



ReTraSON

Region. Mobilität. Zukunft.



RoboSON

Automatisierung. Robotik. Netzwerk.

Studie zum Stand und zu Trends der
Robotik in SüdOstNiedersachsen

April 2024

Ein Projekt der



ALLIANZ FÜR
DIE REGION

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

ReTraSON – Regionales Transformationsnetzwerk SüdOstNiedersachsen
zur Entwicklung einer regionalen Transformationsstrategie
in der Fahrzeug- und Zulieferindustrie -

Studie zum Stand und zu Trends in der Robotik

April 2024

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis.....	2
1 Einführung.....	3
2 Stand der Robotik.....	4
3 Trends in der Robotik	14
4 KI und Robotik.....	23
5 Robotik in SüdOstNiedersachsen.....	34
6 Zusammenfassung.....	40
7 Quellenverzeichnis	41

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Anzahl der weltweit eingesetzten Industrieroboter	4
Abbildung 2: Jährliche Installation von Industrierobotern – weltweit	4
Abbildung 3: Jährliche Installation von Industrierobotern von 2017 - 2026	5
Abbildung 4: Roboter nach Ländern von 2017-2021	5
Abbildung 5: Jährliche Installation von Industrierobotern in den 15 größten Märkten	6
Abbildung 6: Weltkarte zur Roboterichte	7
Abbildung 7: Roboterichte in der Industrie im Vergleich zur Automobilindustrie 2021	7
Abbildung 8: Jährliche Installation von Industrierobotern nach Branchen - weltweit	8
Abbildung 9: Die Top-10 Unternehmen nach installierten Robotern	9
Abbildung 10: Jährliche Installation von Industrierobotern nach Anwendungen – weltweit.....	10
Abbildung 11: Jährliche Installation von kollaborativen Roboter und Industrieroboter	11
Abbildung 12: Preisprognosen zur Entwicklung von Robotersystemen.....	12
Abbildung 13: Anzahl verkaufter professioneller Serviceroboter	13
Abbildung 14: Oberfläche der MT-LINKi Software	17
Abbildung 15: Aufbauweise modularer Roboter	20
Abbildung 16: Modulare Roboterzelle	21
Abbildung 17: Maschinenbedienung bei Allied Moulded mit ActiNav	25
Abbildung 18: Depalletierungszelle von MechMind Robotics Technologies	26
Abbildung 19: Depalettierung mit einem ABB Roboter und einem Photoneo 3D-Vision-System mit maschinellern Lernen	27
Abbildung 20: Überprüfung, ob Muttern vorhanden und korrekt positioniert sind	29
Abbildung 21: MAiRA Roboter von der Firma Neura Robotics	32
Abbildung 22: Aufzeichnen der Bewegung eines Fingers	32
Abbildung 23: Intelligentes Kommissionieren durch den MAiRA Roboter	33
Abbildung 24: Anteil an Unternehmen im verarbeitenden Gewerbe in Deutschland mit Industrierobotern	34
Abbildung 25: Sektor der befragten Unternehmen.....	35
Abbildung 26: Anzahl der Mitarbeiter in den Unternehmen	36
Abbildung 27: Einsatz von Robotern in der Produktion/Logistik	36
Abbildung 28: Abfrage, wie viele Roboter eingesetzt werden	37
Abbildung 29: Eingesetzte Robotertypen	37
Abbildung 30: Welche Roboter werden in den Unternehmen eingesetzt	38
Abbildung 31: Aufgabenbereiche der eingesetzten Roboter.....	39
Abbildung 32: Nutzung von Tools (Hilfsmitteln) zur Planung von Robotern	39

1 Einführung

Heutzutage sind Roboter aus dem Alltag nicht mehr wegzudenken. In vielen Lebensbereichen sind Roboter anzutreffen, ob zu Hause oder im Berufsleben. Die rasante technologische Entwicklung lässt ihre Einsatzbereiche weiterwachsen und neue Möglichkeiten für Unternehmen entstehen.

In dieser Studie wird in Kapitel 2 der weltweite Einsatz von Robotern beschrieben. Der Schwerpunkt liegt dabei auf Industrierobotern.

Neben der Darstellung des Ist-Standes der Verbreitung von Robotern werden in Kapitel 3 Trends aufgezeigt, die die Robotik beeinflussen. Da zunehmend KI-Anwendungen in die Robotik einfließen, werden in Kapitel 4 verbreitete KI-Anwendungen vorgestellt.

Kapitel 5 gibt einen Überblick über die Verbreitung von Robotern in Südost-Niedersachsen. Da keine Statistiken für diese Region vorhanden waren, wurde im Rahmen des Roboternetzwerkes *RoboSON* (Robotik in Südost-Niedersachsen) eine Umfrage unter den beteiligten Unternehmen durchgeführt. Die Ergebnisse werden in dieser Studie dargestellt.

2 Stand der Robotik

Anzahl an Industrierobotern

Die Anzahl der eingesetzten Industrieroboter ist in den letzten Jahren weltweit gestiegen. Laut dem World Robotics Report 2023 der *International Federation of Robotics* (IFR) wurden 2022 weltweit über 3,9 Millionen Industrieroboter eingesetzt. Somit hat sich seit 2011 - innerhalb von 10 Jahren - die Anzahl der eingesetzten Industrieroboter mehr als verdreifacht (Abb. 1).

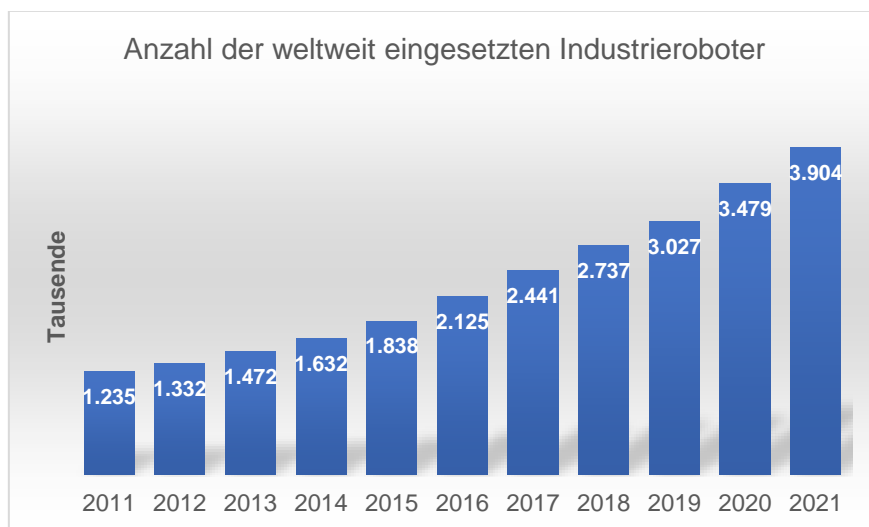


Abbildung 1: Anzahl der weltweit eingesetzten Industrieroboter [1]

Seit 2011 steigen die jährlichen Installationen von Industrierobotern weltweit überproportional an. In den Jahren 2021 und 2022 ist die Anzahl an Installationen von Industrierobotern nochmals deutlich gestiegen und liegt jetzt bei über 500 Tausend Installationen pro Jahr (siehe Abb. 2).

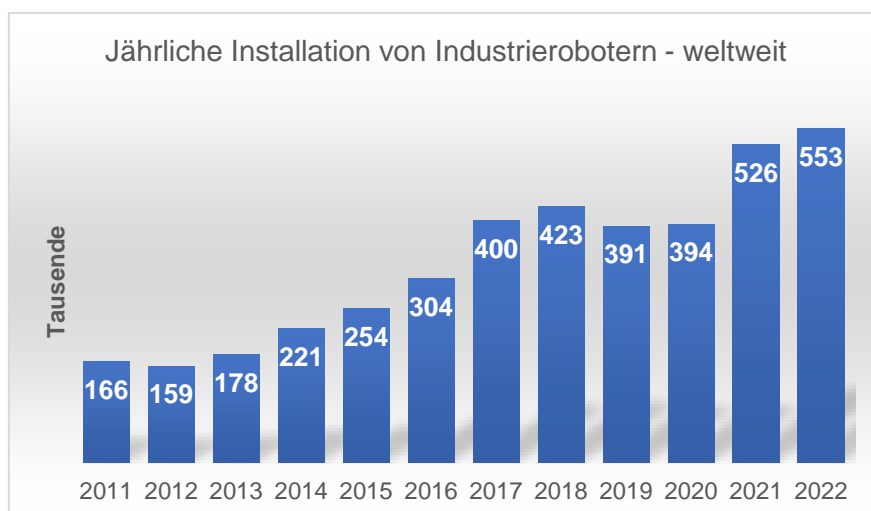


Abbildung 2: Jährliche Installation von Industrierobotern – weltweit [1]

Auch in Zukunft wird mit einem weiteren Anstieg an Installationen gerechnet. Die Prognose der jährlich installierten Roboter bis 2026 zeigt weiterhin einen jährlich steigenden Trend an (Abb. 3). Gartner prognostiziert, dass es aufgrund des Arbeitskräftemangels bis 2028 mehr intelligente Roboter als direkte Mitarbeiter in der Fertigung, im Einzelhandel und in der Logistik geben wird [62].

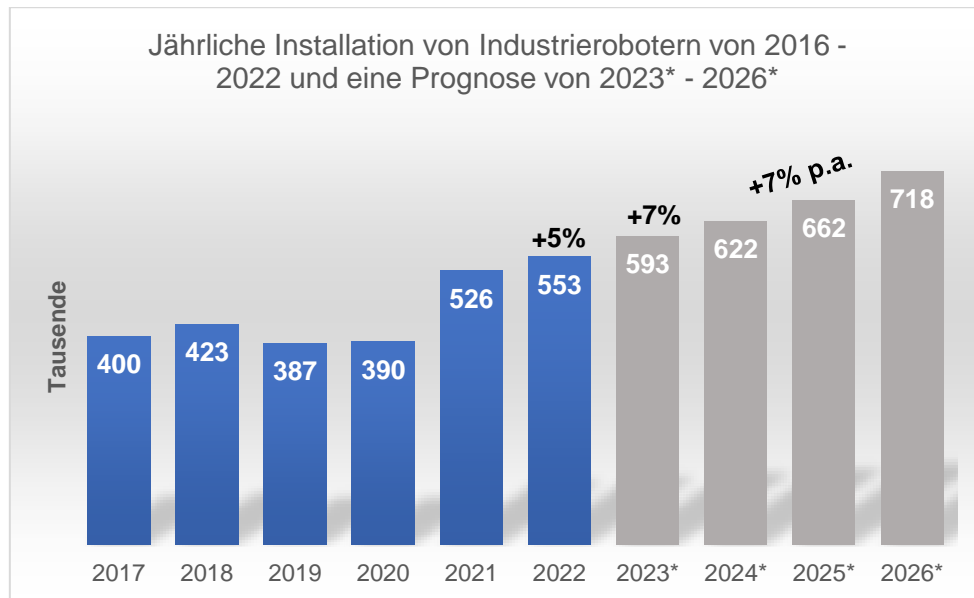


Abbildung 3: Jährliche Installation von Industrierobotern von 2017 -2026 [1]

Im nächsten Diagramm (Abb. 4) ist die Entwicklung der Verbreitung von Robotern in den weltweit 4 größten Robotermärkten zu sehen (vgl. [1]). Dieses Diagramm hebt die rasante Entwicklung in China hervor.

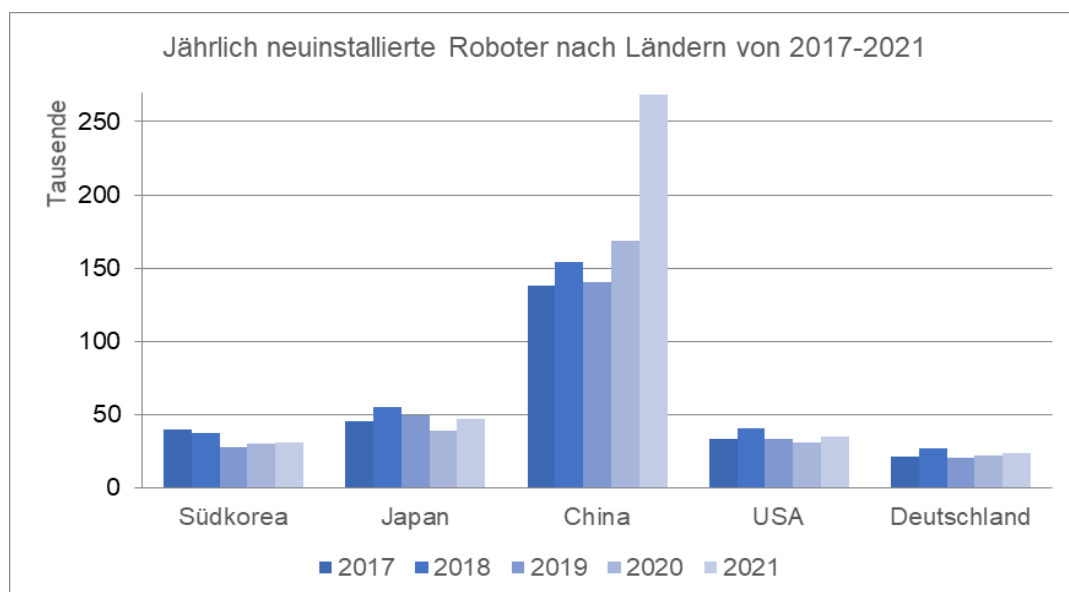


Abbildung 4: Roboter nach Ländern von 2017-2021 [2]

Der enorme Zuwachs an Robotern in China hat sich weiter fortgesetzt. Im Jahr 2022 war China der mit Abstand größte Markt für Industrieroboter (Abb. 5).

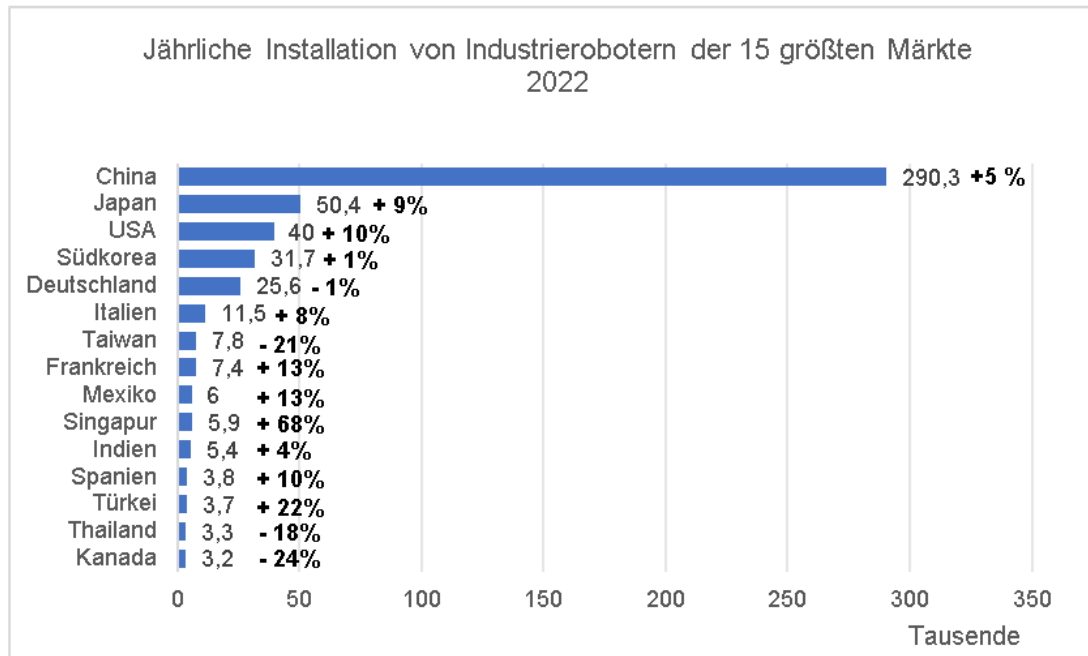


Abbildung 5: Jährliche Installation von Industrierobotern in den 15 größten Märkten [1]

Alle anderen Märkte zusammengenommen erreichen im Vergleich nicht ansatzweise die jährlichen Installationen wie China. Der geringe Anstieg 2022 ist dadurch zu begründen, dass China im Jahr davor einen Zuwachs von 51 % verzeichnete. 2023 wurde vom chinesischen Industrie- und Informationstechnologieministerium ein neuer „Robot + Application Action Plan“ veröffentlicht [56]. Dieser beschreibt Chinas Ziel, aufgrund des Rückgangs der chinesischen Bevölkerung die Anwendungen von Robotern weiter zu beschleunigen

Roboterdichte

Die Abbildung 6 zeigt eine Weltkarte mit der jeweiligen Roboterdichte pro Land im Jahr 2021. Die Roboterdichte ist dabei von der *International Federation of Robotics* als Anzahl der Industrieroboter pro 10.000 Mitarbeiter definiert. [2] Sie erreichte laut Angaben der IFR im Jahr 2020 einen neuen Rekordwert von 371 Einheiten.

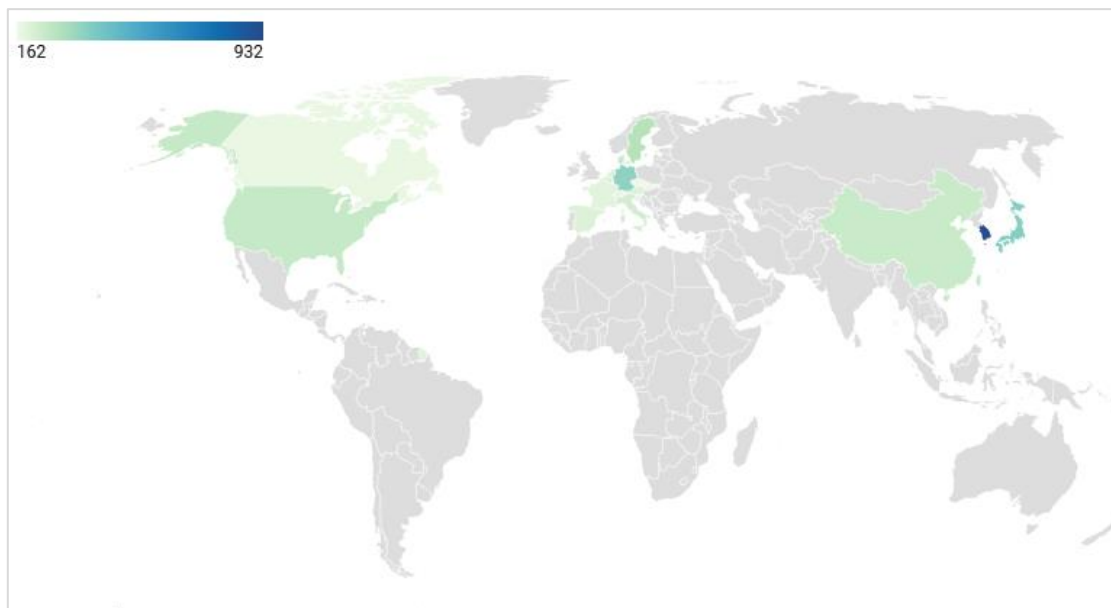


Abbildung 6: Weltkarte zur Roboterichte [3]

Global betrachtet hat sich die durchschnittliche Roboterichte innerhalb der letzten fünf Jahre nahezu verdoppelt und erreichte im Jahr 2020 126 Einheiten pro 10.000 Mitarbeiter. Im Jahr 2015 wurde lediglich ein weltweiter Durchschnitt von 66 Einheiten ermittelt. Regional betrachtet beläuft sich die durchschnittliche Roboterichte auf 242 Einheiten in Westeuropa, 167 Einheiten in Nordamerika und 134 Einheiten in Asien/ Australien.

Abbildung 7 vergleicht die Roboterichte in der Industrie allgemein sowie in der Automobilindustrie in den fünf Ländern mit der weltweit größten Anzahl an Robotern.

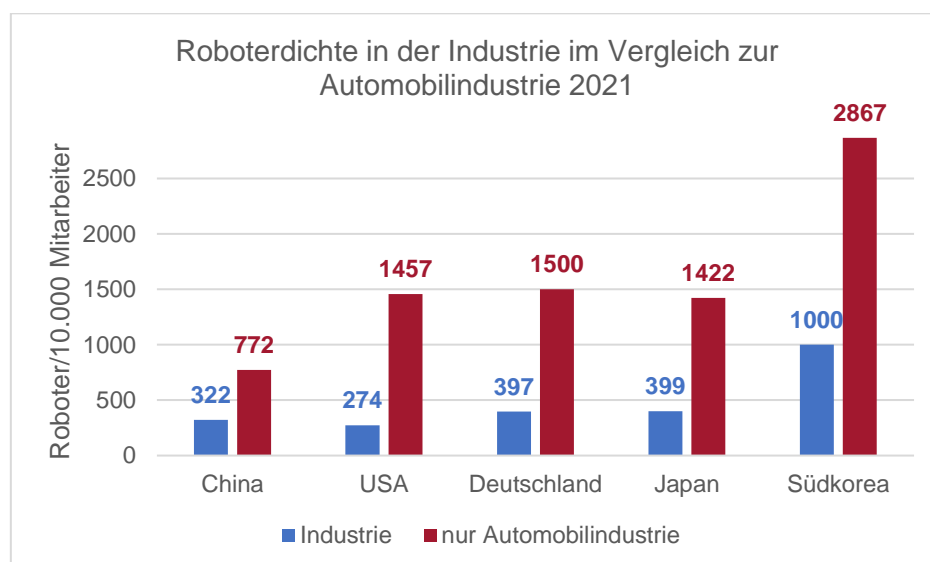


Abbildung 7: Roboterichte in der Industrie im Vergleich zur Automobilindustrie 2021 [2]

Abbildung 7 zeigt, dass die Roboterichte in der Automobilindustrie deutlich höher ist, als in den meisten anderen Industriebereichen. Dies begründet auch, warum gerade Länder mit einer sehr starken Automobilindustrie zu den Hauptanwendern von Robotern zählen. Südkorea

behauptet den Titel des Landes mit der höchsten Roboterdichte seit 2010 und übertrifft den globalen Durchschnitt von 126 Einheiten um das Siebenfache mit 932 Einheiten. Dies liegt vor allem an der starken Automobilindustrie und Elektroindustrie in Südkorea. Seit 2015 verzeichnet Südkorea eine jährliche Steigerung der Roboterdichte um etwa 10 %.

In Europa ist Deutschland das führende Land bei der Neuinstallation von Robotern. Frankreich weist eine Roboterdichte von 194 Einheiten auf und belegt damit den 16. Platz weltweit. Dies ist vergleichbar mit anderen Ländern wie Spanien (203 Einheiten), Österreich (205 Einheiten) und den Niederlanden (209 Einheiten). Hingegen weisen EU-Länder wie Schweden (289 Einheiten), Dänemark (246 Einheiten) und Italien (224 Einheiten) einen erheblich höheren Automatisierungsgrad auf. Großbritannien hingegen liegt als einziges G7-Land mit einer Roboterdichte von 101 Einheiten unter dem globalen Durchschnitt von 126 Einheiten. [3]

Einsatz von Industrierobotern nach Branchen

Weltweit sind die Installationen von Industrierobotern seit 2020 in den Branchen Elektro-/Elektronikindustrie und Automobilindustrie gestiegen (s. Abb. 8). Einen deutlichen Zuwachs kann man in den letzten Jahren auch in den un spezifizierten und sonstigen Industrien verfolgen, was darauf hindeutet, dass Roboter mittlerweile in vielen Anwendungsbereichen (neu) eingesetzt werden.

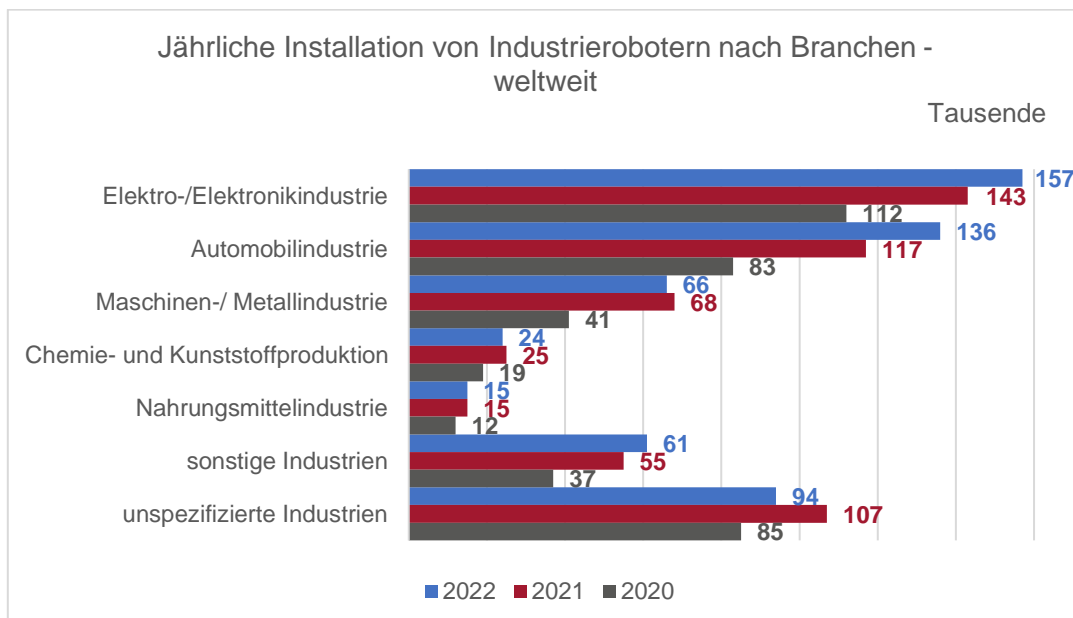


Abbildung 8: Jährliche Installation von Industrierobotern nach Branchen - weltweit [1]

Roboterhersteller

In Abbildung 9 werden die weltweiten 10 größten Roboterhersteller nach Anzahl der Installationen aufgeführt. Japanische Unternehmen dominieren den Industrierobotermarkt: 7 der 10 größten Roboterhersteller haben ihren Sitz in Japan.

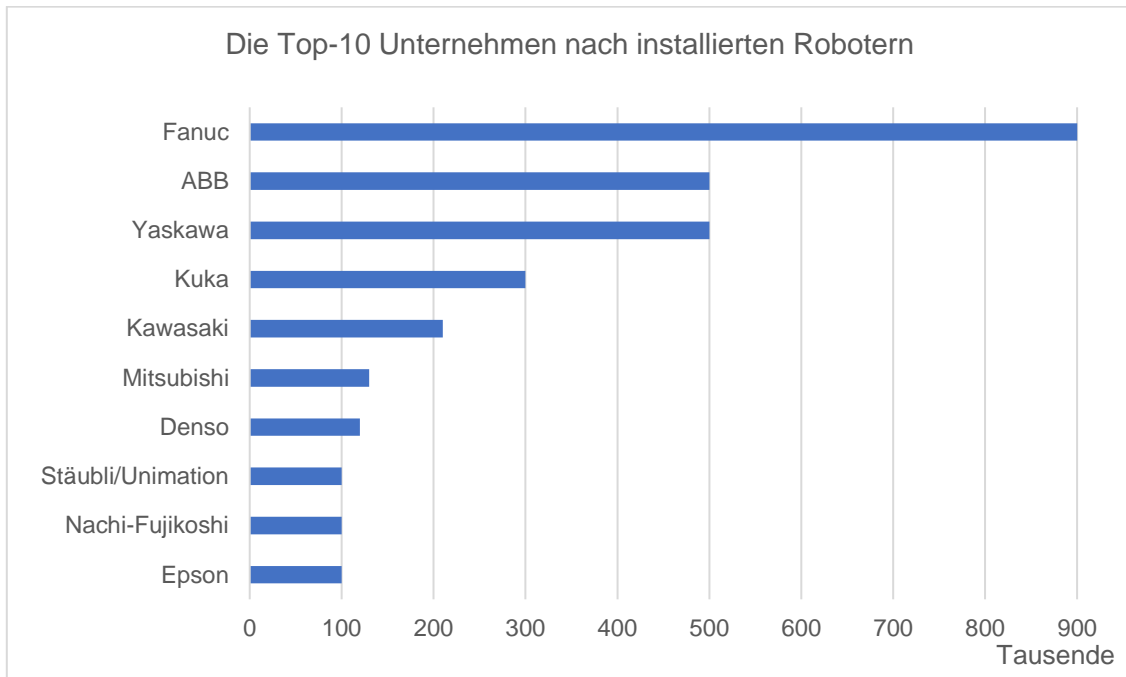


Abbildung 9: Die Top-10 Unternehmen nach installierten Robotern [4]

Weltweit kommen die meisten installierten klassischen Industrieroboter vom japanischen Hersteller *Fanuc*, mit insgesamt 900 Tausend Installationen.

Es folgen der Schweizer Hersteller *ABB* und der japanische Hersteller *Yaskawa*, die gleichauf jeweils über 500 Tausend Installationen vorweisen können. An vierter Stelle der Top 10 - Unternehmen befindet sich der ehemals deutsche Hersteller *KUKA*, der 2016 vom chinesischen Unternehmen *Midea* übernommen wurde. Weitere Hersteller in absteigender Reihenfolge sind *Kawasaki*, *Mitsubishi*, *Denso*, *Stäubli/ Unimation*, *Nachi-Fujikoshi* und *Epson*.

Roboteranwendungen

In Abbildung 10 werden die Hauptanwendungsbereiche von Industrierobotern gezeigt.

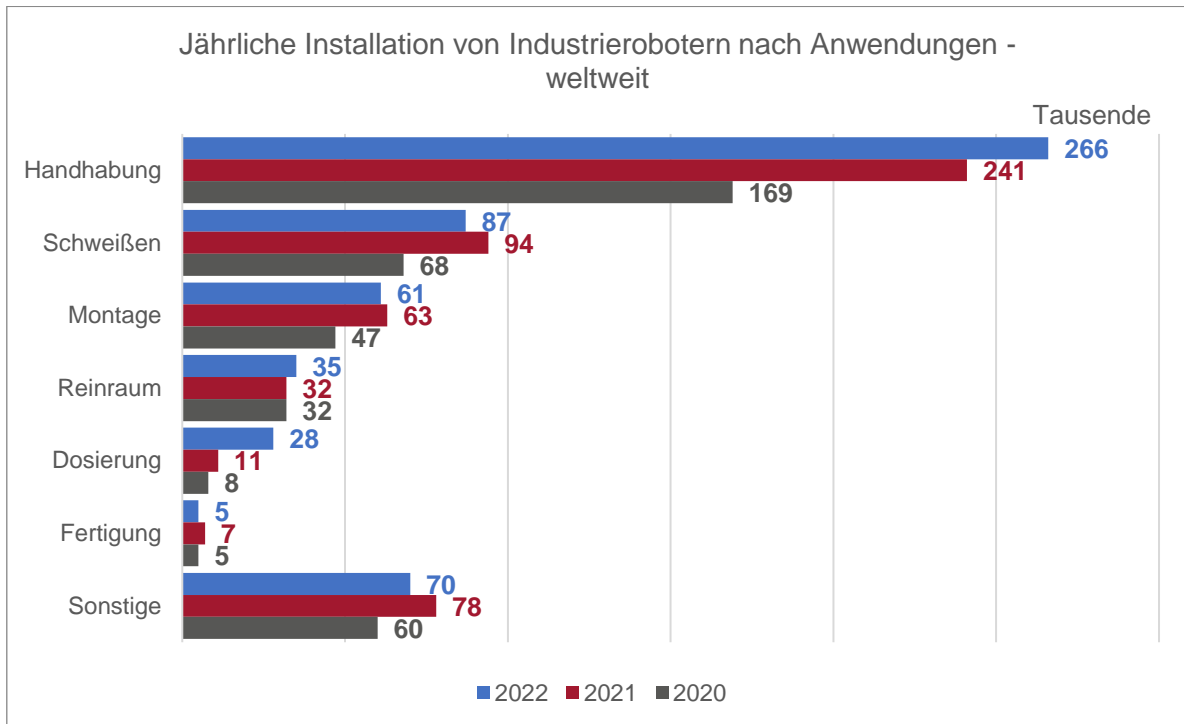


Abbildung 10: Jährliche Installation von Industrierobotern nach Anwendungen – weltweit [1]

Hauptanwendungsbereiche sind die Handhabung und das Schweißen. Sonstige Anwendungen haben in den letzten Jahren zugenommen, da zunehmend Roboter auch in nicht klassischen Anwendungsbereichen eingesetzt werden. Zu dieser Verbreitung haben auch kollaborative Roboter beigetragen.

Kollaborative Roboter

Bislang ist der Anteil der kollaborativen Roboter (Cobots) an den gesamten Neuinstallationen im Vergleich zu der Anzahl an klassischen Industrierobotern noch gering. Aber Abbildung 11 zeigt, dass die Installationen von kollaborativen Roboter sehr stark zunehmen.

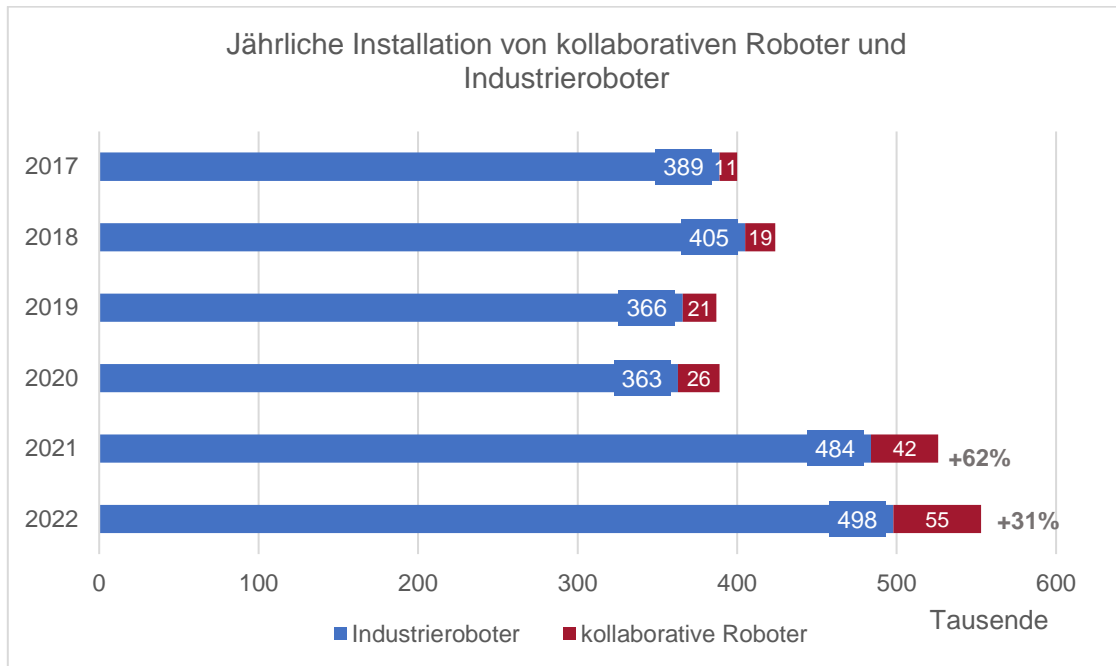


Abbildung 11: Jährliche Installation von kollaborativen Roboter und Industrieroboter

2021 ist die Anzahl der Installationen von kollaborativen Robotern gegenüber dem Vorjahr um 62 Prozent gestiegen, im Jahr 2022 ist die Zahl erneut um 31 Prozent gestiegen. Diese starke Verbreitung resultiert auch aus den sehr einfachen Bedienkonzepten, mit denen Cobots programmiert und bedient werden können (siehe auch Kapitel 3). Damit wird auch kleineren Firmen - denen bislang qualifizierte Mitarbeiter fehlten - die Möglichkeit gegeben, Roboter im eigenen Unternehmen einzusetzen.

Preisentwicklung bei Industrierobotern

Ein Aspekt, der die zunehmende Verbreitung von Robotern begünstigt, stellt die Preisentwicklung von Industrierobotern resultierend aus der Senkung der Herstellungskosten für elektronische Komponenten in den vergangenen Jahren dar (s. Abb. 12).

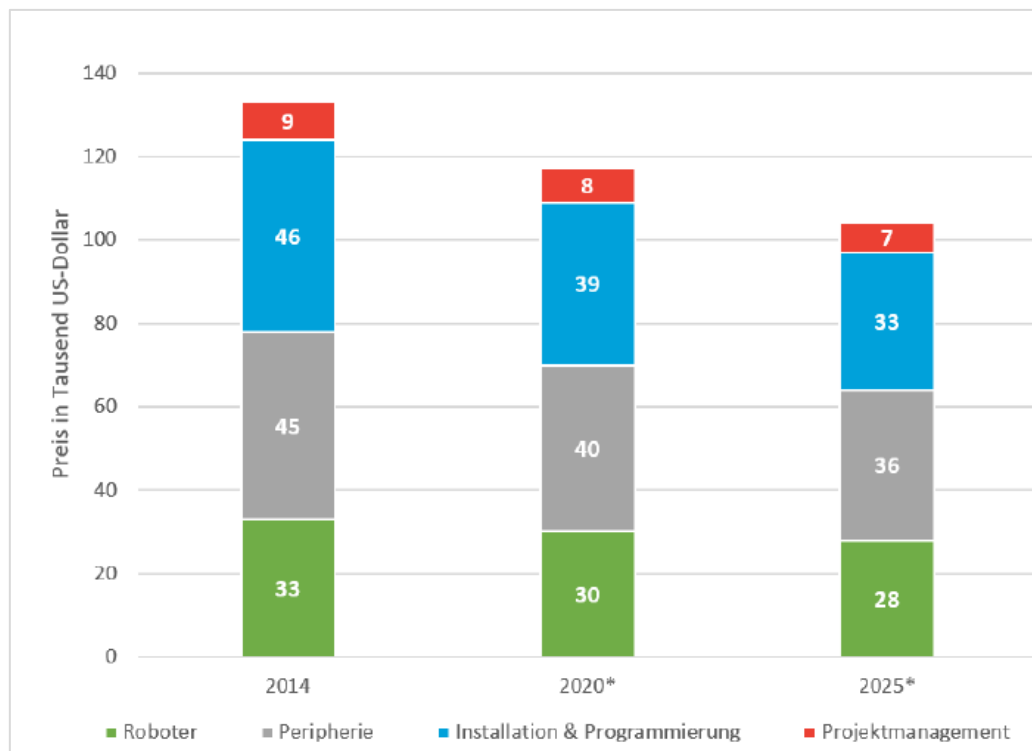


Abbildung 12: Preisprognosen zur Entwicklung von Robotersystemen [vgl. 5]

Serviceroboter

Professionelle Serviceroboter ziehen stark in den folgenden Branchen ein: Transport und Logistik, Hotel und Gastgewerbe, Medizinische Roboter, professionelle Reinigung und Landwirtschaft. Im Transport- und Logistikbereich ist der Einsatz von Robotern grundlegend im Vergleich zu den anderen Service-Bereichen sehr hoch, trotzdem wurde im Jahre 2022 ein erneuter Anstieg gegenüber dem Vorjahr 2021 verzeichnet. [2]

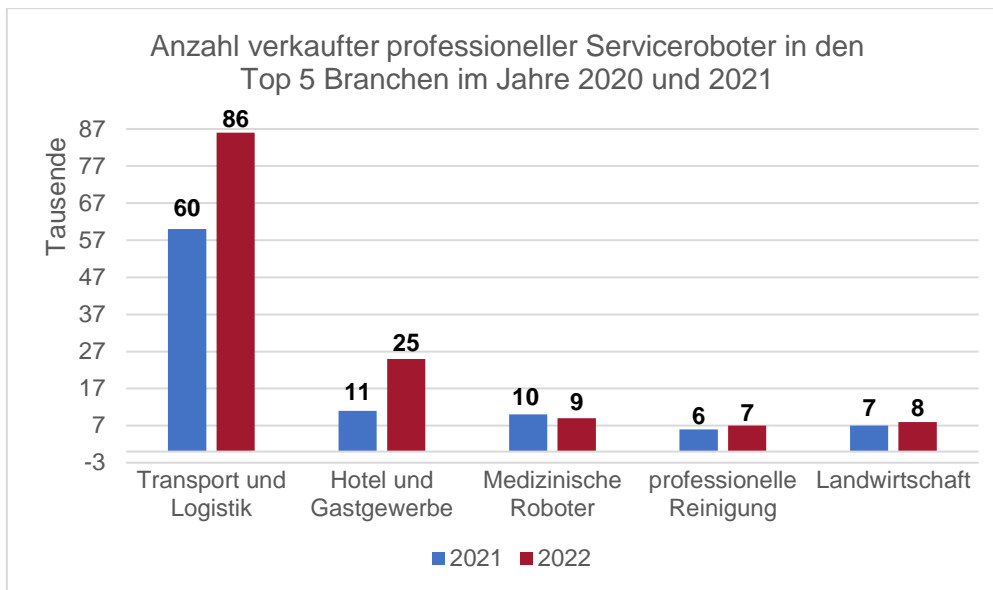


Abbildung 13: Anzahl verkaufter professioneller Serviceroboter [1]

In Summe ist die Anzahl der verkauften Serviceroboter von 2021 auf 2022 um 48% gestiegen. Die Entwicklung lässt den Schluss zu, dass auch in den nächsten Jahren mit einem sehr starken Anstieg von Servicerobotern zu rechnen ist.

Roboterkomponenten

Entsprechend der Entwicklung von Robotern wächst auch der Markt für Roboterkomponenten. Die Marktforschungsgesellschaft *Interact Analysis* erwartet, dass der Markt für Industrieroboterkomponenten von 2022 bis 2027 mit einer jährlichen Wachstumsrate von 8,8% anwächst. Zu den Komponenten, die in der Statistik untersucht wurden, gehören Motoren, Servoantriebe, Präzisionsgetriebe, Encoder und Sensoren, Robotersteuerungen, Endeffektoren, Bildverarbeitungshardware und Teach-Pendants [60].

In der folgenden Beschreibung von Trends in der Robotik wird der Schwerpunkt auf Entwicklungen im Industrieroboterbereich liegen.

3 Trends in der Robotik

Der IFR zufolge gibt es diverse Faktoren, die das kontinuierliche Wachstum im Bereich der Robotik zusätzlich antreiben. Zu ihnen gehören die fortdauernde Vereinfachung der Bedienung von Robotersystemen, die Modernisierung von Produktionsstätten aufgrund der Globalisierung, neue Märkte für klassische Industrieroboter wie auch für neue Geschäftsmodelle und die voranschreitende Verbreitung von kollaborierenden Robotern (vgl. [6]). Einige Trends werden im Zuge dieses Kapitels näher vorgestellt.

Einfache Bedienung und Programmierung

Die Vereinfachung der Programmierung von Robotern hat in den letzten Jahren erhebliche Fortschritte gemacht und ist mittlerweile auch für Nicht-Experten durchführbar. Kollaborierende Roboter lassen sich zum Teil bereits in wenigen Minuten aufbauen und sind dann bereits einsatzbereit. Anbieter von softwaregesteuerten Automatisierungsplattformen unterstützen Unternehmen dabei, indem sie Roboter entwickeln, die von Nutzern ohne vorherige Programmiererfahrung bedient werden können. Erstausrüster arbeiten eng mit Low-Code- oder sogar No-Code¹-Technologiepartnern zusammen, um sicherzustellen, dass Mitarbeiter aller Qualifikationsstufen in der Lage sind, einen Roboter selbst zu programmieren. (vgl. [6])

Die einfache Bedienung ist maßgeblich verbunden mit den Bedienkonzepten der Cobots. Eine benutzerfreundliche Software wird zusammen mit einer intuitiver Anwendungslogik verbunden und ersetzt damit die mühsame Roboterprogrammierung. Dies eröffnet völlig neue Möglichkeiten für die Roboterautomatisierung.

Universal Robots war eines der ersten Unternehmen, welches mit einer „iPad-ähnlichen“ Benutzeroberfläche eine sehr intuitive Bedienung und Programmierung ermöglicht hat. Das deutsche Unternehmen *Franka Robotics* setzt auf eine App-orientierte Programmierung. In der App können Funktionsblöcke per Drag & Drop ausgewählt und „mit Leben gefüllt“ werden. Bei beiden Programmierarten muss der Bediener keinen Programmiercode anfertigen, sondern kann mithilfe der Software vorgefertigte Funktionen auswählen und Programme anfertigen. [8,9]

Bei *DENSO Robotics* ist dieser „App-Gedanke“ noch konsequenter umgesetzt worden. Die für die Steuerung des Roboters notwendige App „Cobotta World“ kann – wie bei Apps für Smartphones - direkt aus dem *Google Playstore* runtergeladen werden [11].

¹ manchmal auch als teachless oder zero-teach – Robotik bezeichnet

Andere Roboterhersteller, z.B. *rethink robotics* (jetzt *Hahn Group*), nutzen flussorientierte graphische Bedienoberflächen [10] oder eine Block-Programmierung. Dabei werden visuelle Blöcke mit unterschiedlichen Funktionen in das Programm eingebunden und mit entsprechenden Linien bzw. Pfeilen verbunden. Dies ist zum einen sehr intuitiv und durch die graphische Oberfläche leicht verständlich. Zum anderen sind keine Programmierkenntnisse in Form von Programmcode erforderlich. Dadurch werden das Anlernen und Erlernen des Roboters deutlich vereinfacht. Auch das deutsche Startup *RobCo* nutzt beispielsweise diese Art der Programmierung [7].

Um auch Mitarbeitern ohne große Programmierkenntnisse eine Programmierung von Robotern zu ermöglichen, nutzt das Unternehmen *Wandelbots* als intuitive Programmierung eine Stift-Eingabe. Mit dem sogenannten „TracePen“ wird die Bauteilkontur abgefahren. Der Roboter speichert automatisch die Haltung und Stellung des Stiftes und erstellt die benötigten Bewegungsabläufe. Die Abläufe werden dann in Automatisierungsskripte für Roboter umgewandelt. Dadurch können Programme sehr schnell und zuverlässig – ohne Programmierkenntnisse – entwickelt werden. [13]

Auch die Firma *Nordbo Robotics* nutzt bei ihrem „Mimic Kit“ einen Joystick zur Programmierung. Mit dem Joystick kann der Roboter in Echtzeit gesteuert oder die Bewegungen aufgezeichnet werden. Die aufgezeichneten Bewegungen können dann angeschaut und ggf. optimiert werden – durch Anpassung der Geschwindigkeit, der Ausrichtung oder auch in der Bahnplanung. Anschließend kann der Roboter die beigebrachten Bewegungsabläufe abfahren. [14]

ROS (Robot Operating System)

Bislang setzen die großen Roboterhersteller ihre eigenen Steuerungen und nicht kompatiblen Programmiersprachen ein, um Roboter zu programmieren. Das Robot Operating System (ROS) ist ein Framework², welches die Möglichkeit bietet, die Steuerung und Programmierung von Robotern zu standardisieren. Seit 2013 beschäftigt sich das *ROS Industrial Consortium* mit der Förderung und Unterstützung von ROS für Anwendungen in der Industrierobotik. In Europa koordiniert das Fraunhofer IPA die Aktivitäten des ROS Industrial Consortium Europe [15]. Laut einer Studie des Forschungsinstituts *ABI Research* aus dem Jahr 2019 sollten 2024 55 % der kommerziellen Roboter über ein ROS-Paket verfügen [16]. Diese Verbreitung hat ROS bis heute nicht erreicht. Dies liegt unter anderem an der Komplexität der notwendigen Softwarepakete und Bibliotheken sowie an unterschiedlichen Softwareversionen mit nicht

² Ein Framework ist ein Programmiergerüst, das in der Softwaretechnik, insbesondere bei der objektorientierten Softwareentwicklung sowie bei komponentenbasierten Entwicklungsansätzen, verwendet wird (Wikipedia)

kompatiblen Softwarebausteinen. Viele Projekte – insbesondere im Forschungsbereich – beschäftigen sich aber mit der Weiterentwicklung von ROS. Daher könnte von dieser Entwicklung zukünftig noch ein großer Einfluss auf die Robotik ausgehen.

Virtuelle Simulation und der digitale Zwilling

Virtuelle Darstellungen von Robotern und anderen Produktionsmaschinen ermöglichen Herstellern die Simulation von Roboterbewegungen sowie die Auswirkungen von Änderungen an Parametern und Programmen, bevor diese implementiert werden. Robotersimulationen werden insbesondere in der Automobilindustrie schon lange eingesetzt. Zunehmend gibt es Anwendungen, die mit KI-Algorithmen verknüpft werden (siehe auch Kapitel 4).

Einige Hersteller verknüpfen physische Maschinen in Echtzeit mit einer virtuellen Darstellung derselben Maschine – ein sogenannter digitaler Zwilling. Damit können Maschinenzustandsdaten sehr gut visualisiert werden. Häufig wird der digitale Zwilling auch in Zusammenhang mit einer zustandsorientierten Wartung eingesetzt (Kapitel 4). Ein Beispiel dafür ist das deutsche Unternehmen *Artiminds*, die mit Ihrem Softwaremodul Learning & Analytics for Robots (LAR) die Möglichkeit bieten, Live-Sensordaten von Robotern zu überwachen, analysieren und zu optimieren [58].

Cloud Anwendungen

Ein weiterer Trend in der Robotik, ist der Einsatz von Cloud Anwendungen.

Das Unternehmen *KUKA* bietet beispielsweise ihre eigene *iiiQoT* Cloud Applikation an. Mit der Software können die Zustände der Roboter (Condition Monitoring), die Verwaltung der Assets (Assets Management) oder Predictive Maintenance durchgeführt werden. Mithilfe der IoT-Plattform kann auf alle Roboter zugegriffen und Zustandsdaten des Roboters ausgelesen werden. Ferner kann mithilfe von Predictive Maintenance und KI festgestellt werden, wann die nächste Wartung fällig ist. Durch den Zugriff auf die Roboter können Störungen schnell erkannt und Daten zur Analyse des Fehlers eingesehen werden. (vgl. [23])

Auch der Roboterhersteller *FANUC* setzt auf cloudbasierte Lösungen. So setzt das Unternehmen auf die „Industrial IoT Applikation“ *FIELD* (FANUC Intelligent Edge Ling & Drive System) und KI-Konzepte. Bei dem System handelt es sich um eine offene Plattform, in der mehrere Systeme (Maschinen, Roboter, CNC Steuerungen und Sensoren) integriert werden können. Dadurch können Gesamtprozesse besser beurteilt und effizienter gestaltet werden. Dazu werden die einzelnen Bestandteile miteinander verknüpft und Unternehmen können ihre eigenen Applikationen erstellen und entwickeln. Beispielsweise hat *Fanuc* die Applikation *LINKi* reali-

siert (siehe Abb. 16). Mit der Software lassen sich Maschinen, Roboter und technische Peripheriegeräte in die Software integrieren und Aufschlüsse über den Status, den Datenfluss oder die Logdateien erlangen. Dadurch können nach Fehlern gesucht, Zustände überwacht, Situationen analysiert, Produktionsergebnisse überprüft und Diagnosen erstellt werden. [24]



Abbildung 14: Oberfläche der MT-LINKi Software [25]

Durch den Einsatz von Cloud-Anwendungen können Benutzer außerdem eine Remote-Überwachung von Roboter von entfernten Standorten aus durchzuführen. Dies können entweder firmeneigene Experten oder Experten vom Roboterhersteller sein, die sich mit dem System auskennen. Durch die Anbindung an die Cloud können sich Experten von außen auf die Applikation schalten und das System überwachen, steuern und verwalten, was die Flexibilität und Effizienz von Robotersystemen erhöht. Bei Fehler oder Störungen können sich Experten auf das System schalten und den Fehler schnell beheben. Durch die Ferndiagnose kann eine ggf. lange Anreise vermieden und die Ursache schnell gefunden werden. Mithilfe der Cloud kann der Rechenaufwand extern (Cloud Computing) von Servern übernommen werden. Bei Einsatz von KI und Maschine Learning wird viel Rechen-Power benötigt. Diese Aufgabe kann mithilfe von Cloud-Anwendungen extern erfolgen. Dadurch wird das System deutlich schneller.

Google bietet beispielsweise ein Cloudsystem an, bei dem neben normalen CPUs (Central Processing Units) und Grafikprozessoren (GPUs) auch sogenannte TPUs genutzt werden können. Die Tensor-Prozessoren wurden speziell für maschinelles Lernen entwickelt. Mithilfe der Google-Cloud lässt das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt (*DLR*) ihren humanoiden Roboter Justin gleichzeitig lernen. In der Simulation wird der Roboter in hunderten von Welten parallel trainiert und verbessert dadurch seine Strategie. Dies erfordert enorm viel Rechenleistung, die über die Cloud zur Verfügung gestellt wird. So können laut Angaben des *DLR* mithilfe der Cloud Berechnungen innerhalb eines Tages abgeschlossen werden, für welche Rechner des Instituts eine Woche bräuchten. (vgl. [26])

Rückverlagerung

Die Rückverlagerung (Reshoring) von Produktionsstätten aus Schwellenländern zurück in die Industriestaaten gewinnt in verschiedenen Branchen an Bedeutung. Insbesondere im Automobilsektor investieren Hersteller verstärkt in kurze Lieferketten, um ihre Zulieferketten resilienter zu gestalten und um ihre Prozesse näher an ihre Kunden zu bringen und die Transportwege schlanker zu gestalten. Bei diesem Rückverlagerungstrend spielt die Roboterautomatisierung eine entscheidende Rolle, da sie eine kostengünstige und großvolumige Herstellung von Produkten ermöglicht.

So ergab eine weltweite Umfrage aus einer *ABB* Studie [17] von deutschen und europäischen Führungskräften, dass 86 Prozent der deutschen und 74 Prozent der europäischen Unternehmen vorhaben, ihr Unternehmen zu re- bzw. nearshoren, um ihre Lieferketten zu verkürzen und den Aspekt der Nachhaltigkeit zu verbessern sowie die Gefahr von globalen Unsicherheiten zu reduzieren. Um dies umzusetzen, planen 84 Prozent der deutschen und 75 Prozent der europäischen Unternehmen Investitionen im Bereich Robotik und Automatisierung zu tätigen. [17]

Ein weiterer bemerkenswerter Reshoring-Trend betrifft die Rückverlagerung der Mikrochip-Produktion in die USA und nach Europa. Da heutzutage die meisten Industrieprodukte einen Halbleiterchip benötigen, ist die Bereitstellung dieser Chips in Kundennähe von großer Bedeutung. Roboter spielen hierbei eine entscheidende Rolle, da sie den extrem hohen Präzisionsanforderungen in der Chipfertigung gerecht werden können. So ist nach Aussage des Chefvolkswirts des VDMA *Dr. Ralph Wiechers* der Prozess nur durch Einsatz von Robotik & Automatisierung möglich [18]. So übernehmen beispielsweise speziell entwickelte Roboter die Herstellung von Siliziumwafern, übernehmen Reinigungs- und Säuberungsaufgaben oder führen Tests an integrierten Schaltkreisen durch. Weitere Beispiele für die Rückverlagerungen sind die neuen Chipfabriken von *Intel* in Ohio sowie das zukünftig weltweit größte Chipwerk für Halbleiter im Saarland, das von dem US-Chiphersteller *Wolfspeed* und dem Automobilzulieferer *ZF* betrieben wird. (vgl. [19])

„Prepared-to-Repair“

Angesichts der Tatsache, dass Industrieroboter eine Lebensdauer von bis zu dreißig Jahren haben, bieten neue technische Ausstattungen die Möglichkeit, älteren Robotern eine Art "zweites Leben" zu ermöglichen.

Deshalb betreiben führende Hersteller von Industrierobotern wie *ABB*, *FANUC*, *Stäubli*, *KUKA* und *Yaskawa* spezielle Reparaturzentren in unmittelbarer Kundennähe. Diese Zentren dienen dazu, gebrauchte Geräte auf ressourceneffiziente Weise zu überholen oder aufzurüsten. Mit dieser „Prepared-to-Repair“-Strategie, die von den Roboterherstellern gemeinsam mit ihren Kunden verfolgt wird, trägt nicht nur zur Kosteneinsparung bei, sondern auch zur effizienten Nutzung und Einsparung von Ressourcen. Darüber hinaus bietet die Möglichkeit langfristiger Reparaturen den Kunden eine nachhaltige Lösung und unterstützt somit aktiv den Weg zu einer ressourcenschonenden Wirtschaft. Dies stellt einen wichtigen Beitrag für die Kreislaufwirtschaft dar und ermöglicht die Nutzung der Industrieroboter auch über lange Zeiträume. [20]

Modulare Roboter

Die fortschreitende Automatisierung in der Industrie sorgt für eine ständige Weiterentwicklung von Robotertechnologien. In diesem Abschnitt werden modulare Industrieroboter vorgestellt. Dabei handelt es sich um eine innovative Form von Robotik, die vor allem in puncto Flexibilität und die Anpassungsfähigkeit neue Möglichkeiten für die Industrie bietet. Modulare Roboter sind spezielle Roboter, die aus verschiedenen austauschbaren Modulen bestehen (s. Abb. 14). Diese Module können je nach Anforderungen der Produktion angepasst oder ausgetauscht werden, was die Flexibilität und die Anpassungsfähigkeit deutlich erhöht. Durch die Möglichkeit, Module nach Bedarf zu wechseln oder neue Module zu integrieren, können modulare Roboter verschiedene Aufgaben übernehmen oder sich an wechselnden Anforderungen in der Produktion anzupassen und Produktionsprozesse vielseitiger und effizienter gestalten. Außerdem können die Roboter durch die modulare Bauweise schnell und einfach für neue Aufgaben umgerüstet werden. Dies trägt dazu bei, Engpässe zu minimieren, die gesamte Produktionskapazität zu optimieren und letztlich die Gesamteffizienz zu steigern.

Die Wiederverwendbarkeit und Umrüstbarkeit führt zu erheblichen Kosteneinsparungen für Unternehmen. Es entfällt die Notwendigkeit, für jede spezielle Aufgabe einen neuen Roboter anzuschaffen.

Modulare Industrieroboter haben das Potenzial, die Effizienz von Produktionsprozessen erheblich zu steigern. Die Flexibilität, die schnelle Umrüstung und die Kostenoptimierung tragen dazu bei, die Herausforderungen der modernen Fertigungsindustrie zu bewältigen.

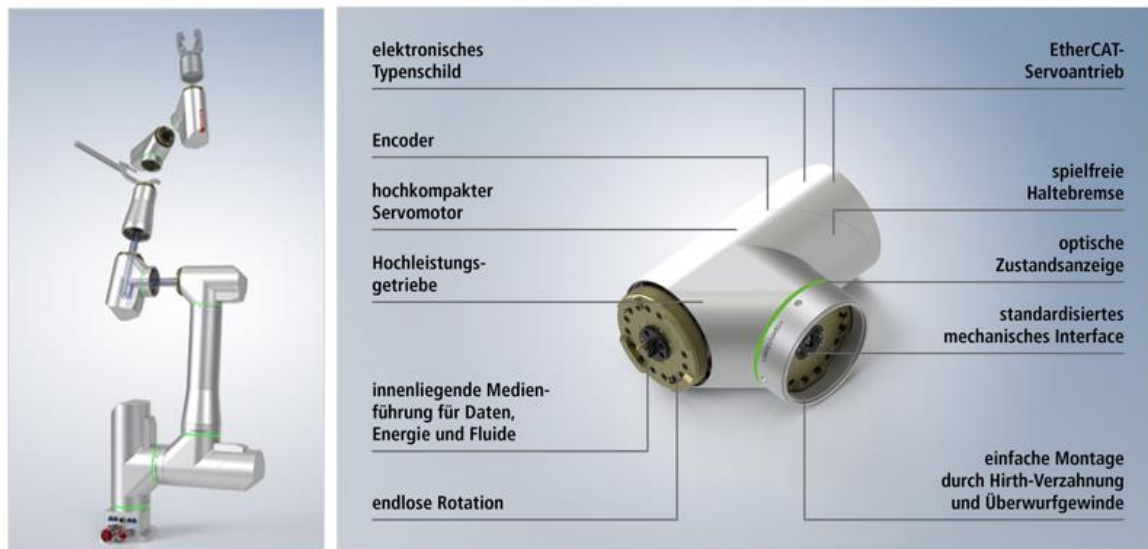


Abbildung 15: Aufbauweise modularer Roboter [21]

In der Abbildung 14 ist der Aufbau des modulare Industrieroboter-Baukasten von *Beckhoff* zu sehen. Das ATRO-System von *Beckhoff* bietet dabei eine Reihe an individuellen Möglichkeiten zur Umsetzung von eigener Kinematik an. Mithilfe der modularen Bauweise lässt sich der Roboter je nach Bedarf an die Aufgabe anpassen und ist somit flexibel einsetzbar. Auch das deutsche Unternehmen *Robco* setzt auf modulare Roboter. Bei dem Roboter können bis zu 8 Module kombiniert werden und Traglasten bis zu 35 kg realisiert werden. Dank der verbauten Technik in den Modulen weiß die Steuerung, aus welchen Modulen der Roboter zusammengesetzt ist und erstellt die Kinematik automatisch. [7]

Roboterplattformen

Heutige Automatisierungsdienstleister bieten unter anderem modulare Zellen für verschiedene Anwendungen (Palletieren, Dosieren, Schleifen, Maschinenbestückung Bin Picking, ...) an, in denen Roboter unterschiedlicher Hersteller eingesetzt werden können. Dazu hat das 2019 gegründete Tech-Start-Up *Unchained Robotics* einen sogenannten „MalocherBot“ entwickelt. Dahinter verbirgt sich eine Plattform, auf der Module ausgewählt und zusammengestellt werden können.

Mithilfe der Plattform können komplett modulare und schlüsselfertige Lösungen (s. Abb. 15), die für jeden gängigen Prozess ein Modul besitzen, entwickelt und realisiert werden. [22]



Abbildung 16: Modulare Roboterzelle [22]

Auch das Start-Up Unternehmen *Leverage* setzt hochflexible Plug & Play-Roboterzellen namens „Factorycube“ ein, um die Produktion von wechselnden Kleinserien zu vereinfachen [59].

Ein weiteres Beispiel ist das Unternehmen *Igus*, welches einen „Low-Cost-Automation-Baukasten“ anbietet. Zu den einsetzbaren Robotern zählen Gelenkarmroboter, Cobots, Delta-Roboter, SCARA Roboter und Portalroboter mit jeweils unterschiedlichen Ausführungen. Durch die modularen Roboterkomponenten kann die Konfiguration speziell an die eigenen Anforderungen zusammengestellt werden. [12]

Adaptive Greiftechnologien

Roboter sind unter anderem auch deshalb immer flexibler einsetzbar, weil sich Teile durch anpassbare Greifer einfacher greifen lassen. Dazu tragen neue Greifertechnologien bei, wie adhäsive Greifer – z.B. der Gecko-Greifer von *onrobot* [27] oder der Adheso Greifer von *Schunk* [28] - oder sich an die Kontur anpassbare Greifer, z.B. der Saugmatrix-Greifer von *Schmalz* [29] oder Greifer mit Greifkissen von *Formhand* [30]. Auch *Festo* bietet verschiedene adaptive Greifer an, unter anderem „Fin Gripper“, die sich entsprechend einer Haifischflosse an Konturen anpassen können [31].

In den Greifern können Kraft-Momenten-Sensoren verbaut werden, die die Möglichkeit bieten, Teile kraftgesteuert zu greifen. Damit lassen sich auch Teile mit unterschiedlichen Geometrien oder starken Streuungen in den Geometrien greifen.

Diese Kraft-Momenten-Überwachung muss nicht im Greifer direkt verbaut sein, sondern kann auch im Roboterarm integriert sein oder sich als Adapter zwischen Roboterarm und Greifer

(z.B. *Bosch* [32]) befinden. Die fortschreitende Entwicklung derameratechnik zur Identifikation der Bauteile und Bestimmung der Teileposition (siehe Kapitel 4) tragen ergänzend dazu bei, dass die Planung und Programmierung von Greifvorgängen immer einfacher werden.

Energie-Effizienz

Um die Wettbewerbsfähigkeit von Unternehmen in Zeiten steigender Energiekosten zu verbessern, spielt die Energieeffizienz eine entscheidende Rolle. Der Einsatz von Robotern ist dabei ein Schlüssel zum Erfolg, da er dazu beiträgt, den Energieverbrauch in der Fertigung zu reduzieren. Im Vergleich zur herkömmlichen Fließbandproduktion können erhebliche Energieeinsparungen durch den Einsatz von Automatisierungstechnologie erzielt werden. Sie ermöglichen eine Reduzierung der Raumtemperatur, wodurch der Energieverbrauch gesenkt und Energie eingespart werden kann. Gleichzeitig arbeiten Roboter mit hoher Geschwindigkeit, was zu einer Steigerung der Produktion führt und somit die gesamte Fertigung sowohl zeit- als auch energieeffizienter macht.

Darüber hinaus sind moderne Roboter darauf ausgelegt, weniger Energie zu verbrauchen und mit geringeren Betriebskosten auszukommen. Unternehmen setzen Industrieroboter mit energieeffizienter Technologie ein, um ihre Nachhaltigkeitsziele in der Produktion zu erreichen. Ein Beispiel dafür ist die Möglichkeit der Robotersteuerungen, Bewegungsenergie in Strom umzuwandeln und ihn ins Stromnetz zurück zu speisen. *Yaskawa* nutzt beispielsweise die Bremsenergie aus Ab- und Seitwärtsbewegungen des Roboters, um sie als 400 V Wechselstrom direkt in das Stromnetz zurück zu speisen. (vgl. [33])

Diese Technologie trägt erheblich zur Reduzierung des Energiebedarfs bei der Roboterbetreuung bei. Durch einen intelligenten Stromsparmmodus, der die Energieversorgung des Roboters bedarfsgerecht während des Arbeitstages steuert, können weitere Einsparungen erzielt werden. Da industrielle Anlagen bereits heute ihren Energieverbrauch überwachen müssen, wird erwartet, dass vernetzte Stromsensoren zu einem Industriestandard für Roboterlösungen werden. Durch das Überwachen des Stromverbrauchs der Motoren des Roboters können außerdem Störungen und Ausfälle der Roboter schnell entdeckt und behoben werden. Diese Funktion wird bereits teilweise genutzt, um proaktive Wartungen (siehe auch Kapitel 4) durch intelligente Systeme durchzuführen und Ausfälle zu verhindern, bevor sie eintreten.

4 KI und Robotik

Künstliche Intelligenz und Automatisierung

Ein weiterer wichtiger Fortschritt in der Robotik ist der Einsatz von künstlicher Intelligenz (KI), die ein enormes Potenzial bietet und zahlreiche Vorteile in der Fertigung bereitstellt. Der Hauptzweck des KI-Einsatzes besteht darin, Schwankungen und Unvorhersehbarkeiten in der Umgebung besser zu bewältigen - sei es in Echtzeit oder offline. Maschinelles Lernen, auch bekannt als "Machine Learning", spielt dabei eine immer größere Rolle. Als Beispiele hierfür sind die Prozessoptimierung, Predictive Maintenance oder Bin Picking zu nennen. Durch die Algorithmen der KI sind die Roboter in der Lage selbstständig zu lernen und können dadurch Aufgabenstellungen immer besser bewerkstelligen. Die KI-Technologie hilft somit Herstellern, Logistikunternehmen und Einzelhändlern, die mit einer Vielzahl von Produkten, Aufträgen und Beständen arbeiten. Je komplexer und unvorhersehbarer die Umgebung ist, desto wahrscheinlicher ist es, dass KI-Algorithmen eine kosteneffiziente und schnelle Lösung bieten können. Beispiel hierfür sind Hersteller oder Großhändler, die regelmäßig mit Millionen verschiedener Produkte umgehen und deren Zusammensetzung sich zudem ständig ändern kann. [34] Des Weiteren erweist sich der Einsatz von künstlicher Intelligenz als äußerst vorteilhaft in Situationen, in denen mobile Roboter auf Objekte oder Personen treffen. In solchen Situationen müssen die Roboter lernen, diese voneinander zu unterscheiden und entsprechend unterschiedlich auf die jeweilige Situation zu reagieren. Hierbei können Methoden der KI, wie das Reinforcement Learning genutzt werden, um den Agenten mithilfe eines Belohnungssystems dazu zu bringen, Entscheidungen selber und besser treffen zu können.

KI kann im Bereich der Robotik in zwei Hauptfelder unterteilt werden. Im Bereich des automatischen Erfassens und Reagierens (eng. auch sens-and-respond), erkennt der Roboter seine äußere Umgebung in Echtzeit selbstständig und kann darauf reagieren. Für diese Kategorie sind Pick-and-Place Aufgaben die häufigste Roboteranwendungen. Das zweite Hauptfeld von KI in der Robotik ist die Leistungsoptimierung, indem KI genutzt wird, um Prozesse und Roboterbewegungen zu optimieren oder eine zustandsorientierte Instandhaltung des Roboters zu ermöglichen (vgl. [35]). Im Folgenden werden einige Aufgabenfelder der jeweiligen Hauptfelder näher vorgestellt.

Erfassen und Reagieren (Sens-and-respond)

Hierunter fallen Anwendungen, bei denen der Roboter seine äußere Umgebung in Echtzeit erkennt und darauf reagiert, um eine bestimmte Aufgabe zu erfüllen.

Der Teil des Erfassens erfordert Sensoren am Roboter und/oder externe Sensoren und kann Kameras umfassen, die dem Roboter helfen, entweder sich selbst oder ein Objekt, das er Greifen/Bewegen soll, zu lokalisieren. Hierzu wird meist eine Art des Maschinellen Lernens eingesetzt. Im Teil des Reagierens werden in der Regel Algorithmen zur Entscheidungsfindung eingesetzt, um die beste Vorgehensweise zu bestimmen. Dies kann bspw. die Auswahl der richtigen Kraft, die beste Bahnplanung des Roboters oder die richtige Greifposition sein, um ein Objekt/Bauteil sicher greifen und ablegen zu können.

Die Algorithmen für das Erfassen und Reagieren können dabei entweder direkt auf dem Roboter, dem Robotersystem (Roboter mit einem Bildverarbeitungssystem) oder einem übergeordneten Steuerungssystem laufen. Wenn mehrere Roboter eingesetzt werden, muss der Algorithmus jedoch im Steuerungssystem ausgeführt werden. Bei mobilen Robotern werden z.B. Flottenmanagementsysteme zur Steuerung von Robotergruppen eingesetzt. In diesen Systemen kann KI eingesetzt werden, um zu bestimmen, welcher Roboter für welche Aufgabe eingesetzt werden soll und die jeweilige Navigation der einzelnen Roboter erfolgen. Im Folgenden werden die gängigsten "Sense-and-Response"-Anwendungen vorgestellt. [35]

Pick-and-Place

Bei Pick-and-Place Anwendungen ist es die Aufgabe des Roboters ein Objekt von einem Ort aufnehmen und an einem anderen Ort ablegen. In der traditionellen, deterministischen Programmierung erfolgt dies durch die Verwendung von exakten Koordinaten, bei der das aufzunehmende Objekt immer gleich ist und an der gleichen Stelle ankommen und abgelegt wird (z.B. ein Förderband).



Abbildung 17: Maschinenbedienung bei Allied Moulded mit ActiNav [36]

Das ActiNav-System von *Universal Robots* nutzt zum Beispiel statistische Übereinstimmung, um ähnliche, aber unsortierte Teile aus Behältern zu entnehmen. Das System verwendet ein CAD-Modell des zu pickenden Teils als Referenz. Basierend auf dem Objekt und der Art des Greifers werden dann die besten Entnahmepunkte bestimmt. Ein Vakuumgreifer benötigt beispielsweise einen Entnahmepunkt, an dem die gesamte Oberfläche angesaugt werden kann. ActiNav verwendet dazu einen Laser-Entfernungsmesser, um eine Punktwolke zu erstellen, die die Identifizierung des Objekts ermöglicht. Wenn ein unsortierter Behälter eintrifft, wird ein 3D-Bild aufgenommen und eine Punktwolke erzeugt. Durch statistische Übereinstimmung wird die Wahrscheinlichkeit berechnet, dass ein in der Punktwolke identifiziertes potenzielles Objekt tatsächlich das zu pickende Objekt ist. Algorithmen zur Pfadplanung bestimmen den besten Weg für den Roboterarm, um sich dem Objekt zu nähern und es aufzuheben.

Hier zeigt sich, dass KI, insbesondere maschinelles Lernen, Vorteile bietet, wenn es um Variabilität geht. KI bietet auch Vorteile in Situationen, in denen Teile gemischt und unsortiert in Behältern liegen oder jedes Mal unterschiedlich auf Paletten geladen werden. KI ermöglicht es Bildverarbeitungssystemen, die Konturen eng gepackter, ähnlicher Objekte wie Verpackungen gleicher Farbe und Oberfläche oder strukturierter Oberflächen wie Holz korrekt zu erkennen. Zudem ist KI in Umgebungen mit stark schwankenden Lichtverhältnissen nützlich. [35]

Die Fortschritte in den Algorithmen des maschinellen Lernens für Sense-and-Response-Roboteranwendungen sind signifikant. Früher war es erforderlich, die Algorithmen mit Hunderten oder Tausenden von Bildern jedes Zielobjekts zu trainieren, um eine korrekte Erkennung zu gewährleisten. Dieser Prozess war zeitaufwendig und machte einen erheblichen Teil der Kosten der Anwendung aus. Jedes Mal, wenn ein neues Produkt eingeführt wurde, musste der

Algorithmus mit markierten Beispielen neu trainiert werden. Dies stellte insbesondere für Unternehmen mit hoher Produktvielfalt, wie beispielsweise Großhändler mit Millionen von Produkten, von denen sich viele täglich ändern, eine wirtschaftliche Herausforderung dar.

Aus diesem Grund haben KI-Software- und Systemanbieter erhebliche Anstrengungen unternommen, um Algorithmen zu entwickeln, die mit weniger oder sogar ohne markierte Beispiele lernen können. Dies wurde durch den Einsatz von halbüberwachten oder selbstüberwachten Lernmethoden erreicht. Beim halbüberwachten Lernen dient ein kleiner Satz markierter Bilder als Ausgangspunkt, anhand dessen sich der Algorithmus selbst trainiert. Beim selbstüberwachten Lernen, das etwas komplexer ist, werden bereits in den Eingabedaten vorhandene Kennzeichnungen verwendet, wie bestimmte Töne oder Farben. Das Wissen, das von Systemintegratoren oder Softwareanbietern in ihren Pick-and-Place-Anwendungen gesammelt wurde, wächst im Laufe der Zeit an, was die Trainings- und Installationszeit einer KI-basierten Pick-and-Place-Anwendung in einem bestimmten Bereich, wie z.B. verpackte Lebensmittel, verkürzt.

Ein weiteres Einsatzgebiet, bei dem Roboter eingesetzt werden, ist das Umlagern von Paketen oder Bauteilen [35]. Besonders herausfordernd ist dabei das Stapeln von Objekten mit unterschiedlichem Gewicht, da der Algorithmus die beste Anordnung ermitteln muss, um schwere Gegenstände in der unteren Schicht einer gemischten Palette zu platzieren. Ein Beispiel dafür ist die *LQ Group*, ein Unternehmen für Konsumgüter, das die KI-Technologie von *MechMind* nutzt, um Waren von Paletten zu nehmen und auf ein Förderband zu legen.



Abbildung 18: Depalletierungszelle von MechMind Robotics Technologies [37]

LQ erhält Tausende von Kartons in verschiedenen Größen, Farben, Mustern und Schattierungen, für die eine individuelle Programmierung zu teuer oder unmöglich wäre. Bei der Lösung

von *MechMind* sendet das Steuerungssystem der Anlage sobald eine Palette an einer bestimmten Position ankommt, die Details der Kartons an den Roboter. Sobald der Roboter das Signal zur Ankunft von der Steuerung erhält, löst er die Kamera aus, um ein Bild aufzunehmen, das dann an das Bildverarbeitungssystem gesendet wird. Dieses System kombiniert die Koordinaten und Positionen der Kartons, um geeignete Greifpunkte zu bestimmen. Diese Informationen werden von den KI-Algorithmen verarbeitet, die dem Greifer des Roboters Anweisungen geben, wie viele Saugnäpfe aktiviert werden müssen, um eine bestimmte Anzahl von Kartons zu greifen, welche Kartons auf derselben Schicht gegriffen werden müssen und an welcher Position der Karton auf dem Förderband abgelegt werden soll. Im Gegensatz zum herkömmlichen Entstapelungsverfahren, bei dem der Inhalt einer Palette als Ganzes aufgenommen und auf das Förderband gelegt wird, können die Kartons einzeln entnommen werden. Um dies zu ermöglichen, wird die Palette mit einem 3D-Scanner und einem Algorithmus untersucht, der auf 5.000 Kartonformen vortrainiert ist und kontinuierlich neue Formen erlernt. Für Kartons mit problematischen Oberflächen, wie unterschiedlichen Texturen, glänzendem oder reflektierendem Material, abstehenden Bändern, Mustern oder Kartons mit schwarzer Bedeckung, kann ein fortgeschrittener CNN-Algorithmus (Convolutional Neural Network) verwendet werden, um diese zu erkennen. Anschließend wird dem Roboter ein Befehl gesendet, der mit einem speziell entwickelten Universalgreifer arbeitet, der eine Genauigkeit von ± 3 mm beim Greifen gewährleistet. Auf diese Weise kann der Roboter bis zu 1.000 Kartons pro Stunde entladen, mit einer Genauigkeit von 99,7%. [37]



Abbildung 19: Depalettierung mit einem ABB Roboter und einem Photoneo 3D-Vision-System mit maschinellem Lernen [38]

Bin Picking

Auch Bin Picking-Prozesse³ werden zunehmend durch KI unterstützt. Einerseits bieten Roboterhersteller wie *Fanuc* Kameras und Software für einen Bin Picking-Prozess für ihre Roboter an [39].

Oder die Planung der Bin Picking Prozesse ist in der Software integriert, die vom Kamerahersteller kommt, wie beispielsweise von *Keyence* [40] oder *Optonic* [41]. Hierbei können Kamera, Roboter und die Umgebungen virtuell abgebildet, programmiert und gesteuert werden.

Weiterhin bieten Greiferhersteller, z.B. *Schmalz* oder *Schunk*, integrierte Lösungen an, um Greifer, Roboter, und Kamera für Bin Picking-Prozesse zu steuern [57,61].

Erste Roboterhersteller wie *Neura* (siehe unten) integrieren Bin Picking – Algorithmen direkt in der Robotersteuerung.

Mit dieser Unterstützung für Bin Picking-Prozesse können robotergestützte Anwendungen zur Entnahme von Teilen aus Behältern wesentlich einfacher und schneller umgesetzt werden.

KI-unterstützte Qualitätskontrolle

Die Qualitätsprüfung ist neben Pick-and-Place Aufgaben derzeit eine der gängigsten Anwendungen von KI in der Robotik. Durch den Einsatz von 3D-Kameras und maschinellen Lernalgorithmen können Roboter Teile während des Produktionsprozesses überprüfen. Mithilfe dieser Technologie können fehlerhafte Teile aus der Produktionslinie entfernt werden, bevor sie zur nächsten Station weitergeleitet werden, was Kosten für unnötige Weiterverarbeitung spart. Es gestaltet sich schwierig, exakte Parameter zu definieren, die die Erkennung aller Arten von Fehlern ermöglichen würden, da beispielsweise Kratzer bei jedem Teil unterschiedlich sind. KI-Algorithmen hingegen können aus einer Vielzahl von Beispielen lernen und Verallgemeinerungen treffen. Je mehr Beispiele der Algorithmus berücksichtigt, desto besser passt er sich an. In einigen Fällen kann die 3D-Kamera sogar Produktfehler erkennen, die für das menschliche Auge zu klein sind, um sie zu identifizieren.

Die gleiche Funktionalität kann auch für die Fehlererkennung verwendet werden, um Ausschuss zu reduzieren. Durch die frühzeitige Erkennung und Korrektur von Fehlern am Anfang eines Produktionslaufs, noch bevor viele Teile hergestellt werden, können Fehler vermieden werden. *FANUC* bietet beispielsweise eine Anwendung zur Fehlererkennung an, bei der überprüft wird, ob eine Mutter, die von einem Roboter angezogen werden soll, tatsächlich vorhanden ist.

³ Als Bin Picking – auch „Griff in die Kiste“ genannt - wird die Entnahme von ungeordneten Teilen aus einem Behälter verstanden.



Abbildung 20: Überprüfung, ob Muttern vorhanden und korrekt positioniert sind [42]

In Abbildung 20 ist das Kamerasystem zu sehen. Hierbei wird die Kamera verwendet, um zu überprüfen, ob sich die einzelnen Muttern an der richtigen Stelle befinden und ob sie korrekt positioniert sind.

Die Automatisierung einiger Formen der Qualitätsprüfung gestaltet sich schwierig, insbesondere wenn es um die Beurteilung von Oberflächenqualitäten wie Politur oder Lack geht. Durch entsprechendes Beleuchten der Oberfläche der Bauteile mit bspw. blauen Licht können auch schwierige Farben wie Schwarz oder auch glänzende Oberflächen in der Regel fehlerfrei erkannt werden. Während Kratzer mithilfe von KI leicht erkannt werden können, ist es schwierig, einen Algorithmus zu trainieren, um Qualitätsmerkmale wie die allgemeine Glätte zu unterscheiden. Die Wahrnehmung von Glätte kann je nach Lichtverhältnissen variieren, und menschliche Qualitätsprüfer würden ihren Tastsinn einsetzen, um solche Eigenschaften zu bewerten. Die Digitalisierung dieser Art von sensorischen oder haptischen Daten als Eingabe für einen KI-Algorithmus hat sich bisher als herausfordernd erwiesen. Daher wird die Endkontrolle vieler fertiger Oberflächen, bei der bspw. die Glätte eine Rolle spielt, vorerst wahrscheinlich ein manueller Prozess bleiben. [35]

Predictive Maintenance bei Robotern

KI-basierte Algorithmen für eine zustandsorientierte Instandhaltung werden zunehmend von den Roboterherstellern über Clouddienste angeboten (Beispiele sind *KUKA* oder *Fanuc* - siehe Kapitel 3). Services im Bereich Predictive Maintenance können auch von Dienstleistern oder von Komponentenherstellern kommen, wie dem Robotergetriebehersteller *Nabtesco*, der eine Lösung zur Echtzeitüberwachung von Robotern mittels digitaler Getriebemodelle anbietet [43]. Mit Hilfe der Algorithmen können Anomalien im Roboter erkannt und Hinweise für eine notwendige Wartung gegeben werden, bevor es zu einem Ausfall kommt.

KI-unterstützte Spracherkennung zur Roboterbedienung

Eine Besonderheit bei der Programmierung von Robotern ist die Möglichkeit der Sprachsteuerung. Hierfür besitzt beispielsweise der MAiRA Roboter von der Firma *Neura Robotics* einen 3D Voice Recognition Sensor, der es dem Roboter ermöglicht zu hören und Befehle vom Bedienenden anzunehmen. Die Spracherkennung funktioniert dabei ähnlich wie die intelligenten Sprachsysteme Alexa von *Amazon* oder auch *Apples Siri*. Die Sprachsteuerung wird durch die Worte *Hey MAiRA* aktiviert. Anschließend folgt der auszuführende Befehl an den Roboter. Dieser kommuniziert und antwortet auf die Befehle – wie es auch die beiden anderen Sprachsysteme tun – über Lautsprecher mit dem Bedienenden.

Beispielsweise können per Sprachbefehl in unterschiedliche Modis des Roboters geschaltet werden. Dies kann ohne weiteren Tastendruck bewerkstelligt werden. Die Kommunikation sieht dann wie folgt aus: [44]

Person:

„hey MAiRA.“

Der Roboter fragt nach, was er tun soll:

„Hi, what can i do for you?“

Es folgt der Befehl an den Roboter:

“Free-Drive-Mode”

Der Roboter überprüft anschließend, ob er die Anweisung korrekt verstanden hat:

“Do you mean free-drive-mode?“

Bestätigung des Befehls durch die Person:

“yes”

Antwort des Roboters:

“I am in free-drive-mode now”

Der Roboter kann anschließend manuell per Hand bewegt werden. Mithilfe des Befehls „Stopp“ kann im Anschluss der Free-Drive-Modus ausgestellt werden. Das Ändern des Modis des Roboters erfolgt hierbei in Sekunden und Bedarf keinerlei Wissen im Umgang mit Robotern. Das Wiederholen der Befehle dient hierbei vielmehr der Sicherheit. Es soll gewährleistet werden, dass alles korrekt verstanden wurde. Deshalb müssen die Befehle bei der Sprachsteuerung redundant und divers sein, damit sichergestellt ist, dass der Roboter auch die geforderten Befehle ausführt (vgl. [45]). So können mithilfe der Sprachsteuerung auch Fahr- und Greifbefehle ausgeführt werden. Das Erlernen des Roboters von Objekten erfolgt

hierbei durch künstliche Intelligenz. Die Objekte können anschließend vom Roboter selbstständig aufgenommen und abgelegt werden.

Auch das deutsche Unternehmen *Fruitcore robotics* hat auf der Automatica 2023 mit horstOS ein neues Betriebssystem mit integrierter KI-Unterstützung auf Basis von ChatGPT vorgestellt. Dieses soll Anwendern künftig bei der Inbetriebnahme kompletter Applikationen mit dem Industrieroboter *HORST* helfen. Das neue Betriebssystem von *fruitcore robotics* soll unter dem Slogan „Ask Horst anything“ über eine benutzerfreundliche Oberfläche die Konfiguration und Verwaltung aller am Prozess beteiligten Komponenten, das Programmieren sowie den Betrieb der fertig eingerichteten Anwendung vereinfachen und beschleunigen [46].

Ein weiteres Beispiel ist das deutsche Start-up *Sereact*, welches mit „PickGPT“ ein Large Language Modell anbietet, das für die Einrichtung und Programmierung von Robotern, insbesondere für Aufgaben wie Kommissionieren, Platzieren und Sortieren, eingesetzt werden kann [47].

KI-unterstützte Bewegungsplanung

Zunehmend findet eine Bewegungsplanung von Robotern mit Hilfe von KI-Algorithmen statt. Diese ist bei mobilen Roboteranwendungen fast schon Standard, verbreitet sich aber auch bei stationären Robotern. Bei diesen findet eine Optimierung der Bewegungsbahn des Roboters über KI-Algorithmen, wie z.B. genetischen Algorithmen, statt. Die Anwendungen werden als Cloud-Dienste angeboten (siehe auch Kapitel 3). Oder sie werden als Edge-Anwendungen bereitgestellt.

In diesen Markt dringt z.B. der Graphikkartenhersteller *Nvidia*, der auf seiner Plattform „ISAAC“ unterschiedliche KI-Tools für eine KI-gestützte Roboterplanung zur Verfügung stellt [48].

Ein anderes Beispiel ist die Firma *realtime robotics*, die Hard- und Software für eine kollisionsfreie Roboterplanung anbietet [49].

KI-integrierte Robotersteuerung

Meistens sind die KI-Anwendungen bei Robotern Bestandteil ergänzender Programme. Ein Beispiel für eine direkte Integration von KI-Algorithmen in die Robotersteuerung ist der MAiRA Roboter von *Neura Robotics*, der bei dem Thema Sprachsteuerung zur Roboterbedienung vorgestellt wurde. Bei diesem Roboter handelt es sich um einen bis zu 7-achsigen kollaborierenden Roboter, der bereits im Roboter integrierte künstliche Intelligenz und Maschinelles Lernalgorithmen besitzt (siehe Abb. 21). *Neura* bezeichnet diesen Roboter als *kognitiven Roboter*.



Abbildung 21: MAiRA Roboter von der Firma Neura Robotics [50]

Der Roboter kann neben der Sprachsteuerung auch per Gestensteuerung programmiert werden und ist in der Lage, Bewegungsabläufe beispielsweise eines Fingers durch integrierte Sensorik und künstlicher Intelligenz zu verfolgen. (siehe **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**)



Abbildung 22: Aufzeichnen der Bewegung eines Fingers [51]

Für diese Aufgabenstellung verfolgt das 3D Kamerasystem die Handbewegung und die integrierte KI des Roboters berechnet die benötigte Bahnbewegung. In den unteren zwei Bildern der **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** ist die generierte Punktwolke des Kamerasystems zu sehen, sowie die Überwachung der Handbewegung. Der Roboter kann anschließend ohne weitere Peripheriegeräte die gezeigte die Bewegung imitieren [29]. Besonderheit hierbei ist, dass der gezeigte Bewegungspfad mit dem Objekt verknüpft wird. Das Objekt könnte verschoben werden und der Roboter würde immer noch den gleichen Pfad wie zuvor entlang des Bauteils folgen. Der Roboter würde auch bei ungenauer Positionierung oder Orientierung eines Teils den korrekten Pfad finden und beispielsweise Schweißnähte korrekt setzen.

Ein weiteres Beispiel ist das intelligente Kommissionieren von Bauteilen (s. Abb. 23). In diesem Beispiel werden vom Menschen unterschiedliche Bauklötze zusammengebaut. Nach dem Vorgang wird dem Roboter per Sprachsteuerung mitgeteilt, dass der Prozess abgeschlossen ist. Anschließend nimmt der Roboter die Konstruktion auf und stapelt entsprechend der Vorlage neue Bauteile auf einem eigenen Stapel. [52]



Abbildung 23: Intelligentes Kommissionieren durch den MAIRA Roboter [52]

5 Robotik in SüdOstNiedersachsen

Neben dem Aufzeigen des aktuellen Stands der Robotik sowie zukünftiger Potenziale soll in dieser Studie auch ein Überblick über die Verbreitung von Robotern in der Region Südost-Niedersachsen gegeben werden.

Für Deutschland gibt es eine Studie des *Statistischen Bundesamtes* aus dem Jahr 2020, die den Einsatz von Industrierobotern im verarbeitenden Gewerbe in Abhängigkeit der Unternehmensgröße untersucht (Abb. 24).

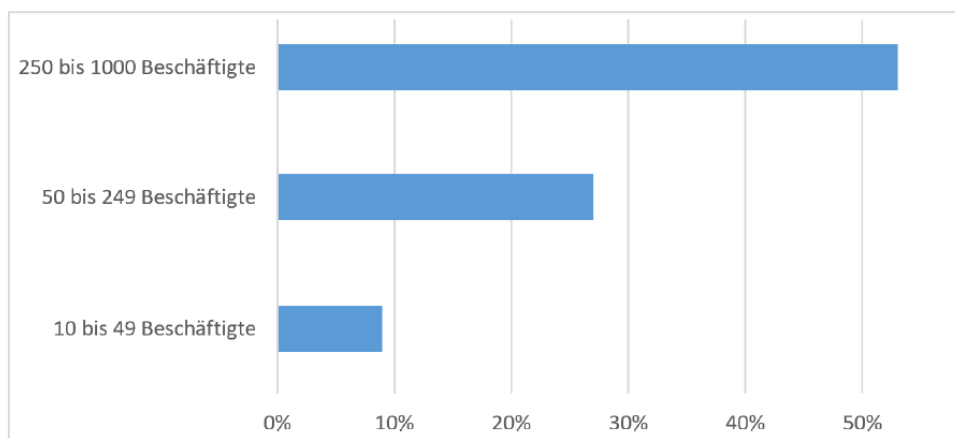


Abbildung 24: Anteil an Unternehmen im verarbeitenden Gewerbe in Deutschland mit Industrierobotern [53]

Demnach setzen 53 Prozent der Unternehmen mit einer Belegschaft zwischen 250 und 1000 Personen Industrieroboter in ihren Produktionsprozessen ein. Im Gegensatz dazu kommen kleinere Unternehmen mit 10 bis 49 Angestellten lediglich auf 9 Prozent [vgl. 53]. Die Gründe dafür scheinen vielfältig: größere Unternehmen verfügen in der Regel über umfangreichere finanzielle Ressourcen, fortschrittlichere Produktionstechniken und können Skaleneffekte besser nutzen. So werden Industrieroboter zumeist in der Großserie verwendet, wo sie repetitive Aufgaben ausführen. Klein- und mittelständische Unternehmen (KMU) fokussieren sich oft auf spezielle Marktnischen, in denen kleinere Losgrößen und Sonderanfertigungen im Vordergrund stehen (vgl. [54]).

Im Rahmen des Projekts „ReTraSON - Regionales Transformationsnetzwerk SüdOstNiedersachsen“ wurde von der *Prognos AG* die Studie „Situations- und Chancen-Risiko-Analyse zur regionalen Mobilitätswirtschaft“ durchgeführt [55]. Leider bietet die Studie keine verwertbaren Informationen zum Stand der Automatisierung oder Robotik in der Region SüdOstNiedersachsen. Die Studie stellt lediglich fest, dass „durch technologische Entwicklungen im Bereich Digitalisierung und Robotik ergeben sich im Sinne einer Smart Production neue Möglichkeiten, gleichzeitig stellen diese die Unternehmen vor neue Herausforderungen. Insbesondere kleine und mittelständische Betriebe in der Region Braunschweig-Wolfsburg können im Bereich der Nutzung und Anwendung unterstützt werden, um das Thema Robotik in der Region voranzutreiben“ [55].

Um Informationen über den Stand der Robotik in SüdOstNiedersachsen zu erhalten wurde daher 2023 im Rahmen des im Projekt *ReTraSON* integrierten Roboternetzwerkes *RoboSON* eine eigene Umfrage durchgeführt. In dieser wurden 17 Unternehmen befragt. Im Folgenden werden die Ergebnisse dieser Befragung vorgestellt.

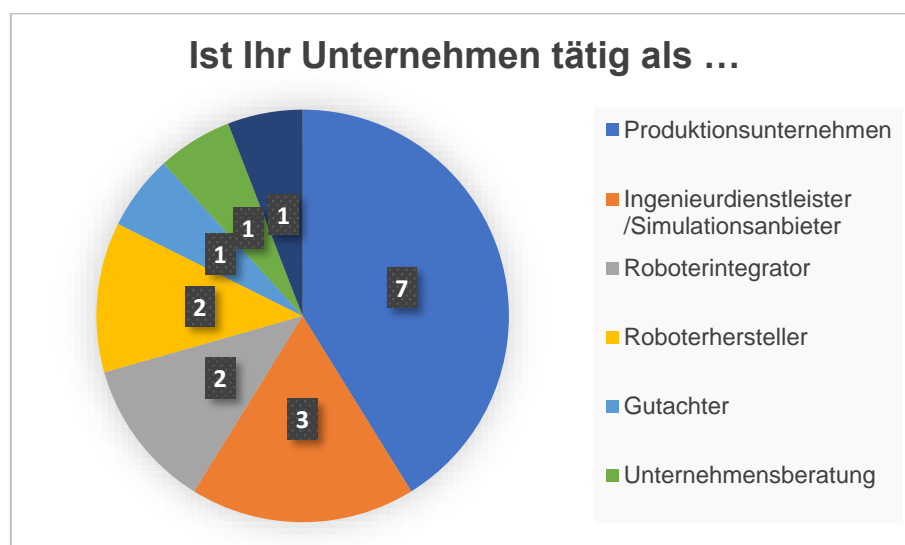


Abbildung 25: Sektor der befragten Unternehmen

Die meisten der befragten Unternehmen sind im industriellen Bereich tätig – hier vor allem im produzierenden Segment. Weitere Unternehmen bieten Dienstleistungen im Bereich der Robotik an.

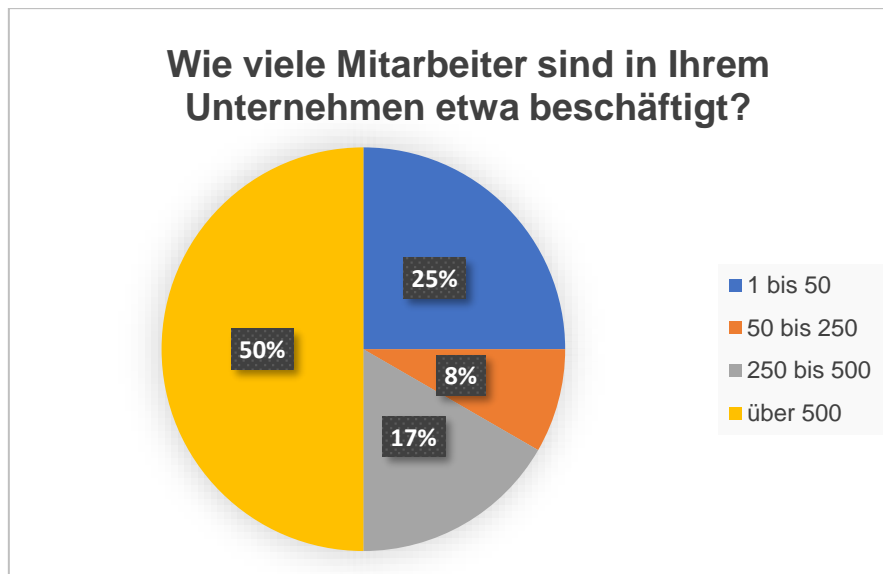


Abbildung 26: Anzahl der Mitarbeiter in den Unternehmen

Die Hälfte der in der Umfrage beteiligten Unternehmen beschäftigt über 500 Mitarbeiter. Von den restlichen 50 Prozent haben 25 Prozent 1-50 Mitarbeiter beschäftigt. Die anderen 25 Prozent beschäftigen 50 bis 500 Mitarbeiter.

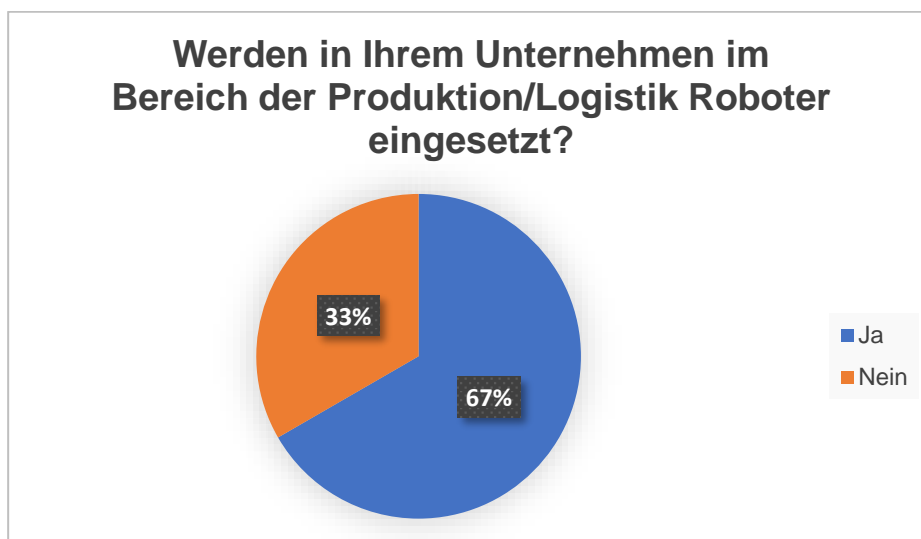


Abbildung 27: Einsatz von Robotern in der Produktion/Logistik

Die Auswertung zeigt, dass gut zwei Drittel der Befragten Roboter einsetzen. Die anderen Unternehmen bieten Dienstleistungen rund um die Robotik an, besitzen deswegen aber nicht unbedingt selber eigene Roboter im Bereich Produktion/Logistik.

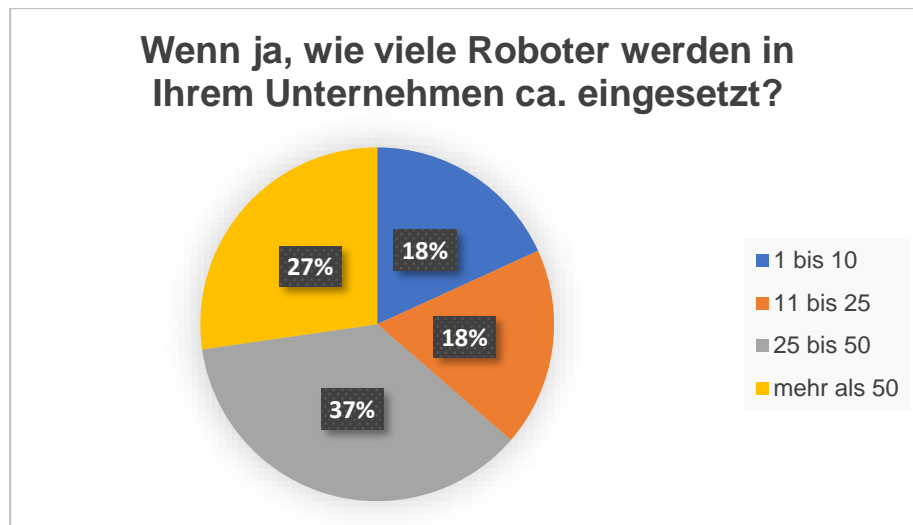


Abbildung 28: Abfrage, wie viele Roboter eingesetzt werden

In Abbildung 28 wird gezeigt, wie viele Roboter bei Unternehmen, die Roboter besitzen, eingesetzt werden. Dabei stellt sich heraus, dass die Mehrheit (64 %) der befragten Unternehmen mehr als 25 Roboter einsetzen; 27% der Unternehmen sogar mehr als 50 Roboter.

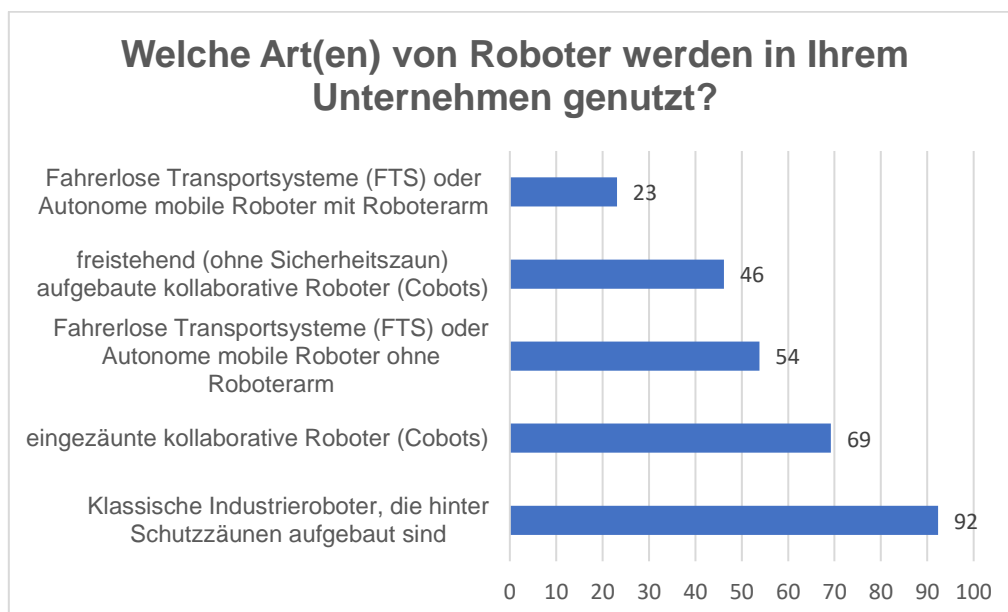


Abbildung 29: Eingesetzte Robotertypen

In der Abbildung 29 ist dargestellt, welche Robotertypen in den jeweiligen Unternehmen eingesetzt werden. Hierbei konnten auch mehrere Antwortmöglichkeiten ausgewählt werden. Die Zahlen in der Abbildung sind in Prozent angegeben. Es wird deutlich, dass vor allem klassi-

sche Industrieroboter mit Schutzzaun (92 %) sowie kollaborative Roboter (69 %) in den Unternehmen eingesetzt werden. Etwa die Hälfte der Befragten nutzen Fahrerlose Transportsysteme bzw. autonome mobile Roboter ohne Roboterarm (54 %) oder / und freistehende kollaborative Roboter (46 %). 23 % der Befragten nutzen fahrerlose Transportsysteme oder autonome mobile Roboter mit Roboterarm.

Die folgende Abbildung 30 zeigt, von welchen Herstellern Roboter eingesetzt werden. Auch hier bestand die Möglichkeit, mehrere Antworten auszuwählen. Die Auswertung zeigt, dass eine Vielzahl von Robotern unterschiedlicher Roboterhersteller eingesetzt werden.

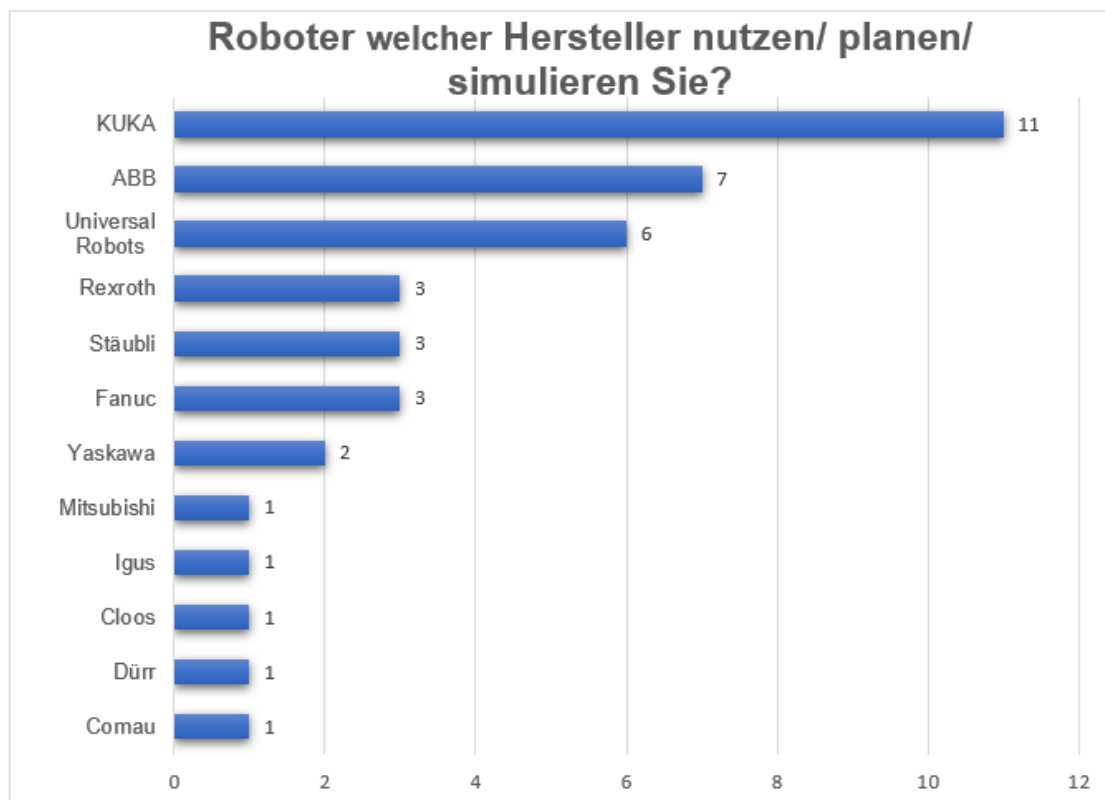


Abbildung 30: Welche Roboter werden in den Unternehmen eingesetzt

Die Abbildung 31 zeigt die Aufgabenbereiche von kollaborativen und industriellen Robotern in den befragten Unternehmen.

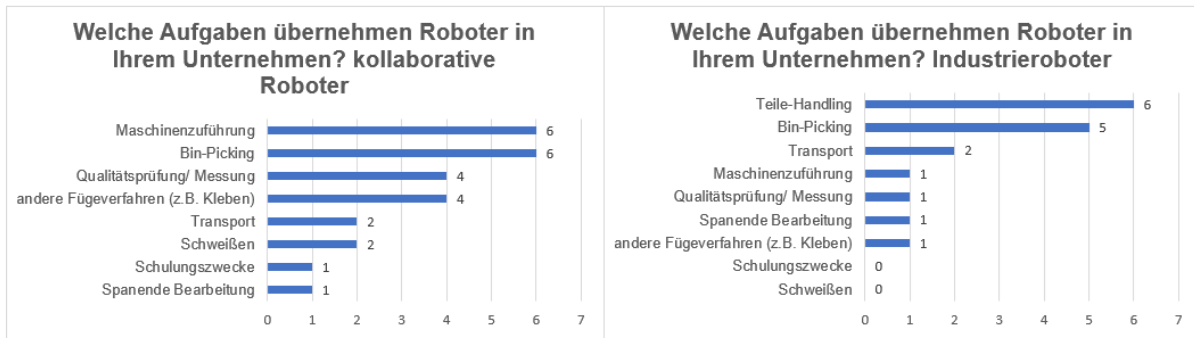


Abbildung 31: Aufgabenbereiche der eingesetzten Roboter

Kollaborative Roboter werden bevorzugt im Bereich der Maschinenzuführung und des Bin Picking eingesetzt. Diese beiden Aufgabenfelder sind auch die gängigsten Einsatzbereiche von kollaborativen Robotern. Weiterhin haben je vier Unternehmen angegeben, dass sie Cobots im Bereich der Qualitätsprüfung/ Messung sowie für andere Fügeverfahren nutzen. Industrieroboter werden nach der Umfrage vor allem für das Teile-Handling sowie ebenfalls für das Bin Picking eingesetzt.

In der Umfrage wurde untersucht, ob weitere Hilfsmittel für die Planung von Robotern genutzt werden. Die Auswertung ergab, dass sowohl Simulationsprogramme als auch allgemeine Robotersimulationsprogramme zum Einsatz kommen. Ein Unternehmen gab zudem an, dass Virtual Reality Anwendungen für die Planung genutzt werden. Augmented Reality bzw. KI-Anwendungen finden bis dato noch keinen Einsatz in der Planung in den befragten Unternehmen.

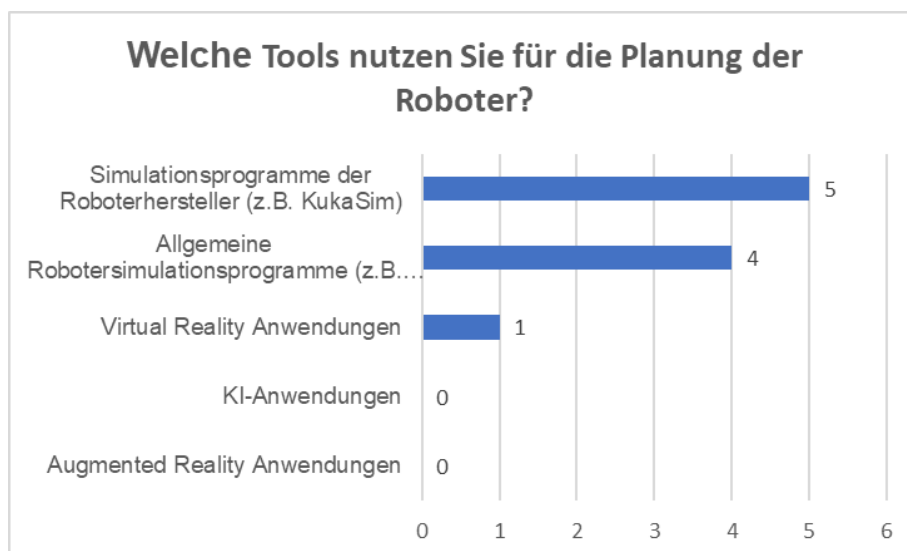


Abbildung 32: Nutzung von Tools (Hilfsmitteln) zur Planung von Robotern

6 Zusammenfassung

In dieser Studie wird die rasante Verbreitung von Robotern, insbesondere von Industrierobotern, aufgezeigt. Die Entwicklung wird sich nach allen Prognosen in den nächsten Jahren weiter fortsetzen.

Wie die in Kapitel 5 aufgeführte Studie des Statistischen Bundesamtes zeigt, findet diese Verbreitung vor allem in größeren Unternehmen statt. Nur 25 Prozent der kleineren Unternehmen bis 250 Mitarbeiter haben bislang Roboter eingesetzt. Bei Unternehmen bis 50 Mitarbeiter sind es unter 10 Prozent.

Auch die in Kapitel 2 und 3 beschriebene Entwicklung von Robotertechnologien sowie von KI-Anwendungen schreitet sehr schnell voran. Diese Entwicklungen führen zu einer immer einfacheren Bedienung und Anwendung von Robotern. Und sie ermöglichen einen Robotereinsatz in neuen Anwendungsgebieten.

Neben einer Produktivitätssteigerung ist mit einem Robotereinsatz häufig auch eine Verbesserung der Qualität und der Ergonomie verbunden. Wenn insbesondere kleine und mittelständische Unternehmen von dieser Entwicklung profitieren wollen, müssen sie sich wesentlich stärker als bisher mit den Einsatzmöglichkeiten von Robotern beschäftigen.

Unternehmensnetzwerke, wie das dieser Studie zugrundeliegende regionale Roboternetzwerk *RoboSON*, stellen eine Möglichkeit dar, um Unternehmen bei der Einführung von Robotern zu unterstützen.

7 Quellenverzeichnis

- 1 *International Federation of Robotics*. World Robotics 2023. Im Internet: IFR.org
- 2 *International Federation of Robotics*. World Robotics 2022. Im Internet: IFR.org
- 3 *Peter Koller*. Roboterdichte nach Ländern. Im Internet: <https://www.automation-next.com/kollegeroboter/grundlagen/wie-die-weltkarte-der-robotik-aussieht-572.html>
- 4 *NORD/LB*. Engineering & Industrials Special Industrieroboter. Industrieroboter – die programmierte Maschine wird zum smarten Kollegen 2021
- 5 *Boston Consulting Group*. How a Takeoff in Advanced Robotics Will Power the Next Productivity Surge (15.01.2024). Im Internet: <https://de.slideshare.net/TheBostonConsultingGroup/robotics-in-manufacturing>; Stand: 15.01.2024
- 6 *International Federation of Robotics*. Top 5 Roboter-Trends 2023 - International Federation of Robotics berichtet
- 7 *RobCo*. Roboter-Automatisierung für den industriellen Mittelstand (30.01.2024). Im Internet: <https://www.robco.de/>; Stand: 30.01.2024
- 8 *Universal Robots*. PolyScope - die intuitive Software von Universal Robots (19.02.2024). Im Internet: <https://www.universal-robots.com/de/produkte/polyscope/>; Stand: 19.02.2024
- 9 *Franka Robotics*. Anwendungen (17.02.2024). Im Internet: <https://franka.de/de/applications>; Stand: 19.02.2024
- 10 *Intera Software Platform for Industrial Automation* (19.02.2024). Im Internet: <https://www.rethinkrobotics.com/de/intera>; Stand: 19.02.2024
- 11 *DENSO Robotics*. Kollaborativer Roboter COBOTTA (Cobot) | DENSO Robotics (19.02.2024). Im Internet: <https://www.densorobotics-europe.com/de/produkt-uebersicht/produkte/collaborative-robots/cobotta>; Stand: 19.02.2024
- 12 *Low Cost Automation* (19.02.2024). Im Internet: <https://www.igus.de/roboLink/roboter>; Stand: 19.02.2024
- 13 *Heidenbluth*. TracePen von Wandelbots (15.02.2024). Im Internet: <https://www.heidenbluth.com/news/tracepen-von-wandelbots>; Stand: 15.02.2024
- 14 *Mimic Kit • Nordbo Robotics* (15.02.2024). Im Internet: <https://www.nordbo-robotics.com/old-mimic-page-copy>; Stand: 15.02.2024
- 15 *ROS-Industrial*. Brief History (19.02.2024). Im Internet: <https://rosindustrial.org/brief-history/>; Stand: 19.02.2024
- 16 *Robotik UND PRODUKTION*. ROS auf dem Weg zum Industriestandard. Wartung & Instandhaltung - Smarte Servicedienstleistungen 24.05.2019

- 17 *News*. ABB-Studie zeigt: weltweite Ausbildungslücke gefährdet nächsten Industrialisierungsschub (19.02.2024). Im Internet: <https://new.abb.com/news/de/detail/94732/abb-studie-zeigt-weltweite-ausbildungslücke-gefährdet-nächsten-industrialisierungsschub>; Stand: 19.02.2024
- 18 *Dietmar Poll*. Reshoring von Produktion nach Deutschland: Das sagt der VDMA (22.06.2023). Im Internet: <https://www.produktion.de/technik/reshoring-von-produktion-nach-deutschland-das-sagt-der-vdma-562.html>; Stand: 22.06.2023
- 19 *Manager Magazin*. Wolfspeed und ZF planen Chipfabrik im Saarland. manager magazin 21.01.2023
- 20 *IFR International Federation of Robotics*. Prepare to Repair (20.04.2022). Im Internet: <https://ifr.org/post/prepare-to-repair>; Stand: 26.06.2023
- 21 *Beckhoff Automation GmbH*. ATRO | Automation Technology for Robotics (10.01.2024). Im Internet: <https://www.beckhoff.com/de-de/produkte/motion/atro-automation-technology-for-robotics/>; Stand: 12.01.2024
- 22 *Unchained Robotics*. Automatisierung. Vereinfacht (12.01.2024). Im Internet: <https://unchainedrobotics.de/>; Stand: 12.01.2024
- 23 *KUKA AG*. KUKA iiQoT – mit dem Industrial IoT zu einer transparenteren und effizienteren Roboterflotte. Im Internet: <https://www.kuka.com/de-de/produkte-leistungen/robotersysteme/software/cloud-software/iiqot-roboter-zustandsueberwachung>
- 24 *FANUC*. Das IoT und AI Konzept für FANUC (13.02.2024). Im Internet: <https://www.fanuc.eu/de/de/wer-wir-sind/news-and-events/event-emo-2017/general-concept-of-iot-andai-for-fanuc>; Stand: 13.02.2024
- 25 *FANUC*. MT-LINKi für die Überwachung (13.02.2024). Im Internet: <https://www.fanuc.eu/de/de/cnc/connectivity/mt-linki>; Stand: 13.02.2024
- 26 *Import MV*. Google-Cloud lässt DLR-Roboter in 100 Welten gleichzeitig lernen (19.04.2022). Im Internet: <https://automationspraxis.industrie.de/ki/google-cloud-laesst-dlr-roboter-in-100-welten-gleichzeitig-lernen/>; Stand: 19.02.2024
- 27 *OnRobot*. Gecko Greifer (19.02.2024). Im Internet: <https://onrobot.com/de/produkte/gecko-greifer>; Stand: 19.02.2024
- 28 *Schunk*. Adhäsionsgreifer ADHESO (19.02.2024). Im Internet: <https://schunk.com/de/de/produkte/greiftechnik/adheso>; Stand: 19.02.2024
- 29 *Schmalz*. Simplify your Handling: Vakuum-Lösungen von Schmalz (19.02.2024). Im Internet: <https://www.schmalz.com/de-de/karriere-unternehmen/aktuelles/messen/logimat/>; Stand: 19.02.2024
- 30 *Formhand*. Universelle Greifkissen zur Flexibilisierung von Produktion & Logistik (19.02.2024). Im Internet: <https://www.formhand.de/>; Stand: 19.02.2024

- 31 Festo. BionicTripod mit FinGripper. https://www.festo.com/rep/fr_corp/assets/pdf/tripod_de.pdf. 23.02.24
- 32 *Bosch Rexroth Deutschland*. Intelligenter, sensorbasierter Endeffektor macht Roboter noch präziser (19.02.2024). Im Internet: <https://www.boschrexroth.com/de/de/smart-mechatronix/smart-flex-effector/>; Stand: 19.02.2024
- 33 *Automation und Digitalisierungs Magazin*. Robotik & Handling (04.10.2022). Im Internet: <https://www.industr.com/de/roboter-bremsenergie-in-das-stromnetz-zurueckspeisen-2670054>; Stand: 20.06.2023
- 34 *International Federation of Robotics*. Top 5 Roboter-Trends 2023 - International Federation of Robotics berichtet. https://ifr.org/downloads/press2018/DE-2023-FEB-16-IFR-PRESSEMELDUNG-5-Top-Trends_-_Korr.pdf. 16.02.23
- 35 *International Federation of Robotics*. Artificial Intelligence in Robotics; 2022
- 36 *Universal Robots*. ActiNav Handles Challenging Picking Task at Allied Moulded (28.04.2021). Im Internet: https://www.youtube.com/watch?v=Ebne-Hc9g2g&ab_channel=UniversalRobots; Stand: 28.06.2023
- 37 *IFR International Federation of Robotics*. Smart 3D Vision Solutions (28.06.2023). Im Internet: <https://ifr.org/case-studies/smart-3d-vision-solutions>; Stand: 28.06.2023
- 38 *Photoneo*. Universal Depalletizer by Photoneo with ABB robot (28.06.2023). Im Internet: https://www.youtube.com/watch?v=vYLGsphsG5E&t=30s&ab_channel=Photoneo; Stand: 28.06.2023
- 39 *FANUC*. Bin Picking Robot (21.12.2023). Im Internet: <https://www.fanuc.co.jp/en/product/robot/function/baradumi.html>; Stand: 19.02.2024
- 40 *Keyence*. Wenig Aufwand, viel Wirkung. Bin Picking zu Ende gedacht (19.02.2024). Im Internet: https://www.keyence.de/keyence-tv/3d_robot_vision_plexiglas.jsp; Stand: 19.02.2024
- 41 *Optonic*. Mikado Control (30.01.2024). Im Internet: <https://www.optonic.com/produkte/mikado/control/>; Stand: 30.01.2024
- 42 *FANUC*. How to Setup iRVision's AI Error Proofing Tool - YouTube (19.02.2024). Im Internet: https://www.youtube.com/watch?v=RCvTyKwmk-g&ab_channel=FANUCAmericaCorporation; Stand: 19.02.2024
- 43 *Nabtesco*. *Robotik*. Robotik: Nabtesco startet Predictive-Maintenance-Projekt (19.02.2024). Im Internet: <https://www.nabtesco.de/de/unternehmen/news/robotik-nabtesco-startet-predictive-maintenance-projekt>; Stand: 19.02.2024
- 44 *Robotik TV (Robo)*. Ein Roboter, der hören und sehen kann: Maira von Neura Robotics (29.09.2022). Im Internet: <https://www.youtube.com/watch?v=vXmZkoXYwB0&t=168s>; Stand: 29.09.2022

- 45 *Neura Robotics (NeRo)*. How to communicate easily with MAiRA (29.09.2022). Im Internet: <https://www.youtube.com/watch?v=IDkrJPltAAI>; Stand: 29.09.2022
- 46 *Automationspraxis*. Fruitcore robotics: AI-Support für Horst mit ChatGPT (28.06.2023). Im Internet: <https://automationspraxis.industrie.de/news/fruitcore-robotics-ai-support-fuer-horst-mit-chatgpt/>; Stand: 19.02.2024
- 47 *Wessling B.* Sereact's PickGPT lets users instruct robots with natural language - The Robot Report (19.02.2024). Im Internet: <https://www.therobotreport.com/sereacts-pickgpt-lets-users-instruct-robots-with-natural-language/>; Stand: 19.02.2024
- 48 *NVIDIA*. NVIDIA Isaac Die beschleunigte Plattform für Robotik und KI (15.02.2024). Im Internet: <https://www.nvidia.com/de-de/deep-learning-ai/industries/robotics/>; Stand: 19.02.2024
- 49 *Realtime Robotics*. The leader in automated collision-free motion planning, control, and optimization (24.01.2024). Im Internet: <https://rtr.ai/>; Stand: 19.02.2024
- 50 *NEURA Robotics*. MAiRA - NEURA Robotics (21.11.2023). Im Internet: <https://neura-robotics.com/de/produkte/maira>; Stand: 15.01.2024
- 51 *Neura Robotics (NeRo)*. MAiRA follows movement by finger pointing only! (30.09.2022). Im Internet: <https://www.youtube.com/watch?v=rrnTFxPkmns>; Stand: 30.09.2022
- 52 *Neura Robotics (NeRo)*. Smart assembly with MAiRA (30.09.2022). Im Internet: <https://www.youtube.com/watch?v=rrnTFxPkmns>; Stand: 30.09.2022
- 53 *Statistische Bundesamt*. Industrieroboter: Nutzung im Verarbeitenden Gewerbe 2022 (15.01.2024). Im Internet: <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/947397/umfrage/nutzung-von-industrierobotern-im-verarbeitenden-gewerbe-in-deutschland/>; Stand: 15.01.2024
- 54 *Reinhart G, Magaña Flores A, Zwicker C*. Industrieroboter. Planung, Integration, Trends : ein Leitfaden für die KMU. 1. Aufl. Würzburg: Vogel Communications Group; 2018
- 55 Prognos. Situationsanalyse der Mobilitätswirtschaft 2023
- 56 Zhang, L.; China unveils new plan for wider robot use from manufacturing to agriculture, as population shrinks; South China morning Post; <https://www.scmp.com/tech/policy/article/3207622/china-unveils-new-plan-wider-robot-use-manufacturing-agriculture-population-shrinks>. 20.01.2023.
- 57 Schmalz; Schmalz Solution Kit ermöglicht Bin Picking mit Rekord-Geschwindigkeit; <https://www.schmalz.com/de-de/karriere-unternehmen/aktuelles/news/schmalz-solution-kit-ermoeglicht-bin-picking-mit-rekord-geschwindigkeit/>. 21.04.23
- 58 Artiminds; Strukturierte Echtzeitanalyse von Prozessen – Digitaler Zwilling für Roboteranwendungen. <https://www.artiminds.com/de/news-de/digitaler-zwilling-fuer-roboter-anwendungen/>. 23.02.24

- 59 Leverage Robotics: Hochflexible Roboterzellen mit pfiffigem Tooling. <https://automationspraxis.industrie.de/cobot/leverage-robotics-hochflexible-roboterzellen-mit-pfiffigem-tooling/>. 17.01.24
- 60 Interact Analysis; <https://robotik-produktion.de/allgemein/markt-fuer-roboterkomponenten-waechst-bis-2027-um-88-prozent/>; 23.10.23
- 61 Schunk; Schunks Kamera- und KI-Kit vereinfacht das Greifen schwieriger Bauteile; <https://automationspraxis.industrie.de/ki/schunks-kamera-und-ki-kit-vereinfacht-das-greifen-schwieriger-bauteile/>. 26.01.24
- 62 Gartner; Gartner's Top Strategic Predictions for 2024 and Beyond. <https://www.gartner.com/en/articles/gartner-s-top-strategic-predictions-for-2024-and-beyond>. 04.12.23.

Impressum

Ostfalia Hochschule für angewandte Wissenschaften

Institut für Produktionstechnik

Salzdahlumer Str. 46/48

38302 Wolfenbüttel

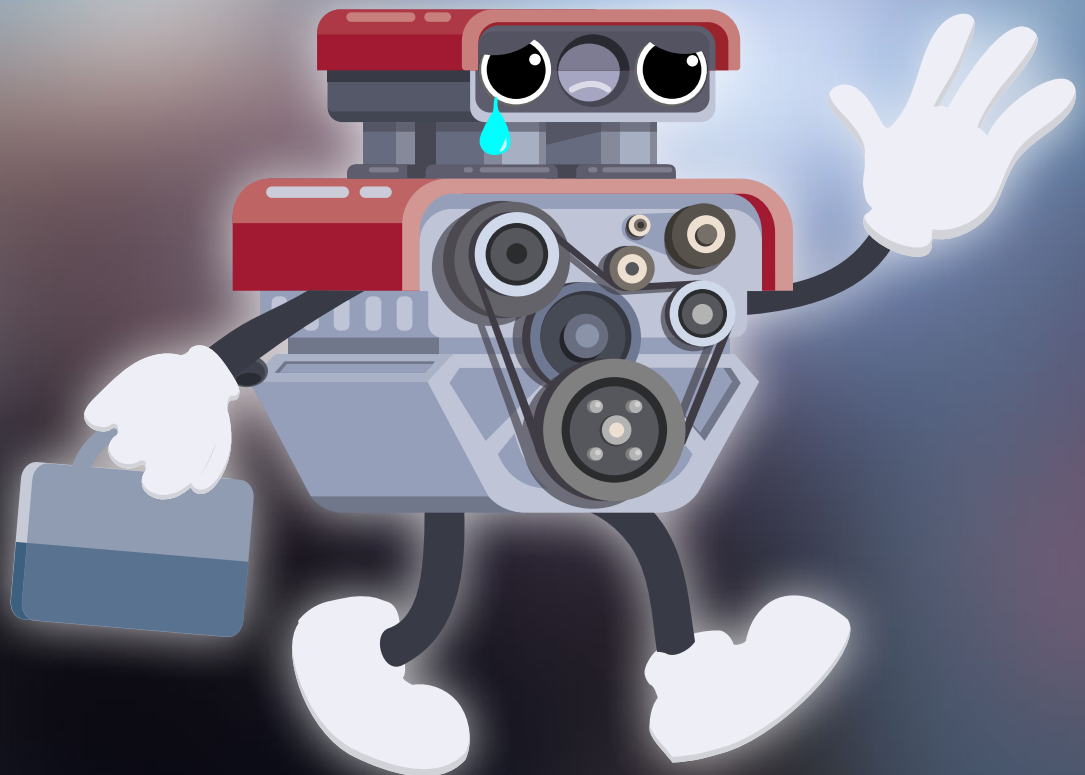
April, 2024



ReTraSON

Region. Mobilität. Zukunft.

Gemeinsam
für zukunfts-
fähige Mobilität
in unserer
Region.



www.retrason.de