



## Werkstückhandhabung mit Robotern und Mehrkanal- programmierung mit den PAL2019-CNC-Steuerungen

The screenshot displays the MillTurnSim software interface. The main window shows a 3D simulation of a robotic work cell with an orange robot arm and a green workpiece. The interface includes a menu bar (Datei, Maschine, Bearbeiten, Simulation, Ansicht, Extras, Fenster, Hilfe) and a toolbar. The right-hand panel contains technical data for the current channel (Kanal 1):

| Achswerte [mm] - Kanal 1 |           |
|--------------------------|-----------|
| X                        | -0351.000 |
| Y                        | +0000.000 |
| Z                        | +0198.200 |
| A                        | +0000.000 |
| B                        | +0000.000 |
| C                        | +1800.000 |

Below this, the 'Ebene/Werkzeug' section lists: G15 G17 IP5, T06 TC01 M09. The 'Technologie (aktuell)' section lists: S<sub>1</sub>=0000.000 M05, V<sub>c</sub>=0000.000, V<sub>f</sub>=0000.000, F<sub>z</sub>=0000.000. The 'Technologie (nominal)' section lists: G97 S4500.000, G94 F3000.000, G94 E3000.000, G92 MAX. The 'Modale Befehle' section lists: G00 G40 G54 G90. The 'Laufzeit' section shows: 00:05:11.872. The 'Override' section shows: Spindel 100%, Vorschub 100%, Zeitlupe 0%.

The bottom panel shows the program editor with two channels: Kanal 1 (WAITING) and Kanal 2 (ACTIVE). Kanal 1 code: 50 cccccccG98 KS1 KS2 WAIT SM8, 51, 52. Kanal 2 code: 249 G1 Z=P100 F2000, 250 M920 ; Greifzange 2 Schliesse, 251.

The bottom-most panel contains function keys: F1 Einzelsatz, F2 Satz ausblenden, F3 M01, F4 Editor, F5 Kontur Editor, F6 Reset, F7 Satz zurück, F8 Zyklus Start, F9 Zyklus Stop, F10 Hauptmenü.

DIDACTA 2022 Köln

Berlin, 31.05.2022 © MTS Mathematisch Technische Software-Entwicklung GmbH, 2022



Die mit Industrie 4.0 angestrebte Automatisierung aller Fertigungs- und Qualitätskontrollaufgaben schließt in der CNC-Produktion auch die automatisierte Materialorganisation wie Beladen der Maschinen mit aus Magazinen entnommenen Werkstücken und Einsetzen in das Spannmittel, Entnahme der bearbeiteten Werkstücke und Ablegen in Magazinen, Versorgung mit Austausch-Werkzeugen sowie die Späne-Entsorgung mit ein. Den die Werkstücke betreffenden Anteil bezeichnen wir als Werkstückhandhabung.

Die Werkstückhandhabung erfolgt für kleinere Werkstücke zunehmend mit der Verwendung von 6-achsigen Standard-Robotern, welche die Handhabung des Werkstückflusses zwischen Werkstück-Rohteil- sowie Fertigteil-Magazinen und den CNC-Maschinen übernehmen, wobei an die Genauigkeit des Roboters für das Einsetzen auch in selbst-zentrierende Spannmittel, insbesondere bei vorbearbeiteten Werkstücken i.a. höhere Anforderungen gestellt werden müssen.

Die Roboter müssen eine 6-achsige Kinematik haben, um das Werkstück im Raum zu bewegen und ihren Greifer in allen Orientierungen halten zu können. Die CNC-Fräsmaschinen haben in ihrem „Greifer“ ein Fräswerkzeug, das rotiert und deshalb diese 6-te Achse nicht NC-mäßig angesteuert werden muss, es sei denn man muss ein nicht rotierendes Ausdrehwerkzeug mit einer eingestellten Spindelachsrichtung und einer entsprechenden Verschiebung aus einer ausgedrehten Bohrung herausziehen.

Größere Werkstück werden wegen des viel höheren Einspannaufwandes meist auf Paletten eines Nullpunktspannsystems gespannt, die gesteuert von einer Leitstelle eine Fertigungslinie von Bearbeitungszentren durchlaufen.

Für die CNC-Werkstückhandhabung sind dies im wesentlichen zwei Lerninhalte, die vermittelt werden müssen und die man aktuell den **CNC-Zusatzqualifikationen** zuordnen kann:

1. Programmierung des i.a. sechssachsigen Handhabungsroboters
2. Kommunikation zwischen Roboter und CNC-Maschine zur Ablaufsteuerung

Die Programmierung von Robotern erfolgt meist in herstellereigenen Robotersprachen, die in ihrem geometrischen Anteil ähnlich zur CNC-DIN-Programmierung aufgebaut sind und zusätzlich über Stützpunkte verschleifende Bewegungsabläufe besitzen und die für allgemeine Handhabungsaufgaben über einen wesentlich größeren mit SPS/PLC realisierten Kommunikationsanteil zu externen Signalen verfügen.



Die bei Robotern verwendeten Programmiersprachen hätten wie auch die CNC-Steuerungen in einem neutralen Lerninhalts-Standard in den PAL-CNC-Steuerungen ergänzt werden müssen. Aber dieser Weg hätte sich so wegen der zusätzlichen Lerninhalte vom Umfang her nicht realisieren lassen (zumal die Unterschiede der Robotersprachen untereinander noch viel größer sind als die im CNC-Bereich).

Aber genau dieses Problem besteht – abgesehen von der Großserien-Produktion –auch in der CNC-Fertigung wegen der nicht standardisierten CNC-Roboter-Schnittstellen. Dies führte zu einer heute von allen führenden CNC-Steuerungsherstellern angebotenen herstellerspezifischen Lösung:

Die Programmierung des Roboters erfolgt in einem Kanal der (mehrkanaligen) CNC-Steuerung der Maschine. Die ist möglich, da die modernen CNC-Steuerungen heute eine sechsachsige Rundachskinematik auch kartesisch mit Punkt-Richtungsprogrammierung ansteuern können (Rücktransformation von kartesischen Punkt-Richtungs-Koordinaten auf Rundachsen).

**Diese von den Industriesteuerungen verwendete Lösung wurde von der PAL als PAL-spezifische Lösung in die PAL2019-CNC-Steuerungen übernommen.**

Mehrkanal-CNC-Steuerungen haben bisher Ihre Hauptanwendung bei Drehbearbeitungszentren mit mehreren Werkzeugsystemen, Langdrehern sowie Mehrspindlern und verfügen natürlich auch über die erforderliche Kommunikation zwischen den Kanälen.

Für das genaue Greifen oder Ablegen eines Werkstück im Spannmittel mit Setzposition und Einsetzrichtung (ohne viel Berechnungsaufwand) wurde die PAL2019 noch um die Befehle der Punkttrichtungsprogrammierung G20 und G21 erweitert. Die Punkt-Richtungsprogrammierung wiederum hat als Hauptanwendung die Freiform-Programmierung auf 5-achsigen Fräsbearbeitungszentren (im Gegensatz zu der „dummen“, nicht interpretierbaren NC-Achswertausgabe aller 5 Maschinenachsen).

Mit der Übernahme der Mehrkanalprogrammierung mit der Kanalanwahl G99 und dem universellen Synchronisations-Befehl G98 mit den Optionen WAIT und NO WAIT sowie der Punkt-Richtungsprogrammierung G20 und G21 in die PAL2019-Befehlskodierungen für Drehen und Fräsen sowie einigen zusätzlichem M-Befehlen für Spannmittel auf/zu oder Tür auf/zu **stehen damit alle für die Werkstückhandhabung erforderlichen CNC-Programmier-Voraussetzungen zur Verfügung.**



Mit der erweiterten PAL-Parameterprogrammierung lassen sich die Werkstückpositionen in rechtwinkligen Magazinrastern einfach berechnen und Stückzahlen mit Schleifen überwachen.

Wegen der bei modernen CNC-Bearbeitungszentren immer häufiger zu findenden Mehrkanalprogrammierung (Mehr-Revolver-Drehbearbeitungszentren, CNC-Langdrehern, Drehfräs-Zentren) kommt den Ausbildungsinhalten Werkstückhandhabung mit Mehrkanalprogrammierung in den PAL-CNC-Prüfungssteuerungen damit im Bereich der CNC-Programmierung mehrkanaliger CNC-Maschinen in Anbetracht der erforderlichen Produktionsautomatisierung eine noch größere Bedeutung zu.

## **MTS-Entwicklung der Mehrkanalprogrammierung**

MTS hat die PAL2019-Mehrkanalprogrammierung und Punkt-Richtungsprogrammierung realisiert und entsprechende CNC-Maschinen-Roboterkombinationen beim Drehen und Fräsen als Ausbildungsmaschinen entwickelt. Besonderer Bedeutung kam dabei der Entwicklung eines komfortablen Teach-In-Betriebs zu (dieser ist bei Robotern immer noch ein sehr wichtiger Programmierbetrieb für Handhabungsaufgaben mit **geringeren** Anforderungen an die Positioniergenauigkeit), der für die Bewegungen des bestückten Robotergreifers in den Maschinenraum hinein und aus diesem heraus mit Kollisionsüberwachung überaus hilfreich ist. Bei den Bewegungen des Robotergreifers in die gewünschte Richtung können bei der Roboterkinematik sehr leicht Kollisionen von den nachgeführten Roboterkomponenten mit Gehäuseteilen vorkommen oder es werden Achsensensoren erreicht.

### **Mehrkanalprogrammierung der Werkstückhandhabung**

Die Werkstückhandhabung besteht - neben der einfachen Erweiterung des NC-Fertigungsprogramms um das Öffnen und Schließen der Maschinentüren, um das Schließen des Spannmittels vor Bearbeitungsbeginn und dem Öffnen des Spannmittels am Bearbeitungsende sowie der zugehörigen Synchronisationsmarken - aus zwei weiteren zur eigentlichen NC-Fertigung des Werkstücks hinzukommenden Programmieraufgaben:



## 1. Bewegungsablaufprogramm des Roboters:

Erstellen des PAL2019-Bewegungsprogramm des Roboters vom

- Aktivieren des Magazin-Koordinatensystems
- Einfahren in den Werkstück-Magazinraum (Teach-In),
- Berechnen und Anfahren der Fertigteil-Ablageposition mit Punkt-Richtungs-Programmierung, Öffnen des Fertigteil-Greifers gefolgt vom Freifahren in negativer Einsetzrichtung des Greifers (entfällt beim ersten Werkstück),
- Berechnen und Anfahren der Rohteil-Greifposition mit Punkt-Richtungs-Programmierung mit dem geöffneten Rohteil-Greifer, Schließen des Rohteil-Greifers gefolgt vom Hochfahren in negativer Einsetzrichtung des Greifers (entfällt bei Stangenbearbeitung),
- Bewegen des Roboters aus dem Werkstück-Magazinraum (Teach-In),
- Optionales Anfahren erst bis zur Magazinraumtür mit Linearschlitten,
- Anfahren bis zur die Maschinentür mit Linearschlitten,
- Aktivieren des Maschinen-/Werkstück-Koordinatensystems
- Bewegen des Robotergreifers vor die CNC-Maschinentür (Teach-In),
- Einfahren des Robotergreifers in den Maschinenraum (Teach-In) (das kann sehr eng werden),
- Fertigteil-Greifer öffnen und diesen am Fertigteil mit Punkt-Richtungsprogrammierung positionieren,
- Schließen des Fertigteil-Greifers,
- Öffnen des Maschinenspannmittels und Freifahren in negativer Ansetzrichtung,
- Rohteil-Greifer einschwenken, Rohteil mit Punkt-Richtungsprogrammierung im Maschinenspannmittel positionieren,
- Schließen des Maschinenspannmittels, danach Rohteil-Greifer öffnen und in negativer Ansetzrichtung freifahren,
- Herausfahren aus dem Maschinenraum (Teach-In),
- Optionales Anfahren der Magazinraumtür mit Linearschlitten,
  - Zurückfahren zum Werkstück-Magazin mit Linearschlitten,

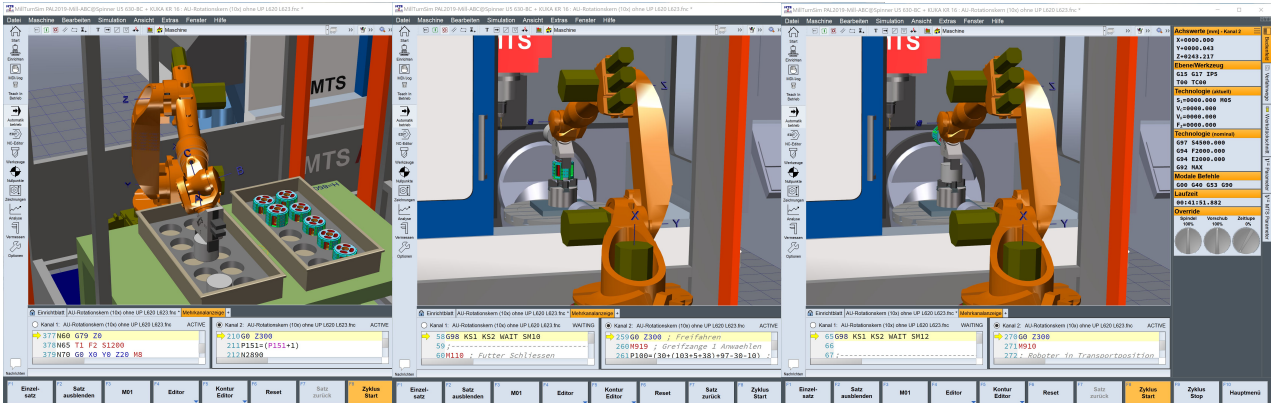
Bei der Stangenbearbeitung oder einer Gegenspindelmaschine kann sich dieser Ablauf geringfügig ändern.

Die Anfahrt der Greif- und Ablagepositionen erfolgt generell mit Punkttrichtungsprogrammierung und kann i.a. nicht geteacht werden..

Die Anfahrt auf die verschiedenen rasterförmig angelegten Magazinplätze erfolgt nach dem Aktivieren des Magazinkoordinatensystems mit Hilfe der Parameterprogrammierung zu Berechnung der Werkstückpositionen.



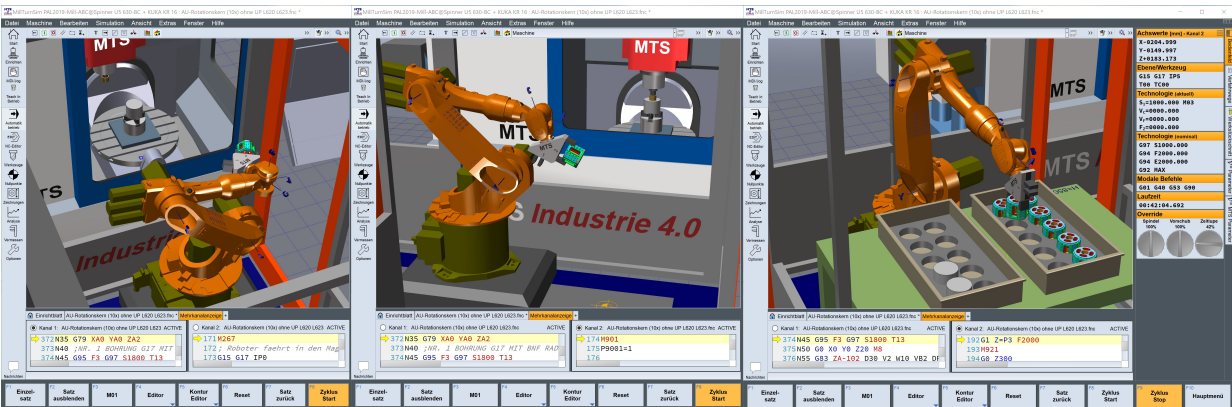
## Bewegungsübersicht



Rohteil in Greifer 1 aufnehmen

Fertigteil mit Greifer 2 aus  
Maschinen-Spannmittel entnehmen

Rohteil mit Greifer 1 in  
Maschine einsetzen



Herausfahren aus der Maschine

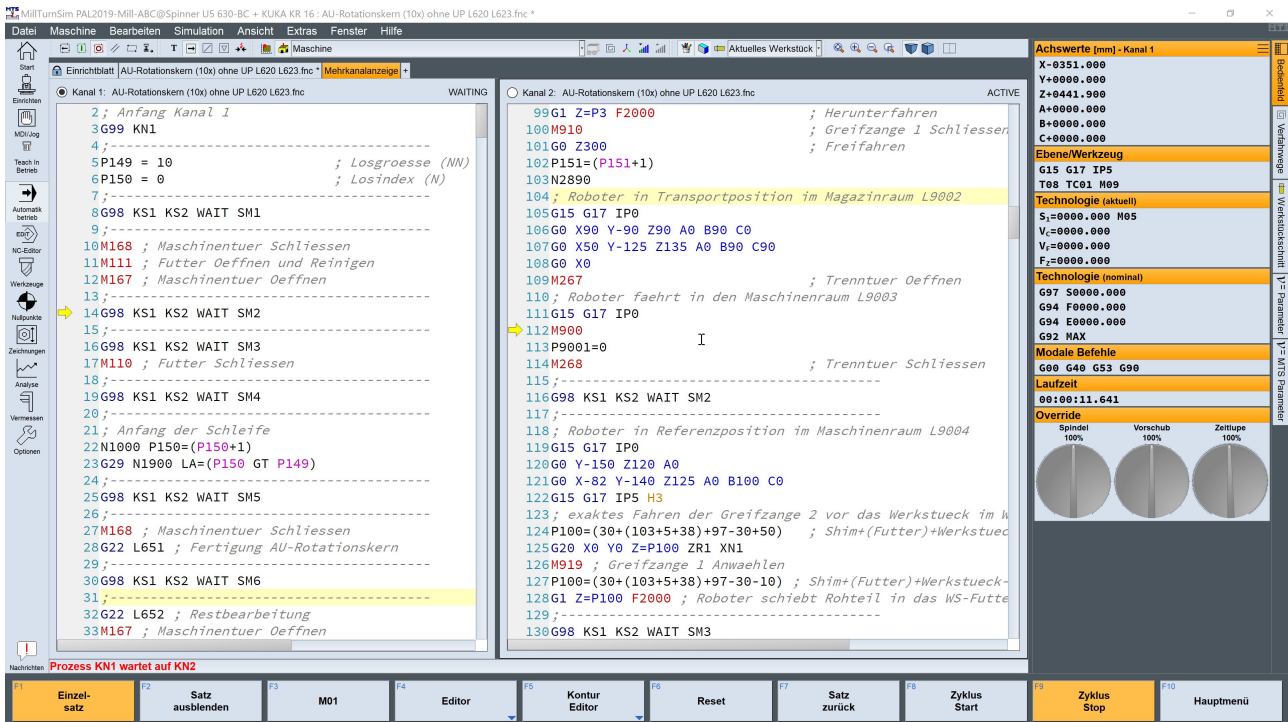
Fahrt mit Schlitten in Magazinraum

Ablage des Fertigteils im Magazin mit Greifer 2

## 2. Synchronisation der beiden NC-Programmteile

In diesem Programmierschritt werden in den NC-Programmen beider Kanäle die Synchronisationsmarken eingefügt oder bei einer Vorabprogrammierung der Synchronisationsbefehle der Synchronisations-Status NO WAIT in WAIT geändert.

Dies erfolgt am besten im interaktiven Betriebsmodus der MTS-Software, um mögliche Synchronisationsfehler gleich zu beheben.



## Teach-Mode der Roboterprogrammierung

Das Teachen der Roboter-Rundachsen ist nach wie vor die bevorzugte Programmiermethode bei Robotern, da durch das manuelle Anfahren einer Zielposition mit der jeweils aktuellen Transportbelastung die Genauigkeitsanforderungen in den Hintergrund treten (Schweißroboter schleppen z.B. extrem schwere, große Schweißgeräte mit sich herum, was bei großen Auskragweiten zu noch größeren Gelenkbelastungen führt).

Da bei der CNC-Werkstückhandhabung höhere Genauigkeitsanforderungen bei relativ schweren Werkstücken bestehen finden ausschließlich stärkere und genauere Industrieroboter Verwendung.

Das Teachen erfolgt mit einem Handbediengerät, das im Wesentlichen der Eingabekonzole einer CNC-Steuerung entspricht, mit dem der Bediener/Programmierer sich bei der Eingabe mit dem Roboter bewegen kann.

Charakteristisch für diese Roboter-Handbediengeräte ist die Tiptasten-Eingabe aller Achsbewegungen jeweils in den positiven und negativen Achsrichtungen mit Einstellungen der Bewegungsgeschwindigkeit. Zum Teil gibt es die Handbediengeräte auch mit Handrädern.

MTS stellt beide Varianten Tiptasten- und Handradeingabe alternativ zu Verfügung.



Im Teach-Mode werden im aktiven Bearbeitungskanal nacheinander angefahrte Achspositionen per Kommando „Schreibe Position“ der jeweils eingestellten Bearbeitungsebene für alle Achsen in das NC-programm übernommen. Diese Verfahrbewegungen können so übernommen oder noch modifiziert werden.

### **Besonderheiten der Roboterprogrammierung**

Alle Roboter-Rundachsen haben konstruktionsbedingt einen beschränkten Rundachsverfahrbereich. In diesen Verfahrbereichen lassen sich im Roboterkanal beim Teachen in der Achs-Interpolationsebene G15 IP0 die Roboterachsen problemlos in beliebiger Reihenfolge bewegen und mehrere Bewegungen können zu einer zusammengefasst werden. Beim Zusammenfassen von weiter auseinander liegenden Rundachs-Positionen kann es vorkommen, dass bei der Interpolation der Achswerte eine Rundachse eine Verfahrbereichsgrenze erreicht (Dies erfordert in der Regel die Hinzunahme einer übersprungenen Rundachsposition). Im Bedienfeld werden die sechs Achsen X, Y Z, A, B und C mit ihren Achswerten angezeigt.

Schaltet man mit den aktuellen Rundachspositionen der Bearbeitungsebene G15 IP0 in eine kartesische Bearbeitungsebene G15 G17/18/19 IP5 um, so wird der Greifer mit seiner Hauptrichtung oder bei Doppelgreifern mit seiner angewählten Bezugsrichtung senkrecht zur negativen Zustellrichtung (3. Geometrieachse) der neuen Bearbeitungsebene G17/18/19 gedreht und die dabei festgehaltenen Raumposition des Greiferbezugspunkts in die Kartesischen Koordinaten  $X'$ ,  $Y'$ ,  $Z'$  der kartesischen Bearbeitungsebene umgerechnet (deshalb findet bei dieser Bearbeitungsebenenwahl eine Ausgleichbewegung des Roboters statt).

Diese Ausgleichsbewegung zur Einstellung der Greiferrichtung in die negative Zustellachsrichtung der angewählten Bearbeitungsebene kann in ungünstigen Fällen wegen des Erreichens einer Rundachs-Verfahrbereichsgrenze nicht ausgeführt werden (Fehlermeldung: Verfahrbereichsbegrenzung wurde erreicht).

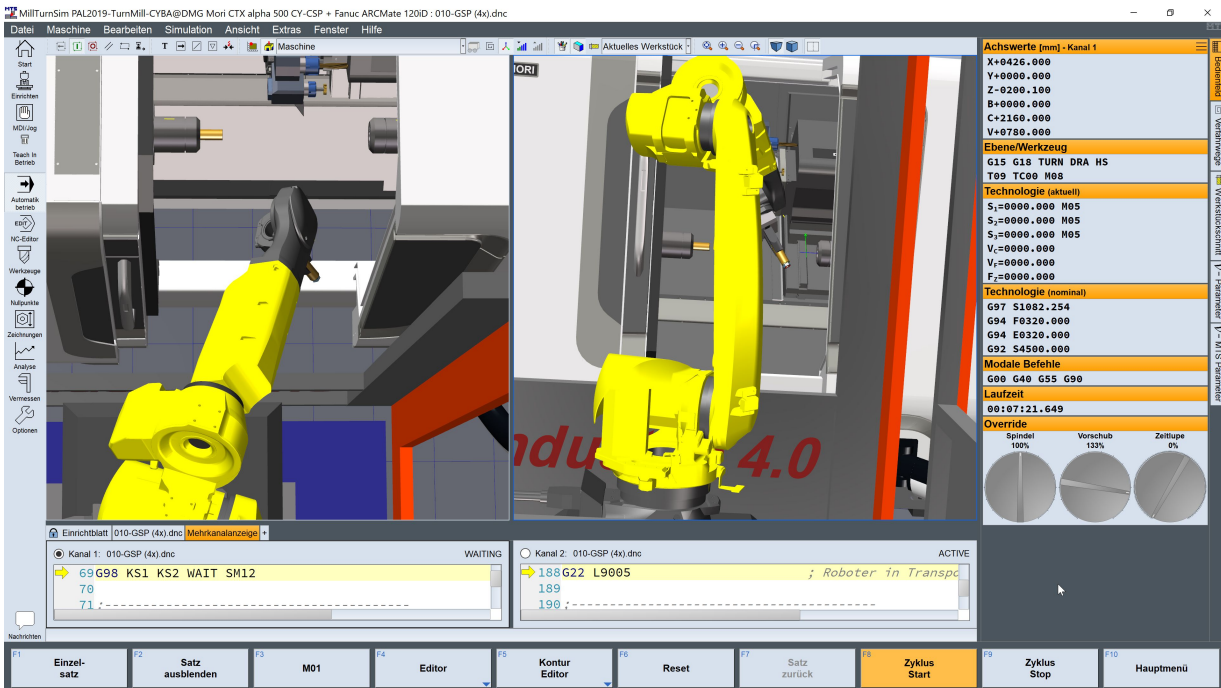
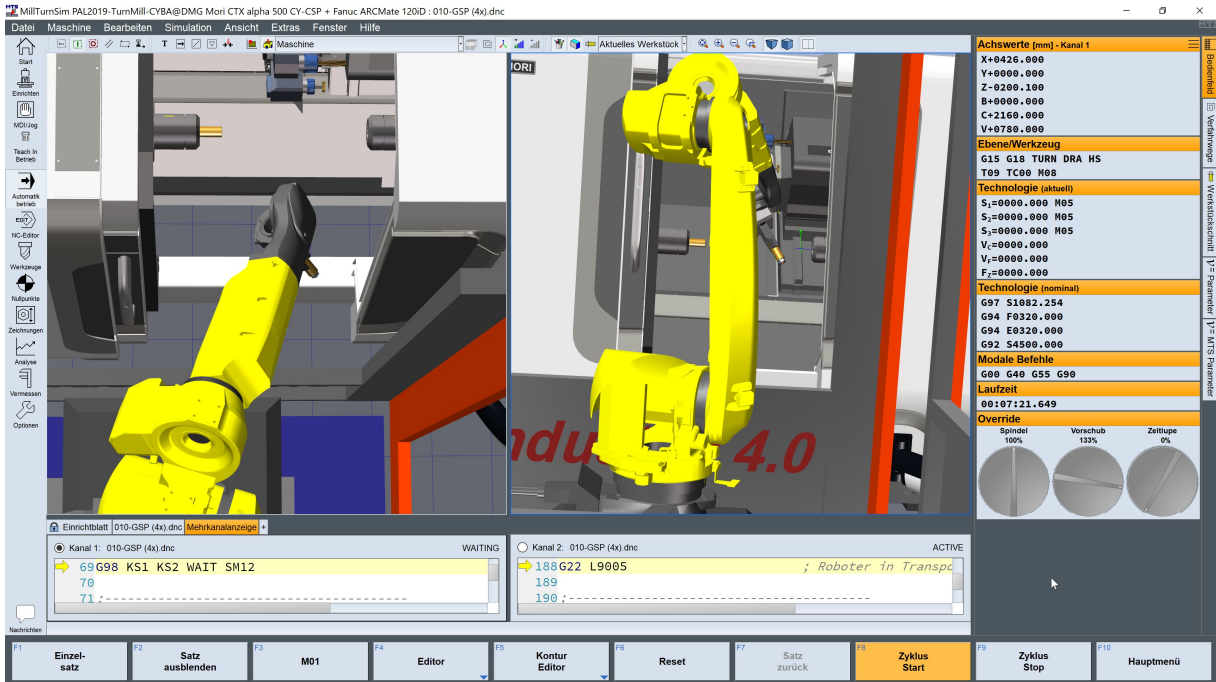
In einem solchen Fall muss die Greiferposition senkrecht zur Bearbeitungsebene in dem geplanten Arbeitsbereich zuvor möglichst gut mit den Rundachsen (i.a. im Teach-Mode) eingestellt werden.

Danach kann der Roboter in den drei Achsen des aktuellen kartesischen Koordinatensystems mit der so eingestellten Greifer-Richtung senkrecht zur Bearbeitungsebene verfahren werden.





## Verschiedene Maschinen-Roboterkonfigurationen



MATHEMATISCH TECHNISCHE  
SOFTWARE-ENTWICKLUNG GMBH

MTS Mathematisch Technische Software-Entwicklung GmbH

D 10553 Berlin Kaiserin-Augusta-Allee 101

Telefon: +49 - 30 - 349 9600 Fax: +49 - 30 - 349 960-25

<http://www.mts-cnc.com> Email: [mts@mts-cnc.com](mailto:mts@mts-cnc.com)