



- 1  *mobiler CNC-Roboter für die Bearbeitung von Großstrukturen.*
- 2  *ProsihP II-Gesamtanlage zur Bearbeitung eines A320-Seitenleitwerks.*

### Fraunhofer-Institut für Fertigungstechnik und Angewandte Materialforschung IFAM – Klebtechnik und Oberflächen –

Wiener Straße 12  
28359 Bremen

Institutsleiter  
Prof. Dr. Bernd Mayer

Kontakt  
Automatisierung und Produktionstechnik  
Forschungszentrum CFK NORD  
Ottenbecker Damm 12  
21684 Stade

Christian Böhlmann, M.Eng.  
Telefon +49 4141 78707-262  
christian.boehlmann@ifam.fraunhofer.de

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

© Fraunhofer IFAM

## CNC-BEARBEITUNGSROBOTER

### Status quo

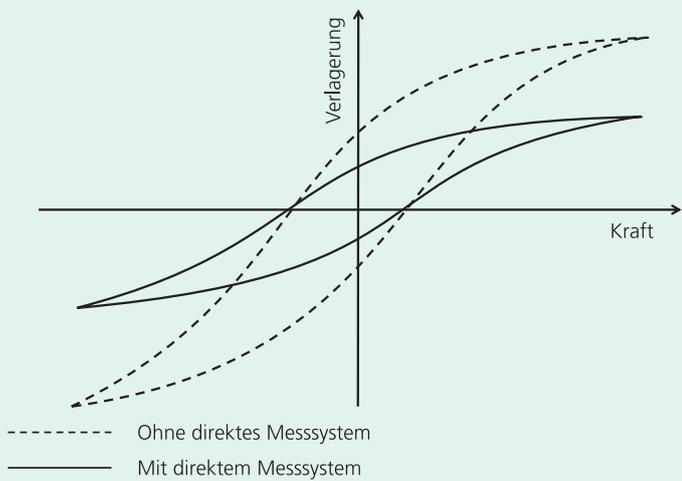
Im Rahmen steten Wachstums des weltweiten Luftverkehrsaufkommens hat die Luftfahrtbranche eine Offensive zur Automatisierung der Produktion gestartet: weg von der individuell zugeschnittenen Sondermaschine, hin zu universell einsetzbaren Anlagenkonzepten. In dem vom Land Niedersachsen geförderten Forschungsprojekt »Prozesssichere hochproduktive Präzisionszerspanung von CFK-Großstrukturen« (ProsihP II) entwickelte das Fraunhofer IFAM gemeinsam mit einem interdisziplinären Projektkonsortium aus Industrie und Forschung einen mobilen CNC-Bearbeitungsroboter.

Zurzeit sind für die Bearbeitung von Großstrukturen noch schwere und teure Sonderportalmaschinen Standard. Der Einsatz von Industrierobotern (IR) beschränkt sich im Wesentlichen auf Prozesse, bei denen die anzufahrenden Positionen zuvor »geteacht« werden können und der IR diese Positionen lediglich wiederholgenau anfahren muss.

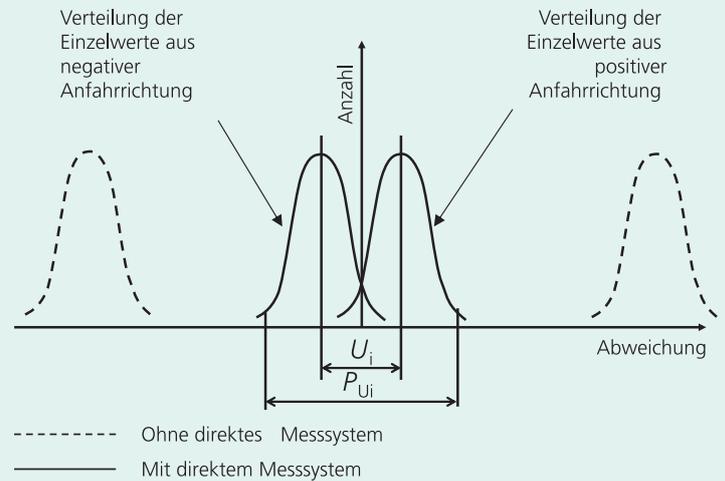
Ziel von ProsihP II war die Befähigung des IR, den von der Luftfahrtindustrie vorgegebenen Fertigungstoleranzen von wenigen zehntel Millimetern gerecht zu werden. Das ermöglicht bei vielen Bearbeitungsaufgaben eine erhebliche Effizienzsteigerung bei gleichzeitiger Kostenreduzierung. Für diese Anforderungen wurde der auf einer CNC-Steuerung basierende Präzisionsroboter für die Fräsbearbeitung entwickelt (Abb. 5). Es galt insbesondere, die Absolutgenauigkeit und die Bahngenauigkeit zu optimieren sowie die Steifigkeit des Systems zu erhöhen.

### Innovationen

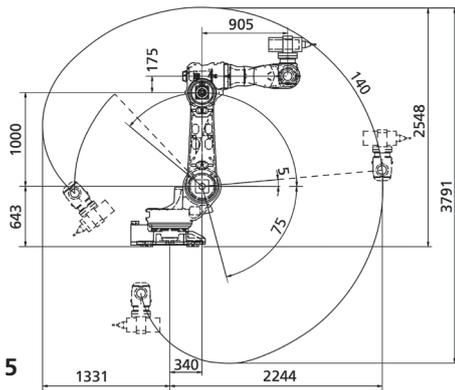
- Direktes Messsystem an jeder Achse
- Optimierte Absolutkalibration
- Optimierte Reglerstruktur
- Echtzeit-Regelung durch externe Sensorik
- Einfache Bedienung durch G-Code-Programmierung (Siemens 840D sl)
- Integrierte Staubabsaugung
- Mobilisierbar auf fahrbarer Plattform



3



4



5

### Direkte Messsysteme

Durch zusätzliche Messsysteme an den Rotationsachsen des IR werden die Einflüsse von Prozesskräften und die Umkehr Effekte der einzelnen Achsen bei Anfahrten aus entgegengesetzten Richtungen deutlich reduziert. Außerdem bewirkt die Integration der direkten Messsysteme eine virtuelle Versteifung der Kinematik (Abb. 3). Die **Abdrängung des Tool Center Points (TCP)** kann so bei tangentialer Krafteinwirkung am TCP zur ersten Roboterachse um bis zu **50 Prozent reduziert** werden. Des Weiteren spiegelt sich die Integration der direkten Messsysteme in einer **Reduzierung der Positionierunsicherheit** wider (Abb. 4). Die Messwerte wurden in Anlehnung an die VDI/DGQ 3441 ermittelt und die Verteilung der Messwerte bei wiederholtem Anfahren einer Sollposition aus entgegengesetzter Anfahrriichtung analysiert. Die bei Industrierobotern typischerweise groß ausfallende **Umkehrspanne ( $U_i$ ) verringert sich erheblich**. Die direkten Messsysteme werden ebenfalls bei der Absolutkalibration berücksichtigt, sodass eine **Positionsgenauigkeit** nach ISO 9283 von  $AP_p = 0,19 \text{ mm}$  erzielt werden kann.

### Spezifikationen

Typ (basierend auf)	MABI Max MR-150
Anzahl der Achsen	6
Reichweite des Roboters	2244 mm
Handhabungskapazität	150 kg
Gewicht (ohne Steuerung)	1050 kg
Steuerung	SINUMERIK 840D sl
Spindel	SLQ120   19 kW   $n_{\max} = 30000 \text{ 1/min}$

### Positionier- und Bahnkennwerte

Positionsgenauigkeit ( $AP_p$ )	0,19 mm
Positionierwiederholgenauigkeit ( $RP_r$ )	0,06 mm
Positions-Bahn-Genauigkeit bei 3000 mm/min ( $AT_p$ )	0,35 mm
Bahn-Wiederholgenauigkeit bei 3000 mm/min ( $RT_p$ )	0,063 mm
Positionierunsicherheit ( $P_{U_i}$ )	0,06 mm

Tab.: Spezifikationen, Positionier- und Bahnkennwerte des CNC-Bearbeitungsroboters.

### Dynamikoptimierung

Auch auf das dynamische Verhalten des Roboters hat die abtriebsseitige Messsensorik Einfluss. Durch weitere Optimierungsschritte, wie z. B. Anpassung der Reglerstruktur und Kompensation von Reibeffekten, wird das **Bahnverhalten deutlich verbessert**. Erzielbar sind eine signifikante Verbesserung der Kreisform sowie eine höhere Wiederholgenauigkeit bei Kreisfahrten aus entgegengesetzten Richtungen. Die **Reduzierung der bidirektionalen Kreisformabweichung** gemäß ISO 230-4:2005 um bis zu **50 Prozent** unterstreicht den Erfolg dieser Optimierungen.

### Projektpartner

Aicon 3D Systems GmbH, Airbus Operations GmbH, Artis GmbH, CTC GmbH

Stade, IPMT der TU Hamburg, Ludwig Schleicher Anlagenbau GmbH, Mabi AG, mz robotlab GmbH, Siemens AG und Volkswagen AG.

Die Arbeiten erfolgten in Kooperation mit dem Institut für Produktionsmanagement und -technik der Technischen Universität Hamburg:

PD Dr.-Ing. habil. Jörg Wollnack  
Forschungsbereich Opto-Mechatronik  
Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Hintze  
Forschungsbereich Produktionstechnik

- 3 Schematische Darstellung des Nachgiebigkeitsverhaltens.
- 4 Verteilung der Messwerte bei wiederholtem Anfahren einer Sollposition aus entgegengesetzten Anfahrriichtungen.
- 5 Definition des Arbeitsraums des MABI MR-150.