

# Roboterbasierte Montageautomatisierung im Mittelstand

## Hemmnisse, Treiber und Implikationen

Aaron Zinßer, Dr. Fritz Faulhaber GmbH & Co. KG, Fabian Diefenbach, Hochschule Esslingen, und Arik Lämmle, Fraunhofer IPA

Durch Megatrends wie Mass Customization verkürzen sich die Produktlebenszyklen immer weiter, während die Variantenvielfalt stark ansteigt. Dadurch entstehen neue Herausforderungen für die Produktion, insbesondere in der Montage. Zur Lösung dieser Problemstellungen kann die Automatisierung der Montage ein wichtiges Hilfsmittel sein. Dieser Beitrag gibt Einblick in eine Studie, in der Experten aus mittelständischen Unternehmen zur genannten Thematik befragt wurden. Er zeigt die bestehenden Hemmnisse sowie Treiber der Automatisierung auf und leitet Handlungsmaßnahmen für KMU ab, wie diese eine zukunftsfähige Produktion in Deutschland aufrechterhalten können.

Während die Produktionsautomatisierung in den letzten Jahrzehnten in Großunternehmen Einzug gefunden hat, steht in kleinen und mittleren Unternehmen (KMU) diese Entwicklung noch am Anfang. So werden bislang 95 Prozent aller Produktionstätigkeiten bei Mittelständlern händisch ausgeführt [1]. Speziell in der Montage liegt der Anteil des Einsatzes von Robotern bei nur knapp über 10 Prozent [2].

### Status quo der Montageautomatisierung

Im Bereich der Montage hat sich in den letzten Jahren im Bereich der Montageautomatisierung kleiner Stückzahlen nur wenig geändert: Zwar wird die Fertigungsbelegschaft durch immer effizientere Hilfsmittel unterstützt, die eigentliche Arbeit muss jedoch meist weiterhin manuell ausgeführt werden. Verglichen mit den Fortschritten in anderen Bereichen, beispielsweise der Teilefertigung, ist die Montage wenig automatisiert worden [3].

Die Bedeutung des Montageprozesses am Wertschöpfungsanteil ist jedoch hoch: Circa 70 Prozent der Produktionswertschöpfung entstehen in der Montage. Bei Unternehmen des verarbeitenden Gewerbes macht das Montieren einen besonders großen Teil der Wertschöpfung aus [4]. Es entfallen je nach

Quelle und Branche zwischen 44 und 70 Prozent der Gesamtkosten auf die Montage [5].

Trotz des Fortschritts im Bereich der roboterbasierten Montagetechnik in den letzten Jahren existieren immer noch Felder, in denen die Automatisierung nur schwer umzusetzen ist. Eine generische Übersicht über die Stärken und Schwächen eines automatischen Montagesystems gibt das Bild 1. Darin ist zu erkennen, dass automatische Montagesysteme ihre Stärke vor allem bei hohen Absatzmengen und hohen Personalkostensätzen haben. Durch den Einsatz von Robotik können bestimmte Vorgänge zeiteffizienter gestaltet und so allgemein die Produktivität erhöht werden. Manuelle Systeme sind hingegen deutlich flexibler, da der Mensch schnell in neue Abläufe eingelernt werden und auch Vorgänge höherer Komplexität durchführen kann, so zum Beispiel das Handling von elastischen Materialien.

### Vorgehen: Empirische Untersuchung

Die vorliegende Studie wurde in Zusammenarbeit der Hochschule Esslingen und dem Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA erstellt. Hierfür wurde zunächst die aktuelle Literatur ausgewertet. Im

### Robot-Based Assembly Automation in Mid-Sized Companies – Obstacles, Drivers and Implications

Production automation is well established in large companies for high volume products. But robot-based assembly automation in mid-sized companies is still in its infancy. This study uses results from 19 expert interviews and a survey to identify obstacles to and drivers of automation in this field. Among the obstacles is the low flexibility of the robotic systems. One driver for automation is the increasing shortage of skilled workers. Based on the empirical findings, the study proposes options to increase the use of automation.

#### Keywords:

automation, robotics, small and medium-sized enterprises, assembly, robotic assembly



Aaron Zinßer, M. Eng. arbeitet als Produktmanager bei der Dr. Fritz Faulhaber GmbH & Co. KG in Schönaich.

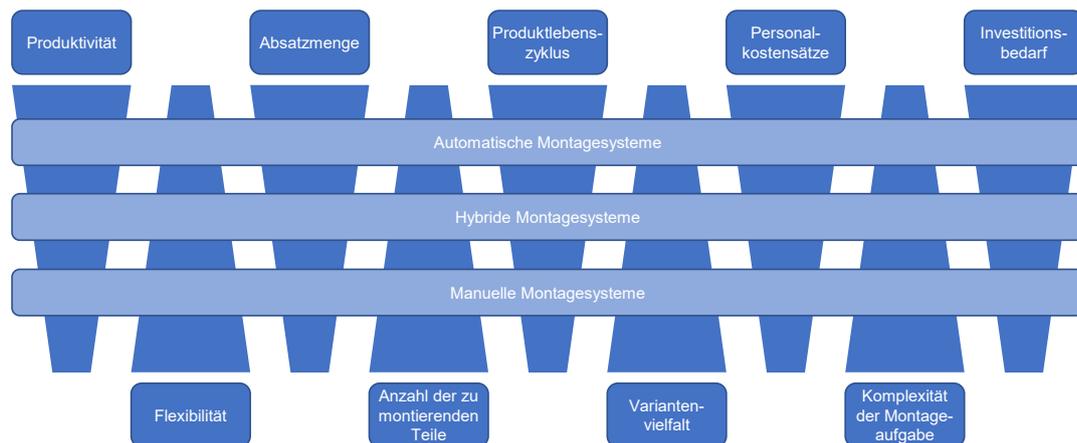


Prof. Dr. Fabian Diefenbach ist Professor an der Hochschule Esslingen an der Fakultät Wirtschaft und Technik sowie Prorektor für Hochschulentwicklung und Kommunikation.



Arik Lämmle, M. Sc. ist Projektleiter für Roboterprogrammierung und -regelung am Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA.

Fabian.Diefenbach@hs-esslingen.de  
www.hs-esslingen.de/personen/  
fabian-diefenbach



**Bild 1: Einsatzbereiche verschiedene Montagesysteme [6].**

Anschluss wurden 19 Experten interviewt und zusätzlich eine Umfrage mit 23 Teilnehmenden durchgeführt. Ziel ist die Beantwortung der Forschungsfrage, wie der Einstieg in roboterbasierte Automatisierungslösungen im Bereich der Montage für deutsche produzierende Unternehmen des Mittelstandes erleichtert werden kann. Die Experten stammen aus KMU und wurden in halbstrukturierten Interviews zur Montageautomatisierung, ihren Treibern sowie Hemmnissen befragt. Zur Unterstützung und Verifizierung der qualitativen Aussagen wurde zusätzlich ein Fragebogen an für die Automatisierung zuständige Personen, vom Projektleiter bis zum Geschäftsführer, versendet. Auswahlkriterium für die Interviewpartner und die Umfrageteilnehmenden war, dass sie innerhalb der letzten fünf Jahre an mindestens einem Automatisierungsprojekt beteiligt waren.

### Treiber der roboterbasierten Automatisierung

Der bedeutendste Treiber einer (roboterbasierten) Automatisierung ist laut den interviewten Experten die Einsparung von Kosten bei der Herstellung und Montage der Produkte. Die Interviewpartner unterstreichen, dass eine wettbewerbsfähige Produktion am Hochlohnstandort Deutschland nur durch eine Automatisierung möglich ist. Ein KMU-Geschäftsführer mit 50 Mitarbeitenden bringt es so auf den Punkt: ohne Gegenmaßnahmen werden unsere Produkte an die Konkurrenz aus Billiglohnländern verloren gehen. Eine Automatisierung kann hierauf die Antwort sein. Automatisierung ist oftmals finanzzahlgetrieben und hauptsächlich wirtschaftliche Gründe sprechen für eine Implementierung.

Durch die alternde Bevölkerung nimmt die Anzahl der arbeitsfähigen Menschen stetig ab, deshalb werden Mitarbeitende zum umkämpften Gut. Der Hilfs- und Fachkräftemangel führt bei Mittelständlern dazu, dass bestimmte Pro-

zesse automatisiert werden müssen, um die Belegschaft bei den nicht automatisierbaren Arbeitsplätzen einsetzen zu können. Roboter bieten hierbei eine geeignete Alternative zum Menschen. „Früher war es in erster Linie [das Ziel] beim Personal Kosten einzusparen. Jetzt ist es Ziel, die verfügbaren Leute sinnvoll einzusetzen“, sagt der Produktionsleiter eines produzierenden Unternehmens.

Die Wettbewerbsfähigkeit kann durch eine Erhöhung der Qualität, eine Steigerung der Produktivität sowie eine Sicherstellung der Lieferbarkeit gewährleistet werden. Diese drei Faktoren können in Zukunft bei einfacheren Montagevorgängen weder durch manuelle Arbeit noch Outsourcing erreicht werden. Insgesamt zeigt sich, dass mit dem Einsatz einer roboterbasierten Automatisierungslösung die Wettbewerbsfähigkeit im internationalen Vergleich sichergestellt werden kann – denn mit dem gleichen Personalstamm kann mehr produziert werden.

Prozessfähigkeit beschreibt „die Fähigkeit, fehlerfrei zu arbeiten“ [7], welche durch den Einsatz von Robotik erhöht werden kann. Hauptsächlich die manuellen Prozesse mit ihrer geringen Prozessstabilität sind laut der durchgeführten Umfrage ein Problem für den Mittelstand. Roboterbasierte Automatisierungslösungen sind besonders gut für Tätigkeiten geeignet, die ausgesprochen prozesssicher sein müssen. Der Geschäftsführer eines Mittelständlers im Bereich des Schaltschrankbaus gab an, dass durch Automatisierung die Fehlerquelle Mensch reduziert werden soll.

Neben den rein wirtschaftlichen Aspekten treibt auch die Erhöhung der Ergonomie der Arbeitsplätze die Automatisierung voran. Bei vielen Tätigkeiten existieren körperlich belastende Aufgaben. Eine Automatisierung per Roboter ist ein geeignetes Instrument, um die Mitarbeitenden an diesen Stationen zu entlasten.

## Hemmnisse der roboterbasierten Automatisierung

Zwar ist es oft technisch möglich zu automatisieren, jedoch nicht immer wirtschaftlich lukrativ. Viele Automatisierungsprojekte scheitern schlicht und ergreifend am Geld, berichtet ein Produktionsplaner und bestätigt damit frühere Untersuchungen [8]. Die Gründe für eine fehlende Rentabilität sind vielfältig: Zum einen kann das Investment nicht auf eine große Stückzahl umgelegt werden. In den Interviews wurde immer wieder betont, dass der Geschäftsführung ein wirtschaftlicher Vorteil für das Unternehmen durch die Anschaffung nachzuweisen ist. Zum anderen entstehen nach der eigentlichen Anschaffung einer Robotiklösung zusätzliche Kosten für die Entwicklung, die Steuerungs- und die Sicherheitstechnik. So lautet auch das Fazit eines Experten: Es gibt wahrscheinlich nichts, was man nicht automatisieren kann; aber die Frage ist immer, ob es sich rentieren würde. Diese Schlussfolgerung wird durch die quantitative Erhebung gestützt: Dort wird den Aspekten Preis und Gesamtkosten mit 91 Prozent eine „sehr hohe“ oder „hohe“ Bedeutung bei der Auswahl einer Automatisierungslösung beigemessen.

Ein Hauptkritikpunkt an roboterbasierten Automatisierungslösungen ist die geringe Flexibilität. Etablierte Lösungen können zwar die Tätigkeit bei einem speziellen Produkt sehr präzise und schnell durchführen. Entsteht jedoch eine gewisse Variabilität durch die Produkte, kommen die Roboter aufgrund der geringen Variationsbreite schnell an ihre Grenzen. Dies bestätigt auch die Umfrage: „Viele verschiedene Produktvarianten“ wurde als einer der Haupthinderungsgründe (80 Prozent der Antworten) genannt. Je nach Variante muss der Roboter unterschiedlich eingelernt werden, was mit hohem Aufwand verbunden ist. Diese Steigerung der Komplexität steht dem Trend entgegen, dass immer kundenindividuellere Produkte nachgefragt werden. In der Mehrzahl der geführten Experteninterviews existierte folgende Hypothese: Eine Steigerung der Flexibilität von roboterbasierten Lösungen würde dazu führen, dass mittelständische Unternehmen diese häufiger zum Einsatz bringen, da auch kleinere Stückzahlen automatisiert werden könnten. Denn bisher stellt sich den Entscheidenden oft die Frage: „Wo ist es aus kaufmännischer Sicht sinnvoll, die Automatisierung voranzutreiben, ohne dass ich die Flexibilität einschränken muss?“

In KMU bestehen zwei weitere große Problematiken in Bezug auf die Programmierung der Roboter: Zum einen kann ein Vendor Lock-in entstehen, also die Abhängigkeit von einem bestimm-

ten Anbieter. So haben beispielsweise die größten Hersteller ihre eigenen Programmiersprachen, die nicht untereinander kompatibel sind [9]. Zum anderen muss das erforderliche Know-how beim Mittelständler zur Verfügung stehen, sowohl bei den Ingenieurinnen und Ingenieuren, im Hinblick auf das Programmieren eines neuen Prozesses, als auch bei den Maschinenführenden auf der Produktionsebene. Auch in der Umfrage wurde mangelndes Know-how von 60 Prozent der Teilnehmenden als Hemmnis genannt.

Automatisierungsprojekte können sehr lange dauern, je nach Projektumfang bis zu zwei Jahren. Dies liegt an den internen Prozessen, aber auch an den externen Systemintegratoren. Nicht nur die finanziellen Ressourcen sind in KMU knapp bemessen, sondern auch die zeitlichen. Mitarbeitende sind häufig stark ausgelastet und müssen viele Aufgaben aus dem operativen Tagesgeschäft übernehmen. Dadurch ist der freie Blick auf strategische Fragen der langfristigen Verbesserung oft schon aus der Kapazitätssicht eingeschränkt.

Des Weiteren wurden Betriebsblindheit, fehlende Risikobereitschaft und fehlendes Wissen über Prozesse und Kostenstrukturen als Hindernisse benannt. Abschließend werden auch die Produktarchitektur und persönliche Präferenzen sowie Erfahrungen bei der Entscheidung berücksichtigt. Die fehlende Kenntnis über bestehende Robotiklösungen ist insbesondere für KMU ein großes Problem, ebenso wie die nötige Verkettung der Prozesse. Außerdem sind die knappen finanziellen Ressourcen eine Hemmschwelle.

## Implikationen zur Steigerung der Automatisierung

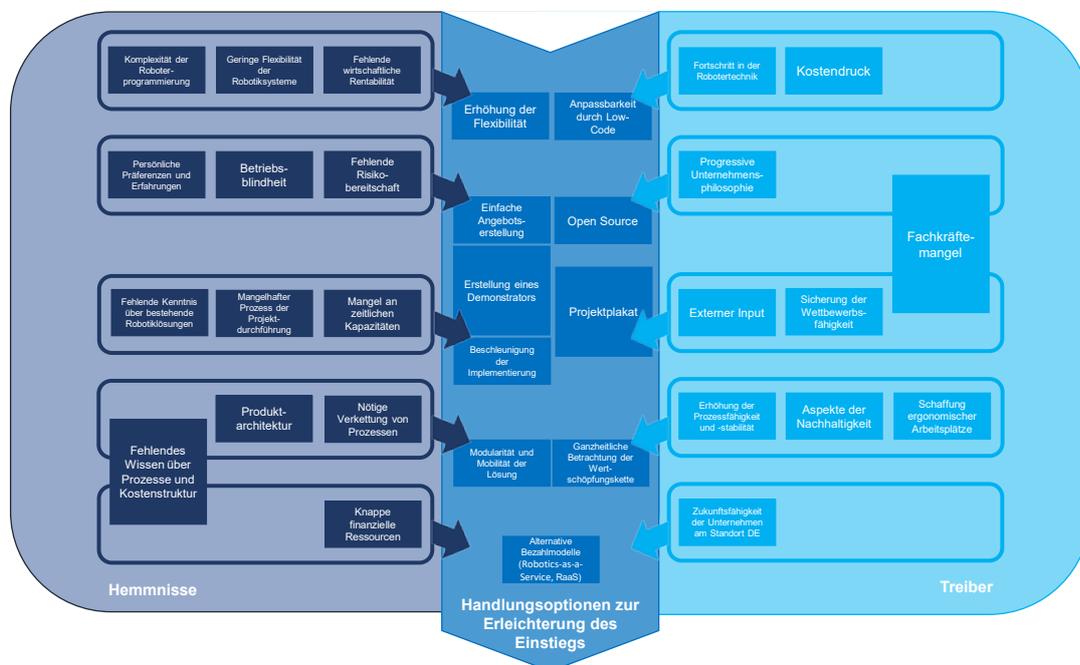
Die Automatisierung durch Roboterlösungen bringt eine ganze Reihe an Vorteilen. In dieser Studie wird herausgearbeitet, welche Handlungsoptionen sich für den Mittelstand auf Basis der oben genannten Treiber und Hemmnisse ableiten lassen.

Der Mensch besitzt einen großen Vorteil gegenüber Robotern: Er ist enorm flexibel. Bei Robotern ist diese Fähigkeit bislang noch nicht weit ausgeprägt. Dennoch sollten Automatisierungslösungen flexibel sein. Erst durch eine Erhöhung der Flexibilität werden Robotiklösungen attraktiv für solche KMU, die häufig wechselnde Produkte in kleinen Chargen produzieren.

Um die Unsicherheiten und somit auch das mit einer Investition verbundene Risiko zu reduzieren, sollte zu Projektbeginn der Rahmen eines Automatisierungsprojekts klar kommuniziert werden.

## Literatur

- [1] Höpner, A.: Automatisierung: Was Mittelständler für Roboter bezahlen müssen. URL: [www.handelsblatt.com/unternehmen/industrie/automatisierung-los-geht-es-bei-20-000-euro-was-mittelstaendler-fuer-roboter-bezahlen-muessen/28115076.html](http://www.handelsblatt.com/unternehmen/industrie/automatisierung-los-geht-es-bei-20-000-euro-was-mittelstaendler-fuer-roboter-bezahlen-muessen/28115076.html), Abrufdatum 11.02.2023.
- [2] International Federation of Robotics (IFR): World Robotics 2018 Industrial Robots. Frankfurt 2018.
- [3] Lotter, B.: Montage in der industriellen Produktion. Ein Handbuch für die Praxis. Berlin Heidelberg 2006.
- [4] Bornewasser, M.; Hinrichsen, S.: Informatische Assistenzsysteme in der variantenreichen Montage: Theorie und Praxis, 1. Auflage. Berlin Heidelberg 2020.
- [5] Lotter, B.; Deuse, J.; Lotter, E.: Die Primäre Produktion. Ein praktischer Leitfaden zur verlustfreien Wertschöpfung, 1. Auflage. Berlin Heidelberg 2016.
- [6] agiplan GmbH: Montagesysteme. Übersicht klassischer und moderner Organisationsformen der Montage. URL: [www.agiplan.de/wp-content/uploads/2021/11/Whitepaper\\_Montagesysteme-1.pdf](http://www.agiplan.de/wp-content/uploads/2021/11/Whitepaper_Montagesysteme-1.pdf), Abrufdatum 11.02.2023.
- [7] Kletti, J.: MES - Manufacturing Execution System. Moderne Informationstechnologie zur Prozessfähigkeit der Wertschöpfung. Berlin Heidelberg 2006.
- [8] Bitkom Research: Industrie 4.0 – so digital sind Deutschlands Fabriken (2022), S. 12. URL: [www.bitkom.org/sites/main/files/2023-01/221125StudiIndustrie-40-1.pdf](http://www.bitkom.org/sites/main/files/2023-01/221125StudiIndustrie-40-1.pdf), Abrufdatum 27.06.2023.
- [9] Human, S.: So geht Automatisierung in 2022: Herstellerunabhängig und softwarezentriert. URL: [www.industry-of-things.de/so-geht-automatisierung-in-2022-herstellerunabhaengig-und-softwarezentriert-a-1098584/](http://www.industry-of-things.de/so-geht-automatisierung-in-2022-herstellerunabhaengig-und-softwarezentriert-a-1098584/), Abrufdatum 11.02.2023.
- [10] Adrian, B.; Hinrichsen, S.; Nikolenko, A.: App Development via Low-Code Programming as Part of Modern Industrial Engineering Education. In: Advances in Human Factors and Systems Interaction 1207 (2020), S. 45-51.
- [11] Pedersen, M. et al.; Robot skills for manufacturing: From concept to industrial deployment. In: Robotics and Computer-Integrated Manufacturing 37 (2016).



**Bild 2: Zusammenfassung der Hemmnisse und Treiber sowie der daraus abgeleiteten Handlungsoptionen.**

Ein zusätzlicher Lösungsansatz für diesen kritischen Punkt kann die Erstellung eines Demonstrators sein. Durch einen Demonstrator erhalten alle Stakeholder ein klares Konzept vor Augen und wissen, ob und wie eine Umsetzung konkret erfolgen kann. Dadurch können spätere kostenintensive Anpassungen vermieden werden.

Das Finden der passenden Robotiklösung ist ebenso eine große Hürde. In KMU müssen sich häufig fachfremde Mitarbeitende in aufwendiger Einzelarbeit, nach einer zeitintensiven Einarbeitungsphase, auf die Recherche nach einer passenden Lösung begeben. Deshalb kann der Einstieg in eine roboterbasierte Automatisierungslösung durch ein einfach verständliches Produktangebot auf der Internetseite des Anbieters erleichtert werden. So wird der Aufwand für KMU von Anfang an klein gehalten und die knappen zeitlichen Ressourcen von mittelständischen Unternehmen werden geschont. Ein oft genanntes Ärgernis bei der Implementierung ist die Umsetzungsgeschwindigkeit. Um die knappen zeitlichen Ressourcen bei Mittelständlern zu schonen, ein Absinken der Motivation bei allen Projektbeteiligten sowie ein Versanden des Projekts zu verhindern, sollte der Projektverlauf beschleunigt werden. Um Leerlaufzeiten zu vermeiden, ist ein intensiver Austausch innerhalb eines kurzen Zeitraums anzustreben. Bisher ist das Programmieren eines Roboters in vielen Fällen äußerst komplex, ebenso wie die spätere Übertragung auf Produktvarianten oder neue Produkte. Eine Lösung hierfür kann eine Programmierung per Low-Code darstellen. Damit ist es möglich, ohne spezifische Programmierkenntnisse über eine grafische Benutzeroberfläche eine Anwendung zu erstellen [10, 11]. Eng mit diesem Ansatz verbunden ist die grundsätzliche Änderung der Haltung von einem Denken in Produkten hin zu einem Denken und Programmieren in Prozessen und Parametern.

Auch ein modularer Aufbau der Roboterzelle sowie ein gewisses Maß an Mobilität können Probleme bei Mittelständlern lösen. Des Weiteren kann die Option für Ratenzahlungen des Roboters eine weitere Verbreitung schaffen, indem die finanzielle Hürde einer hohen Anfangsinvestition über die Zeit gestreckt wird. Viele Nachteile können durch die Nutzung eines Open-Source-Codes für die Roboterprogrammierung behoben werden. Letztlich sind die ganzheitliche Betrachtung der Wertschöpfungskette und eine klare Verteilung der Zuständigkeiten hilfreich bei der Implementierung einer Robotiklösung.

Der Einstieg mittelständischer Unternehmen in roboterbasierte Montageautomatisierungslösungen kann durch die oben genannten zahlreichen Handlungsoptionen erleichtert werden. Entsprechend der bestehenden Rahmenbedingungen im jeweiligen Unternehmen wird durch die geeignete Kombination der aufgezeigten Optionen der Einstieg in die Robotik möglich. Durch die wachsende Anzahl von Unternehmen, die sich mit der Thematik der Leichtbauroboter zu vergleichsweise geringen Kosten beschäftigen, vor allem Starts-ups, entstehen vielfältige Optionen, die die speziellen Bedürfnisse von KMU abdecken. Diese Dynamik wird auch die großen Hersteller dazu zwingen, zukünftig in diesem Bereich Lösungen anzubieten. Auch Hemmnisse wie die fehlende Risikobereitschaft oder Mangel an zeitlichen Kapazitäten können durch solche auf KMU zugeschnittene Angebote minimiert werden. Ein flächendeckender Einsatz wie in Großunternehmen ist aufgrund der Komplexität der (Montage-)Aufgabe jedoch weder möglich noch erstrebenswert. Dennoch zeigt diese Studie auf, wie der Anteil der Robotik in KMU in der Zukunft weiter steigen – und so Produktion in Deutschland gehalten oder gar ausgebaut werden kann.

*Die präsentierten Ergebnisse entstanden im Rahmen einer am Fraunhofer IPA durchgeführten Masterarbeit, welche an der Hochschule Esslingen in Zusammenarbeit mit dem Fraunhofer IPA betreut wurde. Die durchgeführten Arbeiten sind Teil des Rob-aKademi-Projekts, gefördert durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung (Projektnummer 01IS20009C).*

Schlüsselwörter: Automatisierung, Robotik, mittelständische Unternehmen, Montage, roboterbasierte Montage