Prof. Dr. K. Wüst
Fachbereich MNI

SS 2009
FH Gießen-Friedberg

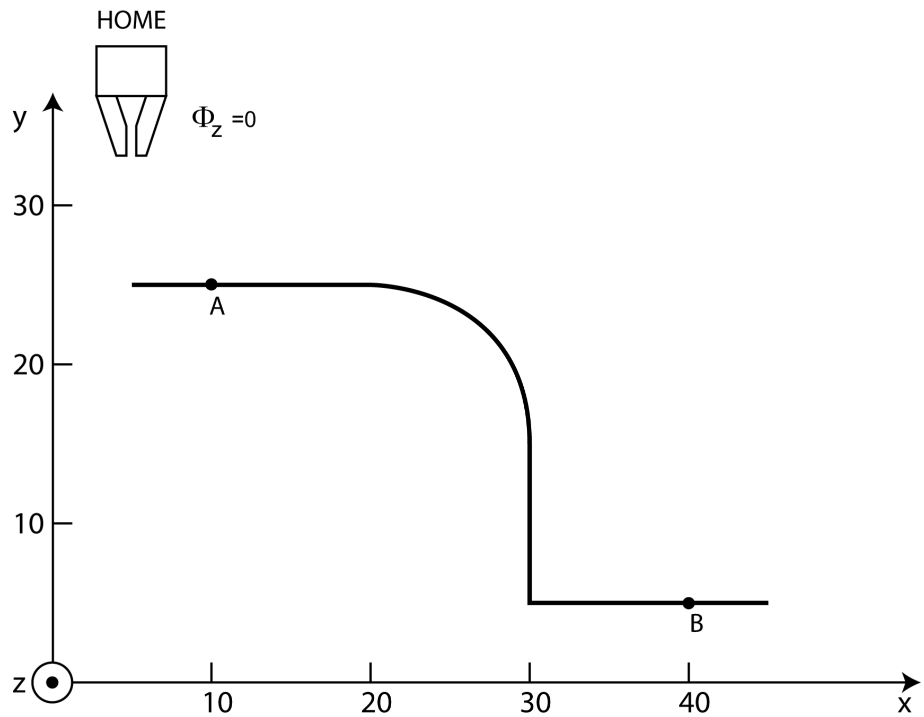
Klausur Robotik/Steuerungstechnik 9.7.2009

Nachname:
Vorname:
Matrikelnummer:

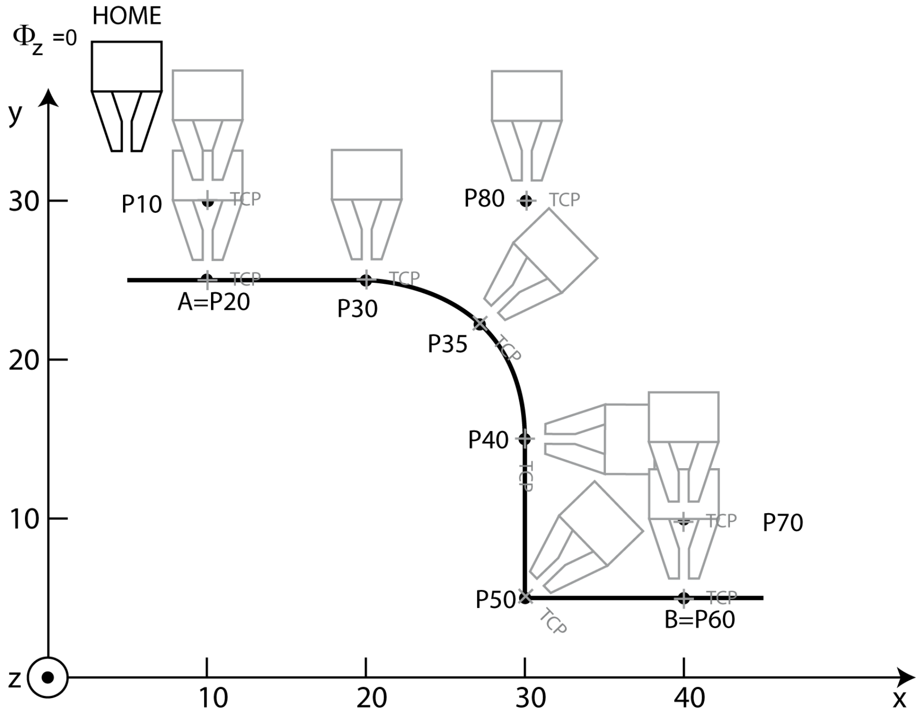
Aufgabe	Punkte	erreicht
1	30	
2	30	
3	40	
4	20	
Summe	120	

Mit Lösungen

Aufg.1) Ein sechachsiger Industrieroboter soll mit einem Wasserstrahlschneider in ein Blech einen Schnitt von Punkt A nach Punkt B machen. Der Wasserstrahlschneider wird am besten senkrecht angewendet, darf aber bis zu 45 Grad gegen die Senkrechte geneigt sein. Formulieren Sie ein Programm in Form einer Anweisungsliste für den Roboter. Sie können wahlweise RAPID (ABB) oder eine Pseudosprache benutzen. Gehen Sie davon aus, dass der Roboter zu Beginn in der Homeposition (HOME) steht und fahren Sie ihn am Ende wieder in die HOME-Position. Die Geschwindigkeit des TCP beim Schneiden soll 10 mm/s sein. Geben Sie zu allen Befehlen und zu allen Punkten alle notwendigen Parameter an. Bei Bewegungsbefehlen zählt dazu auch die Orientierung. Die Punkte können auch in einer separaten Punktliste beschrieben werden.



Lösung Aufgabe 1 Ein industriell eingesetztes Werkzeug ist eingemessen und hat einen TCP, der genau im Schneidpunkt liegt. Der TCP wird auf dem Blech entlang geführt, das Schneidwerkzeug selbst wird vom Roboter automatisch richtig positioniert, wenn das richtige Werkzeug ausgewählt ist. Aufmerksamkeit verdient die untere Ecke. Man muss sie entweder von hinten schneiden oder das Werkzeug etwas neigen um einen Crash zu vermeiden. Da eine Abweichung von senkrechten Ausrichtung bis 45 Grad erlaubt ist, lässt sich in der Ecke durch eine 45-Grad-Stellung der Crash vermeiden.

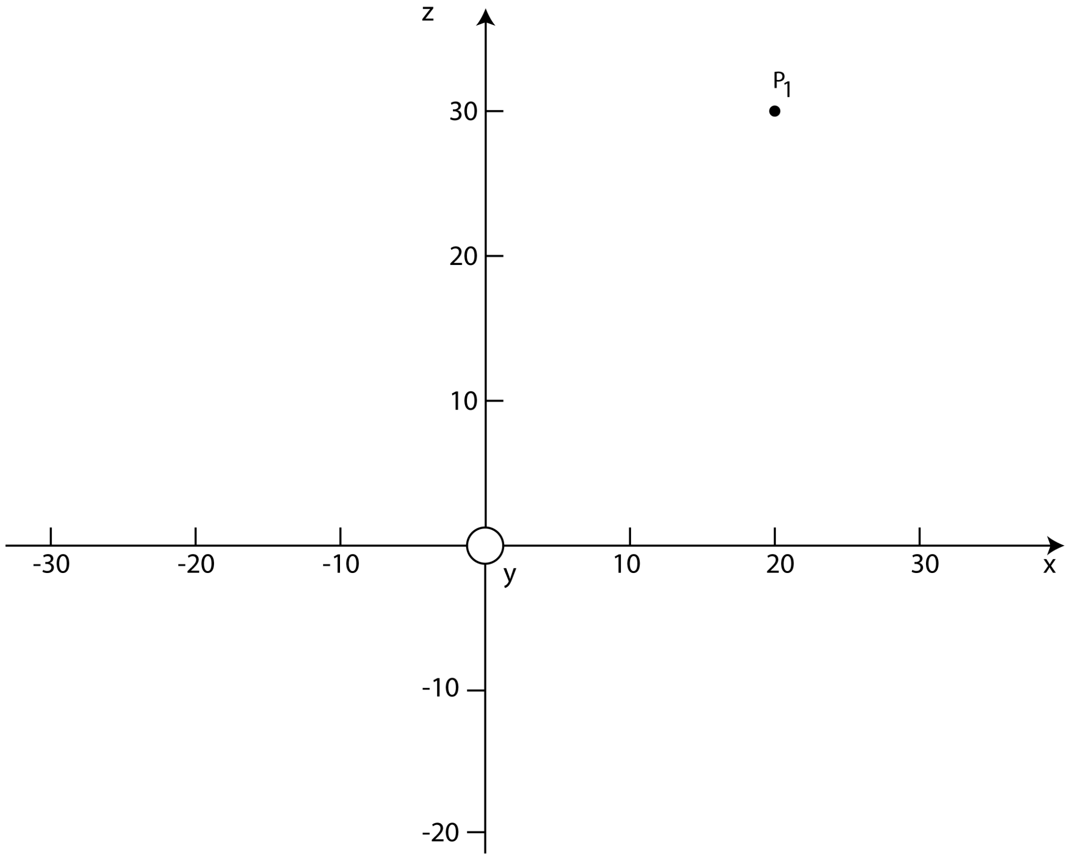


Anrück- und Abrückpunkte (P10, P70) in 5 mm Abstand mit kleiner Zone; für den Rückweg nach HOME ist ein Zusatzpunkt (P80) erforderlich um eine Kollision zu vermeiden. Folgende Werte sind immer gleich 0: z, ϕ_x, ϕ_y

```
MoveJ P10, vmax, z3 ;PTP
MoveL P20, v20, z0 ;CP-linear
Tool on
MoveL P30,v10, z0
MoveC P35, P40, v10, z0 ;CP-Zirkular
MoveL P50, v10, z0
MoveL P60, v10, z0
Tool off
MoveL P70, v20, z3
MoveJ P80, vmax, z7
MoveJ HOME, vmax, z0
```

Punkt	x	y	ϕ_z
P10	10	30	0
P20	10	25	0
P30	20	25	0
P35	27.07	22.07	-45
P40	30	15	-90
P50	30	5	-45
P60	40	5	0
P70	40	10	0
P80	30	30	0

Aufg.2)



Ein Punkt P_1 befindet sich in Position (20, -10, 30).

a) Markieren Sie in der oben stehenden Zeichnung die Richtung der y-Achse.

b) Geben Sie eine homogene Transformationsmatrix an, die eine Verschiebung (Translation) um den Vektor (15, 5, -15) bewirkt.

c) Transformieren Sie damit den Punkt P_1 in Punkt P_2.

d) Geben Sie eine homogene Transformationsmatrix an, die eine Drehung um die y-Achse um -90^o bewirkt.

e) Transformieren Sie damit den Punkt P_2 in Punkt P_3.

f) Geben Sie eine homogene Transformationsmatrix an, die die beiden vorhergehenden Transformationen in einem Schritt ausführt, also Punkt P_1 direkt in Punkt P_3 transformiert. Reihenfolge: Zunächst Verschiebung, dann Rotation.

g) Geben Sie eine homogene Transformation an, die genau die entgegengesetzte Transformation bewirkt, also Punkt P_3 wieder in einem Schritt in Punkt P_1 transformiert.

h) Zeichnen Sie die Punkte P_2, P_3 in der Abbildung ein. Zeichnen Sie auch die Transformationen symbolisch als gebogene Pfeile mit Namen zwischen den Punkten ein.

Lösung Aufgabe 2

a) da wir nur Rechtssysteme verwenden, muss die y-Achse in die Papierebene zeigen und wird mit einem Kreuz gekennzeichnet.

b)

$$T_1 = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 15 \\ 0 & 1 & 0 & 5 \\ 0 & 0 & 1 & -15 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \tag{1}$$

c)

$$P_2 = T_1 P_1 = \begin{pmatrix} 35 \\ -5 \\ 15 \\ 1 \end{pmatrix} \tag{2}$$

d)

$$T_2 = \begin{pmatrix} 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \tag{3}$$

e)

$$P_3 = T_2 P_2 = \begin{pmatrix} -15 \\ -5 \\ 35 \\ 1 \end{pmatrix} \tag{4}$$

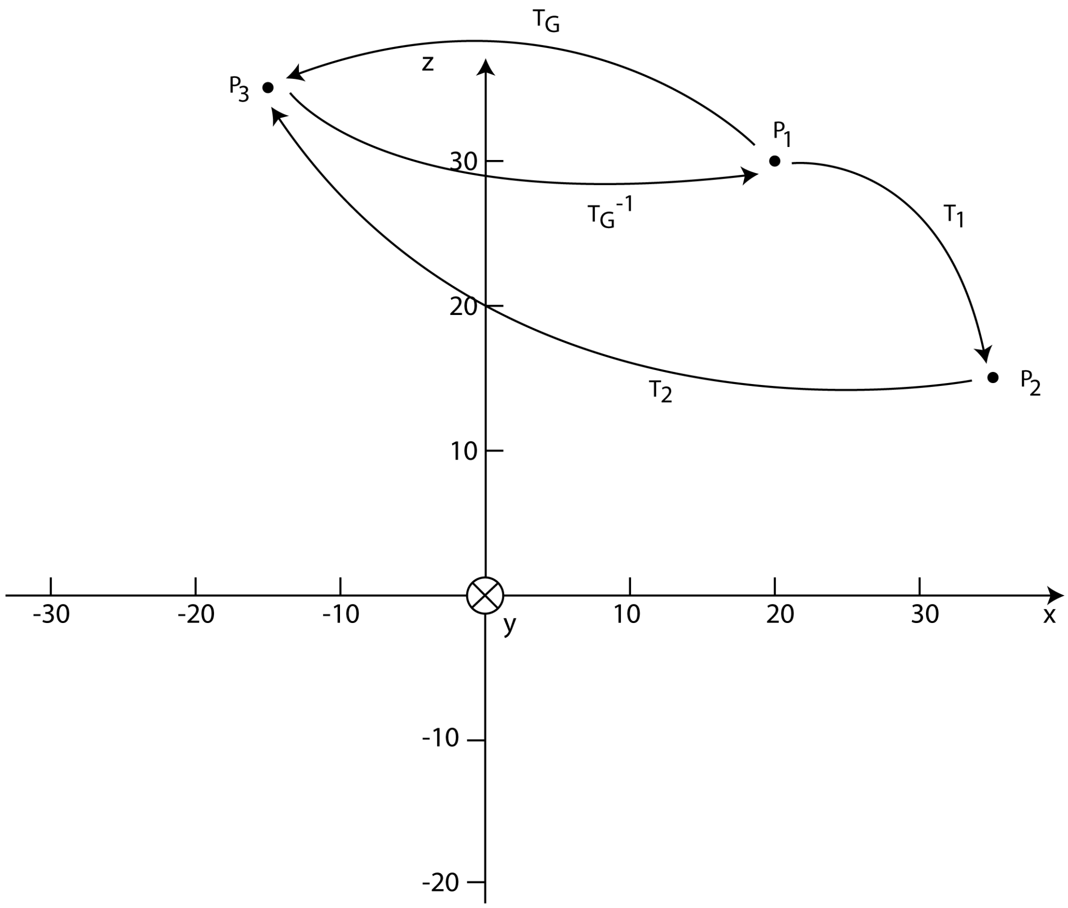
f)

$$T_2 T_1 = T_G = \begin{pmatrix} 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 15 \\ 0 & 1 & 0 & 5 \\ 0 & 0 & 1 & -15 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 & 0 & -1 & 15 \\ 0 & 1 & 0 & 5 \\ 1 & 0 & 0 & 15 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \tag{5}$$

Probe (freiwillig): $T_G P_1 = \begin{pmatrix} -15 \\ -5 \\ 35 \\ 1 \end{pmatrix}$

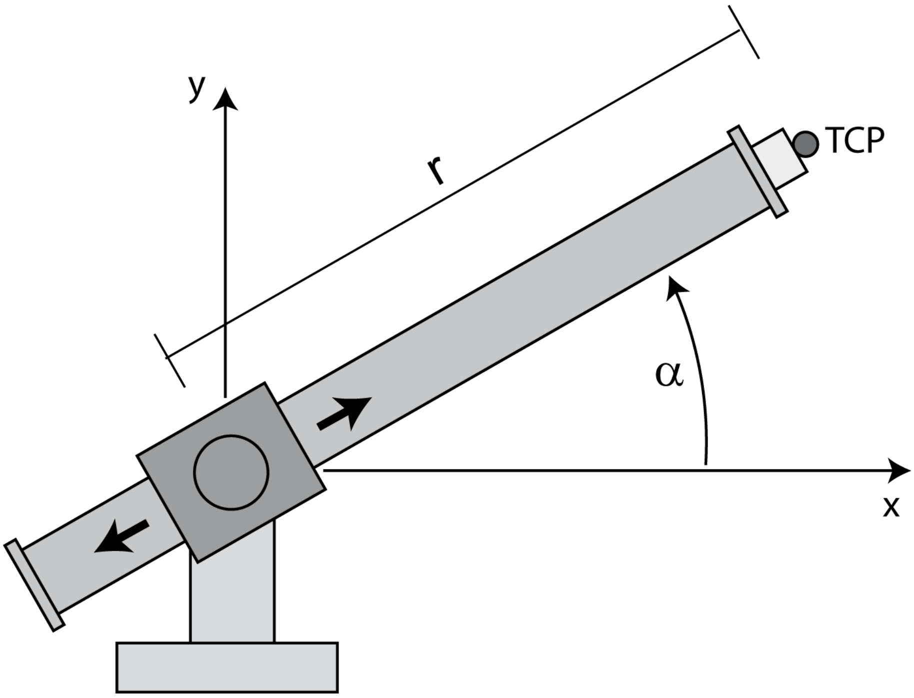
g)

$$T_G^{-1} = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 1 & -15 \\ 0 & 1 & 0 & -5 \\ -1 & 0 & 0 & 15 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \tag{6}$$



TG
z
P3
P1
30
TG-1
T1
20
P2
T2
10
-30
-20
-10
10
20
30
x
y
-10
-20

Aufg.3) Ein Roboter hat den in der Abbildung gezeigten Aufbau: In einer Schwenkeinheit befindet sich ein linear fahrbares Armteil.



a) Bezeichnen Sie die Armteile mit AT0, AT1 usw.

b) Wie viele Freiheitsgrade (Degrees of Freedom) hat der Roboter? Nennen Sie die Gelenkkoordinaten (Achskoordinaten, Maschinenkoordinaten) und die kartesischen Koordinaten:

c) Geben Sie die Gleichungen der kinematischen Vorwärtstransformation für Position und Orientierung des TCP an. Wo befindet sich der TCP, wenn $r = 200\ mm$ ist und $\alpha = 30^o$ und wie ist seine Orientierung?

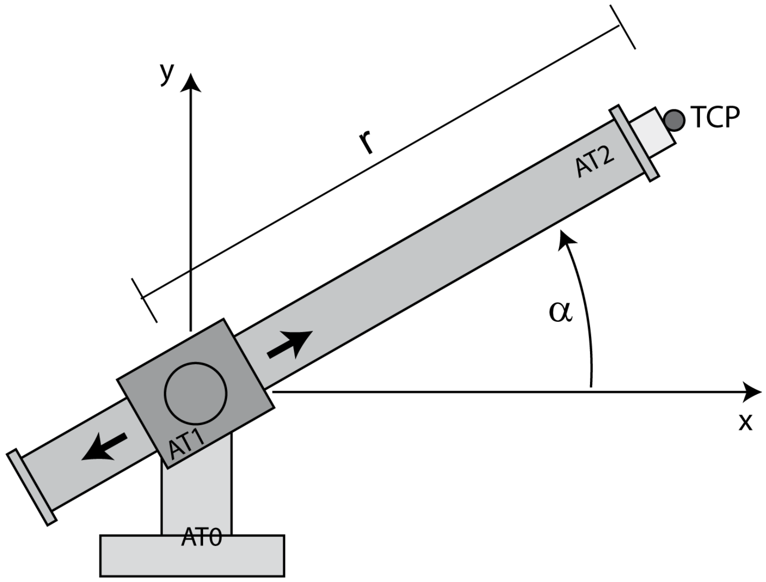
d) Geben Sie die Gleichungen für die Rückwärtstransformation an. Wie müssen die Gelenkkoordinaten sein, wenn sich der TCP bei $(-200, -70, 0)$ befinden soll?

e) Stellen Sie die Jakobi-Matrix für diesen Roboter auf. Wie ist der Geschwindigkeitsvektor des TCP, wenn $\alpha = 45^o$ ist, $\dot{\alpha} = 0.4\ s^{-1}$ und $\dot{r} = 30\ mm/s$?

f) Welche singulären Stellungen gibt es? Begründen Sie Ihre Aussage!

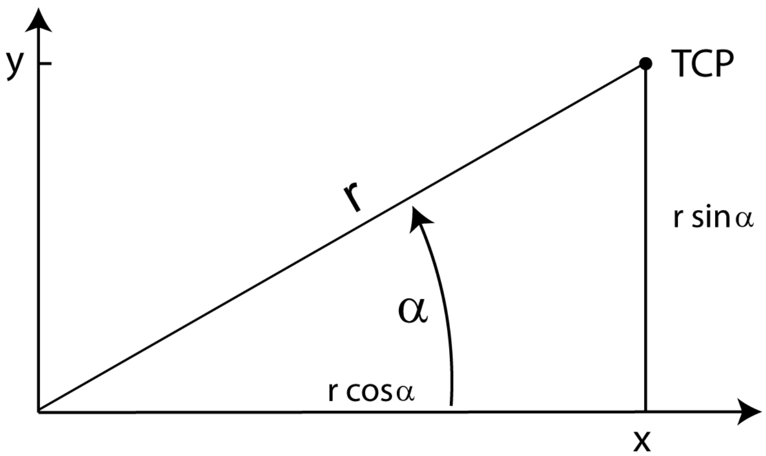
Lösung Aufgabe 3

a)



b) Der Roboter hat 2 Gelenke und somit 2 Freiheitsgrade. Die Gelenkkoordinaten sind r, α.
Die (freien) kartesischen Koordinaten sind x, y; ϕ_z ist eine abhängige kartesische Koordinate (nicht frei wählbar) z, ϕ_x, ϕ_y sind immer 0, da nur zwei Gelenke vorhanden.

c) Vorwärtstransformation mit elementarer Geometrie:



$$\begin{aligned} x &= r\cos\alpha \\ y &= r\sin\alpha \\ \phi_z &= \alpha \end{aligned}$$

Für das konkrete Beispiel befindet sich der TCP bei:

$$\begin{aligned} x &= 200\,mm\cos(30^o) = 173.2\,mm \\ y &= 200\,mm\sin(30^o) = 100\,mm \end{aligned}$$

d) Rückwärttransformation aus c)

$$\begin{aligned} \tan\alpha &= x/y\ ;\ \alpha = \arctan(y/x) \\ r &= y/\sin\alpha = x/\cos\alpha \end{aligned}$$

Für das konkrete Beispiel ergibt sich:

$$\alpha = \arctan(y/x) = \arctan(-70/-200) = 19^o oder 199^o$$

Es tritt also eine Mehrdeutigkeit auf. Die richtige Lösung ist 199^o, weil der TCP sich im linken unteren Quadranten befinden muss. Damit kann r berechnet werden:

$$r = y/\sin\alpha = -70\,mm \cdot \sin(199^o) = 212\,mm$$

e) Wenn die Vorwärtstransformation ergibt $x = f_1(\theta_1, \theta_2), y = f_2(\theta_1, \theta_2)$, wobei θ_1, θ_2 die Gelenkkoordinaten (Gelenkwinkel) sind, ist die Jakobi-Matrix in diesem konkreten Fall:

$$J_A = \begin{pmatrix} \frac{\partial f_1}{\partial \theta_1} & \frac{\partial f_1}{\partial \theta_2} \\ \frac{\partial f_2}{\partial \theta_1} & \frac{\partial f_2}{\partial \theta_2} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{\partial x}{\partial r} & \frac{\partial x}{\partial \alpha} \\ \frac{\partial y}{\partial r} & \frac{\partial y}{\partial \alpha} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos\alpha & r\sin\alpha \\ \sin\alpha & -r\cos\alpha \end{pmatrix}$$

Die Geschwindigkeit des TCP ergibt sich aus den Gelenkgeschwindigkeiten mit J_A:

$$\dot{\vec{v}} = \begin{pmatrix} \dot{x} \\ \dot{y} \end{pmatrix} = J_A \begin{pmatrix} \dot{r} \\ \dot{\alpha} \end{pmatrix}$$

Zeilenweise geschrieben:

$$\begin{aligned} x &= \dot{r}\cos\alpha + \dot{\alpha}\, r\sin\alpha \\ y &= \dot{r}\sin\alpha - \dot{\alpha}\, r\cos\alpha \end{aligned}$$

Im gefragten konkreten Fall ergibt sich:

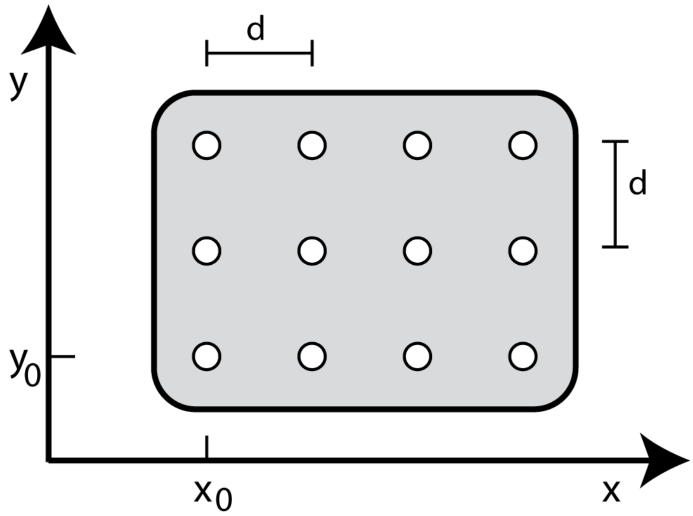
$$\begin{aligned} x &= 30\,mm/s\cos(45^o) + 0.4/s\,100\,mm\sin(45^o) = 49.5\,mm/s \\ y &= 30\,mm/s\sin(45^o) - 0.4/s\,100\,mm\cos(45^o) = -7.1\,mm/s \end{aligned}$$

Der Geschwindigkeitsvektor ist also

$$\dot{\vec{v}} = \begin{pmatrix} \dot{x} \\ \dot{y} \\ \dot{z} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 49.5 \\ -7.1 \\ 0 \end{pmatrix} mm/s$$

f) Dieser Roboter hat keine Singularitäten. Zwei mögliche Begründungen (eine genügt):
1. Für keinen Winkel α wird in der Jakobi Matrix eine komplette Zeile Null.
2. In keiner Stellung des Roboters geht ein Freiheitsgrad verloren.

Aufg.4) In einer Getränkekiste stehen die Flaschen so, wie in der Skizze dargestellt. Ein Roboter soll nun von oben in die Kiste greifen und nacheinander evtl. noch aufsitzende Schraubdeckel abdrehen. Mit optischen Sensoren kann die Position der Flasche links unten festgestellt werden. Ein kapazitiver Sensor kann feststellen, ob noch Deckel vorhanden sind, aber ohne Anzahl und Position von Deckeln. Der Roboter kann an einer Flasche eine Abschraubbewegung ausführen, gleichgültig ob ein Deckel vorhanden ist oder nicht. Der Abstand der Flaschen ist in beiden Richtungen d.



Es sind folgende Funktionen (Methoden) bereits verfügbar:

```
unsigned int NochDeckelvorhanden();  // liefert 1 wenn noch Deckel vorhanden, sonst 0
int PosxUntenlinks();    // liefert die x-Koordinate der Flasche links unten
int PosyUntenlinks();    // liefert die y-Koordinate der Flasche links unten
void Abschrauben(x,y);   // enthält alle notwendigen Bewegungen,
                         // auch annähern und entfernen
```

Schreiben Sie in C- oder Java-Syntax ein Stück Code, dass die vorhandenen Funktionen benutzt und die vorhandenen Deckel entfernt ohne Zeit zu verschwenden!

Lösung Aufgabe 4 Der Sensor meldet nur, ob die Anzahl der Deckel insgesamt größer als Null ist. Man kann deshalb nur in einer Schleifenkonstruktion nacheinander alle Flaschen anfahren und vorzeitig abbrechen, wenn keine Deckel mehr da sind. Ein möglicher Code ist:

```
// Initialisierung
int x, y, x0, y0, zeile, spalte;
x0 = PosxUntenlinks();
y0 = PosyUntenlinks();
// d ist definiert und sichtbar

zeile=0;
while (NochDeckelvorhanden() && (zeile<3)) {
  x=x0+zeile*d;
  spalte=0;
  while (NochDeckelvorhanden() && (spalte<4)) {
    y=y0+spalte*d;
    Abschrauben(x,y);
    spalte++;
    }
  zeile++;
  }
```