

- 1 Versuchsstand am Fraunhofer IPA mit einem Reis-Roboter RV 40, 3-D-Piezo-Ausgleichskinematik, Maschinenbett und Leica-Lasertracker.
- 2 Frässpindel auf 1-D-Piezo-Ausgleichskinematik.

## SPAN(N)END BEARBEITEN

Mit Fehlerausgleich ermöglichen Industrieroboter die hochgenaue Zerspantung von Werkstoffen

Kosten durch den Einsatz spanender Roboterbearbeitung: niedrigere Investitionskosten, höhere Flexibilität bei Arbeitsraum und Handhabung. Und mit Piezo-Ausgleichsaktorik zur echtzeitfähigen Fehlerkompensation werden nun auch die notwendigen Genauigkeiten erreicht.

### Ausgangssituation

In der Serienfertigung werden Teile verschiedenster Materialien mit konventionellen Bearbeitungsverfahren hergestellt, z. B. Werkzeugmaschinen oder CNC-gesteuerten Bearbeitungszentren. Kennzeichen dieser Verfahren sind die sehr hohen Kosten einer hochgenauen Werkzeugmaschine und die von ihrer Geometrie bestimmten Grenzen in der Bauteilgröße. Der Einsatz von Industrierobotern, die in der Anschaffung deutlich günstiger sind, scheitert bisher aber an der geringen Steifigkeit, verursacht durch die lange serielle kinematische Kette. Weitere Probleme ergeben sich bei der Abarbeitung von NC-Code und durch

die auf andere Aufgabenstellungen hin optimierten Getriebe.

### Innovation

Um mit einem Industrieroboter die notwendige Genauigkeit bei der spanenden Bearbeitung zu erreichen, wurden am Fraunhofer IPA eine 1-D- und eine weiterentwickelte 3-D-Piezo-Ausgleichsaktorik mit Werkzeugmaschinen spindle aufgebaut. Die in bisherigen Roboterfräsanlagen auftretenden Ungenauigkeiten werden gemessen und direkt durch die Ausgleichsaktorik kompensiert. Dieses Fräsverfahren ermöglicht bei reduzierten Investitionen für die Anlagentechnik durch den Roboter-einsatz die flexible Produktion/Bearbeitung von Bauteilen.

### Funktionsweise

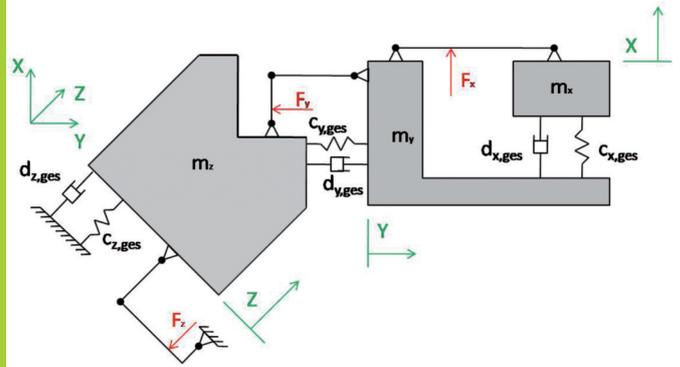
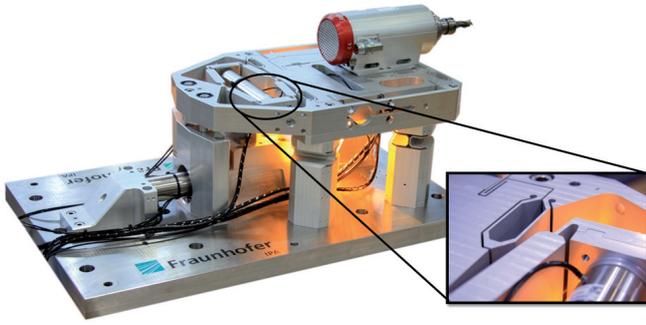
Bei dem entwickelten Verfahren wird das Bauteil mit Hilfe von Spanntechnik am Industrieroboter befestigt und von ihm

### Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA

Nobelstraße 12  
70569 Stuttgart

Ansprechpartner  
Dipl.-Ing. Manuel Drust  
Telefon +49 711 970-1286  
manuel.drust@ipa.fraunhofer.de

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



während der Bearbeitung geführt. Dies ermöglicht eine automatisierte Bearbeitung. Das Bauteil wird mit Hilfe einer Frässpindel mit Drehzahlen bis 30 000 U/min bearbeitet. Die Spindel ist auf einer Ausgleichsaktorik auf Basis von Festkörpergelenken befestigt. Während der Bearbeitung wird die Fräsapparatur in der jeweiligen Achse so ausgelenkt, dass die von einem Messgerät erfassten Roboterungenauigkeiten in der Bewegung regelungstechnisch ausgeglichen werden können. Das Bauteil wird somit hochgenau bearbeitet.

### Vorteile der robotergeführten Fräsbearbeitung

- Durch den Einsatz von Standard-Industrierobotern ergeben sich geringe Investitionskosten bei großem Arbeitsraum.
- Das Bauteil wird nicht wie beim Bearbeiten mit CNC-Maschinen fest auf einem Tisch gespannt, sondern vom Industrieroboter gegriffen und von ihm während der Bearbeitung geführt. Werkstückhandling und Bearbeitung können so von einer Maschine durchgeführt werden.
- Durch die Regelung kann die Ausgleichsaktorik hochdynamisch in drei translatorischen Richtungen gestellt und statische Restfehler nahezu (5 bis 10µm in ersten Versuchen) ausgeschlossen werden.
- Erste einfache Versuche mit einer Ausgleichsachse zeigen das Potenzial für den dynamischen Fehlerausgleich – sprich Oberflächenwelligkeit – welche auf ±10µm reduziert werden konnte.
- Mit Hilfe der Piezoaktoren können hochdynamische Bewegungen im µm-Bereich durchgeführt werden. Piezoaktoren können

große Kräfte aufbringen und benötigen praktisch keine Leistung im statischen Betrieb.

- Die Nutzung der Festkörpermechanik zur Kraft und Bewegungsübertragung hat zahlreiche Vorteile: Sie ist bei vergleichbarer Belastbarkeit leichter, leiser, steifer, dynamischer und genauer als konventionelle Ausgleichsmechanismen. Außerdem ist die Festkörpermechanik verschleißfrei, wartungsarm und kostengünstig in der Herstellung. Verschiedene Hebelmechanismen werden zur Vergrößerung des Stellwegs der hochdynamischen Piezoaktoren genutzt.

### Einsatzbereich

- Fräsbearbeitung von Aluminium, Leichtmetallen und Kunststoffen
- Kombination von Bauteilhandling und Bearbeitung ermöglicht optimalen Einsatz in Produktionsstraßen
- Herstellung von Klein- und Mittelserien
- Hochgenaue spanende Roboterbearbeitung

### Technische Daten

*Werkzeug-/Prozessbezogen:*

- Drehzahlen:  $\leq 30.000$  U/min
- Aufnahme-Ø:  $\leq 16$  mm
- Arbeitsraum: ca.  $< 3$  m<sup>3</sup> (roboterabhängig)
- Vorschub:  $\leq 18$  m/min

*Werkstückbezogen:*

- Werkstoffe: Leichtmetalle und Kunststoffe
- Gewicht inkl. Vorrichtung:  $\leq 400$  kg

*Ausgleichsaktorik:*

- Ausgleichsrichtung: x, y und z
- Weg bis 690 µm
- Regeltakt 1 kHz

Die bisherigen Aufbauten sind mit reiner 1-D-Ausgleichs- bzw. als 2-D- oder 3-D-Ausgleichs kinematik am Fraunhofer IPA aufgebaut.

### Kundennutzen

- Industrieroboter können zur spanenden Bearbeitung eingesetzt werden
- Kostenreduktion durch niedrige Investitionskosten und Kombination von Handling und Prozess
- Großer Arbeitsraum
- Schaffung neuer Einsatzgebiete für die roboterbasierte spanende Bearbeitung
- Schaffung neuer flexibler Positionierverfahren (Mikroproduktion)
- Je nach Anforderung stehen von 1-D- bis hin zu 3-D-Fehlerausgleichsmechanismen als Lösungen zur Verfügung (auf 6-D erweiterbar/realisierbar)

### Unser Angebot

Zugeschnitten auf Ihre Anforderungen entwickeln wir Fertigungsanlagen auf der Basis von Industrierobotern mit Ausgleichs kinematik. Ebenso können Teiltechnologien auf andere Aufgabenstellungen übertragen werden, insbesondere:

- Hochgenaue Positionsmessung
- Aktorik im µm-Bereich
- Echtzeit-Regelung
- Steuerung auf CAM-Basis
- Ausstattung von Robotern auf CNC-Basis

3 Frässpindel auf 3-D-Piezo-Ausgleichs kinematik.

4 Mechanisches Ersatzschaubild der 3-D-Piezo-Ausgleichs kinematik.