



**HEIDENHAIN**

# Genauigkeit am Tool Center Point signifikant steigern

HEIDENHAIN-Messgeräte für Industrieroboter

TECHNOLOGIEBERICHT

# HEIDENHAIN-Messgeräte für Industrieroboter

**Schnelligkeit, Kraft und Ausdauer sind die Hauptmerkmale von Industrierobotern. Zu ihren klassischen Aufgaben gehören damit Anwendungen wie das Schweißen oder das Heben schwerer Teile in der Fahrzeugmontage. Trotz fortschrittlicher Kalibriermethoden ist die Positioniergenauigkeit für bestimmte Aufgaben unzureichend. Doch das ändert sich aktuell, unter anderem dank hochgenauer abtriebsseitiger Messgeräte von HEIDENHAIN und AMO.**

Treiber dieser Entwicklung ist vor allem die Luft- und Raumfahrtindustrie. Denn hier müssen sehr große Bauteile mit hoher Genauigkeit bearbeitet werden. Werkzeugmaschinen würden die dafür geforderten Genauigkeiten zwar spielend erreichen, sind aber entweder, was Einsatzort und Bearbeitungsraum betrifft, zu unflexibel oder als Sondermaschinen extrem teuer. Ein Roboter dagegen kann selbst an gewaltigen Teilen wie einem Flugzeugrumpf problemlos jede beliebige Stelle erreichen und dort zum Beispiel Bohrungen setzen und Fräsbearbeitungen durchführen.

## **Viele Einflussgrößen verderben die Genauigkeit**

Für diese Anwendungen muss aber der Tool Center Point, also das Werkzeug am Ende des Roboterarms, mit ausreichender Genauigkeit positioniert und geführt werden. Und damit stoßen klassische Industrieroboter an ihre Grenzen. Zu viele Faktoren sorgen für Abweichungen:

- Um die gewünschte Beweglichkeit zu erreichen, sind Roboter mit serieller Kinematik erforderlich, zum Beispiel Gelenkarmroboter mit sechs Achsen.
- Jede dieser Achsen treibt ein Servomotor über ein Getriebe an. Nulllagenfehler, Umkehrspiel und Gelenkelastizitäten sind Hauptverursacher von Ungenauigkeiten.
- Krafteinwirkung und dynamische Effekte während des Bearbeitungsprozesses wirken auf die Steifigkeit der Robotermechanik und gehen zu Lasten der absoluten Positionsgenauigkeit.



Das mehrfache Anfahren des Tool Center Points auf eine bestimmte Position ist aufgrund von fortschrittlichen Kalibriermethoden bereits bis auf wenige Hundertstel Millimeter möglich. Je nach Hersteller liegt die Wiederholgenauigkeit von Gelenkarmrobotern nach ISO 9283 bei  $\pm 0,1$  mm und besser.

Der Wiederholgenauigkeit gegenüber ist die erreichbare Absolutgenauigkeit innerhalb des Roboterkoordinatensystems um Faktor 10 schlechter. In der Praxis erreichen heute Gelenkarmroboter – je nach Ausführung, maximaler Reichweite und Traglast – eine absolute Positionsgenauigkeit von  $\pm 1$  mm. Sie ist unzureichend für die Genauigkeitsanforderungen, die eine Branche wie die Luftfahrtindustrie stellt. Aber die Roboterhersteller haben reagiert.

### **Schritt 1: Hochdynamische Motorregelung**

Das Motorfeedback der Servomotoren an den Achsen der Roboter übernehmen weiterhin klassische Drehgeber. Da die Servomotoren eine hohe Regeldynamik erfordern, können hier beispielsweise robuste induktive Drehgeber wie die Baureihen ECI 1100 und 1300 oder Multiturn-Drehgeber der Baureihen EQI 1100 und 1300 von HEIDENHAIN eingesetzt werden. Sie bieten eine hohe Regelgüte und Systemgenauigkeit. Außerdem sind sie besonders stark mit Vibrationen belastbar. Da die Drehgeber über die rein serielle EnDat-Schnittstelle verfügen, können auch stark elektromagnetisch belastete Einsatzbereiche die Qualität und Sicherheit der Datenübertragung nicht beeinträchtigen.



*Abbildung 1:  
Klassische HEIDENHAIN-Drehgeber für das Motor-Feedback*

Diese induktiven Drehgeber unterstützen den Sicherheitsintegritätslevel SIL 2, Kategorie 3 PL d. Mit Zusatzmaßnahmen in der Steuerung erreichen sie sogar SIL 3 bzw. Kategorie 4 PL e. Ein zusätzlicher Vorteil ist in diesem Zusammenhang der mechanische Fehlerausschluss, den HEIDENHAIN gegen das Lösen der Wellen- und Statoranbindung realisiert hat. Mit diesem Sicherheitspaket können die induktiven Drehgeber auch in Systemen für die Mensch-Roboter-Kollaboration eingesetzt werden.

## **Schritt 2: Secondary Encoders für die hochgenaue Positionsmessung**

Eine signifikante Verbesserung der absoluten Positionsgenauigkeit erreichen die Roboterhersteller durch den Einsatz zusätzlicher, hochgenauer Winkelmessgeräte oder Drehgeber an jeder Roboterachse. Diese sogenannten Secondary Encoders, jeweils montiert nach dem Getriebe, erfassen die tatsächliche Position jedes Robotergelenks. So berücksichtigen sie auf jeden Fall den Nulllagenfehler und das Umkehrspiel. Außerdem messen sie an jeder Achse des Roboterarms die rückwirkenden Kräfte aus der Bearbeitung. Das führt in Summe zu einer Verbesserung der absoluten Positionsgenauigkeit am Tool Center Point um 70 Prozent bis 80 Prozent.



Abbildung 2:  
Verbesserung der absoluten Positionsgenauigkeit durch den Einsatz von sogenannten Secondary Encoders an jeder Achse



Für diese Anwendungen eignen sich modulare Winkelmessgeräte wie das HEIDENHAIN ECA 4000 mit optischer Abtastung, der Drehgeber HEIDENHAIN ECI 4000 mit induktiver Abtastung oder das Winkelmesssystem AMO WMR. Durch ihren modularen Aufbau mit Teilungstrommel bzw. Teilungsband und separater Abtasteinheit eignen sie sich für große Wellendurchmesser ebenso wie für schwierige Einbausituationen, wie sie in Robotern aufgrund der beengten Platzverhältnisse anzutreffen sind. Ihre Signalgüte ist deutlich besser als bei den Drehgebern am Servomotor, sodass sie wesentlich genauere Positionswerte liefern – auch bei hoch dynamischen Bewegungen.



*Abbildung 3:  
Hochgenaue HEIDENHAIN- und AMO-Messgeräte für die absolute Positionsmessung an Robotern*

# TECHNOLOGIEBERICHT

|                                    | <b>ECA 4000</b>  | <b>ECI 4000</b>   | <b>WMR</b>                        |
|------------------------------------|------------------|-------------------|-----------------------------------|
| Abtastprinzip                      | absolut, optisch | absolut, induktiv | inkremental, induktiv             |
| Innendurchmesser                   | 70 mm bis 512 mm | 90 mm / 180 mm    | 60 mm bis 10 000 mm               |
| Auflösung                          | 29 Bit           | 20 Bit            | abhängig von der Folge-Elektronik |
| Systemgenauigkeit                  | ±2"              | ±25" / ±40"       | ±3" pro Meter Bogenlänge          |
| Robustheit gegenüber Verschmutzung | +                | ++                | ++                                |
| Montagetoleranzen                  | +                | ++                | +                                 |

*Tabelle 1:  
Vergleich der wichtigsten technischen Kennwerte typischer Secondary Encoders*

### **Schritt 3: Genaue Positionsmessung bei verfahrbaren Robotern**

Um bei extrem großen oder langen Bauteilen wie einem Flugzeugrumpf oder bei der Herstellung von großen Verbundfaser-Bauteilen alle Bearbeitungspositionen zu erreichen, können Roboter auf Linearachsen entlang der Bauteile verfahren werden. Für die hochgenaue Positionierung der Roboter über die Linearantriebe stehen gekapselte HEIDENHAIN-Längenmessgeräte für Messlängen bis zu 30 m zur Verfügung. Die Positionsmessung mit einem Längenmessgerät kompensiert thermische Fehler und weitere Einflüsse der Vorschubmechanik, die eine herkömmliche Positionsermittlung anhand der Steigung des Kugelgewindetriebs und der Winkelposition des Motordrehgebers nicht erfassen kann.

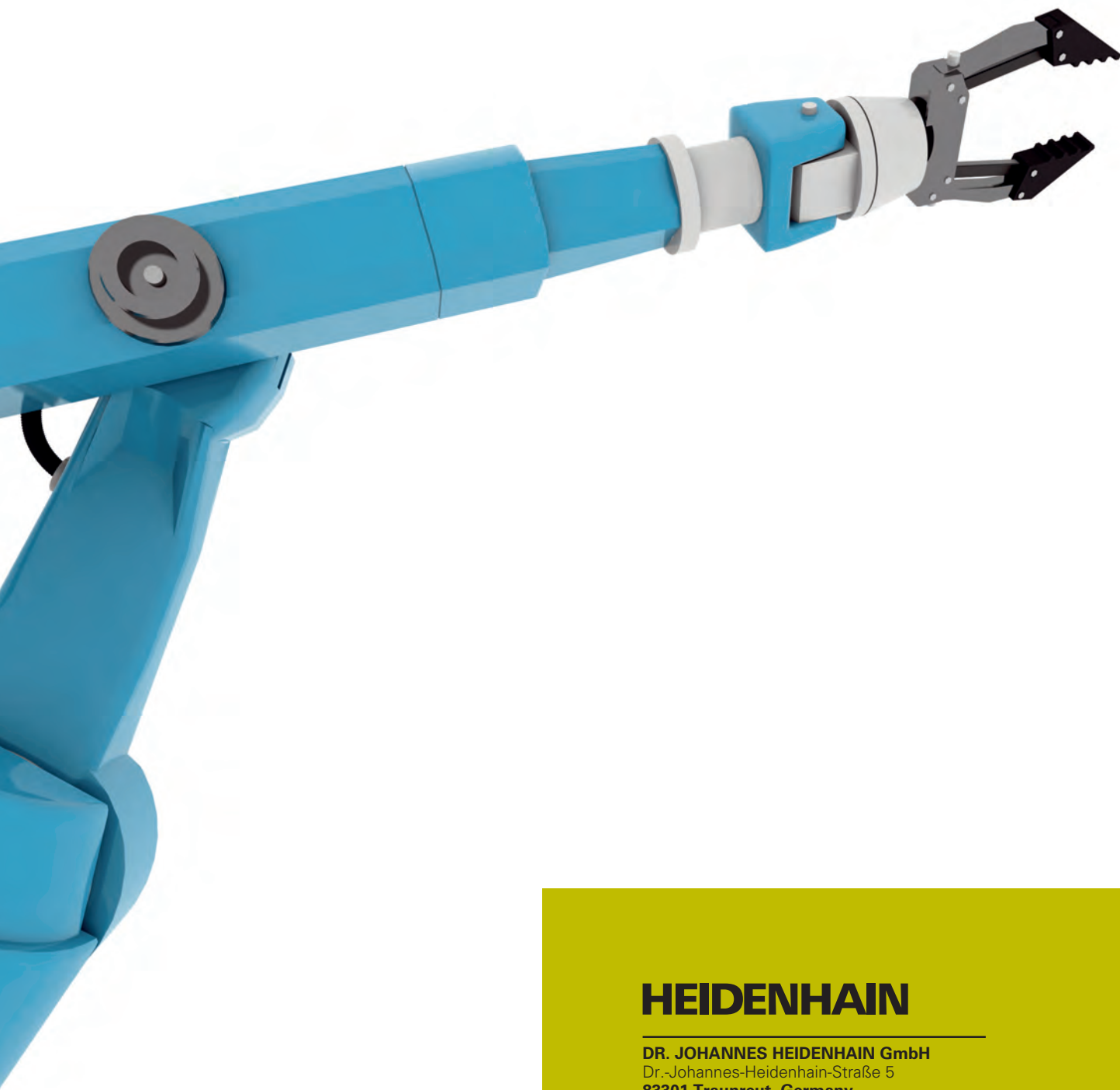




*Abbildung 4:  
HEIDENHAIN-Längenmessgeräte*

### **Fazit: Hochgenaue Positionsmessung steigert die Genauigkeit am Tool Center Point**

Zusätzliche Messgeräte an allen Achsen eines Roboters und die Positionierung des Roboters zum Werkstück über Längenmessgeräte ermöglichen eine Genauigkeit am Tool Center Point, die eine positionsgenaue Bearbeitung und Handhabung von Teilen mit entsprechend ausgestatteten Industrierobotern erlaubt. Winkel- und Längenmessgeräte von HEIDENHAIN und AMO bieten nicht nur die erforderliche Systemgenauigkeit, sondern auch die notwendige Flexibilität für den Einbau in die komplexe und kompakte Robotermechanik. Ihre Eignung für sicherheitsgerichtete Anwendungen erlaubt es zudem, Systeme für die Mensch-Roboter-Kollaboration zu realisieren.



# HEIDENHAIN

---

**DR. JOHANNES HEIDENHAIN GmbH**

Dr.-Johannes-Heidenhain-Straße 5

**83301 Traunreut, Germany**

☎ +49 8669 31-0

[FAX] +49 8669 32-5061

E-mail: [info@heidenhain.de](mailto:info@heidenhain.de)

---

[www.heidenhain.de](http://www.heidenhain.de)

