

# Handling- und Montageaufgaben im Griff

Was Konstrukteure über Scara-Roboter wissen sollten

Matthias Schneider

**Oft wird gefragt, was denn die eigentlichen Vorteile eines Scara-Roboters sind und wie man ihn richtig in eine Anlage oder Maschine integriert. Hierzu ist es notwendig das Prinzip und die Fähigkeiten dieser Roboterkinematik zu kennen. Ausführliches hierzu finden Sie im folgenden Beitrag.**

Bereits Mitte der siebziger Jahre fand Professor Makino in Japan zwei Dinge heraus: In der Regel erfolgen 80 Prozent der Fügebewegungen gradlinig von oben und der benötigte Arbeitsraum entspricht in etwa der Reichweite eines menschlichen Arms, wenn das Produkt montagefreundlich gestaltet ist. Die damals auf dem Markt erhältlichen Roboter waren für diese Fügebewegungen zu groß, zu ungenau und zu teuer.

Die Lösung, die Makino fand, war bestehend einfach. Vier Achsen genügen, um ein Teil im Raum zu jeder gewünschten Position zu bewegen und zu fügen. Dabei bildete er bei der Konstruktion der Roboterkinematik den menschlichen Arm in vereinfachter Form nach. Für die Positionierung in der horizontalen Ebene verwendete er zwei durch Drehgelenke verbundene Hebel, die vom Aufbau dem Schultergelenk und Oberarm sowie dem Ellenbogengelenk und dem Unterarm entsprechen. Die dritte Achse führte er als Linearachse aus und zwar in Form einer Pinole, die an der Spitze der Ellenbogenachse befestigt war und nach unten herausfahren konnte. Diese Achse ist die Vertikal- oder Z-Achse, an deren unterem Ende der Greifer befestigt ist. Die vierte Achse ist die W- (Wrist) oder Hand-Achse, sie dreht die Z-Achsenpinole um ihre Mittelachse, um so die Orientierung des Greifers zu bewerkstelligen

## Was er kann

Für das häufig beim Fügen von Teilen auftretende Problem des Verkantens der beiden zu fügenden Teile birgt diese Kinematik eine verblüffende Lösung. Nachdem der Roboter mit seinen Achsen die horizontale Position oberhalb des Zielpunktes angefahren hat, werden die Motoren der Schulter-, Ellenbogen- und Handachse stromlos geschaltet, nur die Positions-Encoder bleiben unter Spannung und registrieren eine mögliche Veränderung der Achspositionen. Jetzt beginnt die Z-Achse ihre Fügebewegung nach unten auszuführen. Die zwangsgeführte Linearbewegung der Achse ergibt eine optimale Fügebewegung, die sich positiv aus-

wirkt. Jedoch kommt es aus Toleranzgründen oft vor, dass es einen kleinen Versatz in der X-Y-Ebene zwischen den beiden zu fügenden Teilen gibt. Sind nun an den Teilen Fügeschrägen angebracht, gleicht sich der Versatz passiv durch den Roboter aus, weil die Horizontalachsen des Roboters nachgeben können.

Aus diesem Verhalten der Roboterachsen leitet sich auch der Name des Scara-Roboter ab. Scara ist eine Abkürzung und steht für Selective Compliance Assembly Robot Arm (Bild 1).

Vorteile des Scara-Roboters gegenüber anderen Kinematiken, sind neben der im Verhältnis zu seinem Arbeitsraum kleinen Standfläche auch die hohe Steifigkeit des Roboterarms in vertikaler Richtung. So kann er je nach Modell Einpresskräfte bis zu 200 N aufnehmen. Im Übrigen ist die Mechanik des Scaras wesentlich robuster gegenüber kleineren Kollisionen als die von Knickarmrobotern mit ihren empfindlichen Getrieben in der fünften und sechsten Achse.

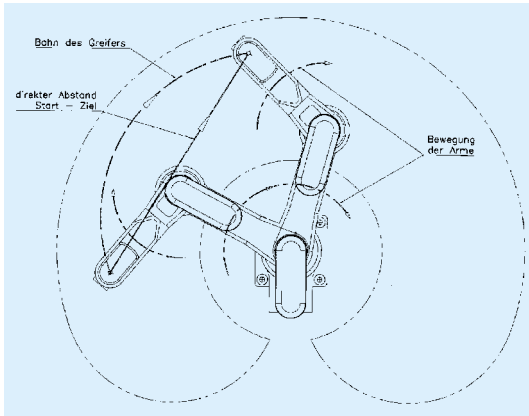
Die hohe Horizontalgeschwindigkeit des Scaras und die dadurch kurzen Pick- und Place-Zeiten sowie seine große Wiederholgenauigkeit, die im allgemeinen je nach Armlängen bei  $\pm 0,02$  mm bis  $\pm 0,05$  mm liegen, zeichnen ihn ebenfalls aus. Durch den zentralen Standfuß und die Freischaltung der Achsen ergibt sich eine unkomplizierte, schnelle und gute Zugänglichkeit an die Peripherie für Wartungs- und Einrichtarbeiten. Außerdem besitzt er eine wartungsarme Antriebsmechanik.

## Was zu beachten ist

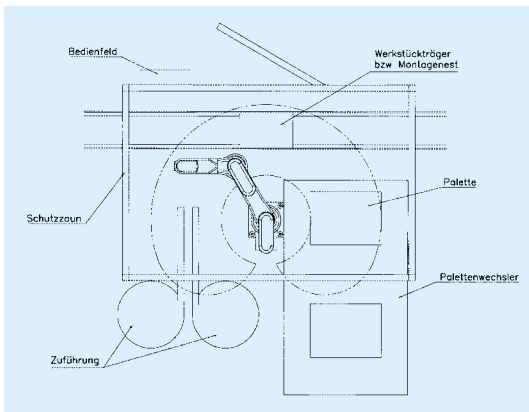
Der Scara wurde entwickelt, um Werkstücke in einer möglichst kurzen Zeit von der Bereitstellungsposition zum Montageort zu bringen und sie gradlinig vertikal von oben zu fügen. Das bedeutet aus der Sicht der Steuerungstechnik, dass die Achsen des Roboters eine zeit- und wegoptimierte Bewegung ausführen müssen. Einen solchen Ablauf erhält man, wenn die Achsen eine Punkt-zu-Punkt-Bewegung ausführen. Dabei kann die Bahn zwischen Start- und Zielpunkt, auf der sich der Greifer bewegt, durch den Programmierer nicht beeinflusst werden. Um einen aus der Sicht der Dyna-



**Bild 1: Scara-Roboter für Montage und Handhabung**



**Bild 2: Typischer Bewegungsablauf im Arbeitsbereich**



**Bild 3: Optimale Anordnung von Peripheriegeräten**

mik eleganten und optimalen Bewegungsablauf zu erhalten, starten und stoppen Schulter- und Ellenbogenachse gleichzeitig. Dadurch bewegt sich der Greifer auf radienförmigen oder elliptischen Bahnen zwischen Start- und Zielpunkt. Und genau daraus ergibt sich der erste Brennpunkt, der beachtet werden muss, damit der Scara richtig eingesetzt wird (Bild 2).

Viele Konstrukteure denken aufgrund ihrer Erfahrungen mit Linearachsen oder Pneumatikzylindern, dass der Roboter eine geradlinige Bewegung zwischen zwei Punkten ausführt. Und gerade das macht er nicht! Er „übersteuert“ quasi diese gedachte Gerade zwischen Start- und Zielpunkt, je nach dem wo die Punkte im Arbeitsraum liegen. Durch Unkenntnis oder Missachtung dieser Tatsache werden oft Peripheriegeräte mit Störkanten im Schwenkbereich des Armes aufgebaut, die die Bewegung des Roboters dann behindern. So kann es leicht zu Kollisionen kommen. Daher gilt als oberste Prämisse: Bei hochgezogener Vertikalachse muss sich der Roboterarm völlig frei innerhalb seines möglichen Arbeitsbereiches bewegen können. Störkonturen von Peripheriegeräten oder der Schutzumzäunung sind zu vermeiden bzw. in die hinteren beiden Schenkel des Arbeitsbereiches zu legen.

Weiterhin sollte bei der Anordnung und Festlegung der anzufahrenden Positionen

beachtet werden, dass die vertikale Achse (Z-Achse) die langsamste Achse des Roboters ist. Sie muss bei einem Pick- und Place-Zyklus den Weg viermal zurücklegen, während der horizontale Weg nur zweimal zurückgelegt wird. Daher sollte man versuchen, den Z-Hub klein zu halten. Außerdem ist aus Genauigkeitsgründen zu empfehlen, dass dabei die Z-Achse nicht vollständig ausgefahren wird.

Bei der Gestaltung der Roboterperipherie sollte man versuchen die Positionen in der horizontalen Ebene so zu legen, dass Schulter- und Ellenbogenachse vom Start- zum Zielpunkt in die gleiche Richtung drehen. Dadurch ergibt sich eine Summierung der Winkelgeschwindigkeiten der einzelnen Achse und eine kürzere Zykluszeit als bei gegenläufiger Bewegung bei gleichem Abstand. Diese Empfehlung ist jedoch in den meisten Fällen nicht realisierbar, da Peripheriegeräte konstruktive Merkmale und geometrische Gegebenheiten aufweisen, die nicht beeinflusst werden können.

Bei den meisten Anbietern von Scara-Robotern liegen die Positionen, die für die Bestimmung der Referenzzykluszeiten verwendet werden, optimalerweise im äußeren Bereich des Arbeitsbereiches. Will man sich jedoch bei der Planung des Robotereinsatzes über die zu erwartende Taktzeit klar werden, sollte eine Taktzeitstudie anhand eines konkreten Layouts durchgeführt werden. Auf keinen Fall sollten Zeiten aufgrund von Winkelgeschwindigkeiten und Drehwege berechnet werden.

Ein weiteres Augenmerk ist auf die Gestaltung des Greifersystems und dessen Anbringung an der Z-Achse des Roboters zu richten. Es sind zwei wichtige Aspekte zu beachten. Meistens betrachtet der Konstrukteur nur das Greifer- und Werkstückgewicht und vergleicht sie mit den angegebenen Spezifikationen. Das Handhabungsgewicht wirkt sich hauptsächlich auf das Beschleunigungs- und Verzögerungsverhalten der Schulter- und Ellenbogenachse aus und hat wesentlichen Einfluss auf die Vertikalachse.

Viel entscheidender ist das Massenträgheitsmoment des Greifers, das auf die Hand-Achse des Roboters wirkt. Die Leistung des W-Achsenmotors ist meistens nicht besonders groß, da aus Gründen einer optimalen Dynamik das Gewicht und die Größe des Motors klein gehalten wird. Bei der Drehung des Greifersystems um die W-Achse beeinflusst das Massenträgheitsmoment die Lageregelung. Solange das Greifersystem konzentrisch zum Mittelpunkt der W-Achse angebracht ist, hält sich das Trägheitsmoment in verträglichen Grenzen. Wird der Greifer jedoch asymmetrisch zum W-Achsendrehpunkt angebracht, nimmt das Massenträgheitsmoment aufgrund des Steinerischen Satzes quadratisch mit dem Ab-

stand zu. Werden noch zusätzliche steife Kabel und Pneumatikschläuche an das Greifersystem herangeführt, kann das erlaubte Trägheitsmoment schnell überschritten werden. Die Folge ist ein Überschwingen oder Vibrieren der Achse, was wiederum zu Zykluszeitverlust führt.

Bei der Konstruktion des Untergestells hinsichtlich Struktur, Größe und Gewicht sollten die Angaben der Hersteller beachtet werden.

Oft wird der Arbeitsbereich des Roboters durch ungeschickt angeordnete Peripheriegeräte schlecht zugänglich. Das Teachen von Positionen wird erschwert und Wartungsarbeiten am Roboter und an der Peripherie sind nur mühsam durchführbar. Am besten platziert man die Zuführungen von Teilen wie Vibrationswendelförderer, Stangenmagazine oder Paletten jeweils in den beiden Schenkel des Arbeitsbereiches (Bild 3). Die Position des Montagenestes bzw. Werkstückträgers legt man vorne in die Mitte des Arbeitsbereiches. Dadurch können auch mehrere Roboterstationen nebeneinander in Linie aufgestellt werden.

## Wo die Grenzen sind

Nicht einsetzen sollte man den Scara-Roboter zum Be- und Entladen von Pressen, Werkzeug- und Spritzgussmaschinen sowie anderen Vorrichtungen, wenn der gesamte Roboterarm geradlinig horizontal in Maschinenöffnungen hinein- und herausfahren muss und es dabei auf kurze Taktzeiten ankommt. Solche horizontalen Linearbewegungen führt er im Verhältnis zu seinen schnellen Punkt-zu-Punkt-Bewegungen relativ langsam aus. Ebenso sind lineare oder zirkuläre Bahnbewegungen, wie sie z.B. beim Auftragen von Klebstoffen nötig sind, am äußeren oder inneren Grenzbereich des Arbeitsraumes zu vermeiden, da hier die Arme eine sehr ungünstige Stellung zueinander haben und dadurch die Bahntreue sehr stark abnimmt bzw. die Bahngeschwindigkeit inkonstant wird.

Ausführlichere Informationen zu Scaras:

**HIRATA**

**366**

Dipl.-Ing. Matthias Schneider, Geschäftsführer der Hirata Robotics GmbH