

# M<sup>3</sup>-Seminar

## Musculo-Skeletale Simulation eines Beinmodells („Kicking“)

Lena Hermanutz, Jana Kasper, Kathrin Prinz, Annika Sahrman, Johanna Serve

---

Einführung.....	2
Aufgabenstellung .....	2
Modellvorstellung Bein .....	2
Muskelkräfte.....	3
Bewegungsablauf.....	3
Simulink-Modell .....	3
Muskel .....	3
Hybrid-Controller .....	4
Quellenverzeichnis.....	5

## Einführung

Im Rahmen des M<sup>3</sup>-Seminars der Universitäten Darmstadt, Karlsruhe und Stuttgart haben wir uns mit der Implementierung und Simulation eines Beinmodells auseinandergesetzt. Ziel unseres Projekts war es ein Simulink-Modell zur Nachahmung eines Beinkicks zu erstellen.

Verwendet wurde dazu die Simulations-Software Matlab/Simulink mit der Erweiterung Simechanics genutzt.

## Aufgabenstellung

Unsere Aufgabe bestand darin, ein menschliches Bein zu simulieren, das die Bewegung eines Fußballkicks nachahmt. Dabei war vorgegeben, dass das simulierte Bein aus einem Ober- und Unterschenkel besteht so wie aus mindestens zwei Muskeln, in unserem Fall also einem Beuger und einem Strecker.

## Modellvorstellung Bein

Als Grundlage für unser Beinmodell diente uns das im M<sup>3</sup> Seminar vorgestellte Oberarm-Unterarm-Modell [1].

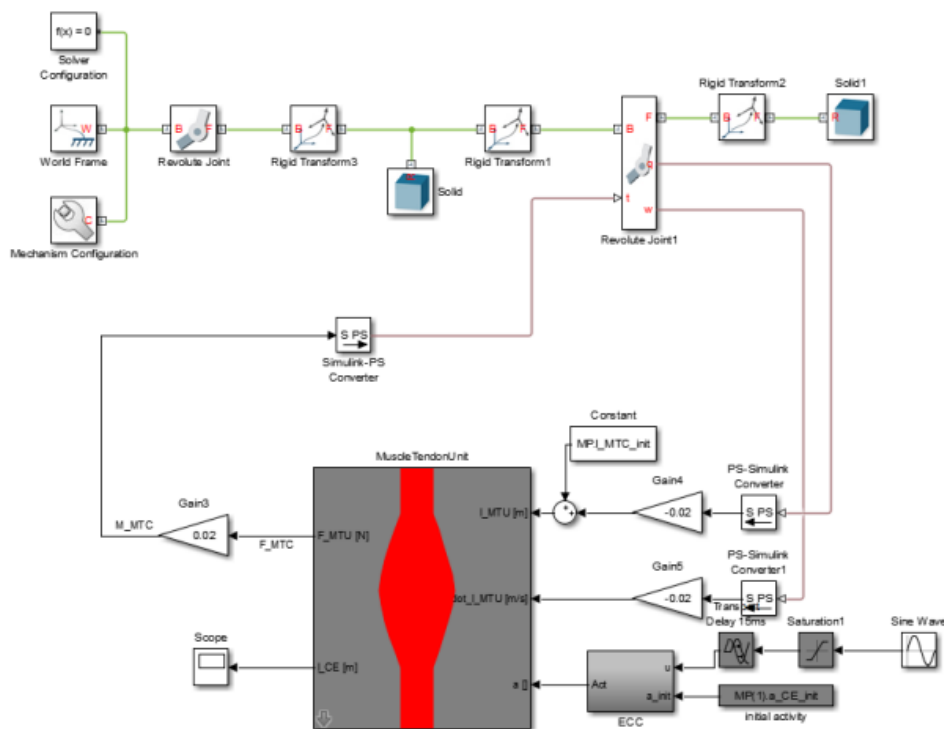


Abbildung 1: Simulink-Armmodell

Da dieses allerdings nur einen Muskel zur Beugung enthielt, wurde das Modell von uns noch um einen weiteren Muskel erweitert, da wir für unsere Kickbewegung sowohl einen Beuger wie auch einen Strecker benötigten. Der an der Beugung hauptsächlich beteiligte Muskel ist der *Musculus biceps femoris*. Sein Gegenspieler und somit für die Streckung verantwortlich ist der sogenannte *Musculus quadriceps femoris*. Zur Vereinfachung erhielten sowohl das Hüft- wie auch das Kniegelenk nur je einen Freiheitsgrad. Beide Gelenke rotieren somit um die z-Achse.

## Muskelkräfte

Damit wir unser Modell möglichst realitätsnah gestalten konnten, benötigten wir zu dem noch die maximal von den Muskeln aufzubringende Kraft  $F_{\max}$ . Da die Muskelkraft von vielen verschiedenen Einflussfaktoren, wie zum Beispiel Geschlecht und Alter, abhängig ist, einigten wir uns auf eine maximale Muskelkraft von  $F = 6830 \text{ N}$ . Dies entspricht ungefähr der Maximalkraft eines trainierten, erwachsenen Mannes [2].

## Bewegungsablauf

Der von uns gewünschte Bewegungsablauf, sollte wie folgt aussehen:

Zunächst befindet sich das Bein in der Ausgangsposition, welche dem aufrechten Stehen entspricht. Durch Kontraktion des *Musculus biceps femoris* wird der Unterschenkel posterior (nach hinten) ausgelenkt. Die Flexion beträgt  $110^\circ$ . Diesen Punkt haben wir als Gleichgewichtspunkt für die Regelung der Bewegung gewählt. Im zweiten Teil der Schwungphase kontrahiert die Streckermuskulatur, sodass der Unterschenkel anterior (nach vorne) beschleunigt wird und das Bein gestreckt wird. Der Gleichgewichtspunkt wird für diesen Teil der Bewegung bei  $10^\circ$  Flexion festgelegt. Daher bildet eine Flexion von  $10^\circ$  die Endposition unserer Kickbewegung.

## Simulink-Modell

### Muskel

Es wurde, wie bereits erklärt, für die Ausführung der Kickbewegung zwei Muskel modelliert und simuliert. Jede Muskeleinheit erhält neben dem aktuellen Kniewinkel und der dazugehörigen Winkelgeschwindigkeit auch einen muskulären Input. Aus diesen Größen wird das dazugehörige Drehmoment berechnet und von beiden Muskeln addiert

sowie anschließend als Ausgang an das Kniegelenk übergeben. Während der Simulation wird das Kniegelenk auf Grund des Drehmoments ausgelenkt.

### Hybrid-Controller

Die zeitliche Stimulation des Muskels wurde in Form eines Hybrid-Controllers realisiert. Dieser basiert auf der Equilibrium Point Hypothese (EP-Hypothese): Ist das Gesamtmoment an einem Gelenk null, so befindet sich dieses an einem Gleichgewichtspunkt. Dieser ist durch die charakteristischen Längen der jeweils beteiligten agonistischen und antagonistischen Muskel definiert. Durch eine entsprechende Muskelaktivierung werden nun die Muskellänge derart verändert, dass die Gleichgewichtspunkte „durchlaufen“ werden.

Um einen Kick ausführen zu können suchten wir, wie oben beschrieben, die jeweiligen EPs für 110° für die angewinkelte Stellung und 10° für die gestreckte Stellung.

Ein Hybrid-Controller kann vereinfacht durch folgende Formel beschrieben werden [3]:

$$STIM_h = \{STIM_{open} + k_p[\lambda - l_{CE}(t - \delta)]\}_0^1$$

Dabei ist  $STIM_{open}$  der Muskelinput.  $k_p$  ist eine Feedback-Konstanten bzw. Verstärkungsfaktor.  $\lambda$  ist die geforderte Länge, die den jeweiligen EP „einstellt“ und  $l_{ce}$  die aktuelle Länge des der kontraktile Einheit. Mittels der in Simulink vorhandenen Switch-Funktion kann nun zwischen den einzelnen Punkten hin und her geschaltet werden.

Das Ergebnis unserer Simulation könnt ihr nun in unserem Podcast ansehen.

## Quellenverzeichnis

[1] Häufle, D.F.B., Günther M., Bayer A. et al.: *Hill-type muscle model with serial damping and eccentric force-velocity relation*. Journal of Biomechanics, 2014.

[2] Hackenberg, N.: *Methoden zur nicht invasiven Bestimmung der in-vivo Muskelkraft in Korrelation zum Muskelquerschnitt am Beispiel der menschlichen Oberschenkelmuskulatur*. Dissertation, Ludwig-Maximilians Universität zu München, 2005.

[3] Dinant A. Kistemaker, Arthur (Knoek) J. Van Soest, and Maarten F. Bobbert: *Is Equilibrium Point Control Feasible for Fast Goal-Directed Single-Joint Movements?* Journal of Neurophysiology 2006