Prof. Dr. K. Wüst
Fachbereich MNI

SS 2012
TH Mittelhessen

Grundlagen der Robotik – Klausur am 6.7.2012
Musterlösung

Nachname:
Vorname:
Matrikelnummer:

Aufgabe	Punkte	erreicht
1	22	
2	22	
3	18	
4	18	
Bonusfrage	10	
Summe	90	

Aufg.1)
Ein Koordinatensystem K_E (Effektorkoordinaten) entsteht aus dem Koordinatensystem K_B (Sockel) durch folgende Transformationen (in dieser Reihenfolge):

1. Eine Rotation um die y-Achse um -90^o
2. Eine Translation um den Vektor (300,20,150)

a) Bestimmen Sie die Transformationsmatrix, die beide Transformationen enthält.

b) Rechnen Sie den Punkt $P_1 = {}^E\begin{pmatrix} 2 \\ 1 \\ 3 \\ 1 \end{pmatrix}$ in Basiskoordinaten um.

c) Geben Sie die Transformationsmatrix an, die das Koordinatensystem K_E wieder zurück überführt in das Koordinatensystem K_B.

d) Rechnen Sie den Punkt $P_2 = {}^B\begin{pmatrix} 550 \\ 20 \\ 130 \\ 1 \end{pmatrix}$ in Effektorkoordinaten um.

Lösung

a)

$$^BT_E = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 300 \\ 0 & 1 & 0 & 20 \\ 0 & 0 & 1 & 150 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 & 0 & -1 & 300 \\ 0 & 1 & 0 & 20 \\ 1 & 0 & 0 & 150 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \tag{1}$$

b)

$$^BP_1 = {}^BT_E\, {}^EP_1 = \begin{pmatrix} 297 \\ 21 \\ 152 \\ 1 \end{pmatrix} \tag{2}$$

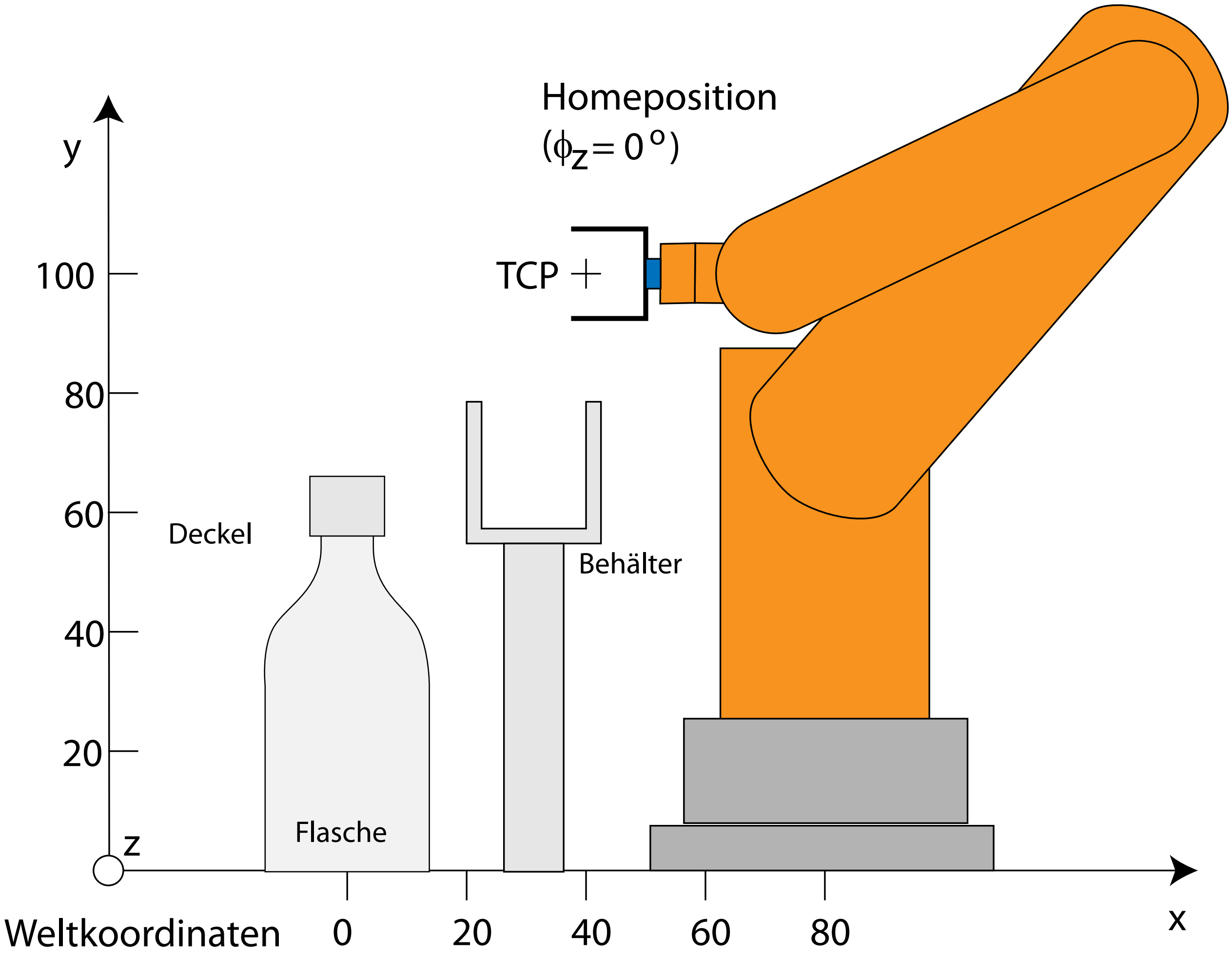
c)

$$^ET_B = ({}^BT_E)^{-1} = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 1 & -150 \\ 0 & 1 & 0 & -20 \\ -1 & 0 & 0 & 300 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \tag{3}$$

d)

$$^EP_2 = {}^ET_B\, {}^BP_2 = \begin{pmatrix} -20 \\ 0 \\ -250 \\ 1 \end{pmatrix} \tag{4}$$

Aufg.2)

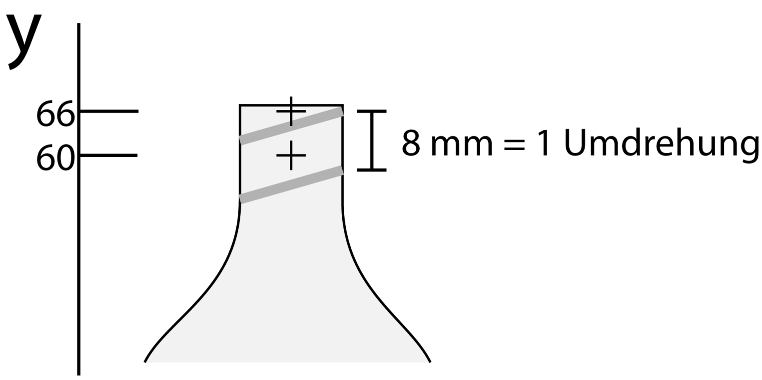


Der dargestellte Roboter soll in der dargestellte Arbeitszelle den Deckel einer Flasche abdrehen und in den Behäler fallen lassen. Das Gewinde der Flasche hat ein Rechtsgewinde mit einer Steigung von 8 mm/Umdrehung, zum abdrehen muss der Deckel 270^O (0.75 Umdrehungen) gedreht werden. Zum Schließen und Öffnen des Greifers gibt es die Befehle „Greiferzu“ und „Greiferauf“. Das Abschrauben soll mit einer maximalen Rotationsgeschwindigkeit von 2 Umdrehungen pro Sekunde erfolgen. Die maximale Geschwindigkeit des Roboters ist vmax.

Planen Sie den Ablauf des Roboterprogramms und geben Sie diesen Ablauf in einer Befehlsliste (echte Robotersprache oder Pseudo-Robotersprache) an. Geben Sie zu allen Befehlen und zu allen Bahnpunkten alle notwendigen Parameter an. Die Punkte können in einer separaten Punktliste beschrieben werden.

Lösung

Das besondere Problem ist das Gewinde. Wenn der Deckel mit dem Greifer gepackt wurde, muss die Aufwärtsbewegung mit einer exakt berechneten Drehung kombiniert werden, sonst komtm es zur Klemmung. Die Gewindegänge haben einen Abstand von 8 mm, dieser Abstand entspricht einer vollen Umdrehung. Hier ist nur 0.75 Umdrehung gefordert, dies entspricht also 6 mm. Die maximale Geschwindigkeit von 2 Umdrehungen pro Sekunde bedeutet also 16 mm pro Sekunde, also v16. Um den Deckel abzudrehen, braucht man also zwei Bahnpunkte, die exakt übereinandner liegen, mit 6 mm Abstand und einem Orientierungsunterschied von 270^O. Vom unteren Punkt wird zum oberen mit CP linear und v16 gefahren. Falsch ist eine Zirkularbewegung, weil diese zu einer gebogenen Bahn führt.

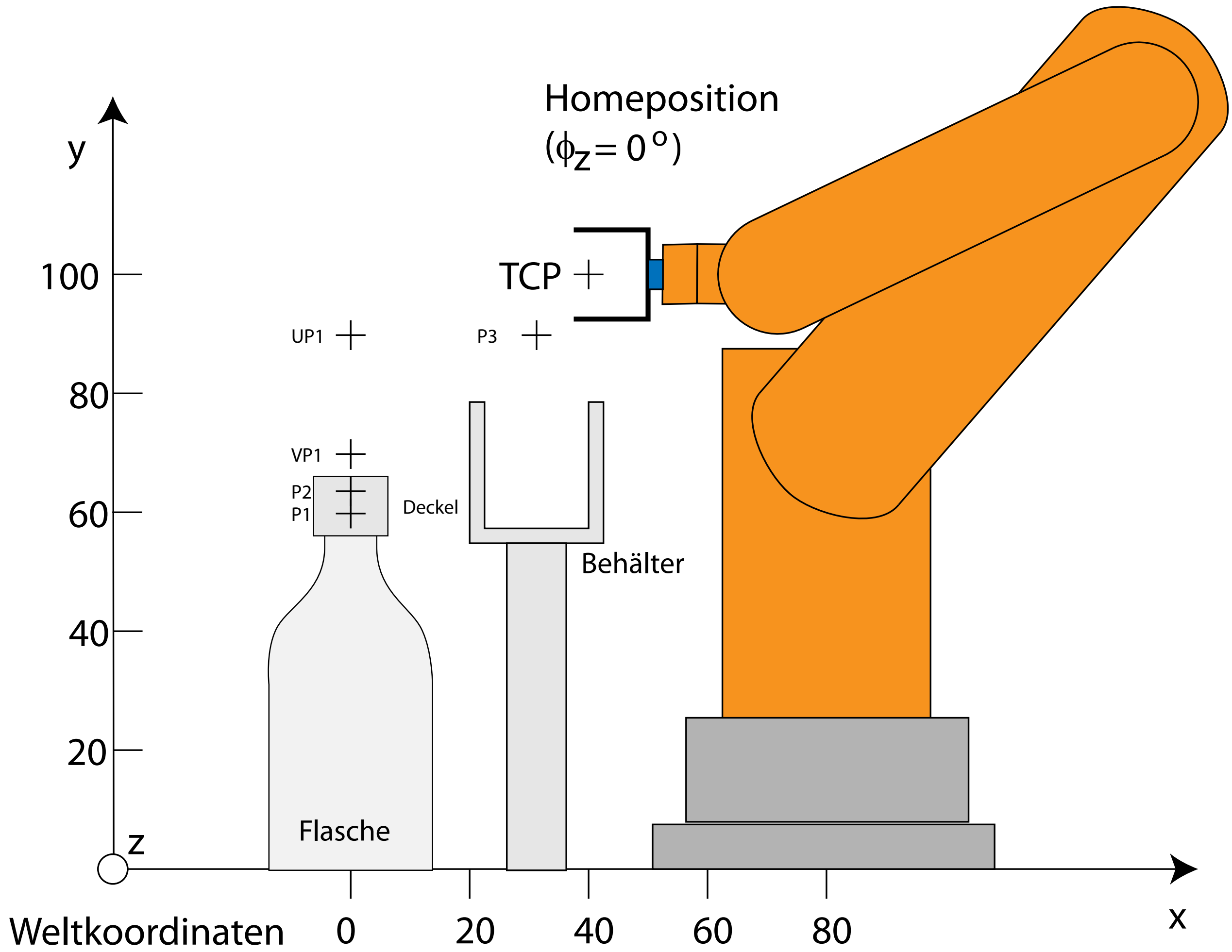


Auserdem muss geachtet werden auf:

- Die richtige Bewegungsart, in der Nähe des Werkobjekts nur CP-linear
- richtige Orientierung
- richtige Zonengröße
- angemessene Geschwindigkeit
- Vorpunkte
- Greifer öffnen/schließen
- Kollisionen vermeiden

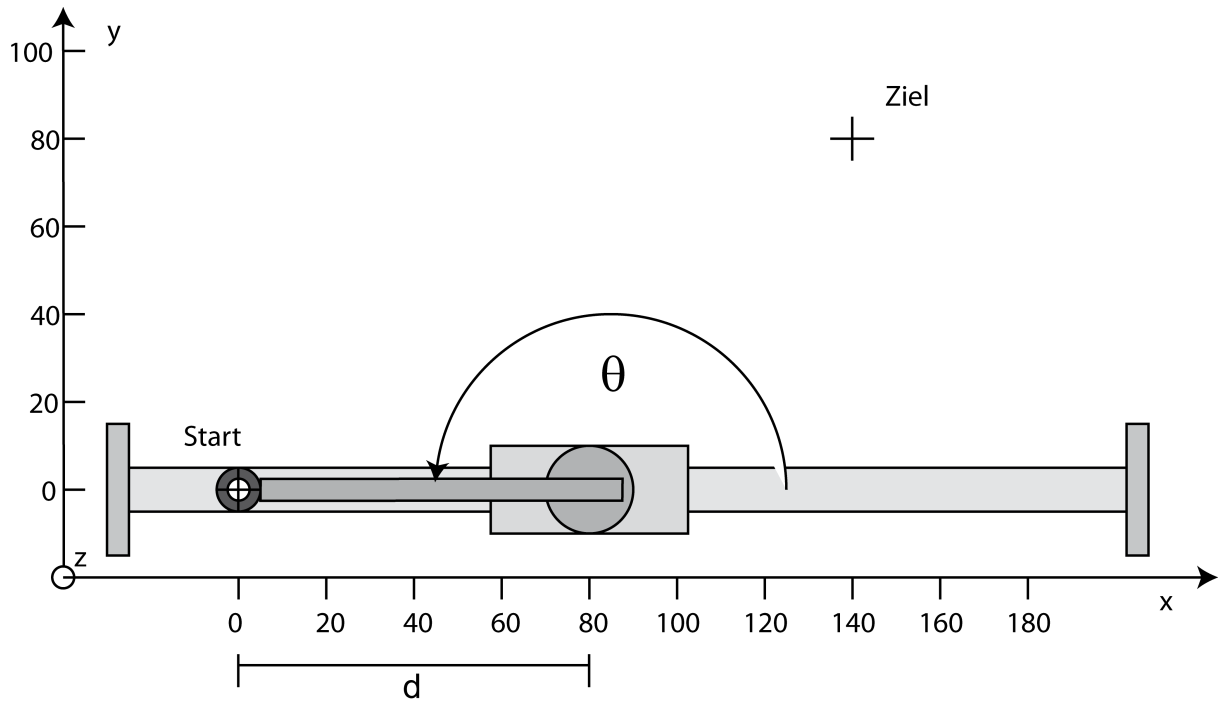
Punkt	x	y	ϕ_y	ϕ_z
UP1	0	90	0	90
VP1	0	70	0	90
P1	0	60	0	90
P2	0	66	270	90
P3	30	90	0	90
HOME	40	100	0	0

$z = \phi_x = 0$ bei alle Punkten




```
Greifer auf                 ; Falls noch zu\\
MoveJ UP1, vmax, z10        ; Kollisionsvermeidung\\
MoveJ VP1, v200, z1         ; Vorpunkt\\
MoveL P1, v20, fine         ; Greifer über Deckel senken\\
Greifer zu
MoveL P2, v16, z0           ; Deckel kontrolliert herausdrehen\\
MoveL VP2, v20, z1          ; über Vorpunkt entfernen \\
MoveJ UP1, v50, z10         ; Kollision vermeiden\\
MoveJ P3, v50, fine         ; Anhalten über Behälter\\
Greifer auf
MoveJ HOME, vmax, z0        ; Homeposition anfahren
```

Aufg.3)



Der abgebildete TR-Roboter (L=80 mm) soll eine synchrone PTP-Bewegung von „Start“ (0,0,0) nach „Ziel“ (140, 80, 0) ausführen. Die maximalen Achsgeschwindigkeiten sind $\dot{d} = 20\ mm/s$ und $\dot{\theta} = 18\ grad/s$. Wir gehen von konstanten Gelenkgeschwindigkeiten aus, keine Beschleunigungs- oder Bremsrampen.

a) Von welchem Anfangswert bis zu welchem Endwert laufen die beiden Achskoordinaten?

b) Geben die Bewegungsdauer für die schnellstmögliche synchrone PTP-Bewegung an!

c) Zeichnen Sie die Stellung nach der Hälfte der Bewegungsdauer in die obige Abbildung ein und skizzieren Sie grob die Bahn des TCP von Start bis Ziel.

Bonusfrage: Wie lautet der Geschwindigkeitsvektor des TCP nach der Hälfte der Bewegungsdauer?
Tipp: Wenn Sie hier die Rotationsgeschwindigkeit eines Gelenks verwenden, muss diese ins Bogenmaß umgerechnet werden ($180^o/s = \pi/s$).

Lösung

Hier ist es wichtig, klar zu unterscheiden zwischen Gelenkkoordinaten und kartesischen Koordinaten. Die Gelenkkoordinaten sind d und θ, das war aus den Beispielen in der Vorlesung bekannt und steht auch im Skript auf S. 74.

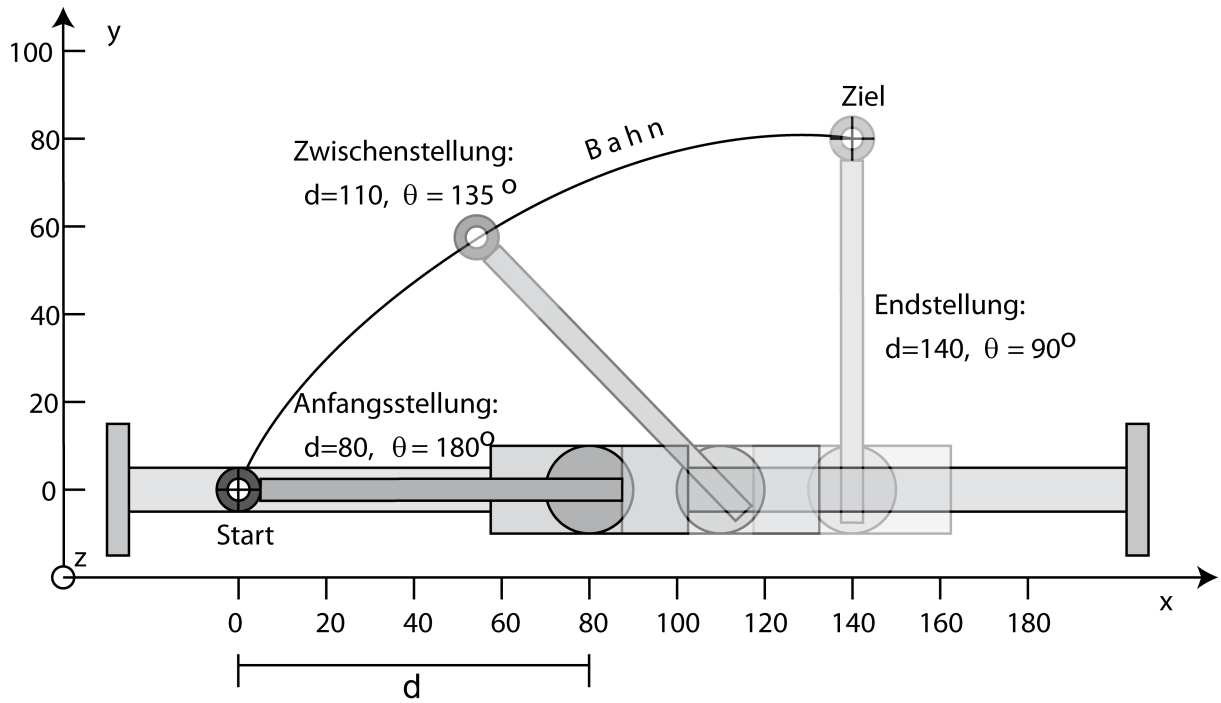
a) Wegen L=80 muss in der Endstellung der Arm senkrecht stehen und der Schlitten genau unter dem Zielpunkt. Also läuft d von 80mm bis 140mm und θ von 180^o bis 90^o.

b) Die minimale Bewegungsdauer beträgt:

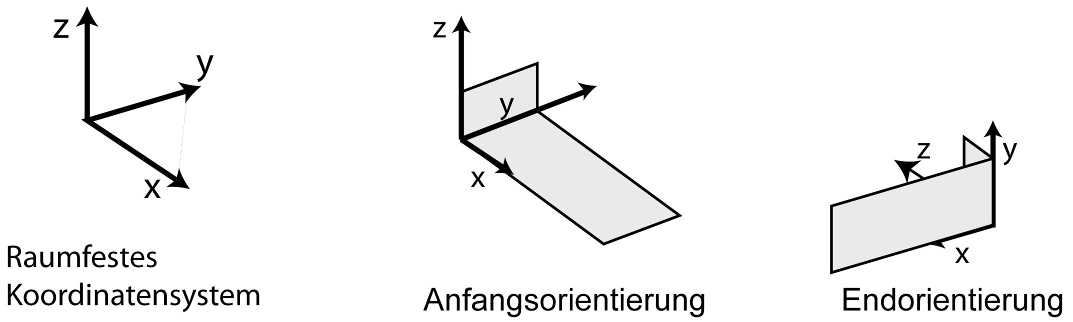
Achse 1 (d): $\frac{60mm}{20mm/s} = 3s$
Achse 2 (θ): $\frac{90^o}{18^o/s} = 5s$

Bei synchroner PTP-Bewegung bestimmt die langsamste Achse (Leitachse) die Bewegungsdauer (Skript S.21), also $t = 5s$.

c)



Aufg.4)



Geben Sie die Drehwinkel für den abgebildeten Gegenstand in der Endorientierung (rechts) in den folgenden Darstellungen an:

a) Raumfeste Drehwinkel   b) ZYX-Euler-Winkel   c) ZYZ-Euler-Winkel

Lösung

a) $\phi_x = 90^o, \phi_y = 0^o, \phi_z = -90^o$
b) $\alpha_z = -90^o, \alpha_y = 0^o, \alpha_x = 90^o$
b) $\alpha_z = 0^o, \alpha_y = -90^o, \alpha_z = -90^o$