

Application Note DK9321-1109-0009 TwinCAT Supplement „Kinematic Transformation“

Keywords
Supplement
TwinCAT
Kinematik
Roboter-Integration
Robotersteuerung
Transformation
Delta-Kinematik
Roboter-Kinematik

Verschmelzung von Motion Control, PLC und Robotik auf einer CPU

In diesem Application Example wird das TwinCAT Supplement „TwinCAT Kinematic Transformation“ vorgestellt. Mit diesem Supplement ist es möglich, Roboter-Kinematiken zusammen mit der SPS und Motion Control auf einer PC-basierten CPU zu rechnen. Analog zum TwinCAT-Motion-Control-Paket (Integration der Antriebsregelung in die Steuerung) wird mit der „Kinematic Transformation“ eine Roboter-Kinematik im TwinCAT-System konfiguriert und parametrisiert. Vorteile sind der Wegfall von Schnittstellen zwischen den CPUs, die systemkongruente Programmierung und natürlich die Einsparung von CPUs. In dem Supplement sind momentan folgende Kinematiken integriert: 2-D-Parallelkinematik, 3-D-Delta, Scherenkinematik, SCARA, Kartesische Portale, Kran- und Rollenkinematiken.

Wichtige Begriffserklärungen

- SCARA** Selective Compliance Assembly Robot Arm (horizontaler Gelenkarm-Roboter)
- TCP** Tool Center Point (Werkzeugeingriffs-Punkt)
- G-Code** Programmiersprache für NC- und CNC-Maschinen nach DIN 66025
- PCS** Piece Coordinate System (Werkstück-Koordinatensystem)
- MCS** Machine Coordinate System (Maschinen-Koordinatensystem)
- ACS** Axis Coordinate System (Achs-Koordinatensystem)
- P&P** Pick-and-Place, Sortier- und Bestückvorgang
- NC I** TwinCAT Modul für Achsinterpolation in drei Dimensionen
- NC PTP** TwinCAT Modul für Achspositionierung Punkt zu Punkt (Point to Point)
- PLC** Programmable Logic Controller (SPS)

Application Note DK9321-1109-0009

TwinCAT Supplement „Kinematic Transformation“

Was bedeutet „Kinematik“?

Die Kinematik (griech. „kinema“, Bewegung) ist die Lehre der Bewegung von Punkten und Körpern im Raum, beschrieben durch die Größen:

- Weg s (Änderung der Ortskoordinate),
- Geschwindigkeit v und
- Beschleunigung a ,

ohne die Ursachen einer Bewegung (Kräfte) zu betrachten. Im Zusammenhang mit Robotern steht der Begriff „Kinematik“ für die unterschiedlichen Bewegungsmöglichkeiten. Da der Aufbau und die Anzahl der Achsen den Arbeitsraum des Roboters bestimmen, ist dieser Arbeitsraum konkret von vielen Parametern abhängig: Armlängen, Reichweitenwinkel, Schwerpunkt, max. Last etc. Die Anordnung der Arme und Gelenke bestimmen die kinematische Struktur, die in zwei Hauptklassen geteilt wird:

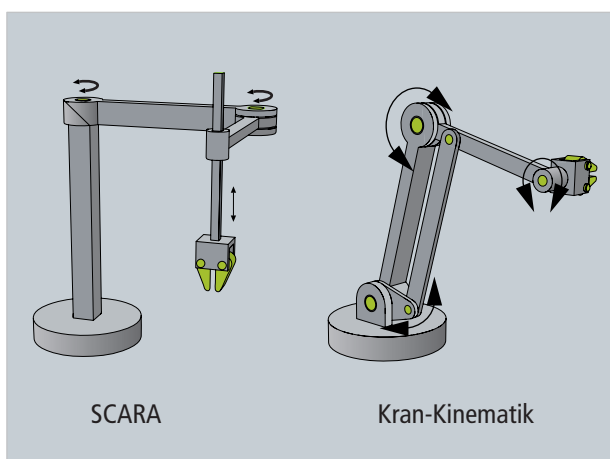


Abb. 1 Beispiele für serielle Kinematiken: SCARA und Kran-Kinematik

Serielle Kinematik:

Die aktuelle Position einer beliebigen Achse ist immer von der Position der vorhergehenden Achsen abhängig, d. h. alle Achsen sind nacheinander angeordnet.

Beispiele: SCARA, Kran-Kinematik (siehe Abb. 1)

Parallel Kinematik:

Alle Achsen greifen über eine Kinematik an der Arbeitsplattform an. Um eine definierte Bewegung des TCP auszuführen, müssen alle Antriebe verfahren werden.

Beispiele: Delta-Kinematik, Scheren-Kinematik (siehe Abb. 2)

Application Note DK9321-1109-0009

TwinCAT Supplement „Kinematic Transformation“

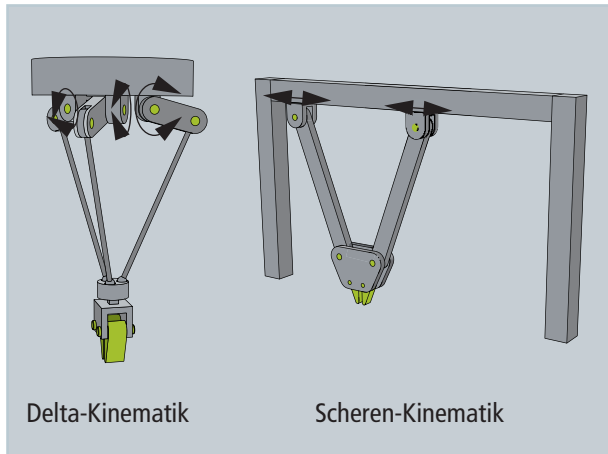


Abb. 2 Beispiele für parallele Kinematiken: Delta- und Scheren-Kinematik

Koordinatensysteme

Für die Beschreibung des Positionierverhaltens eines Systems benötigt man Koordinatensysteme. Diese Koordinatensysteme werden in die einzelnen aktiven Gelenkachsen gelegt. Man kann hierfür z. B. kartesische Koordinatensysteme heranziehen. Diese werden dann so an die einzelnen Körper gebunden, dass eine Drehung oder Translation um bzw. in Richtung der Koordinatenachsen erfolgt.

Kartesisches Koordinatensystem:

- rechtshändig
- Rotationsrichtungen immer positiv (gegen den Uhrzeigersinn)

Zur Programmierung können unterschiedliche Koordinatensysteme als Grundlage genutzt werden:

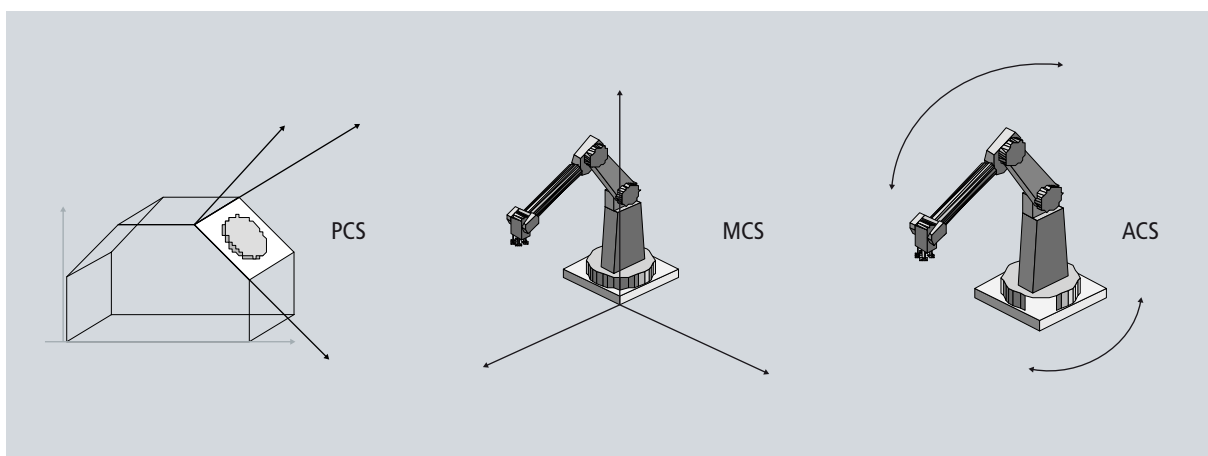


Abb. 3 Koordinatensysteme, die zur Programmierung hergezogen werden können

Application Note DK9321-1109-0009

TwinCAT Supplement „Kinematic Transformation“

Werkstück-Koordinaten-System (PCS – Piece Coordinate System) ist unabhängig von der verwendeten Kinematik und wird bevorzugt angewendet. Auch das Maschinen-Koordinaten-System (MCS – Machine Coordinate System) ist unabhängig von der verwendeten Kinematik. Das Achs-Koordinaten-System (ACS – Axis Coordinate System) ist abhängig von der verwendeten Kinematik und wird für Referenzierung bzw. Homing eingesetzt.

Die Programmierung der Roboter erfolgt häufig im PCS oder MCS, da beide Systeme durch den kartesischen Aufbau sehr anschaulich sind. Zusätzlich muss die Art der Kinematik in diesen Systemen nicht berücksichtigt werden, da durch eine Transformation die entsprechenden Bewegungsabläufe berechnet werden. Im Gegensatz dazu muss bei der Programmierung in ACS der Aufbau der Achsen unbedingt berücksichtigt werden, da direkt die Bewegungsbefehle der Achsen programmiert werden müssen. Daher wird diese Art der Programmierung nur in Ausnahmefällen verwendet, z. B. beim Homing.

Transformation

Die Kinematik beschreibt die Untersuchung der Bewegungsmöglichkeiten der einzelnen Glieder des Roboters relativ zueinander. Es werden die auftretenden Geschwindigkeiten und Beschleunigungen bei der Bewegung der Gelenke berücksichtigt, jedoch nicht die auftretenden Kräfte und die Antriebsart des Gelenks (aktiv/passiv). Eine unterschiedliche Anordnung von Gelenken und Gliedern kann die identische Bewegungsbahn des TCP erzeugen (vgl. Abb 4).

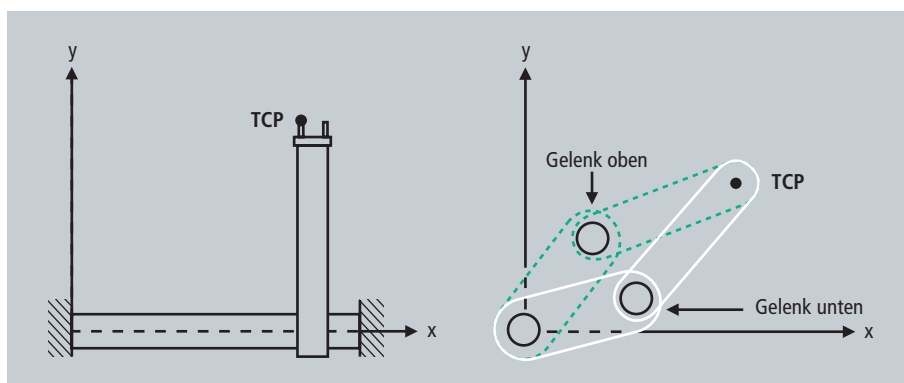


Abb. 4 Identische TCP-Bewegung mit unterschiedlichen Mechaniken umsetzbar

Die Transformation beschreibt im Zusammenhang der Kinematik die notwendige Berechnung, um von einem Koordinatensystem in ein anderes zu wechseln. Bei der Betrachtung von Kinematiken von Robotern stellen sich grundsätzlich zwei Probleme. Das **direkte kinematische Problem** (KP), auch als Vorwärtstransformation bezeichnet, behandelt die Berechnung der Lage des Tool-Center-Points (TCP) in raumfesten Koordinaten aus den achsspezifischen Gelenkkordinaten des Roboters. Bei dem **inversen kinematischen Problem** (IKP), auch als inverse Transformation bezeichnet, handelt es sich um die Umkehrrelation, bei dem aus der Lage des TCPs die achsspezifischen Gelenkkordinaten zu bestimmen sind. Die Aufgabe einer Transformation besteht darin, Position und Orientierung der Objekte zueinander so zu verändern, dass der TCP die gewünschten Bewegungsbahnen abfährt.

Application Note DK9321-1109-0009

TwinCAT Supplement „Kinematic Transformation“

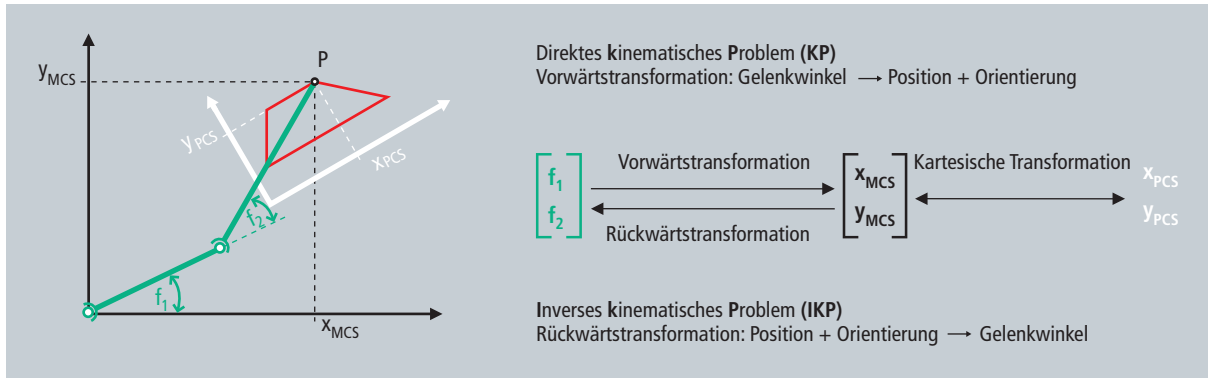


Abb. 5 Unterschiedliche kinematische Problemstellungen

Typische Kinematiken

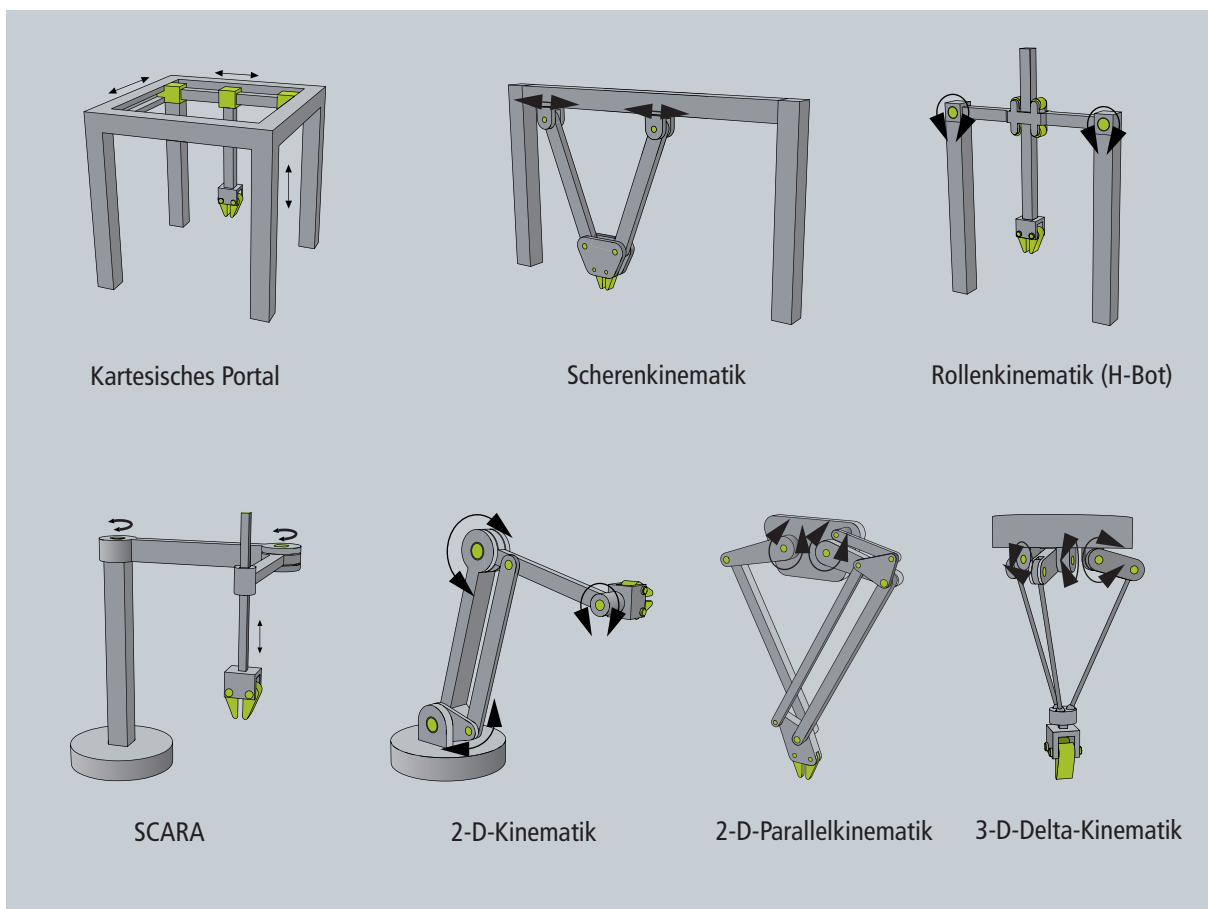


Abb. 6 Übersicht der Kinematiken

Application Note DK9321-1109-0009 TwinCAT Supplement „Kinematic Transformation“

Supplement „Kinematic Transformation“

Das Supplement setzt auf TwinCAT NC I für interpolierende Bewegungen und G-Code (DIN 66025) auf und ist primär für P&P-Anwendungen entwickelt. Es lassen sich aber auch Standard PTP- und Kurvenscheiben-Anwendungen realisieren. Alle NC-PTP-Eigenschaften, wie Kurvenscheiben, fliegende Säge und NC I, können beliebig mit der Roboterbewegung kombiniert werden. Die Programmierung der Zielkoordinaten erfolgt dabei bequem im kartesischen Koordinatensystem. Zur Berechnung des Schleppfehlers und der Schwingungsneigung wird eine Stromvorsteuergröße aus dem dynamischen Modul berechnet. Sämtliche Vor- und Rückwärtstransformationen werden vom TwinCAT-Kinematic-Transformation-Modul durchgeführt.

Das Produkt unterstützt derzeit verschiedene parallele und auch serielle Kinematiken und ist daher für unterschiedlichste Anwendungsfelder geeignet. Die Auswahl der Kinematik erfolgt komfortabel im TwinCAT System Manager. Dort werden im Kinematikkanal – neben dem Typ (z. B. Delta) – auch die Stablängen und deren Versätze parametrisiert. Für eine Stromvorsteuerung müssen Massen und Massenträgheiten angegeben werden.

Um Synchronität und die Dynamik von Roboter-Anwendungen zu verdeutlichen, hat Beckhoff zur Produktpräsentation des Supplements auf der Hannover Messe 2009 eine 3-D-Delta-Kinematik im Einsatz gezeigt.
<http://www.beckhoff.de/TwinCAT-Kinematic-Transformation>



Abb. 7 Präsentation des Supplements auf der Hannover Messe 2009 mit 3-D-Delta-Kinematik

Application Note DK9321-1109-0009

TwinCAT Supplement „Kinematic Transformation“

Der vorgestellte Roboter ist mit Standard-Komponenten aus dem Produktspektrum von Beckhoff ausgerüstet; als Antriebe sind die Servoverstärker der Baureihe AX5000 verbaut. Motoren und Getriebe sind ebenfalls Beckhoff-Komponenten. Softwareseitig basiert der Roboter auf dem TwinCAT-NC-I-Paket in Kombination mit dem Supplement Kinematic Transformation.

Die dynamischen Eigenschaften des Roboters ermöglichen für P&P-Applikationen ein weites Einsatzfeld: Mit Bahngeschwindigkeiten von bis zu 7 m/s und Beschleunigungen von bis zu 9 g synchronisiert sich der Roboter auf eine Kurvenscheibe auf, fährt dort entsprechende Bahnen ab und koppelt sich wieder ab. Das Supplement spiegelt jedoch die Vielseitigkeit der industriellen Roboter-Integration wieder und ist daher nicht nur für P&P geeignet.

Praxisbeispiel P&P-Anwendung: 3-D-Delta-Roboter | Vision-System – Synchronisation mit Förderbändern

Eine typische Anwendung für Delta-Kinematiken ist eine P&P-Anwendung. Teile sollen von einem Förderband abgenommen und auf ein weiteres Förderband gelegt werden. Ein Vision-System erkennt hierbei die Lage und die Orientierung der Teile. Voraussetzung ist natürlich, dass die Förderbänder beide im Arbeitsraum des Roboters liegen. Die Bewegungsrichtung der Bänder ist beliebig: Sie kann gleichläufig oder gegenläufig sein.

Mit flexiblen Vision-Systemen kann oft auf Vereinzeler verzichtet werden – eine Vorsortierung entfällt. Das Vision-System ist vor dem Roboter platziert und bestimmt Position und Lage des Materials. Die ermittelten Koordinaten werden an die Steuerung weitergegeben. Aus diesen Koordinaten werden die Aufnahme- und Ablageposition jedes einzelnen Objektes bestimmt. Der ‚Fliegende Säge‘-Algorithmus berechnet jetzt die Synchronposition, an der der Roboter und das Teil aufeinandertreffen.

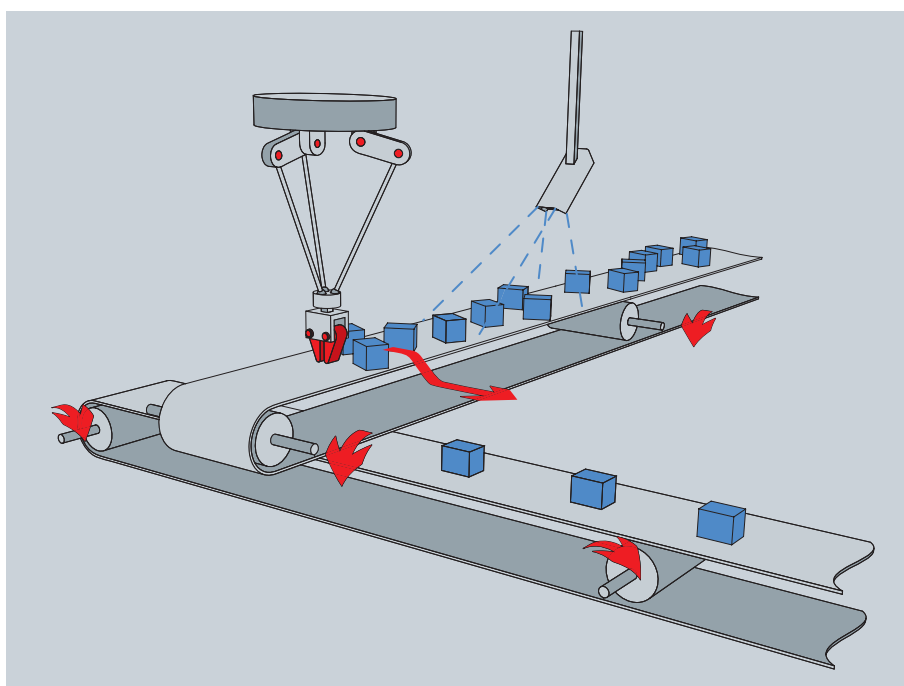


Abb. 8 Vereinzlung: Aus „chaotischer“ Anordnung heraus werden die Teile zur Weiterverarbeitung von einem Förderband auf ein zweites umsortiert.

Application Note DK9321-1109-0009

TwinCAT Supplement „Kinematic Transformation“

Die Aufgabe des hier vorgestellten Produktes ist nun, aus den Positionen und Geschwindigkeiten der Förderbänder und den Daten des Vision-Systems den Bewegungsbefehl so zu berechnen, dass der Roboter das Objekt zielgenau greift, den vorgegebenen Fahrweg zurücklegt und das Objekt wiederum zielgenau auf dem anderen Förderband ablegt. Dazu synchronisiert sich der Roboter auf den Antrieb des Förderbandes auf und fährt mit dem Förderband mit, um in die optimale Aufnahme-Position zu gelangen. Sobald der Roboter das Objekt aufgenommen hat, koppelt er sich vom Antrieb des Förderbandes ab, um auf das andere Förderband zu wechseln. Das Ablegen erfolgt nach dem gleichen Prinzip: Die Position wird durch die Steuerung vorgegeben, der Roboter synchronisiert sich auf, fährt mit und positioniert das Objekt optimal zur Ablage. Je reibungsloser die Abstimmung der einzelnen Komponenten aufeinander ist, umso schneller kann der Ablauf ausgeführt werden.

Ein weiterer Einsatzbereich von Delta-Robotern ist das Auffüllen von lückenhaften Objektträgern nach der Qualitätssichtung: Nicht vollständig befüllte Pakete mit 3x3-Teilen sollen von einem Roboter in Verbindung mit einem Vision-System so befüllt werden, dass die Pakete vollständig sind. Über die Positionserfassung erhält der Roboter die Koordinaten, an denen kein Teil vorhanden ist. Aus einer chaotischen Anordnung von zugeführten Objekten greift der Roboter eins auf, synchronisiert sich auf das Transportband und platziert es entsprechend der Koordinaten in die Lücke.

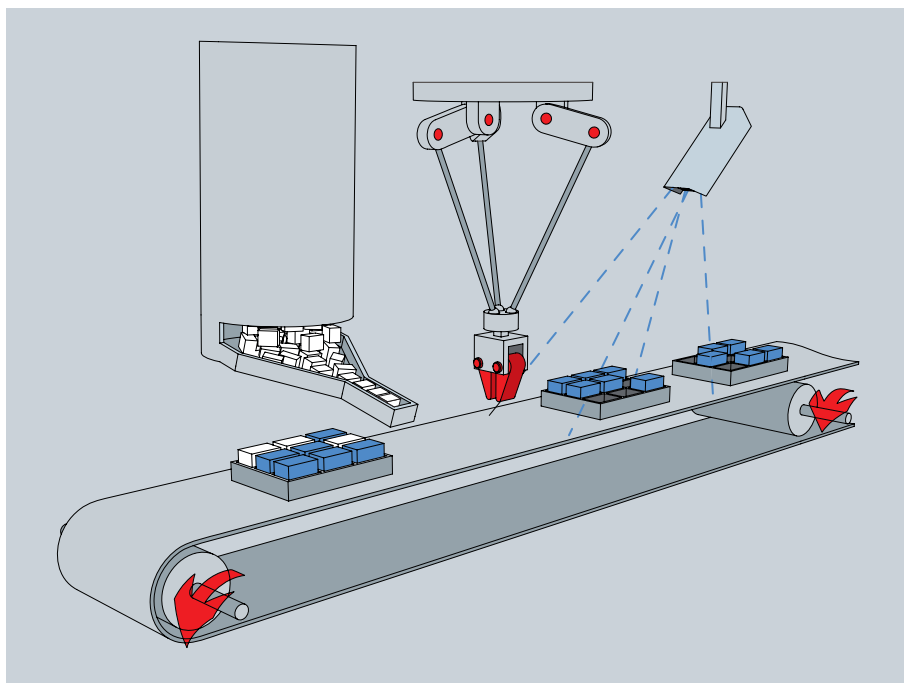


Abb. 9 Fehlteilerkennung und -auffüllung

Der Roboter muss drei Objekte platzieren, daher muss eine Bearbeitungsreihenfolge festgelegt werden, um zu gewährleisten, dass der Objektträger innerhalb des Arbeitsraums des Roboters vollständig bestückt wird. Der Roboter nimmt ein Objekt auf, synchronisiert sich und platziert es.

Application Note DK9321-1109-0009

TwinCAT Supplement „Kinematic Transformation“

Anwendungsvorteile

Mit dem in der TwinCAT-Automation-Suite integrierten Supplement „Kinematic Transformation“ ist es möglich, verschiedene Roboter direkt in Software zu realisieren. Damit kann ein Fertigungsprozess deutlich vereinfacht werden. Eine separate CPU für die Steuerung des Roboters wird überflüssig. Die Konfiguration und Programmierung erfolgt in den Tools der Standardsteuerung: in TwinCAT. Kein separates Programmier- und Konfigurationstool ist zu erlernen. Dadurch reduzieren sich die Engineering-Kosten erheblich. Analog zur Vorgehensweise beim Motion Control wird ein Kinematik-Kanal angelegt, der nach Auswahl entsprechender Voreinstellungen über die gewohnte Software-Umgebung TwinCAT programmiert wird. Es entsteht ein durchgängiges Gesamtsystem.

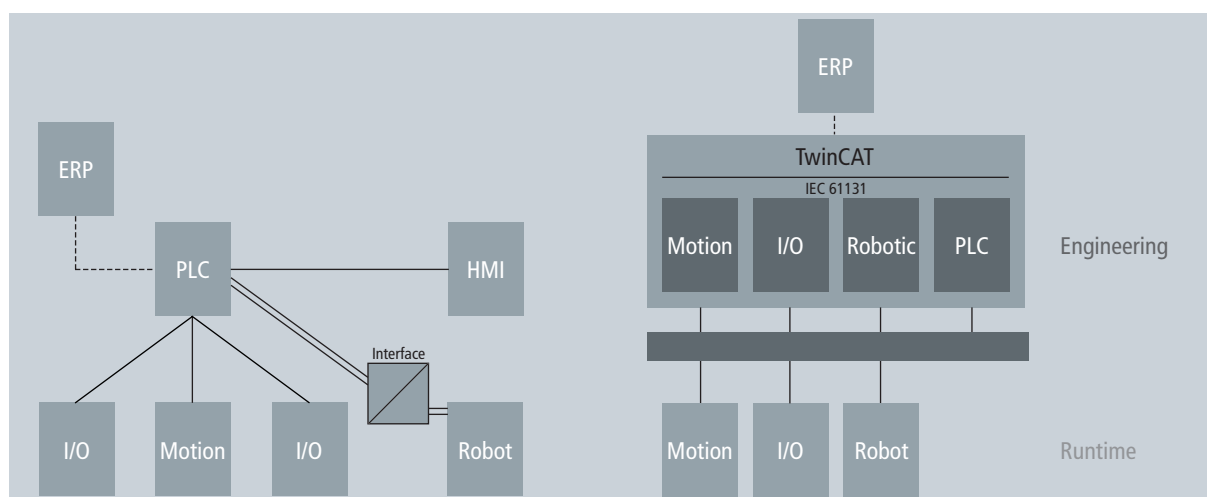


Abb. 10 Verschmelzung der einzelnen Funktionalitäten in der PLC

Die Anwendung und somit auch das Produkt werden qualitativ besser, weil Reibungsverluste durch Zusammenarbeiten von verschiedenen CPUs für SPS, Motion und Roboter vermieden werden. Logische Ablaufsteuerung (SPS), Motion Control und kinematische Umsetzung der Bewegungsabläufe (Robotik) in einer einzigen Steuerung zu vereinen, bringt im Praxiseinsatz eine Reduktion von Engineeringkosten und eine Verkürzung von Taktzeiten im Fertigungsprozess. Neben dem Wegfall von Schnittstellen und Komponenten, macht die Verschmelzung von SPS, Robotik und Motion Control zu einer Applikation die Anlage homogen. Für den Anwender ist daher kein Unterschied in der Behandlung der einzelnen Funktionalitäten erkennbar.

Application Note DK9321-1109-0009

TwinCAT Supplement „Kinematic Transformation“

- SPS und Motion Control auf dem PC www.beckhoff.de/TwinCAT
- Optionale TwinCAT Software-Pakete www.beckhoff.de/supplements
- Realisiert Kinematik-Transformationen für TwinCAT PTP oder TwinCAT NC I www.beckhoff.de/kinematics
- Video zur Hannover Messe 2009 <http://www.beckhoff.de/TwinCAT-Kinematic-Transformation>

Dieses Dokument enthält exemplarische Anwendungen unserer Produkte für bestimmte Einsatzbereiche. Die hier dargestellten Anwendungshinweise beruhen auf den typischen Eigenschaften unserer Produkte und haben ausschließlich Beispielcharakter. Die mit diesem Dokument vermittelten Hinweise beziehen sich ausdrücklich nicht auf spezifische Anwendungsfälle, daher liegt es in der Verantwortung des Kunden zu prüfen und zu entscheiden, ob das Produkt für den Einsatz in einem bestimmten Anwendungsbereich geeignet ist. Wir übernehmen keine Gewährleistung, dass der in diesem Dokument enthaltene Quellcode vollständig und richtig ist. Wir behalten uns jederzeit eine Änderung der Inhalte dieses Dokuments vor und übernehmen keine Haftung für Irrtümer und fehlenden Angaben. Eine detaillierte Beschreibung unserer Produkte enthalten unsere Datenblätter und Dokumentationen, die darin enthaltenen produktspezifischen Warnhinweise sind unbedingt zu beachten. Die aktuelle Version der Datenblätter und Dokumentationen finden Sie auf unserer Homepage (www.beckhoff.de).

© Beckhoff Automation GmbH, November 2009

Die Weitergabe sowie Vervielfältigung dieses Dokuments, Verwertung und Mitteilung seines Inhalts sind verboten, soweit nicht ausdrücklich gestattet. Zuwiderhandlungen verpflichten zu Schadenersatz. Alle Rechte für den Fall der Patent-, Gebrauchsmuster- oder Geschmacksmustereintragung vorbehalten.