Internal

Ergänzung der Technischen Liefervorschriften für konventionelle Roboter

Version 01 / 01.12.2022

Wachter Uwe FRD OPT
ZF FRIEDRICHSHAFEN AG

1 Inhalt

2 Allgemeine Anforderungen 3
2.1 Eingänge / Ausgänge 3
2.2 Werkzeug Koordinatensystem 3
2.3 Werkzeugwechsel 4
2.4 Robotertraglast 4
2.5 Bezugskoordinatensystem (z.B. Base / Frame /...) 5
2.6 Software-Endschalter 5
2.7 Roboterreichweite 5
2.8 Roboter Peripherie 5
2.9 Greifer 6
3 Programmierung 7
3.1 Programmierung allgemein 7
3.2 Hauptprogramm 9
3.3 Punktbezeichnung 9
3.4 Positionen berechnen 9
3.5 Rückzugsstrategien und Grundstellungsfahrt 10
3.6 Sichere Roboterstellung „Go-In-Position" 10
3.7 Effiziente Fahrweise 10
3.8 Visualisierung der SPS-Roboter-Schnittstelle 10
3.9 Standardprogrammstruktur 11
3.9.1 Service 11
3.9.2 Standard Module 11
3.9.3 Berechnungen 12
3.9.4 Daten 12
3.9.5 Funktionen 13
3.9.6 Greifer 13
3.9.7 Init 14
3.9.8 Schnittstelle 14
3.9.9 Sonstiges 14
3.9.10 System 14
3.9.11 Unterprogramme 15
4 Einsatz eines sicheren-Roboters 16
4.1 Referenztaster und Bedämpferplatte 16
4.2 Bremsentest 16
4.3 Sicherheitsinbetriebnehmer Passwort 16

4.4 Abnahmeprotokoll 16
5 Beschaffung der Maschine 17
5.1 Planungsphase (vor Bestellung) 17
5.2 Konstruktionsphase (nach Bestellung) 17
5.3 Abnahme 17
6 Dokumentation 18
6.1 Ablaufdiagramm der Programmaufrufe 18
6.2 Teachroutine 18
6.3 Schnittstellenbeschreibung (Handling) 18
7 Freigabelliste Roboter 19

2 Allgemeine Anforderungen

In den allgemeinen Anforderungen sind die Einstellungen der Grundfunktionen des Industrieroboters beschrieben.

2.1 Eingänge / Ausgänge

Die Namen der Ein- und Ausgänge sind für die Anzeige zu pflegen.

Inhalt der Bezeichnung:

<Name><Funktion>< ><E/A-Bezeichnung> --> z.B.: G1_gespannt_E7

E/A-Bezeichnung	**Beispielname**
Digitaleingang	G1_gespannt_E7
Digitalausgang	G1_loesen_A6
Gebundene Digitaleingänge	Auftragsnummer_E50_E54
Gebundene Digitalausgänge	Schweissstrom_A120_A135
Analogeingang	Bauteilhoehe_AE1
Analogausgang	Druckbegrenzung_AA1

E/A-Bereich Roboter:

E/A-Bereiche	**Eingangsnummer**	**Ausgangsnummer**
Signale Endeffektor (Greifer)		
Externe Automatikansteuerung SPS		
Prozessdaten SPS		
Masterkreis Roboter		

2.2 Werkzeug Koordinatensystem

Es müssen die angeflanschten Werkzeuge (Tools) vermessen und konfiguriert werden. Der Tool Center Point (TCP) muss sich im Arbeitspunkt des Werkzeugs befinden. Bei Applikationen zum Greifen von runden Werkstücken, muss der TCP in der Mitte des Bauteils definiert werden. Bei mehreren Greifern ist jedem Greifer ein Tool zuzuordnen. Beim TCP ist die Stoßrichtung „X" zu programmieren. Falls externe Tools vorhanden sind, müssen diese ebenfalls vermessen und programmiert werden.

Es müssen Messstellen in der Anlage integriert werden, um die Tools zu prüfen. Diese sind zu kennzeichnen und zu dokumentieren. Referenzwerkzeuge, um Greifer und Vorrichtungsbase zu vermessen bzw. kontrollieren zu können, müssen erstellt und in der Anlage platziert werden.

Es ist ein Roboterprogramm zu erstellen, mit dem einfach die Prüfspitze zur Kontrolle angefahren werden kann.

Der Prüfspitzenpunkt muss schreibgeschützt sein

<ToolNr><Funktion> --> z.B. Tool1_Greifer1

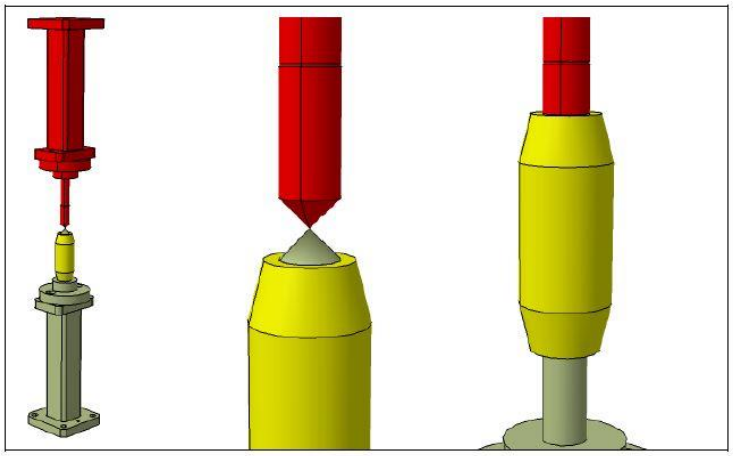


Abbildung 1: Kontrollspitze für den TCP

Bei einer Applikation mit hohen Positionierungsgenauigkeiten muss eine automatische TPC-Vermessung eingesetzt werden.

2.3 Werkzeugwechsel

Alle wechselbaren Werkzeuge müssen eindeutig identifizier- und prüfbar sein. Diesen ist mit dem AG in der Konstruktionsphase abzustimmen.

2.4 Robotertraglast

Der Massenschwerpunkt ist aus den Konstruktionsdaten zu ermitteln und zum Probelauf technisch Nachzuweisen (z.B. durch auszupendeln).

Die Größe des Roboters ist mit einem Lastermittlungsprogramm zu bestimmen. Nach der Analyse mit einem solchen Programm, darf die Auslastung maximal 80% je Achse betragen. Das Gesamtgewicht des Werkzeugs inklusive Module, Ventile, Schläuche, ist gemeinsam mit allen Bauteilen zu ermitteln. Der Systemintegrator muss das tatsächliche Gewicht des Werkzeugs mit allen Bauteilen überprüfen und in die Konfigurationsdatei eintragen. Die ermittelten Lastdaten sind der Dokumentation beizulegen.

Bei mehreren unterschiedlichen Lasten (z.B. mit/ohne Teil, typenabhängig, etc.), müssen die Lastdaten dynamisch umgeschaltet werden. Die Notwendigkeit ist abhängig von den Lastdifferenzen und erforderlicher Prozessgenauigkeit. Die entsprechenden Tools zur Ermittlung der Last müssen an den entsprechenden Stellen angewendet und nachgewiesen werden.

2.5 Bezugskoordinatensystem (z.B. Base / Frame /...)

Die Auf- und Ablagestellen müssen eigene Bezugskoordinatensysteme haben z.B. beim Handling, muss jede zu bestückende Subanlage auf einen Bezugspunkt gelegt werden. Die möglichen Referenzpunkte muss der AN der Roboterzelle dem Anlagenhersteller der Subanlagen am Anfang der Planungsphase nennen.

Es ist ein Roboterprogramm zu erstellen, mit dem einfach die eingerichteten Bases kontrolliert und nachgebessert werden können.

Es müssen die Messstellen deutlich und dauerhaft in der Anlage integriert werden, um die Bases zu prüfen. Diese sind zu kennzeichnen und zu dokumentieren. Referenzwerkzeuge, um Greifer und Vorrichtungsbase zu vermessen bzw. kontrollieren zu können, müssen erstellt und in der Anlage platziert werden.

Die Namensgebung der Base muss nachfolgendem Schema stattfinden:

<BaseNr><Funktion> --> z.B. Base1_Einlaufband

2.6 Software-Endschalter

Die Softwareendschalter sind zwingend anlagenspezifisch einzurichten, jedoch mindestens 5° Freiraum bis zur mechanischen Achsbegrenzung.

2.7 Roboterreichweite

Die Reichweite sollte auf max. 90% der maximalen Reichweite ausgelegt werden (bezogen auf den TCP), ein Überschreiten ist mit dem AG vor Bestellung abzustimmen.

2.8 Roboter Peripherie

Die Roboterschränke müssen jederzeit zugänglich (z.B. durch Rollen, Podest, Schubladen für Rack-System, ...) sein, speziell für Wartungszwecke.

Bei mehreren Robotern in einer Zelle, sind die Roboterschränke beieinander anzuordnen. Die Aufstellungsrichtlinie ist aus der Spezifikation des Roboterherstellers zu entnehmen. Schlauchpakete, Erweiterungen von Schaltschränken, sowie Einbauten von Komponenten in Standardschaltschänke des Roboterherstellers müssen mit dem Projektleiter der ZF Friedrichshafen AG abgestimmt werden.

Sind Roboter im ZF Maschinennetzwerk, so sind diese über TCP/IP zu vernetzen. Detailabsprache, sowie Zuweisung der IP-Adresse erfolgt mit dem Projektleiter der ZF Friedrichshafen AG.

Die Bedienhandgeräte des Roboters müssen außerhalb der Anlage zugänglich sein. Das Bedienhandgerät ist neben dem Anlagenzugang anzubringen.

Aufgrund der Stolpergefahr durch herumliegende Kabel des Bedienhandgerätes, ist in Abstimmung mit dem AG ein Kabelrückzugssystem „MTPREEL“ von der Fa. Sumcab anzubieten ist

2.9 Greifer

Es muss sichergestellt werden, dass zu jedem Zeitpunkt ein Werkstück nicht ungewollt aus dem Greifer fallen kann. Die erforderlichen Maßnahmen resultieren aus der Risikobeurteilung des Systemintegrators.

3 Programmierung

In diesem Kapitel sind die grundsätzlichen Anforderungen an die Programmierung des Industrieroboters beschrieben.

Der Roboter ist so zu programmieren, dass der Bediener der Anlage nicht ein „Roboterfachmann" sein muss.

3.1 Programmierung allgemein

Es ist auf eine sinnvolle und lesbare Programmstruktur zu achten. Das wird z.B. durch folgende Punkte gegeben:

- Die führende Sprache (Landessprache und zweite Sprache) muss im Vorfeld mit dem AG abgestimmt werden
- Die Kommentare müssen in beiden Sprachen verfasst werden
- Variable, E/A, etc. müssen in führende Sprache benannt werden und beim Aufruf in der zweiten Sprache kommentiert werden
- Kommentare sind in Klartext zu beschreiben und Abkürzung sind nicht zulässig
- Um die Prozesssicherheit zu erhöhen, sollten Initialisierungen programmiert werden. Diese sind bei Bedarf am Anfang des jeweiligen Programms zu integrieren.
- Alle Programme inklusive Unterprogramme sind in der Kopfzeile ausführlich zu beschreiben (Verfasser, Funktion, Erstellungsdatum, Änderungsdatum, etc.)
- Alle Unterprogramme müssen eigenständig und dürfen nicht in einem anderen Programm geschrieben sein
- Es müssen aussagekräftige Programmnamen für Unterprogramme und Variablen verwendet werden, es darf nicht z.B. Programm1, Programm2, … heißen
- Die Kommentierung von Programmteilen muss aussagekräftige sein
- Verschachtelungen sind einzurücken und zu kommentieren z.B.:
  - IF Gr1_geschlossen_E7 THEN ; *sp1*
    - Teil_gegriffen_A50=TRUE
  - END IF0; *sp1*
- Funktionen wie „wait, sec" sind zu vermeiden, wenn diese durch andere Anweisungen (z.B. hand shake) zu realisieren sind.
- Ausblendungen sollen verwendet, aber Abfragen dürfen nicht ausgeblendet werden

- Wiederkehrende Abläufe, Berechnungen, etc. müssen in Unterprogrammen ausgeführt werden

- In der Roboter-SPS darf nur das nötigste programmiert werden. Vorzugsweise sollte die benötigte Logik in der übergeordneten SPS-Steuerung abgearbeitet werden, falls eine benötigt wird

- Ist die SPS gem. gültiger ZF technischer Liefervorschrift zu verwenden und ggf. mit dem AG abzustimmen

Singularitäten des Roboters sind durch z.B. die richtige Anordnung des Roboters, sowie der zu bestückenden Subanalgen nicht zulässig.

Es muss eine Funktion „Maschine leerfahren" in das Programm integriert werden.

Wird ein Verbund von Robotern / externen Achsen, welche mit dem internen Bus kommunizieren und daher deren Bewegungsabläufe synchronisieren, eingesetzt, so müssen die einzelnen Roboter / externe Achsen aussagekräftig benannte werden z.B.

Roboter1: --> Master

Roboter2: --> Slave 1

Roboter3: --> Slave 2

Programme, welche der Maschineneinrichter zum Teachen von Punkten oder Wiederinbetriebnahme des Automatikbetriebs benötigt, dürfen nicht in einer versteckten Ebene hinterlegt sein.

Bewegungen, welche den am Roboter angeflanschten Endeffektor betreffen, wie bspw. Greifer AUF/ZU, müssen im Handbetrieb über das Roboter-Bedienhandgerät ausführbar sein.

Daneben ist applikationsabhängig auf folgende Besonderheiten beim Programmieren zu achten:

- Allgemein
  - Beim Roboterprogramm bzw. Unterprogramm mit Bewegungsabläufen ist die Station durch einen Anfangspunkt und einen Endpunkt zu definieren. Diese beiden Punkte müssen nach dem Bewegungsablauf wieder identisch sein.
  - Die Strategie für den Fehlerfall muss im Vorfeld mit dem AG abgestimmt werden, eine automatische Fehlerbehebungsstrategie wird bevorzugt.

- Schweiß Applikation
  - Die für die Applikation Schweißen wichtigen Prozessparameter, wie z.B. der Brennerwinkel müssen dem Einrichter beim Teachen angezeigt werden.

3.2 Hauptprogramm

Das Hauptprogramm muss den eindeutigen Namen START haben, sollte diese nicht möglich sein, so muss es im Kommentar als Start bezeichnet werden. Das Hauptprogramm wird über die interne SPS des Roboters in der Betriebsart „Automatik" mit einer übergeordneten Steuerung automatisch angewählt, sofern eine externe Steuerung vorhanden ist.

Kuka spezifisch

Im Hauptprogramm ist die Programmaufruflogik, wie bspw. die typenspezifischen Programmaufrufe oder Wartungsprogramme zu programmieren. Es sind keine Bewegungsbefehle im Hauptprogramm zulässig.

Folgende Programm-/Unterprogrammnamen sind zu verwenden.

zu verwendeter Programmname	**Beschreibung**
Home	In Grundstellung fahren, TCP in Position nehmen. Von „Home" erfolgt der Absprung in das Hauptprogramm.
Hauptprogramm (z.B. Kuka Cell, Fanuc PNS 0001, …)	Sicherheitsabfragen, Zellenbedingungen, keine Bewegungsbefehle.

3.3 Punktbezeichnung

Die anzufahrenden Bewegungspunkte müssen eine aussagekräftige Namensgebung aufweisen. Für Positionen ist generell „**pos**" zu verwenden.

Zum Beispiel:

- Vorposition Maschine1: --> Vor**pos**_M1
- Greifposition Maschine2: --> Greif**pos**_M2
- Nachposition Maschine 2: --> Nach**pos**_M2

3.4 Positionen berechnen

Alle Endpositionen sind typenspezifisch zu teachen. Die Bewegungspositionen, um den Punkt zu erreichen, bzw. diesen wieder zu verlassen, sind über Offsets zu programmieren. Raumpositionen sind globale Punkte und müssen als teachbare Bewegungspunkte programmiert sein. Man kann davon abweichen, sofern es der Prozess nicht zulässt. Hierzu muss jedoch der Systemintegrator einen Nachweis erbringen. Die Anzahl der zu teachenden Punkte muss so gering wie möglich gehalten werden.

3.5 Rückzugsstrategien und Grundstellungsfahrt

Es ist eine Grundstellungsfahrt-/Rückzugsfahrt aus allen Situationen zu realisieren. Diese ist mit einem Positionsmerker zu programmieren. Nachdem die Grundstellungsfahrt abgeschlossen ist, erfolgt eine Positionsüberprüfung. Ein „Start" der Betriebsart Automatik ist nur nach vorhandener Grundstellung des Roboters möglich. Der Roboter arbeitet das Programm nach dem Automatik „Start", an dem Punkt wieder ab, an dem dieser abgebrochen wurde.

3.6 Sichere Roboterstellung „Go-In-Position"

Um das Verletzungsrisiko für den Mitarbeiter beim Betreten der Maschine zu verringern, muss eine geeignete „Go-In-Position" durch den Roboter angefahren werden. Diese kann ggf. von der Grundstellung abweichen.

Dabei müssen folgende Punkte beachtet werden:

- Schwebende Lasten (Teil im Greifer)
- Stoßgefahr für den Mitarbeiter (auch bei Sondertätigkeiten, wie bspw. Reinigen der Anlage)
- Stolpergefahr für den Mitarbeiter

3.7 Effiziente Fahrweise

Bei der Roboterprogrammierung ist auf eine effiziente Fahrweise zu achten. Das wird beispielsweise durch folgende Punkte erreicht:

- Grundsätzlicher Einsatz von PTP (Point to Point) Befehlen. Ausnahmen sind enge Gassen, Entnahme und Ablagepunkte sowie Bewegungen entlang von Konturen
- Punkte müssen nach Möglichkeit überschliffen werden
- Überschleifbewegungen zwischen den einzelnen Verfahrprogrammen sind ohne Vorlaufstop zu realisieren
- Es sind keine unnötigen Wege zu programmieren
- Einrichten von Vorpositionen, welche anschließend mit einem LIN (linear) Befehl gefahren werden, so knapp wie möglich an den Endpunkt programmieren. Dadurch wird die Fahrstrecke für den LIN-Befehl kürzer.

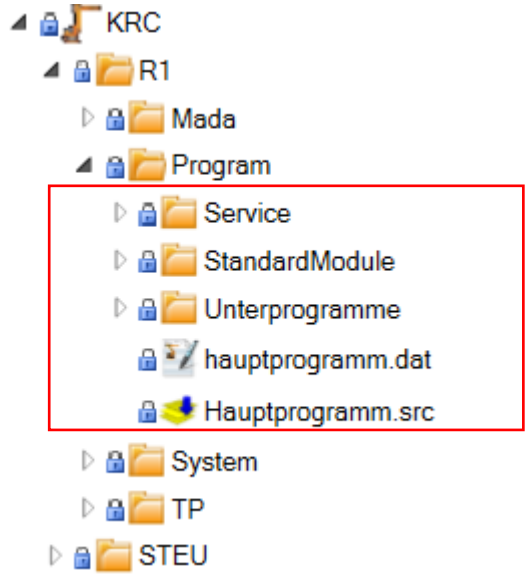
Um den Nachweis zur Effizienten Fahrt / Roboterbelastung / Taktzeit in der Planung zu bringen muss eine Simulation erfolgen, dieses im mit dem Projektleiter abzuklären.

3.8 Visualisierung der SPS-Roboter-Schnittstelle

Die SPS-Roboter-Schnittstelle ist auf der Visualisierung des Anlagenbedienpanels zu programmieren. Darin müssen die wesentlichen Signale dargestellt werden. Falls eine übergeordnete SPS Schnittstelle verwendet wird.

3.9 Standardprogrammstruktur

Im Folgenden wird die Standardstruktur für Kuka-Roboter mit KRC4 Steuerung beschrieben. Im Ordner Programm befinden sich die Unterordner Service, Standard Module, Unterprogramme und das Hauptprogramm.

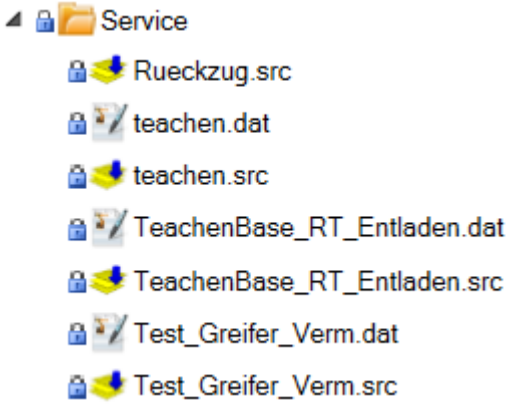


3.9.1 Service

Im Ordner Service befindet sich

Rueckzug.src, in dem die automatische Grundstellungsfahrt zu programmieren ist.

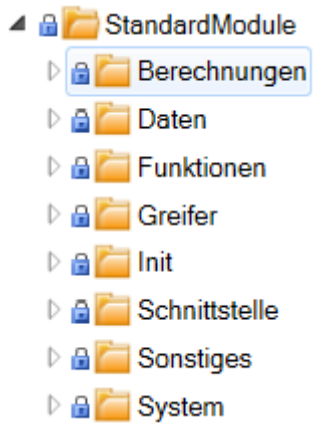
In teachen.src ist auch die menügeführte Programmanwahl zu programmieren.
Bei Anwahl des Hauptprogrammes in T1, soll bzw. muss der Bediener die Möglichkeit haben, die gewünschten Unterprogramme typabhängig abzufahren. Außerdem sind hier die Vermessungsprogramme der Bases und die Testprogramme der Tools zu hinterlegen. Alle unter Service abgelegten Programme sind applikationsabhängig an zu passten.



3.9.2 Standard Module

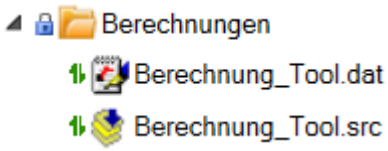
Hier sind die Standardmodule enthalten. Hier können die z.B. Hersteller-Standardmodule in den

entsprechenden Ordner hinterlegt werden.



3.9.3 Berechnungen

Falls Berechnungen durchgeführt werden, sollen diese hier abgelegt werden. Auch Base- und Toolverschiebungen müssen in diesem Ordner enthalten sein.

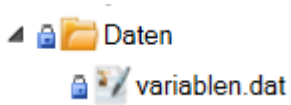


3.9.4 Daten

Alle roboterinternen Variablen werden hier deklariert und kommentiert.

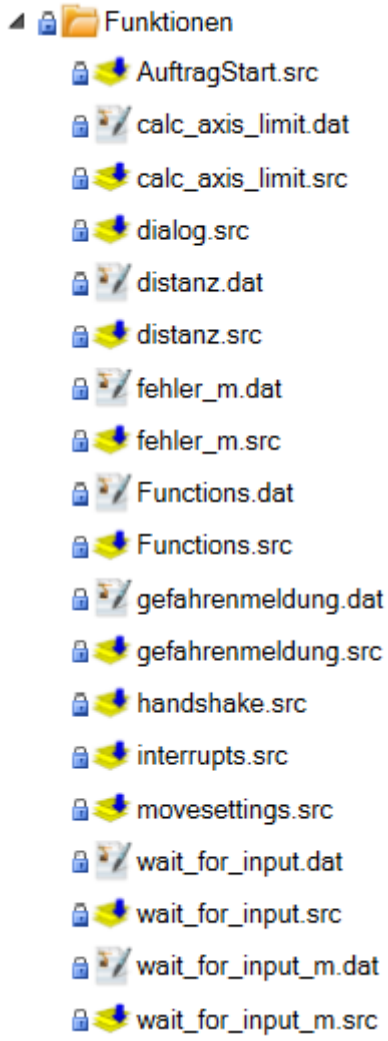
Variable die in der PLC und umgekehrt benutzt werden sind auf beiden Seiten gleich zu benennen.

Im Kommentar sollte auch der Bezug zur PLC beschrieben sein.



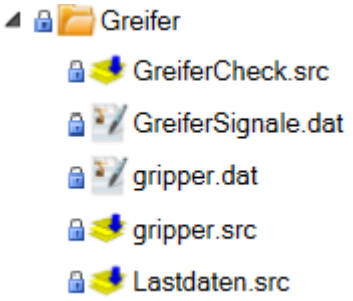
3.9.5 Funktionen

Hier sind alle relevanten Funktionen, die der Roboter benötigt zu hinterlegen.



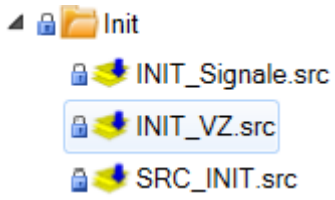
3.9.6 Greifer

Alles, was mit den Greifern in Verbindung gebracht werden kann, ist im Unterordner Greifer unterzubringen. Dazu gehören die Greifer Signale, die Ansteuerung und die Greifer Prüfung. Außerdem ist hier das Lastdatenprogramm zu hinterlegen, in dem die Lastdaten in Abhängigkeit vom Greifer Status und aktuellem Werkstück zugewiesen werden.



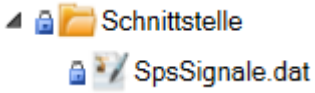
3.9.7 Init

Hier sind die benötigten Initialisierungsprogramme unter zu bringen.



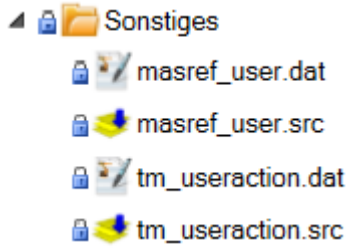
3.9.8 Schnittstelle

Hier muss die Datei SpsSignale.dat eingefügt werden. Signale sind nachvollziehbar zu kommentieren.



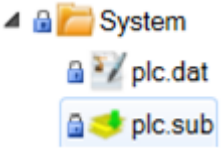
3.9.9 Sonstiges

Die Programme, die normalerweise in der Kuka Standardstruktur im Ordner R1 liegen, werden in „Sonstiges“ verschoben.



3.9.10 System

Alle Funktionen für den Submit-Interpreter sind in der plc.sub einzupflegen.



3.9.11 Unterprogramme

Hier werden alle Unterprogramme eingefügt.



4 Einsatz eines sicheren-Roboters

Wird ein „sicherer Roboter", z.B. mit Kuka Safe Operation, eingesetzt, bringt dieser für die Projektierung mehr Optionen mit ein und es muss daher zusätzlich noch folgende Leistungen erbracht werden. Die sicheren Arbeitsräume/Werkzeug/etc. sind im Sicherheitskonzept zu dokumentieren. Generell muss man sich nach den Herstellerangaben und geltenden Normen richten.

4.1 Referenztaster und Bedämpferplatte

Der Referenztaster muss an einen stetig reproduzierbaren Punkt montiert sein (außerhalb des Kollisionsbereichs), z.B. eigens dafür am Boden angeschraubten Ständer. Es darf maximal noch die Referenzspitze (siehe Kapitel 1.2) daran angebracht werden.

Die Bedämpferplatte ist am Roboter angeflanschten Werkzeug fest zu montieren.

Die Referenzfahrt muss automatisch erfolgen. Der Normalbetrieb muss nach erfolgreicher Ausführung wieder automatisch aufgenommen werden.

4.2 Bremsentest

Der Bremsentest soll automatisch erfolgen. Der Normalbetrieb muss nach erfolgreicher Ausführung wieder automatisch aufgenommen werden.

4.3 Sicherheitsinbetriebnehmer Passwort

Das Sicherheitsinbetriebnehmer Passwort ist der ZF Friedrichshafen AG bis zur Abnahme auszuhändigen.

4.4 Abnahmeprotokoll

Es ist ein Abnahmeprotokoll der Sicherheitskonfiguration zu erstellen und der Dokumentation anzuhängen. Dazu soll man sich an die zu protokollierenden Daten nach den Herstellervorgaben orientieren.

5 Beschaffung der Maschine

In der Beschaffung der Maschine durchläuft das Projekt drei wesentliche Phasen, an denen die folgenden Punkte mit dem Projektleiter der ZF Friedrichshafen AG abzustimmen sind. Dabei ist das Sicherheitskonzept (beinhaltet z.B. Arbeitsräume, Roboterzaun, Not-Halt, Achsbegrenzungen, Bedienplätze/Arbeitsplätze, Zellentüren, Roboter Bewegungsradius, etc.) ständig zu aktualisieren.

5.1 Planungsphase (vor Bestellung)

Roboter Hersteller gem. gültiger Freigabeliste. Der Robotertyp in Abstimmung und Freigabe durch Projektleiter auszuwählen. Basis hierfür sind u.a. die Lastdaten, Erreichbarkeit, und Zugänglichkeit (diese sind auch nachzuweisen), übergeordnete Steuerung, Roboteroptionen, Softwarestand, Layout.

5.2 Konstruktionsphase (nach Bestellung)

Konstruktionslayout, Sicherheitskonzept, ggf. Einsicht in die Risikobeurteilung. 3D-Daten gehören zum Lieferumfang der Dokumentation.

5.3 Abnahme

Roboterprogramm, ggf. SPS-Programm, tatsächliche Lastdaten, Anlagenlayout, Sicherheitskonzept.

6 Dokumentation

6.1 Ablaufdiagramm der Programmaufrufe

Ein Ablaufdiagramm der Roboterprogrammierung, aus dem die verschieden Programmaufrufe ersichtlich sind, ist der Dokumentation beizulegen und Bestandteil der Konstruktionsfreigabe.

6.2 Teachroutine

Es ist eine Schritt-für-Schritt-Anleitung zum Einrichten der Bewegungspunkte, als Anhang der Betriebsanleitung, zu erstellen (Teachroutine).

6.3 Schnittstellenbeschreibung (Handling)

Systemintegratoren für die Kommunikation der Maschinen benötigen.

Der Systemintegrator der Roboterzelle muss die Vorgabe der Schnittstellenarchitektur für die Anlagenhersteller der Subanlagen am Anfang der Konstruktionsphase erstellen. Nur so ist eine reibungslose Inbetriebnahme der Roboterzelle zu einem späteren Zeitpunkt gewährleistet.

Neben den prozessbezogenen Signalen müssen auch die sicheren Signale von dem Systemintegrator der Roboterzelle vorgegeben werden. Bei einer Vernetzung mehrerer Sicherheitssteuerungen ist die Steuerung der Roboterzelle der MASTER am Bus.

7 Freigabelliste Roboter

In der gültigen ZF Freigabeliste sind die Roboter Hersteller definiert. Die Robotertypen müssen mit dem Projektleiter definiert und durch diesen freigegeben werden.