



Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg
Hamburg University of Applied Sciences

Bachelorarbeit

Kai Dischereit

Entwicklung eines Visual-Tracking Roboter-Programmes zur Automatisierung eines Pufferspeichers für PKW-Bremsbeläge

*Fakultät Technik und Informatik
Department Fahrzeugtechnik und Flugzeugbau*

*Faculty of Engineering and Computer Science
Department of Automotive and
Aeronautical Engineering*

Kai Dischereit

**Entwicklung eines Visual-Tracking
Roboter-Programmes zur
Automatisierung eines Pufferspeichers
für PKW-Bremsbeläge**

Bachelorarbeit eingereicht im Rahmen der Bachelorprüfung

im Studiengang Mechatronik
am Department Fahrzeugtechnik und Flugzeugbau
der Fakultät Technik und Informatik
der Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg

in Zusammenarbeit mit:
AUT-FIT Automatisierungstechnik GmbH
Abteilung: Automatisierungstechnik
Scholtzstraße 2
21465 Reinbek

Erstprüfer/in: Prof. Dr. Florian Wenck
Zweitprüfer/in : Prof. Dr. Pawel Buczek

Abgabedatum: 18.08.2020

Zusammenfassung

Kai Dischereit

Thema der Bachelorthesis

Entwicklung eines Visual-Tracking Roboter-Programmes zur Automatisierung eines Pufferspeichers für PKW-Bremsbeläge

Stichworte

Industrieroboter, Bildverarbeitung, Visual-Tracking, Steuerung, Pick-and-Place

Kurzzusammenfassung

Im Rahmen des Umbaus eines Stapelmagazins wird ein Robotersystem von FANUC in den Aufbau integriert. Aufgabe dieses Systems ist es, die Werkstücke mittels Kamera zu erkennen und vom laufenden Förderband aufzunehmen und automatisch in das Magazin zu stapeln.

Diese Arbeit beschäftigt sich dabei mit dem Einrichten des Robotersystems, dazu gehören die Konfiguration und Programmierung des Roboters, sowie das Einrichten des Vision-Systems und Einlernen der Modellmuster. Außerdem werden die Kernprogramme der Hauptsteuerung programmiert und ein Siemens Panel als Bedienoberfläche eingerichtet.

Kai Dischereit

Title of the paper

Designing a visual tracking robot application to automatize a buffer system for car brake pads

Keywords

Industrial robot, image processing, visual tracking, controller, Pick-and-Place

Abstract

During the reconstruction of a stacking magazine a FANUC robot system is integrated. The task of this system is detecting the parts with a camera, picking them from the moving conveyor and placing them into the magazine.

This thesis is centered on the setup of the robot system, which consists of configuring and programming the robot, as well as setting up the vision system and teaching the model patterns. Additionally the core programs of the main controller will be programmed and a Siemens panel will be set up as user interface.

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	III
Tabellenverzeichnis	V
Abkürzungen.....	VI
1 Einleitung	1
2 Technischer Aufbau	4
2.1 Stapelmagazin	4
2.2 Roboter	6
2.3 Steuerung	8
2.4 Sensorik	10
3 Grundlagen	11
3.1 Visual Tracking	11
3.2 Kameraparameter	12
3.2.1 Sichtfeld der Kamera.....	12
3.2.2 Belichtungszeit.....	14
3.2.3 Trigger-Intervall.....	14
3.3 Singularitäten	15
3.4 GPM Locator Tool.....	19
4 System Setup.....	22
4.1 Roboter Setup	22
4.2 Encoder Setup	27
4.3 Kamera Setup	28
5 Einrichten der Roboterzelle.....	31
5.1 Conveyor.....	32
5.2 Tracking Frame.....	33
5.3 Sensor.....	34
5.4 Conveyor Station	37
6 GPM Locator Tool einrichten.....	38
6.1 Vision-Prozess	38
6.1.1 Snap Tool.....	39
6.1.2 Image Filter Tool	40
6.1.3 Image Arithmetic Tool	41
6.2 GPM Modell einlernen.....	42
7 Roboterprogramme	46
7.1 Hauptprogramme	47
7.1.1 Einlagern/PNS0001.....	48
7.1.2 Auslagern/PNS0002.....	49
7.1.3 Grundstellungsfahrt/PNS0003	50
7.1.4 Handbetrieb/PNS0004	51

7.1.5	Pick_T	52
7.1.6	Drop_T	53
7.1.7	Pick	54
7.1.8	Drop	55
7.2	Hilfsprogramme	56
7.2.1	Magnet_OFF	56
7.2.2	Magnet_ON	57
7.2.3	PASS_POS	58
7.2.4	Logic1	59
8	Kommunikation Roboter- Steuerung	60
8.1	Roboterseite	60
8.2	Steuerungsseite	61
9	Implementierung der Steuerung	63
9.1	Steuerung	64
9.2	Bedienpanel	65
10	Zusammenfassung und Ausblick	66
10.1	Zusammenfassung	66
10.2	Ausblick	67
	Literaturverzeichnis	VII
	Anhang	VIII

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1.1	Ausgelieferte Industrieroboter in Tausend Einheiten für 2008 - 2016, Schätzungen bis 2020 [1 S. 8].....	1
Abb. 1.2	Stapelmagazin (altes Modell)	2
Abb. 2.1	Draufsicht Stapelmagazin altes Modell.....	4
Abb. 2.2	Draufsicht Stapelmagazin neues Modell.....	5
Abb. 2.3	FANUC SR-6iA SCARA.....	6
Abb. 2.4	Arbeitsbereich SR-6iA [3 S. 17]	7
Abb. 2.5	Abmaße R-30iB Compact Plus Controller [4 S. 157]	7
Abb. 2.6	Anschlüsse Controller [4 S. 5]	8
Abb. 2.7	Siemens S-1200 [5]	8
Abb. 2.8	Siemens Basic Panel KTP900 [5]	9
Abb. 2.9	FANUC Graustufenkamera mit Linse	10
Abb. 2.10	FANUC Pulsencoder	10
Abb. 3.1	Visual Tracking System Beispiel [7 S. 12]	11
Abb. 3.2	Sichtfeld der Kamera [8 S. 7].....	12
Abb. 3.3	Schematisches Modell SCARA.....	16
Abb. 3.4	Kameraansicht des Werkstücks [2 S. 236]	19
Abb. 3.5	zusätzliches Merkmal in der Geometrie [2 S. 239].....	20
Abb. 3.6	Polarität Hell/Dunkel [2 S. 238].....	20
Abb. 3.7	Parallaxeneffekt [2 S. 242].....	21
Abb. 4.1	Konfiguration I/O.....	23
Abb. 4.2	Stecker JRM18	24
Abb. 4.3	Magnetgreifer.....	24
Abb. 4.4	Pointer-Tool	25
Abb. 4.5	DCS-Sicherheitsbereich [10 S. 33]	26
Abb. 4.6	Encoder Setup.....	27
Abb. 4.7	Kamera Setup.....	28
Abb. 4.8	Kamera-Kalibrierung.....	29
Abb. 4.9	Ergebnis Kamera-Kalibrierung.....	30
Abb. 4.10	Kalibrierungsgitter	30
Abb. 5.1	Workcell-Setup	31
Abb. 5.2	Parameter Conveyor.....	32
Abb. 5.3	Setup Sensor 1	34

Abb. 5.4	Setup Sensor 2	36
Abb. 5.5	Target Position [7 S. 341]	36
Abb. 5.6	Conveyor Station	37
Abb. 6.1	Vision-Prozess.....	38
Abb. 6.2	Snap Tool	39
Abb. 6.3	Image Filter Tool.....	40
Abb. 6.4	Image Arithmetic Tool.....	41
Abb. 6.5	GPM Locator Tool.....	42
Abb. 6.6	Hinzufügen von Mustern für Lernvorgang.....	43
Abb. 6.7	Anpassen des Modells nach Lernvorgang	43
Abb. 6.8	GPM Locator Tool Parameter	44
Abb. 6.9	GPM Locator Tool Suchbereich.....	45
Abb. 7.1	Einlagern vereinfachtes Diagramm.....	48
Abb. 7.2	Auslagern vereinfachtes Diagramm.....	49
Abb. 7.3	Grundstellungsfahrt vereinfachtes Diagramm.....	50
Abb. 7.4	Handbetrieb vereinfachtes Diagramm	51
Abb. 7.5	Pick_T vereinfachtes Diagramm.....	52
Abb. 7.6	Drop_T vereinfachtes Diagramm	53
Abb. 7.7	Pick vereinfachtes Diagramm	54
Abb. 7.8	Drop vereinfachtes Diagramm	55
Abb. 7.9	Magnet_OFF Diagramm	56
Abb. 7.10	Magnet_ON Diagramm.....	57
Abb. 7.11	Pass_Pos vereinfachtes Diagramm.....	58
Abb. 7.12	Logic1 Diagramm.....	59
Abb. 8.1	Profinet-Setup Roboter	60
Abb. 8.2	Profinet-Module Roboter.....	61
Abb. 8.3	Erfolgreiche Zuweisung	62
Abb. 9.1	Startbildschirm Bedienpanel	65
Abb. 10.1	fertiger Prototyp des umgebauten Stapelmagazins	66

Tabellenverzeichnis

Tabelle 2.1	Leistungsdaten SR-6iA [3 S. 15]	6
Tabelle 2.2	Übersicht Anschlüsse S-1200	9
Tabelle 3.1	Kamera Bildparameter [7 S. 24]	13
Tabelle 3.2	Mindestabstand Linsen [8 S. 7]	13
Tabelle 4.1	Startbits Roboter	23
Tabelle 7.1	PNS-Nummern Roboterprogramme	47

Abkürzungen

Δ	Bildversatz
Abb.	Abbildung
CCD	charge-coupled device
D	Höhe der Kamera über dem Werkstück
DCS	Dual Check Safety
DHCP	Dynamic Host Configuration Protocol
E	Belichtungszeit
E/A	Eingang/Ausgang
f	Brennweite der Linse
GPM	Geometric Pattern Matching
GSDML	Generic Station Description Markup Language
HMI	Human-Machine Interface
I/O	Input/Output
IFR	International Federation of Robotics
L	Länge des Kamerasichtfelds
Lc	Größe des CCD-Sensors
Mac	Media access control
PNS	Program Number Selection
SCARA	Selective Compliance Assembly Robot Arm
SPS	speicherprogrammierbare Steuerung
TCP	Tool Center Point/Werkzeugmittelpunkt
TIA	Totally Integrated Automation
v	Geschwindigkeit Förderband

1 Einleitung

Industrieroboter spielen eine entscheidende Rolle bei der Automatisierung von Prozessen, besonders bei repetitiven Vorgängen sind sie dem Menschen durch eine höhere Präzision und Wiederholgenauigkeit überlegen. Außerdem bieten Industrieroboter ein hohes Rationalisierungspotential, was diese besonders in Ländern, in denen die Kosten für Arbeit hoch sind, interessant macht. Anhand Abb. 1.1 kann man sehen, dass die Anzahl der ausgelieferten Roboter in den letzten Jahren stark gestiegen ist. [1 S. 1f]

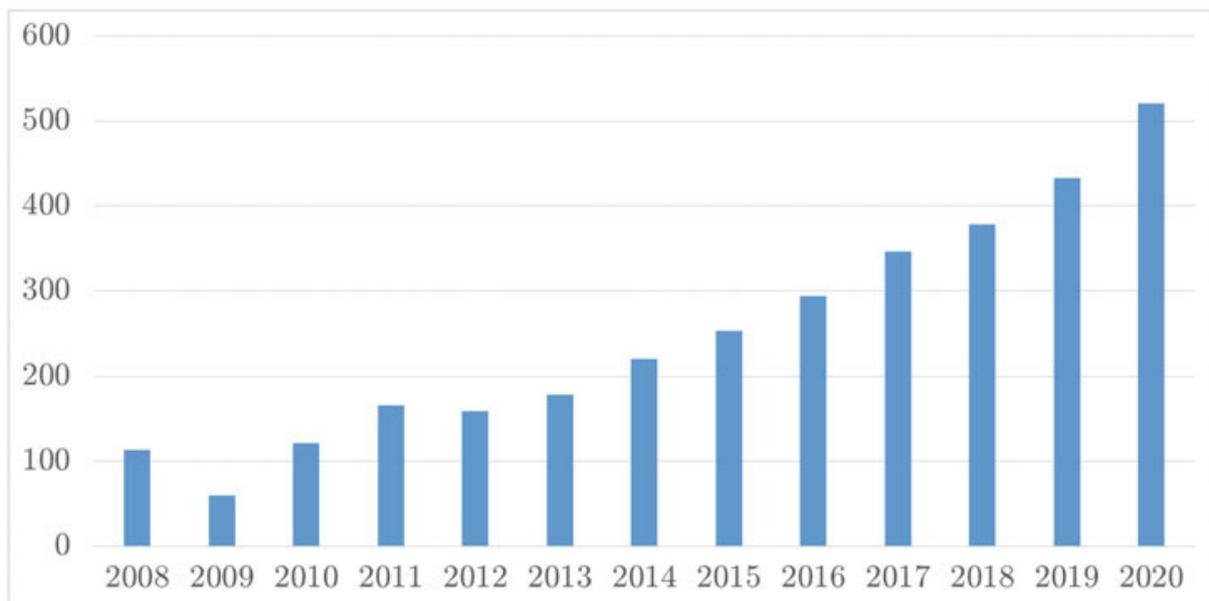


Abb. 1.1 Ausgelieferte Industrieroboter in Tausend Einheiten für 2008 - 2016, Schätzungen bis 2020 [1 S. 8]

Damit ein Industrieroboter jedes Werkstück gleich bearbeitet, ist es wichtig, dass die Werkstücke immer gleich aufgenommen werden, da der Roboter nicht auf solche Änderungen im Prozess reagieren kann. Oft wird in solchen Fällen aufwendige Sensorik benötigt, um sicherzustellen, dass das Werkstück sich in der richtigen Position befindet.

Um diese Beschränkungen aufzuheben, wird der Industrieroboter mit einem Vision-System ausgestattet, mit dem er Abweichungen von der Soll-Position erkennen und ausgleichen kann. Ein Roboter mit einem Robot-Vision-System kann daher flexibel auf Abweichungen im Prozess reagieren. [2 S. 5]

Eine weitere Anwendungsmöglichkeit für ein Robot-Vision-System ist das selbstständige Ausführen einer optischen Sichtprüfung, wobei das aktuelle Bild mit einem Referenzbild verglichen wird.

Im Verlauf der folgenden Arbeit wird ein Roboter der Firma FANUC und das integrierte Softwarepaket iRVision zur Werkstückerkennung verwendet.

Problemstellung:

Bei der Fertigung von Bremsbelägen werden mehrere Produktionsschritte miteinander verknüpft. Falls es in einem Anlagenteil zu einer Störung kommt, wird ein Puffer benötigt, damit nicht die gesamte Produktionskette gestoppt werden muss.

Als Puffer wird dabei unter anderem ein Stapelmagazin wie in Abb. 1.2 verwendet, um die Beläge automatisch auszuschleusen und anschließend wieder einzugliedern.

In diesem Stapelmagazin ist eine Menge Aktorik und Sensorik verbaut, um Beläge zu erkennen, zu stoppen, aufzunehmen und einzulagern. Dadurch, dass immer 3 Beläge gleichzeitig bewegt werden, ist der Aufbau außerdem sehr sperrig.



Abb. 1.2 **Stapelmagazin (altes Modell)**

Ein solches Stapelmagazin soll jetzt als Teil dieser Arbeit neu aufgebaut werden. Das Pneumatik-Handling wird durch einen Roboter ersetzt, und eine Kamera, in Verbindung mit entsprechender Bilderkennungssoftware, ersetzt die Erkennungs-Sensorik. Die Bedienung erfolgt über ein Touch Panel und die Steuerung über ein SPS-Programm. Der Aufbau wird in Kap. 2 noch genauer beschrieben.

Inhalt der Arbeit:

Die umgebaute Anlage soll die Werkstücke mit einer Kamera erkennen können und mit dem Roboter vom laufenden Förderband aufnehmen. Dazu muss ein Vision System eingerichtet und programmiert werden. Die Anlage und der Roboter werden über eine SPS gesteuert. Die Steuerung überwacht das Magazin und startet den Roboter. Es soll ein automatisches Einstapeln und Ausstapeln, sowie ein Handbetrieb möglich sein. Beim Automatikbetrieb soll eine Taktzeit von 3 Sekunden erreicht werden. Die Kommunikation der Systemkomponenten erfolgt dabei über Profinet.

Die Arbeit beinhaltet demnach die folgenden Aufgaben:

- Konfiguration des Roboters und Einrichten der Kommunikation mit der SPS
- Einrichten des Vision Systems, dazu gehören:
 - Installation und Kalibrierung der Kamera
 - Erstellen des Vision-Prozesses
 - Teachen des Modells zur Bauteilerkennung
- Kernprogramme der SPS erstellen
- Bedienoberfläche des Panels erstellen
- Entwickeln der Roboterprogramme

2 Technischer Aufbau

2.1 Stapelmagazin

In Abb. 2.1 ist das alte Modell des Stapelmagazins abgebildet, das überarbeitet werden soll. Beim alten Aufbau werden die Beläge auf dem Förderband von einer Lichtschranke erkannt und das Förderband wird zum Aufnehmen angehalten. Mit einem pneumatischen Schwenkhandling werden die Beläge vom Zulauf auf ein zweites Förderband übergesetzt. Dieser Vorgang wird wiederholt, bis 3 Teile auf dem zweiten Band liegen. Anschließend werden die Teile von einem 2. Übersetzhandling aufgenommen und im Wechsel in die Magazine links und rechts gestapelt. Nach dem Ablegen wird die jeweilige Seite nach unten gefahren, die Höhe wird dabei von einer Lichtschranke überwacht. Der Schaltschrank befindet sich auf dem Dach der Anlage, wie in Abb. 1.2 zu sehen. Die gesamte Anlage enthält 6 Magazine.

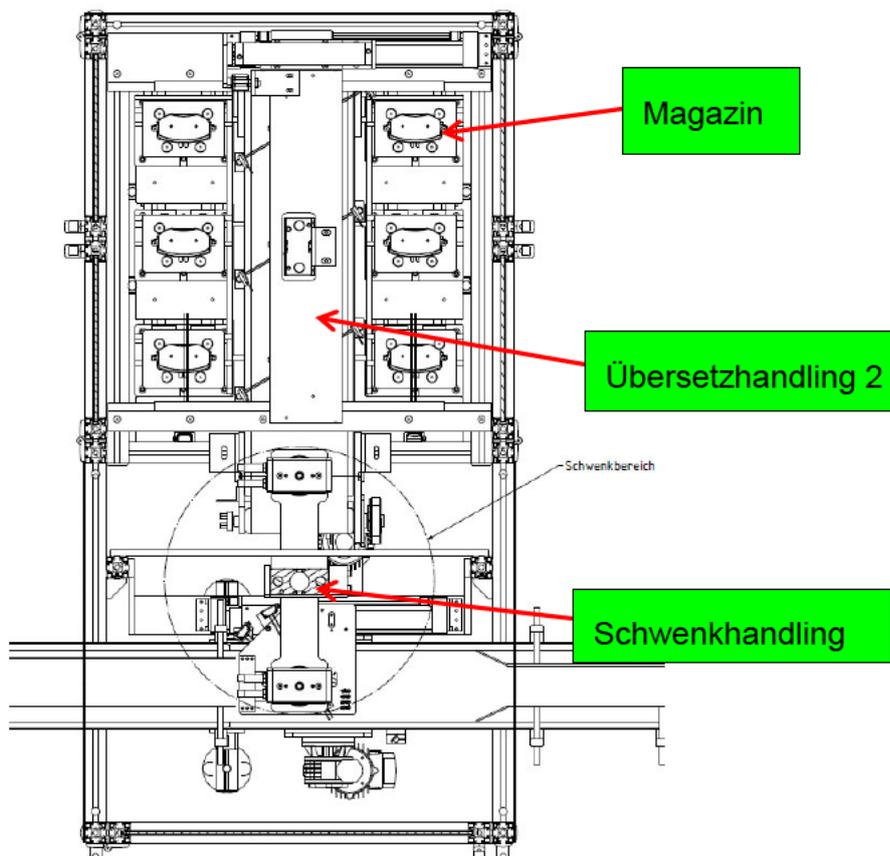


Abb. 2.1 Draufsicht Stapelmagazin altes Modell

2 Technischer Aufbau

Im Verlauf dieser Arbeit wurde das Stapelmagazin jetzt umgebaut, das neue Modell ist in Abb. 2.2 zu sehen. Beim neuen Modell entfällt das Schwenkhandling und das Übersetzhandling zum Stapeln der Beläge wurde durch einen Roboter ersetzt. Die Magazine wurden, abgesehen von geringfügigen Veränderungen, aus dem alten Modell übernommen. Die Lichtschranken zur Belagserkennung wurden durch eine Kamera ersetzt. Dadurch, dass jetzt alle Magazine gleichzeitig bewegt werden, wird nur noch eine Lichtschranke zur Kontrolle benötigt. Neu dazugekommen ist ein Lichtvorhang im Ablagebereich des Roboters auf dem Förderband. Dadurch, dass das Schwenkhandling wegfällt, fällt die Anlage kompakter aus und hat mit 10 Magazinen eine deutlich größere Lagerkapazität. Außerdem muss das Band nicht mehr zum Aufnehmen der Beläge angehalten werden.

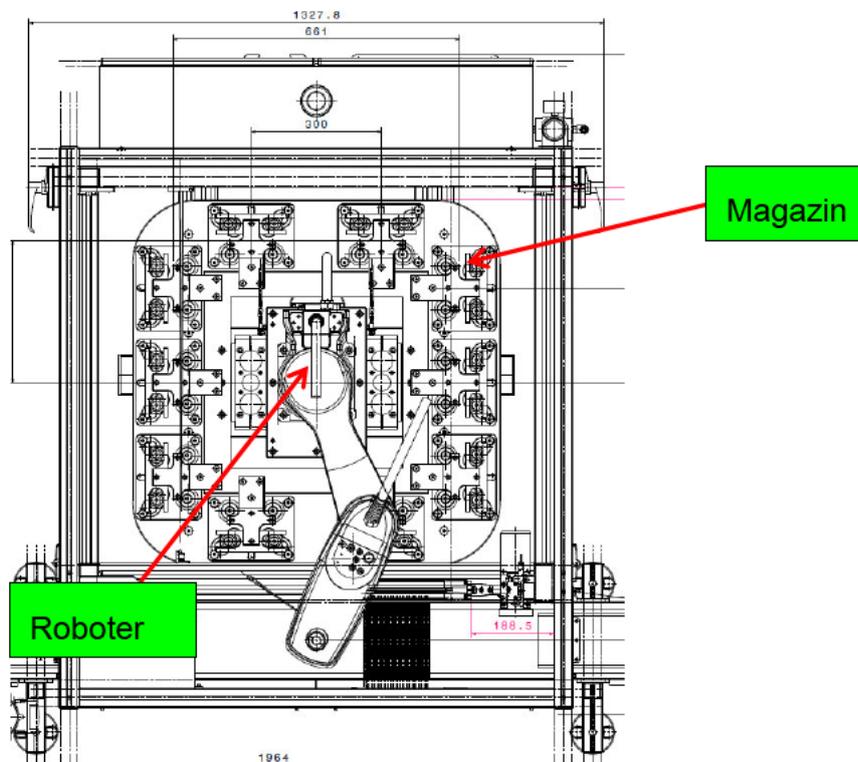


Abb. 2.2 Draufsicht Stapelmagazin neues Modell

2.2 Roboter

In dieser Arbeit wird ein SR-6iA SCARA der Firma FANUC, wie in Abb. 2.3 zu sehen, verwendet. Der SR-6iA SCARA ist ein serieller Roboter mit einer maximalen Tragfähigkeit von 6kg, der 4 Freiheitsgrade hat, umgesetzt durch 3 Drehachsen und eine Schubachse.



Abb. 2.3 FANUC SR-6iA SCARA

Durch seinen Arbeitsbereich (Abb. 2.4) und die hohe Geschwindigkeit und Wiederholgenauigkeit (siehe Tabelle 2.1) eignet sich der SR-6iA besonders gut für Pick-and-Place Anwendungen, wie in dieser Arbeit behandelt. Durch seine kompakte Bauform ist es auch möglich, ihn in räumlich begrenzten Anlagen wie dem Stapelmagazin einzusetzen.

Tabelle 2.1 Leistungsdaten SR-6iA [3 S. 15]

		SR-6iA
Geschwindigkeit	J1 (Drehachse)	440°/s
	J2 (Drehachse)	700°/s
	J3 (Schubachse)	2000mm/s
	J4 (Drehachse)	2500°/s
Max. Traglast		6kg
Wiederholgenauigkeit	J1, J2, J3	±0,01mm
	J4	±0,004deg
Gewicht		30kg

2 Technischer Aufbau

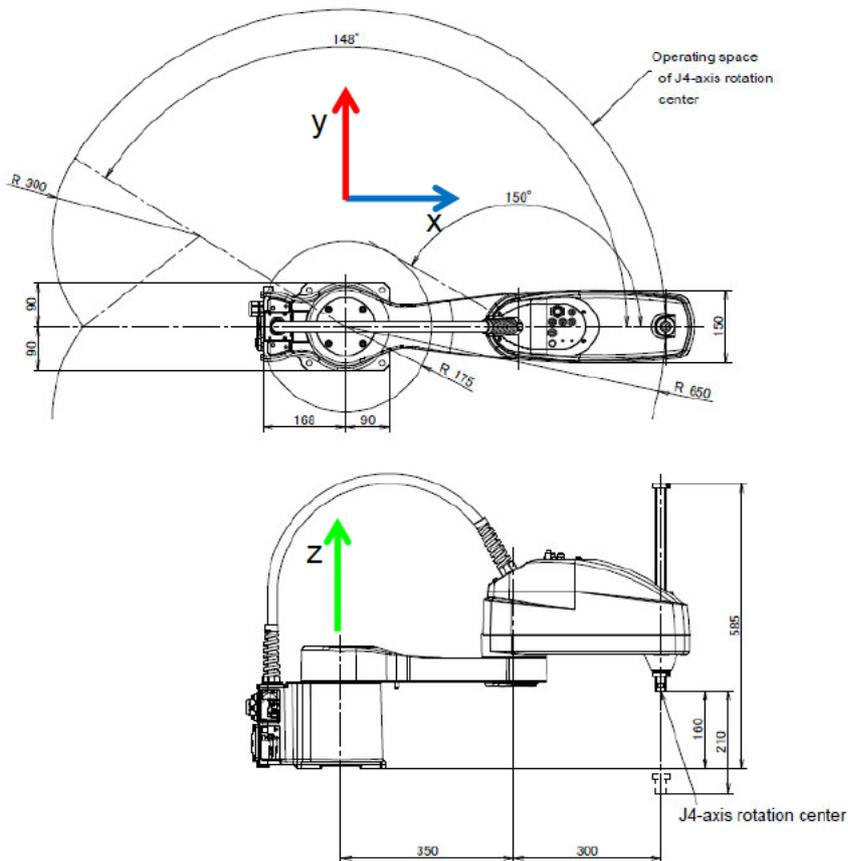


Abb. 2.4 Arbeitsbereich SR-6iA [3 S. 17]

Die Compact Plus Ausführung des R-30iB Controllers, wie in Abb. 2.5 zu sehen, macht es möglich, den Roboter-Controller direkt mit in den Schaltschrank zu integrieren.

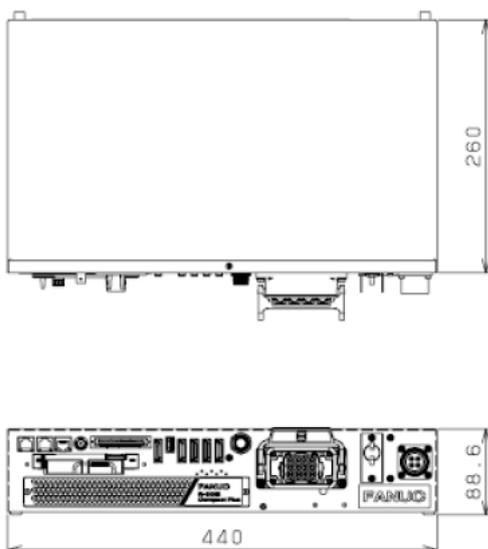


Abb. 2.5 Abmaße R-30iB Compact Plus Controller [4 S. 157]

Der Controller verfügt neben den Anschlüssen in Abb. 2.6 noch über einen JRS31 Anschluss für den Encoder. Der Stecker JRM18 wird benutzt, um externe Signale anzuschließen, wie zum Beispiel einen Not-Aus-Schalter, mehr dazu in Kap. 4 System Setup. Die Verbindung mit der SPS wird über eine Profinet-Karte realisiert, die am Mini-Slot gesteckt ist.

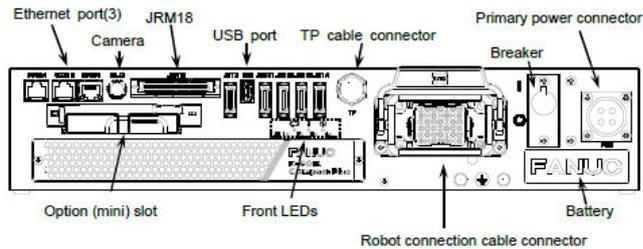


Abb. 2.6 **Anschlüsse Controller [4 S. 5]**

2.3 Steuerung

Für die Steuerung der Anlage wird eine S-1200 vom Typ 1215C DC/DC/DC wie in Abb. 2.7 der Firma Siemens verwendet.

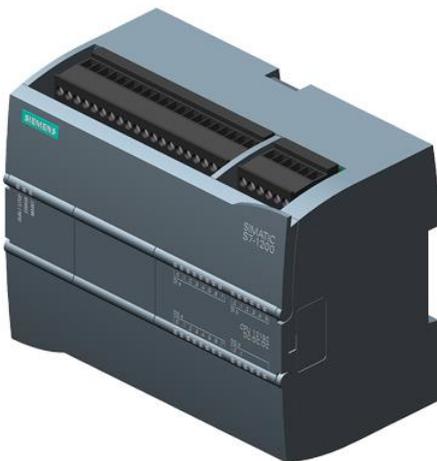


Abb. 2.7 **Siemens S-1200 [5]**

Die Steuerung wurde gewählt, weil sie ausreichend Anschlüsse für den elektrischen Aufbau zur Verfügung stellt und im Vergleich mit anderen Modellen günstiger war. Die Anzahl der Anschlüsse kann Tabelle 2.2 entnommen werden.

Tabelle 2.2 Übersicht Anschlüsse S-1200

Anschluss	Anzahl
Digitaler Eingang	14
Digitaler Ausgang	10
Analoger Eingang	2
Analoger Ausgang	2
Profinet-Ports	2

Zur Bedienung der Anlage wird ein KTP900 Touch Panel der Firma Siemens verwendet, siehe Abb. 2.8. Die Größe des Panels mit 9 Zoll wurde durch das Lastenheft vorgegeben. Die Basic Ausführung wurde aus Budget-Gründen ausgewählt.

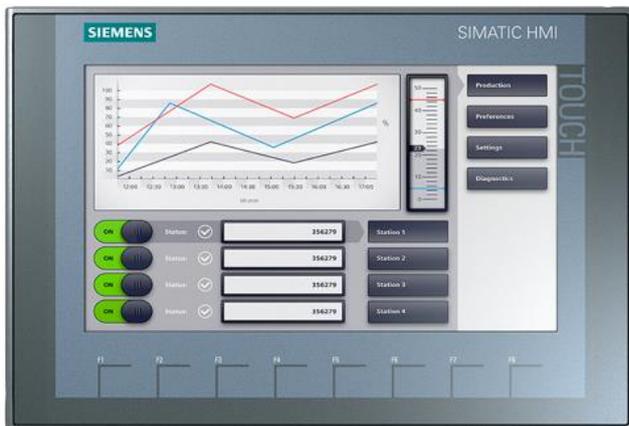


Abb. 2.8 Siemens Basic Panel KTP900 [5]

2.4 Sensorik

Die für den Roboter relevante Sensorik besteht im Wesentlichen aus zwei Teilen, der Kamera und dem Encoder.

Bei der Kamera, die in Abb. 2.9 zu sehen ist, handelt es sich um eine SC130EF2 B/W von FANUC, sie wird in Verbindung mit einer 8mm Linse von RICOH verwendet. Angeschlossen wird die Kamera direkt am Roboter-Controller mit der mitgelieferten Leitung.



Abb. 2.9 FANUC Graustufenkamera mit Linse

Der in Abb. 2.10 abgebildete Encoder ist ein Inkremental-Pulsencoder, der mit einem speziellen Line-Tracking-Kabel am Roboter-Controller angeschlossen wird. Montiert wird der Encoder an einem Mitlaufband, das von einem Pneumatik-Zylinder auf das Förderband gedrückt wird.



Abb. 2.10 FANUC Pulsencoder

3 Grundlagen

3.1 Visual Tracking

Visual Tracking wird auch Visual Servoing genannt, in diesem Anwendungsfall kann es auch als visuelles Line-Tracking bezeichnet werden.

Visual Servoing kann wie folgt definiert werden:

„Visual servoing refers to the use of computer vision data as input of real-time closed loop control schemes to control the motion of a dynamic system, a robot typically.“ [6]

Für diesen Anwendungsfall bedeutet das, dass der Roboter über die Kamera ein Werkstück erkennt. Anhand der Bilddaten und einer bekannten Referenzposition wird der Offset bestimmt. Die Position wird dann wie bei normalem Line-Tracking mithilfe des Encoders verfolgt.

Der Vorteil gegenüber einer regulären Line-Tracking Anwendung ist der, dass die Position des zu verfolgenden Werkstücks beliebig sein kann, da die Abweichung vom Roboter selbst bestimmt wird. Der Aufbau kann dadurch einfacher ausfallen, da die Werkstücke nicht ausgerichtet werden müssen.

Ein Visual Tracking System besteht mindestens aus den folgenden Bestandteilen: einem Roboter, einem Laufband, einem Sensor und einem Arbeitsbereich (Conveyor station). Eine mögliche Konfiguration ist in Abb. 3.1 zu sehen.

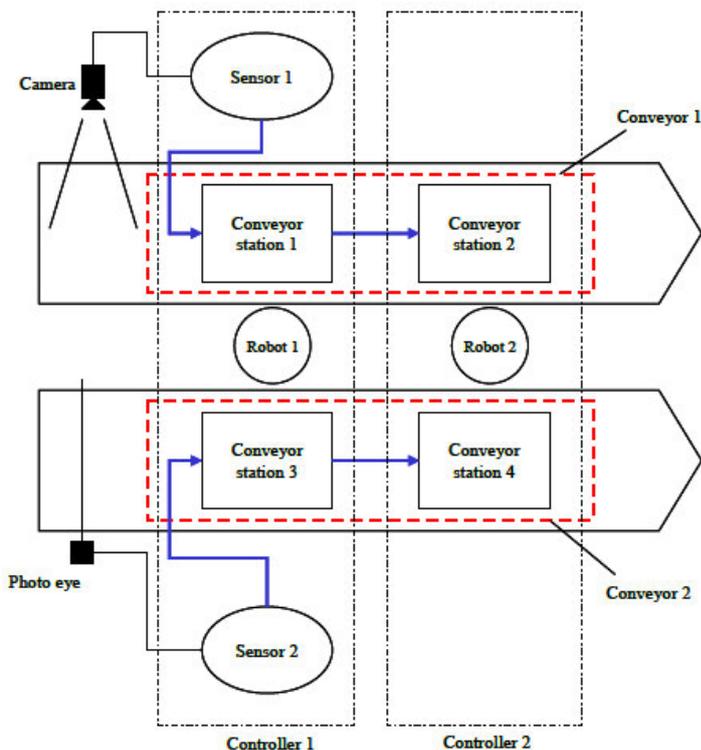


Abb. 3.1 Visual Tracking System Beispiel [7 S. 12]

3.2 Kameraparameter

Für die Kamera sind hauptsächlich drei Parameter einzustellen:

- Die Größe des Sichtfeldes der Kamera
- Die Belichtungszeit für den Vision Prozess
- Das Trigger-Intervall für den Vision Prozess

3.2.1 Sichtfeld der Kamera

Die Größe des Sichtfeldes der Kamera ist von drei Größen abhängig: der Brennweite der Linse, der Größe des CCD-Sensors und dem Abstand der Kamera zum Werkstück. Der Zusammenhang der drei Größen ist in Abb. 3.2 dargestellt. [8 S. 6]

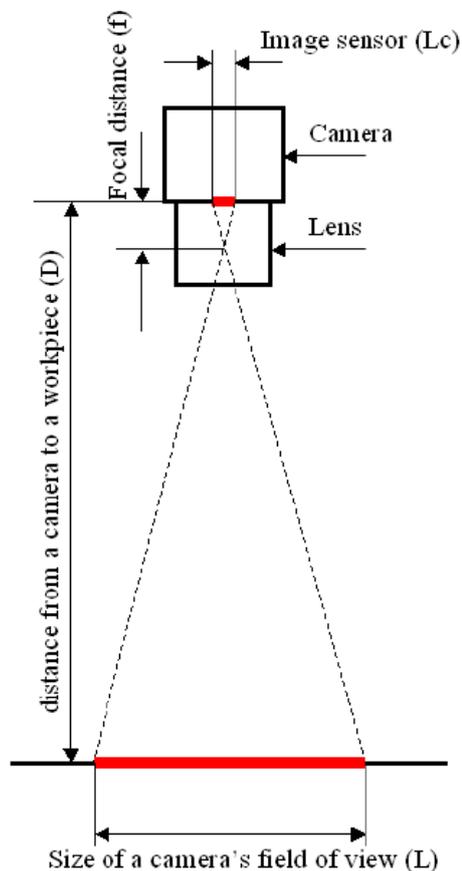


Abb. 3.2 Sichtfeld der Kamera [8 S. 7]

Die Länge des Sichtfeldes ergibt sich dabei wie folgt:

$$L = L_c \cdot \left(\frac{D-f}{f} \right) \quad (3.1)$$

Die Größe des CCD-Sensors ergibt sich dabei aus der Zellengröße und der Pixelanzahl im Bild. Die Werte für Zellen- und Bildgröße können Tabelle 3.1 entnommen werden.

Tabelle 3.1 Kamera Bildparameter [7 S. 24]

Camera	Cell size	Image size	CCD size
Digital camera (grayscale) SC130EF2	5.300 μm	1280 x 1024	6.784 mm x 5.427 mm
Digital camera (color) SC130EF2C	10.600 μm	640 x 512	6.784 mm x 5.427 mm

Die Brennweite der Linse ist nicht einstellbar und muss somit beim Kauf festgelegt werden. Grundsätzlich gilt, je kleiner die Brennweite, desto größer ist das Sichtfeld.

Die Größe des CCD-Sensors für die Berechnung der Höhe kann Tabelle 3.1 entnommen werden.

Aus Gleichung (3.1) ergibt sich dann nach Umstellen:

$$D = \frac{L}{L_c} \cdot f + f \quad (3.2)$$

Mit Gleichung (3.2) lässt sich dann die Höhe D berechnen, für L_c und L müssen dann die entsprechenden Werte eingesetzt werden.

Die Linse hat allerdings einen Mindestabstand, der Tabelle 3.2 entnommen werden kann, um das Bild scharf stellen zu können.

Tabelle 3.2 Mindestabstand Linsen [8 S. 7]

Focal distance of a lens	Minimum object distance
8mm	260mm
12mm	260mm
16mm	290mm
25mm	210mm

Die Höhe des Aufbaus muss also mindestens 260mm betragen. Mit einer Höhe von 260mm ergeben sich nach Gleichung (3.1) die Abmaße für das Sichtfeld zu 213mm x 160mm. Wird ein größeres Sichtfeld benötigt, muss die Höhe mit Gleichung (3.2) neu berechnet werden.

3.2.2 Belichtungszeit

Wenn sich das Werkstück bewegt, während es belichtet wird, entsteht ein Bildversatz. Der Versatz des Werkstückes ist von der Geschwindigkeit des Förderbands abhängig, die Belichtungszeit muss also abhängig von der Bandgeschwindigkeit eingestellt werden. Grundsätzlich gilt: je schneller das Band, desto kürzer die Belichtungszeit. Der Zusammenhang wird wie folgt beschrieben:

$$E \leq \frac{\Delta}{v} \quad (3.3)$$

Die Werkstücke werden mit einem Magnetgreifer aufgenommen, daher ist ein Versatz von bis zu 0,5mm zulässig. Bei einer Bandgeschwindigkeit von 100mm/s, ergibt sich nach Gleichung (3.3) damit eine Belichtungszeit von 5ms oder weniger. [9 S. 17]

3.2.3 Trigger-Intervall

Das Trigger-Intervall gibt an, wie oft der Vision-Prozess ausgeführt wird. Um keine Werkstücke zu verpassen, muss der Vision-Prozess immer nach einem bestimmten Abstand ausgeführt werden. Je schneller das Band, desto öfter muss der Prozess ausgeführt werden. Eine grobe Abschätzung lässt sich mit folgender Gleichung machen:

$$\text{Intervall} = 0.5 \cdot \frac{L}{v} \quad (3.4)$$

Der Prozess muss mindestens einmal ausgeführt werden, nachdem die Strecke des halben Sichtfeldes zurückgelegt wurde. Für die zuvor getroffenen Einstellungen bedeutet das, dass der Vision-Prozess mindestens jede Sekunde einmal ausgeführt wird. [9 S. 17]

3.3 Singularitäten

Um die Bewegung des TCP des Roboters zu berechnen, werden mit den bekannten Gelenkparametern (Winkel bzw. Translation) und den geometrischen Zusammenhängen Bewegungsgleichungen aufgestellt. Mit Hilfe von diesen Bewegungsgleichungen kann für jede Parameterkombination die Position des Roboters im Weltsystem bestimmt werden. Diese Bewegungsgleichungen werden als direkte Kinematik bezeichnet.

Wenn die Gelenkparameter in Abhängigkeit von der Position berechnet werden sollen, muss die inverse Kinematik gebildet werden. Zum Bilden der inversen Kinematik wird die Jacobi-Matrix verwendet. Die Jacobi-Matrix beschreibt den Zusammenhang der Geschwindigkeit des TCP mit den Geschwindigkeiten der Gelenke. Um die Bewegung der Gelenke in Abhängigkeit von der Bewegung des TCP zu bestimmen, muss die Jacobi-Matrix invertiert werden. Die inverse Kinematik ist nicht immer eindeutig, was zu Problemen führen kann. Positionen, an denen diese Probleme auftreten, werden Singularitäten genannt.

Singularitäten stören die Bewegung des Roboters. Sie kommen zustande, wenn sich die Gelenke des Roboters ungünstig überlagern, sodass eine oder mehrere Bewegungsrichtungen verschwinden. Die Robotersteuerung kann dann die gewünschte Bewegung nicht mehr realisieren. Die Lage der Singularitäten ist fest mit dem Roboter verbunden. Obwohl die Singularitäten bekannt sind, erkennt die Steuerung diese meist erst, wenn der Roboter bereits hineingesteuert wurde. [1 S. 30]

Singularitäten äußern sich im Betrieb entweder durch das Stoppen der Bewegung oder dem starken Beschleunigen einzelner Achsen. Damit ein störungsfreier Bewegungsablauf sichergestellt werden kann, sind Singularitäten nicht direkt anzufahren.

Die Singularitäten können anhand der Jacobi-Matrix bestimmt werden. Um eine Position linear anzufahren, benötigt die Steuerung die inverse Jacobi-Matrix, um die Gelenkbewegungen zu berechnen. Ist die Jacobi-Matrix singulär, lässt sich die inverse Matrix nicht bilden und die Steuerung kann die Bewegung nicht berechnen.

Zum Prüfen, ob die Jacobi-Matrix singulär ist, wird im Folgenden die Determinante der Matrix gebildet und null gesetzt.

Um die Matrix aufzustellen, werden die Abmaße und Koordinatensysteme des Roboters benötigt, die in Abb. 3.3 dargestellt sind.

3 Grundlagen

a = 350mm
 b = 300mm
 c = 160mm

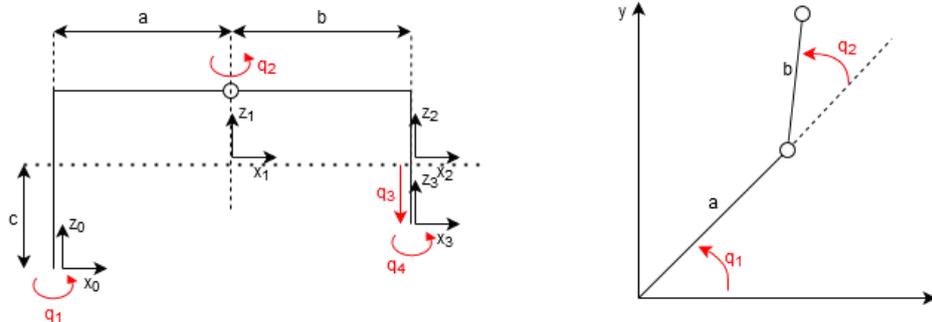


Abb. 3.3 Schematisches Modell SCARA

Die Jacobi-Matrix nach dem geometrischen Ansatz bildet sich wie folgt:

$$\underline{J}_G(\underline{q}) = \begin{bmatrix} \underline{z}_0 \times \underline{r}_{0,E} & \underline{z}_1 \times \underline{r}_{1,E} & \underline{z}_2 & \underline{z}_3 \times \underline{r}_{3,E} \\ \underline{z}_0 & \underline{z}_1 & \emptyset & \underline{z}_3 \end{bmatrix} \quad (3.5)$$

Die z-Vektoren beschreiben dabei die Ausrichtung der einzelnen Koordinatensysteme zum Ursprungssystem, wie in Gleichung (3.6) bis (3.9) beschrieben.

$$\underline{z}_0 = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} \quad (3.6)$$

$$\underline{z}_1 = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} \quad (3.7)$$

$$\underline{z}_2 = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} \quad (3.8)$$

$$\underline{z}_3 = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} \quad (3.9)$$

Die r-Vektoren beschreiben, wie man vom jeweiligen Koordinatensystem zum Endeffektor kommt. Siehe Gleichung (3.10) bis (3.12).

$$\underline{r}_{0,E} = \begin{bmatrix} a \cdot \cos(q_1) + b \cdot \cos(q_1 + q_2) \\ a \cdot \sin(q_1) + b \cdot \sin(q_1 + q_2) \\ c - q_3 \end{bmatrix} \quad (3.10)$$

$$\underline{r}_{1,E} = \begin{bmatrix} b \cdot \cos(q_1 + q_2) \\ b \cdot \sin(q_1 + q_2) \\ -q_3 \end{bmatrix} \quad (3.11)$$

$$\underline{r}_{3,E} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (3.12)$$

Nach dem Einsetzen in Gleichung (3.5) ergibt sich folgende Matrix:

$$\underline{J}(\underline{q}) = \begin{bmatrix} -\sin(q_1) \cdot a - \sin(q_1 + q_2) \cdot b & -\sin(q_1 + q_2) \cdot b & 0 & 0 \\ \cos(q_1) \cdot a + \cos(q_1 + q_2) \cdot b & \cos(q_1 + q_2) \cdot b & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (3.13)$$

Eine Rotation um die x- oder y-Achse ist nicht möglich, daher werden diese Zeilen weggelassen. Jetzt muss für diese Matrix die Determinante gleich Null gesetzt werden. Um die Determinante zu bestimmen, muss der Laplace'sche Entwicklungssatz verwendet werden, um die 4x4 Matrix in Gleichung (3.13) zu reduzieren. Die 3. Zeile bietet sich in diesem Fall an, da so alle bis auf eine reduzierte Matrix entfallen, wie in Gleichung (3.15) zu sehen.

$$\det(\underline{J}(\underline{q})) = a_{31} \cdot |A_{31}| - a_{32} \cdot |A_{32}| + a_{33} \cdot |A_{33}| - a_{34} \cdot |A_{34}| \quad (3.14)$$

Da alle Elemente außer a_{33} Null sind, ergibt sich aus Gleichung (3.14):

$$\det(\underline{J}(\underline{q})) = a_{33} \cdot |A_{33}| \quad (3.15)$$

Aus Gleichung (3.15) ergibt sich nach dem Einsetzen folgende Gleichung:

$$|\underline{J}(\underline{q})| = \begin{vmatrix} -\sin(q_1) \cdot a - \sin(q_1 + q_2) \cdot b & -\sin(q_1 + q_2) \cdot b & 0 \\ \cos(q_1) \cdot a + \cos(q_1 + q_2) \cdot b & \cos(q_1 + q_2) \cdot b & 0 \\ 1 & 1 & 1 \end{vmatrix} \quad (3.16)$$

Aus der reduzierten 3x3 Matrix in Gleichung (3.16) lässt sich die Determinante mit der Regel von Sarrus leicht bilden.

$$|A_{33}| = (-\sin(q_1) \cdot a - \sin(q_1 + q_2) \cdot b) \cdot \cos(q_1 + q_2) \cdot b \quad (3.17)$$
$$-(\cos(q_1) \cdot a + \cos(q_1 + q_2) \cdot b) \cdot (-\sin(q_1 + q_2) \cdot b)$$

Gleichung (3.17) lässt sich wie folgt vereinfachen:

$$|A_{33}| = a \cdot b \cdot (\cos(q_1) \cdot \sin(q_1 + q_2) - \sin(q_1) \cdot \cos(q_1 + q_2)) \quad (3.18)$$

Wenn Gleichung (3.18) jetzt Null gesetzt und umgeformt wird, ergibt sich folgende Gleichung:

$$\tan(q_1 + q_2) = \tan(q_1) \quad (3.19)$$

Gleichung (3.19) ist erfüllt, wenn q_2 0° oder 180° beträgt, da Achse 2 aber nur bis maximal 150° ausgelenkt werden kann, siehe Abb. 2.4, entfällt 180° als mögliche Lösung. Der Roboter ist deshalb am äußeren Rand des Arbeitsbereiches singulär. Das direkte Anfahren dieser Randpunkte sollte daher vermieden werden.

3.4 GPM Locator Tool

Der folgende Abschnitt basiert auf [2 S. 223ff.]. Das GPM Locator Tool ist ein Bildverarbeitungstool, welches das Kernstück von iRVision bildet. Es durchsucht ein Kamerabild nach einem vorher eingelernten Muster und gibt dessen Position und Orientierung aus. Hat das Objekt im Bild das gleiche Muster wie das Modellmuster, kann es auch gefunden werden, wenn es verschoben, rotiert oder skaliert ist.

Das GPM Locator Tool verwendet zwei Kriterien, um Muster als gleich einzustufen. Diese Kriterien sind die Geometrie und die Dunkel/Hell-Polarität der Figur.

Was das Tool unter gleicher Geometrie versteht, hat nichts mit der eigentlichen Werkstücks-Geometrie zu tun, sondern mit der Geometrie der Abbildung des Objektes von der Kamera. Eine Verschiebung hat in den meisten Fällen keinen Einfluss auf das Abbild, aber eine Verdrehung des Werkstücks kann, wie in Abb. 3.4, zu einer anderen Geometrie führen. Das gleiche Werkstück kann also je nach Lage zu unterschiedlichen Geometrien führen.

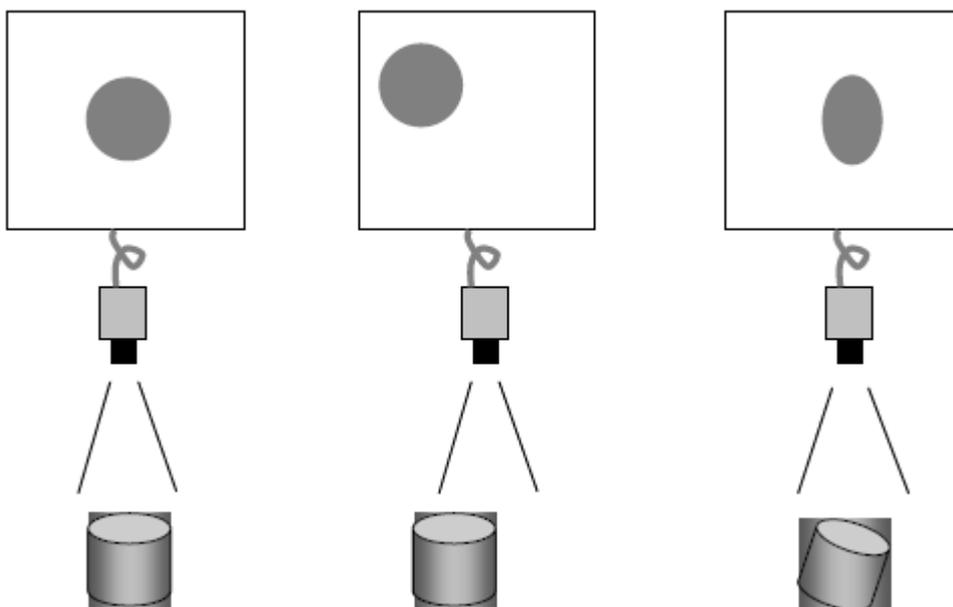


Abb. 3.4 Kameraansicht des Werkstücks [2 S. 236]

Aufgenommene Bilder weisen grundsätzlich eine Verzerrung durch eine Vielzahl an Ursachen auf. Daher muss das Tool eine gewisse Abweichung tolerieren können. Mögliche Ursachen sind Unterschiede in der Belichtung oder die Bewegung des Werkstücks. Wenn das erkannte Muster also in diesem Toleranzbereich liegt, wird es als ein Muster mit der gleichen Geometrie erkannt.

Es gibt den Sonderfall, dass das Muster ein zusätzliches Merkmal enthält, siehe Abb. 3.5. Wenn das Muster ohne das Merkmal als Referenz genommen wird, dann wird das zusätzliche Merkmal nicht erkannt, und beide Muster werden als gleich eingestuft. Um das zusätzliche Merkmal zu erkennen, muss das Muster mit dem Merkmal eingelernt werden.



Abb. 3.5 zusätzliches Merkmal in der Geometrie [2 S. 239]

Das andere Merkmal ist die Dunkel/Hell-Polarität, also der Übergang vom Objekt zum Hintergrund. Daraus folgt, dass selbst wenn zwei Objekte die gleiche Geometrie aufweisen, aber eine unterschiedliche Polarität haben, werden sie als unterschiedliche Muster erkannt, wie in Abb. 3.6 dargestellt.



Abb. 3.6 Polarität Hell/Dunkel [2 S. 238]

Es wird dabei die Polarität für den ganzen Körper betrachtet. Wenn die Polarität im Körper wechselt, wird das Muster nur teilweise erkannt.

Alle bisher genannten Faktoren müssen nicht vollständig erfüllt sein, das GPM Locator Tool ist so ausgelegt, dass es gewisse Unterschiede zulässt. Es werden also eher ähnliche Muster als gleiche Muster gefunden. Die Ähnlichkeit der Muster wird mit einem Wert von 0 bis 100 angegeben. Bis zu welchem Wert ein Muster als „gleich“ angesehen wird, kann eingestellt werden, mehr zu den einstellbaren Parametern in Kap. 6.2.

Einschränkungen

Es gibt gewisse Muster, die vom GPM Locator Tool nicht gefunden werden können. Ein Fall sind zum Beispiel gerade oder parallele Linien, da durch die Verzerrung der Kameralinse die Linien unterschiedlich gebogen werden. Dadurch, dass die Verzerrung immer unterschiedlich ist und das Tool nach der größten Übereinstimmung sucht, ist die Position immer unterschiedlich. Ein anderer Fall ist eine Serie von ähnlichen Merkmalen. Das Problem hierbei ist, dass die Ähnlichkeit sehr hoch ist, auch wenn ein einzelnes Merkmal nicht erkannt wird. Daraus folgt, dass die Identifizierung nicht zuverlässig ist.

Bei anderen Mustern ist es zwar möglich, die Position zu ermitteln, aber die Ausrichtung kann nicht festgestellt werden. Das beste Beispiel hierfür ist ein kreisförmiges Muster.

Wenn das Muster unterschiedliche Formen aufweist, je nach Position im Sichtfeld der Kamera, siehe Abb. 3.7, dann muss das Muster so maskiert werden, dass es weitestgehend unabhängig von der Position erkannt werden kann. Im Beispiel in Abb. 3.7 müsste zum Beispiel der äußere Kreis ausgeblendet werden.

Die Veränderung der Geometrie bei Verschiebung des Gegenstands wird als Parallaxeneffekt bezeichnet.

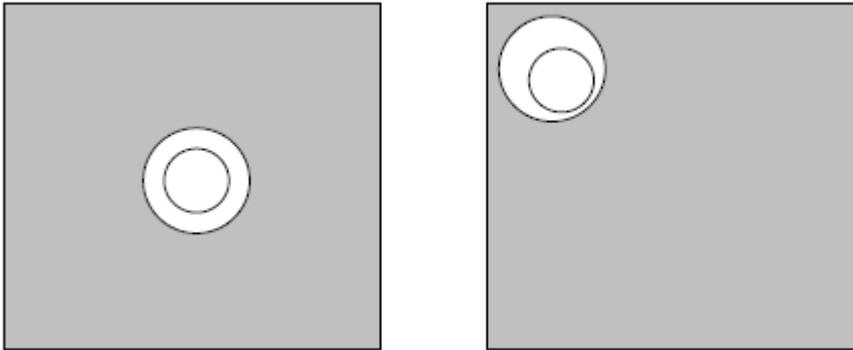


Abb. 3.7 Parallaxeneffekt [2 S. 242]

Grundsätzlich gilt: je komplexer die Geometrie des Modellmusters ist, desto unwahrscheinlicher ist es, dass ein anderes Objekt unbeabsichtigt erkannt wird. [2 S. 243]

4 System Setup

Es müssen eine Reihe von Vorbereitungen getroffen werden, bevor ein Tracking Programm ausgeführt werden kann. Diese werden in den folgenden Kapiteln näher beschrieben. Die Einstellungen können mit einem Teach Pendant oder einem PC durchgeführt werden. Für die Verbindung mit dem PC muss eine Verbindung über ein Ethernet-Kabel bestehen und die Adaptereinstellungen des PCs müssen entsprechend der Adresse des Roboters angepasst werden.

4.1 Roboter Setup

Als erstes sind einige Systemeinstellungen vorzunehmen, dazu wird mit MENU → SYSTEM → Config das Konfigurationsmenü geöffnet. In diesem Menü sind die folgenden Punkte einzustellen.

Nummer 7 „Enable UI signals“ muss auf TRUE gesetzt werden, damit die Signale von der Steuerung auch ausgewertet werden. Nummer 8 „START for CONTINUE only“, wird auf TRUE gesetzt, damit mit dem START-Signal nur ein unterbrochenes Programm gestartet werden kann. Nummer 9 und 10 „CSTOPI for Abort“ und „Abort all programs by CSTOPI“ werden ebenfalls auf TRUE gesetzt, um mit dem CSTOPI-Signal alle laufenden Programme abzubrechen. Mit Nummer 44 „UOP auto assignment“ wird die automatische Zuordnung der Peripherie E/A gesteuert. Der Punkt wird auf None gestellt, damit die E/A nicht automatisch zugewiesen werden.

Unter System DCS kann noch „Mode Select“ eingestellt werden. Wenn noch nicht eingestellt, wird „Mode Select“ auf External Input gesetzt.

Die Auswahlmethode der Programme über die Steuerung wird unter MENU → SETUP → Prog. Select festgelegt. Die Methode PNS wird ausgewählt und die Basisnummer wird auf null eingestellt. Um die Änderungen zu übernehmen, muss der Controller neu gestartet werden.

Um die diversen Ein- und Ausgangssignale zu konfigurieren, wird unter MENU → I/O die entsprechende Gruppe ausgewählt. Unter Config. können die Signale dann nach der Form in Abb. 4.1 eingestellt werden.

4 System Setup



Abb. 4.1 Konfiguration I/O

Die Daten, die eingegeben werden müssen, sind Rack 102 und Slot 1, die Startnummer kann Tabelle 4.1 entnommen werden. Der Bereich muss an die Anzahl der verwendeten Signale angepasst werden. Im Beispiel in Abb. 4.1 wäre das der Bereich 1-7. Die komplette Auflistung der Signale kann Anhang 18 unter Tabellen entnommen werden.

Tabelle 4.1 Startbits Roboter

Eingangsart	Startbit
UI	1
UO	1
DI	21
DO	21
GI	33

Bei der Zuweisung steht Rack 102 für die Profinet-Karte und Slot 1 gibt an, dass Steckplatz 1 der Profinet-Karte genutzt wird. Da es nur einen Steckplatz gibt, ändert sich die Slot-Nummer nicht. Die Startnummer bezieht sich auf die Adresse, die die Variable in der Steuerung hat. Bei Gruppen I/Os muss zusätzlich noch die Länge in Bit angegeben werden. Um die Änderungen zu übernehmen, muss das System neu gestartet werden.

Um externe Signale am Roboter anzuschließen, wird der Stecker JRM18 benutzt (siehe Abb. 4.2). An diesem Stecker werden die Anschlüsse für die Sicherheitstüren und den Not-Aus-Schalter angeschlossen. Die Kontakte werden gelötet und die externe Spannungsversorgung wird mit der internen gebrückt.

Wenn kein Betriebsartenschalter vorhanden ist, muss außerdem der Brückenstecker JRT3 gesteckt werden, da es sonst zu einer Fehlermeldung kommt.



Abb. 4.2 Stecker JRM18

Als nächstes müssen die Werkzeuge des Roboters eingerichtet werden. Der Magnetgreifer, siehe Abb. 4.3, wird mit der Methode „Direkteingabe“ eingerichtet. Dabei wird der Abstand in z-Richtung gemessen und direkt in das System eingegeben, es wird empfohlen, W auf 180° einzustellen. Die anderen Werte werden auf null eingestellt.

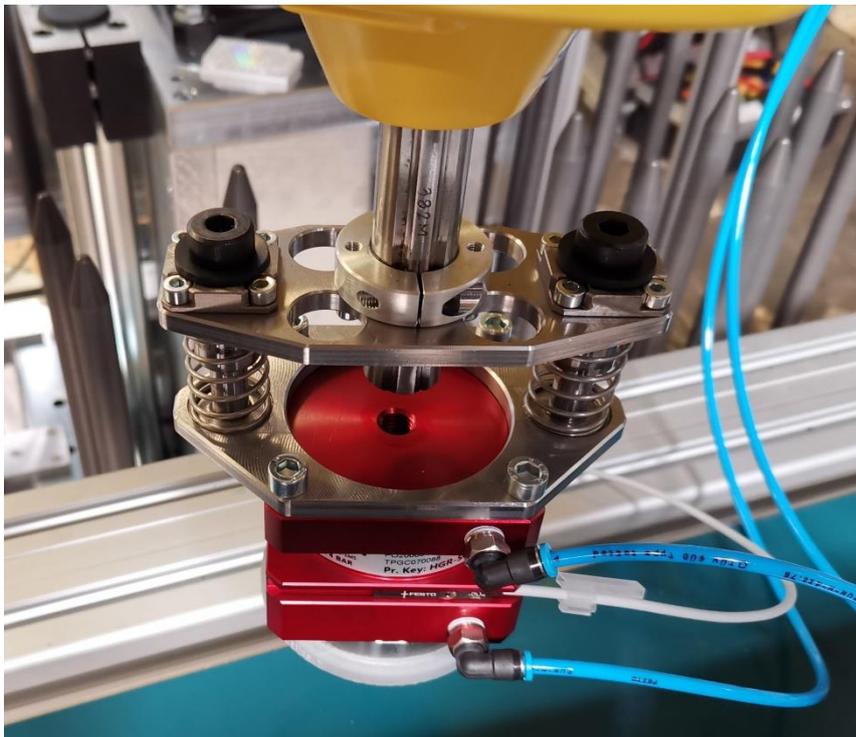


Abb. 4.3 Magnetgreifer

4 System Setup

Das Pointer-Werkzeug (siehe Abb. 4.4) wird mit der Zweipunkt + Z-Methode eingerichtet. Dabei wird ein fester Punkt von zwei unterschiedlichen Ausrichtungen angefahren, der z-Wert wird gemessen und direkt eingetragen.



Abb. 4.4 **Pointer-Tool**

Nachdem die Werkzeugsysteme erstellt wurden, müssen sie auch aktiviert werden.

4 System Setup

Um entsprechenden Personenschutz zu gewährleisten, wird die DCS-Funktion des Roboters genutzt. Dazu wird mit zwei Punkten, wie in Abb. 4.5, ein Bereich aufgespannt, in dem der Roboter verfahren darf. Kommt jetzt der Sicherheitsbereich des Roboters mit der Bereichsgrenze in Kontakt, wird der Roboter gestoppt. Der Sicherheitsbereich um den Roboter selbst existiert schon, der für das Werkzeug muss erst noch erstellt werden.

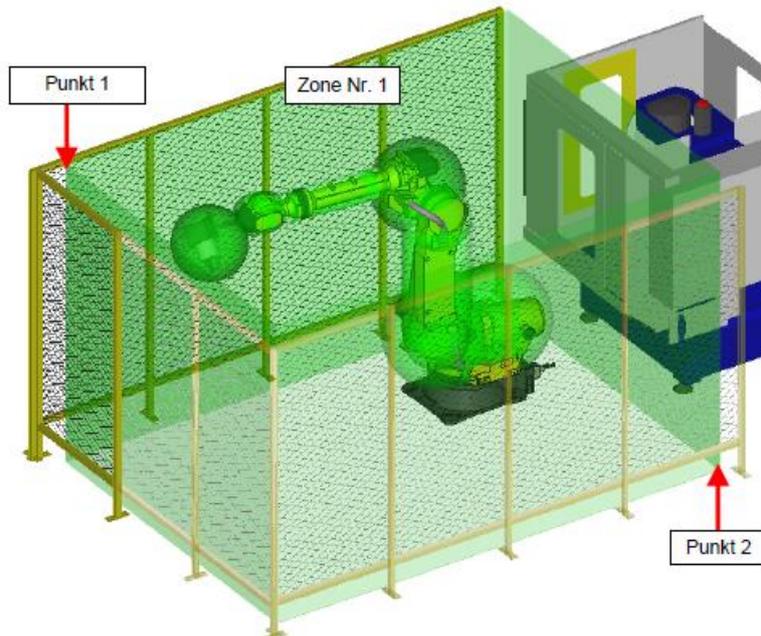


Abb. 4.5 DCS-Sicherheitsbereich [10 S. 33]

Das Einrichten des Sicherheitsbereichs für das Werkzeug erfolgt unter MENU → SYSTEM → DCS, mit „User model“ können dann Elemente hinzugefügt werden. Das Werkzeug wird in diesem Fall mit zwei Kugeln eingeschlossen. Das Modell wird nur für den Magnetgreifer erstellt, da der Pointer nur zum Einrichten verwendet wird und im Normalbetrieb keine Rolle spielt. Nachdem das Modell erstellt und aktiviert wurde, werden die Bereichsgrenzen eingerichtet.

Die Sicherheitsbegrenzung wird im selben Menü unter „Cart. Position check“ eingerichtet. An der Stelle werden zwei Punkte angegeben, die wie in Abb. 4.5 einen Bereich aufspannen. Der Bereich gibt dabei die Grenzen der Einhausung an und kann ausgemessen werden. Bei den zu überwachenden Bereichen müssen der Roboter und das „User model“ angegeben werden.

Um die Einstellungen zu übernehmen, muss der Roboter an dieser Stelle neu gestartet werden.

4.2 Encoder Setup

Der Encoder ist dazu da, die Bewegung des Förderbandes zu verfolgen. Angeschlossen wird der Encoder an Steckplatz JRS31 am Controller. Um den Encoder einzurichten, wird der Encoder-Setup (Abb. 4.6) über MENU → SETUP → Encoders geöffnet.

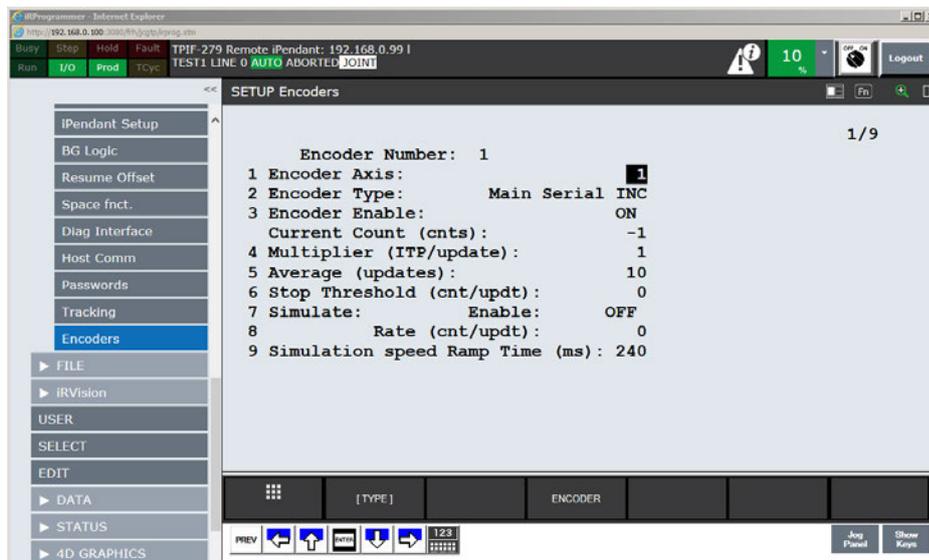


Abb. 4.6 Encoder Setup

Es wird der Encoder mit der Nummer 1 gewählt. Die Encoder-Achse wird auf 1 gesetzt und als Typ wird „Main Serial INC“ gewählt. Der Wert für die Updates wird auf 10 gesetzt. Anschließend wird der Controller neu gestartet. Nach dem Neustart wird das Encoder-Fenster erneut geöffnet und der Encoder wird aktiviert. Das Förderband wird jetzt bewegt; ist der Encoder korrekt eingerichtet, werden die gezählten Pulse unter „Current Count“ ausgegeben.

4.3 Kamera Setup

Die Kamera wird am CRJ3 Anschluss des Controllers angeschlossen. Es wird ein Sichtfeld mit einer Größe von mindestens 240mm benötigt. Die Höhe wird daher nach Gleichung (3.2) neu berechnet. Die neue Höhe ergibt sich zu 290mm. Die Kamera wird also auf einer Höhe von 290mm montiert.

Um die Kanten zu erkennen, wurde eine Dunkelfeldbeleuchtung ausgewählt. Dazu werden zwei LED-Leisten an den Seiten des Förderbandes so montiert, dass das Licht flach einfällt. Um Reflexionen des Werkstücks zu unterdrücken wurde zusätzlich noch ein Polarisationsfilter an der Beleuchtung und der Kamera-Linse angebracht.

Um den Setup zu starten, wird die IP-Adresse des Roboters in einen Web-Browser eingegeben und auf der Robot-Homepage wird iRVision Vision Setup ausgewählt. Über das Vision-Setup Menü wird dann mit „Create“ eine neue Kamerakonfiguration erstellt. Nachdem die Konfiguration erstellt wurde, können die Kameraparameter eingestellt werden. (siehe Abb. 4.7)

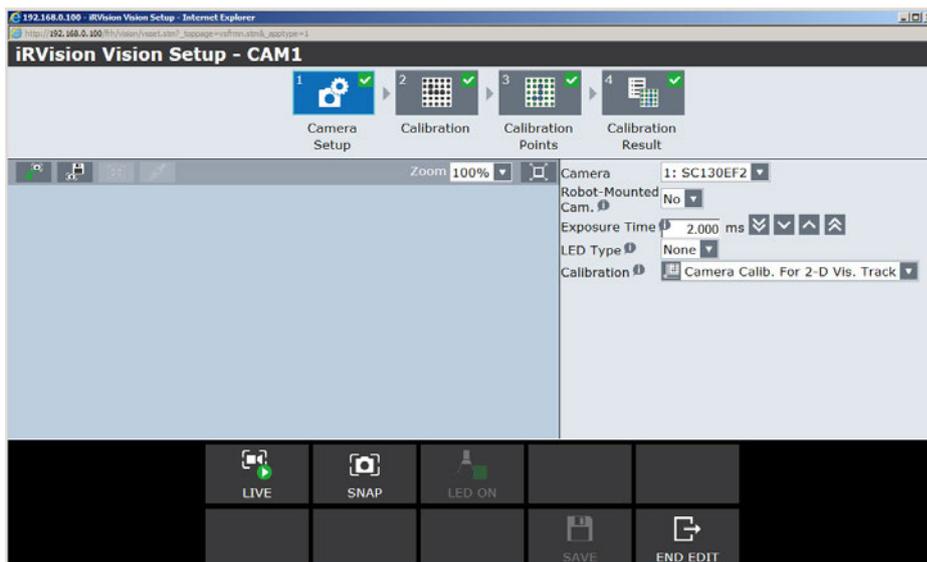


Abb. 4.7 Kamera Setup

Als erstes wird die angeschlossene Kamera ausgewählt, das Bild der Kamera wird dann auf der linken Seite angezeigt. An der Linse werden jetzt der Fokus und die Blende eingestellt, über das Menü kann zusätzlich noch die Belichtungszeit eingestellt werden. Die Kamera ist fest montiert, also wird für „Robot-Mounted Cam.“ „No“ ausgewählt. Nachdem Helligkeit und Fokus eingestellt sind, kann das Sichtfeld betrachtet werden. Liegt das Sichtfeld nicht an der richtigen Stelle, muss die Kameraposition korrigiert werden.

Nach Abschluss der grundlegenden Einstellungen muss die Kamera noch kalibriert werden. Für die Kalibrierung wird „Camera Calib. For 2-D Vis. Track.“ gewählt. Diese Art der Kalibrierung bezieht sich auf den Tracking-Frame, deshalb muss der Tracking-Frame zuerst eingerichtet werden, siehe Kap. 5.2.

4 System Setup

Um die Kalibrierung zu starten, wird das Calibration-Feld im Kamera-Menü (Abb. 4.7) angewählt. Das für die Kalibrierung verwendete Gitter wird auf dem Förderband fixiert, sodass die Punkte des Gitters das gesamte Sichtfeld bedecken und die x-Achse des Gitters in Richtung der Bandbewegung zeigt, siehe Abb. 4.8. Im Menü auf der rechten Seite werden die Parameter für die Kalibrierung eingegeben. Als erstes wird das Förderband ausgewählt, das in Kap. 5.1 erstellt wurde. Danach wird der gewählte Gitterabstand eingetragen, in diesem Fall 30mm. Unter Projektion wird „Perspektive“ gewählt, da „Orthogonal“ nur gewählt werden sollte, wenn das Gitter und die zu erkennenden Objekte die gleiche Höhe haben. Wenn das Gitter parallel zur Kamerabild-Ebene steht, kann die Brennweite falsch berechnet werden. Daher wird „Override Focal Distance“ ausgewählt und die Brennweite wird manuell eingegeben, hier 8mm.

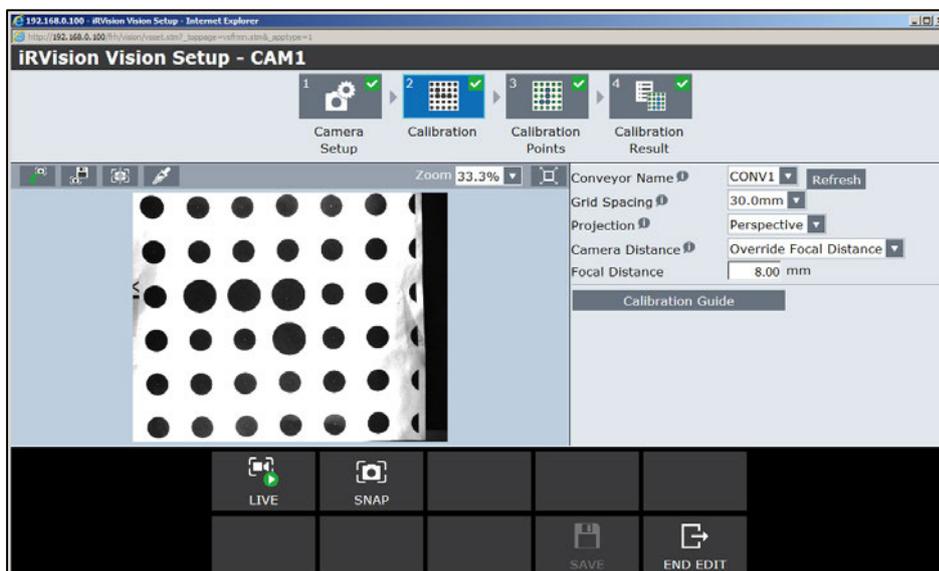


Abb. 4.8 Kamera-Kalibrierung

Anschließend werden die Eingaben gespeichert und die Kalibrierung wird über das Feld „Calibration Guide“ gestartet. Die Gitterpunkte müssen dann mit einem rechteckigen Auswahlfeld ausgewählt werden. Im nächsten Fenster werden dann die erkannten Positionen der Punkte des Gitters angezeigt, siehe Abb. 4.9. Falsch erkannte Punkte können über das Menü gelöscht werden.

4 System Setup

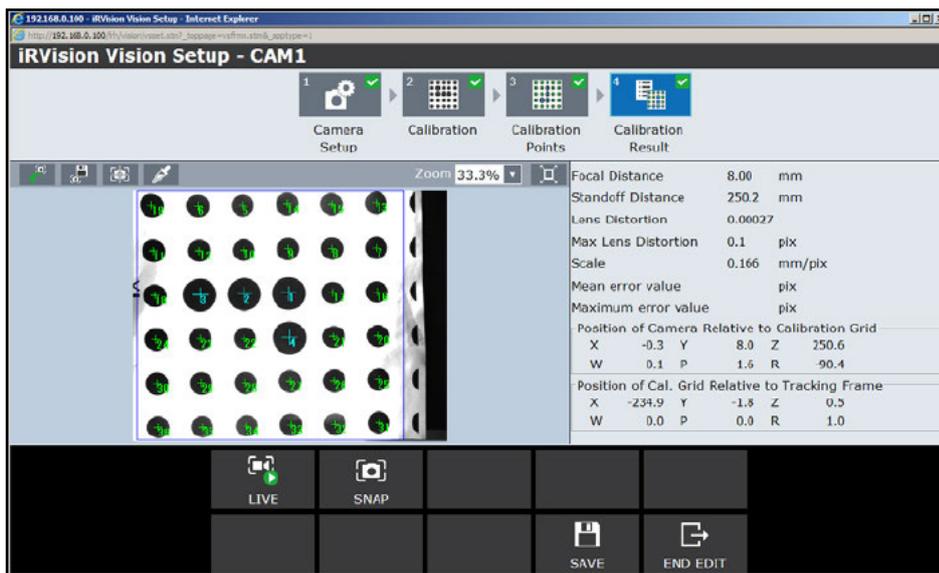


Abb. 4.9 Ergebnis Kamera-Kalibrierung

Nachdem die Punkte erkannt wurden, wird das Förderband bewegt, sodass das Gitter vor dem Roboter zum Stehen kommt. Mit dem Pointer-Tool aus Abb. 4.4 wird zunächst der Ursprung angefahren, anschließend der x-Achsen-Punkt und zuletzt der y-Achsen-Punkt, siehe Abb. 4.10. Danach ist die Kalibrierung abgeschlossen und die errechnete Kameradistanz wird angezeigt. Sollte diese stark von den reellen Werten abweichen, müssen die Parameter geprüft werden.

Die Referenzposition wird später bei der Einrichtung des Sensors in Kap. 5.3 angelegt.

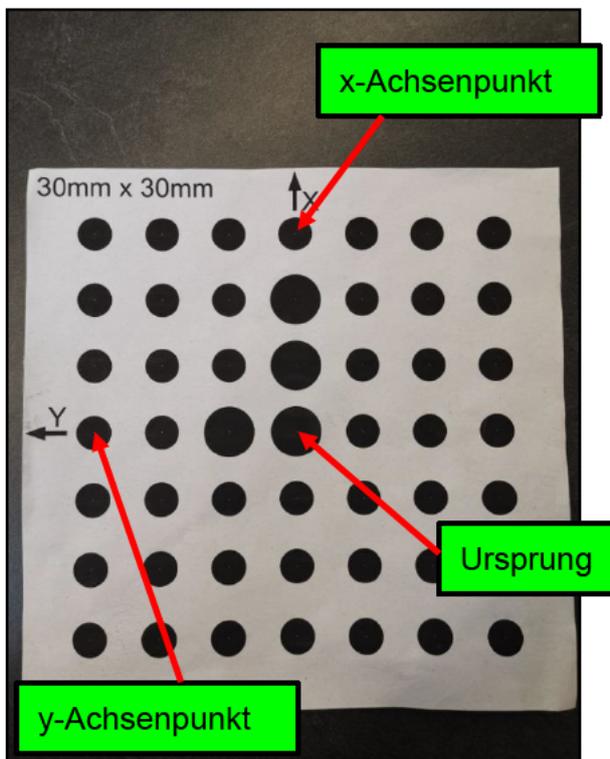


Abb. 4.10 Kalibrierungsgitter

5 Einrichten der Roboterzelle

Die Roboterzelle wird über den Workcell-Setup Bildschirm, dargestellt in Abb. 5.1, eingerichtet. Der Zugriff erfolgt wie in Kap. 4.3 über den Web-Browser, nur wird diesmal iRPickTool Workcell Setup ausgewählt. Die Zelle besteht aus den folgenden Komponenten:

- Robots
- Trays
- Conveyors
- Fix Stations

Der Punkt Conveyors besteht aus den Komponenten Sensor und Conveyor-Station, die Anordnung der Punkte muss den realen Aufbau wiedergeben. In diesem Aufbau werden die Optionen Trays und Fix Stations nicht genutzt.

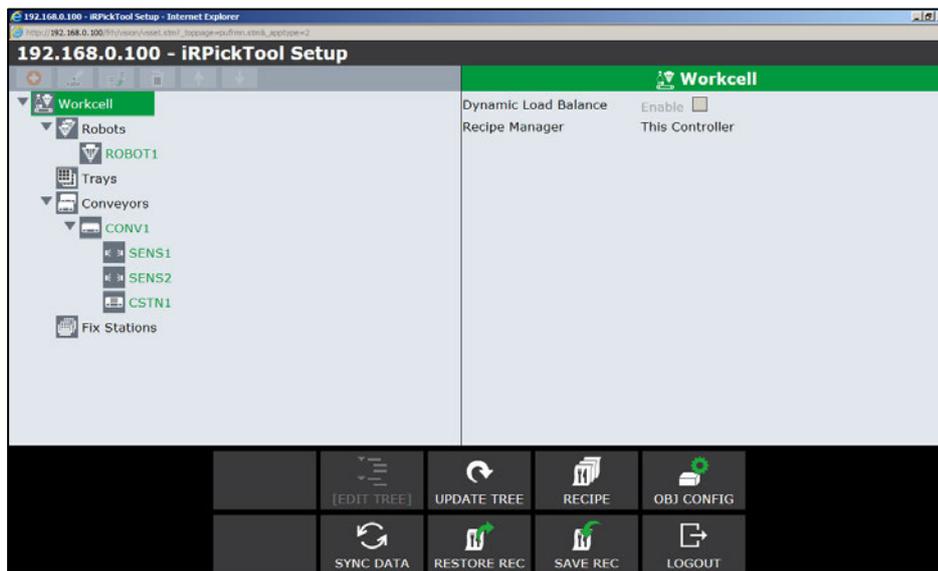


Abb. 5.1 Workcell-Setup

Unter Robots wird mit „create“ ein neuer Roboter hinzugefügt, der Default-Name „ROBOT1“ wird dabei nicht verändert. Für den Roboter werden der Controller auf „This Controller“ und die Gruppennummer auf 1 gesetzt.

5.1 Conveyor

Der Conveyor wird ebenfalls mit „create“ hinzugefügt, der Default-Name von „CONV1“ wird wieder beibehalten. Durch Erstellen eines Conveyors werden ein Sensor und eine Conveyor Station automatisch mit erstellt. Anschließend werden die Parameter wie in Abb. 5.2 abgebildet eingestellt.

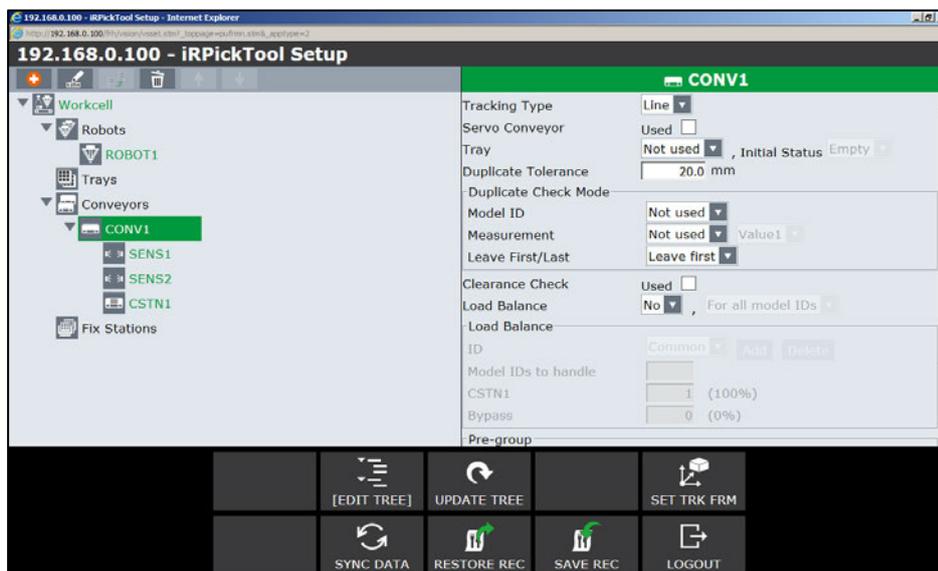


Abb. 5.2 Parameter Conveyor

Der Tracking Typ wird auf Line-Tracking eingestellt, da kein Tray verwendet wird, bleibt das Feld auf „Not used“.

Der Duplicate Tolerance Wert gibt an, bis zu welchem Wert ein mehrfach erkanntes Werkstück als ein Werkstück betrachtet wird. Der Wert wird auf 20mm eingestellt. Wird ein Werkstück erkannt, das innerhalb dieser Toleranz bezüglich des letzten erkannten Werkstücks liegt, wird nur eines der Ergebnisse behalten. Welches Ergebnis weiter verarbeitet wird, wird über Duplicate Check Mode eingestellt. Um das erste Ergebnis zu behalten, werden die Einstellungen Model ID = „Not used“, Measurement = „Not used“ und „Leave first“ gewählt.

Es wird nur ein Roboter verwendet, daher wird Load Balance auf „Not used“ eingestellt, sodass der Roboter so viele Werkstücke wie möglich bearbeitet.

5.2 Tracking Frame

Um das Werkstück zu verfolgen, muss ein Tracking Frame eingerichtet werden, da sich alle Tracking-Bewegungen und Referenzpositionen auf den Tracking Frame beziehen.

Sollte der Tracking Frame verändert werden, müssen Conveyor Station Setup, Kamera-Kalibrierung, Referenzpositionen teachen und Roboterpositionen teachen erneut durchgeführt werden. Sollte der Encoder während des Einrichtens den Kontakt zum Band verlieren, muss der Vorgang wiederholt werden.

Um den Tracking Frame einzurichten, wird ein Zielobjekt auf dem Förderband vor dem Roboterbereich befestigt und die Set Tracking Frame Taste wie in Abb. 5.2 abgebildet gedrückt.

Wenn das Zielobjekt, in diesem Fall das Kalibrierungsgitter, befestigt ist, wird die NEXT-Taste gedrückt und das Ziel in den vorderen Arbeitsbereich des Roboters bewegt. Wenn das richtige Werkzeugsystem eingestellt ist, kann der Ursprungspunkt siehe Abb. 4.10 angefahren werden und anschließend mit der NEXT-Taste bestätigt werden. Danach wird der Roboter so verfahren, dass das Band frei ist, und das Band wird bewegt, bis das Gitter im hinteren Bereich des Arbeitsbereichs des Roboters ist. Es wird wieder der Ursprung angefahren und mit der NEXT-Taste bestätigt. Anschließend wird die Y-Achse des Tracking Frames festgelegt, dazu wird der Roboter in die Richtung links zur Bewegungsrichtung des Förderbandes verfahren. Ist das Gitter korrekt ausgerichtet, kann der y-Achsenpunkt des Gitters angefahren werden. Mit dem Drücken der NEXT-Taste wird der Vorgang abgeschlossen und der Tracking Frame wurde erfolgreich eingerichtet.

5.3 Sensor

Die Sensoren übernehmen die Erkennung der Werkstücke, pro Roboter können maximal 4 Sensoren gleichzeitig aktiv sein. Für diesen Aufbau werden 2 Sensoren benötigt, einer für das Aufnehmen vom Band und einer für das Ablegen. Aktiviert werden die Sensoren dabei über die Roboterprogramme. Um die Sensoren einrichten zu können, muss der Tracking Frame bereits eingerichtet sein.

Zum Aufnehmen der Werkstücke wird der in Abb. 5.3 abgebildete Sensor verwendet, als Trigger wird die zurückgelegte Distanz des Bandes verwendet, da so keine weiteren Sensoren erforderlich sind. Als Aktion wird „Find Part by vision“ ausgewählt, der Vision Prozess, der gestartet wird, wird in Kap. 6.1 beschrieben. Die Trigger-Distanz wird auf 80mm eingestellt, was der maximal möglichen Distanz entspricht, da die Länge des Werkstücks (160mm) und die Trigger-Distanz in Summe maximal dem Sichtfeld, das in Kap. Kamera Setup4.3 eingestellt wurde, entsprechen dürfen.

Der Grund, warum der maximale Wert gewählt wurde, liegt darin, dass sich aus der Trigger-Distanz und der Bandgeschwindigkeit die maximale Bearbeitungszeit des Vision Prozesses ergibt. Mit diesen Einstellungen ergibt sich eine Bearbeitungszeit von maximal 800ms, die dem Trigger-Intervall entspricht. Die mittlere Bearbeitungszeit des Vision Prozesses liegt zwar nur bei etwa 550ms, aber Ausnahmen von bis zu 750ms kommen auch vor. Um die Betriebssicherheit zu garantieren, muss also eine Trigger-Distanz von mindestens 75mm gewählt werden.

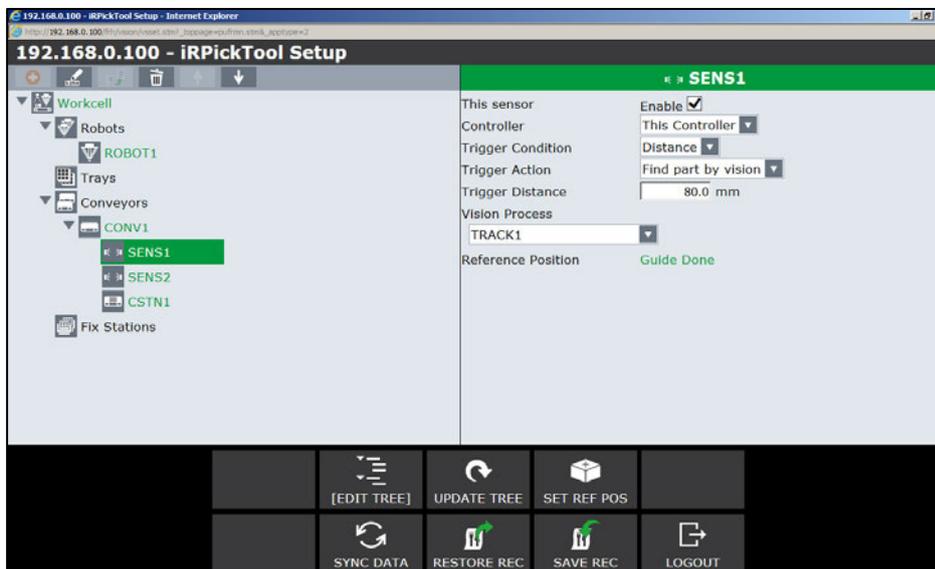


Abb. 5.3 Setup Sensor 1

Wenn die Parameter eingegeben wurden, kann die Referenzposition gesetzt werden, wenn der Vision Prozess schon erstellt wurde. Falls nicht, muss die Referenzposition später gesetzt werden.

Um die Referenzposition zu setzen, wird die „SET REF. POS.“-Taste in Abb. 5.3 gedrückt. Das Werkstück wird jetzt in der gewünschten Position im Sichtfeld der Kamera platziert. Anschließend wird die Taste „FIND“ gedrückt. Wird das Werkstück erfolgreich gefunden, wird NEXT freigeschaltet. Der Vorgang wird jetzt mit NEXT und FINISH abgeschlossen, dann wird das Werkstück mit dem Förderband an die gewünschte Aufnahme­position gefahren. Die Aufnahme­position wird angefahren und im Trackingprogramm eingelernt, Offsets werden an dieser Stelle nicht berücksichtigt. Wird die Position auf eine andere Art eingelernt, bezieht sich die Position nicht auf den Tracking Frame und wird falsch aufgezeichnet.

5 Einrichten der Roboterzelle

Zum Ablegen wird der Sensor in Abb. 5.4 verwendet, für diesen Sensor wird wieder die zurückgelegte Distanz als Trigger verwendet. Die Aktion ist in diesem Fall „Put part in queue“. Die Taktzeit ist 3 Sekunden; da das Band eine Geschwindigkeit von etwa 100mm/s hat, wird die Trigger-Distanz auf 330mm eingestellt, um etwas mehr Spielraum zu haben. Es wird also alle 330mm eine Ablageposition auf dem Band generiert.

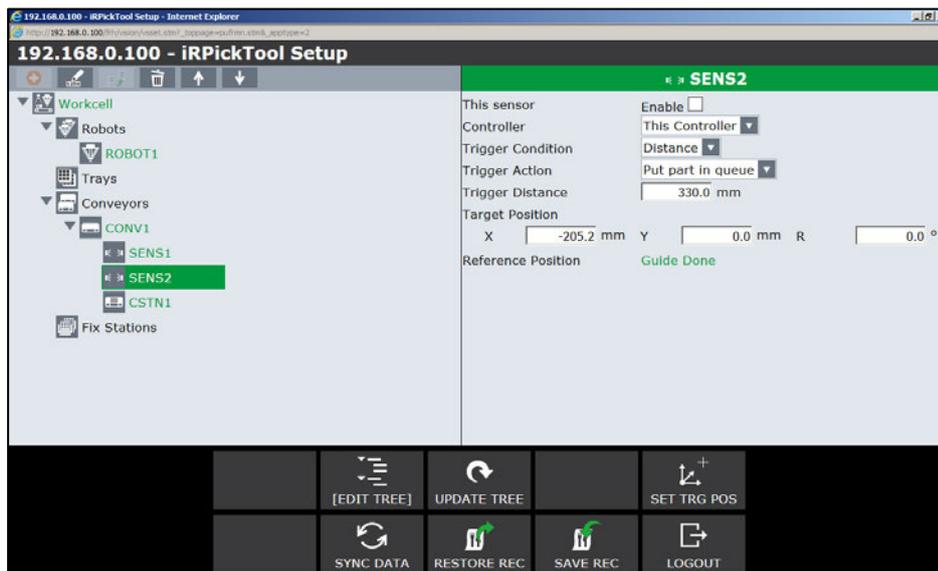


Abb. 5.4 Setup Sensor 2

Dieser Sensor benötigt eine Target-Position, damit er weiß, an welcher Stelle er die Position generieren soll. Der Vorgang wird mit „SET TRG POS“, wie in Abb. 5.4 dargestellt, gestartet. Das Werkstück wird dann an der Stelle platziert, wo der Ablageplatz generiert werden soll, und die „SETTRG“-Taste wird gedrückt. Mit NEXT wird der Vorgang fortgesetzt, das Werkstück wird an die Ablageposition gefahren und gestoppt. Mit dem Roboter wird die vorderste Kante angefahren, siehe Abb. 5.5, und die Position mit RECORD gespeichert. Der Vorgang wird dann mit FINISH beendet. Die Ablageposition wird anschließend wieder über das Roboterprogramm eingelesen, um eine Verbindung zum Tracking Frame herzustellen.

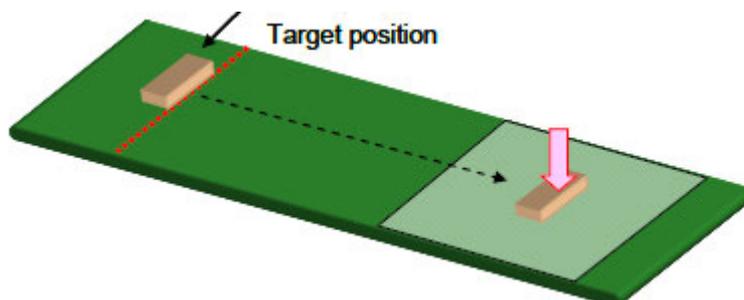


Abb. 5.5 Target Position [7 S. 341]

5.4 Conveyor Station

Die Conveyor Station ist der Arbeitsbereich des Roboters, die Tracking Bewegungen werden in diesem Bereich ausgeführt. Die Conveyor Station kann ohne einen existierenden Tracking Frame nicht eingerichtet werden. Die Parameter, die eingestellt werden müssen, sind in Abb. 5.6 zu sehen. Als Roboter wird „ROBOT1“ ausgewählt und als Line Tracking Schedule- und Encoder-Nummer wird „1“ gewählt. Bei korrekter Auswahl werden der Tracking Frame und die Encoder Skala angezeigt, siehe Abb. 5.6.

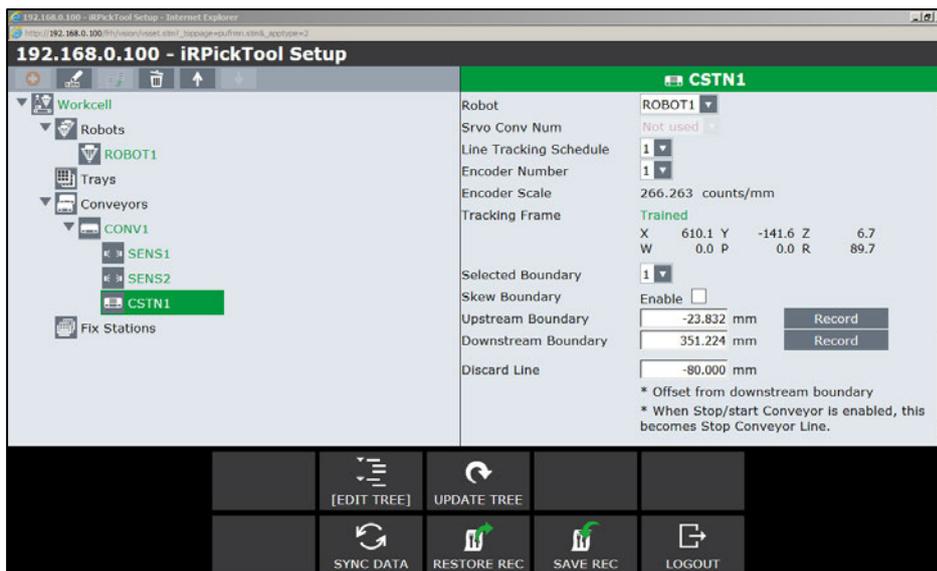


Abb. 5.6 Conveyor Station

Um die Grenzen des Trackingbereichs festzulegen, wird der Roboter an die äußersten Punkte gefahren, die er erreichen kann. Zuerst wird der vorderste Punkt angefahren und unter „Upstream Boundary“ gespeichert, das Gleiche wird mit dem hintersten Punkt und „Downstream Boundary“ wiederholt. Da der Roboter auf einer Kreisbahn fährt, sollte der Grenzpunkt etwa mittig vom Band angefahren werden, um Fehlern vorzubeugen. Falls der Roboter versucht, eine Position anzufahren, die er nicht erreichen kann, geht er in Störung und bricht den Betrieb ab.

Die Discard-Linie gibt an, ab welchem Punkt der Roboter ein Werkstück nicht mehr erreichen kann, bevor es außer Reichweite ist. Die Entfernung der Linie ist von der Handling-Zeit des Roboters und der Geschwindigkeit des Bandes abhängig. Aufgrund der Tatsache, dass der Trackingbereich relativ klein ist (<400mm) und der Roboter sehr schnell verfährt, wurde ein Abstand der Discard-Linie von -80mm, praktisch ohne Sicherheit gewählt.

Das Band wird extern gesteuert. Daher kann die Stopp/Start-Conveyor Funktion nicht genutzt werden, um das Band anzuhalten, bevor Werkstücke den Trackingbereich verlassen. Die Optionen Y-Sort, Skip this CStn und Pre-grouping werden nicht genutzt.

6 GPM Locator Tool einrichten

Das GPM Locator Tool bildet das Kernstück des Vision-Prozesses, es überprüft die Bilder der Kamera und versucht, das zuvor eingelernte Muster zu finden und die Position und Orientierung auszugeben. Um die Mustererkennung zu verbessern, wird das Bild vorher mit Filter-Tools bearbeitet. Die Schwierigkeit liegt darin, die Balance zwischen Genauigkeit und Geschwindigkeit zu finden.

6.1 Vision-Prozess

Um das GPM Locator Tool nutzen zu können, muss als erstes ein Vision-Prozess erstellt werden. Dazu wird wie in Kap 4.3 eine Verbindung mit dem Roboter aufgebaut. Über „Create“ wird dann ein neuer Vision-Prozess vom Typ 2-D Single-View Visual Tracking erstellt.

Der erstellte Vision-Prozess kann dann ausgewählt und bearbeitet werden. Der hier verwendete Vision-Prozess besteht aus vier Tools, wie in Abb. 6.1 abgebildet: einem Snap Tool zum Aufnehmen des Bildes, zwei Image Tools, die zur Bildvorbereitung verwendet werden, und abschließend dem GPM Locator Tool, um das Bild auf das Modellmuster zu prüfen. Für die einzelnen Tools können verschiedene Parameter eingestellt werden.

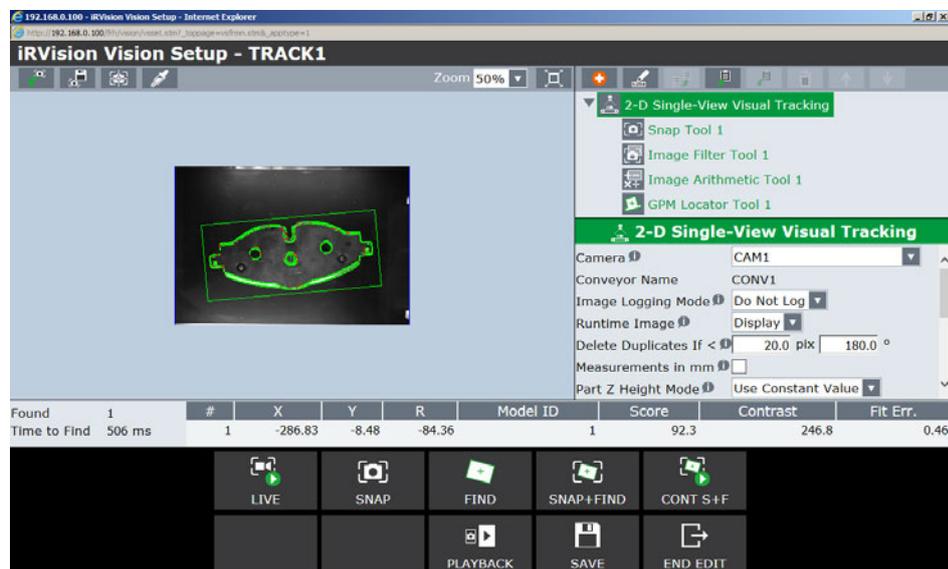


Abb. 6.1 Vision-Prozess

Als Kamera für den Vision-Prozess wird die Kamera-Konfiguration ausgewählt, die in Kap. 4.3 erstellt wurde. Das System enthält nur einen Conveyor, daher wird dieser automatisch ausgewählt und kann nicht geändert werden. Die Optionen für „Image-Logging“ und „Runtime Image“ werden deaktiviert, um Bearbeitungszeit zu sparen. Die z-Höhe wird gemessen und unter „Part Z Height“ eingegeben. Die Höhe wird dabei vom Tracking Frame zur Werkstückoberfläche gemessen. Die weiteren Daten der Referenzposition werden über den Sensor eingestellt (siehe Kap. 5.3).

6.1.1 Snap Tool

Das Snap Tool macht ein Bild von der aktuellen Kameraansicht, wie in Abb. 6.2 zu sehen. Die Parameter, die eingestellt werden können, sind die Auflösungsreduzierung und die Belichtungszeit. Bei Bedarf kann auch die Größe der Aufnahme angepasst werden. Es gibt auch die Möglichkeit, dass der Roboter die Beleuchtung selbstständig steuert. In diesem Fall wird die Beleuchtung durch die SPS gesteuert.

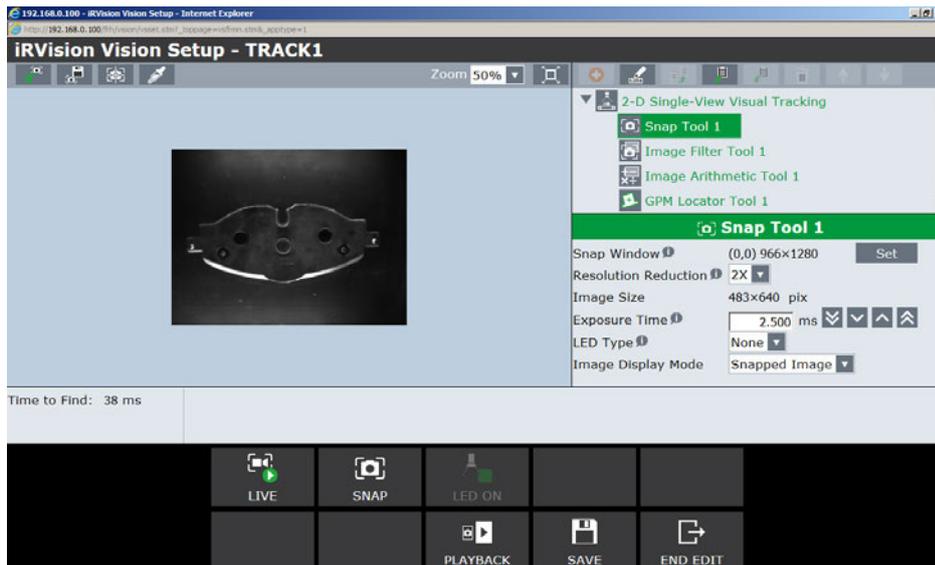


Abb. 6.2 Snap Tool

Die Reduzierung der Auflösung um den Faktor zwei sorgt für eine schnellere Bearbeitungszeit, ohne dass wesentliche Bildinformationen verloren gehen.

Die Belichtungszeit von 2,5ms steuert die Helligkeit des Bildes und wurde durch Testen bestimmt.

Die Sichtfeldbreite wird außerdem an die Breite des Förderbands angepasst.

6.1.2 Image Filter Tool

Mit dem Image Filter Tool wird das Bild des Snap Tools vorbearbeitet, um die Merkmal-Erkennung später zu erleichtern. Pro Filter Tool können bis zu 10 Filter verwendet werden, die Filterordnung kann in den meisten Fällen von 1 bis 10 eingestellt werden. Wobei jede Filteroption die Bearbeitungszeit erhöht. Wenn der Vision-Prozess erneut aufgerufen wird, bevor die Bearbeitung abgeschlossen ist, entsteht ein Fehler. In Abb. 6.3 sind die verwendeten Filtereinstellungen zu sehen. Die Filter werden sequenziell abgearbeitet.

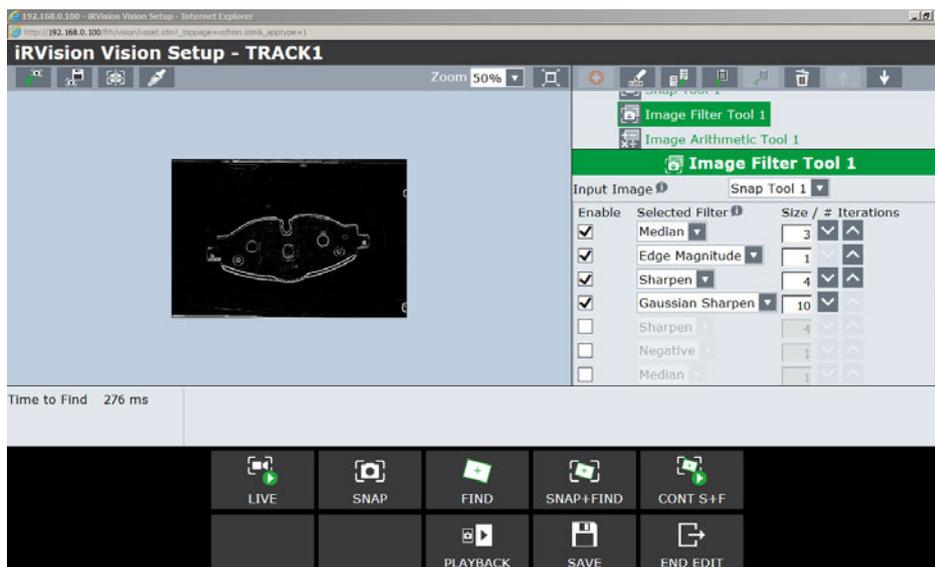


Abb. 6.3 Image Filter Tool

Der Median-Filter entfernt Bildrauschen, ohne dabei die Kanten des Bildes zu beeinflussen. Es ist wichtig, diesen Filter als erstes anzuwenden, da sonst alle Störungen mit verstärkt werden.

Edge Magnitude ist ein Filter, der die Kanten in einem Bild hervorhebt.

Sharpen- und Gaussian Sharpen- Filter heben beide Kanten hervor, indem der Kontrast im Bild erhöht wird. Sharpen hat eine stärkere Hervorhebung, aber auch einen größeren Einfluss auf die Bearbeitungszeit. Gaussian Sharpen hebt die Kanten schlechter hervor, hat aber auch einen geringeren Einfluss auf die Bearbeitungszeit. Außerdem werden Störeinflüsse ebenfalls nicht so stark verstärkt.

Die verwendeten Filter und die entsprechenden Filterordnungen, wie in Abb. 6.3 dargestellt, werden durch Testen ausgewählt. Entscheidend ist dabei, das Bild so deutlich wie möglich zu machen, ohne die Bearbeitungszeit zu sehr zu belasten. Aufgrund von Schwankungen, beim Finden eines Werkstücks, kann die maximale Bearbeitungszeit von 800ms nicht verplant werden. Eine Gesamtzeit von 506ms wie in Abb. 6.1 ist gut geeignet, da so ausreichend Zeit für Schwankungen vorgesehen ist.

6.1.3 Image Arithmetic Tool

Mit dem Image Arithmetic Tool, wie in Abb. 6.4 dargestellt, können einfache arithmetische Operationen zwischen zwei Bildern ausgeführt werden. Zum Beispiel kann ein Bild pixelweise von einem anderen abgezogen werden. In dieser Anwendung wird das Image Filter Tool als Input verwendet. Der zweite Input bleibt leer, sodass nur der Skalierungsfaktor verwendet wird. Die Werte des Bildes werden also pixelweise mit dem Faktor 2 multipliziert und an das GPM Locator Tool weitergegeben. Die durch das Filter Tool hervorgehobenen Kanten werden so noch zusätzlich verstärkt.

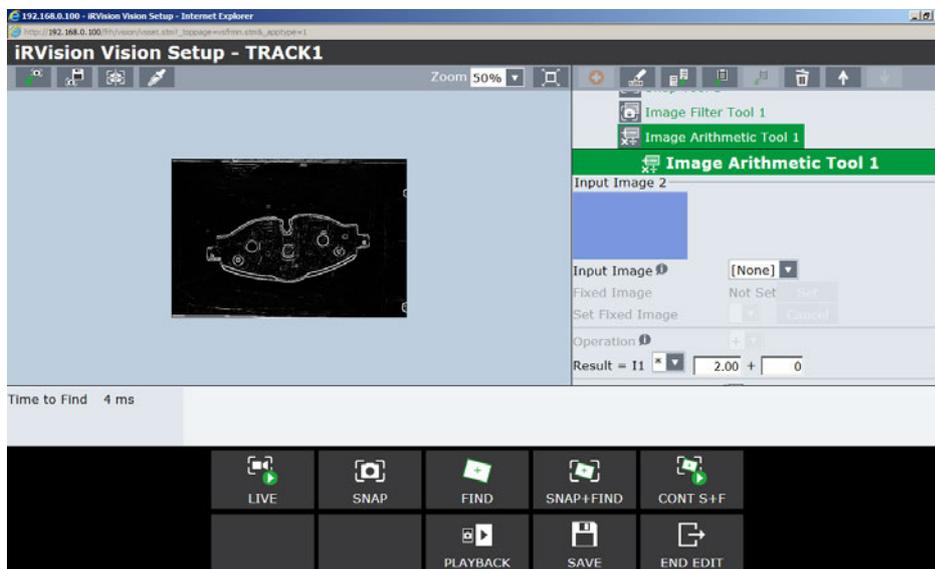


Abb. 6.4 Image Arithmetic Tool

6.2 GPM Modell einlernen

Um später Teile erkennen zu können, muss zuerst ein Muster eingelernt werden. Im GPM Locator Tool wird das Image Arithmetic Tool als Input verwendet. Der Einlernvorgang wird mit der Teach-Taste gestartet, der Hintergrund sollte dabei möglichst frei von Störeinflüssen sein.

Mit einem Auswahlfeld wird das Muster, das erkannt werden soll, markiert und mit OK bestätigt. Die erkannte Geometrie wird dann wie in Abb. 6.5 auf dem Bildschirm angezeigt. Wenn Position, Orientierung und Größe gut erkennbar sind, werden die Parameter in grün gekennzeichnet. Mit der Trainingsmaske können jetzt noch unerwünschte Merkmale ausgeblendet werden.

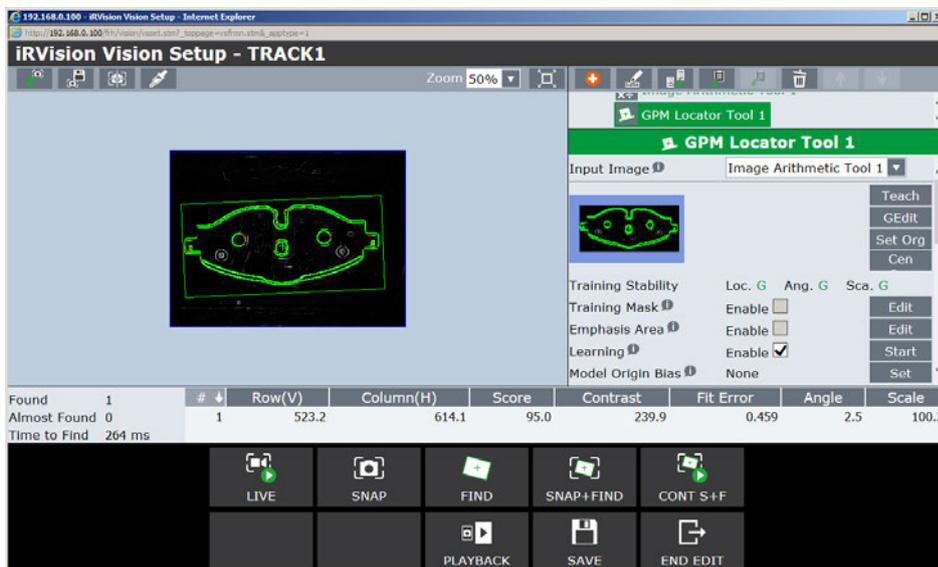


Abb. 6.5 GPM Locator Tool

Wenn das Muster angepasst ist, kann es über die Learning-Funktion noch optimiert werden. Um die Funktion verwenden zu können, muss sichergestellt werden, dass ein Speicher an der entsprechenden Stelle vorhanden ist. Der Pfad kann über die „Vision Config“ Option auf der Robot-Homepage bearbeitet werden. Wenn die Funktion gestartet wird, können entweder Bilder aus einer Log-Datei oder neu aufgenommene Bilder verwendet werden. In dieser Arbeit werden die neu aufgenommenen Bilder genutzt. Dazu wird eine Reihe an Werkstücken unter der Kamera platziert und die Taste FIND gedrückt, wie in Abb. 6.6 dargestellt. Wenn das Werkstück gefunden wurde, wird das Bild mit ADD hinzugefügt. Wenn alle Werkstücke aufgenommen wurden, wird mit NEXT zur nächsten Seite gewechselt. An dieser Stelle besteht die Möglichkeit, Aufnahmen wieder zu entfernen, falls diese nicht für den Lernvorgang verwendet werden sollen. Durch Drücken der NEXT-Taste wird der Lernvorgang gestartet.

6 GPM Locator Tool einrichten

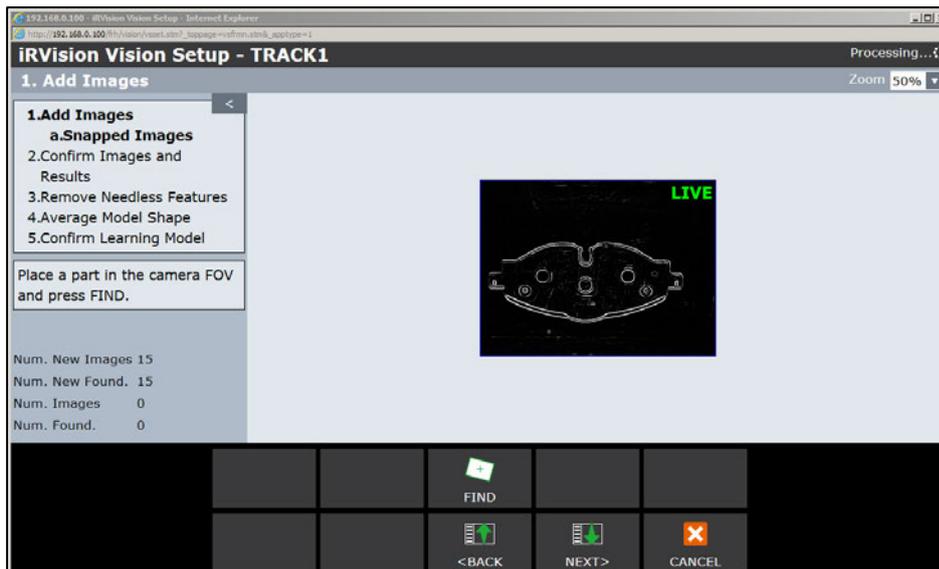


Abb. 6.6 Hinzufügen von Mustern für Lernvorgang

Nachdem der Lernvorgang abgeschlossen ist, wird die Ansicht in Abb. 6.7 geöffnet. Jetzt kann ausgewählt werden, bis zu welchem Schwellwert die Merkmale entfernt werden sollen. Je kleiner der Wert, desto unwichtiger ist das Merkmal für den Erkennungsprozess. Die Merkmale bis 20% werden entfernt und mit NEXT wird zum nächsten Schritt gewechselt. Die Modelländerungen werden anschließend übernommen und die Eingaben mit FINISH bestätigt.

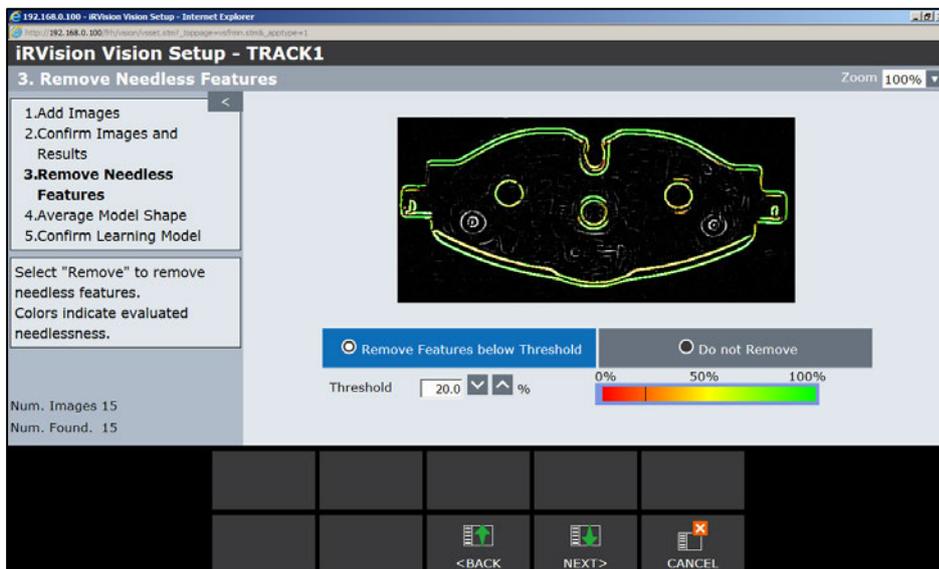


Abb. 6.7 Anpassen des Modells nach Lernvorgang

Nachdem das Modell angepasst wurde, können eine Reihe von Parametern wie in Abb. 6.8 für das Modell eingegeben werden.

6 GPM Locator Tool einrichten

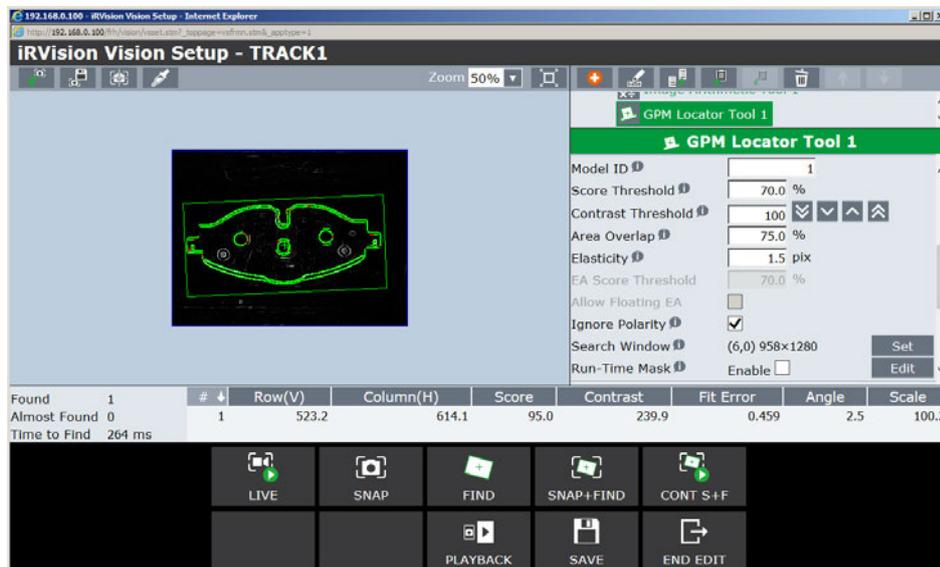


Abb. 6.8 GPM Locator Tool Parameter

Die Model ID wird nur verwendet, wenn mehrere Muster erkannt werden können. Die ID dient dazu, dass das Ergebnis einem Tool zugeordnet werden kann. Da nur ein Tool und ein Muster verwendet werden, wird der Wert auf 1 gelassen.

Der Score Threshold gibt an, wie ähnlich das gefundene Muster dem eingelernten sein muss. Der Threshold wird auf 70% eingestellt, da damit die falsche Erkennung eines Werkstücks sehr unwahrscheinlich ist und gleichzeitig der Bereich, in dem ein Werkstück korrekt erkannt wird, nicht zu klein ist.

Der Contrast Threshold gibt an, wie hoch der Kontrast sein muss, um Merkmale im Bild als solche zu erkennen. Der Wert wurde auf 100 gesetzt, obwohl das Bild wie in Abb. 6.8 einen Kontrast von über 200 aufweist, da bei mehreren Werkstücken damit die besseren Ergebnisse erzielt wurden.

„Area Overlap“ gibt an, wie stark sich zwei gefundene Muster überlappen müssen, um als überlappend erkannt zu werden. Ein Überlappen kann dann auftreten, wenn das eingelernte Muster in verschiedenen Orientierungen im Bild gefunden werden kann. Wenn ein Überlappen, größer als der eingestellte Grenzwert, festgestellt wird, wird nur das Muster mit dem höchsten Score beibehalten. Ein Überlappen ist aufgrund der Mustergeometrie nicht möglich, daher muss der Parameter in dieser Anwendung nicht weiter eingestellt werden.

„Elasticity“ gibt an, in welchem Bereich die Merkmale des gefundenen Musters liegen müssen. Um das eingelernte Muster wird ein Bereich von $\pm 1,5$ Pixeln gezogen, in dem das gefundene Muster liegen muss. So können zum Beispiel Bildverzerrungen ausgeglichen werden. Zu große Werte können aber dazu führen, das Muster falsch erkannt werden.

6 GPM Locator Tool einrichten

Der Haken bei „Ignore Polarity“ wird gesetzt, damit die Merkmale unabhängig vom Hell/Dunkel-Übergang erkannt werden. Dadurch, dass die Beleuchtung nicht immer gleichmäßig ist oder sich mit der Position verändert, kann sich der Übergang verändern. Durch diese Option wird dieser Einfluss ignoriert.

Bei Bedarf kann noch das Suchfenster angepasst werden. Je kleiner das Suchfenster ist, desto kürzer ist die Bearbeitungszeit.

Abschließend wird der Suchbereich mit den in Abb. 6.9 unter DOF abgebildeten Parametern eingestellt. Die Orientierung wird auf $\pm 180^\circ$ eingestellt, damit das Werkstück in jeder Orientierung erkannt werden kann. Bei der Erkennung ist immer mit kleinen Abweichungen zu rechnen, daher wird für die Skalierung ein Bereich von $\pm 5\%$ zum eingelernten Muster angegeben. Über „Aspect“ könnte eine Abweichung vom Seitenverhältnis angegeben werden. Die Einstellung wird an dieser Stelle vernachlässigt, da bei erhöhter Bearbeitungszeit keine Verbesserung des Suchergebnisses erreicht wird.

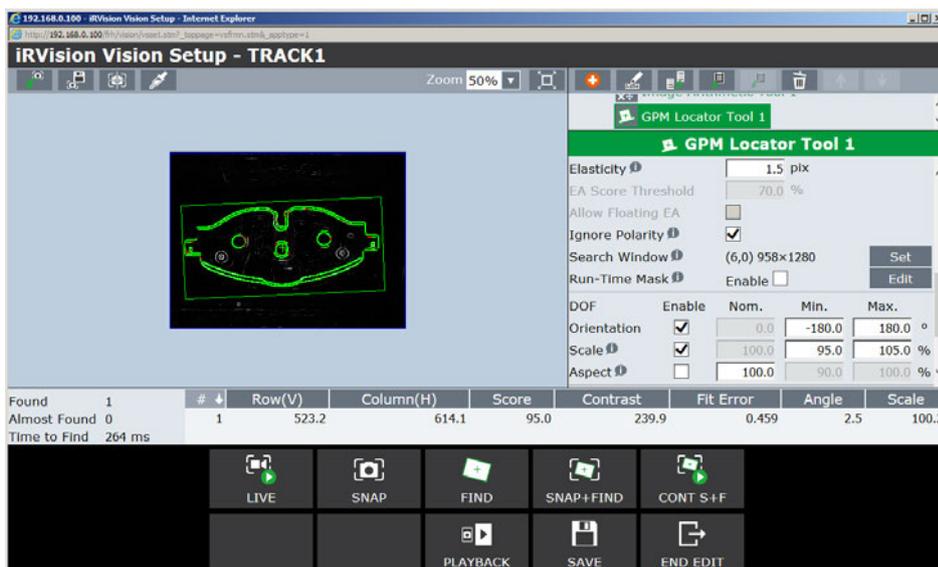


Abb. 6.9 GPM Locator Tool Suchbereich

Nachdem die Einstellungen abgeschlossen sind, werden mehrere Werkstücke in unterschiedlichen Positionen und Orientierungen unter die Kamera gelegt. Das Modell wird dann über „Snap + Find“ getestet. Die Werkstücke sollten mindestens ein Ergebnis von 75% aufweisen, damit noch etwas Abstand zum Grenzwert besteht. Besser wäre ein Ergebnis von mindestens 80%, unabhängig von der Orientierung.

7 Roboterprogramme

Die Roboterprogramme sind für die Aktionen des Roboters zuständig. Sie können im Fall dieser Arbeit in 4 Typen eingeteilt werden:

- Programme mit Bewegungsanweisungen
- Tracking-Programme
- Programme ohne Bewegungsanweisungen
- Background-Programme

Diese Programmtypen unterscheiden sich dabei durch ihre Konfiguration oder ihren Inhalt. Programme mit und ohne Bewegungsanweisungen unterscheiden sich einfach dadurch, dass die Einen im Gegensatz zu den Anderen keine Bewegungsanweisungen enthalten. Beim Erstellen der Programme ohne Bewegungsanweisungen, wird die „1“ bei „group mask“ durch ein „*“ ersetzt. Diese Einstellung ist für die Programmfunktion nicht notwendig, sollte aber trotzdem vorgenommen werden, da Programme ohne Bewegungsgruppe auch dann gestartet werden können, wenn das System nicht betriebsbereit ist.

Tracking-Programme werden verwendet, um zum Beispiel Werkstücke auf einem Förderband zu verfolgen. Diese Programme beziehen sich auf einen Tracking Frame. Um diese Verbindung herzustellen, wird beim Erstellen des Programms eine „Line track schedule number“ angegeben, die der Nummer des Tracking Frames, normalerweise die „1“, entspricht. Mit dieser Einstellung bezieht sich User Frame 0 auf den Tracking Frame und nicht mehr auf das Weltsystem, das muss beim Verwenden von Positionsregistern im Programm beachtet werden. Außerdem können nur lineare Bewegungsanweisungen in Tracking-Programmen verwendet werden.

Background-Programme sind Programme ohne Bewegungsanweisungen, die über MENU → SETUP → BG Logic für die Hintergrundauführung eingerichtet werden. Diese Programme werden permanent ausgeführt, unabhängig vom aktiven Programm, Not-Halt, Alarmen oder Stopp-Anweisungen. Eine mögliche Anwendung für Background-Programme ist das Weiterleiten von Eingangssignalen des Roboters an eine Steuerung.

7.1 Hauptprogramme

Der Roboter in dieser Arbeit hat vier Hauptaufgaben:

- Aufnehmen eines Werkstücks vom laufenden Förderband (Pick_T)
- Ablegen eines Werkstücks im Magazin (Drop)
- Aufnehmen eines Werkstücks aus dem Magazin (Pick)
- Ablegen eines Werkstücks auf dem laufenden Band (Drop_T)

Für jede dieser Aufgaben steht ein eigenes Programm zur Verfügung, die Tracking-Programme sind dabei mit einem „T“ gekennzeichnet. Zusätzlich zu diesen Programmen gibt es noch vier PNS-Programme, die über die Steuerung gestartet werden können. Diese Programme enthalten folgende Funktionen:

- Automatik: Einlagern
- Automatik: Auslagern
- Grundstellungsfahrt
- Handbetrieb

Um die Programme über die Steuerung starten zu können, müssen diese entsprechend benannt werden. Der Programmname setzt sich dabei aus der Abkürzung für das Auswahlverfahren und einer vierstelligen Nummer zusammen. Der Programmname ist folglich „PNS + Nummer“, wobei die Nummer Tabelle 7.1 entnommen werden kann. Die übertragene Nummer und die PNS-Nummer sind in diesem Fall gleich, da die Basisnummer Null ist.

Tabelle 7.1 PNS-Nummern Roboterprogramme

PNS-Nummer	Programm
0001	Einlagern
0002	Auslagern
0003	Grundstellungsfahrt
0004	Handbetrieb

Um die PNS-Programme zu starten, wird über die Eingänge UI9 bis UI16 die Programmauswahlnummer von der Steuerung ausgewertet. Das angewählte Programm wird dann über den Eingang UI18 „PROD_START“ gestartet. Die erfolgreiche Übertragung wird durch einen Impuls auf Ausgang UO19 „SNACK“ signalisiert.

Die Drop- und Pick-Programme können nicht direkt gestartet werden, da sie entweder gewisse Rahmenbedingungen benötigen, oder den aktuellen Zustand nicht selbst abfragen.

Die im Folgenden verwendeten Diagramme zur Beschreibung der Roboterfunktion sind aus Darstellungsgründen stark vereinfacht. Die ausführlichen Diagramme sind im Anhang unter Anhang 1 bis Anhang 9 zu finden. Der Programmcode ist im digitalen Anhang zu finden, siehe Anhang 18 Digitaler Anhang.

7.1.1 Einlagern/PNS0001

Das Programm ist für das automatische Einlagern zuständig, der Ablauf ist grob in Abb. 7.1 zu sehen.

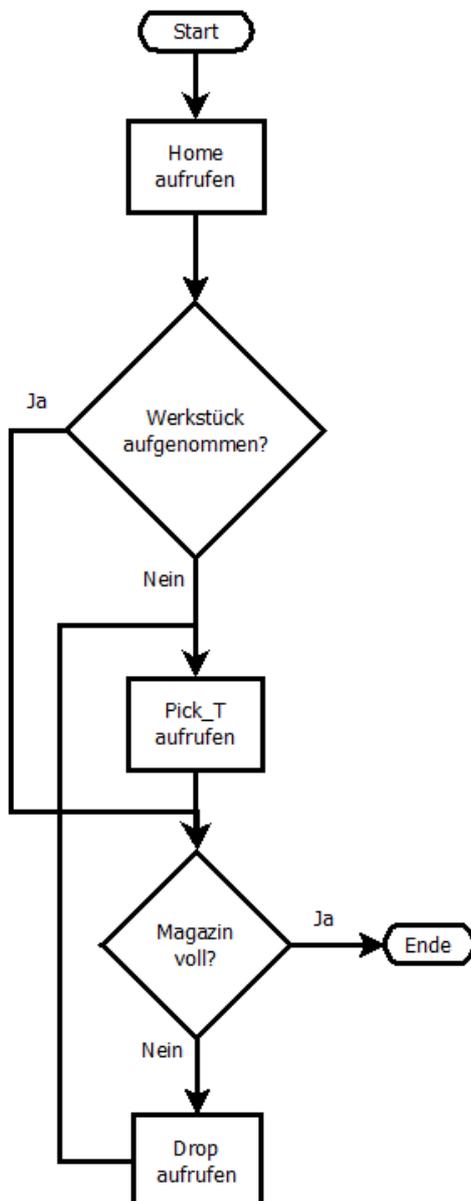


Abb. 7.1 Einlagern vereinfachtes Diagramm

Das Programm lässt den Roboter als erstes in die Grundstellung fahren und prüft anschließend, ob bereits ein Werkstück aufgenommen ist. Wenn kein Werkstück aufgenommen ist, wird das Programm Pick_T gestartet, um ein Werkstück vom Förderband aufzunehmen. Ist ein Werkstück am Greifer vorhanden, wird geprüft, ob das Magazin bereits voll ist. Ist das Magazin voll, wird das Programm abgebrochen. Wenn das Magazin nicht voll ist, wird das Drop-Programm aufgerufen, um das Werkstück im Magazin zu platzieren. Anschließend wird Pick_T erneut aufgerufen und der Ablauf startet erneut.

7.1.2 Auslagern/PNS0002

Der Ablauf für das automatische Auslagern ist in Abb. 7.2 vereinfacht dargestellt.

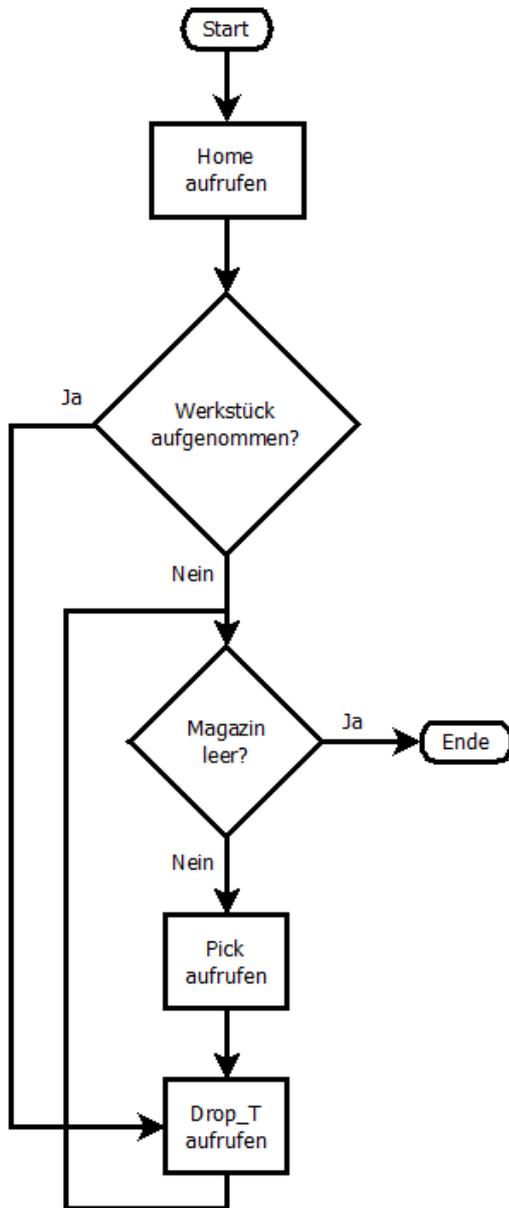


Abb. 7.2 Auslagern vereinfachtes Diagramm

Als erstes wird der Roboter wieder in Grundstellung gebracht. Sollte ein Werkstück bereits aufgenommen sein, wird Drop_T aufgerufen, um das Werkstück auf dem Förderband abzulegen. Solange das Magazin nicht leer ist, wird im Wechsel zuerst Pick aufgerufen, um ein Werkstück aus dem Magazin aufzunehmen, und danach Drop_T, um es auf dem Band abzulegen. Wenn das Magazin leer ist, wird das Programm beendet.

7.1.3 Grundstellungsfahrt/PNS0003

Der in Abb. 7.3 vereinfacht dargestellte Ablauf beschreibt die Grundstellungsfahrt des Roboters. Ist die Grundstellung bereits erreicht, wird das Programm beendet, wenn nicht, startet die Grundstellungsfahrt.

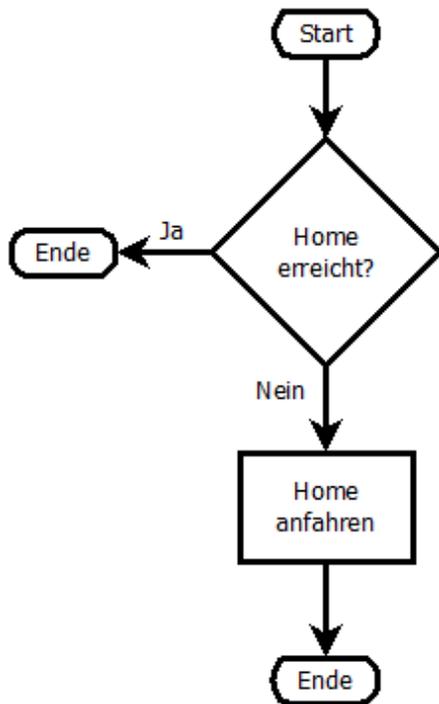


Abb. 7.3 Grundstellungsfahrt vereinfachtes Diagramm

Wenn die Grundstellung nicht erreicht ist, beginnt die Grundstellungsfahrt damit, dass der Roboter auf eine sichere Höhe fährt. Anschließend wird anhand der aktuellen Position bestimmt welcher Wegpunkt verwendet wird (rechts oder links). Je nach Position wird dann zuerst der Wegpunkt angefahren oder direkt die Grundstellungsposition. Ist die Grundstellung, erreicht wird das Programm beendet.

7.1.4 Handbetrieb/PNS0004

Das in Abb. 7.4 dargestellte Diagramm beschreibt den Handbetrieb des Roboters.

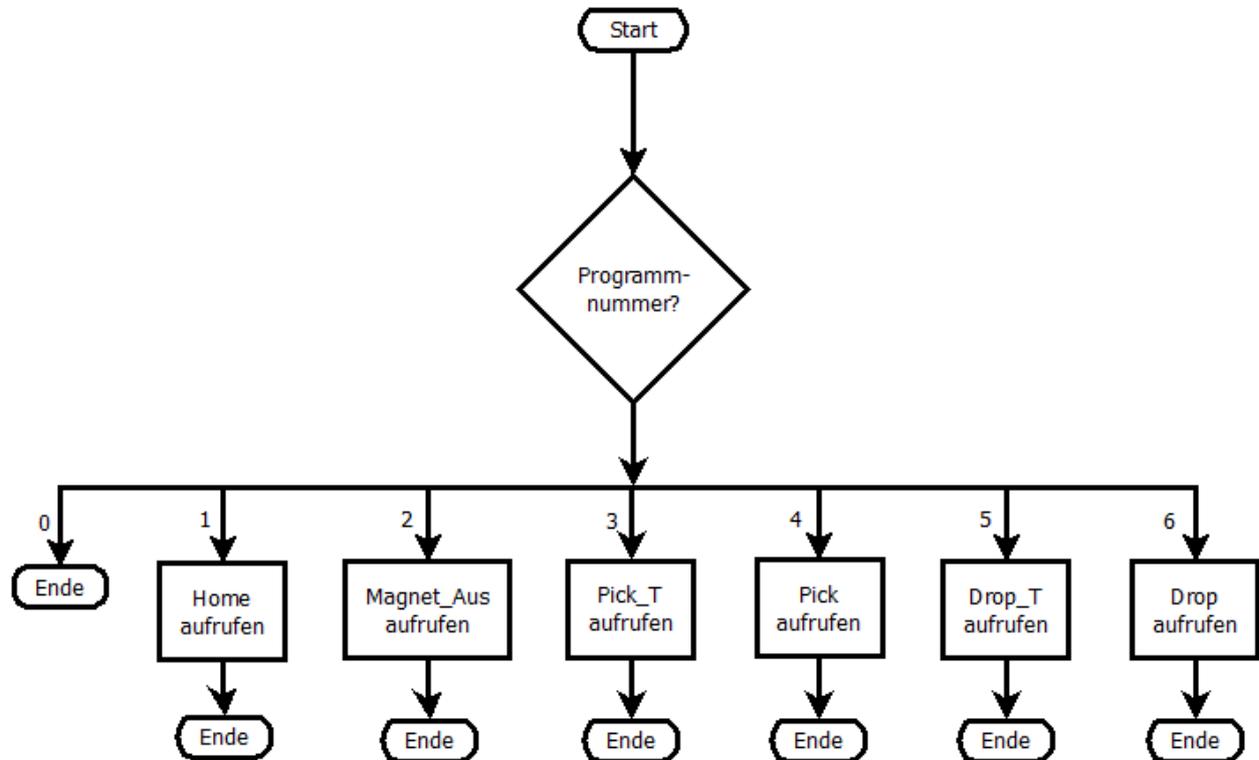


Abb. 7.4 Handbetrieb vereinfachtes Diagramm

Das Handbetriebsprogramm wertet eine Auswahlnummer von der SPS aus und startet das entsprechende Programm. Das Programm schafft die für die Unterprogramme benötigten Rahmenbedingungen und fragt die Zustände ab.

Für die Tracking-Programme wird der entsprechende Sensor-Task ausgewählt und gestartet. Für Pick und Drop wird der Magazinzustand abgefragt und die Programme werden entsprechend gestartet.

Die Programme werden nicht direkt über die Steuerung gestartet, da das mit den aktuellen Programmen nicht möglich ist. Um die Programme direkt starten zu können, müssten alle Programme doppelt erstellt werden, einmal für den Automatikbetrieb und einmal für den Handbetrieb.

7.1.5 Pick_T

Der grundlegende Ablauf des Programms Pick_T ist in Abb. 7.5 dargestellt, es dient zur Werkstückaufnahme vom Förderband. Das Programm fragt den Sensor (siehe Kap. 5.3) solange ab, bis ein Werkstück gefunden wurde. Sobald vom Sensor die Rückmeldung kommt, dass ein Werkstück gefunden wurde, wird das Werkstück vom Förderband aufgenommen und das Programm beendet.

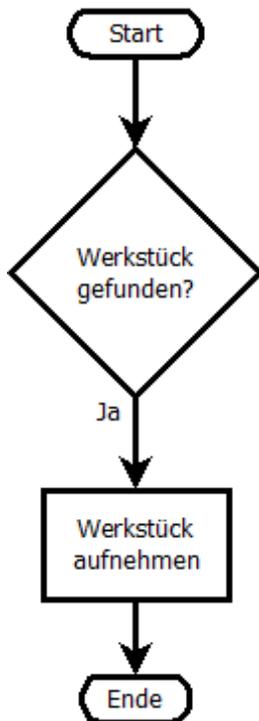


Abb. 7.5 Pick_T vereinfachtes Diagramm

Das Handling der Werkstückinformationen wie Vision-Offset oder Encoder-Count wird durch interne Programme übernommen. Wichtig im Programm ist, dass der Frame mit Null angegeben wird, um den Tracking Frame zu nutzen. Nachdem das Werkstück gefunden wurde, wird die Annäherungsposition angefahren und im Anschluss die Aufnahme positioniert. Mit dem Aufruf von Magnet_ON wird das Werkstück aufgenommen, danach wird der Roboter wieder auf die Annäherungsposition gefahren und das Programm beendet. Der Sensor, der abgefragt wird, wird in dem Programm ausgewählt, das Pick_T aufruft.

7.1.6 Drop_T

Abb. 7.6 zeigt den vereinfachten Aufbau des Programms Drop_T, das Werkstücke auf dem Förderband ablegt. Das Programm wartet solange, bis eine Ablageposition den Tracking-Bereich erreicht, und legt anschließend das Werkstück ab.

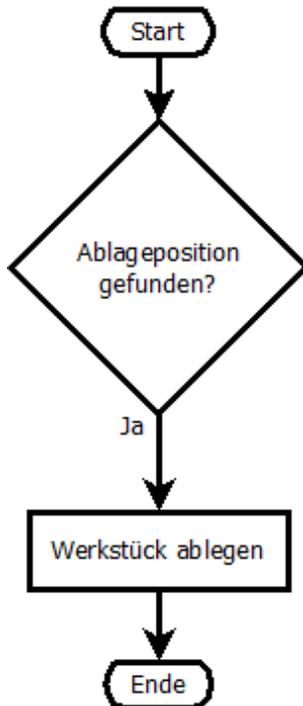


Abb. 7.6 Drop_T vereinfachtes Diagramm

Das Programm Drop_T verwendet Sensor 2 (siehe Kap. 5.3), um nach einer festen Distanz eine Ablageposition auf dem Förderband zu generieren. Wie bei Pick_T werden die Tracking-Informationen wie Offset und Encoder-Count von internen Programmen verwaltet. Der Sensor wird solange abgefragt, bis eine Position gefunden wurde. Wird eine Position gefunden, wird diese über eine Annäherungsposition angefahren und der Magnet wird mit Magnet_OFF ausgeschaltet. Nach dem Freifahren des Roboters wird das Programm beendet. Die Auswahl und das Starten des Sensors werden durch das übergeordnete Programm erledigt.

7.1.7 Pick

Abb. 7.7 zeigt den vereinfachten Aufbau von Programm Pick, das Werkstücke aus dem Magazin aufnimmt.

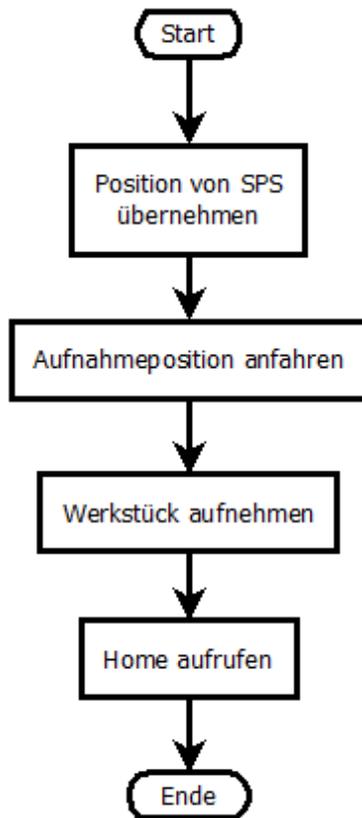


Abb. 7.7 Pick vereinfachtes Diagramm

Die Aufnahmeposition wird von der SPS bestimmt. Nachdem die Position von der Steuerung übernommen und die Rotation entsprechend gesetzt wurde, wird die Aufnahmeposition je nach Position über bis zu zwei Wegpunkte angefahren. Dazu wird das Programm PASS_POS genutzt. Wenn die Position erreicht wurde, wird der Belag aufgenommen und der Roboter verfährt wieder in die Grundstellung.

7.1.8 Drop

Das Programm Drop legt Werkstücke im Magazin ab, der Aufbau ist in Abb. 7.8 vereinfacht dargestellt.

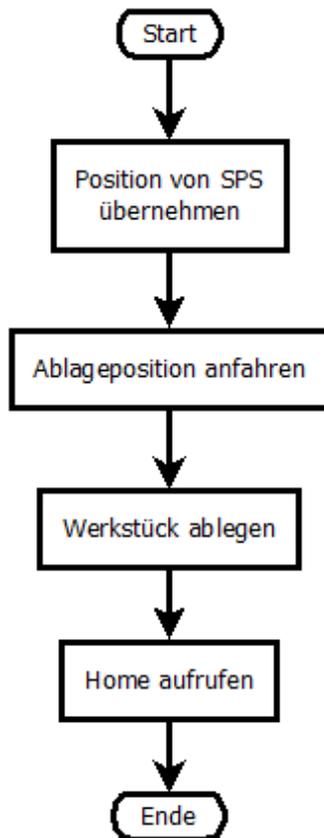


Abb. 7.8 Drop vereinfachtes Diagramm

Wie schon bei Pick wird die Ablageposition von der SPS festgelegt. Wenn Position und Orientierung übernommen wurden, wird die Position ausgewertet und die entsprechenden Wegpunkte werden angefahren. Dazu wird wieder das PASS_POS Programm genutzt. Ist die Position erreicht, wird der Magnet mit Magnet_OFF ausgeschaltet. Der Roboter verfährt anschließend wieder in die Grundstellung.

7.2 Hilfsprogramme

Die Hilfsprogramme dienen in erster Linie dazu, dass Funktionen, die öfter benötigt werden, ausgelagert werden, um den Code der Hauptprogramme übersichtlicher zu gestalten. Die Hilfsprogramme werden von den Hauptprogrammen aufgerufen oder laufen im Hintergrund. Einige Hilfsprogramme sind recht übersichtlich, deshalb sind die Diagramme teilweise in der nicht vereinfachten Form dargestellt. Die ausführliche Darstellung kann im Anhang gefunden werden.

7.2.1 Magnet_OFF

Das Programm Magnet_OFF, das in Abb. 7.9 dargestellt ist, ist dafür zuständig, den Magneten auszuschalten.

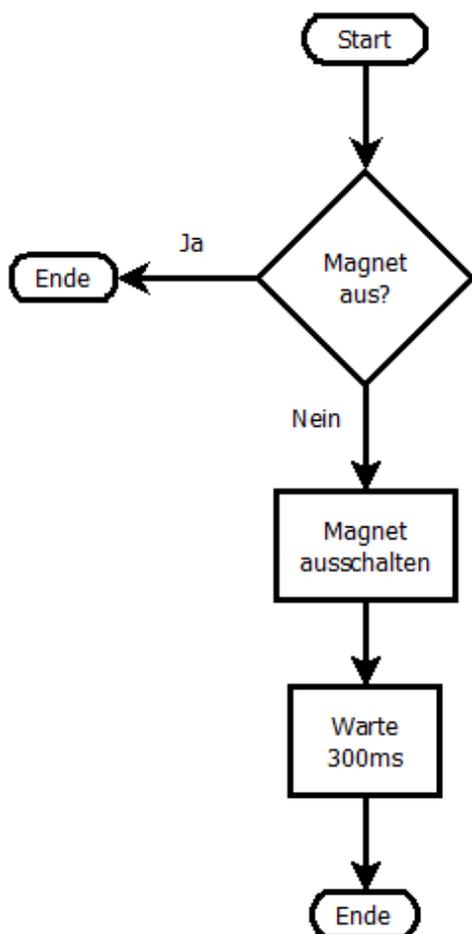


Abb. 7.9 Magnet_OFF Diagramm

Wird das Programm aufgerufen, wenn der Magnet bereits ausgeschaltet ist, wird das Programm beendet. Wenn der Magnet noch nicht ausgeschaltet ist, wird er ausgeschaltet, und nach einer Wartezeit von 300ms wird das Programm beendet. Die Wartezeit ist dafür da, dass bei der nächsten Bewegung der Belag nicht noch am Greifer hängt. Der Wert wurde durch Testen ermittelt.

7.2.2 Magnet_ON

Das Programm Magnet_ON in Abb. 7.10 sorgt dafür, dass der Magnet angeschaltet wird.

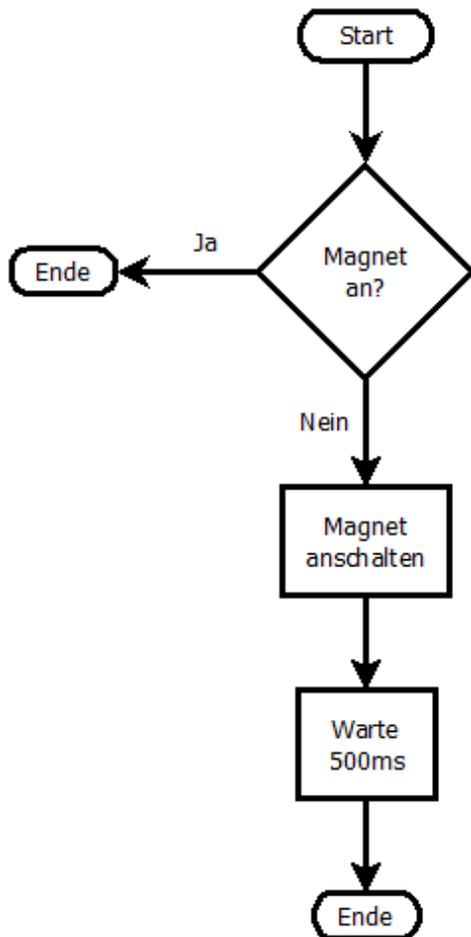


Abb. 7.10 Magnet_ON Diagramm

Wenn der Magnet bereits aktiv ist, wenn das Programm gestartet wird, wird das Programm beendet. Wenn nicht, wird der Magnet eingeschaltet, und nach einer Wartezeit wird das Programm verlassen. Bei den normalen Aufnahmevorgängen wird die Wartezeit verwendet, die in Abb. 7.10 zu sehen ist. Beim Aufnehmen von Werkstücken vom Förderband wird eine Wartezeit von 450ms verwendet, um Zeit zu sparen. Das Programm wurde dazu kopiert und eine andere Wartezeit gesetzt, dieses Programm wird an dieser Stelle nicht extra dargestellt. Die Wartezeit muss sicherstellen, dass auch bei voller Geschwindigkeit das Werkstück aufgenommen wurde. Der Wert wurde wieder durch Testen ermittelt.

7.2.3 PASS_POS

Abb. 7.11 zeigt den groben Ablauf des Programms Pass_Pos. Das Programm bestimmt, welcher Wegpunkt gewählt wird, und fährt diesen an.

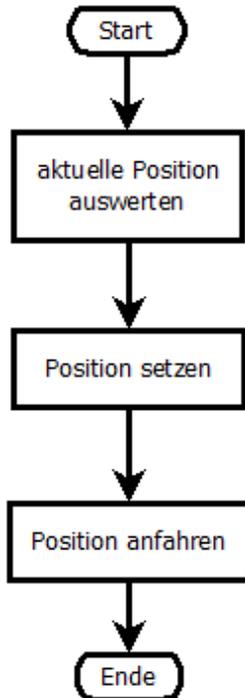


Abb. 7.11 Pass_Pos vereinfachtes Diagramm

Wenn das Programm aufgerufen wird, fragt es als erstes die aktuelle Zielposition ab. Anhand des y-Wertes der Position und eines y-Limits wird bestimmt, ob der linke oder rechte Wegpunkt verwendet wird. Je nach der vorgegebenen Zielorientierung wird die Orientierung des Wegpunktes angepasst. Die Werte für die Orientierung dienen dazu, dass sich die Werkzeuganschlüsse nicht zu stark verdrehen. Die Werte wurden wieder durch Testen bestimmt. Die mit diesem Programm angefahrenen Wegpunkte stellen sicher, dass der Roboter mit seiner Bewegungsbahn in der Einhausung der Anlage bleibt.

7.2.4 Logic1

Logic1 ist ein Programm, das in der „Background Logic“ läuft. Der Ablauf ist in Abb. 7.12 dargestellt.

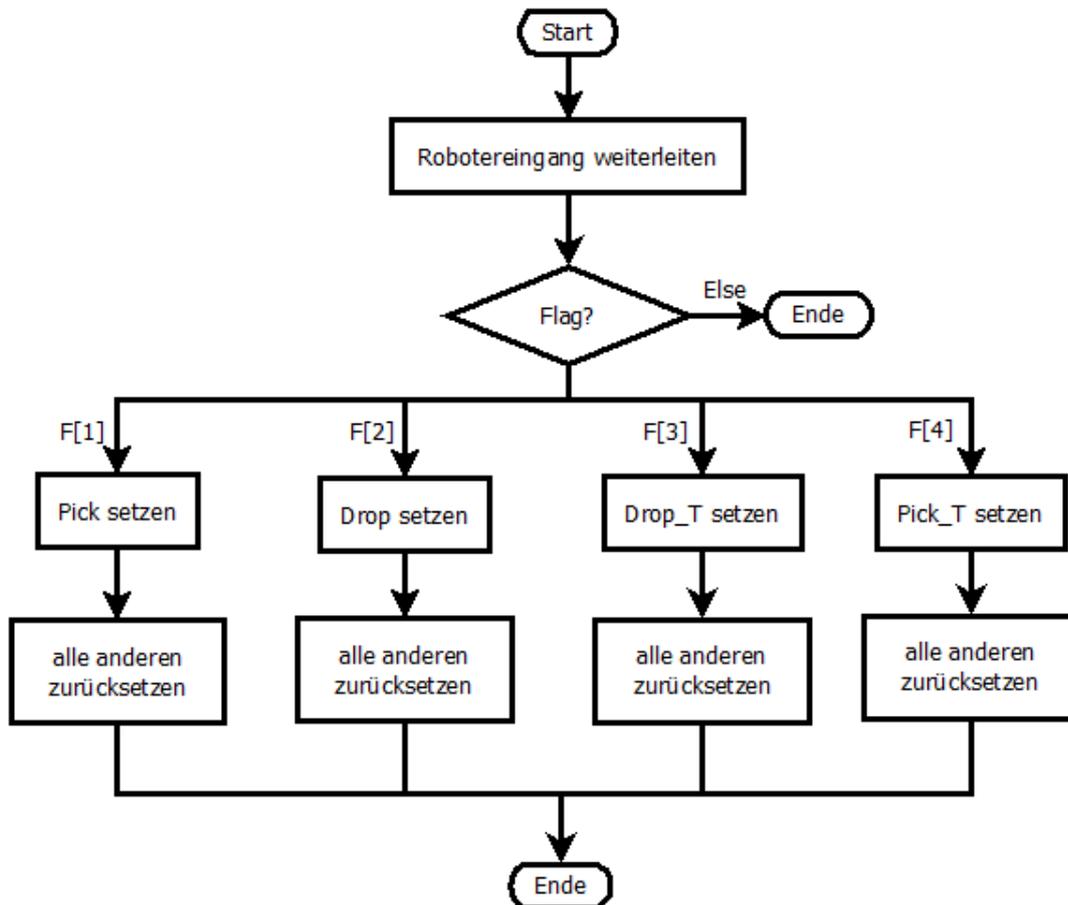


Abb. 7.12 Logic1 Diagramm

Dieses Programm hat zwei Aufgaben. Zum einen wird das Eingangssignal des Roboters, woran die Magnetkontrolle angeschlossen ist, an einen digitalen Ausgang weitergeleitet. Zum anderen werden die Ausgänge für die Programmrückmeldung über Flags gesetzt. Die übrigen Ausgänge werden außerdem zurückgesetzt, da der Ausgang aktiv bleiben würde, wenn das vorherige Programm abgebrochen wurde, bevor es den Ausgang zurücksetzen konnte.

8 Kommunikation Roboter- Steuerung

Die Kommunikation zwischen den Komponenten der Anlage (SPS und Roboter) wird über Profinet realisiert. Um die Verbindung einzurichten, müssen beide Komponenten entsprechend eingerichtet werden. Der Roboter wird dabei zuerst eingerichtet, die Steuerung wird dann entsprechend angepasst. Die folgenden Punkte setzen voraus, dass beide Komponenten bereits angeschlossen und verbunden sind.

8.1 Roboterseite

Zur Konfiguration der Profinet-Schnittstelle wird ein Teach Pendant benötigt. Das Profinet-Menü auf dem Roboter wird über MENU → I/O → Profinet(M) geöffnet. Es öffnet sich dann ein Bildschirm wie in Abb. 8.1. Über CHOICE wird der Adressierungsmodus auf DHCP(Mac) eingestellt. Das Gerät wird dann anhand der Mac-Adresse erkannt und bekommt von der Steuerung eine IP-Adresse zugewiesen.

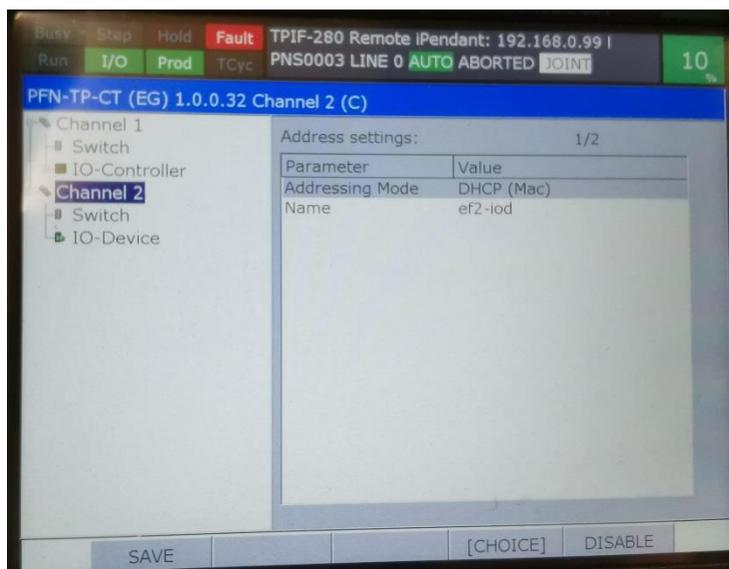


Abb. 8.1 Profinet-Setup Roboter

Über den Unterpunkt IO-Device können dann bis zu 16 Module hinzugefügt werden. Es wird dann ein Input-Slot und ein Output-Slot wie in Abb. 8.2 hinzugefügt. Es werden jeweils 128 Byte gewählt, um die Modulgröße an die der Steuerung anzupassen. Die nicht verwendeten Ein- und Ausgänge dienen als Reserve. Bei Programmänderungen ist es daher nicht erforderlich, die Konfiguration zu ändern.

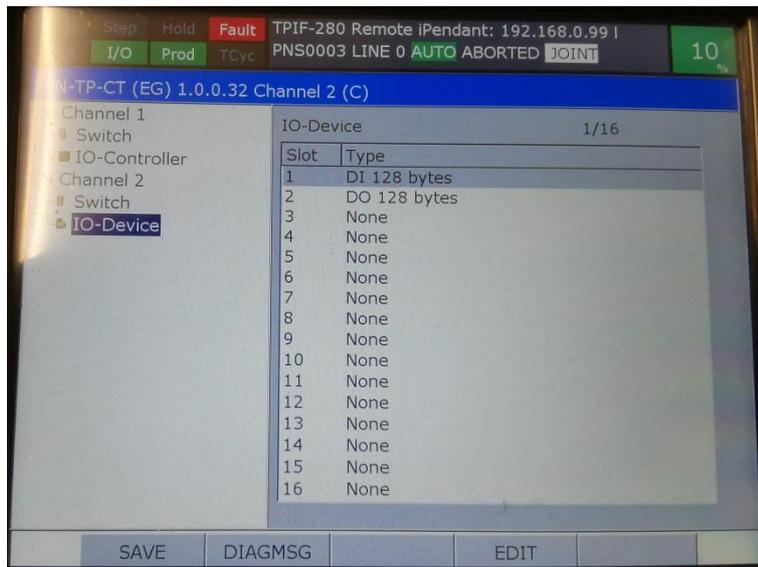


Abb. 8.2 Profinet-Module Roboter

Die Reihenfolge der Module ist entscheidend, da diese später in der Steuerung in umgekehrter Reihenfolge eingerichtet werden müssen. Wenn die Einstellungen abgeschlossen sind, werden sie mit SAVE gespeichert. Nach dem Speichern muss der Controller neu gestartet werden.

Um die Profinet-Verbindung nutzen zu können, müssen die entsprechenden I/O's wie in Kap. 4.1 konfiguriert werden. Die Slot Nummer, die eingegeben werden muss, ist dabei immer 1 und hat nichts mit dem Slot in Abb. 8.2 zu tun. Die Anschlüsse an der Profinet-Karte, die genutzt werden können, sind Port 3 und 4. Port 1 + 2 sind für den IO-Controller und können deshalb nicht verwendet werden.

8.2 Steuerungsseite

Um den Roboter in das TIA-Projekt zu integrieren, muss als Erstes die entsprechende GSDML-Datei installiert werden. Dazu wird im Projekt das Tab „Extras“ geöffnet und „Gerätebeschreibungsdateien verwalten“ wird ausgewählt. An dieser Stelle wird der Pfad zur entsprechenden Datei ausgewählt. Die GSDML-Datei „GSDML-V2.33-Fanuc-A05B2600R834V910C-20180502.xml“ wird ausgewählt und installiert. Nachdem die Datei installiert ist, kann das Gerät hinzugefügt werden. Dazu wird das unter Hardwarekatalog → Weitere Feldgeräte → I/O → FANUC → R-30iB Compact Plus EF2 abgelegte Gerät ausgewählt. In der Netzansicht wird das Gerät dann mit der Steuerung verbunden.

Jetzt werden die Module hinzugefügt. In der Geräteansicht des GSD-Geräts werden ein Input- und ein Output-Modul hinzugefügt. Dabei müssen die Größe und Reihenfolge der Module berücksichtigt werden. Auf Steckplatz 1 wird also ein Output-Modul mit 128 Byte eingefügt und auf Steckplatz 2 ein Input-Modul mit 128 Byte. Unter Eigenschaften → Ethernet-Adressen wird eine IP-Adresse vergeben.

8 Kommunikation Roboter- Steuerung

Um jetzt eine Verbindung zum Roboter herzustellen, wird das GSD-Gerät mit Rechtsklick ausgewählt und das Feld „Online & Diagnose“ ausgewählt. Unter Funktionen wird „IP-Adresse zuweisen“ gewählt. Mit „Erreichbare Teilnehmer“ wird das Gerät gesucht und ausgewählt, und mit „IP-Adresse zuweisen“ wird die zuvor vergebene Adresse zugewiesen. Mit „PROFINET-Gerätename vergeben“ wird noch der Gerätename übertragen. Wenn die Einstellungen geändert werden sollen, muss das Gerät zuerst auf Werkseinstellungen zurückgesetzt werden. Die Eingaben können am Roboter geprüft werden. Wenn die Übertragung erfolgreich war, sollten unter DIAGMSG die Eingaben wie in Abb. 8.3 dargestellt zu sehen sein.

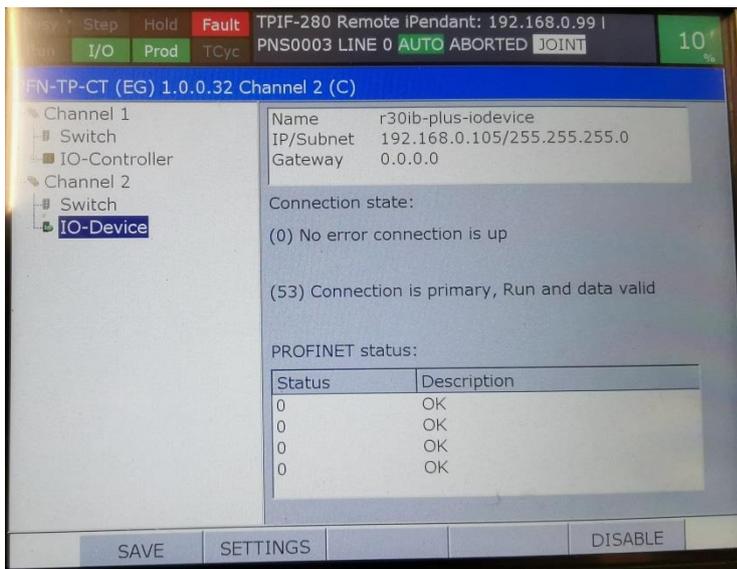


Abb. 8.3 Erfolgreiche Zuweisung

Die Datenübertragung im Programm findet mit Hilfe von zwei Datenbausteinen statt. Die Ausgänge des Roboters werden mit dem „DPRD_DAT“-Baustein gelesen und in einen Datenbaustein abgelegt. Die zu übertragenden Werte werden in einen Datenbaustein geschrieben, welcher mit dem „DPWR_DAT“-Baustein übertragen wird.

Es muss bei beiden Seiten auf die korrekte Konfiguration geachtet werden. Sollte es Unterschiede bei den Variablenzuweisungen geben, kommt es nicht zu einer Fehlermeldung, da die Daten bitweise übertragen werden. Allerdings verschieben sich sämtliche Signale, was zum Versagen der Anlagenfunktion führen kann.

9 Implementierung der Steuerung

Die Steuerung der Anlage besteht hauptsächlich aus zwei Komponenten, einer S-1200 SPS und einem Basic Panel, wie schon in Kap. 2.3 beschrieben. Die wichtigsten Aufgaben der Steuerung sind das Überwachen und Steuern des Magazins und die Steuerung des Roboters. Das Panel wird als User-Interface verwendet, es dient zum Bedienen der Anlage und Anzeigen von Betriebszuständen. Die Steuerung wird mit der TIA-Portal V15.1 Software von Siemens programmiert.

Im folgenden Abschnitt werden die Kernfunktionen der Steuerung kurz beschrieben. Die Bausteine für die Ansteuerung von Motoren und Ventilen und der Rahmen für den Betriebsartenwechsel wurden von der Firma AUT-FIT zur Verfügung gestellt.

9.1 Steuerung

Das Magazin stellt eine der Kernkomponenten der Anlage dar und ist in mehrere Schichten unterteilt. Jede Schicht enthält die aktuelle Anzahl an Werkstücken und Informationen zur Orientierung. Aus Stabilitätsgründen werden die Werkstücke jede 2. Schicht um 180° gedreht.

Das Magazin wird in der SPS in einem Datenbaustein angelegt. Dieser enthält die zuvor genannten Informationen zu den Schichten sowie die aktuelle Schichtnummer, die Gesamtanzahl der Werkstücke, die maximal mögliche Schichtanzahl und den Magazinstatus.

Die Kernprogramme der Steuerung werden im Folgenden kurz beschrieben, der Ablauf der Programme ist in Anhang 10 bis Anhang 17 dargestellt. Der komplette Code der Steuerung kann Anhang 18 entnommen werden.

Unabhängig von der Betriebsart muss das Magazin initialisiert werden, bevor ein Zugriff darauf erfolgen kann. Die Initialisierung bringt das Magazin in eine definierte Position und verfährt den Roboter in die Startposition. Um die Initialisierung starten zu können, muss ein Modus gewählt werden, da sich die Initialisierung für Ein- und Auslagern unterscheidet. Das Magazin wird dann angehoben, bis die Lichtschranke unterbrochen ist. Anschließend wird die Schichtanzahl ausgewertet und je nach Modus gehandelt. Beim Einlagern wird das Magazin wieder freigefahren und beim Auslagern wird die Position beibehalten.

Mit dem Aktualisierungsprogramm wird unabhängig von der Betriebsart das Magazin überwacht. Für dieses Programm muss ebenfalls ein Modus gewählt sein. Ist eine Schicht voll oder leer, je nach Modus, wird der Schichtzähler verändert und das Magazin verfahren. Dieses und das Initialisierungsprogramm sind die einzigen Programme, die das Magazin verfahren können.

Über die Betriebsartenwahl kann zwischen Hand- und Automatikbetrieb gewechselt werden. Wenn die Betriebsart gewechselt wird, werden alle Schrittketten zurückgesetzt. Der gewählte Modus wird nicht geändert.

Im Handbetrieb können diverse Teilfunktionen der Anlage über das Bedienpanel gestartet werden. Die Teilprogramme des Roboters können einzeln gestartet und die Parameter des Prozesses können verändert werden. Das Magazin kann initialisiert und von Hand verfahren werden, wobei das Verfahren die Initialisierung wieder aufhebt. Bis auf das Initialisieren ist der Handbetrieb unabhängig vom gewählten Modus. Die Werte fürs Aktualisieren werden intern gesetzt.

Der Automatikbetrieb wird in die beiden Modi Einlagern und Auslagern aufgeteilt. Zu Beginn des Automatikbetriebs wird das Magazin initialisiert. Je nach gewähltem Modus, wird dann das entsprechende Roboterprogramm gestartet. Die Steuerung überträgt die Positionen an den Roboter und erteilt die Freigabe. Der Programmablauf stellt dabei sicher, dass keine Werkstücke bewegt werden ohne die Änderungen zu speichern. Der Modus kann während des Betriebs gewechselt werden. Der Automatikbetrieb ist aktiv bis er über das Bedienpanel gestoppt wird, oder das Magazin voll bzw. leer ist.

9.2 Bedienpanel

Um das Bedienpanel mit der Steuerung zu verknüpfen, wird eine HMI-Verbindung zwischen den Beiden angelegt.

Die Variablen für die Steuerelemente des Panels, wie Schaltflächen und Anzeigefelder sind in Datenbausteinen angelegt. Damit das Panel diese nutzen kann, wird eine Variablenliste angelegt und mit den Datenbausteinen verknüpft. Um die Fehlermeldungen anzuzeigen, wird die Error-ID Liste der Steuerung mit der Meldeliste des Panels verbunden. Die entsprechenden Meldetexte werden dann auf dem Panel angelegt. Das Panel fährt mit dem in Abb. 9.1 angezeigten Startbild hoch.

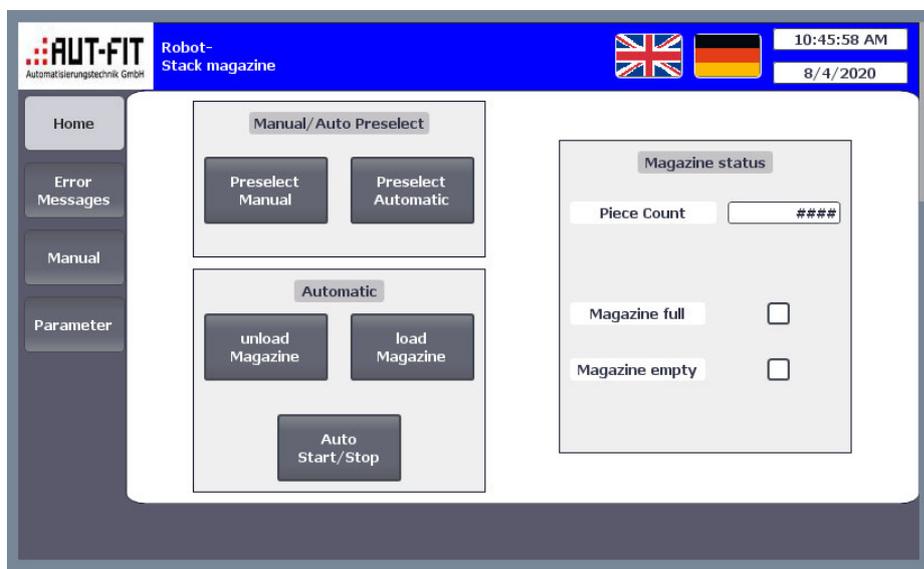


Abb. 9.1 Startbildschirm Bedienpanel

Es gibt 4 Hauptansichten:

- Startseite
- Störmeldungen
- Handbetrieb
- Parameter

Die Störmeldungen sind noch mal aufgeteilt in aktive Meldungen und Meldearchiv. Der Handbetrieb hat zwei Ansichten für Magazin- und Roboterbedienung. Die Navigation zwischen den Ansichten wird über interne Variablen des Panels gesteuert.

Die gesamte Paneloberfläche ist in zwei Sprachen (Deutsch, Englisch) verfügbar und kann auf der Startseite umgeschaltet werden.

Fast alle Inputs werden über das Panel umgesetzt, mit Ausnahme des Quittierens der Sicherheitstüren. Die aktiven Prozesse werden über das Panel visualisiert, und Informationen wie der Status und Füllstand des Magazins werden über Anzeigefelder ausgegeben.

10 Zusammenfassung und Ausblick

10.1 Zusammenfassung

Ziel der vorliegenden Arbeit war es, die Steuerung und den Roboter des Stapelmagazins zu konfigurieren und zu programmieren. Außerdem sollte ein Vision-System zur Objekterkennung implementiert werden. Die Steuerung und der Roboter sind dabei für das Handling der Werkstücke zuständig, und die Objekterkennung übermittelt die Position der Werkstücke auf dem Förderband an den Roboter.

Die Steuerung wird über Siemens TIA-Portal konfiguriert und programmiert. Der Roboter wurde mit einem Teach Pendant eingerichtet und über das Web-Interface des Roboters programmiert. Über das Web-Interface wurde auch die Objekterkennung eingerichtet.

Das Einrichten und Programmieren der Steuerung und des Roboters sind abgeschlossen, da der Prototyp (siehe Abb. 10.1) erfolgreich in Betrieb genommen wurde. Die Objekterkennung ist auch fertig eingerichtet, die Werkstücke werden zuverlässig erkannt und die Bearbeitungszeit konnte nach einigen Einstellungen auf durchschnittlich 550ms reduziert werden. Die geforderte Taktzeit von 3 Sekunden ist erfüllt, da die Anlage im Testbetrieb auch mit einer kürzeren Taktzeit (etwa 2,5s) funktioniert hat.

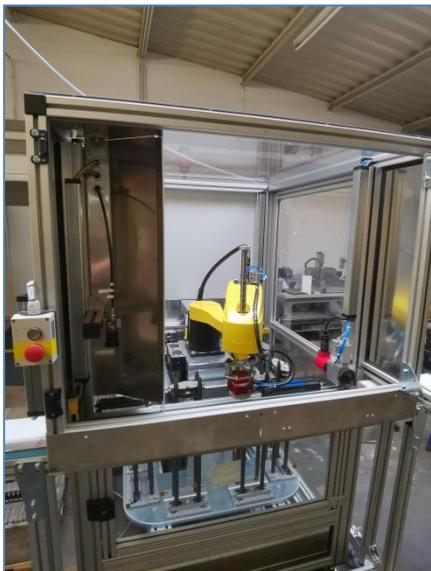


Abb. 10.1 fertiger Prototyp des umgebauten Stapelmagazins

Die meisten Probleme sind bei der Objekterkennung aufgetreten, da die Werkstücke teilweise nicht erkannt wurden. Die Beleuchtung war bei starker Schräglage der Werkstücke nicht mehr stark genug, um diese zu erkennen. Das Problem wurde durch eine Führungsrolle an der Einlaufseite behoben. Die Reflexionen von glänzenden Oberflächen haben ebenfalls zu einer Störung geführt, die durch das Einsetzen eines Polarisationsfilters behoben werden konnte.

10.2 Ausblick

In Bezug auf den in dieser Arbeit behandelten Prototypen gibt es einige Einstellungen, die zu einer Verbesserung führen würden.

Der Trigger für den Vision Prozess sollte durch eine Lichtschranke ersetzt werden. Mit dieser Änderung würde immer nur dann ein Bild aufgenommen werden, wenn auch tatsächlich ein Werkstück vorhanden ist. Dadurch würde der Prozess weniger abhängig von der eigenen Bearbeitungszeit und der Controller würde entlastet werden, da die Anzahl der zu bearbeitenden Bilder geringer werden würde.

Für den aktuellen Aufbau sollte eine stärkere Beleuchtung gewählt werden. Dadurch würden auch schräg liegende Werkstücke zuverlässig erkannt werden.

Um den Prototypen mit einer bestehenden Produktionsstrecke zu koppeln, sollte die Ansteuerung geändert werden. Im Moment müssen alle Ansteuerungen von Hand über das Bedienpanel erfolgen.

Für Anlagen, die auf diesem Prototypen aufbauen, wäre es sinnvoll zu prüfen, ob sich ein anderer Beleuchtungstyp neben der verwendeten Dunkelfeldbeleuchtung besser für den Erkennungsprozess eignet.

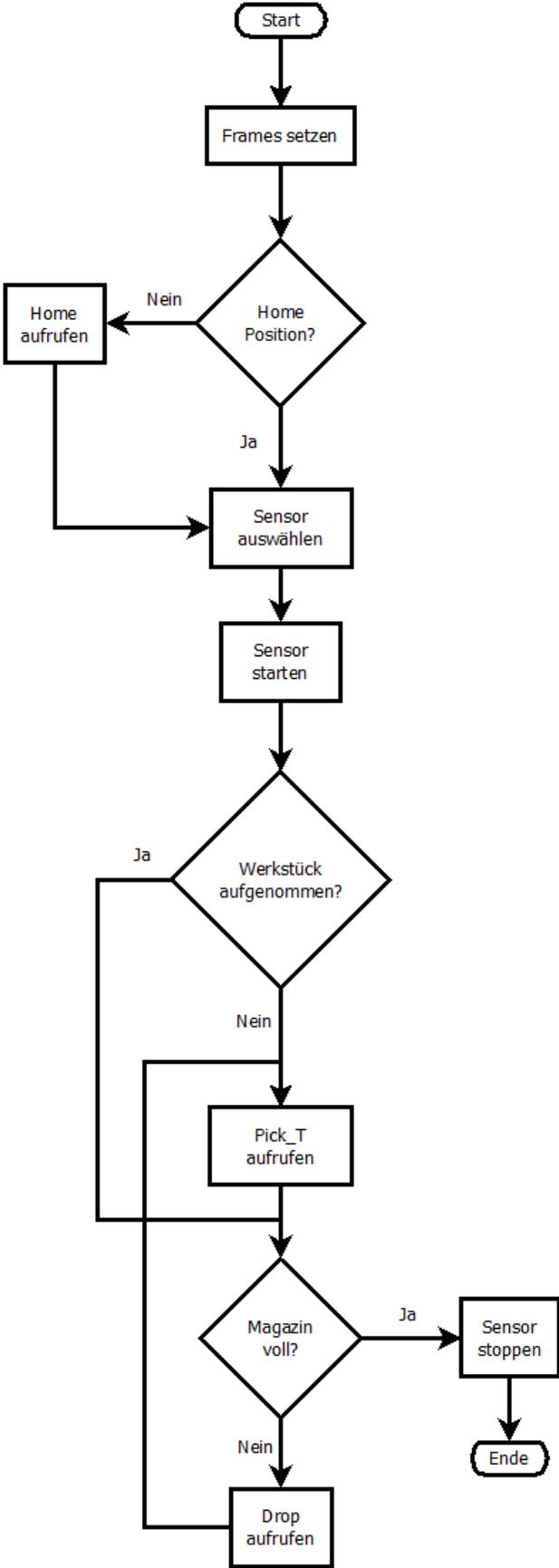
Literaturverzeichnis

1. **Pott, Andreas und Dietz, Thomas.** *Industrielle Robotersysteme.* s.l. : Springer Vieweg, 2019. 978-3-658-25345-5.
2. **Fanuc GmbH.** B-83304GE/02 R-30iB iRVision Bedienhandbuch. [Online] 24. 04 2014. [Zitat vom: 04. 03 2020.] <https://my.fanuc.eu>.
3. —. B-84024EN/03 SR-3iA SR-6iA Operators Manual. [Online] 27. 01 2020. [Zitat vom: 12. 03 2020.] <https://my.fanuc.eu>.
4. —. B-84035EN/02 R-30iB Compact Plus Maintenance Manual. [Online] [Zitat vom: 12. 03 2020.] <https://my.fanuc.eu>.
5. **Siemens AG.** Produktkatalog Siemens Industry. [Online] [Zitat vom: 11. 06 2020.] <https://mall.industry.siemens.com/mall/de/de/Catalog/Products/1000000#>.
6. **Chaumette, Francois.** Visual servoing. [Buchverf.] Katsushi Ikeuchi. *Computer Vision: A Reference Guide.* s.l. : Springer, 2014, S. 869 - 874.
7. **Fanuc GmbH.** B-83924EN/02 R-30iB iRPickTool Operators Manual. [Online] 23. 01 2020. [Zitat vom: 04. 03 2020.] <https://my.fanuc.eu>.
8. —. B-83304EN-1/02 R-30iB iRVision 2D Vision Application Operators Manual. [Online] 24. 04 2014. [Zitat vom: 04. 03 2020.] <https://my.fanuc.eu>.
9. —. B-83304EN-4/01 R-30iB iRVision Visual Tracking. [Online] 13. 06 2017. [Zitat vom: 04. 03 2020.] <https://my.fanuc.eu>.
10. —. B-83184GE/09 R-30iB Dual Check Safety Bedienhandbuch. [Online] 12. 06 2019. [Zitat vom: 04. 03 2020.] <https://my.fanuc.eu>.

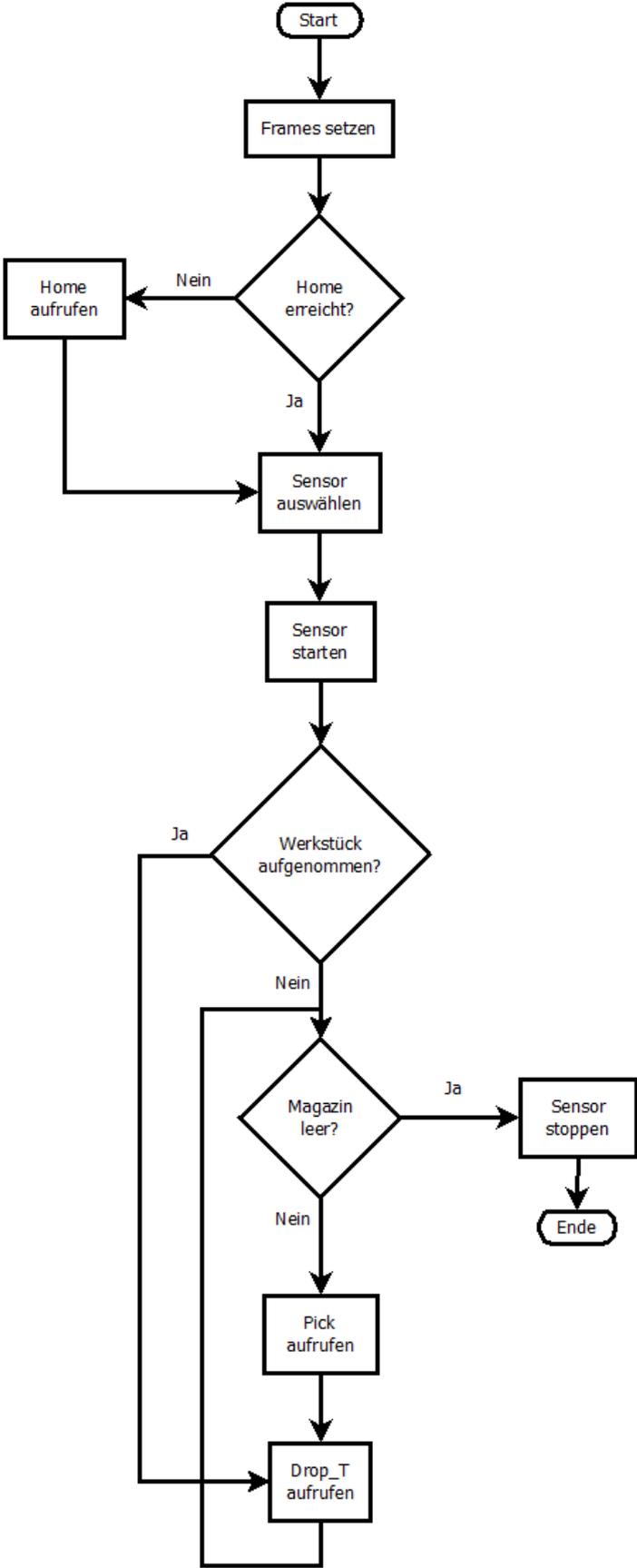
Anhang

Anhang 1	Einlagern/PNS0001	IX
Anhang 2	Auslagern/PNS0002	X
Anhang 3	Grundstellungsfahrt/PNS0003	XI
Anhang 4	Handbetrieb/PNS0004	XII
Anhang 5	Pick_T	XIII
Anhang 6	Pick	XIV
Anhang 7	Drop_T	XV
Anhang 8	Drop	XVI
Anhang 9	Pass_Pos	XVII
Anhang 10	Betriebsartenwahl	XVIII
Anhang 11	Automatik Modus	XIX
Anhang 12	Magazin initialisieren	XX
Anhang 13	Magazin beladen	XXI
Anhang 14	Magazin entladen	XXII
Anhang 15	Magazin aktualisieren	XXIII
Anhang 16	Handbetrieb 1	XXIV
Anhang 17	Handbetrieb 2	XXV
Anhang 18	Digitaler Anhang	XXVI

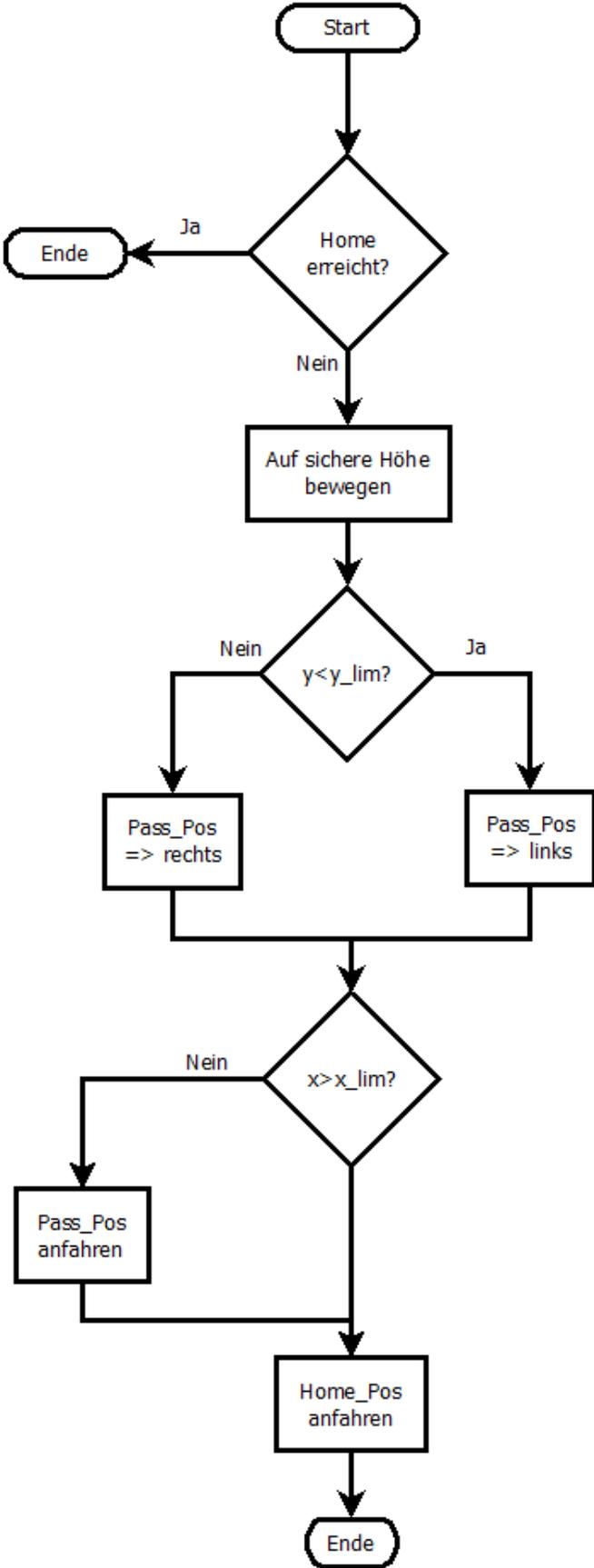
Anhang 1 Einlagern/PNS0001



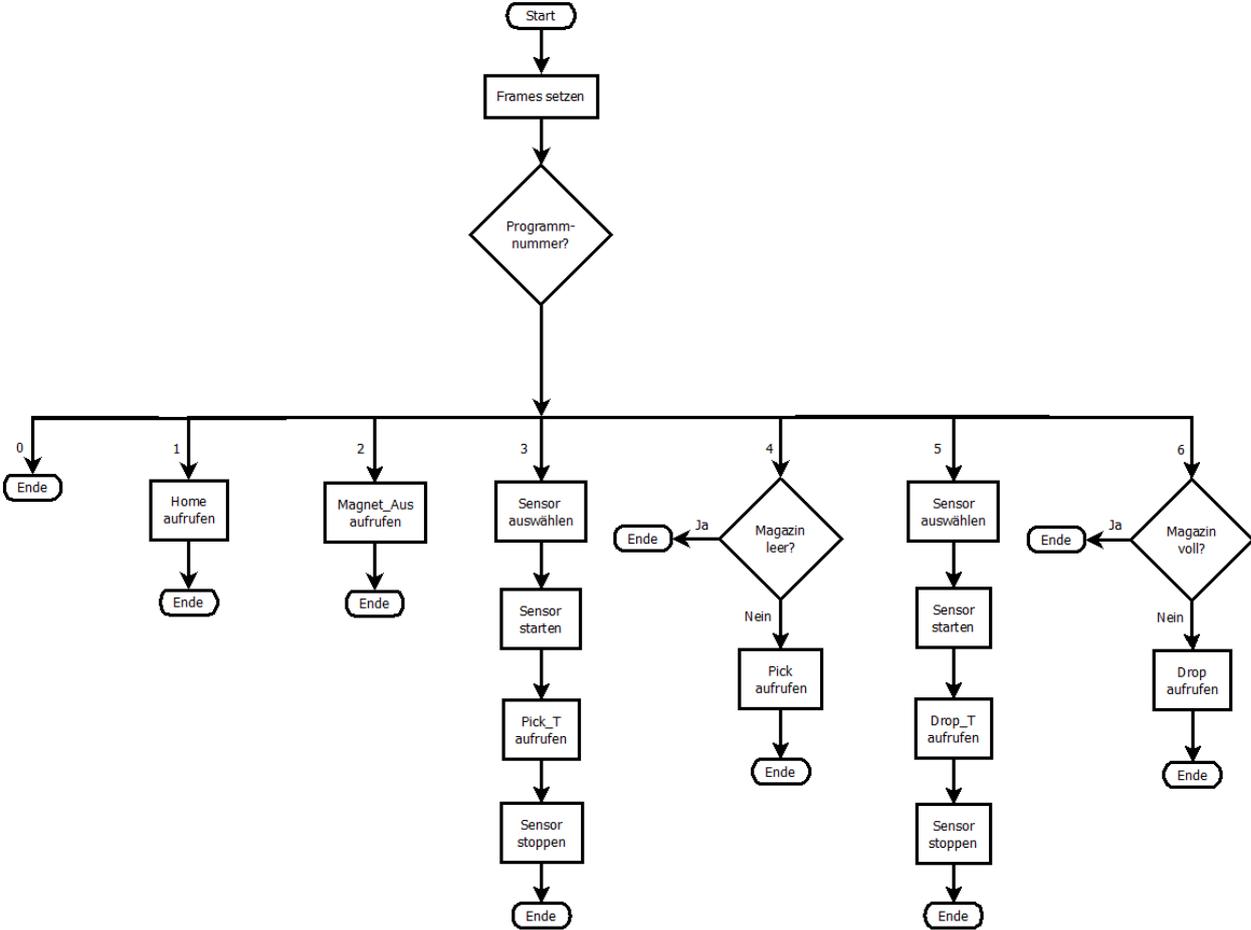
Anhang 2 Auslagern/PNS0002



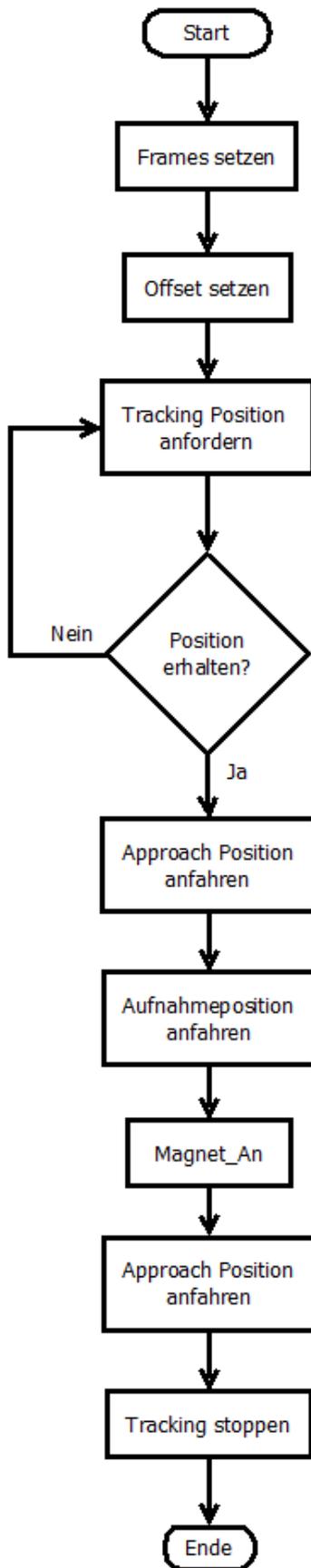
Anhang 3 Grundstellungsfahrt/PNS0003



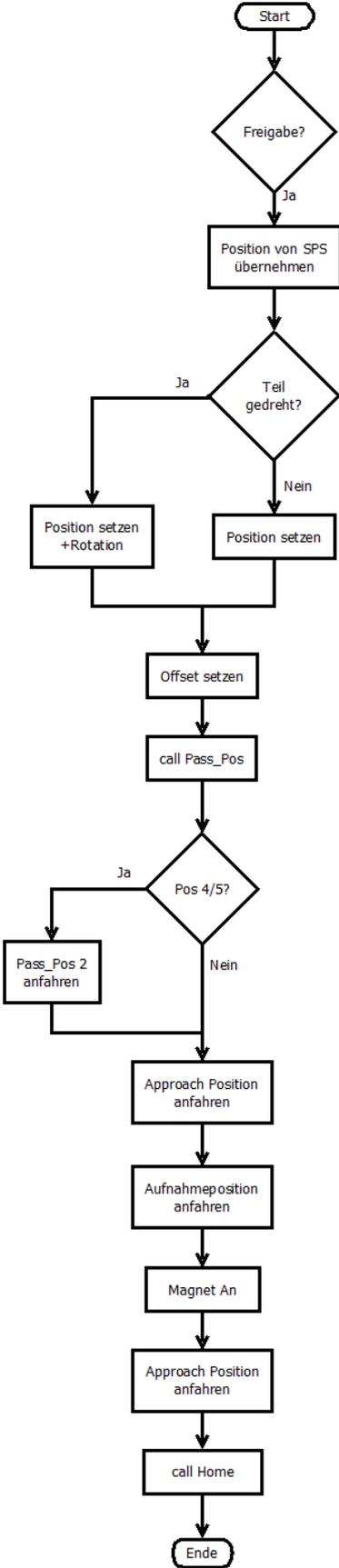
Anhang 4 Handbetrieb/PNS0004



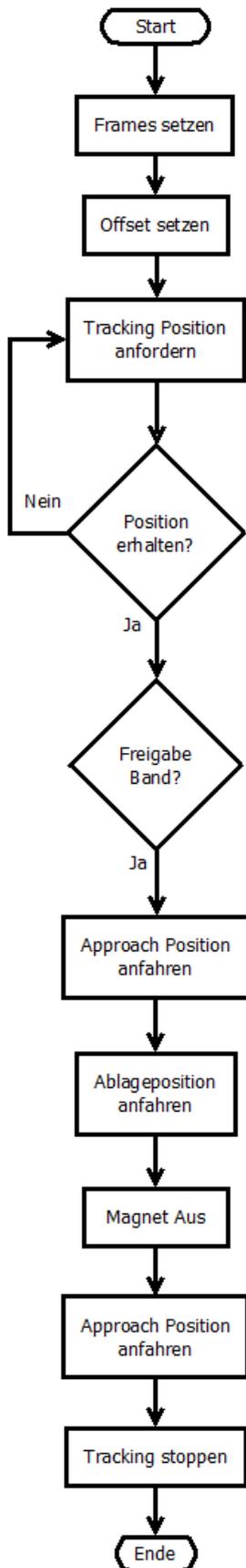
Anhang 5 Pick_T



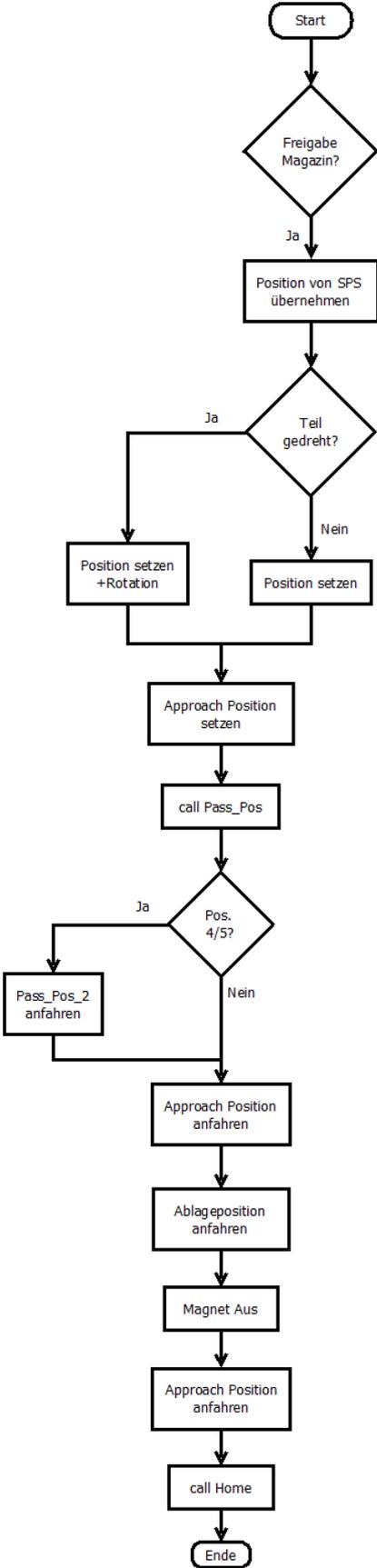
Anhang 6 Pick



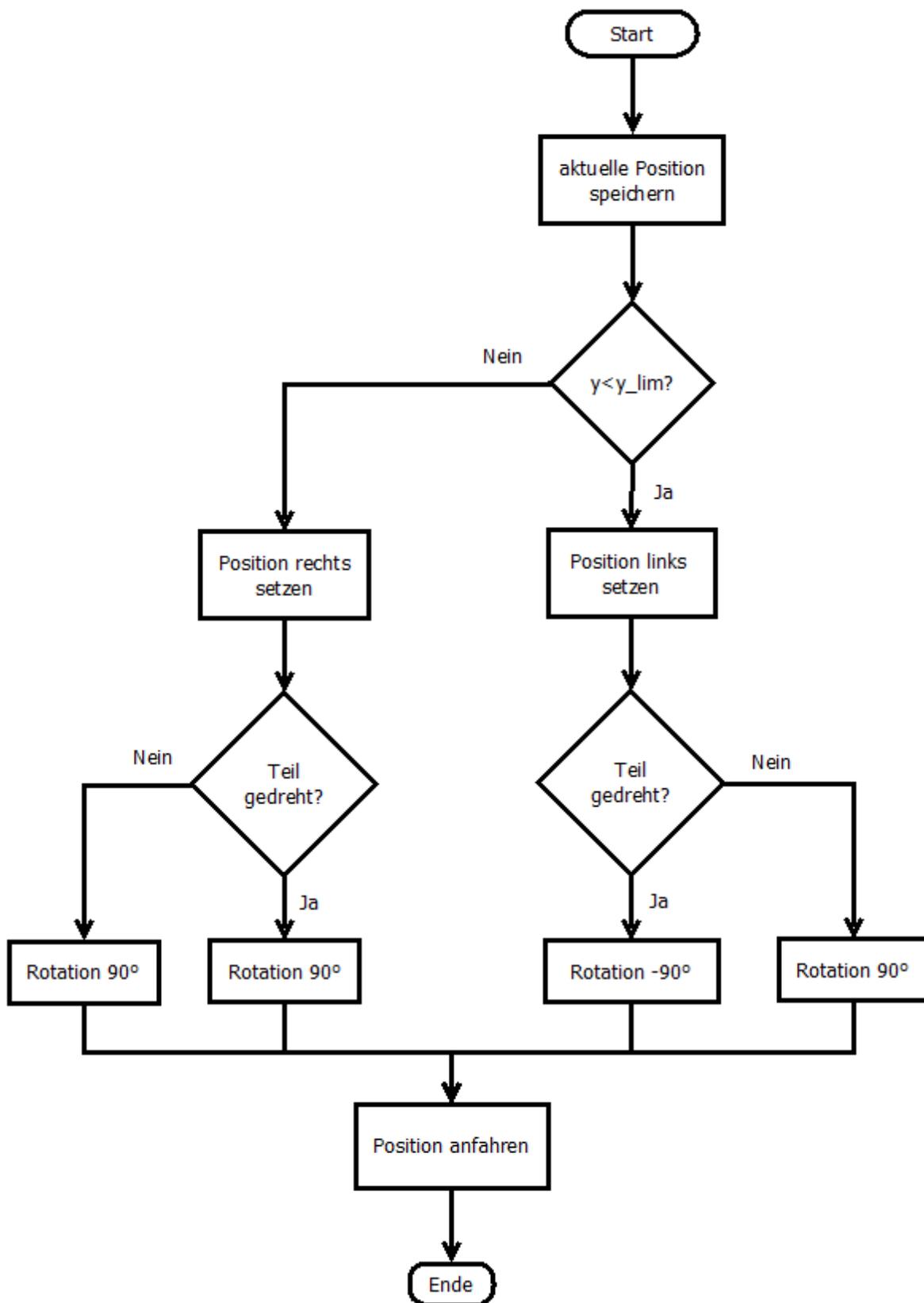
Anhang 7 Drop_T



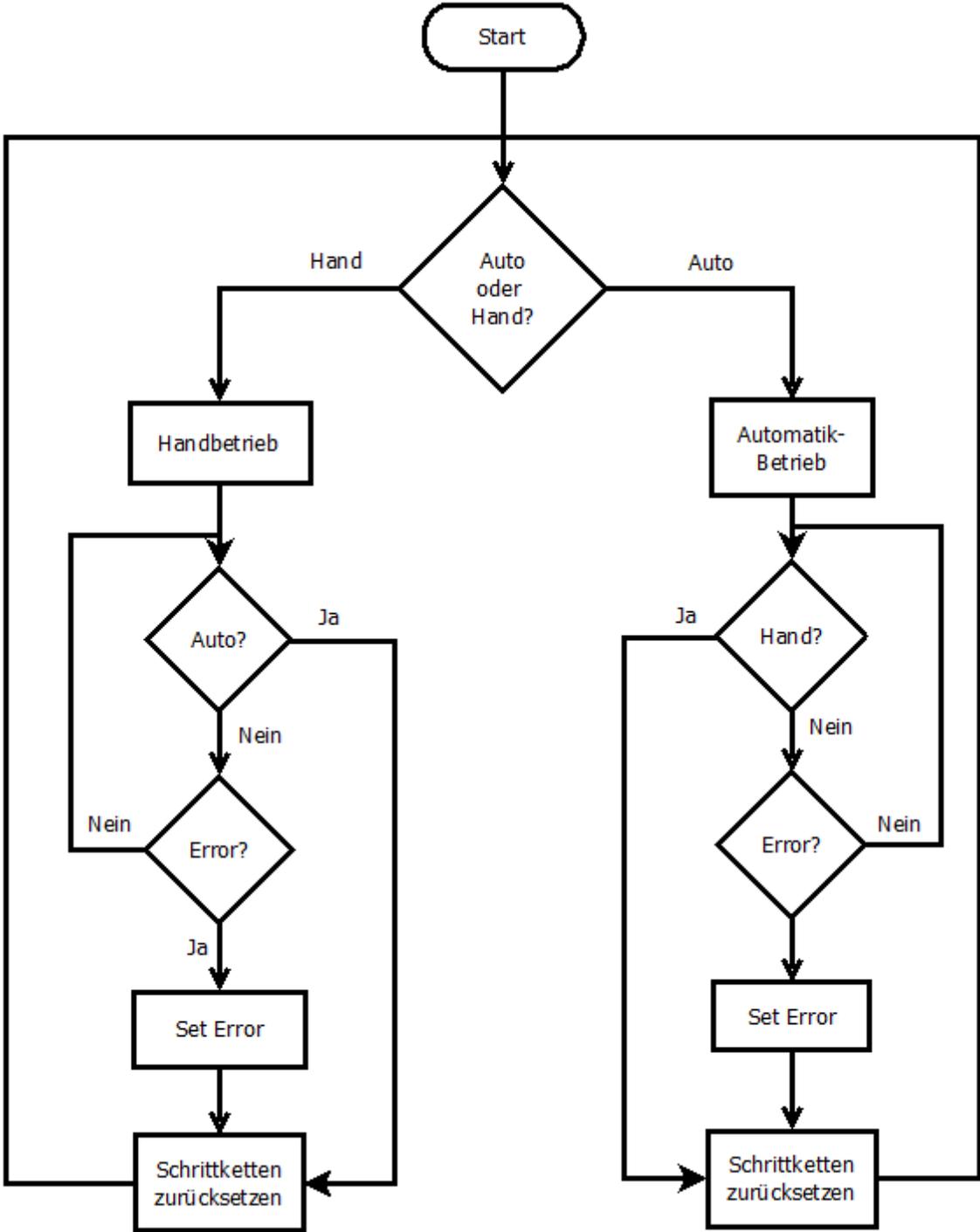
Anhang 8 Drop



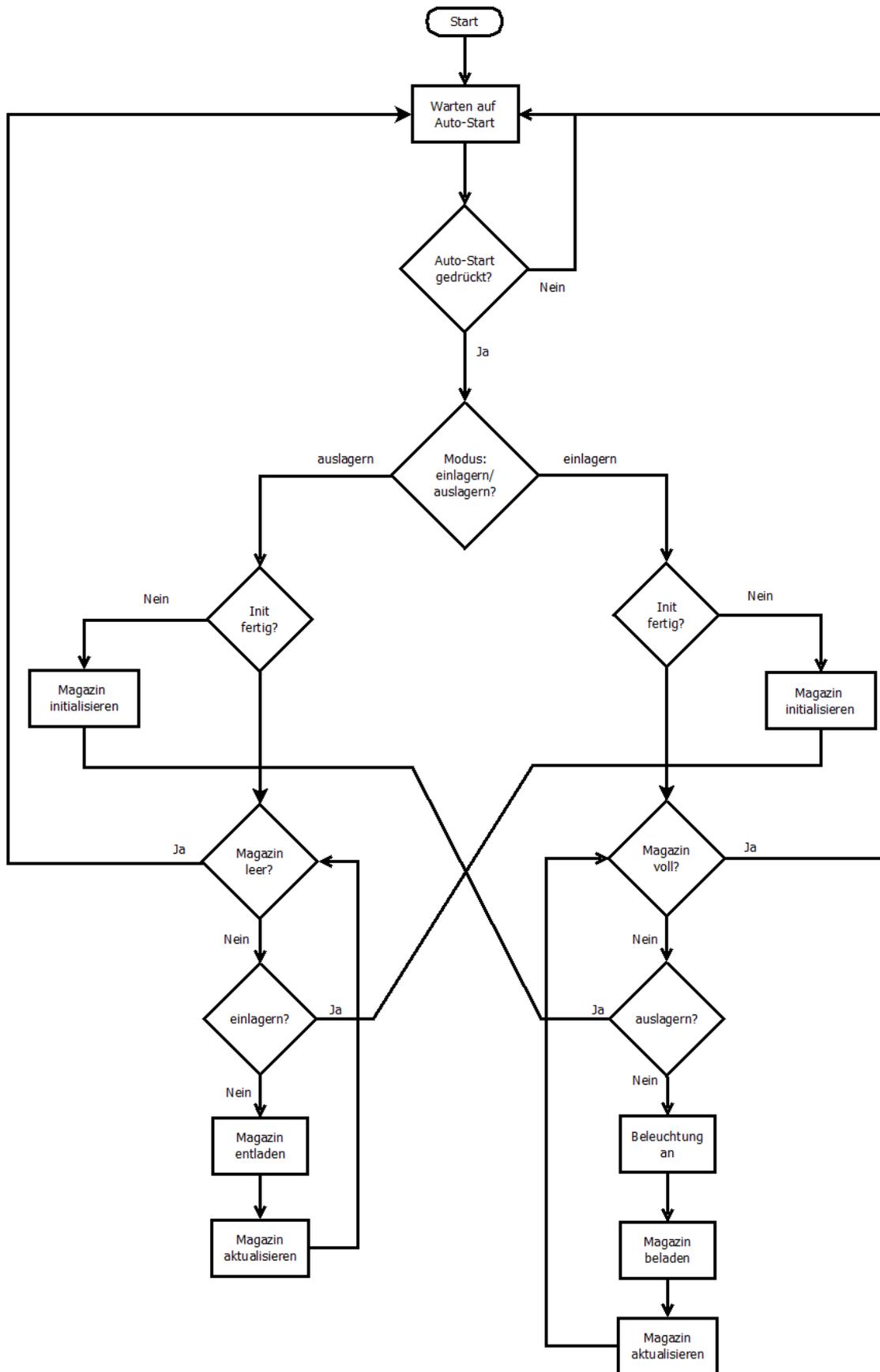
Anhang 9 Pass_Pos



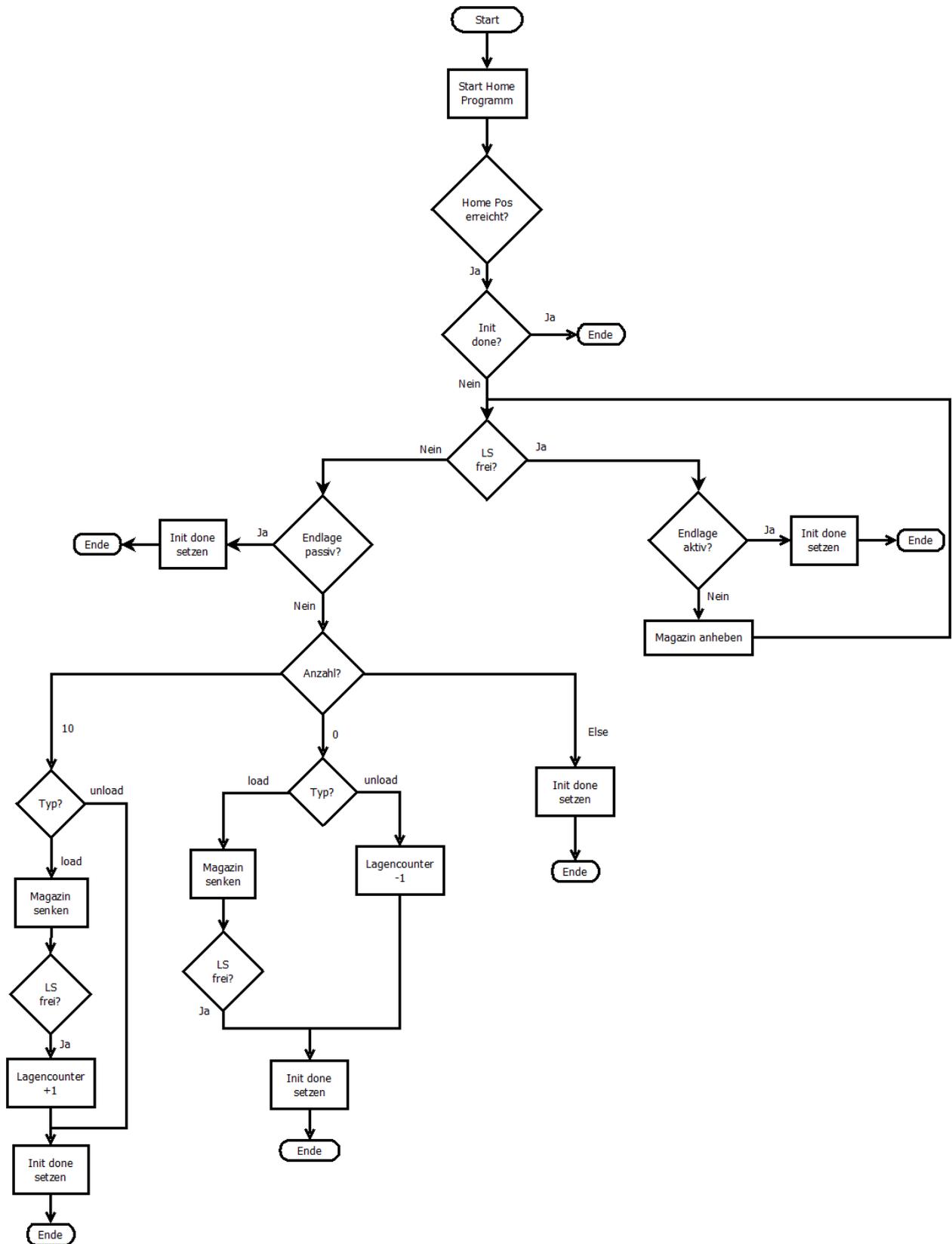
Anhang 10 Betriebsartenwahl



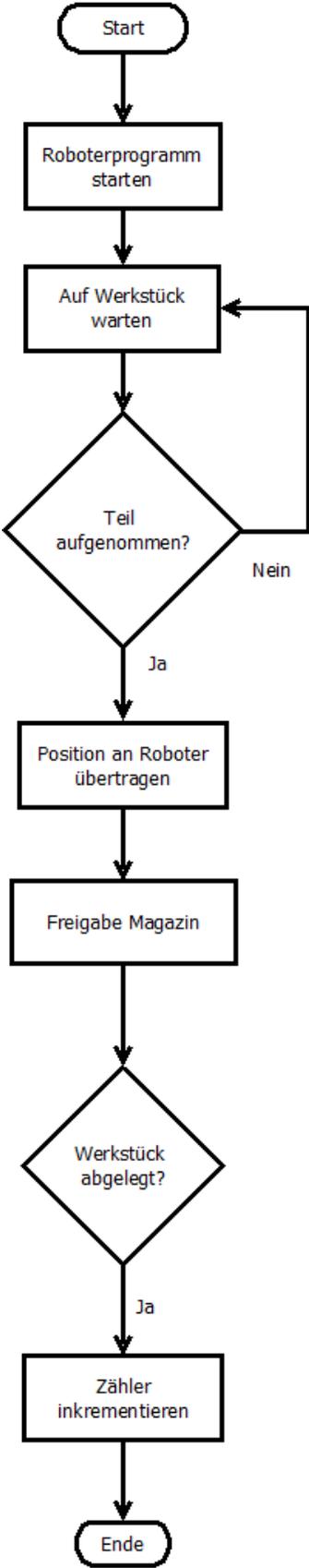
Anhang 11 Automatik Modus



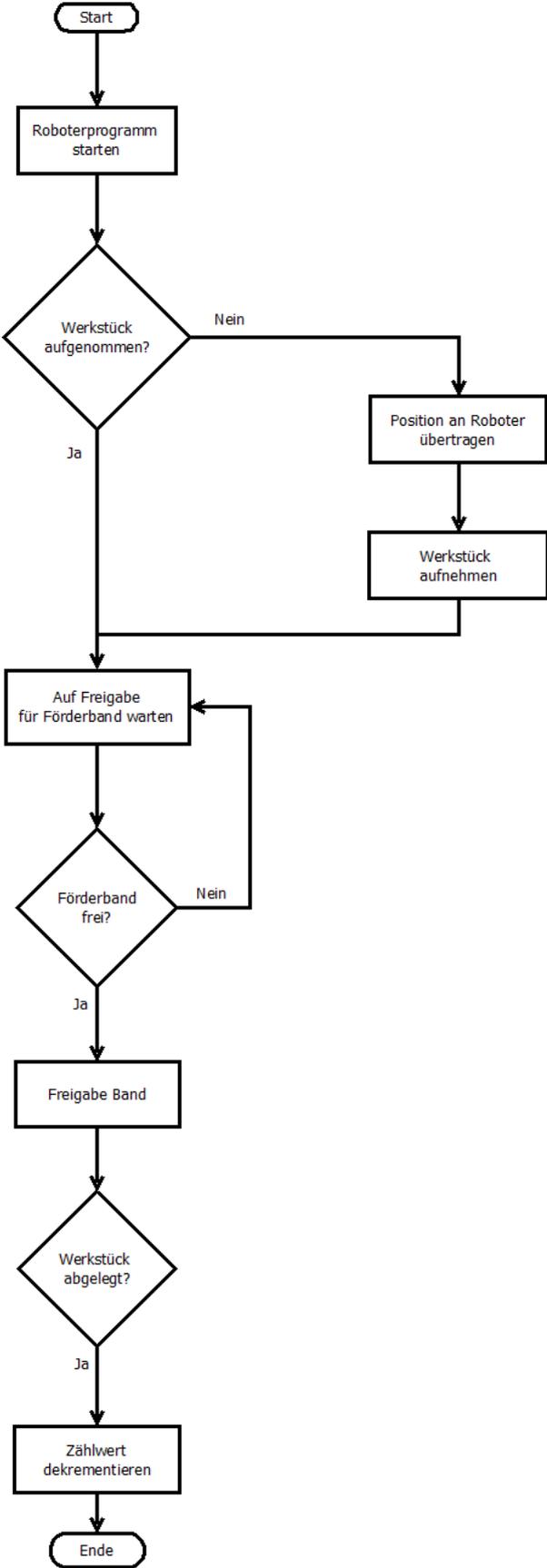
Anhang 12 Magazin initialisieren



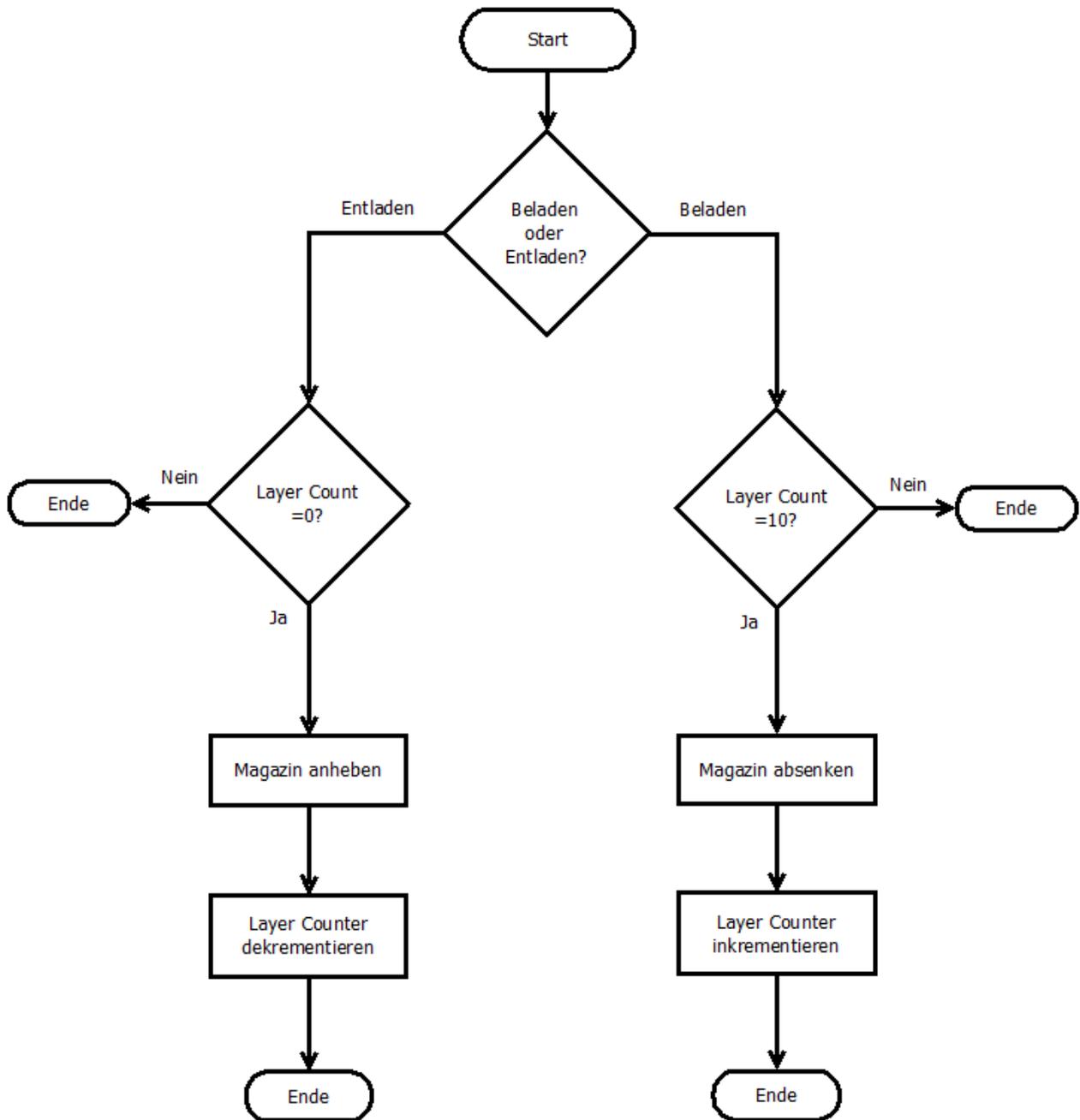
Anhang 13 Magazin beladen



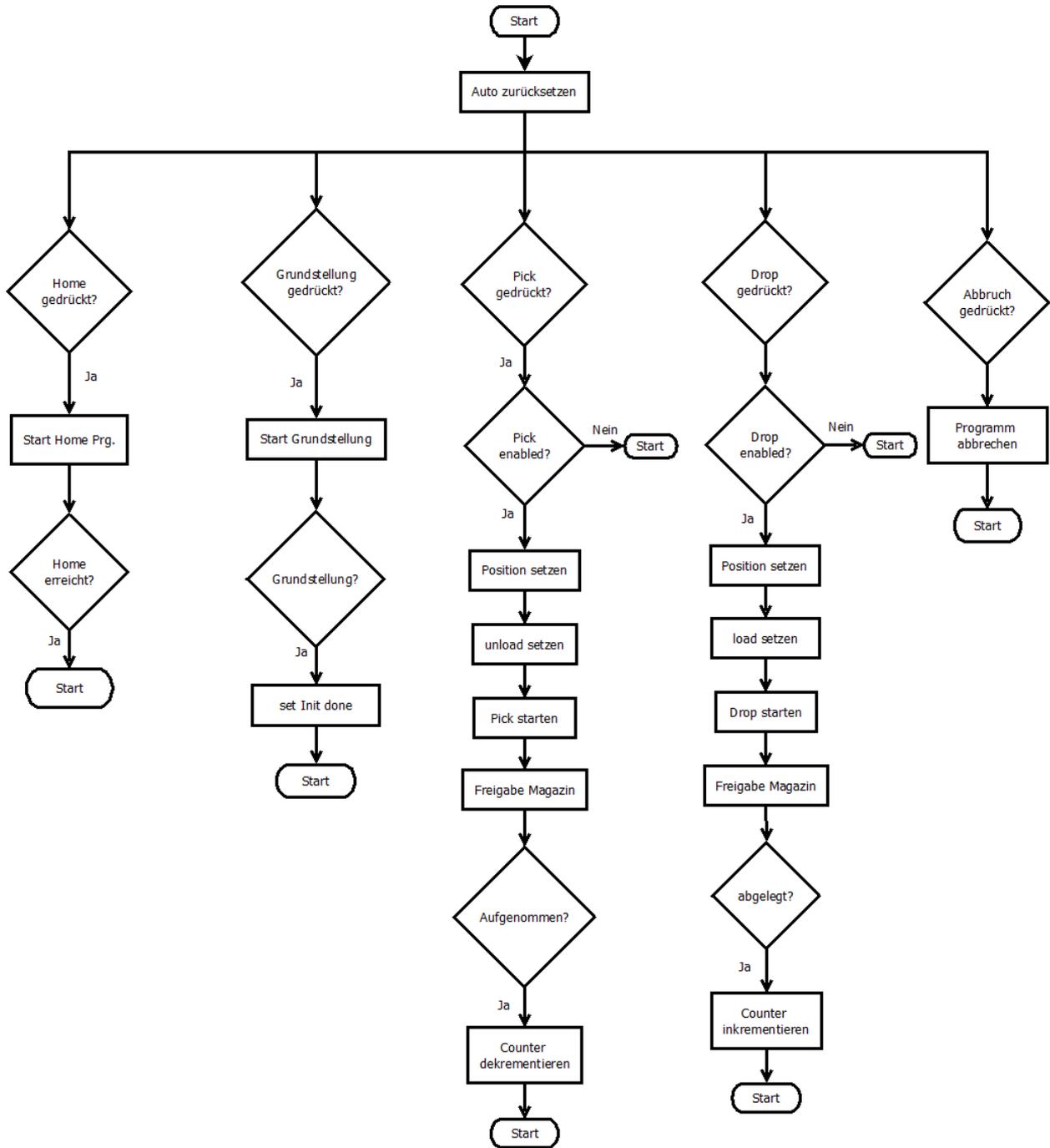
Anhang 14 Magazin entladen



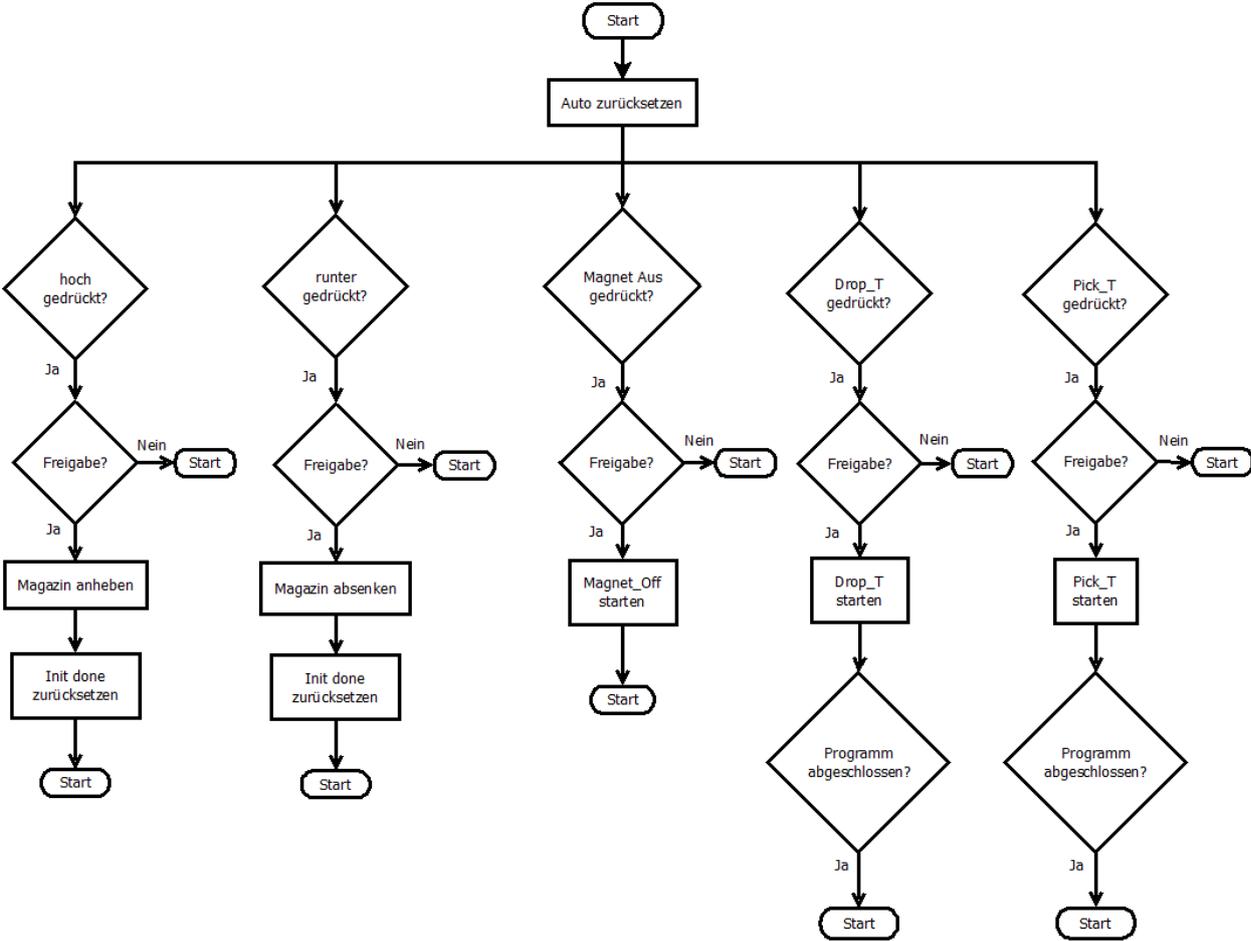
Anhang 15 Magazin aktualisieren



Anhang 16 Handbetrieb 1



Anhang 17 Handbetrieb 2



Anhang 18 Digitaler Anhang

/Arbeit/

Bachelorarbeit_Kai_Dischereit.pdf
Kurzreferat_Abschlussarbeit_Kai_Dischereit.pdf

/Anhang/Quellen/

B-83184GE_09 R-30iB Dual Check Safety Bedienhandbuch.pdf
B-83304EN-1_02 R-30iB iRVision 2D Vision Application operators manual.pdf
B-83304EN-4_01 R-30iB iRVision Visual Tracking.pdf
B-83304GE_02 R-30iB iRVision Bedienhandbuch.pdf
B-83924EN_02 R-30iB iRPickTool operators manual.pdf
B-84024EN_03 SR-3iA SR-6iA operators manual.pdf
B-84035EN_02 R-30iB Compact Plus Controller Wartungsanleitung.pdf
Industrielle_Robotersysteme.pdf

/Anhang/Roboterprogramme/

DROP.html
DROP_T.html
MAGNET_OFF.html
MAGNET_ON.html
PASS_POS.html
PICK.html
PICK_T.html
PNS0001.html
PNS0002.html
PNS0003.html
PNS0004.html

/Anhang/Steuerung/

Stapelmagazin_20200729_0901.zap15_1
TIA_Projekt_Steuerung_Panel.pdf

/Anhang/Tabellen/

Roboter_Variablen.pdf
Schnittstelle_PLC_Robot.pdf
Schnittstelle_Robot_PLC.pdf



Erklärung zur selbstständigen Bearbeitung einer Abschlussarbeit

Gemäß der Allgemeinen Prüfungs- und Studienordnung ist zusammen mit der Abschlussarbeit eine schriftliche Erklärung abzugeben, in der der Studierende bestätigt, dass die Abschlussarbeit „– bei einer Gruppenarbeit die entsprechend gekennzeichneten Teile der Arbeit [(§ 18 Abs. 1 APSO-TI-BM bzw. § 21 Abs. 1 APSO-INGI)] – ohne fremde Hilfe selbstständig verfasst und nur die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt wurden. Wörtlich oder dem Sinn nach aus anderen Werken entnommene Stellen sind unter Angabe der Quellen kenntlich zu machen.“

Quelle: § 16 Abs. 5 APSO-TI-BM bzw. § 15 Abs. 6 APSO-INGI

Dieses Blatt, mit der folgenden Erklärung, ist nach Fertigstellung der Abschlussarbeit durch den Studierenden auszufüllen und jeweils mit Originalunterschrift als letztes Blatt in das Prüfungsexemplar der Abschlussarbeit einzubinden.

Eine unrichtig abgegebene Erklärung kann -auch nachträglich- zur Ungültigkeit des Studienabschlusses führen.

Erklärung zur selbstständigen Bearbeitung der Arbeit

Hiermit versichere ich,

Name: Dischereit

Vorname: Kai

dass ich die vorliegende Bachelorarbeit bzw. bei einer Gruppenarbeit die entsprechend gekennzeichneten Teile der Arbeit – mit dem Thema:

Entwicklung eines Visual-Tracking Roboter-Programmes zur Automatisierung eines Pufferspeichers für PKW-Bremsbeläge

ohne fremde Hilfe selbstständig verfasst und nur die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt habe. Wörtlich oder dem Sinn nach aus anderen Werken entnommene Stellen sind unter Angabe der Quellen kenntlich gemacht.

- die folgende Aussage ist bei Gruppenarbeiten auszufüllen und entfällt bei Einzelarbeiten -

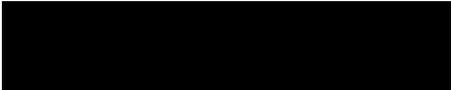
Die Kennzeichnung der von mir erstellten und verantworteten Teile der -bitte auswählen- ist erfolgt durch:

Hamburg

Ort

18.08.2020

Datum

 Unterschrift im Original