

## Absolut präzise Positionsbestimmung für Roboter mit optischen Messsystemen



Schiffbau oder die Bestimmung der Positionen einzelner Werkzeuge in einem Maschinenkoordinatensystem.

Um nun beide Welten unter den berühmten Hut zu bringen, bedarf es einiger Schritte und Kenntnisse. Dazu erst einmal eine Hintergrundbetrachtung:

### Hintergrundinformation

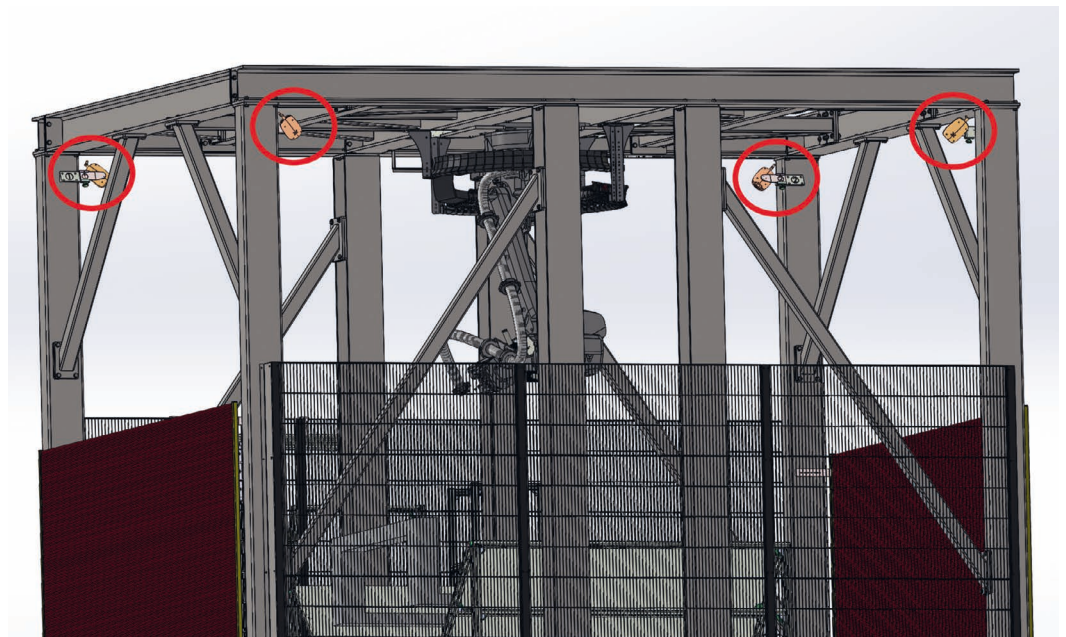
Die Roboter sämtlicher Hersteller haben keine präzise absolute Positionier-Genauigkeit, wenn sie definierte Punkte oder Positionen anfahren müssen. Sie nutzen dabei immer wieder andere/abweichende Bewegungskurven und -fahrten. Dies führt zu erheblichen Abweichungen und Ungenauigkeiten im Prozess, da die Positioniergenauigkeit oft nicht ausreicht und die Wiederholgenauigkeit der Positionierung z. T. deutlichen Schwankungen unterliegt.

Bei Fügeprozessen mit Genauigkeiten von 1 - 2 mm fällt das noch nicht auf, aber im Bereich 10 - 20  $\mu\text{m}$  ist das technisch derzeit nicht umsetzbar. Daran scheitern viele mögliche Anwendungen. Eine solche mögliche Anwendung sind sehr präzise Fertigungsprozesse und Qualitätskontrollen, bei denen man den Anspruch hat, CAD-Daten eines Produktes/Prüflings mit einem gefertig-

Aktuell nimmt die Verwendung von industrietauglichen Robotern in verschiedensten Arbeitsbereichen spürbar zu. Geht es dabei um das präzise Anfahren definierter Positionen in einem gegebenen Raum, muss man im Zusammenspiel mit optischen Messsystemen aber zu weiteren Mitteln greifen. Werden Messobjekte auch noch automa-

tisiert zugeführt, ist eine weitere Dimension des Schwierigkeitsgrades erreicht.

Optische Messsysteme wiederum erlauben eine hochpräzise Positionierung von Werkstücken oder Werkzeugen. Die Anwendung im industriellen Bereich beinhaltet beispielsweise die Ausrichtung von Stahlplatten zum Verschweißen im



**Bild 1: Prinzip der Tracking-Kameras**

Autor:  
Stefan Tukac, Leiter Vertrieb  
ISW GmbH  
[www.isw-gmbh.biz](http://www.isw-gmbh.biz)



**Bild 2: Kamera am Robotergestell**

ten Produkt/Prüfling im  $\mu\text{m}$ -Bereich abzugleichen.

Ein Projekt mit diesem Ziel wurde unlängst an die ISW GmbH herangetragen. Da hier schon Erfahrungen mit der präzisen Positionierung von Robotern vorhanden war und nach zusätzlichen Recherchen zeichnete sich ein Lösungsweg ab.

## Die Lösung

Zunächst wird jedem Messzyklus die Lage der Ware sowie vor jedem Arbeitsschritt im Zyklus die aktuelle Lage der Kamera am Roboterarm bestimmt. Dazu wurde der folgende Ansatz entwickelt:

Der Einsatz von 3D-Tracking-Kameras, die den Roboterkopf in Echtzeit erfassen, ermöglicht eine präzisere Positionierperformance. Hierzu werden mehrere Kameras am Robotergestell oder im Raum so positioniert, dass der Roboterkopf bei allen möglichen Positionen von den 3D-Tracking-Kameras (Bild 1 und 2) erfasst werden kann. Eine weitere Kamera wird am Kopf des Roboters positioniert. Mit ihr wird die eigentliche Messung durchgeführt.

Damit der Produktträger und die Kamera am Roboterkopf optimal von den Tracking Kameras erfasst werden, sind Marker als sogenannte Lokatoren angebracht (Bild 3 und 4).

## Der Ablauf

Dadurch sieht der Ablauf folgendermaßen aus:

hier kann die Lage und Auslegung des mobilen Produktträgers mit der benötigten Genauigkeit bestimmt werden.

Jetzt kann ein absoluter Bezug, Roboter zu Produktträger und zu den Bauteil-CAD-Daten hergestellt werden. Bei jeder neuen Roboterposition oder Roboterbewegung wird die Lage und Ausrichtung des Roboterkopfes neu erfasst und ein erneuter absoluter Bezug hergestellt.

## Die Herausforderung

besteht hier in der Überlagerung der drei Koordinatensysteme:

- Das Koordinatensystem des Bauteils im CAD System,
- Das Koordinatensystem des Produktträgers im Raum,
- Das Koordinatensystem des Roboters im Raum.

Nach jeder Roboterbewegung müssen sehr aufwendige Transformationen gebildet werden, die dann in das absolute Koordinatensystem überführt werden.

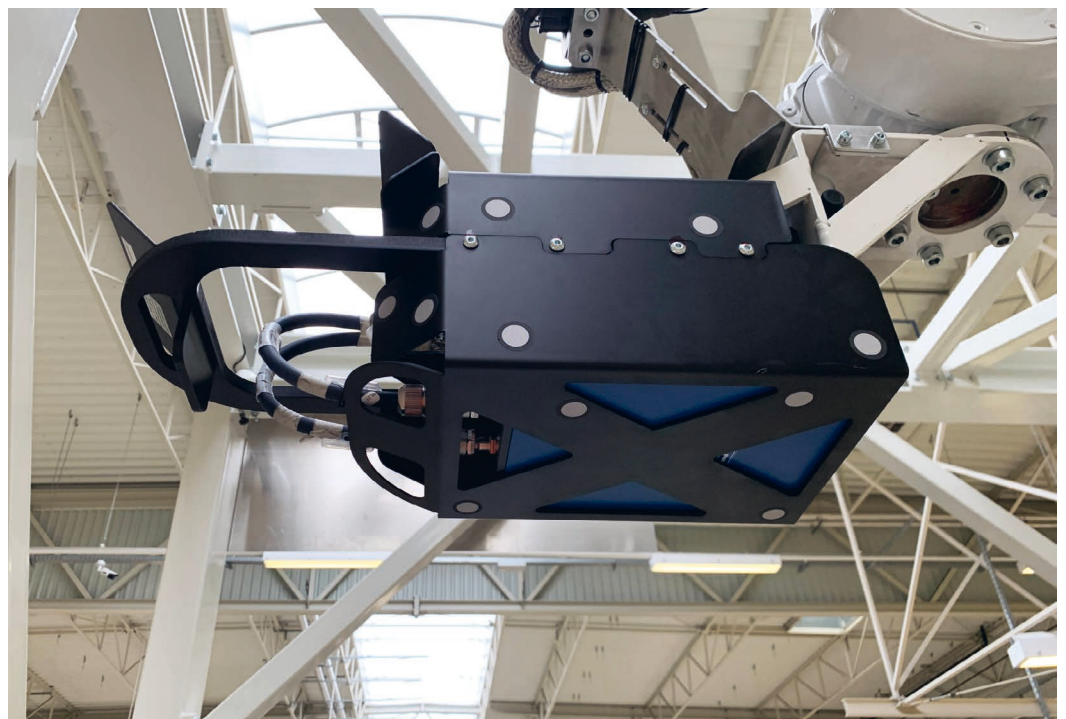
## Permanente Korrektur

Um dieses Ziel zu erreichen, wurde eine permanente Korrektur der Position des Roboterkopfes entwickelt. Tracking Kameras und geschickte Platzierung von Lokatoren wie Kanten oder Markierungen ermöglichen

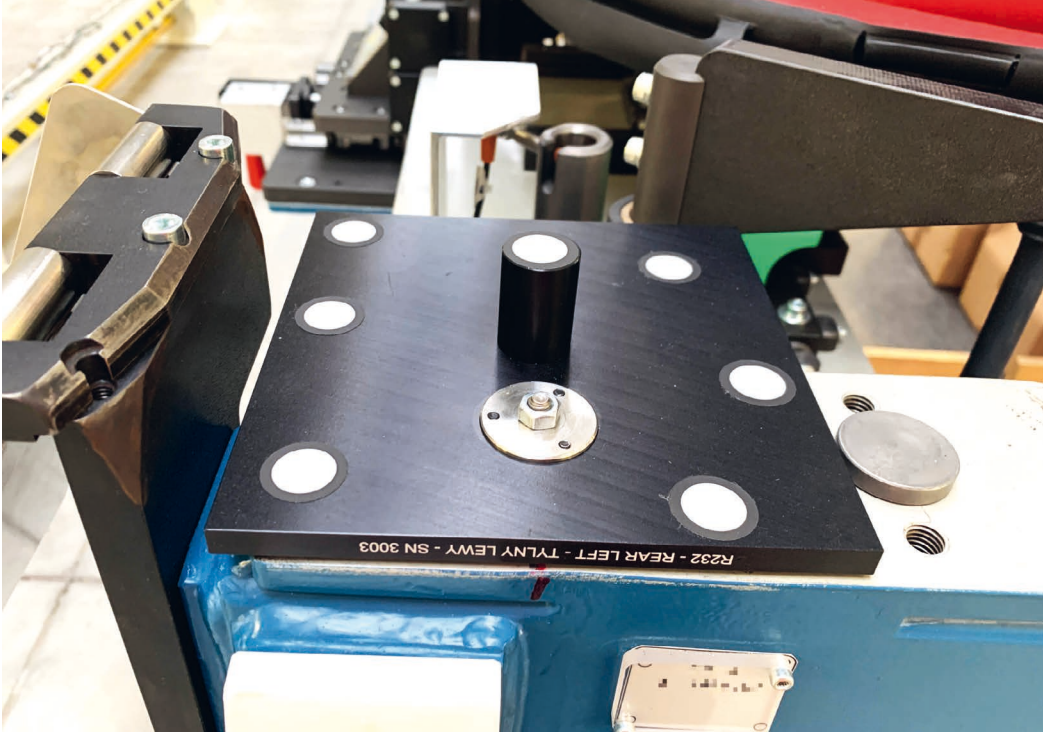
die Nachverfolgung. Die Lokatoren repräsentieren verschiedene Koordinatensysteme wie Bauteil, Ladungsträger oder ein Halbzeug. Die Funktionen für die permanente Korrektur beinhalten die Kalibrierung zu Beginn des Prozesses und die Transformation der Koordinaten zwischen den Koordinatensystemen. Die Herausforderung ist hierbei die Umsetzung von einem Koordinatensystem auf ein anderes.

## Toleranzen der Messwerte

Eine zweite Herausforderung sind die Toleranzen der Messwerte. Deshalb ist die zentrale Innovation die permanente Korrektur des Fahrweges des Roboters. Die Lokatoren selbst, wie z. B. ein Bohrloch, weisen wiederum Toleranzen auf und auch Marker müssen eindeutig positioniert werden können. Auch ist die Sichtbarkeit durch die Kameras eine Fehlerquelle. Um diese auszuschalten, muss jeder Lokator von mindestens zwei Kameras gleichzeitig gesehen werden. Als Lokatoren können Markierungen oder Bohrungen verwendet werden. Die Herausforderung bei Markierungen ist eine geschickte Positionierung im Vergleich zu Referenzkanten. Zur Verwendung von Bohrungen müssen klare Kanten mit entsprechend geringen Toleranzen vorhanden sein.



**Bild 3: Marker an der Kamera**



**Bild 4: Marker am Warenträger**

Zur Erreichung dieser Vorgaben wurden die folgenden Schritte umgesetzt:

## **Aufbau:**

- In den vier Ecken der Roboterzelle wurde jeweils eine Messkamera (SingleCam) angebracht.
- Ein Lokator wurde auf dem Scannerkopf fest installiert.
- Ein Lokator wurde relativ zum Lokator „Käsestückchen“ (einem Objekt zur Kalibrierung) fest installiert.
- Mehrere optische Messmarken wurden am Roboterarm fest installiert.
- Vier Lokatoren wurden am Produktträger in Referenzbohrungen installiert.

## **Verknüpfung von Lokatoren unterschiedlicher Koordinatensysteme**

Hierzu wurde ein Verfahren für die Hand-Auge-Kalibrierung entwickelt. Dazu sind folgende Schritte notwendig:

- Funktionen zum Einlesen der Geometrien und zur Vorbereitung der Messungen wurden eingerichtet.
- Eine Funktion zum Messen des Lokators Scankopf wurde programmiert.
- Die Funktion zur Transformation des Scankopf-Koordinaten-

- systems in das Roboter-Koordinatensystem wurde entwickelt.
- Die optische Erfassung der Referenzdaten „Käsestück“ für die Kalibrierung wurde entwickelt.
- Die Soll-Ist-Koordinaten wurden verglichen und ausgeglichen.
- Durch experimentelle Entwicklung wurde das Verfahren verfeinert.

## **Verfolgung von Koordinatensystemen im Raum**

- Die Optik wurde so eingestellt, dass die Lage des Lokators „Käsestückchen“ relativ in Scannerkoordinaten aufgenommen werden kann.
- Die relative Lage zwischen Lokator Scan-Kopf und Lokator „Käsestück“ wurde programmiert.
- Die Transformation in Roboter Koordinaten wurde programmiert.
- Die relativen Lagen wurden miteinander verglichen und die Abweichung festgestellt.
- Das Verfahren wurde durch experimentelle Entwicklung verfeinert.

## **Arbeiten mit verschiedenen Produktträgern**

- Es wurden Funktionen entwickelt, um die Geometrien des Produktträgers einzulesen.
- Es wurde eine Funktion entwickelt um die Lage der Lokatoren (virtuelle Punkte) am Produktträger zu bestimmen.

- Eine Funktion zur Berechnung der Lage des Ladungsträgers in Koordinaten des Roboters wurde berechnet.
- Eine Funktion zur Berechnung des Scankopfes in Roboterkoordinaten und Fahrzeugkoordinaten wurde erstellt.

Bei jeder neuen Roboterposition oder Roboterbewegung wird die Lage und Ausrichtung des Roboterkopfes erfasst und ein neuer absoluter Bezug hergestellt

- Es wurde die Software zur Auswertung der virtuellen Punkte (Lokatoren) geschrieben.
- Die Funktion zur Darstellung der virtuellen Punkte in Roboterkoordinaten wurde eingerichtet.
- Die Lokatoren wurden gemessen, es werden die Soll- und die Ist Werte verglichen.
- Die Fahrkurve wurde angepasst und durch experimentelle Entwicklung verfeinert.
- Optimierungen an der Position der Kameras, der Messfrequenz und der Bildauswertung wurden vorgenommen.

## **Vielfältig einsetzbar**

Das System kann schnell auf andere Produkte und Messaufgaben umgestellt werden. Das Verfahren

kann für eine breite Palette von Messobjekten angewendet werden

Dazu war notwendig:

- Entwicklung der Regeln für verschiedene Bauteile,
- Experimentelle Entwicklung für Bohrungen mit größeren Toleranzen,
- Experimentelle Entwicklungen für kleine kleine Bohrungen,
- Experimentelle Entwicklung, wenn die Bohrung schwer sichtbar ist,
- Experimentelle Entwicklung zum Anbringen von Markierungen bei unterschiedlichen geometrischen Formen,
- Experimentelle Entwicklung zum Anbringen der Markierung unter Berücksichtigung der Toleranzen in der Bauteilgeometrie.

## **Performance-Steigerung**

Zur weiteren Erhöhung der Performance wurden anschließend die Algorithmen verbessert und die Fahrwege so optimiert, dass große Winkel zwischen den Koordinatensystemen vermieden werden. Der Messfehler wird dadurch kleiner, und es genügt eine kleinere Wiederholfrequenz.

Nach Abschluss dieser umfangreichen Arbeiten steht nun ein System zur Verfügung, das in der Lage ist, die CAD-Daten des Produktes mit den realen Produktdaten automatisiert abzugleichen. Dazu fährt ein Roboter mit dem Messkopf definierte Punkte an und erfasst die Daten zum Abgleich. Hierbei werden sowohl die Positioniergenauigkeit als auch die Wiederholgenauigkeit der Positionierung im Bereich 10 – 20 µm erreicht.

In einer aktuellen Anwendung werden so 70 Messpunkte an einem Bauteil nacheinander überprüft. Die Bauteile fahren dabei automatisiert auf Transportträgern in die Messanlage ein. Nach Abschluss der Messungen kann dann nach IO / NIO unterschieden werden.

Alles in allem eine hochanspruchsvolle Aufgabe, die gelöst werden konnte und deren Ergebnis nun auch für viele andere Anwendungen zur Verfügung steht, bei denen es um präzise absolute Positionierung von Messsystemen mittels Roboter geht. ◀