Arbeitspaket 6: Anlagenmodell

Die Objekte stellen die Komponenten in der Anlage dar und sollen die Funktionalitäten dieser abbilden. Ein Objekt wird immer nur für sich selbst betrachtet und besitzt möglichst keine Abhängigkeiten von anderen Objekten *(Kann in gewisse Situation durchaus Sinn machen)*. Man baut alle Komponenten der Anlage aus und betrachte die Fähigkeiten dieser. Eine erstelle Objektklasse kann anschliessend für die Instanziierung eines Objektes verwendet werden. Dies ermöglicht das Erstellen von mehreren Objekten auf Basis einer Objektklasse.

Definierung der Objekt-Struktur

Wie bereits für die Skills wird auch für die Objekte eine Grundstruktur festgelegt, die als Basis für den Aufbau aller Objekte dient. Diese einheitliche Struktur erleichtert die Standardisierung der Interaktionen innerhalb der Software. Dabei sollen die Objektklassen möglichst objektorientiert gestaltet werden, sodass die Funktionalität der Objekte in klar abgegrenzten Methoden abgebildet wird. Zum Ausführen einer Funktionalität reicht es daher, die entsprechende Methode aufzurufen.
Die Objekte wurden zusammen mit dem Skills iterativ erarbeitet. Änderungen bei der Skill-Struktur hatten auch einen Einfluss auf die Objekt-Struktur.
Die Schnittstellen eines Objektes wurden in 4 Kategorien aufgeteilt, welche ähnlich wie beim Skill definiert wurden und entsprechend das allgemeine Verständnis einfacher machen sollen.

Objektvariablen:
Die Objektvariablen umfassen die Eingangsvariablen (Objektparameter) und die Ausgangsvariablen (Anlagenparameter), welche für den Betrieb des Objektes benötigt werden. Dabei kann es sich zum Beispiel um eine IP-Adresse handeln, wenn das Objekt über eine TCP/IP-Schnittstelle angesprochen wird. Falls das Objekt direkt mit E/A-Klemmen interagieren muss, kann dies über die Anlagenparameter gemacht werden.

Steuerungselemente:
Die Steuerungselemente sind für die Bedienung des Objektes angedacht. Hier wird das Objekt gestartet, gestoppt oder resettet. Zusätzlich werden auch Informationen über den Zustand des Objektes angegeben.

Betriebselemente:
Die Betriebselemente sind für den allgemeinen Betrieb des Objekts angedacht, welche nicht mit dem spezifischen Prozess zu tun haben. Dies ist zum Beispiel die Schnittstelle zum System, welche eine Aussage über Systemzustand macht.

Prozesselemente:
Die Prozesselemente sind spezifische Informationen, welche das Objekt für die Ausführung benötigt.

Die Steuerungs-, Betriebs- und Prozesselemente erfüllen somit die gleichen Aufgaben wie beim Skill. Zwischen der Struktur von Objekt und Skill gibt es somit Parallelen, welche die Verständlich- und Übersichtlichkeit des Gesamtsoftware verbessern. Die Steuerungselemente umfassen die Gleichen Methoden und Eigenschaften wie die Skills *(Umsetzung dieser unterscheidet sich jedoch)*.

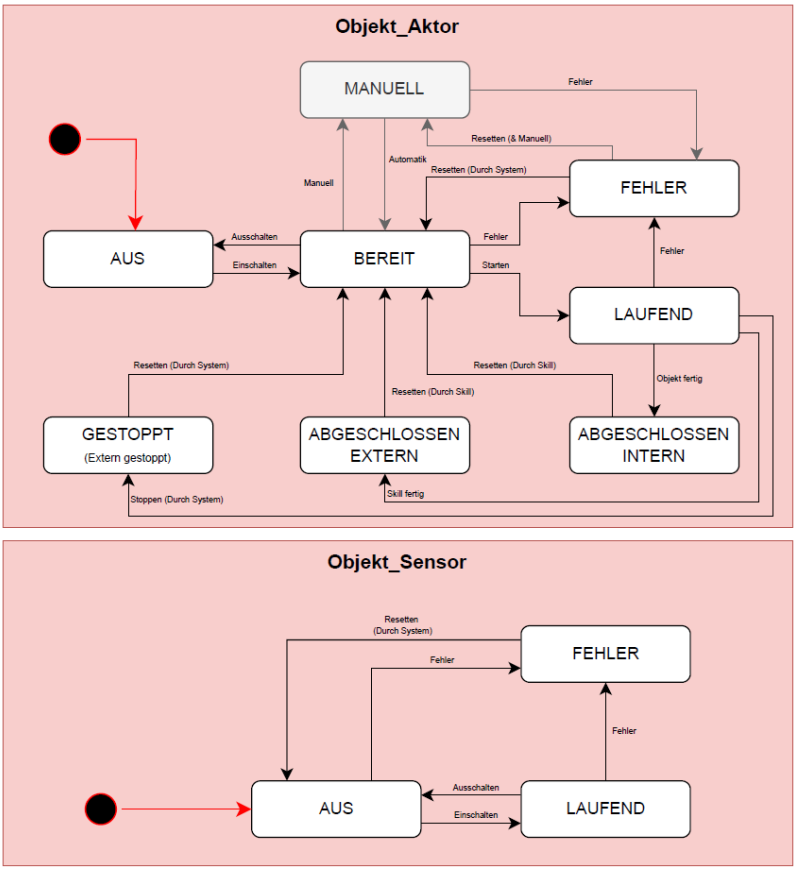
Art	Bezeichnung	Typ	Beschreibung
Methode	M_Start	BOOL	Methode zum Starten des Objektes
Methode	M_Stop	BOOL	Methode zum Stoppen des Objektes
Methode	M_Reset	BOOL	Methode zum Resetten des Objektes
Eigenschaft	P_State (GET)	eObjectAktorState / eObjectSensorState	Eigenschaft zum Abfragen des aktuellen Zustandes

Die Eigenschaft wird mit einem benutzerdefinieren Datentyp umgesetzt, welche die Zustände des Objektes abbildet. Somit ist immer klar, in welchem Zustand sich das Objekt im Moment befindet. Dabei unterscheidet man zwischen Aktor und Sensor.

Listen-Nummer	eObjectAktorState	eObjectSensorState
0	*AUS*	*AUS*
1	*BEREIT*	*LAUFEND*
2	*MANUELL*	*FEHLER*
3	*LAUFEND*	/
4	*ABGESCHLOSSEN_INTERN*	/
5	*ABGESCHLOSSEN_EXTERN*	/
6	*GESTOPPT*	/
7	*FEHLER*	/

In Kapitel XXX (Struktur) wurden die Zustände eines Objekts definiert. Dies stellte einen wichtigen Schritt dar, um die allgemeine Interaktion zwischen System, Skill und Objekt festzulegen. Basierend auf diesen Zuständen wurden die finalen Zustände eines Objekts spezifiziert.

Ein Aktor-Objekt erweitert diese Zustände um einen zusätzlichen Zustand für den manuellen Betrieb. Ein Sensor-Objekt hingegen kann deutlich einfacher gestaltet werden: Sobald das System eingeschaltet wird, ist der Sensor aktiv. Dieser Zustand wird nur durch das Ausschalten des Systems oder das Auftreten eines Fehlers verlassen.



Auch in der Struktur unterscheiden sich Aktor- und Sensor-Objekte geringfügig. Sensor-Objekte verfügen über keine Steuerungsmethoden wie Start, Stop oder Reset. Stattdessen werden diese Funktionen vom System über die Betriebsvariablen gesteuert.

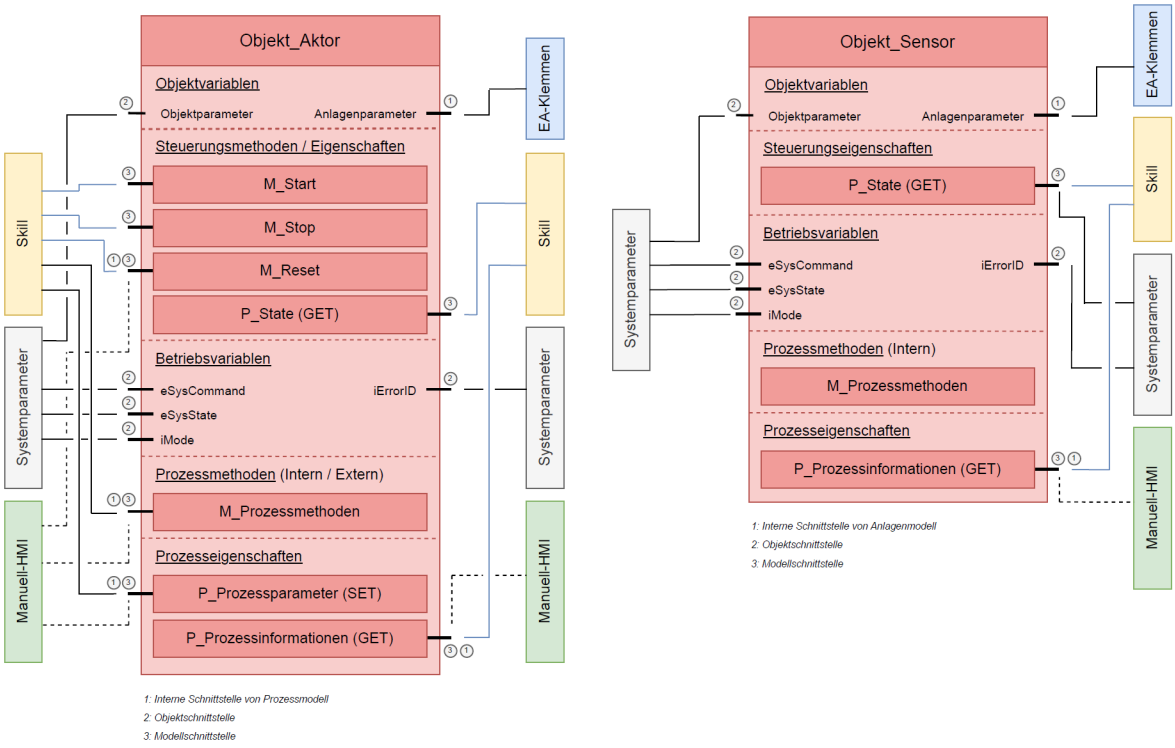
Beide Objekt-Typen verwenden jedoch dieselben Betriebsvariablen:

Art	Bezeichnung	Typ	Beschreibung
Eingangsvariabel	eSysCommand	eSystemCommand	Befehlsvariabel von System zu Objekt
Eingangsvariabel	eSysState	eSystemStatus	Informationen über System (Systemparameter)
Eingangsvariabel	iMode	INT	Momentaner Modus von Objekt (Manuell / Automatik)
Ausgangsvariabel	iErrorID	INT	Information um welchen Fehler es sich handelt

Wie in Kapitel XXX beschrieben, verfügt ein Objekt über ein Interface, das die Steuerungselemente und Prozesseigenschaften definiert. Dieses Interface hängt von den erforderlichen Prozessparametern bzw. Prozessinformationen sowie davon ab, ob es sich um einen Aktor oder einen Sensor handelt.

Die Prozessinformationen umfassen beispielsweise Messwerte eines Sensors oder die aktuelle Position eines Roboters.

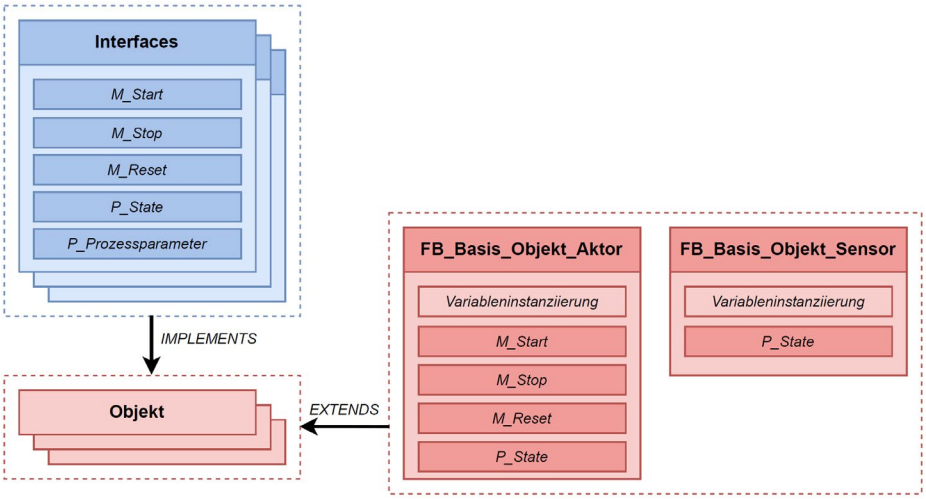
Die Grundstruktur eines Objekts wird im folgenden Schema dargestellt. Es zeigt übersichtlich, wie das Objekt über die verschiedenen Schnittstellen im System interagiert.



Umsetzung in TwinCat

Allgemeine Struktur

Die Programmierung der Objekte soll, ähnlich wie bei den Skills, möglichst einfach und übersichtlich gestaltet sein. Die Grundstruktur ist dabei identisch zu der der Skills. Ein Interface legt fest, welche Methoden und Eigenschaften ein Objekt zwingend besitzen muss.
Die gemeinsamen Steuerungselemente und Betriebsvariablen werden durch Vererbung implementiert, sodass sie für alle Objekte einheitlich verfügbar sind. Unterschiede ergeben sich zwischen Aktoren und Sensoren: Während ein Aktor in der Regel umfangreicher definiert werden muss, kann ein Sensor deutlich einfacher und schlanker gestaltet werden.



Im Basis-Funktionsbaustein «FB_Basis_Objekt_Aktor» wurden die Betriebs-, Management- und Zustandsvariablen festgelegt. Auch hier zeigt sich die Parallele zum Aufbau des Skill-Basis-Funktionsbausteins, wodurch eine einheitliche Struktur gewährleistet wird.

```
FUNCTION_BLOCK FB_Basis_Objekt_Aktor
VAR_INPUT
    // Betriebsvariablen
    eSysState           :eSystemState;          // Information über Stand von System
    eSysCommand         :eSystemCommand;        // Steuerungsvariabel von System
    iMode               :INT;                   // Information über aktuellen Betriebsmodi
END_VAR
VAR_OUTPUT
    iErrorID            :INT;                   // Information um welchen Fehler es sich handelt
END_VAR
VAR
    // Managementvariablen
    iState              :eObjectAktorState;     // Information über Zustand von Objekt

    // Zustandsvariablen
    bEinschalten            :BOOL;              // Objekt einschalten
    bAusschalten            :BOOL;              // Objekt ausschalten
    bStarten                :BOOL;              // Objekt starten
    bObjektFertig           :BOOL;              // Objekt hat Prozess abgeschlossen
    bSkillFertig            :BOOL;              // Skill hat Prozess abgeschlossen
    bStoppen                :BOOL;              // Objekt wurde gestoppt
    bResettenSkill          :BOOL;              // Das Objekt wird durch den Skill resettet
    bResettenSystem         :BOOL;              // Das Objekt wird durch das System resettet
    bFehler                 :BOOL;              // Das Objket hat einen Fehler
END_VAR
```

Der Basis-Funktionsbaustein «FB_Basis_Objekt_Sensor» verwendet dieselben Variablen wie der Aktor-Baustein. Allerdings wird für die Variable iState der benutzerdefinierte Datentyp «eObjectSensorState» verwendet.

Da ein Sensor im Vergleich zu einem Aktor weniger Zustände besitzt, sind bei den Zustandsvariablen deutlich weniger Transitionen abzubilden.

Der Basis-Funktionsbaustein des Aktor-Objekt implementiert auch die Steuerungsmethoden der Objekte. Die Methoden wurden wie folgt umgesetzt:

M_Start	M_Stop	M_Reset

`// Prüfen von Bedingungen`
`  // Ist das  System im korrekten Status`
`  IF eSysState = 1 THEN`
`  // Ist das Objekt im korrekten Status`
`  IF iState = 0 THEN`
`  bStarten := TRUE;`
`  END_IF`
`  END_IF`
 	
`IF bStarten THEN`
`  M_Start := TRUE;`
`ELSE`
`  M_Start := FALSE;`
`END_IF`
	`// Ist das Objekt im korrekten Status`
	`IF iState = 3 THEN`
	`  bStoppen := TRUE;`
	`END_IF`
	
	`IF bStoppen THEN`
	`  M_Stop := TRUE;`
	`ELSE`
	`  M_Stop := FALSE;`
	`END_IF`
		`bResettenSkill := TRUE;`
		
		`IF bResettenSkill THEN`
		`  M_Reset := TRUE;`
		`ELSE`
		`  M_Reset := FALSE;`
		`END_IF`

Die Methode M_Start überprüft zunächst den Status des Systems und anschliessend den Status des Objekts. Beide müssen sich im BEREIT-Zustand befinden, damit die Start-Variable aktiviert werden kann. Die Aktivierung der Variablen erfolgt nur, wenn sowohl das System als auch das Objekt die erforderlichen Voraussetzungen erfüllen.

Die Stop-Methode kann ausschliesslich im LAUFEND-Zustand des Objekts ausgeführt werden. Für die Reset-Methode gibt es hingegen keine Bedingungen; sie kann unabhängig vom aktuellen Zustand des Systems oder des Objekts verwendet werden.

Definierung des Grund-Objektes

Das Grundobjekt definiert den Aufbau des Objektes, nachdem sich alle Objekte richten. Der Aufbau gliedert sich in fünf Hauptbereiche: Instanziierungen, Input-Command-Verwaltung, Interner Methodenaufruf, Datenerfassung und Zustandsmanagement.

Instanziierungen:

Der Bereich wird genutzt, um notwendige, im Objekt-Funktionsbaustein instanziierte, TwinCat-Funktionsbausteine aufzurufen. Diese werden nicht in Methoden aufgerufen, da es dabei zu Problemen kommen kann. Während der Entwicklung wurde die Erfahrung gemacht, dass beim Arbeiten mit Kommunikationsbausteinen für TCP/IP-Schnittstellen in einer Methode, Fehler auftreten können. Die Kommunikation ist nicht robust und es kann zu Fehlern kommen. Wenn der Kommunikationsbaustein aber im Objektbaustein selbst aufgerufen wird und die Methode nur auf das Eingangssignal einwirkt, ist die Funktionalität stabiler und reproduzierbarer. Bei der detaillierten Beschreibung der umgesetzten Objekte wird gezeigt, wie Funktionsbausteine aufgerufen werden.

Input-Command-Verwaltung:

Die Input-Command-Verwaltung analysiert über die Variabel «eSysCommand», ob das System einen Befehl vorgibt. Das System kann das Objekt einschalten, ausschalten, stoppen und resetten. Gewisse Befehle können nur ausgeführt werden, wenn sich das Objekt in einem bestimmen Zustand befindet.

Interner Methodenaufruf:

Wie der Name beschreibt, werden Methoden aufgerufen, welche nicht von aussen ausgeführt werden. Dabei kann es sich um Methoden handeln, welche zum Beispiel ausgeführt werden müssen, dass das Objekt eingeschalten wird und von «AUS» zu «BEREIT» wechseln kann.

Datenerfassung:

Der Bereich Datenerfassung wird der Prozess durchgeführt, welcher für die Erfassung von notwenigen Daten notwendig ist. Dazu gehört der Aufbau der Verbindung, das Auslesen von Daten und das Verarbeiten der Daten, so dass das Objekt damit arbeiten kann. Dies ist erforderlich, da manche Objekte bestimmte Informationen für Funktionen benötigen. Damit zum Beispiel ein Roboter-Objekt beurteilen kann, ob die Bewegung abgeschlossen wurde und dadurch in den Zustand «ABGESCHLOSSEN_INTERN» wechseln kann, muss die aktuelle Position mit der gewünschten Position verglichen werden. Die aktuelle Position wird hierbei unter Datenerfassung erfasst. Es geht grundsätzlich um Daten, die während dem Betrieb des Objektes ausgewertet werden müssen.

Zustandsmanagement:

Wie bei den Skills werden unter Zustandsmanagement die Zustände des Objektes umgesetzt. Für die Umsetzung wurde auch hier mit einer CASE-Anwendung gearbeitet.

Zustand 0 – AUS:	Der Zustand prüft nur, ob das Objekt durch das System eingeschalten wird. Sobald die entsprechende Variabel aktiviert ist, wechselt das Objekt in den Zustand «BEREIT»
Zustand 1 – BEREIT:	Das Objekt kann entweder gestartet, wieder ausgeschalten oder in den Manuell-Modus geschalten werden. Beim Start des Prozesses durch einen Skill, wird die entsprechende interne Methode ausgeführt und der Zustand wechselt zu «LAUFEND». Das Ausschalten kann nur durch das System gemacht werden.
Zustand 2 – MANUELL:	Der Zustand implementier alle Funktionalität, welche das Objekt hat, so, dass diese manuell verwendet werden können. Dies kann zum Beispiel das manuelle Anfahren von Punkten mir dem Roboter sein.
Zustand 3 – LAUFEND:	Ein Objekt kann auf 2 Arten gestoppt werden, durch externen Einfluss oder das Objekt beendet den Prozess von selbst. Beides muss im Zustand überwacht werden. Beim Stoppen durch den Skill, wechselt das Objekt in den Zustand «ABGESCHLOSSEN_EXTERN». Falls das Objekt selbst den Prozess stoppt, wechselt dieses in den Zustand «ABGESCHLOSSEN_INTERN». Auch das System kann das Objekt stoppen, in diesem Fall wechselt das Objekt in den Zustand «GESTOPPT», da dies ein Stoppen ausserhalb des ordentlichen Prozesses darstellt. Wie der Stop-Prozess

	innerhalb des Zustandes umgesetzt wird, kann von Objekt zu Objekt unterschiedlich sein.
Zustand 4 – ABGESCHLOSSEN_INTERN:	Im Zustand wird auf den Reset-Befehl des Skills gewartet. Sobald dieser erkannt wird, wechselt das Objekt auf «BEREIT».
Zustand 5 – ABGESCHLOSSEN_EXTERN:	Im Zustand wird auf den Reset-Befehl des Skills gewartet. Sobald dieser erkannt wird, wechselt das Objekt auf «BEREIT».
Zustand 6 – GESTOPPT:	Im Zustand wird auf den Reset-Befehl des Systems gewartet. Sobald dieser erkannt wird, wechselt das Objekt auf «BEREIT».
Zustand 7 – FEHLER:	Im Zustand wird auf den Reset-Befehl des Systems gewartet. Sobald dieser erkannt wird, wechselt das Objekt auf «BEREIT».

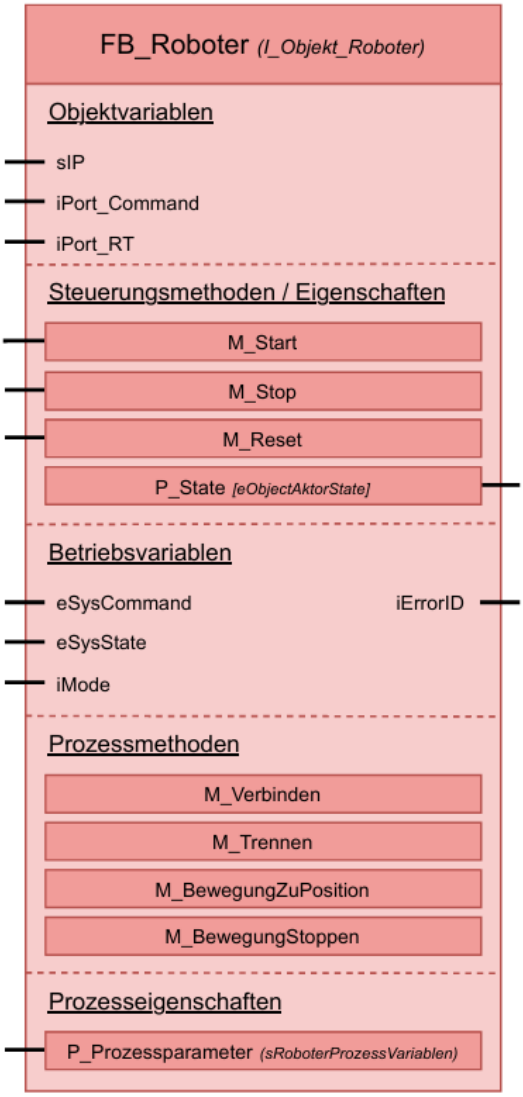
Erarbeitete Skills

Objektklasse für UR5 (FB_Roboter):

Die Objektklasse implementiert das Interface «I_Objekt_Roboter», welches die Steuerungselemente des Objektklasse vorgibt. Als Objekt-Eingangsvariablen benötigt die Objektklasse eine IP-Adresse und zwei Port-Angaben. Die genaue Definition dieser Angaben wird in den folgenden Seiten erklärt. Es gibt keine Objekt-Ausgangsvariablen, welche mit EA-Klemmen verbunden werden müssten. Die Verbindung zum Roboter wird über TwinCat-Funktionsbausteine durchgeführt, welche gleichzeitig auch die direkte Schnittstelle darstellen.

Die Steuerungs- und Betriebsvariablen bleiben unverändert zum Basis-Funktionsbaustein.

Als Prozessmethoden wurden M_Verbinden, M_Trennen, M_BewegungZuPosition und M_BewegungStoppen definiert. Diese Methoden decken die Grundfunktionen der Schnittstelle zum Roboter und dessen Funktionalität ab, um die definierte Anwendung umsetzen zu können. Damit weitere Funktionalitäten abgebildet werden könnten, müssten weitere Methoden hinzugefügt werden. Die Prozesseigenschaften bestehen aus den Prozess-parametern, die für eine Punkt-zu-Punkt-Bewegung des Roboters benötigt werden.



Wie bereits in Kapitel XXX angesprochen, besitzt der UR5 eine TCP/IP-Schnittstelle. Unterschiedliche Ports haben dabei unterschiedliche Funktionen.

CB-Series							
	Primary		Secondary		Real-time		Real-time Data Exchange (RTDE)
Port no.	30001	30011	30002	30012	30003	30013	30004
Frequency [Hz]	10	10	10	10	125	125	125
Receive	URScript commands	-	URScript commands	-	URScript commands	-	Various data
Transmit	See attachment from the bottom		See attachment from the bottom		See attachment from the bottom		See RTDE Guide

Bemerkung:

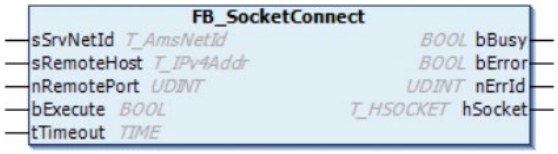
Beim eingesetzten Controller handelt es sich um einen CB2. Diverse Funktionalitäten der Schnittstellen oder zur Verfügung gestellte Dokumentationen richten sich an Controller ab Version CB3. Dies hat während der Entwicklung zu grossen Problemen geführt und viel Zeit in Anspruch genommen, vor allem bezüglich des Real-Time-Interfaces. Dieses wird in dieser Form nicht mehr unterstützt und wurde durch RTDE (Real-time Data Exchange) ersetzt, welche deutlich umfangreichere Funktionen bietet. Mittels Referenzprogrammen und alten Dokumentation konnte aber auch mit dem Real-Time-Interface gearbeitet werden.

Über die Secundary-Schnittstelle (Port 30002) kann dem Roboter Befehle in der UR-eigenen UR-Script-Programmiersprache übergeben werden. Alle möglichen Befehle lassen sich aus der entsprechenden Dokumentation herauslesen (Anhang).

Über die Real-Time-Schnittstelle (Port 30003) kann ich Informationen über den Roboter in Echtzeit erhalten. Dabei erhält man ein Datenpaket von 812 Byte, bei welchem jede Position für eine bestimmte Information steht.

Bezeichnung	UR-Datentyp	Datentyp TwinCat	Byte-Grösse	Beschreibung
messageSize	Integer	LREAL	4	Gesamtlänger der Nachricht in Bytes
timestamp	double	LREAL	8	Zeitdauer seit Controller gestartet wurde
qTarget	double	LREAL	48	Zielposition der Gelenke
qdTarget	double	LREAL	48	Zielgeschwindigkeit der Gelenke
qddTarget	double	LREAL	48	Zielbeschleunigung der Gelenke
iTarget	double	LREAL	48	Zielstrom der Gelenke
mTarget	double	LREAL	48	Zielmoment der Gelenke
qActual	double	LREAL	48	Aktuelle Position der Gelenke
qdActual	double	LREAL	48	Aktuelle Geschwindigkeit der Gelenke
iActual	double	LREAL	48	Aktueller Strom der Gelenke
toolAccelerometerValues	double	LREAL	24	Tool-Beschleunigungswerte (x, y und z)
unused_1	/	/	120	/
tcpForce	double	LREAL	48	Kräfte beim TCP
toolVector	double	LREAL	48	Zielkoordinaten des Tools
tcpSpeed	double	LREAL	48	Zielgeschwindigkeit des Tools
digitalInputBits	double	LREAL	8	Aktueller Zustand der digitalen Eingänge
unused_2	/	/	120	/

Das korrekte Auslesen des Datenpaketes ist für den fehlerfreien Betrieb des Roboters essenziell. Eine falsche Interpretierung der Daten kann zu unerwarteten Verhalten des Roboters führen. Der Schnittstelle muss auch genug Zeit gelassen werden, dass das komplette Datenpaket von 812 Byte verwendet werden kann.
In TwinCat wurde für die Kommunikation mit dem Roboter das Paket TF6310 (TwinCAT 3 | TCP/IP) verwendet. Das Paket stellt verschiedene Funktionsbausteine zur Verfügung, welche für die Kommunikation über TCP/IP benötigt werden. Der UR5 ist dabei der Server und das TwinCat der Client. Folgende vier Bausteine sind relevant für die Kommunikation mit dem Roboter:

FB_SocketConnect	FB_SocketClose
	
FB_SocketSend	**FB_SocketReceive**
	

Für eine detaillierte Beschreibung des TF6310-Pakets kann entsprechende Dokumentation angeschaut werden. FB_SocketConnect ist für die Verbindung mit dem Server zuständig. Folgende zwei Informationen werden für die Verbindung zum UR5 benötigt:

sRemoteHoste:	*192.168.1.100*	IP-Adresse des Roboters
sRemotePort:	*30002*	Verbindung mit Secundary-Schnittstelle
	30003	Verbindung mir Real-Time-Schnittstelle

Die Variable «sSrvNetId» kann mit einem Leerstring versehen werden, da der TwinCAT TCP/IP Connection Server auf dem lokalen Rechner läuft. Sobald der Funktionsbaustein über «bExecute» gestartet wird und eine Verbindung zum TCP/IP-Server erfolgreich aufgebaut werden konnte, wird ein TCP/IP-Verbindungshandle erstellt. Dieser wird über «hSocket» zur Verfügung gestellt. Über dieses Handle können Daten an einen Socket gesendet oder empfangen werden. Mit FB_SocketClose kann die Verbindung zum Kommunikationssocket geschlossen werden.
Zum Senden und Empfangen von Daten werden FB_SocketSend und FB_SockerReceive verwendet. Bede Funktionsbausteine benötigen den definierten TCP/IP-Verbindungshandle, die Anzahl der zu sendenden Daten in Bytes («cbLen») und die Pointer-Adresse des Sendepuffers («pSrc» / «pDest»).

Die UR5-Objektklasse hat grundsätzlich folgenden Aufgaben:

- Aufbau und Verwaltung der Verbindung zum UR5-Roboter über TCP/IP
- Entgegennahme und Vorbereitung der Prozessdaten
- Senden des entsprechenden Befehls an den Roboter, damit eine Bewegung durchgeführt wird
- Senden des entsprechenden Befehls an den Roboter, dass eine Bewegung gestoppt werden kann
- Entgegennahme, Verarbeitung und Auswertung der vom Roboter gesendeten Daten

Für den Aufbau und Verwaltung der Kommunikation, werden alle relevanten Funktionsbausteine im Bereich «Instanziierungen» der Objektklasse aufgerufen und mit den allgemeinen Variablen verknüpft. Variablen wie die zu senden Daten werden erst in der entsprechenden Methode zugewiesen.

```
Send_START(sSrvNetId := sSrvNetId,
        hSocket := hSocket,
        tTimeout := tTimeout,
        bError => bFehler,
        nErrId => iErrorID);
```

Über die Methoden «M_Verbinden» und «M_Trennen» werden die entsprechenden Trigger der Funktionsbausteine aktiviert und dieses auszulösen.

Die Prozessdaten, welche durch den Skill zur Verfügung gestellt werden, werden über die Eigenschaft «P_Prozessparameter» an das Objekt übergeben. Die Daten werden mittels einer benutzerdefinierten Struktur, mit folgender Definition, übergeben:

```
TYPE sRoboterProzessVariablen :
STRUCT
    q1                  :LREAL;             // X-Koordinate oder Gelenkwinkel 1
    q2                  :LREAL;             // Y-Koordinate oder Gelenkwinkel 2
    q3                  :LREAL;             // Z-Koordinate oder Gelenkwinkel 3
    q4                  :LREAL;             // Orintierung um X-Achse oder Gelenkwinkel 4
    q5                  :LREAL;             // Orientierung um Y-Achse oder Gelenkwinkel 5
    q6                  :LREAL;             // Orientierung um Z-Achse oder Gelenkwinkel 6
    v                   :LREAL;             // Geschwindigkeit
    a                   :LREAL;             // Beschleunigung
    PosTyp              :eRobPosType;       // Position-Typ definieren (Absolut / Relativ)
    MoveTyp             :eRobMoveType;      // Bewegungsart definieren (Linear / Circular etc.)
END_STRUCT
END_TYPE
```

Die Prozessdaten werden innerhalb der Methode «M_BewegungZuPosition» analysiert, in die korrekte Form gebracht und versendet. Die Methode prüft in einem ersten Schritt, um welche Positionsart es sich handelt. Es kann zwischen absolut und relativ unterschieden werden. Je nach Positionsart werden die Koordinaten anders ausgelegt. Der nächste Schritt ist die Bestimmung der Bewegung. Jede Bewegungsart hat einen definierten Befehl in der URScript-Porgrammiersprache. Am Ende kann der Befehl-String zusammengesetzt werden. Ein Befehl-String besteht in der Regel aus dem entsprechenden Befehls-Wort, der Position, der Geschwindigkeit und Beschleunigung.

Beispiel für einen solchen Befehl-String:

movel(p[x,y,z,rx,ry,rz], a, v)	*movel :*	Lineare Bewegung im kartesischen Koordinatensystem
	P[x,y,z,rx,ry,rz] :	Informationen über anzufahrenden Punkt [m & rad]
	a :	Beschleunigung [m/s^2]
	v :	Geschwindigkeit [m/s]

Wichtig:

Jeder URSript-Befehl muss mit «\n» beendet werden. Der String kann aber nicht einfach mit diesen Angaben ergänzt werden. Bei der Umwandlung von einem String in einen Byte-Array wird diese Endung «falsch» übersetzt (mit dem Wert 42). Für die korrekte Interpretation des Befehls durch den Kontroller muss am Ende aber eine 10 stehen. Diese muss dem Byte-Array angehängt werden. Wahrscheinlich ist dies auf unterschiedliche Interpretation von Low- und High-Byte zurückzuführen (die Reihenfolge der Bytes wird dabei vertauscht und führt zu falschen Resultaten). Dies hat zu diversen Problemen geführt in Zusammenhang mit der TCP/IP-Schnittstelle.

In folgendem Code-Snippet wird das Byte-Array mit dem Wert 10 ergänzt und anschliessend über den TCP/IP-Funktionsbaustein «FB_SocketSend» an den Server verwendet.

```
// Vorbereiten von Array
    CommandArray.sValue := Command;
    CommandArray.arrByte[LEN(CommandArray.sValue)] := 10;

// Senden von Array
    Send_START(cbLen := LEN(CommandArray.sValue),
            pSrc := ADR(CommandArray.arrByte),
            bExecute := TRUE);
```

Mit der Methode M_BewegungStoppen wird grundsätzlich dasselbe gemacht. Nur der Befehl-String ändert sich auf den entsprechenden Befehl.

Im Bereich «Datenerfassung» wird kontinuierlich der aktuelle Wert der Gelenkposition und Geschwindigkeit erfasst, wie auch die TCP-Position. Die Erfassung arbeitet dabei fortlaufend vier Schritte ab:

Schritt 1: Verbindungsaufbau zu Real-Time-Schnittstelle des Roboters

Schritt 2: Empfangen des Datenpakets (812 Bytes)

Schritt 3: Verarbeitung der Rohdaten

Schritt 4: Trennung der Verbindung zur Real-Time-Schnittstelle

Erfahrungen haben gezeigt, dass die Schnittstelle immer wieder geschlossen und neu geöffnet werden muss, damit Daten verlässlich ausgelesen werden konnten. Wird dies nicht gemacht, so werden die Daten nur das erste Mal empfangen und behalten anschliessend diese Werte.

Ein Positions- oder Geschwindigkeitswert setzen sich jeweils aus 8 Bytes zusammen. Diese können über eine UNION-Datenstruktur zu einem LREAL-Wert zusammengefügt werden. Da TwinCat die Low- und High-Bytes anders interpretiert als der Roboter-Kontroller, muss die Reihenfolge des Arrays in einem ersten Schritt umgedreht werden. Anschliessend können diese mittels einer UNION-Datenstruktur umgewandelt werden.

Diese Werte werden im Zustand «LAUFEND» verwendet, um zu prüfen, ob der Roboter die gewünschte Position bereits erreicht hat. Falls die Differenz zwischen der aktuellen und gewünschten Position einen definierten Grenzwert unterschreitet, gilt die Position als erreicht.

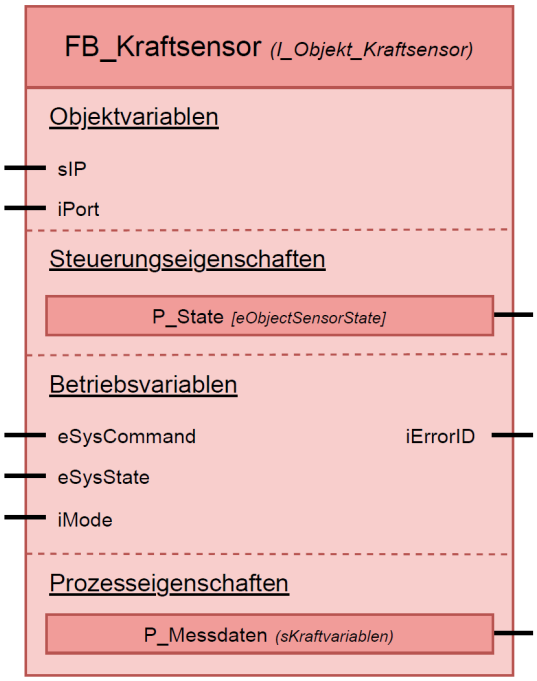
```
// Vergleich zwischen IST und SOLL
// Kartesisch
IF Prozessvariablen.MoveTyp = 0 OR Prozessvariablen.MoveTyp = 3 THEN
    IF ABS(ABS(TargetPosition.q1) - ABS(ToolPosition.q1)) < 0.001 THEN
        bQ1 := TRUE;
    END_IF

    IF ABS(ABS(TargetPosition.q2) - ABS(ToolPosition.q2)) < 0.001 THEN
        bQ2 := TRUE;
    END_IF

    IF ABS(ABS(TargetPosition.q3) - ABS(ToolPosition.q3)) < 0.001 THEN
        bQ3 := TRUE;
    END_IF

    IF ABS(ABS(TargetPosition.q4) - ABS(ToolPosition.q4)) < 2 THEN
        bQ4 := TRUE;
    END_IF

    IF ABS(ABS(TargetPosition.q5) - ABS(ToolPosition.q5)) < 1 THEN
        bQ5 := TRUE;
    END_IF

    IF ABS(ABS(TargetPosition.q6) - ABS(ToolPosition.q6)) < 1 THEN
        bQ6 := TRUE;
    END_IF
END_IF
```

Beim Stoppen der Bewegung kann über die aktuelle Geschwindigkeit ermittelt werden, ob der Roboter angehalten hat und somit die Bewegung abgeschlossen wurde.

Objektklasse für HEX-E (FB_Kraftsensor):

Die Objektklasse implementiert das Interface «I_Objekt_Kraftsensor» und gehört zur Kategorie der Sensor-Objekte. Daher enthält sie keine Steuerungsmethoden, sondern lediglich eine Steuerungseigenschaft. Für den Betrieb der Objektklasse sind eine IP-Adresse und eine Port-Nummer als Eingabevariablen erforderlich. Analog zur Roboterobjektklasse werden keine Ausgangsvariablen definiert. Die Kommunikation mit dem Sensor erfolgt ebenfalls über TwinCat-Funktionsbausteine.

Die Steuerungs- und Betriebsvariablen bleiben unverändert gegenüber dem Basis-Funktionsbaustein.Die Objektklasse benötigt keine Prozessmethoden. Die Prozesseigenschaft stellt die Messwerte des Sensors zur Verfügung.



Wie auch bereits in Kapitel XXX angesprochen, besitzt der definierte Kraftsensor eine TCP/IP-Schnittstelle. Die Schnittstelle kann verwendet werden um direkt die Sensor-Rohdaten auszulesen. Um sich mit dem Sensor zu verbinden, muss als Port-Nummer 49151 verwendet werden.

Der Sensor kann Anfragebefehle (20 Bytes) entgegennehmen und Datenpakete (16 Bytes) senden. Dabei ist der Aufbau des Befehls und des Datenpaketes genau vorgegeben. Damit die Daten des Sensors ausgelesen werden können, muss in einem ersten Schritt ein Startbefehl gesendet werden.

Bezeichnung	Sensor-Datentyp	Datentyp TwinCat	Byte-Grösse	Wert des Befehls
Command	UINT8	UINT	1	Der Wert muss 0 sein
Reserved	UINT8	UINT	19	Alle 19 Werte müssen 0 sein

Der Sensor stellt anschliessen das Datenpaket mit folgender Struktur zur Verfügung:

Bezeichnung	Sensor-Datentyp	Datentyp TwinCat	Byte-Grösse	Beschreibung
Header	UINT16	UINT	2	Ein fixer Wert «0x1234»
Status	UINT16	UINT	2	Statuswort des Sensors
Fx	INT16	INT	2	Kraftwert in X-Richtung
Fy	INT16	INT	2	Kraftwert in Y-Richtung
Fz	INT16	INT	2	Kraftwert in Z-Richtung
Tx	INT16	INT	2	Momentwert um X-Achse
Ty	INT16	INT	2	Momentwert um Y-Achse
Tz	INT16	INT	2	Momentwert um Z-Achse

Die Rohmessdaten müssen nun in Newton und Newton/Meter umgewandelt werden. Dies kann mit folgenden Formeln gemacht werden:

Umrechnung der Kraft in Newton	Umrechnung des Moments in Newton/Meter
$F(in\ N) = F * ScaleFactor\ /\ CPF$	$T(in\ N/m) = T * ScaleFactor\ /\ CPT$

Alle Faktoren werden durch den Sensor zur Verfügung gestellt, müssen jedoch über eine Anfrage beantragt werden. Mit folgendem Befehl werden die Faktoren durch den Sensor gesendet:

Bezeichnung	Sensor-Datentyp	Datentyp TwinCat	Byte-Grösse	Wert des Befehls
Command	UINT8	UINT	1	Der Wert muss 1 sein
Reserved	UINT8	UINT	19	Alle 19 Werte müssen 0 sein

Der Sensor schickt darauffolgend ein Datenpaket mit 24 Byte mit folgender Struktur:

Bezeichnung	Sensor-Datentyp	Datentyp TwinCat	Byte-Grösse	Beschreibung
Header	UINT16	UINT	2	Ein fixer Wert «0x1234»
Unit_Force	UINT8	USINT	1	Gibt an, welche Einheit mit Faktoren ermittelt wird
Unit_Torque	UINT8	USINT	1	Gibt an, welche Einheit mit Faktoren ermittelt wird
CPF	UINT32	UDINT	4	Zählwerte pro Kraftwert (Counts per Force value)
CPT	UINT32	UDINT	4	Zählwerte pro Momentwert (Counts per Torque value)
ScaleFactorFx	UINT16	UINT	2	Skalier-Faktor für Kraft in X-Richtung
ScaleFactorFy	UINT16	UINT	2	Skalier-Faktor für Kraft in Y-Richtung
ScaleFactorFz	UINT16	UINT	2	Skalier-Faktor für Kraft in Z-Richtung
ScaleFactorTx	UINT16	UINT	2	Skalier-Faktor für Moment um X-Achse
ScaleFactorTy	UINT16	UINT	2	Skalier-Faktor für Moment um Y-Achse
ScaleFactorTz	UINT16	UINT	2	Skalier-Faktor für Moment um Z-Achse

Folgende Faktoren werden für die Umrechnung in Newton und Netwon/Meter verwendet:

CPF =	10000	*ScaleFactorFx* =	200
CPT =	10000	*ScaleFactorFy* =	200
		ScaleFactorFz =	200
		ScaleFactorTx =	100
		ScaleFactorTy =	100
		ScaleFactorTz =	65

In TwinCat wird wieder mit dem Paket TF6310 (TwinCAT 3 | TCP/IP) gearbeitet, um die Kommunikation zum Sensor aufzubauen. Der Sensor stellt hierbei wieder den Server dar. Entsprechend können die gleichen vier Funktionsbausteine wie beim Roboter verwendet werden.
Für die Verbindung zum Server mittels FB_SocketConnect werden folgende zwei Informationen benötigt:

sRemoteHoste:	*192.168.1.10*	IP-Adresse des Sensors
sRemotePort:	*49151*	Port für TCP-Schnittstelle

Die allgemeine Verwendung der Kommunikationsbausteine bleibt identisch zum Roboter, wie auch der Aufbau der Objektklasse.

Die Kraftsensor-Objektklasse hat grundsätzlich folgenden Aufgaben:

- Aufbau und Verwaltung der Verbindung zum Sensor über TCP/IP
- Entgegennahme, Verarbeitung und Auswertung der vom Roboter gesendeten Daten

Die Objektklasse wertet grundsätzlich die Sensordaten aus, wandelt die Rohdaten um und stellt diese über die Prozesseigenschaft zur Verfügung. Der Prozess der Datenauslesung ist dabei wieder in 4 Schritte aufgeteilt:

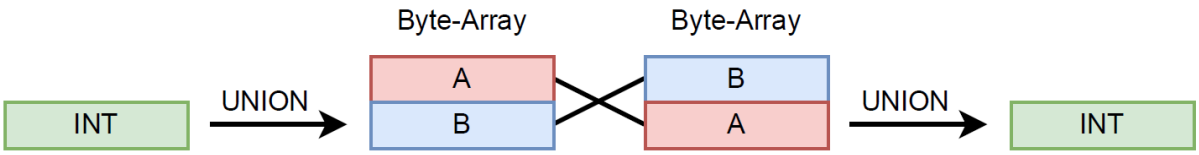
Schritt 1: Verbindungsaufbau zu Real-Time-Schnittstelle des Roboters

Schritt 2: Empfangen des Datenpakets (16 Bytes)

Schritt 3: Verarbeitung der Rohdaten

Schritt 4: Trennung der Verbindung zur Real-Time-Schnittstelle

Auch hier musste berücksichtigt werden, dass die Low- und High-Bytes von TwinCat anders interpretiert, als vom Server vorgesehen. Da der Messwert nur aus zwei Byte besteht, kann dies relativ simpel gemacht werden. Das Prinzip ist wie folgt:



Der über die Kommunikationsschnittstelle erhaltene INT-Wert wird mittels eines UNION-Datentyps in eine Array mit zwei Byte umgewandelt. Die Reihenfolge der Bytes wird umgedreht, damit das Array anschliessend mit einem weiteren UNION-Datentyp, in eine INT-Variable zurückgewandelt wird. Der nun korrekte Rohwert kann jetzt für die Umwandlung in den entsprechende Einheit verwendet werden. In TwinCat sieht dies folgendermassen aus:

```
RohArray.sValue := ReceivedData.Fx;
SwitchArray[0] := RohArray.arrByte[1];
SwitchArray[1] := RohArray.arrByte[0];
SwichValue.arrByte := SwitchArray;
Rohdaten.Fx := SwichValue.sValue;
Messung.Fx := Rohdaten.Fx * ScalefactorFx / (CPF);
```

Die umgewandelten Daten können anschliessend über die Prozesseigenschaft «P_Messdaten» zur Verfügung gestellt werden. Für den Datentyp der Eigenschaft wurde die Struktur «sKraftvariablen» angegeben. Diese benutzerdefinierte Struktur ist wie folgt definiert:

```
TYPE sKraftvariablen :
STRUCT
    Fx                  :LREAL;                 // Kraft in X-Richtung
    Fy                  :LREAL;                 // Kraft in Y-Richtung
    Fz                  :LREAL;                 // Kraft in Z-Richtung
    Tx                  :LREAL;                 // Moment auf X-Achse
    Ty                  :LREAL;                 // Moment auf Y-Achse
    Tz                  :LREAL;                 // Moment auf Z-Achse
END_STRUCT
END_TYPE
```

Objektklasse für 2F-85 (FB_SmartGreifer):