

# Praktikum Prozessautomatisierung

## Industrieroboter (Versuche I, II), Version 1.2

In der industriellen Automation werden vielfach Industrieroboter eingesetzt. Industrieroboter sind mit Greifern, Werkzeugen oder anderen Fertigungsmitteln ausgerüstet und dienen dazu Werkstücke zu montieren, zu bearbeiten oder zu bewegen. Die hierzu durchgeführten Bewegungen der einzelnen Roboterachsen beruhen letztlich auf die grundlegenden kinematischen und rotatorischen Gesetzmäßigkeiten der Physik.



Abbildung 1: Foto vom Versuchsaufbau

Im Versuch I wird sich ganz grundsätzlich mit dem Aufbau eines Industrieroboters auseinandergesetzt. Der Roboter wird in verschiedenen Koordinatensystemen verfahren und ein automatischer Programmablauf wird demonstriert.

Im Versuch II werden grundlegende Bahnbewegungen programmiert. Weiter werden die Möglichkeiten und Grenzen eines Industrieroboters am Beispiel einer „Ballabwehr“ demonstriert.

## **Inhaltsverzeichnis**

<b>1</b>	<b>Roboter .....</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>Aufbau eines Industrieroboters .....</b>	<b>4</b>
<b>3</b>	<b>Programmierung eines Industrieroboters.....</b>	<b>8</b>
<b>4</b>	<b>Versuch I .....</b>	<b>11</b>
4.1	Versuchsbeschreibung .....	11
4.2	Versuchsvorbereitung.....	11
4.3	Aufgabenstellungen.....	12
<b>5</b>	<b>Versuch II .....</b>	<b>13</b>
5.1	Versuchsbeschreibung .....	13
5.2	Programmierung von Bewegungen .....	13
5.3	„Ballabwehr“ mit einem Industrieroboter .....	17
5.4	Versuchsvorbereitung.....	18
5.5	Aufgabenstellungen.....	19
<b>6</b>	<b>Literaturempfehlungen .....</b>	<b>20</b>

## 1 Roboter

Der Ursprung des Wortes Roboter liegt in der tschechischen Sprache. Abgeleitet vom Wort „robota“ (arbeiten) wurde dies im Jahr 1921 erstmals verwendet und beschrieb in einem Bühnenstück Maschinen, welche schwere Arbeiten verrichteten.

Nachstehend soll der Roboter als Handhabungsgerät verstanden werden. Etwas abstrakt ist das Handhaben in der VDI-Richtlinie 2860 als „das Schaffen, definierte Verändern oder vorübergehende Aufrechterhalten einer vorgegebenen räumlichen Anordnung von geometrisch bestimmten Körpern“ verstanden. Im Duden wird als Bedeutungsbeispiel für handhaben ein Werkzeug, Instrument verstanden, was man bei seinem Gebrauch in der Hand hält, um es zu führen, zu bedienen oder zu gebrauchen. Ein Handhabungsgerät ist folglich eine Gerätschaft, welche ähnlich zu unserer menschlichen Hand eingesetzt wird. Die nachstehende Abbildung zeigt die Unterteilung von Handhabungsgeräten:

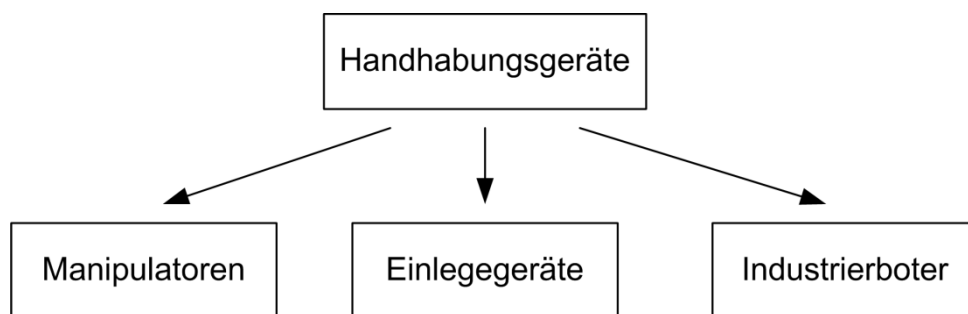


Abbildung 2: Unterteilung Handhabungsgeräte

### *Manipulator:*

Als Manipulatoren werden Gerätschaften verstanden, welche vom Mensch bzw. der menschlichen Hand manuell bedient werden. Manipulatoren werden zur Einhaltung von Sicherheitsabständen (z.B. Kerntechnik) oder auch zum Bewegen von Lasten eingesetzt.

### *Einlegegeräte:*

Einlegegeräte sind fest programmierte Handhabungsgeräte, welche stets einer fest vorgegebenen Bahn folgen und autonom arbeiten. Dies kann z.B. das Zuführen und das immer gleiche Positionieren einer Schraube im Ablauf einer Serienfertigung sein.

Entsprechend Ihrer Funktion werden Einlegegeräte auch als fest programmierte Pick-and-Place-Geräte bezeichnet (Aufnehmen und Ablegen). Einlegegeräte sind kostengünstig, jedoch nicht flexibel einsetzbar.

#### *Industrieroboter:*

Die dritte Gruppe der Handhabungsgeräte zeichnet sich dadurch aus, dass die Bewegungsabläufe und Bahnen frei programmierbar sind und die Geräte autonom arbeiten. Dies erlaubt eine sehr hohe Flexibilität an sich ändernde Aufgaben und Arbeitsabläufen. Die exakte Definition eines Industrieroboters ist je nach Autor (und Herkunft) leicht verschieden. Die bereits zitierte VDI-Richtlinie 2860 gibt die hierzulande gebräuchliche Sichtweise wieder: „Industrieroboter sind universell einsetzbare Bewegungsautomaten mit mehreren Achsen, deren Bewegungen hinsichtlich Bewegungsfolge und Wegen bzw. Winkeln frei (d. h. ohne mechanischen bzw. menschlichen Eingriff) programmierbar und gegebenenfalls sensorgeführt sind. Sie sind mit Greifern, Werkzeugen oder anderen Fertigungsmitteln ausrüstbar und können Handhabungs- und/oder Fertigungsaufgaben ausführen“.

Viele der heute eingesetzten Roboter sind Industrieroboter, d.h. sie werden in der industriellen Produktion eingesetzt. Im Jahr 2010 waren dies weltweit etwa 1 Millionen und im Jahr 2015 etwa 1,6 Millionen Industrieroboter bei einer weiter steigenden Tendenz.

## **2 Aufbau eines Industrieroboters**

Ein Industrieroboter tritt mit dem sogenannten Effektor mit seiner Umgebung in Kontakt. Der Effektor ist z.B. ein am Ende des Roboterarmes befestigter Greifer. Dieser Effektor führt die oben beschriebenen Bewegungsfolgen mit den verschiedenen Gelenken und Achsen des Roboters aus. Bei der Ausführung der Mechanik werden zwei Hauptklassen unterschieden. Die nachstehende Abbildung zeigt die Ausführung als Parallelkinematik:



Abbildung 3: Parallelkinematik (Quelle: SLS Solar Line Saxony GmbH)

Bei der gezeigten Parallelkinematik wirken mehrere Achsen gleichzeitig auf den Effektor. Parallelroboter sind auf kleinem Raum sehr schnell bei einem allerdings insgesamt beschränkten Bewegungsraum. Einsatzgebiete sind schnelle Handhabungsaufgaben, wie z.B. die oben angedeutete Sortierung von Solarzellen.

Die zweite Hauptklasse beschreibt die Ausführungsform der seriellen Kinematik. Die einzelnen Achsen und Armteile sind (seriell) aneinander gereiht. Die nachstehende Abbildung zeigt ein Ausführungsbeispiel:

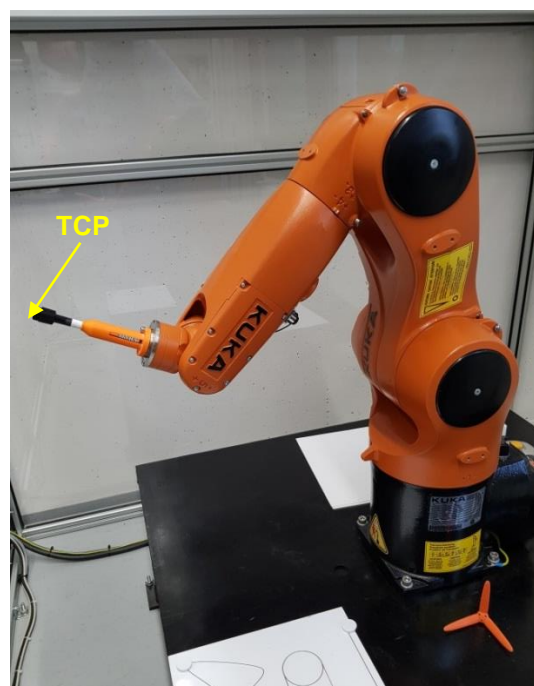


Abbildung 4: Serielle Kinematik, Knickarmroboter (Stift als Effektor,  $F=6$ )

Der serielle Robotertyp verfährt in einem großen Bewegungsraum und ist flexibel einsetzbar. Für die Beweglichkeit ist die Anzahl unabhängig voneinander angetriebener Achsen wesentlich. In der oben stehenden Abbildung beträgt diese als Getriebefreiheitsgrad  $F$  bezeichnete Größe  $F = 6$ .

Zunächst wird im Allgemeinen der Freiheitsgrad  $f$  eines im Raum befindliche Körpers gemäß dem nachstehenden kartesischen Koordinatensystem betrachtet.

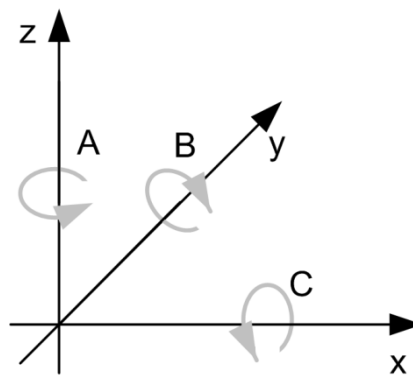


Abbildung 5: Kartesisches Koordinatensystem mit 6 Freiheitsgraden (3 x Translation, 3 x Rotation)

Ein im Raum befindlicher Körper besitzt maximal  $f = 6$  Freiheitsgrade gegenüber einem beliebigen Bezugssystem, welche sich wie folgt aufteilen:

1. Translatorische Bewegung in der x-Achse
2. Translatorische Bewegung in der y-Achse
3. Translatorische Bewegung in der z-Achse
4. Rotatorische Bewegung um die z-Achse, A (positiv: Rechtsschraube z-Richtung)
5. Rotatorische Bewegung um die y-Achse, B (positiv: Rechtsschraube y-Richtung)
6. Rotatorische Bewegung um die x-Achse, C (positiv: Rechtsschraube x-Richtung)

Mit einem Getriebefreiheitsgrad von  $F = 6$  (siehe Abbildung 4) lassen sich prinzipiell die Freiheitsgrade  $f = 6$  realisieren.

Ist die Anzahl unabhängig angetriebenen Achsen geringer, so ist nur eine eingeschränkte Bewegung möglich. Für viele Arbeiten, wie z.B. beim durchbohren einer Platte in z-Richtung reichen weniger Roboterachsen. Hier beträgt der Freiheitsgrad des Effektors gemäß der benötigten Freiheitsgrade  $f = F = 4$ .

Sind  $F > 6$  unabhängige Achsen vorhanden, so handelt es sich um eine redundante Kinematik. Bei gleichbleibender Bahnbewegung des Effektors können durch den gewonnenen Freiheitsgrad die einzelnen Roboterachsen unterschiedlich/alternativ geführt werden. Hierdurch werden beispielsweise Kollisionen zwischen dem Roboterarm und einem schwer zugänglichen Werkstück verhindert. Der Kostenaufwand sowie die Komplexität steigen allerdings mit zunehmender Achszahl.

Nachstehend, ebenso wie bei der Versuchsdurchführung, wird sich ausschließlich mit dem weit verbreiteten Knickarmroboter mit  $F = 6$  Getriebefreiheitsgraden beschäftigt. Der Aufbau des gesamten Robotersystems wird exemplarisch am Beispiel des Robotersystems KR 360 erläutert.

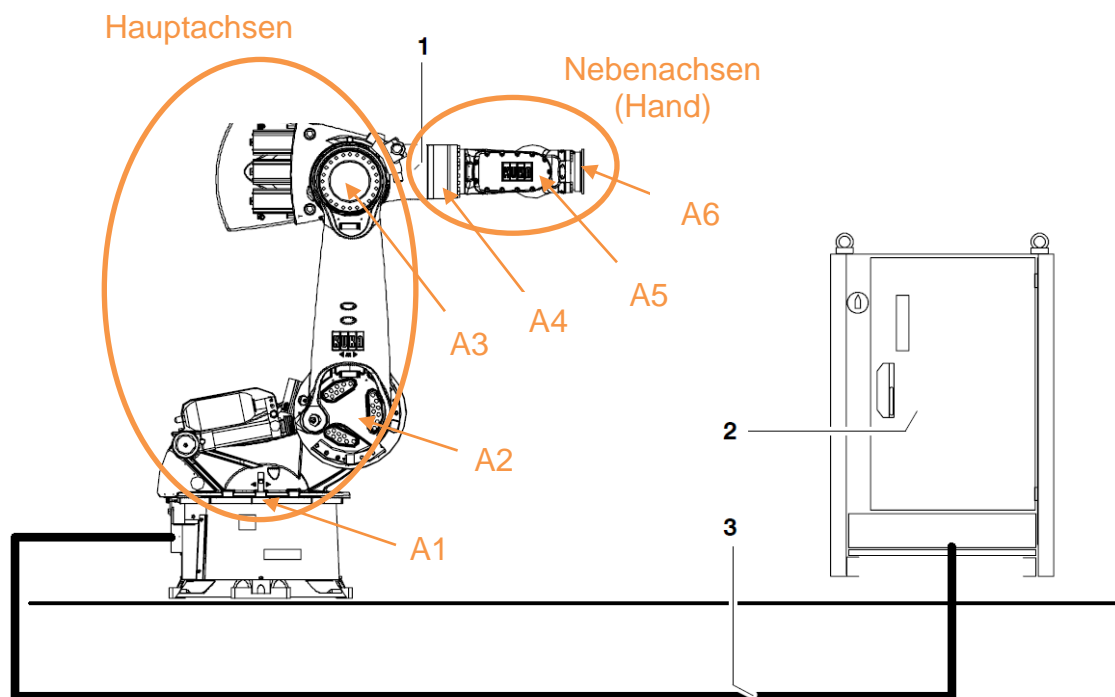


Abbildung 6: Gesamtes Robotersystem (Quelle: KUKA Roboter GmbH)

Das Robotersystem besteht aus der Robotermechanik (1), dem zugeordneten Steuerschrank (2) und zugehörige Verbindungsleitungen (3). Die 6 Achsen des Roboterarmes sind unterteilt in Haupt- und Nebenachsen. Die Hauptachsen sind für die „grobe“ Bewegung im Raum zuständig, während die Nebenachsen (Hand) für „feine“



Bewegungen des Effektors genutzt werden. Ausgehend vom Grundgestell sind die Achsen gemäß obiger Abbildung mit A1 - A6 durchnummeriert. Die Beweglichkeit der jeweiligen Achsen ist stark vom verwendeten Robotermodell abhängig. Beispielsweise sind mit dem im Praktikum eingesetzten Industrieroboter KR 6 R700 sixx folgende Achsbewegungen und Achsgeschwindigkeiten unter Nennbedingungen möglich (Nenntraglast 3 kg, Maximaltraglast 6 kg).

Tabelle 1: Bewegungsbereich und Geschwindigkeiten des Industrieroboters KR 6 R700 sixx

Achse	Bewegungsbereich	Geschwindigkeit
A1	$\pm 170^\circ$	$360^\circ/s$
A2	$+45^\circ$ bis $-190^\circ$	$300^\circ/s$
A3	$+156^\circ$ bis $-120^\circ$	$360^\circ/s$
A4	$\pm 185^\circ$	$381^\circ/s$
A5	$\pm 120^\circ$	$388^\circ/s$
A6	$\pm 350^\circ$	$615^\circ/s$

### 3 Programmierung eines Industrieroboters

Mit der Programmierung wird erreicht, dass ein Effektor gezielt im Raum bewegt wird. Etwas detaillierter soll ein charakteristischer Punkt des Effektors, der sogenannte Tool Center Point (TCP), gemäß der zu erledigenden Aufgabe bewegt werden. Dieser TCP kann beispielsweise die Spitze eines Stiftes sein (siehe Abbildung 4).

Letztlich ist jede denkbare Bewegung auf einzelne gleichzeitig oder nacheinander stattfindende Achsbewegungen zurückzuführen. Um die Bedienung eines modernen Industrieroboters zu erleichtern stellt die Robotersteuerung neben der Einzelachsbewegung auch feste und bewegliche Koordinatensysteme zur Bedienung und Programmierung bereit.



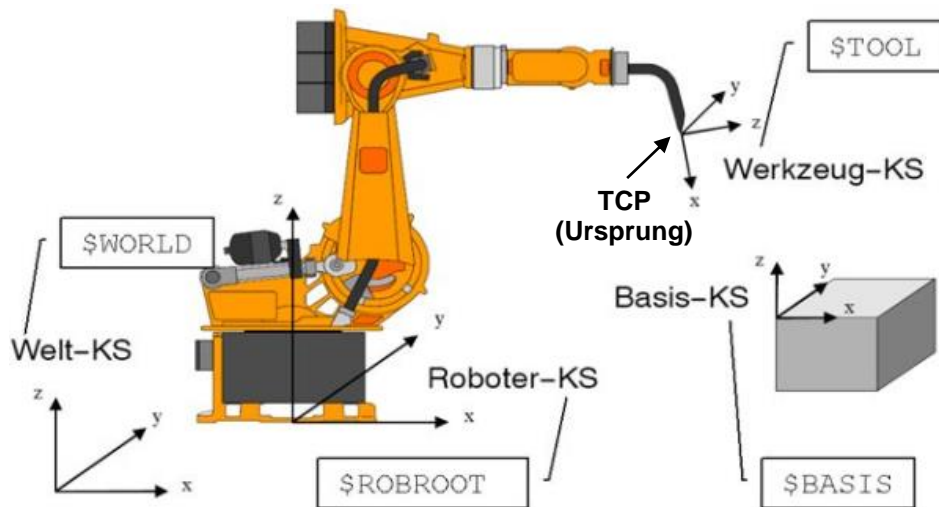


Abbildung 7: Verschiedene Koordinatensysteme (Quelle: Gregor Franz)

In Abbildung 7 sind die vier wichtigen Koordinatensystem im Zusammenhang der Roboterprogrammierung/Bedienung aufgezeigt.

- **\$WORLD:** Feststehendes äußeres Koordinatensystem, welches beliebig im Raum befindlich ist (Labor:  $\$WORLD = \$ROBROOT$ ); Weltkoordinaten
- **\$ROBROOT:** Feststehendes Koordinatensystem, welches den Roboterfuß als Bezugspunkt hat; Roboterfuß-Koordinaten
- **\$TOOL:** Bewegliches Koordinatensystem, welches sich am Effektor orientiert und entsprechend folgt. Der Ursprung dieses Koordinatensystems ist der TCP. Dieses Koordinatensystem wird z.B. verwendet, wenn eine Stoßbewegung mit einem Werkzeug erfolgt; Werkzeugkoordinaten
- **\$BASIS:** Frei definierbares Koordinatensystem, welches z.B. ausgehend von einem Werkstück definiert ist. Liegt der TCP im Ursprung des Werkstücks, so würde bei einer Fahrt in x-Richtung (von  $\$BASIS$ ) die Roboterspitze genau entlang der Kante vom Werkstück Verfahren; Basiskoordinaten

Der Anwender kann frei wählen, in welchem Koordinatensystem er arbeitet. Je nach Aufgabenstellung ergeben sich für die verschiedenen Koordinatensysteme individuelle Vor- und Nachteile. Die Umrechnung zwischen den verschiedenen Koordinatensystemen erfolgt durch die Robotersteuerung.

Das manuelle Verfahren des im Praktikum eingesetzten Industrieroboters erfolgt über das Bedienhandgerät, welches den Namen SmartPAD trägt. Über Verfahrstasten oder der sogenannten Space Mouse kann der Roboter in den verschiedenen Koordinatensystemen manuell gesteuert werden.

Sollen Bewegungsabläufe bzw. Prozesse automatisch und immer wiederkehrend abgearbeitet werden, muss der Roboter programmiert werden. Bei den Programmiermethoden werden zwei Hauptgruppen unterschieden:

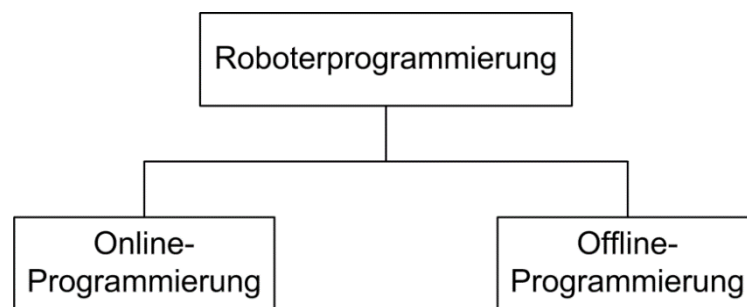


Abbildung 8: Programmierung eines Roboters

Bei der Online-Programmierung erfolgt die Programmerstellung direkt am Einsatzort des Industrieroboters. Bei der zugeordneten „Teach-In-Programmierung“ wird über das Bedienhandgerät der Effektor (TCP) zu den gewünschten Zielpunkten verfahren. Durch die zusätzliche Eingabe von Steuerbefehlen am Bedienhandgerät wird festgelegt, wie die einzelnen eingelernten Punkte abzuarbeiten sind (Geschwindigkeit, Abfolge,...). Kollisionen und unerwartete Bewegungen sind bei dieser Programmiermethode weitestgehend ausgeschlossen, da das fertige Programm letztlich nur die zuvor angefahrenen Zielpunkte bei identischer Umgebung nachfährt. Nachteilig ist, dass der Roboter während der Programmierzeit für den Produktionsprozess blockiert wird.

Bei der Offline-Programmierung wird das Programm an einem PC erstellt und später auf die Robotersteuerung gebracht. Am PC wird das Programm durch eine textuelle oder graphische Programmierung erstellt. Die einzelnen Bewegungen werden so gut wie möglich simuliert, um bei der späteren Übertragung aufs Zielsystem wenige Fehlerschleifen zu durchlaufen. Üblicherweise wird zur Überprüfung das offline erstellte Programm zunächst Schritt für Schritt online in langsamer Geschwindigkeit getestet, bevor das Programm mit der Zielgeschwindigkeit selbständig abläuft.

## **4 Versuch I**

### **4.1 Versuchsbeschreibung**

Der Versuch I ist zweigeteilt. Im ersten Teil werden am bestehenden Robotersystem nach erfolgter Sicherheitsbelehrung unter Aufsicht einzelne Verfahrbewegungen im manuellen Betrieb mit reduzierter Geschwindigkeit (Betriebsart T1) durchgeführt. Neben der Bewegung der Einzelachsen wird der Roboter im Welt- und im Basiskoordinatensystem bewegt (siehe Kapitel 3).

Im direkt anschließenden zweiten Teil wird der Ablauf eines bereits vorgefertigten Programms demonstriert. Im Automatikbetrieb wird ein und derselbe Bahnverlauf in verschiedenen Geschwindigkeiten durchfahren.

### **4.2 Versuchsvorbereitung**

Für eine erfolgreiche Durchführung sind folgende Themen vorzubereiten:

- i. Studium der Praktikumsunterlagen
- ii. Translatorische und rotatorische Bewegungen; Bewegungsgleichungen
- iii. Beschreibung eines im Raum befindlichen Punktes durch unterschiedliche, dem jeweiligen Koordinatensystem zugeordnete Ortsvektoren; Vektorrechnung
- iv. Kreieren Sie jeweils ein eigenes Beispiel für die sinnvolle Verwendung der Koordinatensysteme \$WORLD, \$TOOL und \$BASIS.
- v. Ist jede Raumkoordinate eindeutig einer Stellung der Roboterachsen zugeordnet? Können Singuläre Stellungen entstehen?

Hinweis: Zur Beantwortung sind ggf. weitere Literaturquellen heranzuziehen!

### 4.3 Aufgabenstellungen

Spätestens zwei Wochen nach dem Versuch ist ein handschriftlich verfasster Bericht abzugeben. Die Versuchsvorbereitung, die einzelnen durchgeführten Versuche (protokollieren!) und die Versuchsergebnisse sind nachvollziehbar im Bericht zu beschreiben - ordentliche Skizzen tragen dazu bei!

1. Sicherheitsbelehrung fürs Robotersystem
2. Verfahren Sie die Achsen A1- A6 einzeln.
  - a. Welche Bewegungsbereiche (in Grad) sind für die Achsen A1, A2, A4 möglich?
  - b. Die Achsen A2 und A5 sind zu bewegen. Welche Achse bewirkt eine höhere Geschwindigkeit am Effektor?
3. Verfahren Sie den Industrieroboter entlang einer vorgegebenen Bahn im Weltkoordinatensystem.
  - a. Könnte die Bewegung auch durch die Ansteuerung der Einzelachsen realisiert werden? Skizzieren Sie den Bahnverlauf. (*Nachbereitung*)
  - b. Welche Vor- und Nachteile ergeben sich? (*Nachbereitung*)
4. Verfahren Sie den Industrieroboter entlang einer vorgegebenen Bahn im Basiskoordinatensystem.
  - a. Könnte die Bewegung auch im Weltkoordinatensystem durchgeführt werden? (*Nachbereitung*)
  - b. Welche Vor- und Nachteile ergeben sich? (*Nachbereitung*)
5. Im Automatikmodus wird eine vorgefertigte Bahnbewegung bei verschiedenen Geschwindigkeiten demonstriert.
  - a. Gibt es bei den verschiedenen Geschwindigkeiten Abweichungen beim Bahnverlauf? Warum? (*Nachbereitung*)
  - b. Es wird angenommen, dass die komplette Bahnbewegung mit einer konstanten Geschwindigkeit (am TCP) verfahren werden soll. Wodurch wird die Maximalgeschwindigkeit festgelegt? (*Nachbereitung*)

Hinweis: Der Vermerk *Nachbereitung* bedeutet, dass diese Aufgabe nicht während des Versuches durchgeführt wird, sondern erst mit dem Versuchsbericht abzugeben ist.

## 5 Versuch II

### 5.1 Versuchsbeschreibung

Der Versuch II ist ebenfalls zweigeteilt. Im ersten Teil werden - per „Teach-In-Programmierung“ - die fundamentalen Bewegungsarten Punktsteuerung, Linearbahn und Zirkularbahn selbständig programmiert.

Im abschließenden zweiten Teil wird exemplarisch eine „Ballabwehr“ mit dem Industrieroboter im Automatikbetrieb durchgeführt (siehe Kapitel 5.1.2). Über das  $\mu$ C-Board werden die beiden Höhen der Lichtgitter  $h_1$ ,  $h_2$ , die Zeit  $\Delta t_{\text{Lichtgitter}}$  und die errechnete Auftreffhöhe  $h_{\text{Auftreff}}$  über eine LCD-Anzeige ausgegeben. Zudem erfolgt eine Hochgeschwindigkeitsaufnahme, um das zeitliche Verhalten der Teilsysteme nachzuvollziehen.

### 5.2 Programmierung von Bewegungen

Um den Effektor bzw. TCP im Raum zu bewegen können verschiedene Bewegungsarten einprogrammiert werden. Die nachstehende Abbildung zeigt drei wichtige Bewegungsarten für eine am Startpunkt  $P_1$  beginnende und am Zielpunkt  $P_2$  endende Bewegung am Beispiel der xy-Ebene.

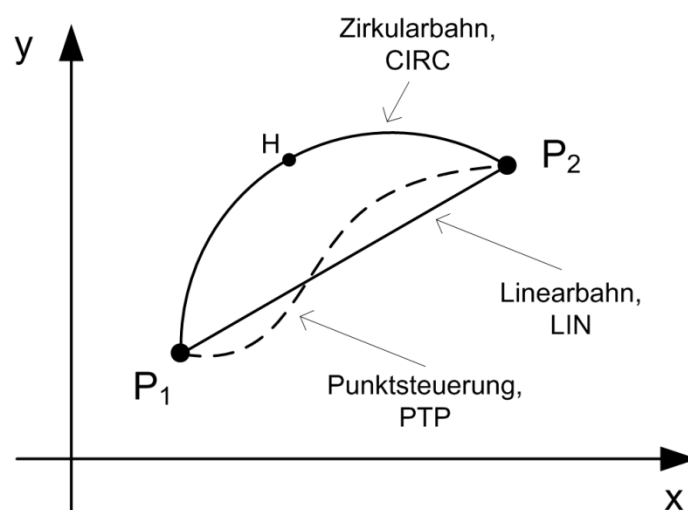


Abbildung 9: Unterschiedliche Bewegungsarten in der xy-Ebene

### *Punktsteuerung:*

Die Punktsteuerung wird häufig kurz als PTP-Bewegung (Point to Point) bezeichnet. Bei dieser Art des Verfahrens sind der Start- und der anzusteuernde Zielpunkt mit allen zugehörigen Achsinformationen bekannt. Soll vom Punkt  $P_1$  zum Punkt  $P_2$  verfahren werden, so können im einfachsten Fall alle Roboterachsen unabhängig voneinander geregelt werden (asynchrone PTP). Pro Achse wird der Winkel zwischen der Winkelstellung beim Startpunkt und der Winkelstellung beim Zielpunkt ausgeglichen. Sobald alle Achsen die Zielstellung erreichen, ist der Effektor bzw. TCP am Zielpunkt  $P_2$ . Durch synchrone PTP und verschiedene Interpolationsarten erfolgen weitere Verfeinerungen bei der Punktsteuerung. Den Punktsteuerungen ist gemein, dass die vom Roboter gewählten Bahnkurven für den Anwender unbekannt sind (gestrichelte Linie in Abbildung 9!).

### *Programmieraufbau der Punktsteuerung (per „Teach-In-Programmierung“):*

- Betriebsart *T1* einstellen
- Roboterprogramm anwählen  
(Programm startet nun ausgehend von der zuletzt vorgegebenen Position, hier HOME-Position)
- Effektor bzw. TCP (über beliebige Koordinatensysteme, siehe Abbildung 7) zum Zielpunkt verfahren
- Bewegungsanweisung **SPTP** einfügen (Parameter kontrollieren, festlegen; z.B. **Geschwindigkeit 0...100 %**)
- Anweisung mit *Befehl OK* speichern
- Ggf. weitere Punkte programmieren...

### *Linearbahn:*

Bei der Linearbahn (LIN) erfolgt eine direkte Verbindung (Gerade) zwischen dem Startpunkt  $P_1$  und dem Zielpunkt  $P_2$ . Werden zusätzlich noch die Informationen der zu verwendenden Geschwindigkeit und Beschleunigung angegeben, so ist die Bewegung eindeutig bestimmt. Diese Bewegungsart wird für Anwendungen eingesetzt, bei denen die Bahnkurve bekannt sein muss, wie z.B. beim Bahnschweißen. Im Vergleich zur Punktsteuerung ist bei vorgegebenen Bahnkurven zu beachten, dass abhängig vom Start- bzw. Zielpunkt in den einzelnen Achsen die verfahrenen Winkel deutlich größer

sein können, um mit den verschiedenen Roboterachsen exakt die vom Programmierer vorgegebene Bahn (Gerade) zu verwirklichen!

*Programmieraufbau der Linearbahn (per „Teach-In-Programmierung“):*

- Betriebsart *T1* einstellen
- Roboterprogramm anwählen  
(Programm startet nun ausgehend von der zuletzt vorgegebenen Position, HOME-Position)
- Effektor bzw. TCP (über beliebige Koordinatensysteme, siehe Abbildung 7) zum Zielpunkt verfahren
- Bewegungsanweisung **SLIN** einfügen (Parameter kontrollieren, festlegen; z.B. **Geschwindigkeit 0,001...2 m/s**)
- Anweisung mit *Befehl OK* speichern
- Ggf. weitere Punkte programmieren...

*Zirkularbahn:*

Wird die Bewegungsart Zirkularbahn (CIRC) programmiert, so sind der Startpunkt  $P_1$  und Zielpunkt  $P_2$  durch einen Kreisbogen miteinander in Verbindung gebracht. Analog zur Linearbahn ist auch hier die Bahnkurve eindeutig bestimmt und für den Anwender vorhersagbar. Neben den Informationen der Geschwindigkeit und Beschleunigung ist als zusätzliche Information weiter ein Hilfspunkt  $H$  notwendig, durch welchen die Bahnkurve im Raum festgelegt wird. Die Bewegungsart Zirkularbahn erlaubt es auf einfache Weise definierte Rundungen in Werkstücken einzubringen, z.B. bei Fräsarbeiten.

*Programmieraufbau der Zirkularbahn (per „Teach-In-Programmierung“):*

- Betriebsart *T1* einstellen
- Roboterprogramm anwählen  
(Programm startet nun ausgehend von der zuletzt vorgegebenen Position, HOME-Position)
- Bewegungsanweisung **SCIRC** einfügen (Parameter kontrollieren, festlegen; z.B. **Geschwindigkeit 0,001...2 m/s**)



- Effektor bzw. TCP (über beliebige Koordinatensysteme, siehe Abbildung 7) zum **Hilfspunkt** verfahren
- Punktdaten mit ***Touchup HP*** speichern
- Effektor bzw. TCP (über beliebige Koordinatensysteme, siehe Abbildung 7) zum **Zielpunkt** verfahren
- Punktdaten mit ***Touchup ZP*** speichern
- Anweisung mit ***Befehl OK*** speichern
- Ggf. weitere Punkte programmieren...

### 5.3 „Ballabwehr“ mit einem Industrieroboter

Im Labor für Steuerungs- und Regelungstechnik der Westfälischen Hochschule wurde ein System zur Ballabwehr durch einen Industrieroboter entwickelt. Ein vom Menschen geworfener Ball und die davon abhängige Flugbahn ist im Vorfeld nicht bekannt und muss während des Wurfes erfasst bzw. ausgewertet werden. Der Effektor des Roboters verfährt während der Ballflugphase zur errechneten Auftreffposition, sodass es zum Kontakt zwischen dem Ball und dem Balken (Effektor) kommt.

Eine Übersicht des Aufbaus zeigt die nachstehende Abbildung:

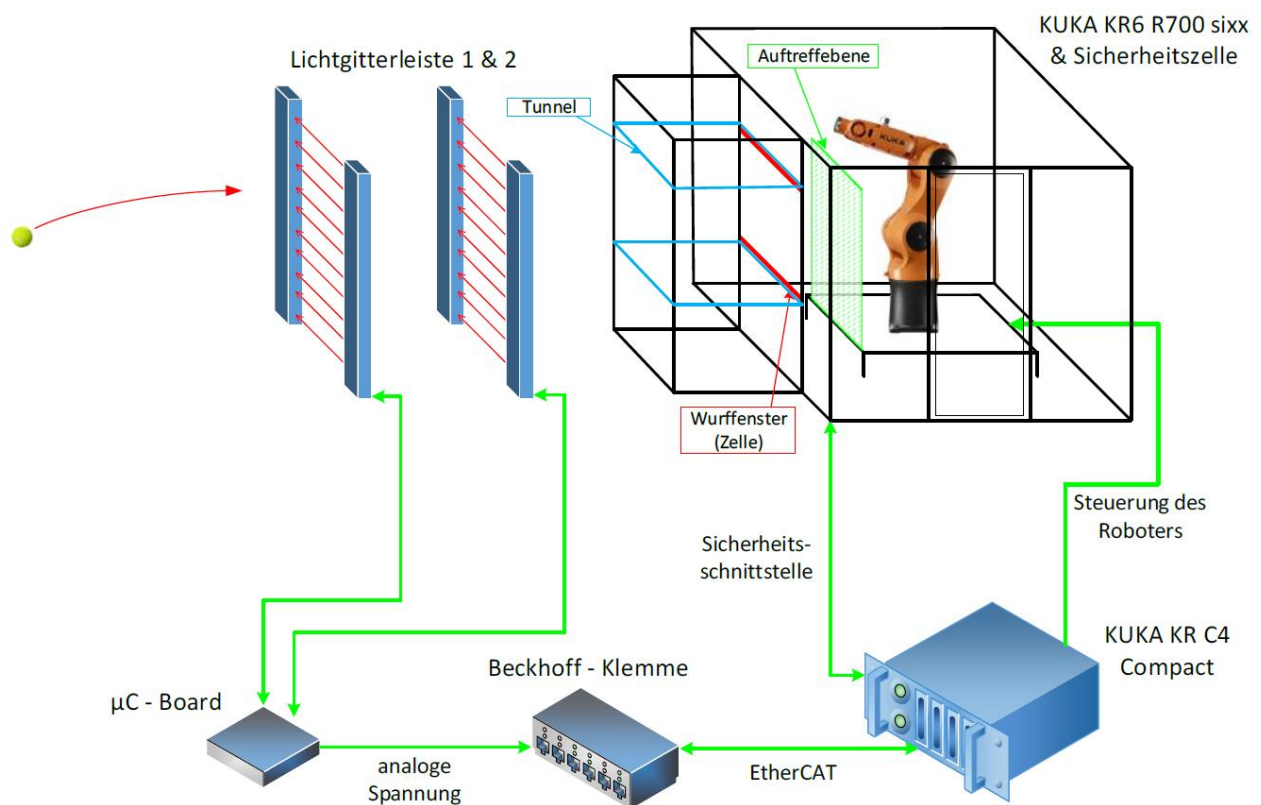


Abbildung 10: „Ballfang“ mit einem Industrieroboter (Quelle: Alexander Martel)

Gemäß der Abbildung 10 wird von links ein Tennisball in Richtung Industrieroboter bzw. Auftreffebene geworfen. Im Flug passiert der Ball die Lichtgitter 1 und 2, welche hintereinander in einem Abstand von  $\Delta x_{\text{Lichtgitter}} = 0,7 \text{ m}$  angeordnet sind. Die aus jeweils 120 LEDs bestehenden Lichtgitter werden hochdynamisch abgetastet ( $6 \mu\text{s}$  Auswertedauer pro LED) und geben die Informationen der detektierten Höhen  $h_1, h_2$

und Zeiten  $t_1$ ,  $t_2$  bzw.  $\Delta t_{\text{Lichtgitter}}$  an das angeschlossene  $\mu\text{C}$ -Board weiter. Der Controller errechnet aus diesen Informationen die Anfangshöhe  $h_0$  und den Betrag und die Richtung des Vektors  $\vec{v}_0$ . Mit diesen Daten wird schließlich die Auftreffhöhe  $h_{\text{Auftreff}}$  der hinter dem 2. Lichtgitter befindlichen Auftreffebene errechnet ( $\Delta x_{\text{Lichtgitter 2-Roboter}} = 3 \text{ m}$ ). Als analoges Spannungssignal wird die Auftreffhöhe wenige Millisekunden nach passieren des Lichtgitters 2 vom  $\mu\text{C}$ -Board weitergegeben. Eine analoge Eingangsklemme (Beckhoff-Klemme) nimmt die Spannung auf und gibt die Information per Feldbus (EtherCat) an das Robotersystem weiter. Die als Stellgröße zu verstehende Höheninformation liegt nun in der Robotersteuerung vor (KUKA KR C4 Compact).

Um den Effektor schnell zur gewünschten Position zu bringen wird als Bewegungsart eine Punktsteuerung verwendet. Das Robotersystem kennt nun alle benötigten Informationen und verfährt die einzelnen Achsen (A1 – A6) zur vorhergesagten Auftreffhöhe  $h_{\text{Auftreff}}$ . Hat der komplette Vorgang richtig funktioniert, dauert es nicht lange, bis es zum gewünschten Kontakt zwischen Ball und Balken (Effektor) kommt ☺.

## 5.4 Versuchsvorbereitung

Für eine erfolgreiche Durchführung sind folgende Themen vorzubereiten:

- i. Studium der Praktikumsunterlagen
- ii. Warum erfolgt bei der Punktsteuerung die Geschwindigkeitsangabe in % und bei der Linearbahn die Geschwindigkeitsangabe in m/s?
- iii. Kreieren Sie jeweils ein eigenes Beispiel für die sinnvolle Verwendung der Bewegungsarten PTP, LIN, CIRC.
- iv. Bestimmung der Auftreffhöhe in Abhängigkeit von  $\vec{v}_0$ ,  $h_0$ ; Wurfphysik
- v. Wozu dient ein Feldbus?; Industrielle Kommunikation

Hinweis: Zur Beantwortung sind ggf. weitere Literaturquellen heranzuziehen!

## 5.5 Aufgabenstellungen

Spätestens zwei Wochen nach dem Versuch ist ein handschriftlich verfasster Bericht abzugeben. Die Versuchsvorbereitung, die einzelnen durchgeführten Versuche (protokollieren!) und die Versuchsergebnisse sind nachvollziehbar im Bericht zu beschreiben - ordentliche Skizzen tragen dazu bei!

1. Innerhalb der Sicherheitszelle werden zwei im Raum befindliche Punkte angebracht, welche als Start- und als Zielpunkt zu verstehen sind.
  - a. Verfahren Sie im Weltkoordinatensystem vom Start- zum Zielpunkt und messen Sie die benötigte Zeit.
  - b. Programmieren Sie eine Punktsteuerung und messen Sie bei zwei unterschiedlichen Geschwindigkeiten die benötigten Zeiten.
  - c. Programmieren Sie eine Linearbahn und messen Sie bei zwei unterschiedlichen Geschwindigkeiten die benötigten Zeiten auf.
  - d. Programmieren Sie eine Zirkularbahn und messen Sie bei zwei unterschiedlichen Geschwindigkeiten die benötigten Zeiten auf.
  - e. Vergleichen und diskutieren Sie die ermittelten Zeiten. (*Nachbereitung*)
2. Führen Sie den beschriebenen Versuch zur „Ballabwehr“ durch.
  - a. Nehmen Sie die Daten ( $h_1$ ,  $h_2$ ,  $\Delta t_{\text{Lichtgitter}}$ ,  $h_{\text{Auftreff}}$ ) von 3 erfolgreich abgewehrten Würfeln auf.
  - b. Vergleichen Sie die errechneten Höhen mit Ihren Erwartungswerten aus der Versuchsvorbereitung (iv). Gibt es Unterschiede? Wodurch lassen sich diese erklären? (*Nachbereitung*)
3. Betrachten Sie das zeitliche Systemverhalten mit Hilfe einer Hochgeschwindigkeitskamera.
  - a. Wie lange dauert der Ballflug? (*Nachbereitung*)
  - b. Wie lange dauert die Berechnungszeit und die Roboterbewegung? (*Nachbereitung*)

Hinweis: Der Vermerk *Nachbereitung* bedeutet, dass diese Aufgabe nicht während des Versuches durchgeführt wird, sondern erst mit dem Versuchsbericht abzugeben ist.

## 6 Literaturempfehlungen

- A. Martel, „Entwicklung eines Systems zum gezielten Ballfang mit einem Industrieroboter“, Masterarbeit, Westfälische Hochschule, 2016 (siehe moodle)  
(Gesamtsystem zur Ballabwehr, Berechnungsalgorithmus ...)
- R. Krüger, „Erweiterung und Aufbau eines Systems für einen zweidimensionalen Ballfang mit einem Industrieroboter“, Masterarbeit, Westfälische Hochschule, 2018 (siehe moodle)  
(Erweiterter Detektionsbereichs, zweidimensionale Auswertung, Fangmechanismus ...)
- Robini (Robotik-Initiative Niedersachsen)  
<http://www.robini-hannover.de/glossar/> (Internet: 2.5.2017)  
(Glossar mit vielen Begriffen aus dem Umfeld der Robotik ...)
- W. Weber, „Industrieroboter, Methoden der Steuerung und Regelung“, Carl Hanser Verlag, 3. Auflage, München, 2017  
(Allgemeine und weiterführende Informationen zu Industrierobotern ...)