



1 *Manuelle Montage durch Werker*

2 *Kraftgeregelte Montage eines komplexen Teils mit Roboter*

## ERLERNEN VON ROBUSTEN ROBOTERPROGRAMMEN DURCH VORMACHEN

Schnell und intuitiv den Roboter-Azubi anlernen: Dank Imitation Learning können Roboter durch Vormachen von Prozessen programmiert werden – zeitsparend und ganz ohne Robotik-Expertise.

### Hürden bei der Montageautomatisierung

Eine große Hürde für die Automatisierung von manuellen Montageprozessen ist der Mangel an Fachkräften, die hierfür qualifiziert sind. Dabei böte die Automatisierung mit Robotern nennenswerte Vorteile wie effiziente und wirtschaftliche Prozesse, gleichbleibende Qualität und Entlastung des Werkers von monotonen oder körperlich belastenden Aufgaben. Um die Transition von einer rein manuellen zu einer teil- oder vollständig automatisierten Produktion zu vereinfachen bzw. zu be-

schleunigen, ist es sinnvoll, diejenigen Teile bei der Programmierung des Roboters zu betrachten, die am meisten Zeit benötigen. Roboterprogrammierer verbringen viel Zeit damit, Punkte, bei denen der Roboter im Kontakt mit seiner Umgebung steht (z. B. Schnappverbindungen), robust und genau zu teachen.

Um die Programmierung zu vereinfachen, beschäftigt sich das Fraunhofer IPA schon seit einigen Jahren mit kraftgeregelter Montage, die erhöhte Robustheit gegenüber Toleranzen von Bauteilen und Positionsverschiebungen verspricht. Die dazu am Institut entwickelte Software *pitasc* unterstützt bereits erfolgreich die Montageautomatisierung.

Dank Imitation Learning können deren Vorteile auch ohne hohes Roboter- oder Prozesswissen genutzt werden!

### Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA

Nobelstraße 12  
70569 Stuttgart

#### Ansprechpartner

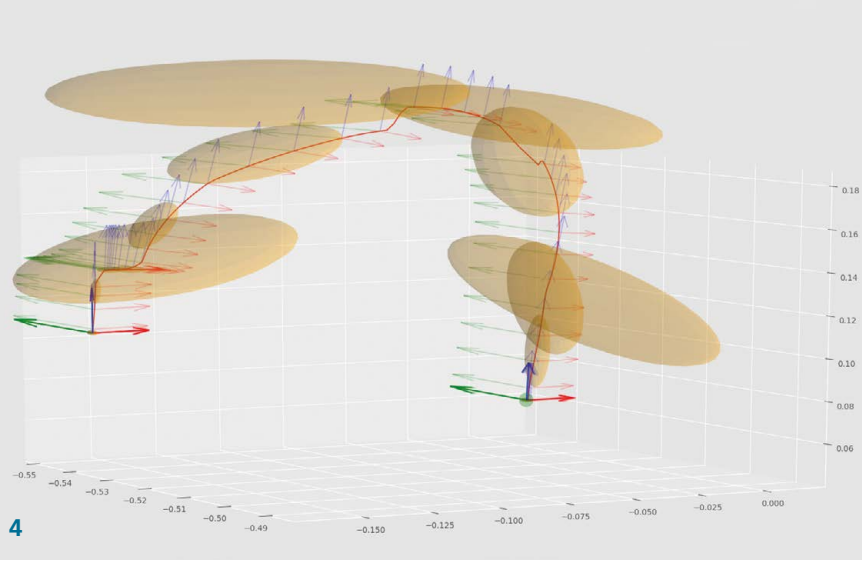
Daniel Bargmann, M.Sc.  
Telefon +49 711 970-1503  
daniel.bargmann@ipa.fraunhofer.de

Dipl.-Ing. Frank Nägele  
Telefon +49 711 970-1063  
frank.naegle@ipa.fraunhofer.de

[www.ipa.fraunhofer.de/robotersysteme](http://www.ipa.fraunhofer.de/robotersysteme)  
[www.pitasc.fraunhofer.de](http://www.pitasc.fraunhofer.de)



3



4

### Menschliche Expertise

Häufig werden Produkte manuell gefertigt und dadurch ist bereits ein entsprechend hohes motorisches Wissen über den Montagevorgang vorhanden. Werker wissen zum Beispiel genau, mit welchen Kräften ein Teil eingefügt werden muss oder welche Einfuhrschräge genutzt werden kann, um ein Teil schnell zu klipsen.

Dieses motorische Wissen muss ein hochspezialisierter Roboterprogrammierer erst mühsam erfassen, um es im Anschluss in ein Roboterprogramm umzusetzen. Somit müssen Roboterprogrammierer über ein breites Spektrum an mechanischen, elektrischen, programmiertechnischen und produktionstechnischen Expertisen verfügen – ein zeitintensiver Lernprozess. Genau hier setzen wir mit unserer Technologie an.

### Maschinelles Lernen

Maschinelles Lernen verspricht eine schnellere Roboterprogrammierung, indem es ermöglicht, automatisiert Wissen von Menschen zu abstrahieren und Zusammenhänge zu extrahieren. Dabei helfen probabilistische Methoden und Sensorik im Zusammenspiel mit Maschinellern, komplexe motorische Vorgänge zu encodieren.

Wir nehmen dabei nicht nur die Bewegung der Teile auf, sondern auch die entstehenden Kontaktkräfte. Somit ist es möglich, auch aufwendige Programme zu realisieren, wie z. B. das Gleiten eines Roboters über

eine Oberfläche oder komplexe Schnappverbindungen.

### Optimierung

Da Menschen dabei – im Gegensatz zum Roboter – nicht immer reproduzierbar gleich agieren, sondern einen gewissen Spielraum im Handeln nutzen, werden auch diese Variationen berücksichtigt. Diese können im Anschluss genutzt werden, um das Roboterprogramm hinsichtlich weiterer Kriterien zu optimieren, wie z. B. der Zykluszeit.

Da durch die manuelle Montage bereits bekannt ist, welche Positionen und Kräfte für das Bauteil verwendet werden, kann der Roboter gezielt Teile des Programms optimieren. Durch die erlernte menschliche Expertise kann er sich dabei auch auf seine Umgebung einstellen und sein Programm somit automatisch während der laufenden Montage optimieren, ohne dabei Teile zu beschädigen.

### Variantenvielfalt

Die dabei erzeugten Programme werden in einzelne Programmbausteine unterteilt, sogenannte Skills. Das können zum Beispiel eine lineare Bewegung zum Bauteil oder das Einrasten von Schnappverbindungen sein. Diese Skills sind für andere Varianten des Produkts wiederverwendbar.

Muss z. B. ein weiterer Hebel am Produkt eingesteckt werden, ist der bereits erzeugte und optimierte Skill nutzbar und passt sich

innerhalb mehrerer Montagevorgänge an die leicht veränderten Umstände an.

Durch die Parametrisierbarkeit der Skills ist sichergestellt, dass kein komplett neues Programm erstellt werden muss, wenn sich beispielsweise die Lage der Montagepunkte ändert. Es lässt sich vielmehr aus dem bereits encodierten Montagewissen ein neues Programm mit veränderter Lage der Punkte erzeugen.

### Unser Angebot

Sind Ihre Roboterprogrammierer unter Zeitdruck? Benötigen Sie mehr Manpower? Montieren Sie Teile in Handarbeit, die durch potenziell komplexe Motorik nicht so einfach automatisierbar sind? Haben Sie Interesse, unsere Technologie auszuprobieren und uns als »Early Adopter« Feedback zu geben?

Dann rufen Sie uns an. In einem persönlichen Gespräch evaluieren wir gerne, welche Mehrwerte unsere Technologie bietet und wie sie Ihnen helfen kann.

- 3 *Demonstration von Montagevorgängen durch einen Werker*
- 4 *Aus Demonstrationen erzeugte Montagetrajektorie und abgeleitete Viapunkte dargestellt mit Optimierungshorizont als Ellipsen anhand einer Einsteckmontage*