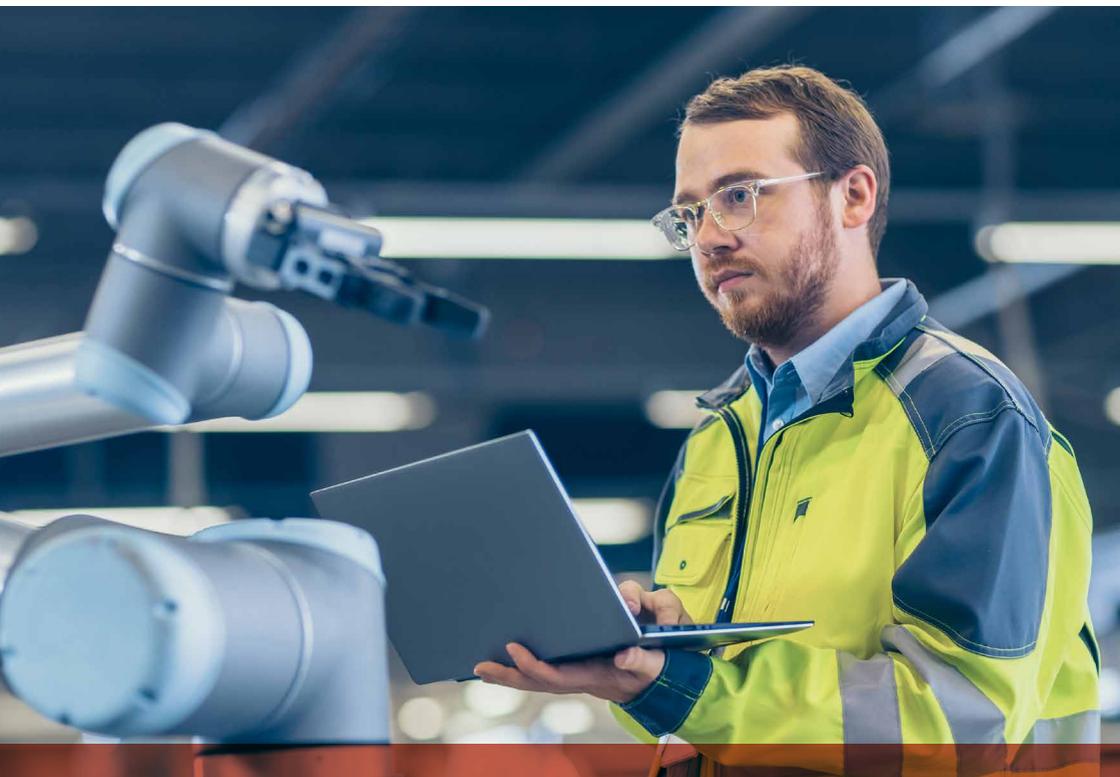




**Mittelstand 4.0**  
Kompetenzzentrum  
Augsburg



# ROBOTER FÜR DEN MITTELSTAND

---

Praxisleitfaden für Leichtbauroboter  
in der Produktion

Mittelstand-  
Digital 

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

# INHALT

<b>1</b>	<b>Einleitung</b> Leichtbauroboter für den Mittelstand	<b>Seite 4</b>
<b>2</b>	<b>Praxisinterview</b> Kollege Roboter im Mittelstand	<b>Seite 8</b>
<b>3</b>	<b>Übersicht</b> Leichtbauroboter-Systeme	<b>Seite 12</b>
<b>4</b>	<b>Leitfaden</b> Schritt für Schritt zum Leichtbauroboter	<b>Seite 14</b>
<b>5</b>	<b>Checkliste</b> Schritt für Schritt zum Leichtbauroboter	<b>Seite 29</b>
<b>6</b>	<b>Potenzial 3D-Druck</b> Peripherie und Greifer schnell und einfach testen	<b>Seite 30</b>
<b>7</b>	<b>Angebote der Zentren</b>	<b>Seite 32</b>

---

## IMPRESSUM

### Verleger

Fraunhofer-Einrichtung für Gießerei-,  
Composite- und Verarbeitungstechnik IGCV  
Am Technologiezentrum 2 • 86159 Augsburg

Als rechtlich nicht selbstständige Einrichtung der  
Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der  
angewandten Forschung e.V.  
Hansastraße 27c • 80686 München

Tel.: 0821 90678-0 • Fax: 0821 90678-40  
E-Mail: info@igcv.fraunhofer.de

### Rechtsform

Die Fraunhofer-Einrichtung für Gießerei-, Composite-  
und Verarbeitungstechnik IGCV ist eine rechtlich nicht selbst-  
ständige Einrichtung der Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung  
der angewandten Forschung e.V.

### Vertretung

Präsident des Vorstandes: Prof. Dr.-Ing. Reimund Neugebauer

### Druckerei

Flyeralarm GmbH • Alfred-Nobel-Straße 18 • 97080 Würzburg

### Gestaltung

zwetschke GmbH & Co. KG  
Proviantbachstraße 1½ • 86153 Augsburg

### Autoren

Julia Berg • Fraunhofer IGCV  
Laura Merhar • Fraunhofer IGCV  
Albrecht Lottermoser • Fraunhofer IGCV  
Christian Härdtlein • Fraunhofer IGCV  
Maximilian Henke • Fraunhofer IGCV

Zur Verbesserung der Lesbarkeit wird in diesem Leitfaden nur die  
männliche Form benutzt. Es sind aber alle Geschlechterformen  
angesprochen und impliziert.

### Bildnachweise

© Gorodenkoff / Adobe Stock (S. 1)  
© zapp2photo / Adobe Stock (S. 4)  
© Bernd Müller Fotografie / Fraunhofer IGCV (S. 6)  
© Fraunhofer IGCV (S. 16, 22 – 24, 27, 28, 30 – 32)

### Stand

November 2019

## FORTSCHRITT MIT ROBOTIK

# LEICHTBAUROBOTER FÜR DEN MITTELSTAND

Große Industrieroboter sind vor allem in größeren Unternehmen schon lange im Einsatz. Seit einigen Jahren halten nun auch Leichtbauroboter Einzug in den Markt und in die Produktion. Die kleineren, oft kostengünstigeren Leichtbauroboter lohnen sich auch immer mehr für kleine und mittlere Betriebe. Neue Arbeitsbereiche entstehen, der Weg ist frei für mehr Wirtschaftlichkeit und höhere Effizienz.

Die aktuellen Entwicklungen rund um Leichtbaurobotik bieten mehrere Potenziale – auch für den Mittelstand! Durch das geringe Eigengewicht können Leichtbauroboter flexibel eingesetzt werden, beispielsweise können sie auf manuell beweg-

lichen oder autonomen Transporteinheiten einfach bewegt werden. Eingebaute Sensoren, wie zur Kraft-Momenten-Messung, befähigen den Leichtbauroboter Kollisionen zu erkennen und damit Verletzungen zu vermeiden sowie sensitive Vorgänge durchzuführen – das Einsatzspektrum erweitert sich. Durch neue Sicherheitstechnik ist ein Schutzzaun nicht mehr zwingend notwendig. Das spart Platz ein.

Außerdem wird die Programmierung durch intuitive Benutzeroberflächen immer einfacher. Leichtbauroboter können Routine-Tätigkeiten übernehmen und dem Menschen Zeit für anspruchsvollere Aufgaben einräumen. Bei der sogenannten Mensch-Roboter-Kooperation oder -Kollaboration (MRK) können Roboter auch direkt unterstützen, zum Beispiel beim Anreichen von Bauteilen, und so mit dem Menschen zusammenarbeiten. Mitarbeiter brauchen keine Angst zu haben, feststeht: Der Mensch bleibt die flexibelste Ressource im Produktionsumfeld. Durch die Aufteilung von Arbeitsaufgaben auf Mensch und Roboter wird die Arbeit des Menschen aufgewertet oder ergonomischer gestaltet – und die Produktivität steigt.



### **Was sind Leichtbauroboter?**

- Industrielle Roboter mit 6 oder 7 Achsen
- Geringes Eigengewicht bis ca. 50 kg
- Traglasten bis ca. 14 kg
- Integrierte Sensorik zur Kollisionsdetektion
- Meist einfache Programmierschnittstellen



### **Mögliche Anwendungsbereiche**

- Be- und Entladung von Werkzeugmaschinen
- Durchführung von Montagetätigkeiten
- Hebe- und Anreichtätigkeiten
- Pick and Place-Anwendungen



Der Praxisleitfaden richtet sich an Entscheider aus dem Produktions- und Logistikumfeld, wie zum Beispiel Geschäftsführer, Bereichsleiter oder Automatisierungsbeauftragte. Sie erfahren wesentliche Kriterien für den Start, die Anbietersauswahl und die Durchführung erfolgreicher Roboter-Projekte in Ihrem Unternehmen. Dazu beantwortet Ihnen der Leitfaden folgende Fragen:

#### **Wie ist ein Leichtbauroboter-System aufgebaut?**

Die Infografik auf den Seiten 12 und 13 gibt Ihnen einen Überblick über die wesentlichen Komponenten von Roboter-Systemen und mögliche Anwendungsfelder.

#### **Wo werden Leichtbauroboter im Mittelstand eingesetzt?**

Das Praxisinterview ab Seite 8 schildert einen Anwendungsfall im mittelständischen Betrieb: Ein Roboter übernimmt die Be- und Entladung einer Werkzeugmaschine und spart den Mitarbeitern Zeit für die Bedienung mehrerer Maschinen und zur Qualitätssicherung.

#### **Auf was muss ich bei der Projektvorbereitung, Anbietersauswahl und Implementierung achten?**

Der Leitfaden ab Seite 14 beschreibt Schritt für Schritt die wichtigsten Kriterien, damit Sie einen passenden Anwendungsfall identifizieren und die Umsetzung von der Roboter-Auswahl bis zur Implementierung planen können. Dabei behalten Sie alle wichtigen Faktoren aus dem Prozess, der Umgebung sowie dem Arbeitsplatz im Blick.

#### **Wann lohnt sich der Einsatz eines Roboters?**

Die Tabelle auf den Seiten 20 und 21 bezieht auch Faktoren wie Kosten, Qualität oder den Implementierungsaufwand mit ein und gibt Ihnen Hinweise, auf was Sie bei der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung achten sollten.



Die Mittelstand 4.0-Kompetenzzentren bieten eine Vielzahl kostenfreier Unterstützungsmöglichkeiten. Ab Seite 32 sind die Angebote für Sie zusammengefasst.

# KOLLEGE ROBOTER IM MITTELSTAND

## EIN LEICHTBAUROBOTER UNTERSTÜTZT MITARBEITER BEI SPN

Die SPN Schwaben Präzision Fritz Hopf GmbH mit ca. 330 Mitarbeitern fertigt maßgeschneiderte Getriebe und Antriebskomponenten. Seit Kurzem unterstützt ein Leichtbauroboter an der Außenrundsleifmaschine und spart den Mitarbeitern damit Zeit, die Sie für die Bedienung mehrerer Maschinen und zur Qualitätssicherung nutzen. Jürgen Schneller, gelernter Industriemechaniker und aktuell im dualen Studium Wirtschaftsingenieurwesen, betreut das Roboterprojekt bei SPN. Im Interview erklärt er, warum ein Leichtbauroboter die passende Lösung darstellt und wie die Implementierung abließ.

» © SPN Schwaben  
Präzision  
Fritz Hopf GmbH



### Der Anwendungsfall

Aufgebaut auf einem mobilen Grundgestell entnimmt der Roboter aus einer vordefinierten Bereitstellungsfläche die Teile für die Bearbeitung. Das automatische Öffnen der Werkzeugmaschinen-türe gibt dem Roboter das Signal zur Be- bzw. Entladung des Werkstücks. Nach dem Werkstückwechsel beginnt die Werkzeugmaschine wieder mit dem Schleifprozess. Somit ist der Prozess vollständig automatisiert. Ziel ist eine effizientere Mehrmaschinenbedienung durch Verringerung von Stillstandzeiten.

### Herr Schneller, wie ist SPN dazu gekommen, einen Roboter einzusetzen?

Robotertechnologien sind heute ausgereift und in den letzten Jahren erschwinglicher geworden. Deshalb ist jetzt ein guter Zeitpunkt auch für kleinere Unternehmen in diese Technik zu investieren. SPN möchte außerdem mit den Trends gehen, um auch in Zukunft wettbewerbsfähig zu bleiben. Ein wichtiges Ziel für uns ist nicht nur, durch den Roboter effizienter zu werden. Wir wollen durch das Projekt lernen und entsprechende Kompetenzen im Unternehmen aufbauen. Einfache Pick-and-Place-Aufgaben, wie das Be- und Entladen einer Werkzeugmaschine, werden in Zukunft immer mehr automatisiert. Gut ausgebildete Fachkräfte konzentrieren sich dann verstärkt auf die wichtigen Aufgaben, wie das Programmieren der Maschinen und Anlagen oder die Qualitätssicherung.

### Wie haben Sie einen passenden Anwendungsfall identifiziert?

Als wir uns nach Verschwendung in der Produktion umgeschaut haben, fiel der Blick auf die Außenrundsleifmaschine. Bei Werkstücken mit kurzen Taktzeiten ist der Mitarbeiter an die Maschine gebunden und hat demzufolge viel Wartezeit. Weitere Punkte waren die Schnittstellenfähigkeit der Maschine, die Formstabilität der Bauteile und der nötige Erst-Programmieraufwand. Die Maschine ist relativ neu und verfügte deshalb schon über die nötigen Schnittstellen – hier war also kein Nachrüsten notwendig. Auch die Werkstücke sind gut geeignet: Beim Außen-schleifen von Wellenteilen wird anders als beim Fräsen oder Drehen die Werkstückkontur nur minimal verändert. Ein Greiferpaar kann sowohl für das Beladen, als auch für das Entladen eingesetzt werden. Der Greifer muss innerhalb einer Serie nicht gewechselt werden. Insgesamt haben wir momentan 15 verschiedene Greiferpaare. Alle konnten wir bei uns im Haus selbst fertigen.



Jürgen Schneller  
Produktionstechnologie  
© SPN Schwaben  
Präzision  
Fritz Hopf GmbH



### Wie sah es mit der Wirtschaftlichkeitsbewertung aus?

Um die Machbarkeit und Wirtschaftlichkeit einzuschätzen, habe ich unser Teilespektrum und unsere Auftragslage im Rahmen meiner Bachelorarbeit ausgewertet. Für jeden Auftrag muss nämlich auch der Programmier- und Rüstaufwand bewertet werden. Wiederholt sich ein Auftrag, lohnt es sich eher, den Roboter dafür zu programmieren. Ich schätze wir können aktuell ca. 40 % unserer Aufträge mit dem Roboter effizient bearbeiten. Weil die Roboterzelle halb geöffnet ist, können Rüst- und Wartungsarbeiten einfach durchgeführt werden. Auch kleine Serien oder Einzelteile können weiterhin an der Werkzeugmaschine bearbeitet werden, ohne den Roboter von der Maschine abzukoppeln. Durch die Mobilität des Grundgestells kann die Maschine auch wie früher bedient werden oder die Roboterbeladung an einer weiteren Werkzeugmaschine eingesetzt werden.

### Und wie ging es weiter, nachdem der Anwendungsfall feststand?

Wir haben uns auf Messen informiert, welcher Roboter sich für uns eignet und haben uns dann für die Firma Universal Robots entschieden. Wenn intern erst wenig Know-how zur Anbindung vorhanden ist, bietet es sich an, eine externe Firma für die Implementierung zu beauftragen. Bei den Themen Sicherheit und CE-Kennzeichnung waren wir auf Experten angewiesen und die Zusammenarbeit hat uns sicher viel Zeit erspart. Der Dienstleister hat uns dann noch in der Bedienung und Programmierung intensiv geschult. Dabei wurden auch die Maschinenbediener und Instandhalter mit einbezogen, um den Umgang mit dem System zu lernen und um uns ihr Feedback zu geben.

### Inwiefern hat sich die Einführung des Leichtbauroboters gelohnt?

Ganz klar: Die Produktivität und Qualität werden gesteigert, wenn der Roboter das Be- und Entladen der Maschine übernimmt und der Mitarbeiter mehr Zeit für Nebentätigkeiten zur Verfügung hat. Dazu gehört das Bedienen einer weiteren Maschine oder Aufgaben zur Qualitätssteigerung, wie das häufige Prüfen der Maßhaltigkeit der Werkstücke und die dazugehörige Dokumentation. Der Roboter arbeitet währenddessen kontinuierlich weiter, was letztlich auch Stillstandzeiten der Maschine verringert. Obwohl der Roboter langsamer im Be- und Entladen ist als der Mensch, produzieren wir unterm Strich mehr und stellen dabei eine hohe Qualität sicher. Auch Pausenzeiten können vom Roboter durchgearbeitet werden und die geringer besetzte Nachtschicht kann bei einigen Serien die Maschine quasi „nebenbei“ bedienen. Was mich besonders freut: Von den Maschinenbedienern kam das Feedback, dass der Roboter ihre Arbeit angenehmer macht, weil sie weniger monotone Tätigkeiten erledigen müssen und stattdessen mehr Abwechslung durch unterschiedliche Aufgaben haben.

### Gab es auch die ein oder andere Herausforderung zu meistern?

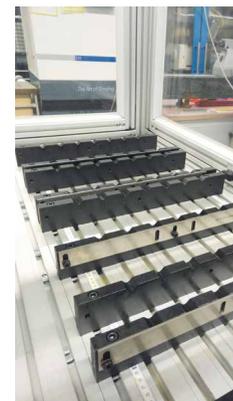
Die Einführung hat länger gedauert als gedacht. Außerdem mussten wir zusätzlich einen Monteur des Maschinenherstellers für die Anbindung beauftragen, was das Projekt etwas aufwendiger gemacht hat. Das liegt daran, dass wir hier die internen Kompetenzen zur Maschinenanbindung und Vernetzung erst noch aufbauen müssen.

### Haben Sie einen Tipp für andere Unternehmen?

Wenn es keinen Mitarbeiter im Unternehmen gibt, der für die ersten Phasen in einem Roboterprojekt zur Verfügung steht, ist eine Studienarbeit eine gute Idee. Dank meiner Bachelorarbeit hatte ich die Zeit, mich neben dem Tagesgeschäft vertieft mit der Charakterisierung des Anwendungsfalls auseinanderzusetzen. Eine intensive Beschäftigung mit Bauteilbeschaffenheit und -varianz, Peripherie, Programmieraufwand und Auftragslage ist die Basis für ein erfolgreiches Projekt.

### Wie geht es mit dem Projekt weiter?

In Zukunft werden wir die Ergonomie an dem Arbeitsplatz noch weiter verbessern. Der Arbeitsplatz rund um den Roboter wird angepasst, um ein Notaus durch Betreten des Sicherheitsbereiches zu verhindern. Außerdem kann die Rüstzeit durch Anpassungen in der Programmiermaske oder der Bereitstellung noch verbessert werden. Diese Themen sind erst nach einiger Betriebszeit aufgekommen. Jetzt, wo wir erste Erfahrungen gesammelt haben, schauen wir uns schon nach weiteren möglichen Anwendungsfällen für Leichtbauroboter in unserer Produktion um. Durch die Mobilität der Anlage ist es denkbar, die Roboterbeladung an einer weiteren Maschine einzusetzen. Außerdem ist ein weiteres Projekt geplant: Ein Leichtbauroboter soll zum automatischen Bürsten und Entgraten von Verzahnungsteilen eingesetzt werden.



« Der Roboter entnimmt Bauteile aus der Vorrichtung (links) und bestückt die Werkzeugmaschine (rechts).  
© SPN Schwaben Präzision Fritz Hopf GmbH

# ÜBERSICHT LEICHTBAUROBOTER-SYSTEME

Die Infografik gibt Ihnen einen Überblick über die wesentlichen Komponenten von Roboter-Systemen. Je nach Anwendungsfall werden diese unterschiedlich kombiniert und in den Prozess integriert.

## ENDEFFEKTOR

Erst mithilfe des Endeffektors, wie z. B. einem Greifer oder Schrauber, kann der Roboter Aufgaben ausführen.

## BENUTZUNGSSCHNITTSTELLE

Der Roboter wird z. B. mit einem Bedienpanel oder einem Tablet über die Steuerung programmiert.

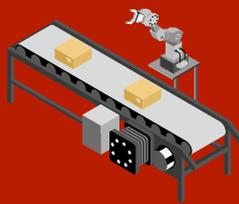
## SICHERHEITSTECHNIK

Laserscanner, Lichtvorhang, Sicherheitsmatte oder andere Einrichtungen der Sicherheitstechnik lösen bei Signalveränderungen einen Stopp oder eine Verlangsamung des Roboters aus.

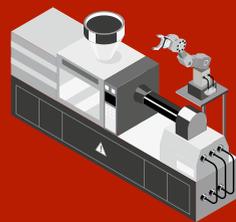
## ANWENDUNGSBEISPIELE



MRK-  
Montagearbeitsplatz



Pick and Place-  
Anwendungen



Be- und Entladung  
von Maschinen



## LEICHTBAUROBOTER

Ein Leichtbauroboter hat sechs oder sieben Achsen. Aufgrund seines geringen Eigengewichts ist sein Standort leicht zu wechseln. Mit den integrierten Sensoren erkennt der Roboter Kollisionen und kann feinfühligere Aufgaben durchführen.

## BASIS

Der Roboter kann statisch, z. B. auf einem Gestell, befestigt oder für mehr Flexibilität auf eine fahrbare oder selbstfahrende Plattform montiert werden.

# SCHRITT FÜR SCHRITT ZUM LEICHTBAUROBOTER

Um einen Roboter zielgerichtet einzubinden, gibt es Einiges zu beachten. In den drei Schritten

- 1 Vorplanung
- 2 Planung
- 3 Umsetzung

kommen Sie vom passenden Anwendungsfall über die Auswahl eines Roboters und der Konzipierung des künftigen Arbeitsplatzes bis hin zur Programmierung, CE-Kennzeichnung und Maschinenanbindung. Unser Leitfaden gibt Ihnen Tipps, worauf Sie in welcher Phase achten sollten.



## VORPLANUNG

### Einen Anwendungsfall identifizieren

Um einen Anwendungsfall zu identifizieren, wird die Produktion genauer betrachtet. Gibt es Stellen, an denen Kapazitätsengpässe vorliegen? Oder muss die Ausbringungsmenge steigen? Meistens gibt es einen Grund, weshalb in der Produktion automatisiert werden soll. Ist noch unklar, an welcher Stelle genau automatisiert wird, bietet es sich an, mit ein paar groben Kriterien im Kopf durch die Produktion zu gehen. Für eine erste Analyse eignen sich Kriterien wie die Formstabilität des Bauteils und die Komplexität der Anwendung: Wie sieht der Prozess (z. B. Fügevorgang) aus? Welche Vorrichtungen zur Positionierung benötige ich? Wurde so ein Anwendungsfall halbwegs identifiziert, kann die nachstehende Bewertung ein weiteres Ergebnis liefern. Die detaillierte Konzeption der Applikation erfordert dann eine genauere Analyse des Anwendungsfalls, die zum Beispiel die steuerungstechnische Anbindung oder Sicherheitstechnik mit einbezieht.

### Den Anwendungsfall bewerten

Wurden an einer oder an mehreren Stellen mögliche Anwendungsfälle für den Einsatz von Robotern identifiziert, werden diese jetzt näher untersucht. In der Bewertung wird klar, wie aufwändig die Automatisierung des Anwendungsfalls wird. Dazu gibt es verschiedene Kriterien, die sich auf die Automatisierung selbst, aber auch auf den vorhandenen Arbeitsplatz beziehen. Diese werden aufgeteilt in die Kategorien **Bauteil**, **Prozess** und **aktueller Arbeitsplatz**.



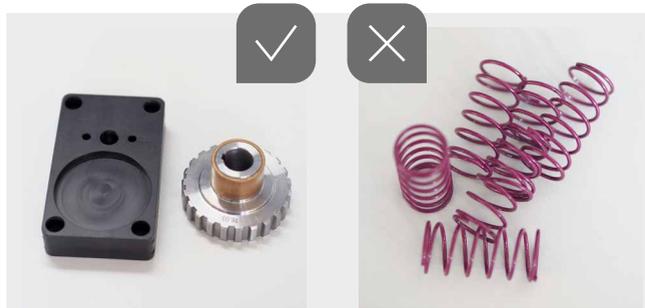
#### Kriterium: Bauteil

**Gewicht des Bauteils:** Ist das Bauteilgewicht höher, so kann die Automatisierung einen ergonomischen Vorteil für den Mitarbeitenden bieten. Es gibt Roboter mit verschiedensten Traglasten. Sie werden jedoch meist hinter Schutzzäunen eingesetzt. Die Traglasten von Leichtbaurobotern reichen aktuell bis ca. 14 kg. Nicht zu vergessen ist, dass der Endeffektor (siehe S. 23) ebenfalls ein Eigengewicht hat, das zum Bauteilgewicht hinzugerechnet werden muss.

**Scharfkantigkeit des Bauteils:** Wird eine Mensch-Roboter-Kooperation in Betracht gezogen, muss das Bauteil näher auf Gefährdungen untersucht werden. Scharfe Kanten oder spitze Ecken stellen ein Sicherheitsrisiko dar, weil der auftretende Druck bei einer Kollision mit dem Menschen hoch sein kann.

**Formstabilität des Bauteils:** Die Stabilität des Bauteils ist mitentscheidend für die Frage, ob eine Automatisierung realisiert werden kann. Handelt es sich um ein formstabiles Bauteil, ist eine Voraussetzung für die Handhabbarkeit erfüllt. Zusätzlich kommt es auf die konkrete Form an, also zum Beispiel ob es Flächen zum Greifen gibt. Bei formlabilen Bauteilen, wie z. B. Kabeln oder Federn, ist der Aufwand bedeutend höher. Auch wenn es derzeit bereits vereinzelt Anwendungen in diesem Bereich gibt, liegt hier immer noch eine große

» Formstabile (links) und formlabile Bauteile (rechts) im Vergleich.



Herausforderung. Für eine Automatisierung sollte es sich also um formstabile Bauteile handeln. Wird eine Mensch-Roboter-Kooperation angestrebt, könnte die Handhabung von formlabilen Teilen vom Menschen übernommen werden, während der Roboter andere Aufgaben erledigt.



### Kriterium: Prozess

**Anlieferung der Bauteile:** Hier geht es darum, wie die Bauteile am Arbeitsplatz angeliefert werden. Für eine Automatisierung ist es von Vorteil, wenn die Teile einzeln und geordnet geliefert werden. Kleinteile in Schüttgutkisten hingegen erhöhen den Aufwand zur Automatisierung enorm, da z. B. mit einer aufwendigen Kamera- und Greiftechnik oder mit einem Automaten zur Vereinzelung gearbeitet werden muss. Gegebenenfalls muss also die Anlieferungsform für die Roboterapplikation angepasst werden.

» Die geordnete Anlieferung von Bauteilen auf einer Setplatte (links) und die eher ungünstige Anlieferung von Teilen in Schütten (rechts) im Vergleich.



### Kriterium: Aktueller Arbeitsplatz

**Ergonomie:** Bei unzureichender Ergonomie am Arbeitsplatz aufgrund des Hebens schwerer Teile oder Überkopparbeit kann die Automatisierung helfen. In einem solchen Fall könnte auch bei erhöhtem Aufwand der Automatisierung eine solche angedacht werden, auch wenn sich der Aspekt einer Verbesserung der Ergonomie oft schlecht in Zahlen fassen lässt. Zur Bewertung der Ergonomie am Arbeitsplatz gibt es verschiedene Methoden, wie die **Leitmerkmalmethode** oder auch das **OWAS-Verfahren**.

**Gefährdungen am Arbeitsplatz:** Gibt es an Arbeitsplätzen Vorgänge, bei denen mit gefährlichen Materialien hantiert wird, kann der Einsatz eines Roboters zum Schutz der Mitarbeiter sinnvoll sein. Je nach Art des Stoffs können gesundheitliche Gefährdungen für den Mitarbeiter entstehen, weshalb die Übernahme durch einen Roboter hilfreich sein kann. Dies gilt auch für Arbeitsschritte mit heißen Bauteilen, die

**Anzahl verschiedener Bauteile:** Wird bei einer Aufgabe oder zum Beispiel an einer Maschine mit vielen verschiedenen Bauteilen hantiert, erhöht sich der Aufwand für eine Automatisierung: Die Möglichkeiten eines einzelnen Greifers sind eingeschränkt. In so einem Fall werden evtl. verschiedene Greifer benötigt – der Rüstaufwand erhöht sich.

**Feinfühligkeit beim Fügevorgang:** Bei vielen Prozessen wird eine Art Feinfühligkeit zur Durchführung benötigt. Sollen zum Beispiel zwei Zahnräder ineinandergefügt werden, muss das zu fügende Rad so bewegt werden, dass die Zähne nicht aufeinanderstoßen. Mit konventionellen Robotern ist so eine Aufgabe nur schwer möglich. Die neueren Leichtbauroboter verfügen dank ihrer Sensoren über eine gewisse Sensitivität, die auch feinfühlige Aufgaben möglich macht. Dennoch sollte der Auftrag auch nicht zu filigran für eine Automatisierung durch Robotik sein.

den Menschen verletzen können – dem Roboter jedoch keinen Schaden zufügen. In solchen Fällen macht es besonders Sinn, den Arbeitsschritt dahingehend zu überprüfen, ob eine Automatisierung möglich ist. Je nach Gefährdung kann hier eine kompliziertere Automatisierungslösung einen höheren (finanziellen) Aufwand rechtfertigen.

**Positionierung:** Der Roboter hat je nach Größe, Reichweite des Arms und Tätigkeit einen bestimmten Platzbedarf. Ist dieser nicht gegeben, muss evtl. durch Anpassung des Umgebungslayouts Platz geschaffen werden. Hier muss auch auf die Energie- und Medienversorgung (z. B. Druckluft) geachtet werden.

Die beschriebenen Kriterien sind für jede untersuchte Anwendung zu bewerten. Die Kriterien zu Bauteil und Prozess beziehen sich dabei auf jeden Arbeitsschritt, wohingegen der Arbeitsplatz nur einmal bewertet werden muss. Die Checkliste auf Seite 29 kann als Hilfsmittel genutzt werden, um die wichtigsten Fragen am Anwendungsfall Schritt für Schritt durchzugehen. Ist der Robotereinsatz für keinen, einen oder mehrere Vorgänge geeignet? Im letzten Schritt der Vorplanung wird jetzt geprüft, welche Art der Automatisierung sinnvoll ist.

### MRK oder Vollautomatisierung?

Werden viele der genannten Kriterien im Hinblick auf einen Robotereinsatz positiv bewertet, so kann der Anwendungsfall genauer analysiert werden. Können die meisten Aufgaben durch einen Roboter bewältigt werden, kann eine Vollautomatisierung angestrebt werden. Diese kann mit oder ohne Schutzzaun erfolgen. Können nicht alle Aufgaben automatisiert werden, weil der Aufwand dafür zu groß wäre, kann der Einsatz einer Mensch-Roboter-Kooperation überlegt werden. Werden an einem Arbeitsplatz zum Beispiel mehrere Varianten bearbeitet, kann der Roboter gleichbleibende Aufgaben übernehmen, während der Mensch variantenreiche Aufgaben erledigt.

Auch wenn der Einsatz eines Roboters grundsätzlich interessant erscheint, sollte überlegt werden, ob dies die richtige Möglich-

keit für die Automatisierung ist. Der Einsatz eines Roboters kann sinnvoll sein, wenn die Automatisierungslösung flexibel bleiben und der Roboter möglicherweise nach einer kurzen oder längeren Zeit noch für eine andere Aufgabe eingesetzt werden soll. Auch wenn sich die Applikation aufgrund der Änderung des Produkts und damit des Bauteils ändern kann, sollte eine solche Lösung in Betracht gezogen werden.



- *Anwendungsfall identifizieren*
- *Bauteil, Prozess und Arbeitsplatz überprüfen*
- *Art des Robotereinsatzes bestimmen*



## 2

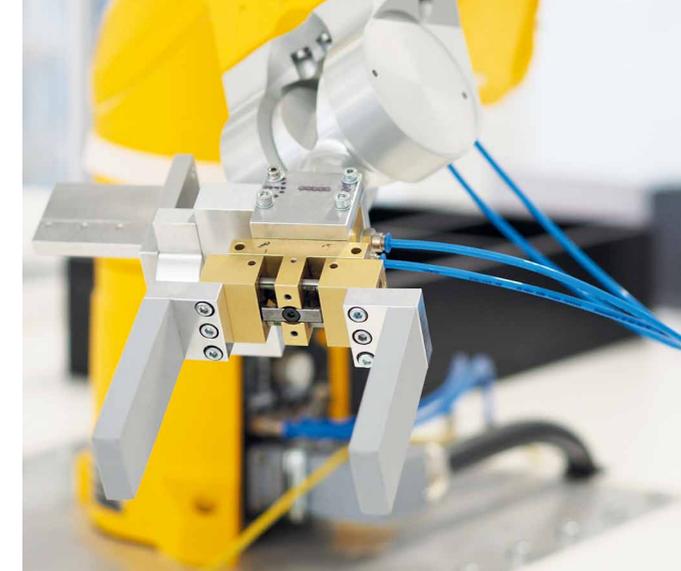
### PLANUNG

#### Aufgaben den Ressourcen zuordnen

Soll an einer Arbeitsstation eine Teilautomatisierung, z. B. durch eine Mensch-Roboter-Kooperation, erfolgen, werden im ersten Schritt die Aufgaben zwischen Mensch und Roboter aufgeteilt. Erst wenn klar ist, welche Aufgaben der Roboter übernehmen soll, können Roboter und Endeffektor ausgewählt werden. Bei der Aufteilung der Aufgaben übernimmt der Roboter eher Vorgänge, die leicht zu automatisieren sind, z. B. weil sich das Bauteil dazu gut eignet oder der Vorgang immer der gleiche ist. Der Mensch kann dann Aufgaben erledigen, die schwierig mit einem Roboter umzusetzen sind, z. B. weil die Bauteile schlecht zu handhaben sind oder sich der Vorgang oft ändert. Handelt es sich um schwere Bauteile, kann der Roboter diese anreichen und gemeinsam mit dem Menschen montieren.

Unterschiedliche Automatisierungsstufen bringen verschiedene Vor- und Nachteile mit sich. Die Abwägung von menschlicher Arbeit gegenüber Teil- oder Vollautomatisierung ist für die Ressourcenzuordnung äußerst hilfreich.





⤴ Links:  
Elektrischer  
Zwei-Backen-Greifer.  
Mitte:  
Pneumatischer  
Sauggreifer.  
Rechts:  
Pneumatischer  
Zwei-Backen-Greifer.

## Roboter auswählen

Auf Basis der Bauteil-, Prozess- und Arbeitsplatzanalyse geht es nun an die Auswahl des Roboters. Über 30 Leichtbauroboter für die Mensch-Roboter-Kooperation von ca. 17 unterschiedlichen Herstellern sind auf dem Markt. Um den für den Anwendungsfall passenden Roboter zu finden, gibt es ein paar Punkte zu beachten.

Insbesondere müssen die zu handhabenden Gewichte in Verbindung mit der benötigten Reichweite des Arms betrachtet werden. Wie weit genau der Roboter mit welchem Gewicht ausgefahren werden kann, verraten die Traglastdiagramme der unterschiedlichen Modelle. Soll der Roboter neben Handhabungsaufgaben auch Montage Tätigkeiten durchführen, liefern Sensoren zur Kraft-Moment-Messung die nötige Sensitivität.

Zuerst sollten die Anforderungen an den Roboter notiert werden und danach der Anbieter sowie das Modell ausgesucht werden. Auch der Lieferzeitraum spielt eine Rolle: Oft sind bestimmte Modelle länger nicht lieferbar oder werden zu früh angekündigt. Hier empfiehlt sich, noch einmal nachzuhaken. Wenn eine hohe Flexibilität gewünscht wird, sollte der Roboter möglichst kompatibel für unterschiedliches Zubehör sein: Sind z. B. Greifer leicht austauschbar? Falls geplant ist, das Robotersystem an eine Maschine anzubinden, sollten die verfügbaren Schnittstellen bei der Roboterwahl betrachtet werden.

## Endeffektor planen

Der Endeffektor ist ein wesentlicher Teil einer Roboterapplikation. Das kann ein Greifer für Handhabungsaufgaben oder zum Beispiel ein Schrauber sein. In kleinen und mittleren Unternehmen liegen häufig viele Varianten und ein großes Produktportfolio vor. Eine hohe Variantenvielfalt erschwert die Wahl eines geeigneten Endeffektors oder wird sogar als Hemmnis für die Automatisierung gesehen. Im Bereich der Greiftechnik wird mittlerweile ein breiteres Produktspektrum angeboten. Neben Backengreifern und Sauggreifern gibt es auch flexible Greifer, die sich durch ein Granulat an die Form des Bauteils anpassen.

Elektrische Greifer bieten den Vorteil, dass sie kraft- oder positionsgesteuert eingesetzt werden können und damit das Greifen verschiedener Größen ermöglichen. Außerdem kann die Greifkraft begrenzt werden – ein Vorteil in puncto Sicherheit. Beim Endeffektor spielt auch das eigene Gewicht eine Rolle. Dieses sollte mit der Traglast des Roboters abgeglichen werden (siehe Abschnitt Roboter auswählen).

Neben dem Greifer selbst spielen die Greiferfinger eine wichtige Rolle. Diese müssen an die Form des Bauteils angepasst sein. Soll der Roboter mit vielen Varianten hantieren, müssen hier vielleicht mehrere verschiedene Greiferfinger verwendet und zwischen den Varianten gewechselt werden. Dafür bietet der 3D-Druck ein großes Potenzial (siehe S. 30).

### Peripherie und Arbeitsplatz gestalten

Neben dem Roboter selbst und dem angebrachten Endeffektor muss zusätzlich die Umgebung – oder auch Peripherie – des Arbeitsplatzes beachtet werden. Handelt es sich bisher um einen manuellen Arbeitsplatz, an dem viele Schritte durchgeführt werden, so kann es sein, dass kaum Vorrichtungen zur Montage vorhanden sind und die Anlieferung der Bauteile ungeordnet erfolgt.

Für den Einsatz eines Roboters muss dies zumindest für dessen Aufgaben am Arbeitsplatz angepasst werden. Idealerweise kann der Roboter seine Aufgaben, sei es das Aufnehmen eines Bauteils, dessen Montage oder ein anderer Vorgang, immer an der gleichen Position ausführen, die im Programm hinterlegt ist. Dies bedingt für die Anlieferung der Bauteile Vorrichtungen, die die Positionierung des Bauteils sicherstellen. Einfache Vorrichtungen zur Aufnahme von Bauteilen können oft selbst konstruiert und gefertigt oder 3D-gedruckt werden. Allerdings muss dann beachtet werden, dass die Vorrichtung in der Lieferkette entsprechend vorher befüllt wird.

» Über eine Rutsche sind die Bauteile immer an der gleichen Stelle platziert.



Ein Beispiel ist die Anlieferung von Bauteilen in Schütten: Der Roboter hat Schwierigkeiten, Bauteile aus einer Schütte zu greifen. Mittelgroße Bauteile können in einer Vorrichtung angeliefert werden, in der die Bauteile eine definierte Orientierung besitzen. Möglich ist auch eine Art Rutsche, von der das Bauteil immer an der gleichen Stelle landet und dort einfach gegriffen und abgeholt werden kann. Ist eine geordnete Anlieferung nicht möglich, kann die Positionsbestimmung mittels einer Kamera in Betracht gezogen werden.

### Sicherheitstechnik

Der Einsatz eines Roboters unterliegt den Normen und Richtlinien, die auch für sonstige Maschinen gelten. Um die Anlage in Betrieb zu nehmen, muss eine Risikoanalyse durchgeführt werden (siehe Abschnitt Umsetzung). Das Robotersystem muss entsprechend abgesichert sein, um Gefährdungen zu minimieren. Dazu gehört beispielsweise auch die Absicherung des Endeffektors und das Layout des Arbeitsplatzes.

Um auch mit schutzzaunlosen Robotern, die ohne den Menschen arbeiten, mit hohen Geschwindigkeiten arbeiten zu können, wird zusätzliche Sicherheitstechnik benötigt. Diese kann zum Beispiel Lichtschranken oder Kamerasysteme umfassen. Der Vorteil, dass der aufwendige Schutzzaun entfällt und die Applikation flexibler an einer anderen Stelle eingesetzt werden kann, gilt dann immer noch.



- Aufgaben zuordnen
- Passenden Roboter auswählen
- Endeffektor planen
- Arbeitsplatzlayout gestalten
- Sicherheitstechnik konzipieren



# 3

## UMSETZUNG

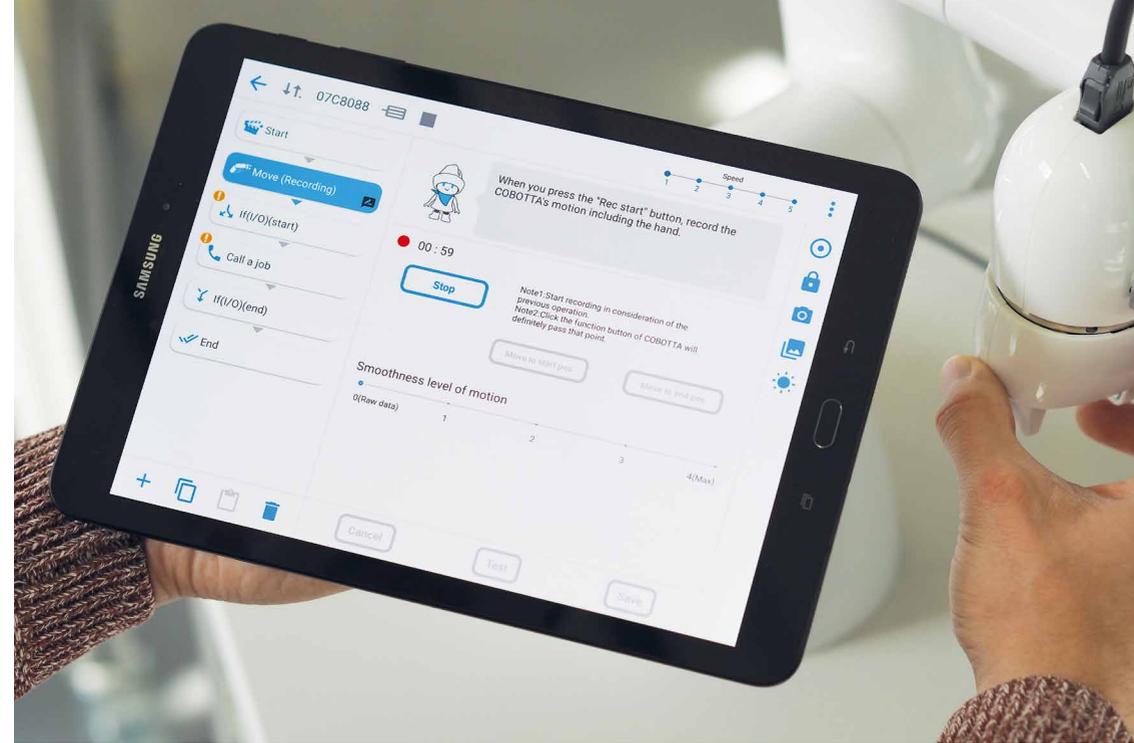
### Programmierung

Nach der Planung einer Roboterapplikation steht dessen Implementierung inklusive der Programmierung an. Für viele erscheint die Programmierung von Robotern noch als Hindernis für den Einsatz von Robotern bei kleinen Stückzahlen, da erwartet wird, dass Expertenkenntnisse erforderlich sind.

Bei der Entwicklung der neuen Roboter-Generationen, wie den Leichtbaurobotern, wird jedoch auch auf eine einfache Programmierung geachtet. So ist das Ziel, dass der Roboter auch von Nicht-Experten programmiert werden kann. Dazu werden Programmieroberflächen, meist in Form von Touchpads, zur Verfügung gestellt, mit denen das Roboterprogramm zusammengestellt werden kann. Einzelne Aufgabenblöcke, wie Bewegungs- oder Greifbefehle, können in das Programm gezogen und parametrisiert werden. Für Handlingsaufgaben durch den Roboter, aber auch für einfache Fügevorgänge lässt sich so leicht ein Roboterprogramm erstellen. Erst bei der Einbindung weiterer Komponenten, wie z. B. Sensoren, kann die Programm-erstellung komplexer werden.

### Anbindung an sonstige Maschinen

Soll der Roboter beispielsweise die Be- und Entladung von Werkzeugmaschinen übernehmen, muss eine Kommunikation zwischen der Maschine und der Robotersteuerung aufgebaut werden. Diese ist notwendig, damit der Roboter ein Signal erhält, wenn die Maschine ihren Vorgang beendet hat und er das Bauteil entnehmen kann. Bei gleichlange andauernden Prozessen könnte alternativ eine Zeitschaltung integriert werden.



Wie die Kommunikation mit der Maschine erfolgen kann, hängt von der Art der Maschine und ihres Alters ab. Dies ist daher im vorliegenden Fall zu prüfen und zu konzipieren. Die Schnittstellen der aktuellen Leichtbauroboter sind unterschiedlich und daher auch deren Kommunikationsmöglichkeiten. Diese sind daher mit denen der Maschine, an der der Robotereinsatz geplant ist, abzugleichen.

### Risikoanalyse und CE-Kennzeichnung

Bevor eine Applikation in Betrieb genommen werden kann, muss eine Risikoanalyse nach Maschinenrichtlinie durchgeführt werden. Wird diese bestanden, erhält die Applikation die für den Betrieb nötige CE-Kennzeichnung. Hier wird der gesamte Aufbau inklusive Arbeitsraum und Werkstück betrachtet. Es wird also die gesamte Applikation beurteilt und sichergestellt, dass z. B. auch die Endeffektoren keine Gefährdungen darstellen. Ein Vorgehen zur Durchführung der Risikoanalyse für Mensch-Roboter-Anwendungen ist beispielsweise im Leitfaden der DGUV „Kollaborierende Robotersysteme“ oder in den MRK-Gestaltungshinweisen der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA) beschrieben.

≈ Die Bedienung der Programmiersoftware wird immer einfacher und intuitiver.



- *Roboter implementieren*
- *Programmierung einrichten*
- *Roboter an Maschine anbinden*
- *Risikoanalyse durchführen*
- *CE-Kennzeichnung erhalten*

### Bereit für den Betrieb

≈ *Beispiel:*  
Ein Leichtbauroboter  
montiert gemeinsam  
mit dem Menschen  
ein Getriebe.

Hat der Roboter die CE-Kennzeichnung erhalten, steht dem Einsatz nichts mehr im Wege. Nun stehen weitere Themen, wie die Qualifizierung der Mitarbeiter oder die Evaluierung und gegebenenfalls Verbesserung auf dem Plan. Im Unternehmensinterview (siehe S. 8) erhalten Sie weitere Tipps direkt aus der Praxis.



## CHECKLISTE

Diese Checkliste unterstützt Sie bei der zielgerichteten Einbindung eines Roboters in Ihrem Unternehmen. Stellen Sie ausreichend Ressourcen zur Verfügung und bilden Sie ein Projektteam, um die Implementation so effizient wie möglich zu gestalten.



### 1 Vorplanung

- *Anwendungsfall identifizieren*
- *Bauteil, Prozess und Arbeitsplatz überprüfen*
- *Art des Robotereinsatzes bestimmen*

### 2 Planung

- *Aufgaben zuordnen*
- *Passenden Roboter auswählen*
- *Endeffektor planen*
- *Arbeitsplatzlayout gestalten*
- *Sicherheitstechnik konzipieren*

### 3 Umsetzung

- *Roboter implementieren*
- *Programmierung einrichten*
- *Roboter an Maschine anbinden*
- *Risikoanalyse durchführen*
- *CE-Kennzeichnung erhalten*

# POTENZIAL 3D-DRUCK

## PERIPHERIE UND GREIFER SCHNELL UND EINFACH TESTEN

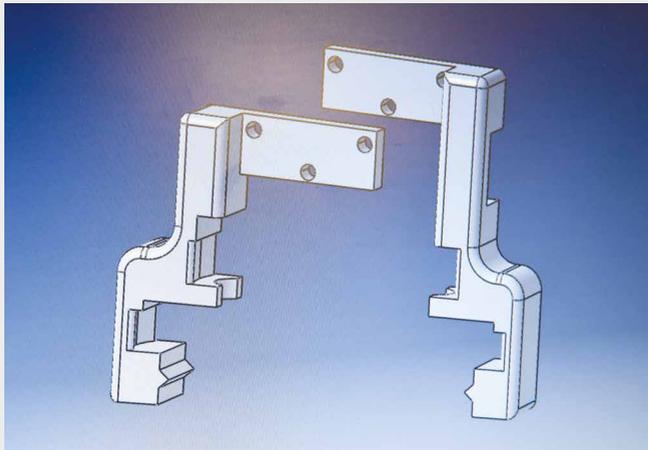
Ein großer Vorteil des 3D-Drucks, insbesondere bei Kunststoff-Druckern, liegt darin, dass eine Konstruktion „einfach mal gedruckt“ werden kann. Das bedeutet, dass notwendige Greiferfinger oder ein Teil der Peripherie konstruiert und nach dem Drucken schnell getestet werden können.

Mit Hilfe des 3D-Drucks können dann beispielsweise Greiferfinger für mehrere unterschiedliche Bauteile konzipiert werden. Die fertigungsgerechte Konstruktion kann dabei für einen ersten Test weitestgehend außer Acht gelassen werden. Wichtig ist, das Bauteil zu analysieren und daraufhin zu überlegen, wie der Greiferfinger aussehen muss.

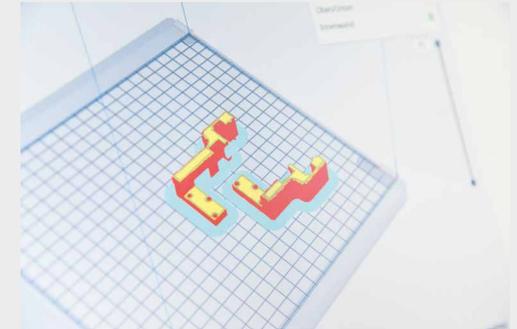
Greiferfinger können individuell an das Bauteil angepasst konstruiert und gedruckt werden. Auch komplexe Formen sind möglich – so können mit einem Greifer verschiedene Bauteile gegriffen werden. Bei Kunststoff-Druckern haben die Greiferfinger zudem ein geringes Gewicht. Ist Kunststoff zum Beispiel bei schweren Bauteilen für den längerfristigen Gebrauch keine Lösung, können so trotzdem vorab günstig und schnell unterschiedliche Formen von Greiferfingern getestet werden. Passt die Form, lässt sich der Greiferfinger durch traditionelle Fertigung herstellen oder durch additive Fertigung auch aus Metall „drucken“.

### SO FUNKTIONIERT'S:

Greiferfinger können beliebig und an das Bauteil angepasst konstruiert werden. Die fertige CAD-Zeichnung geht dann an den 3D-Drucker.



Die Software des 3D-Druckers gibt für die jeweilige Positionierung des Bauteils die nötige Zeit und den Ressourcenverbrauch an – so kann das Bauteil in die optimale Position gedreht werden. Wenn nötig, werden Stützstrukturen automatisch mit eingeplant.

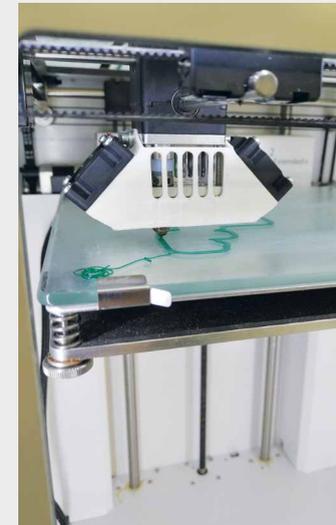


Der Drucker berechnet, wie lange der Druck dauert. In diesem Beispiel: 2 Stunden.

Das Ergebnis: Passende Greiferfinger für ein neues Bauteil. Als Prototyp zum Testen oder für leichte Bauteile auch als finale Lösung.



Der Druck beginnt: Eine Düse trägt Schicht für Schicht den schmelzfähigen Kunststoff – auch Filament genannt – auf die beheizte Druckplatte.



## ROBOTIK ZUM AUSPROBIEREN

Die Mittelstand 4.0-Kompetenzzentren bieten eine Vielzahl kostenfreier Schulungen, Infoveranstaltungen, E-Learning-Angebote und Workshops zum Thema Robotik.



### KOMPETENZZENTRUM AUGSBURG

- **Schulungen im Lernlabor Robotik**  
Vom konventionell abgesicherten Robotereinsatz zur flexiblen Mensch-Roboter-Kooperation, praxisnah mit Demonstratoren. Intuitive Bedienung durch Ein- und Ausgabesysteme, wie LED-Projektoren, Gesten- und Sprachsteuerung.



- **Schulung „Mobile Robotik in der Intralogistik – Wie programmierbare Helfer Logistikprozesse unterstützen“**

**Ansprechpartnerin: Laura Merhar**  
laura.merhar@igcv.fraunhofer.de  
Tel. 0821 90678-163



### KOMPETENZZENTRUM CHEMNITZ

- **Thementag „Robotik und intelligente Automatisierung“**
- **Onlineseminar „Roboter und Mensch in der Produktion“**
- **Demonstratoren zur Mensch-Roboter-Zusammenarbeit**
- **Technikum am ICM mit Schulungs- und Anwendungszentrum für Robotik**

**Ansprechpartnerin: Kristin Massalsky**  
k.massalsky@icm-chemnitz.de  
Tel. 0371 27836-166



### KOMPETENZZENTRUM MAGDEBURG

- **Demonstrator „Einsatz von Robotern in Klein(st)serien“**  
Einsatz von Robotern auch ohne Expertenwissen.
- **Praxisseminar: „Roboter in Klein(st)serien effizient einsetzen“**  
Erstellung kleiner Anwendungen für einen Industrieroboter.
- **Vortrag: „Zukunft der Mensch-Roboter Kollaboration“**  
Roboter für eine effizientere Gestaltung der Prozesse. Wie sieht die Zusammenarbeit mit der Belegschaft aus?

**Ansprechpartner: Sebastian Nielebock**  
sebastian.nielebock@vernetzt-wachsen.de  
Tel. 0391 6752786



### **KOMPETENZZENTRUM SAARBRÜCKEN**

- **Infoveranstaltung „Unterstützung des Menschen im Produktionsumfeld durch technische Systeme“**  
Zusammenarbeit von Menschen und Roboter in einem gemeinsamen Arbeitsraum. Fähigkeitsbasierte Aufgabenteilung und Interaktion zwischen Mensch und Roboter.
- **Workshop „Teamwork erwünscht: Wenn Mensch und Technik Hand in Hand arbeiten!“**  
Einfache Implementierung und Anwendung von Assistenzsystemen und Mensch-Roboter-Kooperation (MRK).  
Einbindung von Technologien ohne Programmierkenntnisse.
- **Lab-Tour**  
Kennenlernen von Industrie 4.0-Technologien.  
Vorteile der Zusammenarbeit von Menschen mit flexiblen (Leichtbau-)Robotersystemen anhand von Beispielen.

**Ansprechpartner: Leenhard Hörauf**  
**[l.hoerauf@komzetsaar.de](mailto:l.hoerauf@komzetsaar.de)**  
**Tel. 0681 85787-350**

Haben Sie Interesse, mehr über die Angebote der Mittelstand 4.0-Kompetenzentren zu erfahren? Treten Sie gerne mit den genannten Ansprechpartnern in Kontakt!

Das Mittelstand 4.0-Kompetenzzentrum Augsburg gehört zu Mittelstand-Digital. Mittelstand-Digital informiert kleine und mittlere Unternehmen über die Chancen und Herausforderungen der Digitalisierung. Die geförderten Kompetenzzentren helfen mit Expertenwissen, Demonstrationszentren, Best-Practice-Beispielen sowie Netzwerken, die dem Erfahrungsaustausch dienen. Das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) ermöglicht die kostenfreie Nutzung aller Angebote von Mittelstand-Digital. Der DLR Projektträger begleitet im Auftrag des BMWi die Projekte fachlich und sorgt für eine bedarfs- und mittelstandsgerechte Umsetzung der Angebote. Das Wissenschaftliche Institut für Infrastruktur und Kommunikationsdienste (WIK) unterstützt mit wissenschaftlicher Begleitung, Vernetzung und Öffentlichkeitsarbeit.

Weitere Informationen finden Sie unter [www.mittelstand-digital.de](http://www.mittelstand-digital.de)