

# Löse die folgenden Aufgaben zur Biomechanik II

## Aus Bezeichnungen:

Bez.1 Erkläre oder zeichne die Achsen des Körpers:

vertikale Achse:

transversale Achse

sagittale Achse:

Bez.2 Erkläre die Richtungen:

dorsal

ventral

proximal

Bez.3 Erkläre die Begriffe:

Rumpf

Stamm

## Aus Kap 1:

1.1 Was sind die wesentlichen Aufgaben des Biomechanikers im Rahmen der Simulation

1.2 Wozu kann eine Simulation dienen bzw. wozu kann eine mechanische Analyse beitragen?

1.3 Nennen Sie Probleme der Modellbildung des menschlichen Bewegungsapparates.

1.4 Was bedeuten und welche Art von Gleichungen müssen dabei gelöst werden?

Vorwärtsdynamik

Inverse Dynamik

**Aus Kap 2:**

- 2.1 Was bedeuten die Abkürzungen und wofür setzen Sie Programme dieser Art ein?
- CAD
- FEM
- MKS
- 2.2 Was sind die wesentlichen Komponenten eines MKS
- 2.3 Welche Daten benötigen Sie, einen starren Körper eindeutig zu beschreiben?
- 2.4 Weshalb stellt man vektorielle Daten des Körpers in der Körperbasis dar?
- 2.5 Welche Einheit hat das Massenträgheitsmoment?
- 2.6 Was bedeutet Inertialsystem, wie/wo legen sie das fest?
- 2.7 Wann sind die Deviationsmomente null?
- 2.8 Welche Besonderheiten gelten für den Schwerpunkt  $S_1$  eines starren Körpers?
- 2.9 Wann verschwindet der Eulerterm in den Rotationsgleichungen?
- 2.10 Erstelle mit Maple / Mathematica die skalaren Bewegungsgleichungen für (2.1), (2.2) und (2.3)!
- 2.11 Wie viele FHG hat ein elastischer Körper?

- 2.12 Mit welchen mechanischen Modellen kann ich die Elastizität beschreiben?
- 2.13 Was bewirken Gelenke in einem MKS?
- 2.14 Welche Art von Kräften in der Dynamik ergeben sich bei bzw. bewirken Gelenke:  
Kraftelemente:
- 2.15 Welche Daten benötigen Sie, ein Gelenk zu beschreiben.
- 2.16 Was bedeuten diese Gleichungen? (gebe eine Beispiel an)  
implizite Glg.  
explizite Glg.
- 2.17 Wie werden Bewegungseinschränkungen bei Gelenken in MKS-Programmen realisiert?  
Skizziere die Funktion.
- 2.18 Stelle die Gelenkdefinition und die zulässigen Bewegungsmöglichkeiten des rechten Ellbogengelenks bei hängendem Arm auf. (Welche Bewegung kann die Handwurzel bez. Oberarm ausführen) Aus der Anatomie entnehmen wir: Flexion  $150^\circ$ , Extension  $10^\circ$ , Pronation  $90^\circ$ , Supination  $80^\circ$ .
- 2.19 Stelle die Gelenkdefinition und die zulässigen Bewegungsmöglichkeiten des rechten Schultergelenks auf. (Welche Bewegung kann die Oberarm bez. Schulterblatt ausführen). Entnehme die Daten aus Anatomie-Literatur. Ruhestellung ist der hängende Arm.

2.20 Kraftelemente bewirken eingeprägte Kräfte oder Zwangskräfte?

2.21 Welche Daten benötigt man, ein Kraftelement zu beschreiben?

2.22 Gebe das Kraftgesetz für eine axiale, lineare Zug-/Druckfeder an.

2.23 Gebe das Kraftgesetz für einen axialen, linearen Dämpfer an. Zeichne das Gesetz.

2.24 Gebe das Kraftgesetz für eine axiale, nichtlineare Feder mit nur Zugeigenschaften an.

2.25 Federkräfte treten paarweise auf. Zeichnen Sie bitte zwischen zwei Körper  $i$  und  $j$  die Kräfte einer Zugfeder ein.

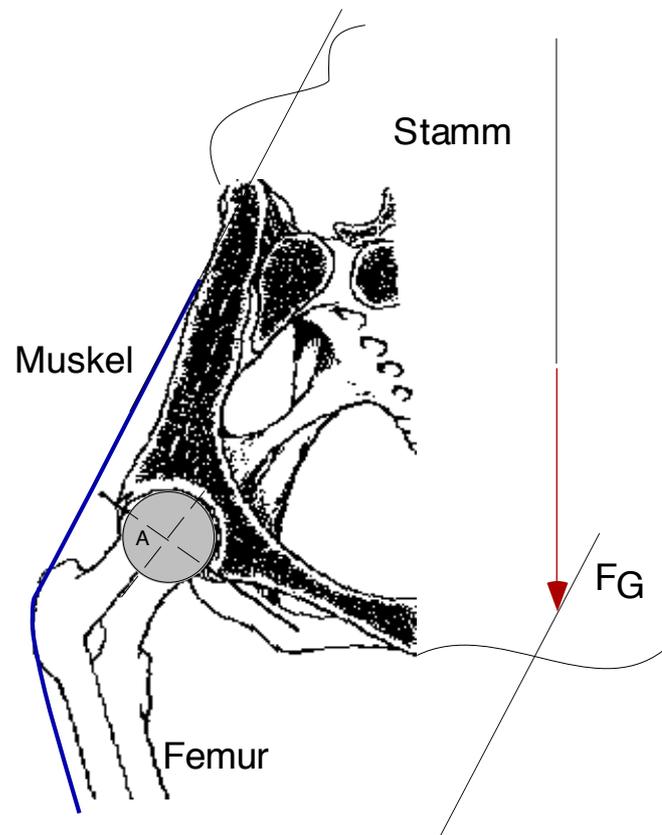
2.26 Wie lautet das Kraftgesetz einer linearen Torsionsfeder?

2.27 Ein Muskel wird als axiales Kraftelement modelliert. Was sind die Modellierungsschwierigkeiten bzw. welche Vereinfachungen muss man dabei hinnehmen?

2.28 In der Hüftgelenkprothese ist das Reibmoment zu berechnen. Die Normalkraft ist 5000 N, Radius  $r = 22$  mm, Reibbeiwert  $\mu = 0.02$ .

2.29 Ein Mensch steht auf dem rechten Bein.

Sein Gewicht ist 80 kg. Bestimme die Muskelkraft im Trochanter und die Hüftpfannen-Normalkraft, wenn der Hüftkugelabstand zur Medianebene 190 mm beträgt, bzw. die Kraft  $F_G$  in der Medianebene wirkt.



2.30 Sensoren erlauben Messungen/Auswertungen am MKS vorzunehmen. Nenne 5 mögliche Auswertungen.

2.31 Welche Daten sind für Sensoren notwendig?

2.32 Ein Menschmodell steht auf einem Bein und besteht aus den Händen, den Unter- und Oberarmen, dem Kopf, dem Rumpf sowie den Ober- und Unterschenkeln und den Füßen als Körpersegmente. Nehmen Sie die natürlichen Gelenke an, jedoch im Knie die Freiheiten Beugen und Innen-/Außenrotation.

Wie viele Freiheitsgrade  $F$  hat das Modell, wie viele Zwangsbedingungen  $n_c$  liegen vor?

2.33 Es gibt MKS-Programme, die die Gleichungen in den Absolutkoordinaten  $\mathbf{p}$  und  $\mathbf{z}$  beschreiben und welche die Relativkoordinaten benutzen.

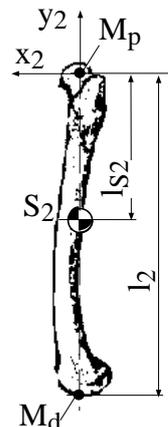
Was sind die Vor- und Nachteile beider Vorgehensweisen.

2.34 Skizziere ein offenes MKS (Baumstruktur) und ein geschlossenes MKS.

**Aus Kap 3:**

- 3.1 Gebe den Leitsatz der Modellbildung an.
- 3.2 Ein Mensch steht auf einer Hand. Ist das ein offenes oder geschlossenes MKS?
- 3.3 Ein Mensch steht auf einem Bein und lehnt sich mit einer Hand an der Wand an.  
Ist das ein offenes oder geschlossenes MKS?
- 3.4 Wenn Masse  $m_i$  und Massenträgheitsradius  $i_{S_i}$  gegeben, wie berechnet sich  $I_{S_{iXX}}$ ?
- 3.6 Rechne das Massenträgheitsmoment  $I_{S_{iXX}}$  auf den proximalen Punkt  $M_p$  um, wenn  $I_{S_i}$  und  $m_i$  gegeben sind.
- 3.7 Wir verwenden ein Zylindermodell: Wie berechnet sich die Massenträgheitsmomente  $I_{S_{iXX}}$ ,  $I_{S_{iYY}}$ ,  $I_{S_{iZZ}}$ , wenn Zylinderradius  $r_{\text{zyli}} = r$ , Länge  $l_i$  und  $m_i = m$  gegeben sind?  
 $y$  = Zylinderachse.

- 3.8 Gebe die Koordinaten des Schwerpunkts an für nebenstehendes Körpersegment



- 3.9 Wann sind die Deviationsmomente null?

3.10 Das Segment Kopf + Hals hat die Masse  $m_i = 5.59 \text{ kg}$  und das Massenträgheitsmoment  $I_{P_{iXX}} = 0.2991 \text{ kgm}^2$ . Berechne den Massenträgheitsradius  $i_{P_{iXX}}$ .

3.12 Bestimme die Daten von Kopf mit Hals für  $BH = 1.8 \text{ m}$  und  $BM = 80 \text{ kg}$  mit Hilfe Tab. 3.6

3.13 Es werden die Daten zur Massegeometrie des linken Beines gesucht.

Gegeben sind: Körpermasse  $BM = 80 \text{ kg}$ , Körpergröße  $BH = 1.84 \text{ m}$ ,  
Bezugslänge  $l_{\text{Bein}} = 0.92 \text{ m}$ . Verwende Tab. 3.6.

Masse des Beines =

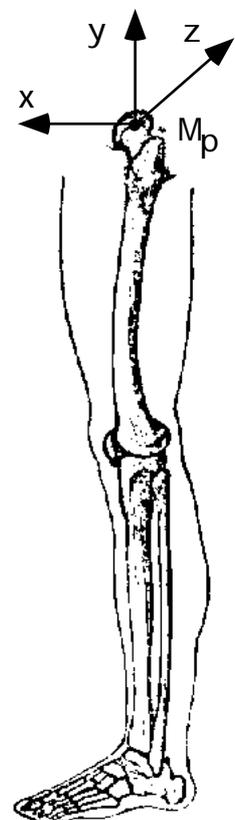
Massenmittelpunkt vom proximalen Pkt  $M_p$  =

Massenträgheitsmoment  $I_{S_{\text{Bein}}}$  bez. Schwerpunkt =

Für welche Achsen kann ich  $I_{S_{\text{Bein}}}$  verwenden? um  $x$  , um  $y$  , um  $z$

Rechne das Massenträgheitsmoment  $I_{S_{\text{Bein}}}$  auf den Punkt  $M_p$  (Hüftgelenk) um.

Bestimme das Massenträgheitsmoment  $I_{P_{\text{Bein}}}$  bez.  $M_p$ , jedoch aus skaliertem Wert nach Tab. 3.6:



3.14 Nenne Gründe, warum die realen Daten von skalierten Werten erheblich abweichen können?

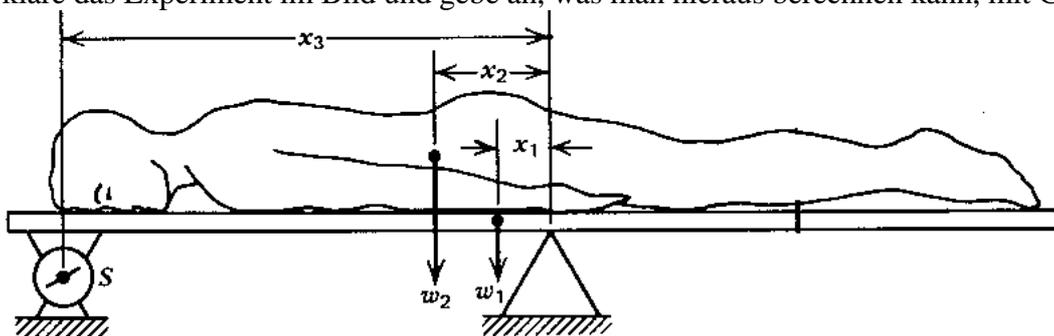
3.15 Gebe Möglichkeiten an, in vivo die Segmentdaten des Menschen zu ermitteln:

Masse:

Schwerpunkt:

Massenträgheitsmomente:

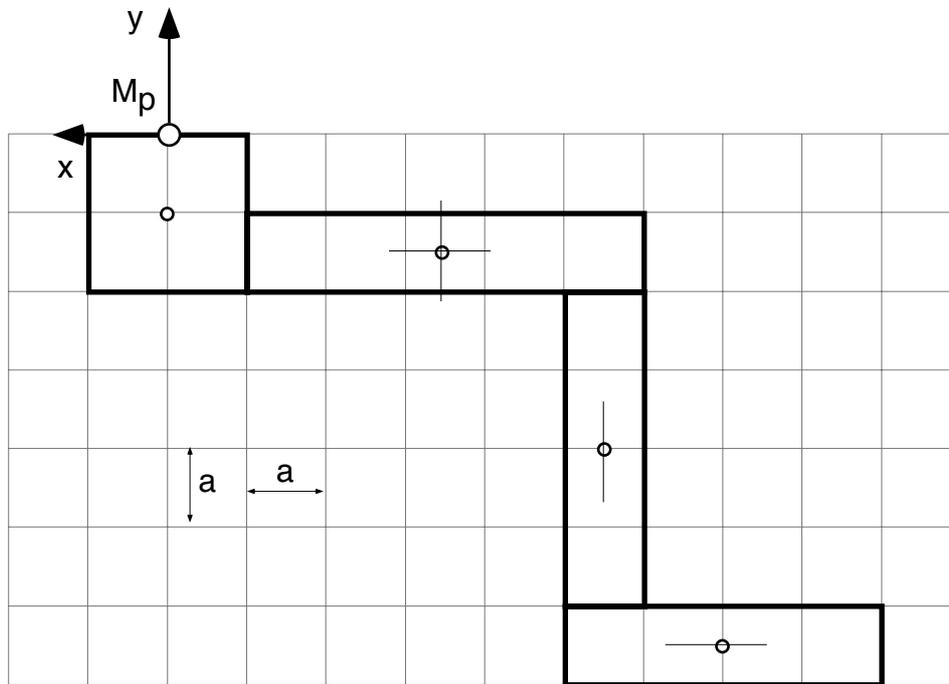
3.16 Erkläre das Experiment im Bild und gebe an, was man hieraus berechnen kann, mit Gln.



3.17 Über Auspendeln soll das Massenträgheitsmoment  $I_P$  des Armes eines Menschen gefunden werden. Skizziere das Experiment und gebe die erforderlichen Gleichungen an.

3.18 Berechne die Masse, die Lage des Massenmittelpunktes und die Massenträgheitsmomente des Körpers bezogen auf  $M_p$  bestehend aus 4 Segmenten. Dichte  $\rho = 1 \text{ kg/a}^3$ , Tiefe z-Achse = a.

Rechne die Massenträgheitsmomente auf Massenmittelpkt  $S_i$  um. Verwende Math\_Programme.



3.19 Entnehme aus der Anatomieliteratur die Gelenkbeschränkungen und bilde hieraus für Tabelle 3.8 die notwendigen Bewegungsmöglichkeiten der Gelenkwinkel  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ .

3.20 Nenne Erschwernisse bei der Modellbildung der Muskeln als Kraftelemente.

**Aus Kap 4:**

- 4.1 Welche Schwierigkeiten ergeben sich bei der Muskelkraft-Modellierung und deren Wirkungslinien auf die Bewegungen der Segmente?
  
- 4.2 Welche Möglichkeiten bestehen, die Muskelkräfte im MKS zu modellieren. Nenne diese und gebe Vor- und Nachteile an.
  
  
  
  
  
  
  
  
  
  
- 4.3 Von welchen Modellvariablen (keine Parameter) hängt die Muskelkraft ab?
  
  
  
  
  
  
  
  
  
  
- 4.4 Was bedeutet PCA, wie wird der Wert bestimmt?
  
  
  
  
  
  
  
  
  
  
- 4.5 Wie kann man die Muskelaktivierung messen?
  
  
  
  
  
  
  
  
  
  
- 4.6 Was bedeutet Fiederungswinkel? Gebe Skizze an.
  
  
  
  
  
  
  
  
  
  
- 4.7 Nenne die drei Phasen der Muskelkräfte, abhängig von der Muskellänge und deren Änderung.

4.8 Das Bild 2 zeigt das Ersatzmodell für ein Muskel-Sehnen-System.

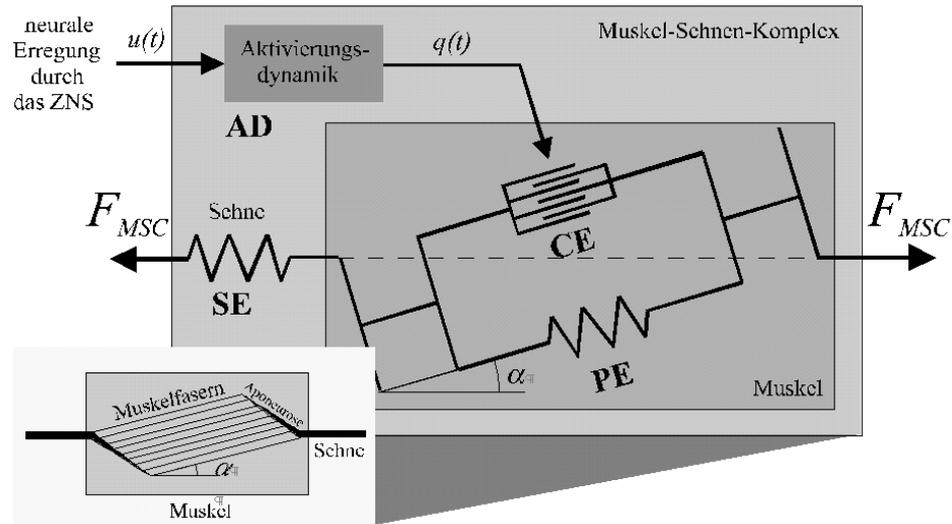


Bild 2

Was heißt hier CE ➡ .....

Was heißt PE ➡ .....

Skizziere grob den Verlauf der Kraft  $F_{CE}$  und  $F_{PE}$  über die Länge des Muskelteils  $l_{CE}$ .

➡  $F_{CE}$

➡  $F_{PE}$

Markiere hierin die optimale Muskellänge.

Skizziere grob den Verlauf der Kraft  $F_{CE}$  über die Muskelgeschwindigkeit  $v_{CE}$ .

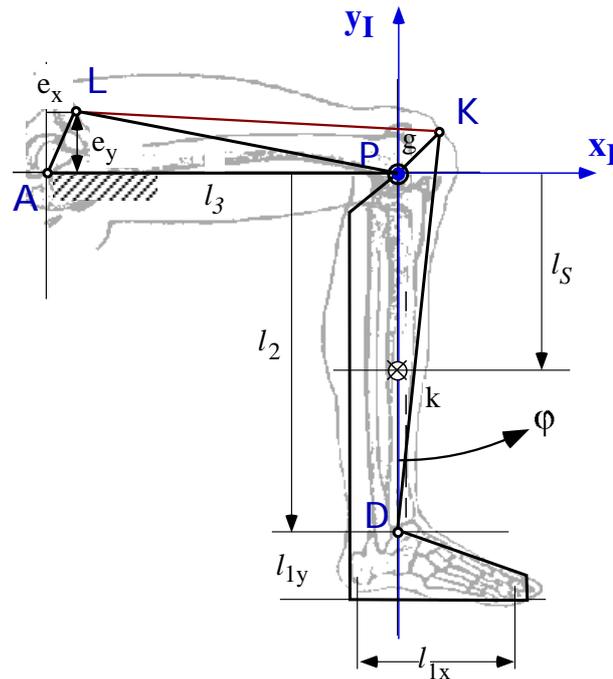
4.9 Was heißt Kalziumdynamik und was bewirkt sie? Erstelle eine Skizze.

- 4.10 Erkläre die Ursache, weshalb ein Muskel eine optimale Muskellänge hat.
- 4.11 Sie halten eine Last ruhig in der Hand. Welche Anteile des **Morecki**-Modells sind beteiligt?
- 4.12 Aus einer Momentenbilanz um das Ellbogengelenk ergibt sich ein resultierendes Muskelmoment  $M_{\text{Musk}}$ . Gebe eine **realistische** Aussage an, die drei aktiv beteiligten Muskelkräfte (Bild 4.9) aus  $M_{\text{Musk}}$  zu berechnen.
- 4.13 Für die Gleichungen (4.6, 7, 8) zu Bild 4.10 gelten die Parameter:  
 $P = 80 \text{ N}$ ,  $l = 0.31 \text{ m}$ ,  $r_1 = 3.4$ ,  $r_2 = 7.5$ ,  $r_3 = 4.6 \text{ cm}$ ,  
 $\text{PCA}_1 = 6.8 \text{ cm}^2$ ,  $\text{PCA}_2 = 1.5 \text{ cm}^2$ ,  $\text{PCA}_3 = 4.4 \text{ cm}^2$ .  
Berechne die möglichen Muskelkräfte in den drei Muskeln.
- 4.14 Nenne Muskel mit geringer Zuckungsdauer (10 ms) und großer Zuckungsdauer (100 ms).

4.15 Wir wollen den Unterschenkel+Fuß von der Sitzstellung aus bewegen. Die Soll-Kniewinkel-Funktion lautet  $\phi_{\text{soll}} = 1.4 * \sin(10 t)$  rad. Bestimme mit Hilfe Tab. 3.6 (Hoboda) und ihren persönlichen Bezugsdaten die Massengeometrie und erstelle ein dynamisches Modells mit resultierendes Muskelmoment gemäß dem **Modell nach Wallrapp** und löse es mittels Maple/Matlab oder WorkingModel. Das Kniegelenk wird als Scharnier verfacht.

Führe Parametervariationen mit den Regler-Parametern  $K_p$  und  $K_v$  durch.

4.16 Wir wollen den Unterschenkel+Fuß von der Sitzstellung aus bewegen. Es wirkt Gravitation und im Sprunggelenkpunkt D die Last von 30 kg. Das Kniegelenk sei ein Scharnier.



Die Massendaten von Oberschenkel & Fuß sind:

$$I_P = \text{Massentraegheitsmoment bez. Kniegelenk-Drehpunkt} = 0.17086 \text{ kgm}^2$$

$$m = \text{Masse} = 4.819 \text{ kg}$$

$$l_S = \text{prox. Schwerpunktsabstand} = 0.274 \text{ m}$$

Abstände:

$$PD = l_{\text{unterschenkel}} \quad l_2 = 0.43566 \text{ m für Last } m_L = 30 \text{ kg.} \quad l_{1y} = 0.072 \text{ m, } l_{1x} = 0.28 \text{ m.}$$

$$PK = g = 0.035355 \text{ m, } DK = 0.458975 \text{ m, Winkel } \kappa \text{ (PDK)} = 0.059447 \text{ rad.}$$

$$\text{Abs. Position von K: } r_K = (g \cos[0.689955 + \varphi], g \sin[0.689955 + \varphi]) \text{ m,}$$

$$\text{Winkel KP zur } x_I\text{-Achse} = 0.689955 \text{ rad.}$$

$$l_{\text{oberschenkel}} = l_3 = 0.432 \text{ m, } e_x = 0.0154 \text{ m, } e_y = 0.033 \text{ m, } LP = 0.417905 \text{ m}$$

$$\text{Abs. Position von L: } r_L = (-0.4166, 0.033) \text{ m}$$

Als Muskelkraft soll der Quadrizeps-Muskel nach **Falko**, siehe Bild, zwischen den Punkten K und

L aktiv sein. Die Muskeldaten entnehmen Sie bitte Abschn. 4.4.

Erstelle ein dynamisches Modells mit Muskelkraft und löse es mittels Maple/Matlab oder Mathematica.

**Aus Kap 5:**

- 5.1 Was versteht man unter Bewegungsanalyse/Ganganalyse? Wozu dienen diese Verfahren?
- 5.2 Was versteht man unter inverser Dynamik?
- 5.3 Was wird bei der Bewegungsanalyse aufgezeichnet?
- 5.4 Beschreibe Möglichkeiten, die Bodenreaktionskraft in x, y, z zu messen?
- 5.5 Wie könnte man die Druckverteilung der Hand auf der Tischplatte aufzeichnen?
- 5.6 Wir wollen die Gelenkbewegungen des Armes beim Kegeln aufzeichnen. Wie würden sie vorgehen? ggf. Skizze. Siehe auch Fragen 5.7, 5.8, 5.9

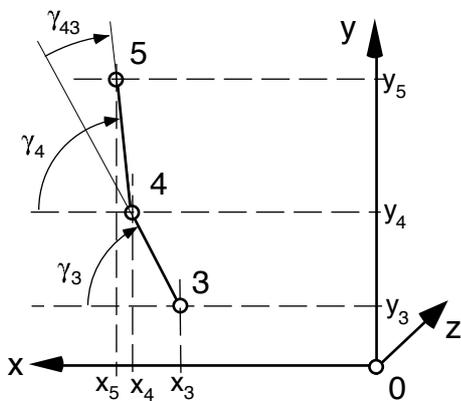
5.7 Wo würden sie die Kameras positionieren?

5.8 Wo würden sie Marker anbringen, in welcher Farbe?

5.9 Beim Aufzeichnen von Bildern müssen folgende Punkte beachtet werden:

- 1
- 2
- 3
- 4

5.10 Gegeben sind die x-y-Werte einer Aufzeichnung. Bestimme hieraus den Gelenkwinkel  $\gamma_{43}$ .



Lage	x-Wert (Einheit)	y-Wert (Einheit)	Länge (mm)	Winkel $\gamma_{43}$
3	0.47	0.81		
4	-0.39	1.85		
5	0.52	3.19		
4-3				
5-4				

5.11 Worauf muss ich bei arcsin- und arccos-Funktionen beim Taschenrechner achten?

5.12 Ein Spieler hält die Bowling-Kugel 3 kg in der Hand (gestreckter Arm) 45 Grad nach hinten gedreht im Schwerefeld. Wie groß ist das erforderliche Muskelmoment im Schultergelenk, wenn der Arm mit einer Winkel-Beschleunigung von  $100 \text{ rad/s}^2$  nach vorne bewegt wird. Daten des Armes:  $l = 81 \text{ cm}$ ,  $l_{S-PROX} = 32 \text{ cm}$ , Trägheitsradius  $i_P = 39.5 \text{ cm}$ ,  $m = 4 \text{ kg}$ .