für KMU“ entwickelt werden sollten, da das bisherige Robotik-Angebot unter technischen und wirtschaftlichen Gesichtspunkten nicht dem Bedarf der KMU entspräche.⁶⁷ Erst in den vergangenen 10-15 Jahren kam jedoch Bewegung in den Markt, die vor allem auf die Aktivitäten der aus Forschungseinrichtungen hervorgegangenen Start-Ups zurückzuführen ist. Diese neuen Anbieter nutzen die Möglichkeiten innovativer digitaler Technologien konsequent für die Entwicklung neuer und die Weiterentwicklung bestehender Robotik-Anwendungen.

Innovative digitale Technologien bieten in vielfacher Hinsicht Potentiale für die Entwicklung von Robotik-Anwendungen. Im Unterschied zu anderen Märkten zeichnet sich jedoch ab, dass sich Veränderungen graduell vollziehen und durch verschiedene Zwischenstufen geprägt sind (und nicht zu Disruptionen führen) (siehe Abbildung 3-2).

Robotik-Anwendungen werden insbesondere kontinuierlich vereinfacht und flexibilisiert. Durch die zunehmende Vernetzung und Möglichkeiten zur mobilen Nutzung können sie in engerer Zusammenarbeit mit Menschen realisiert werden. Diese digitalisierungsbedingten Gestaltungsmöglichkeiten von Robotik-Anwendungen führen in ihrer stärksten Ausprägung zur Vereinfachung der Roboterimplementierung, der Roboter-Kollaboration

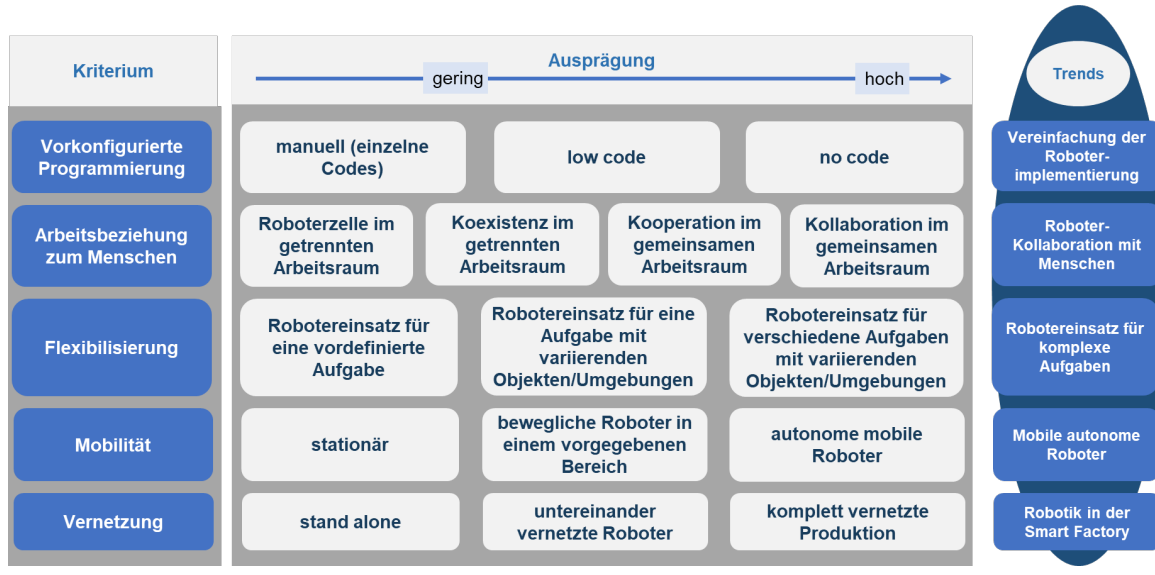
⁶⁵ Siehe ausführlich Groshev, M.et al. (2023), S. 166-174

⁶⁶ Siehe zur Umsetzung in die Praxis auch KUKA: Mit KUKA zur Digital Factory, <https://www.kuka.com/de-de/future-production/industrie-4-0/digital-factory> (zuletzt abgerufen am 16.11.2023) und zum theoretischen Hintergrund Groshev, M.et al. (2023), S. 166-174

⁶⁷ Vor diesem Hintergrund entstand z.B. das Forschungsprojekt SMErobot, siehe Armbruster, H. et al. (2006), S. 12

mit Menschen, dem Robotereinsatz für komplexe Aufgaben, mobilen autonomen Robotern und Robotik in der Smart Factory (siehe Abbildung 10).

Abbildung 3-2 Wie verändern digitale Technologien die Möglichkeiten für die Entwicklung von Robotik-Anwendungen?



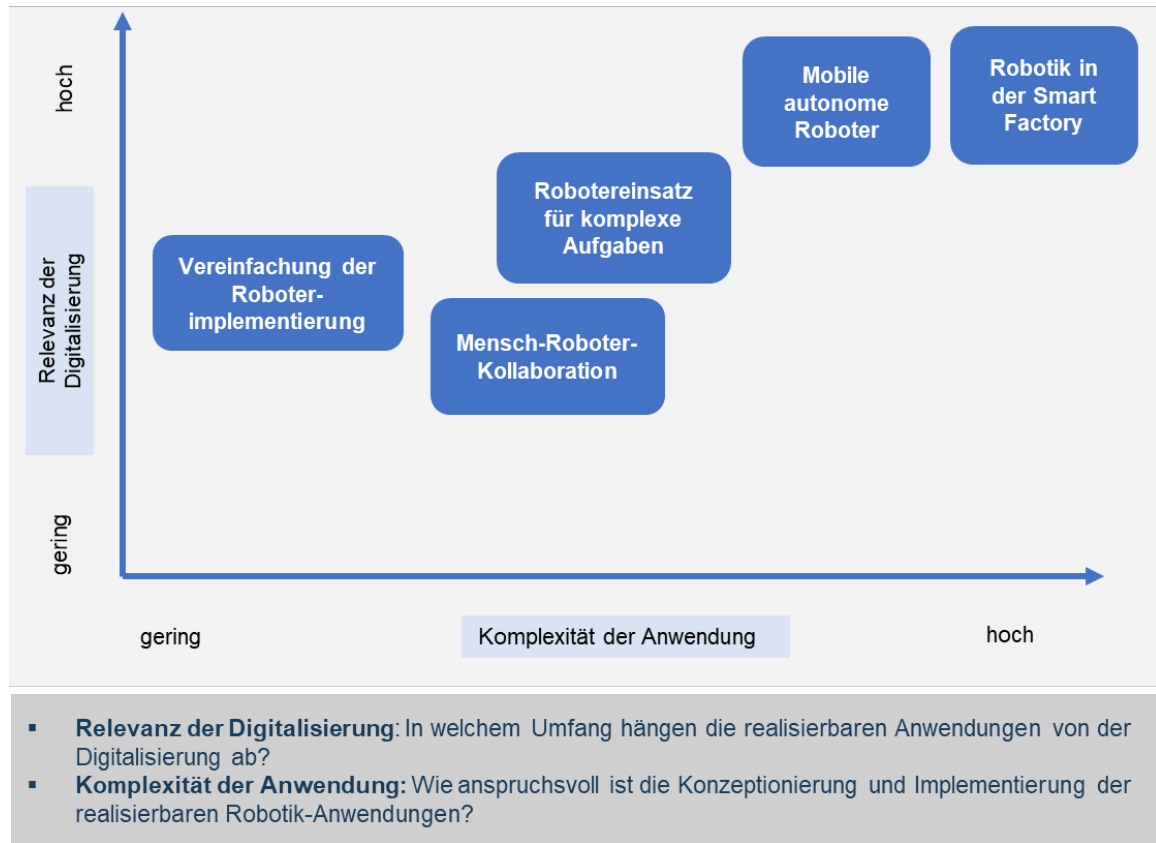
Quelle: WIK

Die Komplexität der realisierbaren Robotik-Anwendungen ist sehr unterschiedlich (siehe Abbildung 3-3). Dabei gilt: je anspruchsvoller die Robotik-Anwendungen in der Entwicklung und Umsetzung sind, desto weniger werden sie in der Praxis bisher umgesetzt. Während die vereinfachte Roboter-Implementierung heute bei Neuentwicklungen schon als Standard gilt, wird die Robotik in der Smart Factory bisher nur von wenigen Vorreiterunternehmen schrittweise umgesetzt.

Der Beitrag, den die Digitalisierung zu diesen Markttrends leistet, variiert ebenfalls. So hängt die Mensch-Roboter-Kollaboration nicht nur von digitalen Technologien ab, sondern auch von Sicherheitskonzepten und baulichen Aspekten (z.B. runde Konturen, leichtes Material) ab.⁶⁸ Auch für die vereinfachte Roboterimplementierung sind digitale Technologien ein wesentlicher Treiber, jedoch spielen auch weitere Aspekte (z.B. Mitarbeiterschulung, Standardisierung) eine Rolle. Die Smart Factory hingegen ist ein Markttrend, der sich ohne digitale Technologien überhaupt nicht entwickeln könnte.

⁶⁸ Siehe z.B. Umbreit, M. (2020)

Abbildung 3-3 Digitalisierungsgetriebene Markttrends bei industriellen Robotik-Anwendungen



Quelle: WIK

In den nachfolgenden Kapiteln werden die fünf Markttrends in Bezug auf die Ausgangssituation, den Beitrag der digitalen Technologien und die potentiellen Auswirkungen auf die Wertschöpfungskette analysiert.

Die Markttrends sind dabei nicht trennscharf voneinander abzugrenzen. So spielen die Ansätze zur Vereinfachung der Roboterimplementierung auch für alle anderen Markttrends eine Rolle und alle Entwicklungstrends werden in der Smart Factory zusammengeführt.

3.2.1 Vereinfachung der Roboterimplementierung

3.2.1.1 Ausgangssituation

Die Implementierung von klassischen Industrierobotik-Anwendungen im Industrieunternehmen erfordert spezifisches Fachwissen und wird typischerweise von Systemintegratoren vorgenommen.

Im Rahmen der Implementierung sind Tests und Feinadjustierungen des Roboters erforderlich, bis er schließlich in Betrieb genommen werden kann. Ein Teil des Implementierungsaufwands bezieht sich auf die Programmierung, die für die Inbetriebnahme des Roboters erforderlich ist.⁶⁹ Diese kann nur von Fachleuten vorgenommen werden, die die Programmiersprache des jeweiligen Roboterherstellers beherrschen.⁷⁰

Besondere Herausforderungen können entstehen, wenn neue Roboter in vorhandene Produktionsumgebungen integriert werden müssen („Brownfield“). Hier verursachen insbesondere proprietäre/ herstellereigene Systeme einen erhöhten Integrationsaufwand, der im Vorfeld besonders schwierig einzuschätzen ist. Herstellerabhängige Besonderheiten können mechanische und elektrische Aspekte ebenso wie Software- und Bedienschnittstellen betreffen.⁷¹ Ursachen hierfür sind proprietäre Systeme mit herstellereigenen Robotersprachen⁷² oder Unterschiede in den Bedienkonzepten, die zusätzliche Mitarbeiterschulungen erfordern. Sie bilden zwar keine unüberwindbaren, aber kostenintensive Barrieren, die eine Abhängigkeit von bereits eingesetzten Systemen bedeuten können⁷³ und zu empirisch belegten Hemmnissen auf der Anwenderseite gehören.⁷⁴

Insgesamt gehört der Aufwand der Roboterimplementierung zu den Hauptursachen der geringen Robotik-Nutzung in kleinen und mittleren Industrieunternehmen.⁷⁵

3.2.1.2 Beitrag von innovativen digitalen Technologien

Innovationen im Bereich der Softwareentwicklung und -programmierungen vereinfachen die Implementierung von Robotik-Lösungen. Beispiele sind ein **verringertes Programmieraufwand** bei der Implementierung und Möglichkeiten zur **Simulation der Inbetriebnahme** mittels digitaler Zwillinge des Roboters:

- Im Softwarebereich werden zunehmend Tools entwickelt, mit denen der manuelle Programmieraufwand stark reduziert werden kann. Dies ist eine Entwicklung, die auch außerhalb der Robotik an Bedeutung für verschiedene Einsatzfelder im Unternehmen gewinnt.⁷⁶ Entscheidend ist dabei die **Vorkonfiguration von relevanten Schritten oder Funktionen**, die sowohl von professionellen Entwicklern als auch von Fachanwendern ohne spezifische Programmierkenntnisse genutzt werden können. Eine Programmierung in Form von Zeile für Zeile zu schreibenden

⁶⁹ Siehe zum Programmieraufwand in den verschiedenen Phasen von Anwendungsentwicklung bis Inbetriebnahme ausführlich (am Beispiel von BMW) Taschew, M. (2022), S. 47

⁷⁰ Siehe z.B. auch Strehlitz, M. (2022)

⁷¹ Vgl. zur Herstellerabhängigkeit in der Industrierobotik (mit besonderem Bezug auf die Automobilindustrie) ausführlich Taschew, M. (2022), S. 10 f.

⁷² z.B. Fanuc: Karel, Kuka:KRL, Yaskawa: Inform, ABB: RAPID, siehe o.V. (2021)

⁷³ Siehe z.B. siehe Taschew, M. (2022)

⁷⁴ Siehe z.B. eine Befragung von Mc Kinsey (2023)

⁷⁵ Siehe z.B. Armbruster, H. et al. (2006)

⁷⁶ Diese Entwicklungen sind nicht nur in der Robotik, sondern in vielen Anwendungsbereichen relevant, z.B. Enterprise-Ressource-Planning (ERP), Customer Relationship Management (CRM): Siehe allgemein zur Relevanz von low code Programmierung in deutschen Unternehmen techconsult (2021)

Codes ist nicht bzw. kaum mehr erforderlich, da die Codes in wiederverwendbaren Komponenten zusammengefasst werden. Diese Komponenten werden auf sogenannten „**Low-Code-/No-Code-Plattformen**“ bereitgestellt.⁷⁷ Sie bieten meist auch visuelle Benutzeroberflächen, die das Anordnen von einzelnen Anwendungskomponenten per Drag&Drop ermöglichen. Im Markt verbreitet sind sowohl herstellerspezifische Lösungen als auch unabhängige Softwareangebote.⁷⁸ Die No-Code-Entwicklung kann dabei im Wesentlichen als Extremausprägung verstanden werden, die sämtliche Codes vorkonfiguriert und häufig mit besonders aufwendigen Benutzeroberflächen arbeitet. Im Robotik-Bereich gibt es z.B. als No-Code-Ansatz den von Wandelbots entwickelten „Tracepen“, ein vom Benutzer geführter sensorbestückter Stift, der die gewünschten Bewegungen des Roboters als Pfad aufzeichnet, welcher anschließend über eine App feinjustiert werden kann und im letzten Schritt mittels Software in die Codes der jeweiligen Programmiersprache des Roboters übersetzt wird.⁷⁹

- Ein Teil des Programmierprozesses kann auch im Rahmen der **cloudbasierten Simulation der Robotik-Anwendung über einen digitalen Zwilling** erfolgen, der die reale Roboterkonfiguration, seine Bewegungen, Wege und Tätigkeiten exakt wiedergibt. Dadurch können in einer „virtuellen Inbetriebnahme“ Tests durchgeführt und Anpassungen schon vor dem operativen Start der Robotik-Anwendung im Industrieunternehmen vorgenommen werden. So verkürzt sich die eigentliche Inbetriebnahme und verhindert Stillstandzeiten durch zeitintensive Fehlerbehebungen im laufenden Roboterbetrieb. Auch eine vorgezogene Mitarbeiterschulung am digitalen Zwilling des realen Roboters ist möglich.⁸⁰

Begleitend können auch **AR-/VR-Technologien** zur Remote-Inbetriebnahme und Mitarbeiterschulung die Implementierung von Robotik-Anwendungen in Industrieunternehmen erleichtern.⁸¹

Für die Vereinfachung der Robotik-Implementierung spielen neben innovativen digitalen Technologien auch weitere Aspekte eine Rolle. Dazu gehören z.B. Lösungsansätze zur Verbesserung der Interoperabilität durch Initiativen wie umati.⁸² Hier wird der Datenaustauschstandard für industrielle Kommunikation OPC-UA branchenspezifisch angepasst,

⁷⁷ Teils ist von No-Code Programmierung die Rede, wobei keine klare Grenze zwischen No-Code und Low-Code gezogen werden kann. Zudem bleibt ein Mindestmaß an Codes typischerweise im Anwendungsentwicklungs- und Bereitstellungsprozess bestehen (z.B. Codes für die Integration in andere Anwendungen oder für eine benutzerspezifische Anpassung), siehe z.B. <https://www.computer-weekly.com/de/definition/Low-Code-und-No-Code-Entwicklungsumgebung> (zuletzt abgerufen am 16.11.2023)

⁷⁸ Siehe Produktion.de (2023)

⁷⁹ Siehe hierzu <https://dialog.vde.com/de/vde-dialog-ausgaben/2022-01-sustainability/no-code> (zuletzt abgerufen am 16.11.2023)

⁸⁰ Siehe zu den Möglichkeiten und Effekten der Robotiksimulation über die Cloud z.B. Barga, R. (2020)

⁸¹ Siehe z.B. <https://www.it-production.com/automation-und-robotik/extended-reality-in-der-produktion/> (zuletzt abgerufen am 16.11.2023)

⁸² Siehe zu der Verbreitung und Implementierung von Branchen Anpassungen mittels Companion Specifications der UPCA-OA auch die Aktivitäten der Initiative UMATI, <https://umati.org/> (zuletzt abgerufen am 16.11.2023) und zu Aspekten der Interoperabilität im Maschinenbau im weiteren Sinne VDMA (2021)

darunter auch für die Robotik.⁸³ Auch die Einführung offener Robotik-Betriebssysteme (z.B. ROS 2.0) kann zur Aufwandsreduktion bei der Robotik-Implementierung beitragen.⁸⁴

Einige organisatorische Herausforderungen wie z.B. die Entwicklung von Sicherheitskonzepten, Risikobeurteilungen und Zertifizierungen vor der eigentlichen Inbetriebnahme bleiben weiterhin bestehen, verändern sich jedoch teilweise im Zuge digitalisierungsbasierter Markttrends (z.B. kollaborierende Roboter).⁸⁵ Hier sind Entwicklungen im Bereich der Rahmenbedingungen (z.B. Weiterentwicklung von Standards und Normen) und öffentlich geförderte unterstützende Maßnahme (z.B. Vermittlung von Know-how, Durchführung von Modellprojekten, Entwicklung von Demonstratoren in Mittelstand Digital Zentren⁸⁶) insbesondere für die Senkung der Implementierungshürden in KMU relevant.

3.2.1.3 Auswirkungen auf die Wertschöpfungskette

Die Akteure im Robotik-Markt entwickeln vielfältige neue Anwendungen, die eine zunehmend einfache Roboterimplementierung ermöglichen und auch den Anpassungsaufwand im laufenden Betrieb verringern können.⁸⁷ So haben z.B. die auf der automatica 2023 vorgestellten Robotik-Lösungen gezeigt, dass visuelle Benutzeroberflächen bei neuen Robotik-Anwendungen schon Standard sind und auch Simulationsmöglichkeiten über die Cloud in der Angebotsentwicklung eine große Rolle spielen. Perspektivisch sollen mittels KI und Machine Learning Roboter selbst erkennen können, was sie tun sollen.⁸⁸ Die Zukunftsvision besteht in einer „Demokratisierung der Robotik“⁸⁹ - ein Markttrend, der auch in der aktuellen Marktstatistik des IFR belegt ist.⁹⁰

Die Bestrebungen zur vereinfachten Robotik-Implementierung zielen auf die Überwindung von Nutzungsbarrieren und senken insbesondere die Eintrittshürden für kleinere Neuanwender. Dadurch entsteht zusätzliches Marktpotential für Robotik-Anwendungen in der Industrie, von dem grundsätzlich alle Anbieter im Robotik-Ökosystem profitieren können.

Ein Beispiel für ein neues Geschäftsmodell, das verschiedene Ansätze zur vereinfachten Implementierung miteinander kombiniert, ist die modulare Robotik. Im Kern geht es um

⁸³ Siehe OPC 40010 UA for Robotics, https://umati.org/industries_robotics/ (zuletzt abgerufen am 16.11.2023)

⁸⁴ Siehe hierzu ausführlich Taschew, M. (2022), S. 19 ff.

⁸⁵ Siehe hierzu auch <https://dialog.vde.com/de/vde-dialog-ausgaben/2022-01-sustainability/no-code> (zuletzt abgerufen am 16.11.2023)

⁸⁶ Siehe hierzu z.B. Mittelstand-Digital Zentrum Chemnitz: Unterstützung bei der Inbetriebnahme einer neuen Produktionshalle, <https://digitalzentrum-chemnitz.de/projekte/intralogistik-entwickeln/> (zuletzt abgerufen am 16.11.2023) als Grundlagen-Publikation auch Mittelstand-Digital Zentrum Handwerk (2023) und weiterführende Erläuterungen und Videos zu Potentialen der Robotik im Handwerk unter <https://handwerkdigital.de/Robotik> (zuletzt abgerufen am 16.11.2023)

⁸⁷ Siehe für verschiedene Produkte und Lösungen in der „Easy to use robotics“ z.B. <https://robotik-produktion.de/kategorie/grosser-tedo-herbst-der-innovationen/> (zuletzt abgerufen am 16.11.2023)

⁸⁸ Siehe hierzu auch o.V. (2021)

⁸⁹ Siehe Strehlitz, M. (2022)

⁹⁰ Siehe International Federation of Robotics (IFR) (2023), S. 35

die bedarfsgerechte Zusammenstellung des Roboters nach dem Baukastenprinzip. Zu den Unternehmen, die modulare Robotik anbieten, gehört das Start-Up Robco (siehe Abbildung 3-4).

Abbildung 3-4 Anbieterbeispiel für modulare Robotik: Robco GmbH

Modulare Robotik: Robco GmbH	
Wer ist der Anbieter?	Robco ist aus der TU München hervorgegangen und setzt sein Geschäftsmodell seit 2013 kommerziell um.
Positionierung in der Wertschöpfungskette	<p>Robco ist vertikal integriert, fertigt die Roboter in München.</p> <p>Lösungen für bestimmte Standard-Use-Cases (z.B. Palettieren, Laser Gravieren, Fräsen und Drehen) sind vorkonfiguriert und werden aus einer Hand angeboten, für andere Use Cases gibt es Kooperationen mit Systemintegratoren.</p> <p>Robco arbeitet mit vielen Akteuren im Robotik-Markt zusammen, u.a. mit Anbietern von Endeffektoren (z.B. Schunk, Schmalz) und Sicherheitslösungen (z.B. Sick).</p>
Worin besteht die Anwendung?	Der Fokus liegt auf der Modularisierung des Angebots: Die Robotik-Lösung kann aus verschiedenen Hardware-Modulen konfiguriert werden. In die einzelnen Module sind Sensoren integriert. Die Software von Robco erkennt die angeschlossenen Module, ihre Konfiguration und aktuelle Anwendung automatisch. Der Roboter kann als digitaler Zwilling über die Cloud (Amazon Web Services AWS) weiter konfiguriert werden. Die Konfiguration erfolgt Low-Code/No-Code: Arbeitsschritte können einfach angelehrt werden, indem der Roboter vom Nutzer per Hand an die gewünschten Punkte geführt wird und diese auf dem mitgelieferten Panel abgespeichert werden.
Wer sind die Nutzer?	Insbesondere kleine und mittlere Industrieunternehmen, die Roboter ggf. für mehrere Aufgaben innerhalb eines Fertigungssystems automatisieren. Die aktuellen Anwendungsgebiete sind vor allem Maschinenbeschickung, Pick&Place, Palettieren, Dispensieren.
Was ist der Nutzen?	Die komplett digitale Implementierung ermöglicht eine zügige Inbetriebnahme beim Anwenderunternehmen vor Ort. Robco gibt an, dass diese innerhalb eines Tages realisierbar sei. Maßanfertigung und die Anpassungsfähigkeit an verschiedene Produktionsanforderungen sind weitere Vorteile der modularen Robotik. Darüber hinaus sind die Lösungen tendenziell kostengünstiger, da nur die erforderlichen Module erworben werden müssen.

Quellen: Robco, <https://www.robco.de/losungen/overview> (zuletzt abgerufen am 16.11.2023), Whitepaper „5 Vorteile modularer Roboter“

Von der hohen Bedeutung, die die Nutzung der Cloud für die vereinfachte Robotik-Implementierung spielt, profitieren auch die Cloud-Anbieter. Hier dürften - wie in anderen Teilen der Wirtschaft - die großen Cloud-Anbieter Amazon (AWS) und Microsoft (Azure) auch für den Robotik-Markt eine wesentliche Rolle spielen. Während AWS seine Stärke im Enterprise-Bereich hat, profiliert sich AWS mit dem größeren Angebot an IoT-Services und branchenspezifischen Angeboten.⁹¹

⁹¹ Siehe für einen detaillierten Vergleich der Anbieter AWS, Google und Microsoft Azure auch Bremmer, M. (2022)

Beide Unternehmen bieten Robotik-Entwicklern (und auch Anwenderunternehmen) zusätzliche Services an, die sehr eng mit der Cloud verbunden sind.

- **Microsoft Azure** entwickelte z.B. die KI-basierten Dienste Azure Cognitive Services und Azure Machine Learning, die auch für die Robotik-Implementierung relevant sind.⁹² Weitere Trainings- und Simulationstechnologien werden im Rahmen der F&E bei der Autonomous Systems and Robotics Group erforscht.⁹³ Dazu gehört z.B. die Untersuchung der Einsatzmöglichkeiten von ChatGPT für Robotik-Anwendungen, insbesondere durch die Nutzung von Sprachsteuerung anstelle von Codierung.⁹⁴
- **Amazon Web Services (AWS)** entwickelte mit AWS RoboMaker⁹⁵ einen Cloud-basierten Dienst, mit dem Robotikentwickler Simulationen ausführen, skalieren und automatisieren können und ihn für das Trainieren von Machine-Learning-Modellen nutzen können. Darüber hinaus ist Amazon auch selbst Robotik-Anwender und nutzt seit 2012 Robotik zur Optimierung sämtlicher Logistikbereiche: Anfang 2012 kaufte Amazon der Robotik-Anbieter Kiva, der mobile Roboter herstellt. Aktuelle Einsatzfelder der Robotik bei Amazon reichen von autonomen mobilen Robotern, über KI-basierte Scanlösungen zur automatischen Paketidentifikation bis hin zu umfassenden Paketsortierlösungen.⁹⁶

Anders stellt sich **Alphabet** auf. Das Unternehmen ist mit Google Cloud als globaler Cloud-Anbieter ebenfalls von Bedeutung für den Robotik-Markt, dürfte aber ebenso wie im gesamten Cloud-Markt für Robotik-Anwendungen eine geringere Rolle als AWS und Microsoft Azure spielen. Alphabet ist jedoch bereits in der Vergangenheit mit ehrgeizigen Plänen in Bezug auf die Robotik aufgefallen und hat sogar in die Herstellung von eigenen Robotern investiert (Akquisition von Boston Dynamics 2013).⁹⁷ Dieses Vordringen in andere Robotik-Wertschöpfungsstufen wurde zwischenzeitlich jedoch wieder aufgegeben.⁹⁸ Aktuell werden die Robotik-Aktivitäten von Alphabet im Tochterunternehmen Intrinsic gebündelt, das Mitte 2021 mit Fokus auf die Industrierobotik gegründet wurde. Im Dezember 2022 hat Google das Roboterbetriebssystem ROS der Open Source Robotics Corporation gekauft.⁹⁹ Darüber hinaus werden Software-Tools für eine schnelle und günstige Robotik-Entwicklung angeboten (z.B. Flowstate¹⁰⁰).

Die Vision von Intrinsic besteht in einer „Demokratisierung der Robotik“. ¹⁰¹ Eine weitere relevante Aktivität geht von der KI-Abteilung Google Deepmind aus, die bereits seit dem

⁹² <https://azure.microsoft.com/de-de/products/ai-services?activetab=pivot:azureopenaiservicetab> (zuletzt abgerufen am 16.11.2023)

⁹³ <https://www.microsoft.com/en-us/research/group/autonomous-systems-group-robotics/> (zuletzt abgerufen am 16.11.2023)

⁹⁴ Siehe Vemprala, S. et al (2023)

⁹⁵ <https://aws.amazon.com/de/robomaker/> (zuletzt abgerufen am 16.11.2023)

⁹⁶ Siehe Amazon (2022)

⁹⁷ Siehe z.B. Lowensohn, J. (2013)

⁹⁸ Siehe Tobe, F. (2017)

⁹⁹ Siehe Crowe, S. (2022)

¹⁰⁰ Siehe <https://intrinsic.ai/flowstate/> (zuletzt abgerufen am 16.11.2023)

¹⁰¹ Siehe <https://intrinsic.ai/> (zuletzt abgerufen am 16.11.2023)

Jahr 2010 existiert und keinen Fokus auf Robotik hat¹⁰². Hier wurden z.B. Machine-Learning-Ansätze für die Robotik („Robotic Transformer 2 (RT-2)“) entwickelt.¹⁰³ In die Zukunft gerichtet sind Aktivitäten, die im Rahmen des Robotik-Temas bei Google Research verfolgt werden, z.B. ein visuelles Sprachmodell zur Robotersteuerung (PaLM-E), das in Kooperation mit der TU Berlin entwickelt wurde.¹⁰⁴

Zweifellos spielen die Cloudanbieter eine wichtige Rolle für den Robotik-Markt, da sie von Robotik-Anbietern für die Entwicklung von neuen Geschäftsmodellen genutzt werden. Inwiefern die Cloudanbieter selbst weiter in die Robotik-Wertschöpfung vordringen, ist heute noch schwierig zu beurteilen.

Eine weitere Anbietergruppe, die vom Trend zur vereinfachten Roboterimplementierung betroffen sein dürfte, sind die klassischen Systemintegratoren. Ihr Geschäftsmodell, das sich auf den aufwändigen Implementierungsprozess beim Anwenderunternehmen spezialisiert, muss an die veränderten Bedingungen angepasst werden. Der Bedarf an Unterstützung und Begleitung in der Roboterimplementierung bleibt in vielerlei Hinsicht bestehen, da sowohl in der Konzeptionierung als auch in der Umsetzung von Robotik-Projekten zahlreiche Aufgaben jenseits der manuellen Programmierung anfallen und komplexere Robotik-Implementierungen (z.B. vernetzte Roboterzellen, Smart Factory, siehe Kapitel 3.2.5) auch höhere Anforderungen an Automatisierungslösungen und übergreifende Konzepte stellen, die von Systemintegratoren verantwortet werden.

3.2.2 Robotereinsatz für komplexe Aufgaben

3.2.2.1 Ausgangssituation

Klassische Industrieroboter werden für eine bestimmte Anwendung gezielt konfiguriert und programmiert. Sie benötigen ein festgelegtes Ablaufschema in Form eines Programms, das ihnen in ihrer jeweiligen Programmiersprache genaue Anweisungen in Bezug auf die anzusteuern Punkte gibt.¹⁰⁵ Das Erkennen und Verarbeiten von wechselnden Objekten und Umgebungen hingegen ist auf der Basis bisher verbreiteter Softwarelösungen nur begrenzt möglich.

Daher sind Industrieroboter aufgrund ihrer technischen Ausgestaltung und des entsprechenden Investitionsbedarfs vor allem für die Großserienfertigung wirtschaftlich einsetzbar. Für variantenreiche Produktion mit hohen Ansprüchen an die Einsatzflexibilität, die insbesondere in mittelständischen Industrieunternehmen vorherrscht, sind klassische Industrieroboter nicht geeignet.

¹⁰² Siehe <https://deepmind.google/> (zuletzt abgerufen am 16.11.2023)

¹⁰³ Siehe Chebotar, Y.; Yu, T. (2023)

¹⁰⁴ Siehe Szöke, D. (2023)

¹⁰⁵ Die Roboterprogrammierung muss z.B. Freiheitsgrade, Positioniergenauigkeit, Wiederholgenauigkeit, Traglast, Bahntreue und Verfahrensgeschwindigkeit berücksichtigen, siehe o.V. (2021)

3.2.2.2 Beitrag von innovativen digitalen Technologien

Die Fähigkeiten eines Robotersystems zur Bewältigung von komplexen Aufgaben erfordert insbesondere kontinuierlich verbesserten Bilderkennungssysteme mittels zugehöriger Softwarelösungen sowie innovative Greiftechniken. Für die Erweiterung der Einsatzmöglichkeiten von Robotik-Anwendungen spielen Weiterentwicklungen in der **KI** eine zentrale Rolle, die Bewegungsabläufe im Umgang mit aktuellen Umgebungsbedingungen und variierenden Objekteigenschaften wie Farbe, Oberfläche oder Form in Echtzeit anpassen können.

Hier gibt es zahlreiche Anwendungen und Einsatzfelder in der Robotik, die von dieser Eigenschaft profitieren. Dazu gehören z.B. Anwendungen im wichtigen Anwendungsbe-
reich Handhabung. Bei der Sortieranwendung „Griff-in-die-Kiste/Bin Picking“, bei der der Roboter Objekte aus einem Behälter entnimmt und an einer anderen Stelle für den nächsten Produktionsschritt ablegt, bestehen ohne KI Restriktionen im Umgang mit verschiedenartigen Objekten. So kann der Roboter z.B. nicht alle Objekte herausnehmen und es wird nach einiger Zeit ein manuelles Eingreifen erforderlich, um den Produktionsstillstand zu vermeiden.¹⁰⁶ Unter Einsatz von KI-Technologien wird das komplexe Zusammenspiel von Bilderkennungssystemen, Software, Greiftechnik und Robotersystem optimiert, um eine möglichst vollständige Entleerung des Behälters zu erreichen.¹⁰⁷

Darüber hinaus kann die Leistungsfähigkeit von Robotik-Systemen zur Bewältigung komplexer Aufgaben auch durch **Edge- und Cloudtechnologien** gesteigert werden. Sie bieten eine Flexibilisierung von Robotik-Lösungen dadurch, dass sie keine umfassenden lokalen Rechnerkapazitäten voraussetzen und auch Möglichkeiten zur Fernsteuerung von Produktionsprozessen über die Cloud bieten.¹⁰⁸ So sind z.B. Softwareupdates im laufenden Betrieb realisierbar, die die Anpassungsfähigkeit von Robotik-Anwendungen steigern.

3.2.2.3 Auswirkungen auf die Wertschöpfungskette

Mit der Befähigung von Robotern zur Bewältigung von komplexen Aufgaben können Anwendungen realisiert werden, die bisher aufgrund technischer Restriktionen nicht umsetzbar waren. Sie können insbesondere an neue Anwendergruppen vermarktet werden, für die die Robotik bisher nicht in Frage kam, z.B. mittelständische Industrieunternehmen mit hoher Produktvielfalt und variablen Stückzahlen. Dadurch entsteht zusätzliches Marktpotential für Robotik-Anwendungen in der Industrie, von dem grundsätzlich alle

¹⁰⁶ Siehe z.B. .B. zu den bisherigen Lösungen und ihren Beschränkungen bei der Anwendung „Griff-in-die-Kiste: Mossmann, M. (2022)

¹⁰⁷ Siehe Fraunhofer IPA (2022)

¹⁰⁸ Siehe z.B. <https://www.ericsson.com/en/cases/2016/5gtuscany/transforming-industry-with-5g-cloud-robotics> (zuletzt abgerufen am 16.11.2023)

Anbieter im Robotik-Markt profitieren können. Aufgrund der hohen Bedeutung von KI-Lösungen, bestehen besonders gute Chancen für KI-Spezialisten.

Die Entwicklung von KI-Lösungen wird intensiv in Forschungsprojekten an Hochschulen und außeruniversitären Forschungseinrichtungen vorangetrieben, aus denen zahlreiche Start-Ups hervorgegangen sind. Ein Beispiel für ein deutsches Start-Up, das die Möglichkeiten der KI für die Robotik nutzt, ist robominds (siehe Abbildung 3-5).

Abbildung 3-5 Anbieterbeispiel für KI-basierte Lösungen: robominds GmbH

KI-basierte Lösungen: robominds GmbH	
Wer ist der Anbieter?	robominds ist ein im Jahr 2016 gegründetes Unternehmen, das aus der TU München hervorgegangen ist und sich auf KI-basierte Lösungen für die Robotik spezialisiert.
Positionierung in der Wertschöpfungskette	Das Angebot von robominds stützt sich auf einen Industrierechner (robobrain), der als Steuerungsplattform für weitere Robotik-Komponenten und KI-Skills fungiert und über ein eigenes offenes Betriebssystem (NEUROS 2.0) verfügt. Für die Entwicklung kompletter Lösungen erfolgt die Zusammenarbeit mit Roboterherstellern (z.B. FANUC, Universal Robots, MIR) und mit weiteren relevanten Akteuren für die Erbringung von Branchenlösungen (z.B. Hörmann Logistik, Effimat).
Worin besteht die Anwendung?	Die Realisierung der KI-basierten Lösungen erfolgt auf der Basis von KI-Skills (z.B. „Smart Item Detection Skill“), die entsprechend vortrainiert sind (z.B. auf das generische Erkennen oder Handhaben von Teilen verschiedener Größe und Form). Sie werden auf die Steuerungsplattform robobrain heruntergeladen. Bei der Realisierung spielt z.B. die Hand-Augen-Koordination (robobrain.vision) eine zentrale Rolle.
Wer sind die Nutzer?	Derzeit fokussiert robominds auf Lösungen für den Einsatz in der Lagerlogistik und im Labor.
Was ist der Nutzen?	Das Einsatzspektrum von bestehenden Robotik-Anwendungen wie z.B. Handhabung wird optimiert. So kann z.B. in der Lagerlogistik eine Erhöhung der Produktverfügbarkeit erreicht werden.

Quelle: WIK basierend auf öffentlichen Informationen von robominds GmbH

3.2.3 Roboter-Kollaboration mit Menschen

3.2.3.1 Ausgangssituation

Klassische Industrieroboter zeichnen sich durch eine hohe Leistungsfähigkeit aus. Sie können insbesondere in stark standardisierten Prozessen schnell, präzise und mit hohen Wiederholungsraten arbeiten. Von den schnellen Bewegungen und der hohen Kraft des Industrieroboters gehen Gefahren für Menschen in der unmittelbaren Umgebung aus. Daher müssen klassische Industrieroboter nach einer umfassenden Risikobeurteilung mit adäquaten Sicherheitsmaßnahmen versehen werden, die in der DIN EN ISO¹⁰⁹ 10218

¹⁰⁹ „Deutsche Industrie-Norm und Europäische Norm für Internationale Organisation für Standardisierung“ ist eine Zertifizierung für ein Produkt oder einen Prozess, der die international anerkannten Normen und Vorschriften erfüllt

01 und 02 geregelt sind und auf der EG-Maschinenrichtlinie 2006/42/EG basieren.¹¹⁰ Darin geht es insbesondere um die zu installierenden Schutzeinrichtungen, die den Zutritt von Menschen zum Gefahrenraum beschränken und z.B. in Form von Zäunen, Lichtvorhängen oder Laserscannern umgesetzt werden können.

Die Herausforderung in einer sehr starken Arbeitsteilung zwischen Mensch und Roboter besteht darin, die Leistungsmerkmale der Roboter mit den Fähigkeiten des Menschen zur intelligenten Arbeit und geschickten Koordination (z.B. Fingerfertigkeit, Hand-Auge-Koordination) miteinander zu verbinden. Hieraus resultiert unausgeschöpftes Potential in der Industrie, insbesondere in komplexen Montage- und Handhabungsvorgängen unabhängig von der Größe des jeweiligen Anwenders.¹¹¹

Für eine stärkere Zusammenarbeit von Mensch und Roboter haben sich verschiedene Ansätze entwickelt, die sich in Bezug auf die Intensität der Zusammenarbeit unterscheiden. Neben dem Grad der räumlichen Trennung (gemeinsamer oder getrennter Arbeitsraum) spielen dabei weitere Aspekte wie die Form und Art der menschlichen Beteiligung an der Roboterarbeit eine Rolle.¹¹²

Seit 2016 gibt es spezifische Schutzmaßnahmen für Mensch-Roboter-Kollaboration, die in der ISO/TS 15066 geregelt sind.¹¹³ Auf dieser Basis bestehen im wesentlichen zwei Möglichkeiten, die eine stärkere unfallfreie Zusammenarbeit von Mensch und Maschine erlauben. Zum einen ist es möglich, durch Geschwindigkeits- und Abstandsüberwachung dafür zu sorgen, dass der physische Kontakt zwischen Mensch und Roboter ausgeschlossen wird, indem bei Unterschreiten eines Mindestabstands zum Menschen eine Ausschaltung des Roboters erfolgt. Zum anderen können von vorneherein Leistungs- und Kraftbegrenzungen vorgenommen werden, die den gefahrlosen Kontakt zwischen Mensch und Roboter erlauben.¹¹⁴

Die zunehmende Zusammenarbeit von Menschen und Robotern etablierte sich in verschiedenen Formen bereits seit etwa 15 Jahren im Markt für Industrierobotik und bildet ein kleines, aber überdurchschnittlich wachsendes Marktsegment.¹¹⁵ Die erweiterten Einsatzmöglichkeiten der Roboter sind vor allem für kleine und mittlere Unternehmen, Handwerksbetriebe und Produktionsstätten mit begrenztem Platz von Nutzen. Als weitere Vorteile von kollaborierenden Robotik-Lösungen werden die Verbesserung der Ergonomie von Produktionsmitarbeitenden und die Ortsflexibilität angeführt.¹¹⁶

110 Derzeit wird der Norm-Entwurf – u.s. mit Blick auf kollaborierende Roboter - überarbeitet, siehe die verschiedenen Dokumente zur Normung DIN, <https://www.din.de/de/ueber-normen-und-standards> (zuletzt abgerufen am 16.11.2023). Die kompletten Texte der DIN EN ISO 10218 sind kostenpflichtig über den Beuth Verlag zu beziehen.

111 Siehe hierzu auch Surdilovic, D. et al. (2018)

112 Siehe hierzu z.B. Onasch, L. et al. (2016)

113 Verabschiedet im Jahr 2016 und zuletzt überarbeitet 2022, Siehe ISO: ISO/TS 15066, <https://www.iso.org/standard/62996.html> (zuletzt abgerufen am 16.11.2023) und Lazarte, M. (2016)

114 Siehe hierzu auch Fraunhofer IFF (2018)

115 Siehe hierzu auch European Parliamentary Research Service (2023)

116 Siehe z.B. Fraunhofer IGCV (2022), S. 6

Kollaborierende Roboter werden sowohl in Form gezielter Neuentwicklungen („Cobots“) als auch zur Erweiterung von klassischen Industrierobotern auf den Markt gebracht. Sobald für die neuen Formen die sicherheitstechnischen Anforderungen nach der ISO-Norm erfüllt werden müssen, werden sie vom IFR basierend auf Herstellermeldungen statistisch als „Cobots“ erfasst. Dem IFR zufolge lag der Anteil von Cobots an den jährlichen Neuinstallationen in der weltweiten Industrierobotik im Jahr 2017 bei 3% und ist mit einem CAGR von 38% (2017-2022) auf einen Anteil von 10% im Jahr 2022 angestiegen.¹¹⁷

3.2.3.2 Beitrag von innovativen digitalen Technologien

Für die Erfüllung der Voraussetzungen, unter denen Roboter stärker mit Menschen zusammenarbeiten können, spielen aus dem Bereich der digitalen Technologien insbesondere Sensorik, Software und KI eine Rolle.

Eine Grundvoraussetzung für die Geschwindigkeits- und Abstandsüberwachung sind ebenso wie für Leistungs- und Kraftbegrenzung Sensoren (z.B. Kraft- und Druckmessung) und entsprechende softwarebasierte Lösungen zur Verarbeitung der Messgrößen für Steuerungs- und Planungszwecke.¹¹⁸ Weiterentwicklungen im Bereich der KI-Methoden des maschinellen Lernens verbessern die Möglichkeiten der Kollaboration z.B. durch intelligente Echtzeit-Reaktionen auf Tätigkeiten des Menschen und proaktive und effiziente Zuarbeit z.B. in verschiedenen Montagephasen.¹¹⁹ Hier werden insbesondere intelligente Bildverarbeitungssysteme eingesetzt, um die mittels Kameras erfasste Körperhaltung und Bewegung von Menschen zu analysieren und modellbasiert Soll-Ist-Vergleiche der Aktivitäten zur Anpassung der Robotertätigkeit zu nutzen.¹²⁰ Auch Sprachsteuerungsmöglichkeiten können in bestimmten Anwendungsfällen für die Zusammenarbeit von Mensch und Roboter von Nutzen sein.

Wie bereits erwähnt erfordert die Mensch-Roboter-Kooperationen neben den digitalen Technologien auch bauliche Innovationen (insbesondere Leichtbaurobotik unter Einsatz leichter Baumaterialien und Designveränderungen wie z.B. abgerundete Konturen) sowie Schutzkonzepte in Form von Schulungen.

3.2.3.3 Auswirkungen auf die Robotik-Wertschöpfungskette

Der Trend zur stärkeren Kollaboration wird bereits von zahlreichen Robotik-Anbietern mit sehr unterschiedlichem Unternehmenshintergrund und Geschäftsmodell aufgegriffen, von Start-Ups bis hin zu den Global Playern.

¹¹⁷ Daten für 2022 liegen in der aktuellen Marktstudie 2023 des IFR noch nicht vor, siehe International Federation of Robotics (IFR) (2023), S. 15

¹¹⁸ Siehe hierzu auch Fraunhofer IFF (2018)

¹¹⁹ Siehe auch IFR, <https://ifr.org/industrial-robots> (zuletzt abgerufen am 16.11.2023)

¹²⁰ Siehe in Bezug auf die Forschung zum AI-basierten Cobot Fraunhofer IOSB, <https://www.iosb.fraunhofer.de/de/projekte-produkte/cobot.html> (zuletzt abgerufen am 16.11.2023) und als Anbieter eines AI Cobot Techman Robot, <https://www.tm-robot.com/en/> (zuletzt abgerufen am 16.11.2023)

Die ersten Vorstöße in Richtung Cobots unternahm KUKA auf der Basis von Forschungen des DLR Instituts für Robotik und Mechatronik zur Leichtbaurobotik. Hier wurde bereits seit den 90er Jahren an der Leitbaurobotik geforscht, ein erster Roboter (LBR I) im Jahr 1995 vorgestellt und anschließend bis zur Lizenzierung an KUKA im Jahr 2004 weiterentwickelt.¹²¹ KUKA, zum damaligen Zeitpunkt führender deutscher Roboterhersteller, entwickelte den LBR weiter bis zur Markteinführung, die insbesondere bei Automobilherstellern erfolgte.¹²² Es gelang KUKA jedoch nicht, diese Pionierposition für eine breitere Marktdurchdringung nutzen. Die von KUKA vermarkteten Cobots waren zu stark auf Großkunden zugeschnitten und entsprachen hinsichtlich Kosten und Anwendbarkeit nicht dem Bedarf von KMU.¹²³

Erst dem im Jahr 2008 gegründeten Cobot-Spezialist Universal Robots (siehe Abbildung 3-6) gelang die erfolgreiche Erschließung des neuen Marktsegments, in dem sich zwischenzeitlich vielfältige weitere Akteure positionieren. So betätigen sich internationale Cobot-Spezialisten (z.B. Techman Robot aus Taiwan, Doosan Robotics) ebenso wie andere global tätige Industrieroboter-Hersteller (z.B. FANUC, ABB) oder nationale Spezialisten (z.B. Franka Emika).¹²⁴ Kawasaki Robotics¹²⁵ entschied sich zusätzlich zu eigenen Cobot-Entwicklungen auch für eine Kooperation mit dem deutschen Start-Up Neura Robotics.¹²⁶

¹²¹ Siehe DLR: Geschichte des LBR, https://www.dlr.de/rm/desktopdefault.aspx/tabid-12464/21732_read-44586/ (zuletzt abgerufen am 16.11.2023)

¹²² Siehe KUKA: Cobots: die kollaborierenden Roboter als Kollegen, <https://www.kuka.com/de-de/future-production/mensch-roboter-kollaboration/cobots> (zuletzt abgerufen am 16.11.2023)

¹²³ Siehe Höpner, A. (2022)

¹²⁴ Siehe z.B. Verified Market Research (2021) und Wired Workers: Vom Roboter zum cobot, ein Blick in die Geschichte, <https://www.wiredworkers.io/de/vom-roboter-zum-cobot-ein-blick-in-die-geschichte/#:~:text=Der%20erste%20Cobot%20wurde%201996,Cobots%20auf%20den%20Markt%20gebracht.> (zuletzt abgerufen am 16.11.2023)

¹²⁵ Japanischer Pionier im Bereich der Robotik, der 1969 den ersten kommerziellen Industrieroboter in Japan herstellte, <https://kawasakirobotics.com/de/company/> (zuletzt abgerufen am 16.11.2023)

¹²⁶ Siehe o.V. (2023a)

Abbildung 3-6 Anbieterbeispiel für Cobots: Universal Robots

Cobots von Universal Robots	
Wer ist der Anbieter?	Universal Robots ist im Jahr 2005 in Odense/Dänemark als Start-Up aus einem Universitätsprojekt hervorgegangen. Im Jahr 2015 wurde das Unternehmen von Teradyne, einem US-amerikanischen Anbieter von Automatisierungslösungen, übernommen. Der Erfolg von Universal Robots trug zur Entwicklung eines bedeutenden Robotik-Clusters am Standort Odense bei.
Positionierung in der Wertschöpfungskette	<p>Universal Robots konzentriert sich auf die Entwicklung und den Bau von Robotern (bzw. Roboterarmen).</p> <p>Darüber hinaus setzt das Unternehmen auf Partnerschaften und Zulieferer, z.B. für mehr 340 Peripheriegeräte (u.a. für Einzelkomponenten, Software, Anwendungs-Kits und Lösungen).</p> <p>Die Anpassung für den spezifischen Use Case erfolgt über die bedarfsorientierte Konfiguration durch einen Systemintegrator.</p>
Worin besteht die Anwendung?	Die Kooperationsfähigkeit des Roboters mit Menschen wird durch bauliche Eigenschaften (Leichtbaurobotik), Sensorik und Software ermöglicht. UR hat fünf Roboter-Modelle entwickelt, die vom einfachen Leichtbauroboter/Tischroboter bis zu einem leistungsstarken Industrieroboter reichen und sich hinsichtlich ihrer Größe/Gewicht, Reichweite und Traglast unterscheiden.
Wer sind die Nutzer?	Industrieunternehmen, insbesondere KMU, aus verschiedenen Branchen setzen die UR-Roboter in der Breite der verschiedenen Anwendungsfelder ein (darunter z.B. Montage, Schweißen, Materialentfernen).
Was ist der Nutzen?	Der entscheidende Vorteil ergibt sich aus der Möglichkeit, Cobots in Reichweite von Menschen zu betreiben und auf Schutzeinrichtungen zu verzichten. Im Vergleich zu klassischen Industrierobotern sind Cobots deutlich günstiger und flexibler einsetzbar.

Quelle: WIK basierend auf öffentlich verfügbaren Informationen von Universal Robots

Aufgrund der hohen Arbeitsteiligkeit und des durch Cobots induzierten Marktwachstums in der Industrierobotik entsteht durch diese Entwicklung auch zusätzliches Umsatzpotential für Akteure, die Hardware- und Software zuliefern oder die Implementierung beim Anwenderunternehmen übernehmen.

3.2.4 Mobile autonome Roboter

3.2.4.1 Ausgangssituation

Stationäre Industrieroboter, die an einem Platz fest montiert sind, werden zunehmend ergänzt durch vielfältige Formen beweglicher Roboter, die beispielsweise auf Rädern, Ketten oder Beinen fahren oder als Drohnen fliegen können. Die erste Entwicklungen im Bereich der mobilen Robotik begannen bereits Mitte der 80er Jahre.¹²⁷ Mobile Roboter können in Industrieunternehmen insbesondere für vielfältige Aufgaben in Produktion und

¹²⁷ Siehe zur Historie z.B. Shneier, M.; Bostelman, R. (2015), S. 1-5

Logistik (z.B. im Palettentransport) genutzt werden. Darüber hinaus übernehmen mobile Roboter auch in sehr spezifischen Einsatzfeldern wiederkehrende oder für Menschen schädliche sowie schwierige Aufgaben in Industrieanlagen (z.B. als Inspektionsroboter in schwer zugänglichen oder gefährlichen Umgebungen).

Mobile Roboter sind dem Segment der in Industrieunternehmen eingesetzten Serviceroboter zuzuordnen (siehe Kapitel 2.1). Dieses Marktsegment ist sehr klein, weist jedoch ein deutliches Wachstum auf. Der Haupteinsatzbereich der in Industrieunternehmen eingesetzten Serviceroboter ist Transport und Logistik, andere Einsatzbereiche wie z.B. Reinigung sind deutlich weniger bedeutend (siehe auch Kapitel 2.2).¹²⁸

Die bisher am stärksten verbreiteten mobilen Robotervarianten können sich dabei in einem stark eingegrenzten und vorgegebenen Bereich bewegen. Derzeit sind viele mobile Roboter noch fest verkabelt und dadurch nur in einem geringen Radius beweglich. Mobile Roboter mit einem weitreichenderen Bewegungsfeld werden meist in Form von automatisierten spurgeführten Lösungen (z.B. mittels Magnetband-, Draht- oder Laserreflektoren) implementiert, die Transportaufgaben entlang vorgegebener Routen ausführen. Diese Roboter können jedoch mit unvorhergesehenen Veränderungen nicht umgehen. So führen z.B. Hindernisse in der vorgegebenen Fahrbahn dazu, dass die Aufgabe nicht ausgeführt werden kann.

Aktuell steht die Entwicklung von autonomen mobilen Roboter (AMR), humanoiden Robotern und die Weiterentwicklung von zugehörigen Softwarelösungen im Fokus. Für industrielle Anwenderunternehmen haben AMR dabei eine herausgehobene Bedeutung, während humanoide Roboter noch deutlich weniger weit entwickelt und auf spezifische Einsatzfelder ausgerichtet sind.

Im Gegensatz zu klassischen fahrerlosen Transportsystemen (FTS) sind autonome mobile Roboter (AMR) nicht von vorgegebenen Spurführungen abhängig und lassen sich schnell an neue Produktionsbedingungen anpassen, da sie ihre Umgebung in Echtzeit erfassen und sich unabhängig und sicher in dieser bewegen können.¹²⁹

3.2.4.2 Beitrag von innovativen digitalen Technologien

AMR sind eine neue Kategorie von Robotern, die aufgrund der geforderten Intelligenz für eigenständiges Agieren in sich verändernden Umgebungen nur mittels digitaler Technologien realisierbar ist. Eine Vielzahl von innovativen Hardware- und Softwarelösungen ist für die Entwicklung von AMR erforderlich. Die oben aufgezeigten Technologien für eine vereinfachte Implementierung und für die Bewältigung komplexer Aufgaben fließen auch in AMR ein. AMR sind zudem eine Teilkomponente der Smart Factory.

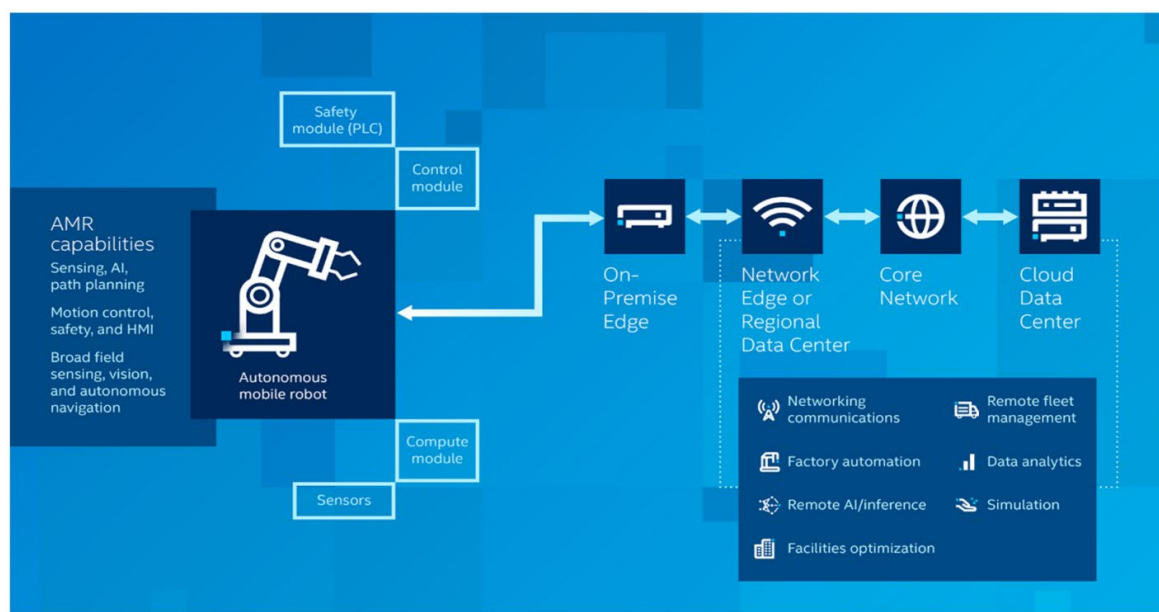
¹²⁸ Siehe International Federation of Robotics (IFR) (2023c), S. 42

¹²⁹ Siehe hierzu auch Giannetti, R. (2023)

Die Realisierung von AMR ist von Kameras und Sensorik abhängig, die unerwartete Hindernisse oder unvorhergesehene Veränderungen erfassen. Zudem sind Navigationssysteme, Software und KI erforderlich, um AMR zur dynamischen Reaktion auf unerwartete Hindernisse zu befähigen, Kollisionen zu vermeiden und Wege in Echtzeit anzupassen. KI-Technologien tragen dazu bei, die Wegeplanung der AMR noch effizienter auszugestalten.¹³⁰

Und schließlich funktionieren AMR-Lösungen nur durch Konnektivität mittels Funktechnologien sowie Anbindung an die Cloud, um die im Betriebsprozess anfallenden Datenmengen zu verarbeiten und entsprechende Analyse- und Fernsteuerungsmöglichkeiten umzusetzen (siehe auch Abbildung 3-7). Die derzeit vorherrschenden WLAN-Anbindungen von AMR werden perspektivisch auf 5G umgestellt, da die technologiespezifischen Vorteile einen hohen Nutzen für AMR haben.¹³¹

Abbildung 3-7 Komponenten und Architektur von intelligenten mobilen Robotern



Quelle: Raj, R.; Kos, A. (2022)¹³², S. 15

3.2.4.3 Auswirkungen auf die Robotik-Wertschöpfungskette

Das Marktsegment der AMR ist (ebenso wie der gesamte Markt für Servicerobotik) durch eine höhere Vielfalt gekennzeichnet als der Markt für Industrierobotik.¹³³

¹³⁰ Siehe hierzu Raj, R.; Kos, A. (2022), S. 10 f.

¹³¹ Siehe z.B. Giannetti, R. (2023)

¹³² Siehe Raj, R.; Kos, A. (2022), S. 15

¹³³ Siehe International Federation of Robotics (IFR) (2023c), S. 45-46

AMR werden zwar auch von Global Playern wie FANUC und ABB angeboten, jedoch haben mittelständische Unternehmen einen größeren Marktanteil als in der Industrierobotik.¹³⁴ So spielen neben den insgesamt in der Servicerobotik stark vertretenen asiatischen Herstellern auch deutsche Hersteller eine Rolle im Markt für AMR. Führende deutsche Maschinenbauunternehmen (z.B. Dürr, Jungheinrich, Grenzebach) stellen AMR her, Systemintegratoren (z.B. BÄR Automation GmbH) implementieren die Roboter bei den Anwenderunternehmen. Auch deutsche Start-Ups mit einem Fokus auf Softwarelösungen für spezifische AMR-Anwendungen (z.B. Energy Robotics im Bereich der Inspektionsroboter, siehe Abbildung 3-8) oder Roboter-Herstellung (z.B. Adlatus Robotics mit Fokus auf Reinigungsroboter) sind in den Markt für Servicerobotik eingetreten. Die Vielzahl der erforderlichen Komponenten (Kameras, Sensoren etc.) und Sicherheitslösungen wird von den gleichen Anbieter bereitgestellt wie im Bereich der Industrieroboter. Da drahtlose Konnektivität für mobile autonome Roboter unumgänglich ist, haben Anbieter von entsprechenden Lösungen hier eine größere Bedeutung als bei anderen Markttrends wie z.B. kollaborierenden Robotern.

Abbildung 3-8 Anbieterbeispiel für AMR: Energy Robotics

Software-Lösungen für Inspektionsroboter (Energy Robotics)	
Wer ist der Anbieter?	Energy Robotics ist ein 2016 gegründetes Unternehmen, das aus der TU Darmstadt hervorgegangen ist und sich auf Software für Robotik-Lösungen spezialisiert.
Positionierung in der Wertschöpfungskette	Energy Robotics bietet Softwarelösungen für Inspektionsaufgaben an und arbeitet mit Herstellern verschiedener Roboter (z.B. Boston Robotics, Rover Robotics) zusammen. Energy Robotics nutzt die Cloudlösung von AWS.
Worin besteht die Anwendung?	Verschiedene Roboter werden in die Lage versetzt, sich autonom auf Öl- und Gasplattformen, in Chemieanlagen und Kraftwerke zu bewegen und diese in vielerlei Hinsicht zu prüfen. Sie erfassen mittels Kamera und Sensorik ungewöhnliche Objekte, Vorgänge, Temperaturen und weitere Indikatoren. Realisiert wird die Lösung von Energy Robotics über ein hardware-unabhängiges Roboterbetriebssystem mit einem cloudbasierten Flottenmanagement und einer KI-getriebenen Datenanalyse für industrielle Anwendungen.
Wer sind die Nutzer?	Der Branchenfokus liegt auf der Öl-, Gas- Chemie- und Energiewirtschaft. Zu den Anwendern gehören z.B. Shell, Meck, BASF, Eon, Evonik.
Was ist der Nutzen?	Durch die Automatisierung von personalintensiven Überwachungsaufgaben kann der Personalaufwand stark reduziert werden. Zudem sind einige Anlagen für Menschen gefährlich (z.B. Explosionsgefahr in Chemieanlagen) oder schwer erreichbar (z.B. Ölplattformen). Des Weiteren werden Betriebsinformationen bereitgestellt, die u.a. eine vorausschauende Wartung und frühzeitige Erkennung von Störungen (z.B. Gaslecks) ermöglichen.

Quelle: Energy Robotics, <https://de.energy-robotics.com/> (zuletzt abgerufen am 16.11.2023)

¹³⁴ Siehe z.B. WAKU Robotics (2023), S. 11

3.2.5 Robotik in der Smart Factory

3.2.5.1 Ausgangssituation

Unter einer Smart Factory kann eine „zukunftsfähige Fabrik“ verstanden werden, die durch die „digitale Vernetzung aller Elemente der Wertschöpfungskette“ geprägt ist und als „Basis für selbststeuernde und autonome Unternehmensprozesse“ fungiert.¹³⁵ Die Rolle des Menschen ist in diesem Szenario hauptsächlich auf Aufgaben der Produktionsüberwachung und -planung reduziert.

Für die Realisierung von komplett digitalisierten Fabriken fungieren Roboter als Schlüsselkomponente.¹³⁶ Die Potentiale der Robotik und vollständigen Automatisierung für die Errichtung von global wettbewerbsfähigen Produktionsstätten werden von den Roboterherstellern auch vertrieblich herausgestellt. Sie argumentieren, dass digitale Fabriken das Potential eröffnen, Fertigung wieder zunehmend nach Deutschland zurückzuverlagern („Reshoring“).¹³⁷

Das Konzept der Smart Factory wird schon seit etwa zehn Jahren diskutiert und erforscht, entspricht aber realistisch betrachtet immer noch eher eine Zukunftsvision (siehe Kapitel 3.2.5.3). Einige überzogene Erwartungen mussten in den vergangenen Jahren aufgrund technischer und organisatorischer Herausforderungen revidiert werden.¹³⁸ Auch die Realisierung einer bedarfsgerechten Konnektivität für Maschinen und Roboter gehört zu den herausfordernden Aufgaben. An der drahtlosen Kommunikation von Maschinen und an der Nutzung von 5G wird derzeit intensiv gearbeitet (z.B. in der Arbeitsgemeinschaft Wireless Communications for Machines im VDMA¹³⁹ und in den 5G testbeds der 5G Alliance for Connected Industries and Automation (5G-ACIA)¹⁴⁰).

Alle Kategorien von Robotern – z.B. klassische Industrieroboter, Cobots, Serviceroboter – und eine Vielzahl von Robotik-Anwendungen sind für die Smart Factory relevant. Klassische Industrieroboter sind in den Betrieben meist noch stand alone implementiert, d.h. gar nicht mit anderen Robotern oder Maschinen vernetzt.¹⁴¹ Sofern einzelne Roboter an das Internet angebunden sind, dient dies i.d.R. zur Auslesung der Maschinendaten oder

¹³⁵ Siehe Fraunhofer IML (2020), S. 1

¹³⁶ vgl. zur Rolle der Robotik im Smart Factoring auch Zhihao, L. et al. (2022) und Kunze, S. (2020)

¹³⁷ Diese Aussage wird z.B. gestützt durch eine von ABB Robotics beauftragte Befragung, der zufolge 74 % der europäischen und 70% der US-amerikanischen Unternehmen ein Re- oder Nearshoring ihrer Produktion planen. Im Jahr 2022 unter 1.610 US-amerikanischen und europäischen Unternehmen, siehe <https://new.abb.com/news/de/detail/100417/abb-nennt-die-wichtigsten-robotik-trends-fur-2023> (zuletzt abgerufen am 16.11.2023). Auch im Rahmen unserer Studie gab es Beispiele für Unternehmen, die ihre Fertigungstiefe mittels Robotik erhöhen möchten und Unabhängigkeit von Lieferanten anstreben.

¹³⁸ Siehe hierzu auch Berger, R. (2023)

¹³⁹ Siehe zu den Zeilen und bereits veröffentlichten Ergebnissen, z.B. einem Handbuch zur technologie-neutralen Orientierung im Bereich der industrietauglichen drahtlosen Kommunikationstechnologien im Maschinenbauökosystem: <https://www.vdma.org/wireless-communications-for-machines> (zuletzt abgerufen am 16.11.2023)

¹⁴⁰ Siehe <https://5g-acia.org/> (zuletzt abgerufen am 16.11.2023)

¹⁴¹ Siehe hierzu z.B. auch Curryier, E. (2023)

zur Fernüberwachung ihrer Funktionsfähigkeit. Die Konnektivität wird typischerweise über das Festnetz realisiert (z.B. Industrial Ethernet). Serviceroboter hingegen sind für ihre Funktionsfähigkeit auf Konnektivität angewiesen, machen aber im Vergleich zu Industrierobotern einen geringen Teil der gesamten Robotik-Installationen in der Industrie aus (siehe Kapitel 2.2). Aktuell wird ihre Vernetzung vorrangig mit WLAN realisiert.

Die Vernetzung der Roboter untereinander und ihre Integration mit anderen Maschinen bildet einen wichtigen Zwischenschritt auf dem Weg hin zur immer stärker digitalisierten Fabrik. Hier werden Roboter zur Erfüllung komplexerer Aufgaben gemeinsam mit anderen Maschinen eingesetzt, um einen kompletten Prozessschritt auszuführen (z.B. die Be- und Entladung von Werkzeugmaschinen durch Roboter). Dabei werden häufig verschiedene Robotertypen, z.B. mobile Roboter und Cobots, miteinander kombiniert.

In Bezug auf die Vernetzung von Robotern untereinander sowie in übergeordnete Maschinensteuerungen bilden uneinheitliche Schnittstellen dabei ein wesentliches Hemmnis.¹⁴² Die führenden Roboterhersteller gestalten ihre Schnittstellen unterschiedlich aus.¹⁴³ Jedoch nicht nur die Robotik, sondern auch andere Komponenten der Smart Factory sind durch geringe Standardisierung charakterisiert. So gibt es zwar seitens verschiedenster Organisationen Standardisierungsbemühungen rund um die Smart Factory, unter denen ISO und IEEE eine herausgehobene Rolle spielen. Allerdings sind die dort entwickelten Standards noch nicht weit verbreitet.¹⁴⁴

Die ambitioniertesten Vorhaben der Fabrikvernetzung wurden von großen Unternehmen in der Automobilbranche umgesetzt, die auch die wichtigste Anwenderbranche der Robotik ist. Zu den Vorreiterprojekten der Automobilbranche gehört die Factory 56 von Mercedes-Benz in Sindelfingen, die im September 2020 eröffnet wurde und rund 730 Mio. Euro Investitionen erforderte.¹⁴⁵ In dieser Fabrik werden 56 Montageanlagen und die Fördertechnik miteinander über WLAN und 5G vernetzt, klassische Fließbänder werden durch mobile Transportroboter ersetzt.¹⁴⁶ Die dort implementierten Robotik-Anwendungen werden von vielfältigen Roboter-Herstellern und anderen Akteuren des Robotik-Ökosystems erbracht. Allein 550 mobile Transportroboter von Safelog sind im Einsatz.¹⁴⁷ Safelog ist ein deutscher Hersteller von autonomen mobilen Robotern, der im Jahr 2006 in München gegründet wurde und aus einem Ingenieurbüro mit Prüfungstätigkeit im Automobilsektor hervorgegangen ist.¹⁴⁸

¹⁴² Siehe hierzu in Bezug auf AMR z.B. Giannetti, R. (2023)

¹⁴³ Kuka, Yaskawa, Stäubli bieten offene Schnittstellen für die Robotersteuerung zu gängigen Maschinenschnittstellen (SPSen) an, ABB integriert die Roboter direkt in die Maschinensteuerung. Siehe hierzu im Detail z.B. o.V. (2021)

¹⁴⁴ Siehe Microsoft/Intel (2022), S. 37

¹⁴⁵ Siehe Mercedes-Benz (2020): Factory 56, <https://group.mercedes-benz.com/innovation/digitalisierung/industrie-4-0/eroeffnung-factory-56.html> (zuletzt abgerufen am 16.11.2023)

¹⁴⁶ Hier sind z.B. alleine 550 mobile Transportroboter der Firma Safelog im Einsatz, näheres unter o.V. (2023b)

¹⁴⁷ Siehe o.V. (2023b)

¹⁴⁸ Siehe <https://www.safelog.de/unternehmen/> (zuletzt abgerufen am 16.11.2023)

In der Unternehmensrealität sind komplette Neuerrichtungen (Greenfield) von Fabriken die Ausnahme. Vielmehr müssen Roboter meist in vorhandene Produktionsumgebungen (Brownfield) mit heterogenem und teils jahrzehntealten Maschinenbeständen integriert werden.¹⁴⁹ Realistischerweise wird die Digitalisierung von Fabriken Schritt für Schritt vollzogen, wobei erste Use Cases eingeführt und anschließend erweitert oder skaliert werden können.¹⁵⁰ Der Automobil- und Industrielieferer Schaeffler plant bis 2030 ein digitalisiertes Produktionsmodell für seine 83 weltweit verteilten Werke auf der Grundlage der durchgängigen Konnektivität der Maschinen. Ein wesentlicher Baustein ist die schrittweise Erzeugung von digitalen Abbildern der Produktion. Diese digitalen Zwillinge werden z.B. auch für das Training eines Cobots bei der Einrichtung für einen neuen Arbeitsschritt genutzt.¹⁵¹

3.2.5.2 Beitrag von innovativen digitalen Technologien

Die Smart Factory ist ohne ein breites Spektrum an innovativen digitalen Technologien nicht realisierbar. Eine Vielfalt an digitalen Lösungen ist erforderlich, um die umfassenden Datenmengen zur Optimierung der Produktionseffizienz zu analysieren. Dies geschieht auf der Grundlage von komplett vernetzten Anlagen und Prozessen. Alle Robotik-Anwendungen - auch die traditionell „stand alone“ implementierten Industrieroboter - müssen in diese zunehmend vernetzten Produktionsprozesse integriert werden.¹⁵² In einer wichtigen Zwischenstufe auf dem Weg zur Smart Factory werden in einem spezifischen Produktionsabschnitt einzelne Roboter untereinander und mit anderen Maschinen vernetzt.

Insbesondere drahtlose Konnektivitätstechnologien sind von zentraler Bedeutung für die Realisierung von Smart Factory-Ansätzen. Aus dem Bereich der innovativen drahtlosen Vernetzungstechnologien spielt 5G eine herausgehobene Rolle, um die Umsetzung von anspruchsvollen Robotik-Anwendungen in der komplett vernetzten Fabrik zu realisieren. Dabei bietet 5G für innovative Industrieanwendungen (insbesondere mobile autonome Roboter) aufgrund der technologiespezifischen Vorteile in Bezug auf Bandbreite, Latenz und Zuverlässigkeit besonders hohe Potentiale für die Fabrikautomation (siehe Abbildung 3-9).

Einen besonders großen Spielraum für die Realisierung von Smart Factories und die für den Robotereinsatz schaffen 5G-Campusnetze¹⁵³, da sie in hohem Maße an die spezifischen Bedürfnisse des Industrieunternehmens anpassbar sind und im Vergleich zum

¹⁴⁹ Siehe hierzu z.B. KUKA (2021)

¹⁵⁰ Siehe z.B. Technologie-Initiative SmartFactory KL e.V., Kaiserslautern, in Bezug auf die Automobilindustrie Tiedemann, Y. (2022)

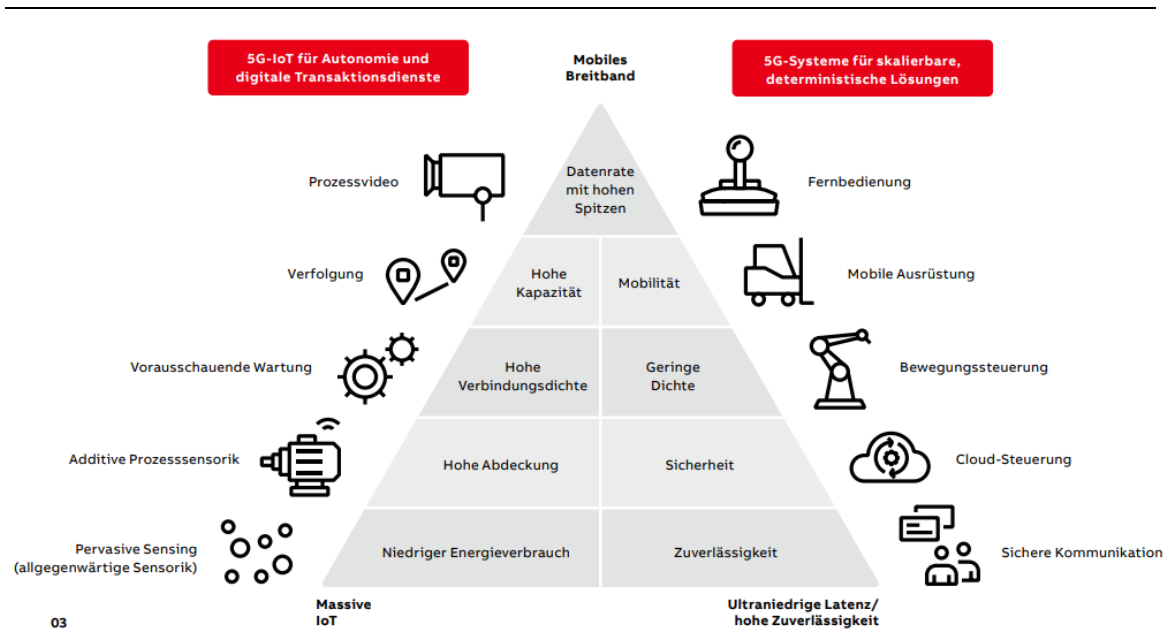
¹⁵¹ Siehe z.B. <https://www.schaeffler.com/de/medien/stories/stories-digitalisierung/smart-factory/> (zuletzt abgerufen am 16.11.2023)

¹⁵² Siehe hierzu ausführlich International Federation of Robotics (IFR) (2020)

¹⁵³ Für die Umsetzungsmöglichkeiten spielt dabei die Art der Implementierung des 5G-Netzes, z.B. stand alone oder Non stand alone oder die Art der 5G-Nutzung durch das Anwenderunternehmen (z.B. privates Campusnetzwerk oder öffentliches Mobilfunknetz) eine Rolle. Da sich der Aufbau des 5G-Netzes noch in einer frühen Phase befindet, sind dies auch die entsprechenden 5G-Robotikanwendungen.

„Best Effort“ der öffentlichen Mobilfunknetze eine stark verbesserte Kontrollmöglichkeit über Aspekte wie Qualität und Sicherheit bieten.¹⁵⁴

Abbildung 3-9 5G für die industrielle Anwendungen



Quelle: ABB (2021)¹⁵⁵

3.2.5.3 Auswirkungen auf die Robotik-Wertschöpfungskette

Eine vollständig digitalisierte Produktion ist ein Markttrend, von dem grundsätzlich alle Akteure im Robotik- bzw. Automatisierungsmarkt profitieren können: Wenn hochkomplexe Smart Factories errichtet werden, sind Komponenten und Fachkompetenz aus allen Wertschöpfungsbereichen der Robotik erforderlich. Im Vordergrund steht jedoch die Vernetzung.

Es ist davon auszugehen, dass smarte Fabriken zunächst von denjenigen Industrieunternehmen errichtet werden, die auch bisher schon Nutzer von klassischen Industrierobotern sind (d.h. größere Unternehmen aus der Automobil und Maschinenbaubranche). Der Bestand an eingesetzten klassischen Industrierobotern dürfte sich dabei weniger stark erweitern als die Ergänzung um weitere Roboter (z.B. mobile autonome Transportroboter, Cobots, professionell eingesetzte Serviceroboter für Inspektion und Reinigung) und ein breites Spektrum an Lösungen zur Automation und Vernetzung.

Die Planung und Umsetzung von smarten Fabriken für industrielle Anwenderunternehmen erfordert auch eine übergeordnete Projektsteuerung. Hier entsteht ein erweitertes

¹⁵⁴ Einige dieser Vorteile lassen sich jedoch auch über network slicing oder spectrum leasing erreichen, siehe GSMA (2022)

¹⁵⁵ Siehe Schulz, D. (2021), S. 33

Betätigungsfeld für Systemintegratoren mit umfassender Automatisierungskompetenz, die die vielfältigen Komponenten beim Anwenderunternehmen in einem Gesamtkonzept zusammenzuführen. Sie haben auch eine hohe Relevanz für die Umsetzung von Teilprojekten für die Smart Factory oder von vernetzten Roboterzellen. Dieses Potential nutzt z.B. die SW Schwäbische Werkzeugmaschinen GmbH, die maßgeschneiderte Lösungen auf Basis standardisierter Hardware- und Softwaremodule konzipiert und auch als Partner von KUKA fungiert. Das Unternehmen bietet z.B. Lösungen für vernetzte CNC¹⁵⁶-Bearbeitungszentren zu autarken Zellen oder Fertigungslinien an.¹⁵⁷

Welche Akteure im Einzelnen von dem hohen Wertschöpfungspotential der Smart Factory profitieren werden, hängt auch von der Ausgestaltung der Rahmenbedingungen u.a. in den Bereichen Standardisierung, IT-Sicherheit und Plattformen ab, in denen jeweils komplexe Fragestellungen mit schwierig überschaubaren Auswirkungen auf die Wettbewerbsfähigkeit der beteiligten Marktakteure zu lösen sind.

Große Akteure des Robotik-Ökosystems sind in vielfacher Hinsicht eine treibende Kraft bei der Ausgestaltung der Smart Factories. Sie sind zum einen aufgrund ihrer Größe und Ressourcen wichtige Partner in Forschungsprojekten, Initiativen und in Arbeitskreisen der Branche, bei denen es um die Verbesserungen der Rahmenbedingungen geht (z.B. im Rahmen des VDMA, 5G ACIA). Sie befassen sich intensiv mit den Potentialen, die 5G für die Robotik bietet, und sind in laufende Forschungsprojekte mit Partnern involviert.¹⁵⁸ In den aktuellen Forschungsprojekten rund um 5G bildet Robotik einen wichtigen Use Case (z.B. am 5G Industry Campus in Aachen¹⁵⁹). KUKA hat an seinem Hauptstandort in Augsburg ein 5G Campusnetz errichtet, in dem die smarte Produktion erprobt wird.¹⁶⁰ ABB führt in Kooperation mit Ericsson Tests zur Realisierung von 5G-Konnektivität für Industrieroboter durch.¹⁶¹

156 Computerized Numerical Control-Maschinen sind Werkzeugmaschinen, die über eine Steuerungstechnik verfügen und Werkstücke mit hoher Präzision herstellen können

157 https://sw-machines.com/produkte/automation/?gclid=EAlalQobChMlOfi-OyouYgQMVJ4poCR2VDAqMEAMYASAAEgLTsPD_BwE (zuletzt abgerufen am 16.11.2023)

158 Siehe z.B. ABB (2020)

159 <https://5g-industry-campus.com/use-cases/> (zuletzt abgerufen am 16.11.2023)

160 Siehe KUKA (2022)

161 Siehe 5GACIA: 5G-Based Industrial Robotics, <https://5g-acia.org/testbeds/5g-based-industrial-robotics/> (zuletzt abgerufen am 16.11.2023)

4 Fazit

Innovative digitale Technologien – insbesondere in den Bereichen Sensorik, Software/KI und Cloud - ermöglichen Weiter- und Neuentwicklungen des Robotik-Angebots, die bestehende Hemmnisse einer breiteren Marktdurchdringung überwinden können und zusätzliches Umsatzpotential im Robotik-Markt schaffen.

Eintrittshürden für kleine und mittlere Unternehmen, denen es an Fachkompetenz und finanziellen Ressourcen mangelt, werden durch die zunehmend einfachere Implementierbarkeit und eine höhere Bedienerfreundlichkeit der Roboter im laufenden Nutzungsprozess deutlich gesenkt. Zudem macht die zunehmende Fähigkeit von industriell eingesetzten Robotern zur Bewältigung von komplexen Aufgaben die Robotik auch für diejenigen Industrieunternehmen attraktiv, deren Produktion durch eine hohe Variantenvielfalt gekennzeichnet ist. Darüber hinaus ergänzen kollaborierende Roboter die klassische Robotik-Systeme großer Industrieunternehmen und erschließen Nutzungspotentiale in KMU, die bisher aus Kosten- und Platzgründen nicht in die Industrierobotik investiert haben.

Einige Weiterentwicklungen in der Robotik sind nur durch Vernetzung realisierbar. So entsteht mit mobilen autonomen Robotern eine neue Robotervariante im Bereich der professionellen Servicerobotik, die auf drahtloser Vernetzung basiert und vor allem für den Einsatz im Transportbereich und für spezifische Aufgaben wie z.B. Inspektion einsetzbar ist. Diese spielen auch eine Rolle in der noch als Zukunftsvision zu sehenden smarten Fabrik, in der eine vollständige Vernetzung aller Maschinen, Anlagen und Prozesse angestrebt wird.

Der Robotik-Markt wird durch die Digitalisierung graduell verändert und diese führt – anders als an anderen Märkten - nicht zu disruptiven Entwicklungen, die bestehende Geschäftsmodelle der Industrierobotik obsolet machen.

Vielmehr schaffen die digitalisierungsgetriebenen Veränderungen schrittweise zusätzliches Umsatzpotential im Markt für industrielle Robotik-Anwendungen, von dem vielfältige Akteure im Robotik-Ökosystem profitieren können.

Es ist zu beobachten, dass die Anbietervielfalt und der hohe Spezialisierungsgrad im Robotik-Markt durch die zunehmende Bedeutung innovativer digitaler Technologien noch weiter steigt. Daher gewinnen auch Kooperationen, die Spezialisten auf verschiedenen Ebenen zusammenführen und auch mit großen Marktführern stattfinden, noch mehr an Bedeutung.

Literaturverzeichnis

- ABB (2020): Roboter erstmals mit 5G in Echtzeit gesteuert, 29.01.2020, <https://www.industry-of-things.de/robo-ter-erstmals-mit-5g-in-echtzeit-gesteuert-a-900123/> (zuletzt abgerufen am 14.11.2023).
- ABB (2021a): ABB übernimmt ASTI Mobile Robotics Group und treibt nächste Generation flexibler Automatisierung mit autonomen mobilen Robotern voran, Pressemitteilung vom 20.07.2021, <https://new.abb.com/news/de/detail/80662/abb-uebernimmt-asti-mobile-ro- botics-group-und-treibt-naechste-generation-flexibler-automatisierung-mit-autonomen- mobilen-robotern-voran> (zuletzt abgerufen am 14.11.2023).
- ABB (2021b): ABB treibt gemeinsam mit Start-up Sevensense die nächste Generation autonomer mobiler Roboter voran, Pressemitteilung vom 18.11.2021, <https://new.abb.com/news/de/detail/84825/abb-treibt-gemeinsam-mit-start-up-seven- sense-die-nachste-generation-autonomer-mobiler-robo-ter-voran> (zuletzt abgerufen am 14.11.2023).
- Amazon (2022): 10 years of Amazon robotics: how robots help sort packages, move product, and im- prove safety, 22. Juni 2022, <https://www.aboutamazon.com/news/operations/10- years-of-amazon-robotics-how-robots-help-sort-packages-move-product-and-improve- safety> (zuletzt abgerufen am 14.11.2023).
- Armbruster, H.; Kirner, E.; Kinkel, S. (2006): Neue Kundengruppen für Industrieroboter, Mitteilun- gen aus der Produktionsinnovationserhebung, Nr. 38, März 2006, <https://www.isi.fraun- hofer.de/content/dam/isi/dokumente/modernisierung-produktion/erhebung2003/pi38.pdf> (zuletzt abgerufen am 14.11.2023).
- Barga, R. (2020): Role of the cloud in the future of robotics, presentation by AWS Robotics, https://static1.squarespace.com/static/51df34b1e4b08840dcfd2841/t/5fa389d93f2f0f1df1 67800e/1604553189443/1_3+Roger_Amazon.pdf (zuletzt abgerufen am 14.11.2023).
- Berger, R. (2023): The current state of "Industry 4.0" - What can other industries learn from lead- ing automotive manufacturers, https://content.rolandberger.com/hubfs/RolandBerger_In- dustry_4.0-final.pdf?utm_campaign=22-0023_European-pe-outlook&utm_me- dium=email&_hsmi=237909477&_hsenc=p2ANqtz- HMy5Ax835wrWD0o_XCHUsVd9_6UgbFRx_bWor- OHBaAMe1H8cnM7DxdxOXQ_2TpA_RdJ-NTmmrcSX-T4ZgtJue40hQ&utm_con- tent=237909477&utm_source=hs_automation (zuletzt abgerufen am 14.11.2023).
- Bremmer, M. (2022): Was bietet welche IoT-Cloud?, in Computerwoche, 24.02.2022, <https://www.computerwoche.de/a/was-bietet-welche-iot-cloud,3552756> (zuletzt abgeru- fen am 14.11.2023).
- Bruch, G. (2022): IFR: In 2021 wurden weltweit erstmals > 500.000 Roboter installiert, MRK Blog, 13. Oktober 2022, <https://mrk-blog.de/ifr-in-2021-wurden-weltweit-erstmals-500-000-ro- boter-installiert/> (zuletzt abgerufen am 14.11.2023).
- Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) (2022): Digitalisierung der Wirtschaft in Deutschland - Technologie- und Trendradar 2022, https://www.de.digi- tal/DIGITAL/Redaktion/DE/Digitalisierungsindex/Publikationen/publikation-download- technologie-trendradar-2022.pdf?_blob=publicationFile&v=1 (zuletzt abgerufen am 14.11.2023).

- Chebotar, Y.; Yu, T. (2023): RT-2: New model translates vision and language into action, 28. Juli 2023, <https://deepmind.google/discover/blog/rt-2-new-model-translates-vision-and-language-into-action/> (zuletzt abgerufen am 14.11.2023).
- Crowe, S. (2022): Intrinsic acquires ROS maker Open Source Robotics Corp, 15. Dezember 2022, <https://www.therobotreport.com/intrinsic-acquires-ros-maker-open-source-robotics-corp/> (zuletzt abgerufen am 14.11.2023).
- Curryier, E. (2023): Connecting the bots – the need for 5G in robotics, 8. August 2023, <https://tech-informed.com/connecting-the-bots-the-need-for-5g-in-robotics/#:~:text=Unplugging%20the%20cables&text=5G%20also%20makes%20it%20possible,the%20object%20or%20something%20worse.> (zuletzt abgerufen am 14.11.2023).
- Destatis (2022): IKT-Indikatoren für Unternehmen 2022, <https://www-genesis.destatis.de/genesis/online?operation=ergebnistabelleUmfang&levelindex=1&levelid=1698400423880&downloadname=52911-0004#abreadcrumb> (zuletzt abgerufen am 14.11.2023).
- Dose, J. (2022): Kuka nimmt Kurs auf die Public Cloud, 10.10.2022, https://www.cio.de/a/kuka-nimmt-kurs-auf-die-public-cloud_3694469 (zuletzt abgerufen am 14.11.2023).
- European Parliamentary Research Service (2023): Analysis exploring risks and opportunities linked to the use of collaborative industrial robots in Europe, June 2023, [https://www.europarl.europa.eu/Reg-DATA/etudes/STUD/2023/740259/EPRS_STU\(2023\)740259_EN.pdf](https://www.europarl.europa.eu/Reg-DATA/etudes/STUD/2023/740259/EPRS_STU(2023)740259_EN.pdf) (zuletzt abgerufen am 14.11.2023).
- Fraunhofer IFF (2018): Sichere Mensch-Roboter-Kollaboration zuverlässig und effizient planen, <https://www.iff.fraunhofer.de/content/dam/iff/de/dokumente/publikationen/computer-aided-safety-fraunhofer-iff.pdf> (zuletzt abgerufen am 14.11.2023).
- Fraunhofer IGCV (2022): Leitfaden für den ortsflexiblen Einsatz von kollaborativen Robotern, zum Download verfügbar unter <https://publica.fraunhofer.de/entities/publication/a7ca28b0-8255-4191-b108-179f2cfea81d/details> (zuletzt abgerufen am 14.11.2023).
- Fraunhofer IKS (2023): Künstliche Intelligenz (KI) und maschinelles Lernen, <https://www.iks.fraunhofer.de/de/themen/kuenstliche-intelligenz.html> (zuletzt abgerufen am 14.11.2023).
- Fraunhofer IML (2020): Der Weg zur Smart Factory, Whitepaper, https://www.iml.fraunhofer.de/content/dam/iml/de/documents/101/15_Whitepaper_Smartfactory.pdf (zuletzt abgerufen am 14.11.2023).
- Fraunhofer IPA (2022): AI Picking, https://www.ipa.fraunhofer.de/content/dam/ipa/de/documents/Kompetenzen/Roboter--und-Assistenzsysteme/PB_300_470_AI_Picking.pdf (zuletzt abgerufen am 14.11.2023).
- Gasparetto, A. and Scalera, L. (2019) A Brief History of Industrial Robotics in the 20th Century. Advances in Historical Studies Vol, 8, S. 24-35, <https://www.scirp.org/journal/paperinformation.aspx?paperid=90517#:~:text=The%20history%20of%20industrial%20robotics%20is%20conventionally%20set%20in%20the,Goe-rtz%20in%201949%2C%20for%20instance> (zuletzt abgerufen am 14.11.2023).
- Giannetti, R. (2023): Wie autonome mobile Robotik smart und intuitiv wird, in: maschinenbau: Die Deutschland-Ausgabe des Schweizer Industriemagazins, 1/2023, S. 50-52, <https://www.mobile-industrial-robots.com/de/nachrichten-artikel-zu-mir/wie-autonome-mobile-robotik-smart-und-intuitiv-wird/> (zuletzt abgerufen am 14.11.2023).

- Godlovitch, I.; Kroon, P. (2022): Interoperability, switchability and portability – implications for the Cloud, WIK-Consult-Studie für Microsoft, 4. November 2022, https://www.wik.org/fileadmin/files/migrated/news_files/WIK-C_Studie_Implikationen-fuer-die-Cloud.pdf (zuletzt abgerufen am 14.11.2023).
- Groshev, M.; Baldonni, G.; Cominardi, L.; de la Oliva, A.; Gazda, R. (2023): Edge robotics: are we ready? An experimental evaluation of current vision and future directions, in: Digital Communications and Networks, Vol. 9, Issue 1, February 2023, S. 166-174, <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352864822000888> (zuletzt abgerufen am 14.11.2023).
- GSMA (2022): Spectrum leasing in the 5G era, <https://www.gsma.com/spectrum/wp-content/uploads/2022/01/Spectrum-Leasing-5G-Era.pdf> (zuletzt abgerufen am 14.11.2023).
- Höpner, A. (2022): Kuka will langfristig Weltmarktführer werden, 28.06.2022, <https://www.handelsblatt.com/technik/gadgets/automatisierung-kuka-will-langfristig-weltmarktfuehrer-werden/28438722.html> (zuletzt abgerufen am 14.11.2023).
- Institut für Mittelstandsforschung Bonn (IfM) (2023): KMU-Definition der Europäischen Kommission, <https://www.ifm-bonn.org/definitionen/kmu-definition-der-eu-kommission> (zuletzt abgerufen am 14.11.2023).
- International Federation of Robotics (IFR) (2020): How Connected Robots are Transforming Manufacturing, October 2020, https://ifr.org/downloads/hidden/Information_Paper_How_Robots_are_Transforming_Manufacturing_V01.pdf?utm_source=CleverReach&utm_medium=email&utm_campaign=Paper+Download&utm_content=Mailing_12323895 (zuletzt abgerufen am 14.11.2023).
- International Federation of Robotics (IFR) (2021): A Mobile Revolution - How mobility is reshaping robotics, June 2021, https://ifr.org/downloads/hidden/Information_Paper_Mobile_Robots_v01.pdf?utm_source=CleverReach&utm_medium=email&utm_campaign=Paper+Download&utm_content=Mailing_12323895 (zuletzt abgerufen am 14.11.2023).
- International Federation of Robotics (IFR) (2023a): Roboter-Forschung: Wie Asien, Europa und Amerika investieren – Globaler IFR-Report 2023, https://ifr.org/downloads/press2018/DE-2023-JAN-12-IFR-PRESSEMELDUNG-RD-World_Robotics_Programme.pdf (zuletzt abgerufen am 14.11.2023).
- International Federation of Robotics (IFR) (2023b): World Robotics 2023 Report: Asia ahead of Europe and the Americas - Growth in all regions and major markets, Pressemitteilung vom 26.09.2023, https://ifr.org/img/worldrobotics/2023_WR_extended_version.pdf (zuletzt abgerufen am 14.11.2023).
- International Federation of Robotics (IFR) (2023c): World Robotics 2023, Präsentation anlässlich der Pressekonferenz am 26.9.2023, https://ifr.org/img/worldrobotics/2023_WR_extended_version.pdf (zuletzt abgerufen am 14.11.2023).
- Koller, P. (2022): RBTX: Der Marktplatz für die Low-Cost-Automation, 7. April 2022, <https://www.ke-next.de/kollegeroboter/markt/rbtX-der-marktplatz-fuer-die-low-cost-automation-59-589.html> (zuletzt abgerufen am 14.11.2023).
- KUKA (2021): Roboterhersteller KUKA vernetzt Produktion in der Cloud, 13.10.2021, <https://telematik-markt.de/telematik/roboterhersteller-kuka-vernetzt-produktion-der-cloud> (zuletzt abgerufen am 14.11.2023).

- KUKA (2022): KUKA relies on 5G for product development and system planning, Pressemitteilung vom 14. Juni 2022, <https://www.kuka.com/en-de/company/press/news/2022/06/5g-cam-pusnetzwerk> (zuletzt abgerufen am 14.11.2023).
- Kunze, S. (2020): Welche Rolle flexible Robotik für die Smart Factory spielt, 03.12.2020, <https://www.elektrotechnik.vogel.de/welche-rolle-flexible-robotik-fuer-die-smart-factory-spielt-a-c83a75e7bbc356817d7e0311cd715f92/> (zuletzt abgerufen am 14.11.2023).
- Lazarte, M. (2016): Robots and humans can work together with new ISO guidance, 8. März 2016, <https://www.iso.org/news/2016/03/Ref2057.html> (zuletzt abgerufen am 14.11.2023).
- Lowensohn, J. (2013): Google buys Boston Dynamics, maker of spectacular and terrifying robots, 14. Dezember 2013, <https://www.theverge.com/2013/12/14/5209622/google-has-bought-robotics-company-boston-dynamics> (zuletzt abgerufen am 14.11.2023).
- Marsh, Allison (2022): In 1961, the First Robot Arm Punched In, in: IEEE Spectrum, 30. August 2022, <https://spectrum.ieee.org/unimation-robot> (zuletzt abgerufen am 14.11.2023).
- Mc Kinsey (2023): Unlocking the industrial potential of robotics and automation, 6. Januar 2023, <https://www.mckinsey.com/industries/industrials-and-electronics/our-insights/unlocking-the-industrial-potential-of-robotics-and-automation> (zuletzt abgerufen am 14.11.2023).
- Meyer Industry Research (2020): Roboter Hersteller in Deutschland 2020, <https://www.meyer-industryresearch.de/wp-content/uploads/2020/05/Top-50-Roboterhersteller-Deutschland-2020.pdf> (zuletzt abgerufen am 14.11.2023).
- Microsoft/Intel (2022:) IoT Signals – Manufacturing Spotlight, August 2022, <https://clouddamcdn-prodep.azureedge.net/gdc/gdcmAYP6m/original> (zuletzt abgerufen am 14.11.2023).
- Mittelstand-Digital Zentrum Handwerk (2023): Robotik im Handwerk, https://handwerkdigital.de/deulocal/textbilder/images/Themenseiten/Themenheft_Robotik_im_Handwerk_.pdf (zuletzt abgerufen am 14.11.2023).
- Mossmann, M. (2022): AI Picking – Griff-in-die-Kiste erkennt und löst verhakte Bauteile, 28. September 2022, <https://mrk-blog.de/ai-picking-griff-in-die-kiste-erkennt-und-loest-verhakte-bauteile/> (zuletzt abgerufen am 14.11.2023).
- o.V. (2021): Roboter programmieren – Grundlagen und Trends der Roboterprogrammierung, 2. Dezember 2021, <https://automationspraxis.industrie.de/robotik/roboter-programmieren-grundlagen-und-trends-der-roboterprogrammierung/> (zuletzt abgerufen am 14.11.2023).
- o.V. (2023a): Neura Robotics: Mit über 50 Millionen Euro frischem Kapital nun „100 Prozent europäisch“, 19. Juli 2023, <https://automationspraxis.industrie.de/cobot/neura-robotics-freut-sich-ueber-50-millionen-euro-frisches-kapital-aus-europa/> (zuletzt abgerufen am 14.11.2023).
- o.V. (2023b): Safelog: 550 mobile Transportroboter für Factory56 von Mercedes-Benz, 24. Februar 2023, <https://automationspraxis.industrie.de/news/rekord-bei-safelog-550-mobile-transportroboter-fuer-factory56-von-mercedes-benz/> (zuletzt abgerufen am 14.11.2023).
- o.V. (2023c): Insolvenz: Franka Emika sucht Investoren nach Gesellschafterstreit, 31. August 2023, <https://automationspraxis.industrie.de/cobot/insolvenz-franka-emika-sucht-investoren-nach-gesellschafterstreit/> (zuletzt abgerufen am 14.11.2023).
- o.V.: (2023d): Industrieroboter: Grundlagen, Fakten, Märkte und Hersteller von Industrierobotik, in: Automationspraxis, 15.01.2023,

- <https://automationspraxis.industrie.de/industrierobotik/industrieroboter-grundlagen-fakten-und-hersteller-von-industrierobotik/> und <https://de.industryarena.com/wiki/Industrieroboter> (zuletzt abgerufen am 14.11.2023).
- Onasch, L.; Maier, X.; Jürgensohn, T. (2016): Mensch-Roboter-Interaktion - Eine Taxonomie für alle Anwendungsfälle, Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAUA), zum download verfügbar unter <https://www.baua.de/DE/Angebote/Publikationen/Fokus/Mensch-Roboter-Interaktion.html> (zuletzt abgerufen am 14.11.2023).
- Pilz (2018): Sichere Mensch-Roboter-Kollaboration (MRK), White Paper, März 2018, https://www.pilz.com/mam/pilz/content/uploads/whitepaper_human-robot-collaboration_pilz_de.pdf (zuletzt abgerufen am 14.11.2023).
- Produktion.de (2023): Roboter mit No-Code- und Low-Code-Lösungen programmieren, 03.03.2023, <https://www.produktion.de/technik/roboter-mit-no-code-und-low-code-loesungen-programmieren-335.html> (zuletzt abgerufen am 14.11.2023).
- Raj, R.; Kos, A. (2022): A Comprehensive Study of Mobile Robot: History, Developments, Applications, and Future Research Perspectives, in: Applied Sciences 2022, <https://www.mdpi.com/2076-3417/12/14/6951> (zuletzt abgerufen am 14.11.2023).
- Schulz, D. (2021): 5G für digitale Industrien, ABB Review 01/2021, https://library.e.abb.com/public/85d6e5bea1254860a14d741480962c42/30-36%20m0044_DE_72dpi.pdf?x-sign=fGdY0FM/8Z45GJUHAs0LK1ZWgKE61ru5gAeFmPmlQdJPe/graSE6PU/vIAkEvaA (zuletzt abgerufen am 14.11.2023).
- Shneier, M.; Bostelman, R. (2015): Literature Review of Mobile Robots for Manufacturing, National Institute of Standards and Technology, U.S. Department of Commerce, <https://www.govinfo.gov/content/pkg/GOVPUB-C13-f0af4a0660a95893452e7ee39defce71/pdf/GOVPUB-C13-f0af4a0660a95893452e7ee39defce71.pdf> (zuletzt abgerufen am 14.11.2023).
- Strehlitz, M. (2022): No Code, <https://dialog.vde.com/de/vde-dialog-ausgaben/2022-01-sustainability/no-code> (zuletzt abgerufen am 14.11.2023).
- Surdilovic, D.; Bastidas-Cruz, A.; Radojicic, J.; Heyne, P. (2018): Interaktionsfähige intrinsisch sichere Roboter für vielseitige Zusammenarbeit mit dem Menschen, Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAUA), <https://www.baua.de/DE/Angebote/Publikationen/Fokus/Mensch-Roboter-Kollaboration-2.html> (zuletzt abgerufen am 14.11.2023).
- Szöke, D. (2023): Mittels Sprachmodell Robotik steuern: Google und TU Berlin stellen PaLM-E vor, 15. März 2023, <https://www.heise.de/news/Mittels-Sprachmodell-Robotik-steuern-Google-und-TU-Berlin-stellen-PaLM-E-vor-7543506.html> (zuletzt abgerufen am 14.11.2023).
- Taschew, M. (2022): Herstellerunabhängige Integration von Industrierobotersystemen in den auto-mobilen Karosseriebau, Dissertation an der Technischen Universität München, <https://mediatum.ub.tum.de/doc/1595772/1595772.pdf> (zuletzt abgerufen am 14.11.2023).
- techconsult (2021): Low-Code-/No-Code-Development – Enabler der digitalen Transformation, https://www.smapone.com/fileadmin/user_upload/Whitepaper/smapOne_Stu-die_No_Code_Plattformen_190721.pdf (zuletzt abgerufen am 14.11.2023).

- Tiedemann, Y. (2022): „Weg zur Smart Factory wird Schritt für Schritt begangen“, Interview mit Martin Ruskowski, 31.5.2022, <https://www.automobil-produktion.de/produktion/smart-factory/weg-zur-smart-factory-wird-schritt-fuer-schritt-begangen-986.html> (zuletzt abgerufen am 14.11.2023).
- Tobe, F. (2017): Google robotics: A review, 20. Oktober 2017, <https://www.therobotreport.com/stifed-ambitions-review-google-robotics/> (zuletzt abgerufen am 14.11.2023).
- Umbreit, M. (2020): Industrierobotersicherheit – Was gibt es Neues?, mrl-News 2/2020, https://www.bghm.de/fileadmin/user_upload/BGHM/Presseportal/Fachartikel2020/Industrierobotersicherheit-mrl-news-fachartikel-2020.pdf (zuletzt abgerufen am 14.11.2023).
- VDI/VDE (2020): PAiCE - Digitale Technologien für die Wirtschaft, https://www.digitale-technologien.de/DT/Redaktion/DE/Downloads/Publikation/PAiCE_Abschlussbrochuere.pdf?__blob=publicationFile&v=1 (zuletzt abgerufen am 14.11.2023).
- VDMA (2021): Studie zur Interoperabilität im Maschinen- und Anlagenbau, <https://www.vdma.org/documents/34570/4887803/2021+OPC+UA+Studie+Deutsch.pdf/79731145-0eb0-b8c0-ef38-89e96f68bae4?t=1637329865381> (zuletzt abgerufen am 16.11.2023).
- VDMA (2023): Robotik und Automation 2028 – Schlüsseltechnologie für Deutschland. Strategiepapier. https://www.vdma.org/documents/34570/0/VDMA_RuA_Strategiepapier.pdf/0dc23efb-d29c-3e2d-e9c9-b2bd96798298 (zuletzt abgerufen am 14.11.2023).
- VDMA (o.D.): Good Work Charter of the European Robotics Industry, https://www.vdma.org/documents/34570/62363944/110123_VDMA_GWC_Einzelseiten.pdf/6f164b1e-bbbc-4d45-30ba-20e060d826a6?t=1677680938370 (zuletzt abgerufen am 16.11.2023).
- Vemprala, S.; Bonatti, R.; Bucker, A.; Kapoor, A. (2023): ChatGPT for Robotics: Design Principles and Model Abilities, 23 Februar 2023, <https://www.microsoft.com/en-us/research/publication/chatgpt-for-robotics-design-principles-and-model-abilities/> (zuletzt abgerufen am 14.11.2023).
- Verified Market Research (2021): Collaborative Robot (Cobot) Market Size And Forecast, <https://www.verifiedmarketresearch.com/product/collaborative-robot-cobot-market/> (zuletzt abgerufen am 14.11.2023).
- Votsmeier, V. (2023): Für mehr als 30 Millionen Euro: Agile Robots bekommt den Zuschlag für Franka Emika, 2. November 2023, <https://www.handelsblatt.com/technik/it-internet/robotik-fuer-mehr-als-30-millionen-euro-agile-robots-bekommt-den-zuschlag-fuer-franka-emika/29477742.html> (zuletzt abgerufen am 14.11.2023).
- WAKU Robotics (2023): Einblicke in den Markt mobiler Roboter, Whitepaper, Version 2.1.
- Werthschützky, R. (2022): Sensor Technologien 2022 - AMA Verband für Sensorik und Messtechnik e.V., <https://www.ama-sensorik.de/fileadmin/Publikationen/180601-AMA-Studie-online-final.pdf> (zuletzt abgerufen am 14.11.2023).
- Zhihao, L.; Quan, L.; Wenjun, X.; Wang, L.; Zude, Z. (2022): Robot learning towards smart robotic manufacturing: A review, in: Robotics and Computer-Integrated Manufacturing, Vol 77, October 2022, <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0736584522000485> (zuletzt abgerufen am 14.11.2023).

ISSN 1865-8997