

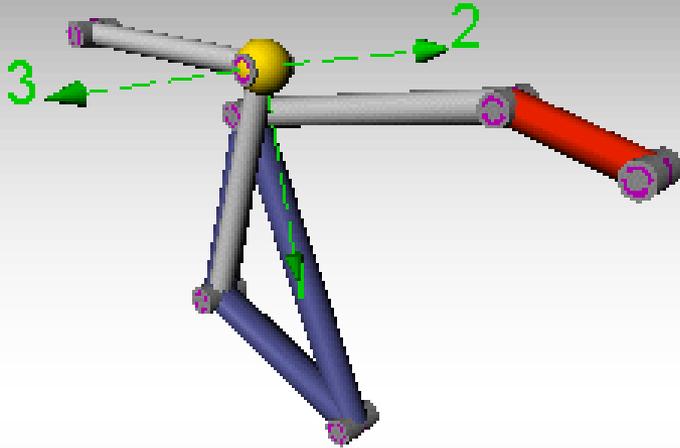
Computational Biomechanics 2016

Lecture 6:
Forward vs. Inverse
Multi Body Dynamics

Ulli Simon, Frank Niemeyer, Martin Pietsch

*Scientific Computing Centre Ulm, UZWR
Ulm University*

Mehrkörpersysteme (MKS):



Quelle: IFM, TU Chemnitz, alaska



Quelle: UFB, Forster&Simon

Zum Merken:

MK-Modelle bestehen aus:

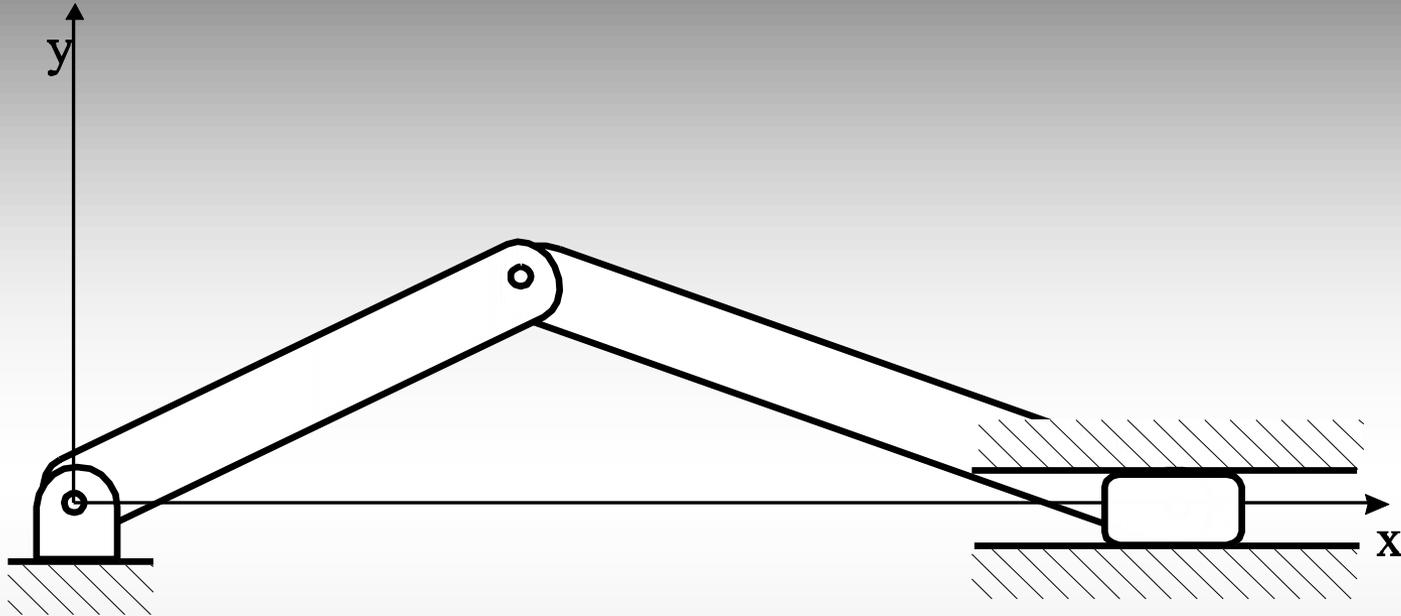
- Starrkörpern (mit Massen, Massenmomente)
- Gelenken (Bindungen)

Beispiel: Kurbelantrieb



Raddampfer, New Orleans

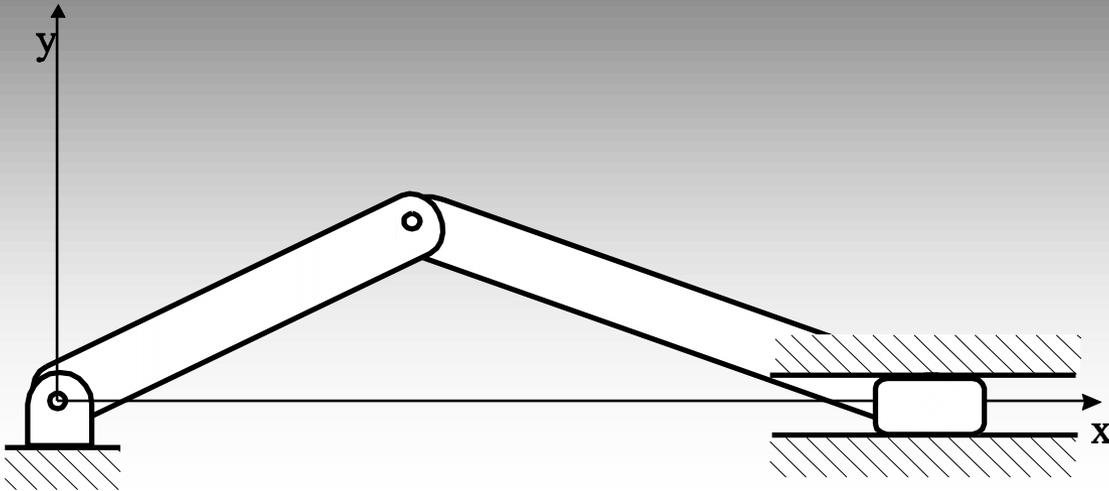
2D MK-Modell



Modellbildung:

- 2 starre Körper:
- 3 Gelenke:

Freiheitsgrade und Bindungen



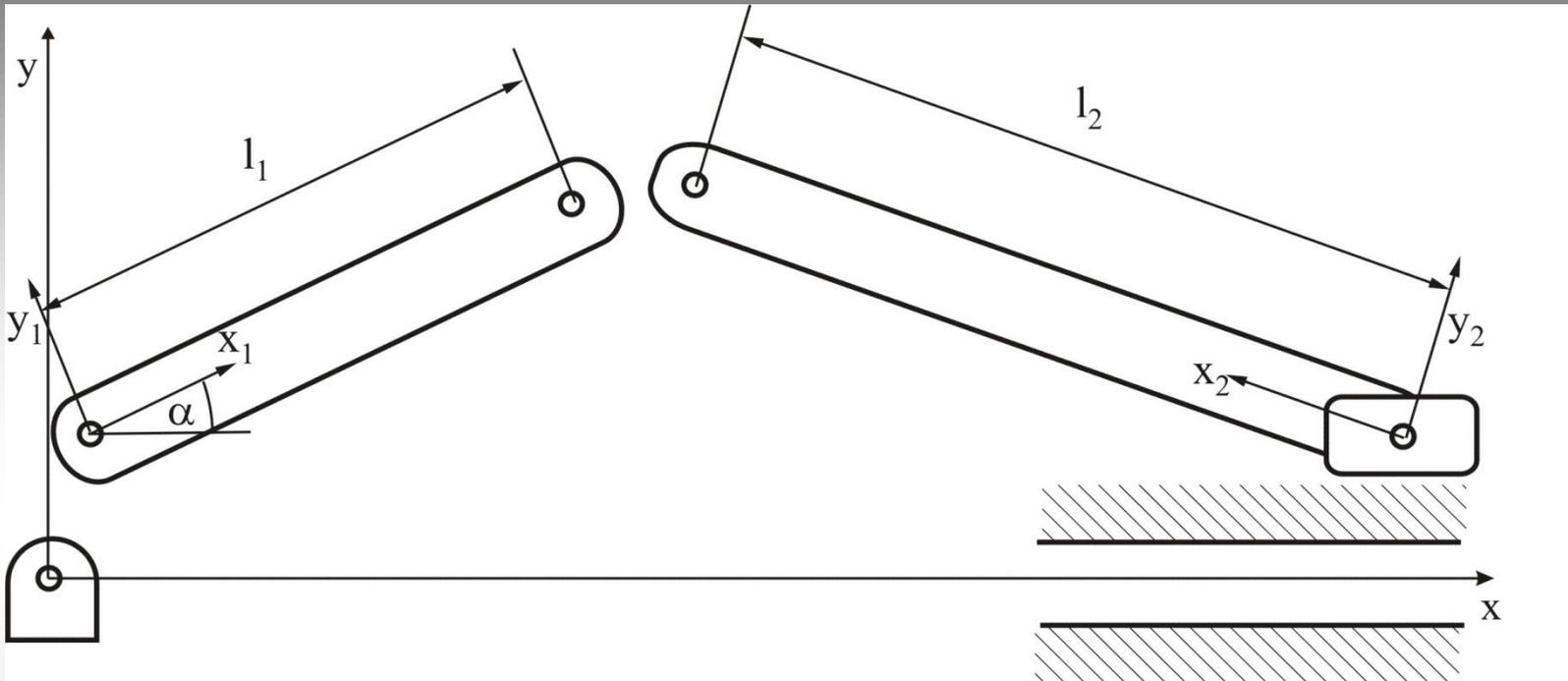
Zum Merken:

Gelenke sind Bindungen; sie reduzieren FG des Systems:

2D: $\text{FG Gesamtsystem} = \text{Anzahl Körper} \times 3 - \text{Anzahl Bindungen}$

3D: $\text{FG Gesamtsystem} = \text{Anzahl Körper} \times 6 - \text{Anzahl Bindungen}$

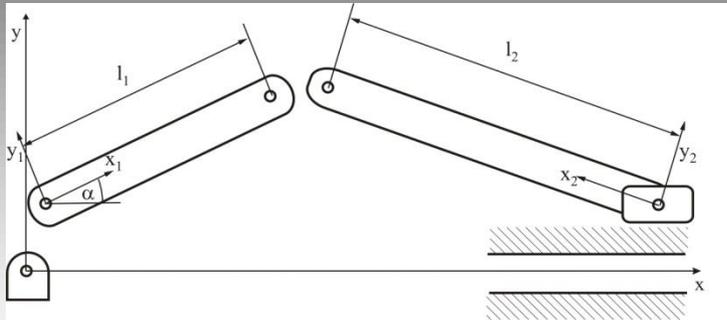
Kinematik im 2D-Raum



Zusammenbau-Bedingungen:

- Gelenk A:
- Gelenk B:
- Gelenk C:

Bindungsgleichungen (constraint equations)



Gelenke: kinematische-Bindungen
(kinematic constraints)

Antrieb: Rheonome Bindungen
(driver constraints)

$$\begin{bmatrix} x_{P1} \\ y_{P1} \\ x_{P1} - x_{P4} + l_1 \cos \alpha + l_2 \sin \beta \\ y_{P1} - y_{P4} + l_1 \sin \alpha - l_2 \cos \beta \\ y_{P4} \end{bmatrix} = \underline{0}$$

$$\alpha - \Omega t = 0$$

(Vorwärts-)Dynamik / Inverse Dynamik

(Vorwärts-)Dynamik

Gegeben: MKS mit $FG > 0$, eingeprägte (äußere) **Kräfte**

Gesucht: **Bewegung** des MKS

Lösung: Numerische (Vorwärts-)Integration

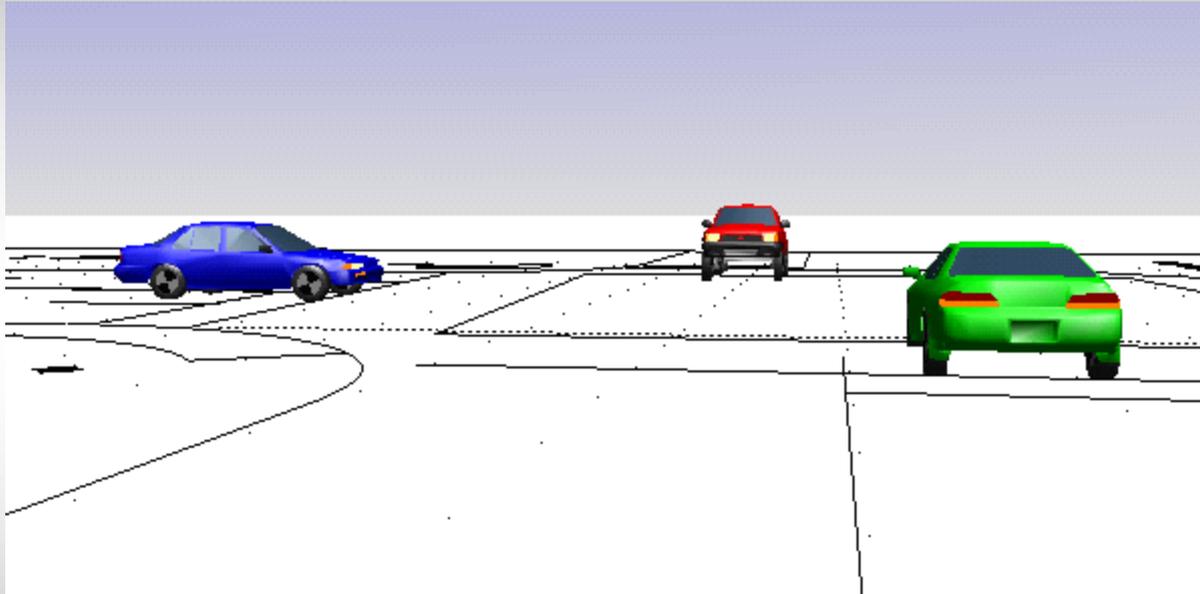
Inverse Dynamik

Gegeben: MKS mit $FG = 0$, (Gemessene) **Bewegung** (z.B.: *Ganganalyse*)

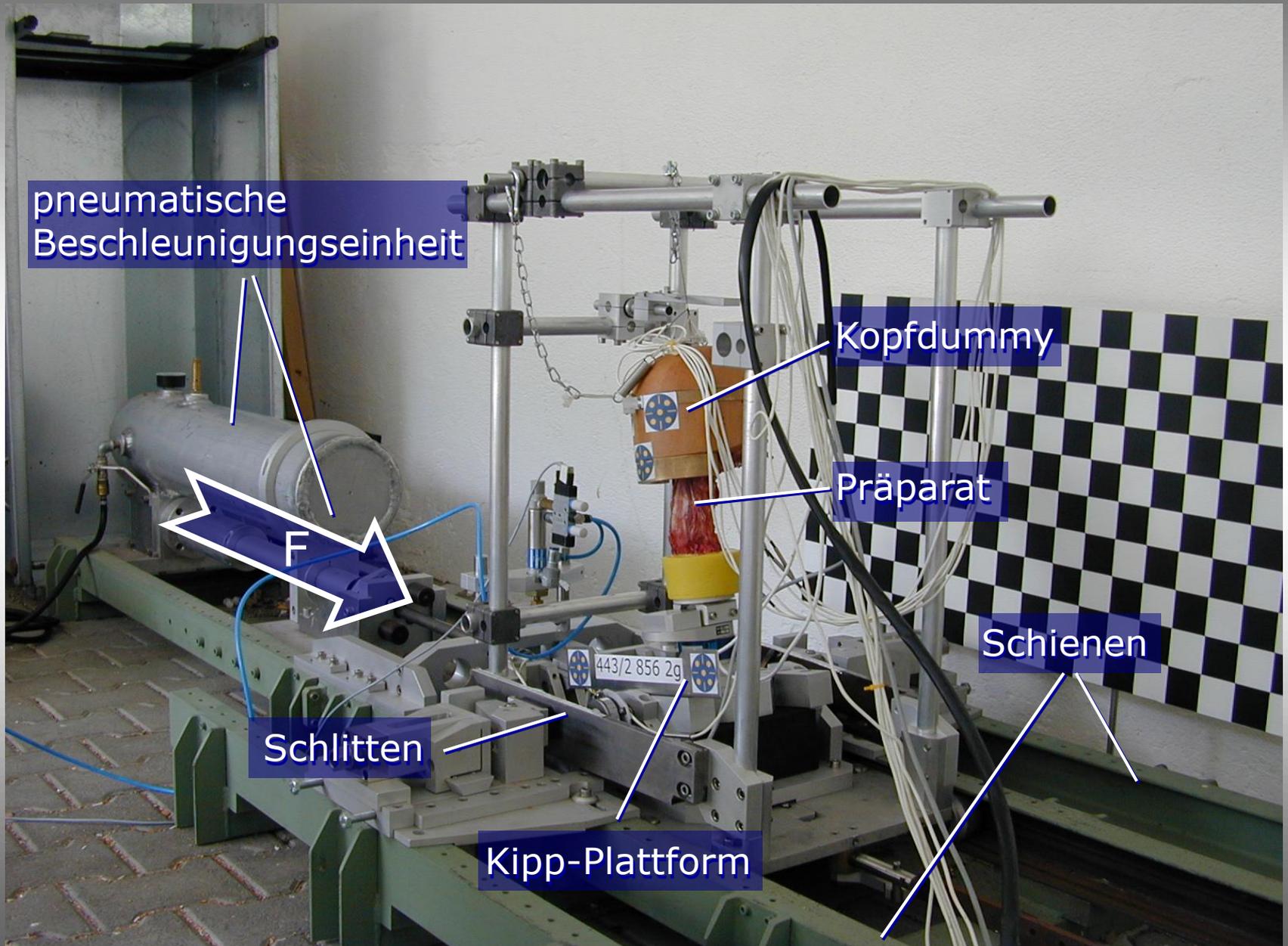
Gesucht: **Kräfte** als Ursache der Bewegung (z.B.: *Muskelkräfte*)

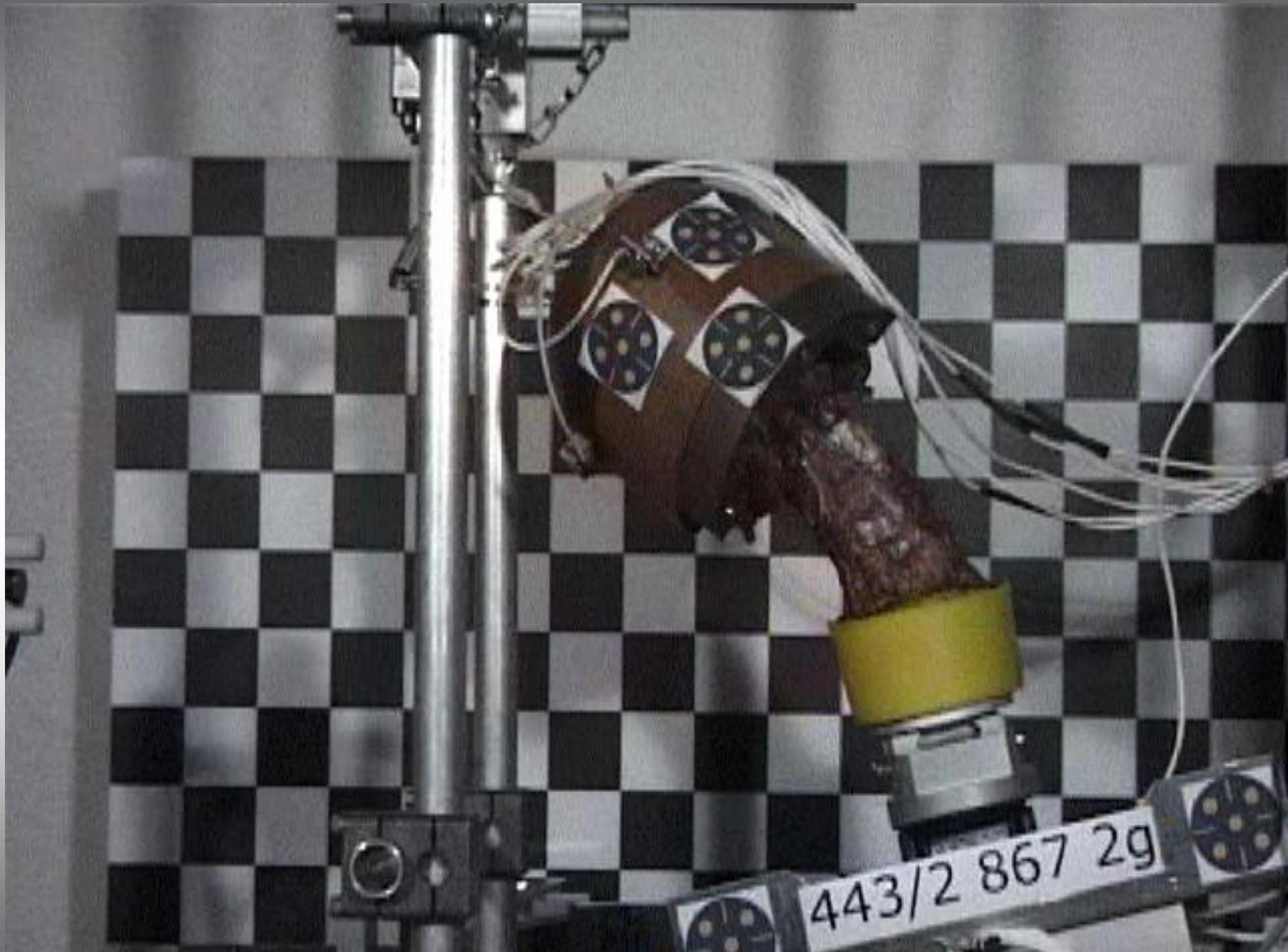
Lösung: Numerisches Differenzieren, nichtlineare Gleichungssysteme, evtl. Optimierungverfahren

(Vorwärts-)Dynamik in der Unfallforschung:

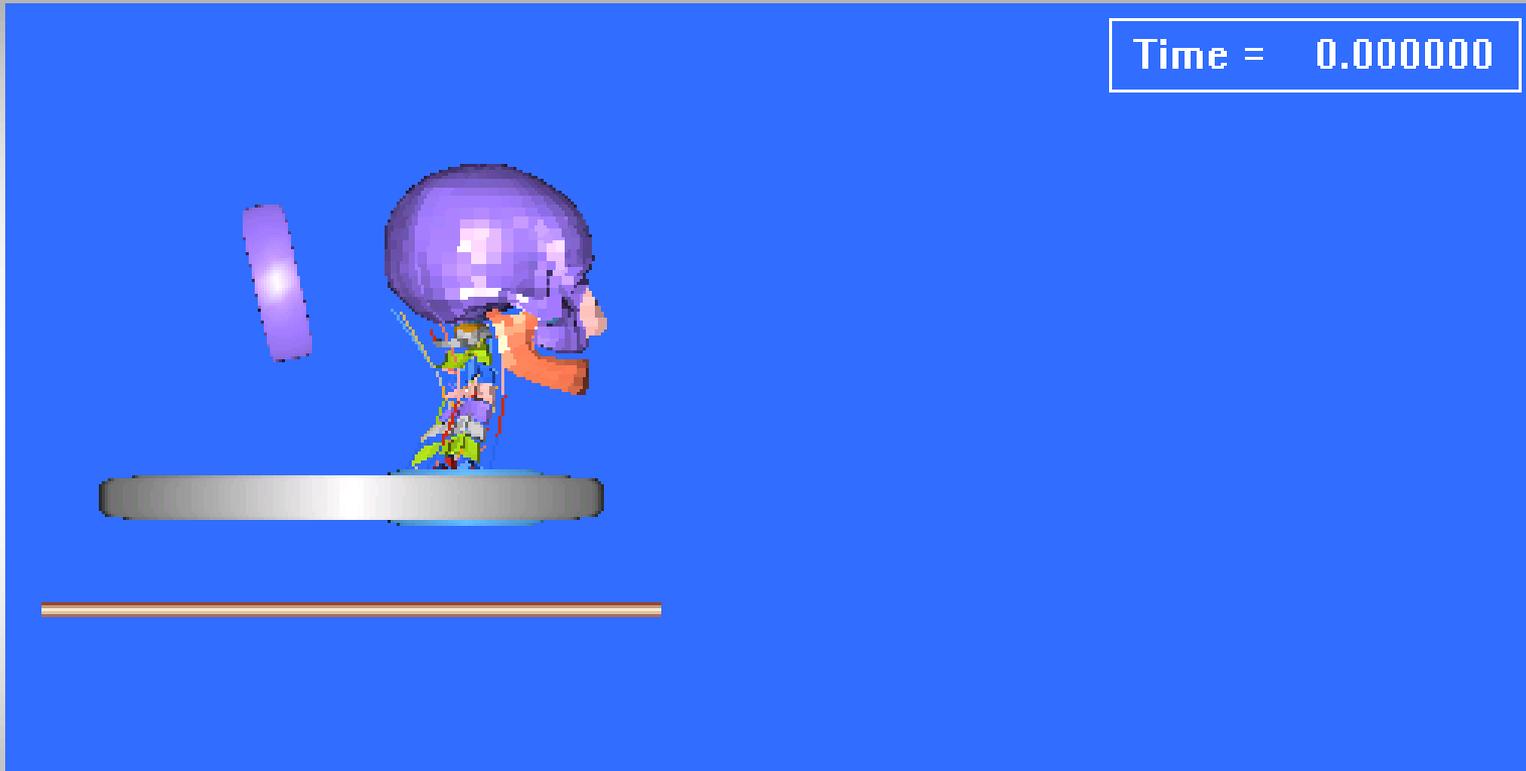


Beispiel: Eigener Versuchsstand zum Schleudertrauma



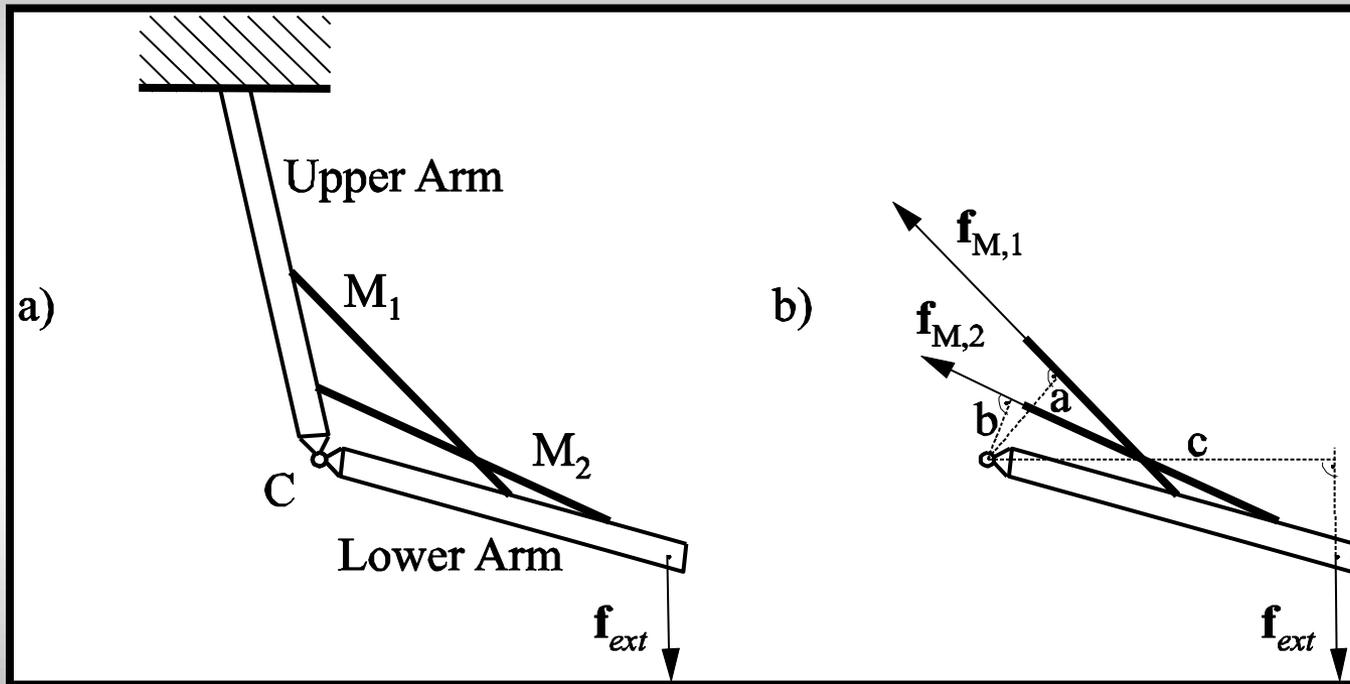


Beispiel: Simulation des Experiments mit „Madymo“



Inverse Dynamik und Optimierung

Ziel: Berechnung von Muskelkräften und dann Knochenschnittlasten

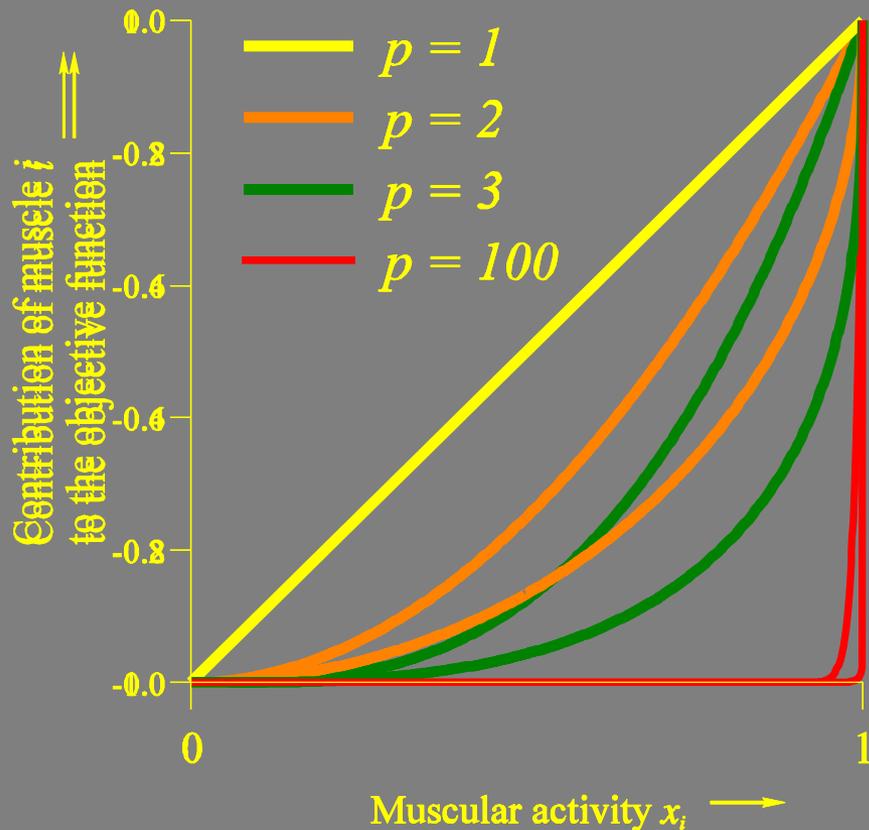


Momenten-Gleichgewicht:

Wie sollen sich die Muskeln die Last teilen?

Optimierungskriterium:

$$\mathbf{G} = \min$$



Polynomial:

$$\mathbf{G} = \sum_i \left(\frac{f_i}{f_{\max,i}} \right)^p$$

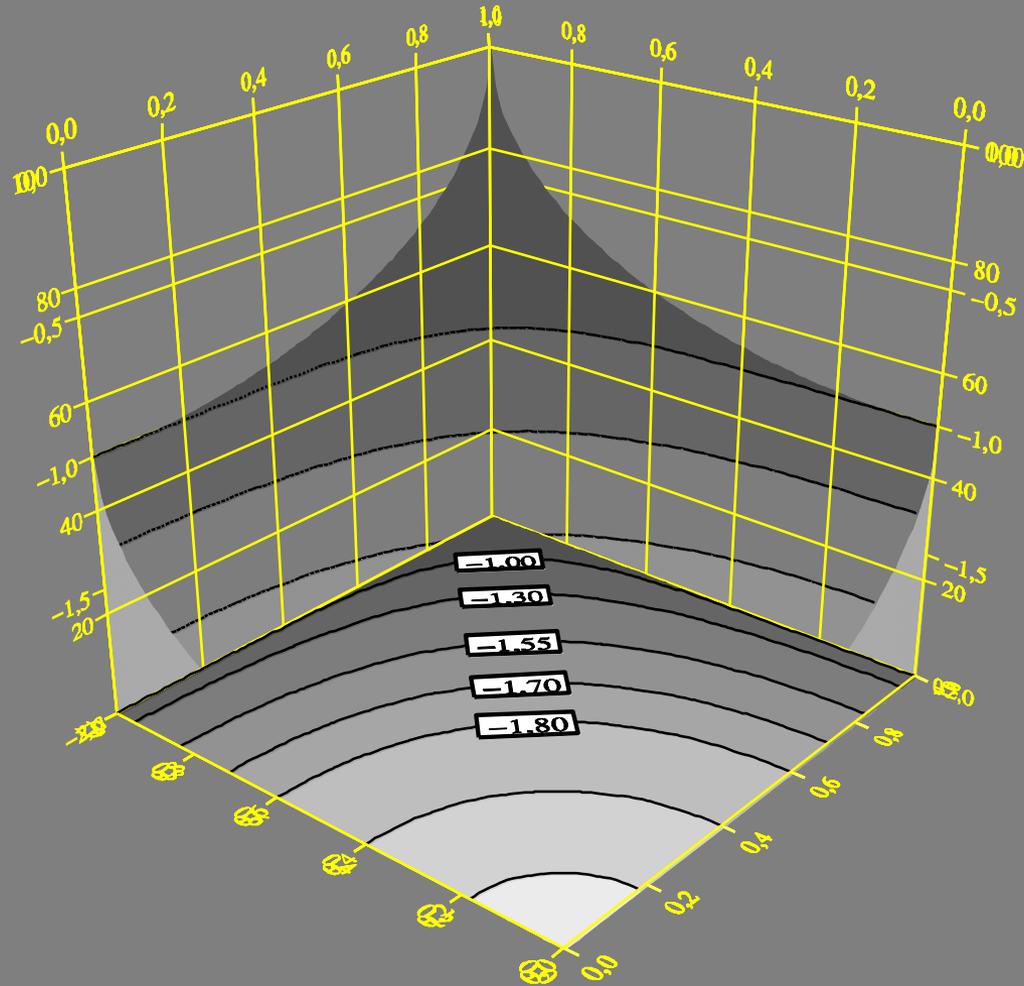
Soft saturation:

$$\mathbf{G} = - \sum_i \sqrt[p]{1 - \left(\frac{f_i}{f_{\max,i}} \right)^p}$$

Min/Max:

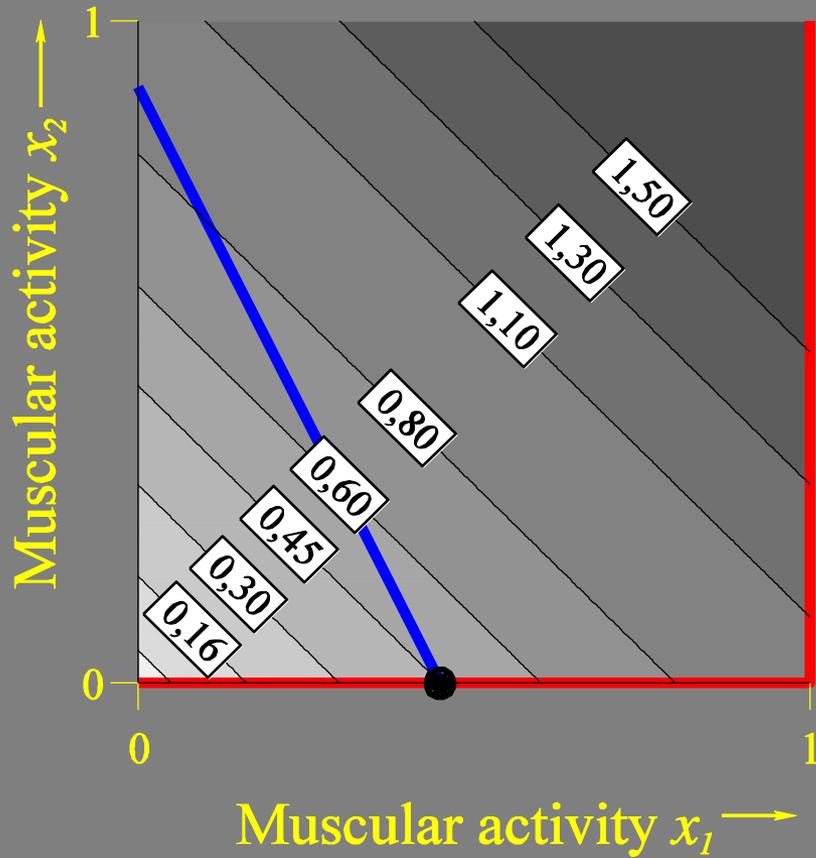
$$\mathbf{G} = \max \left(\frac{f_i}{f_{\max,i}} \right)$$

Zielfunktion G

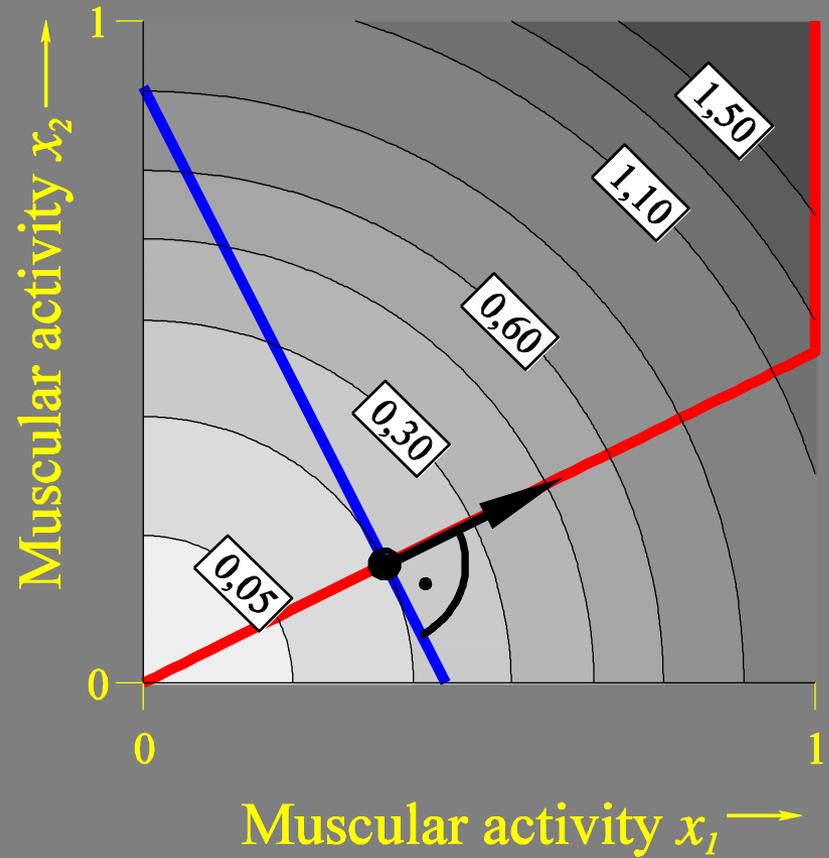


Polynomial

$p = 1$

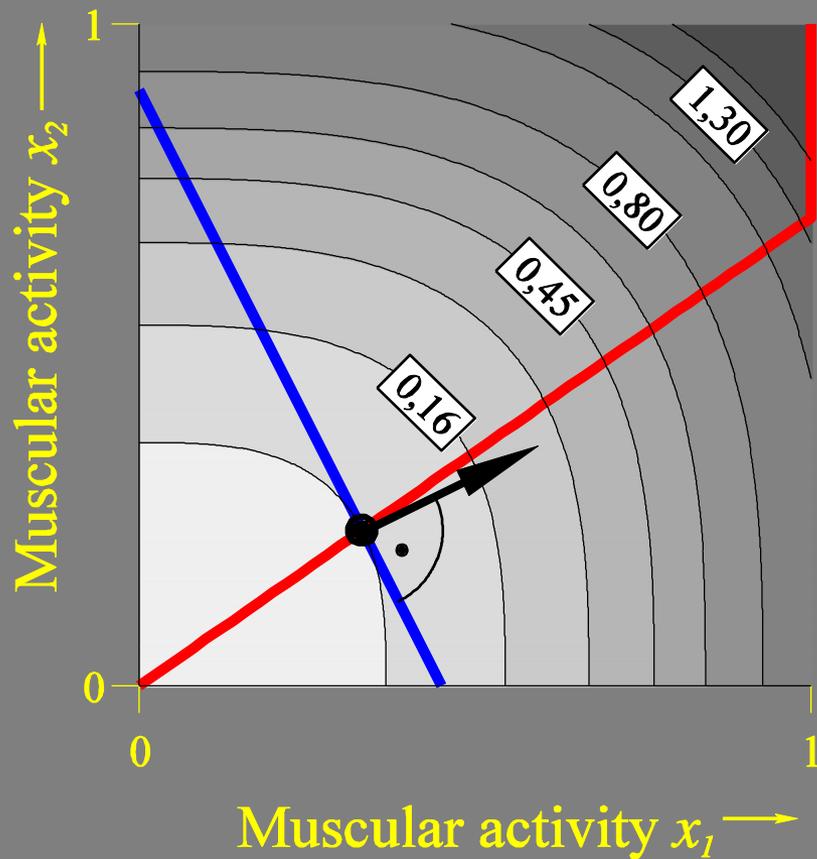


$p = 2$

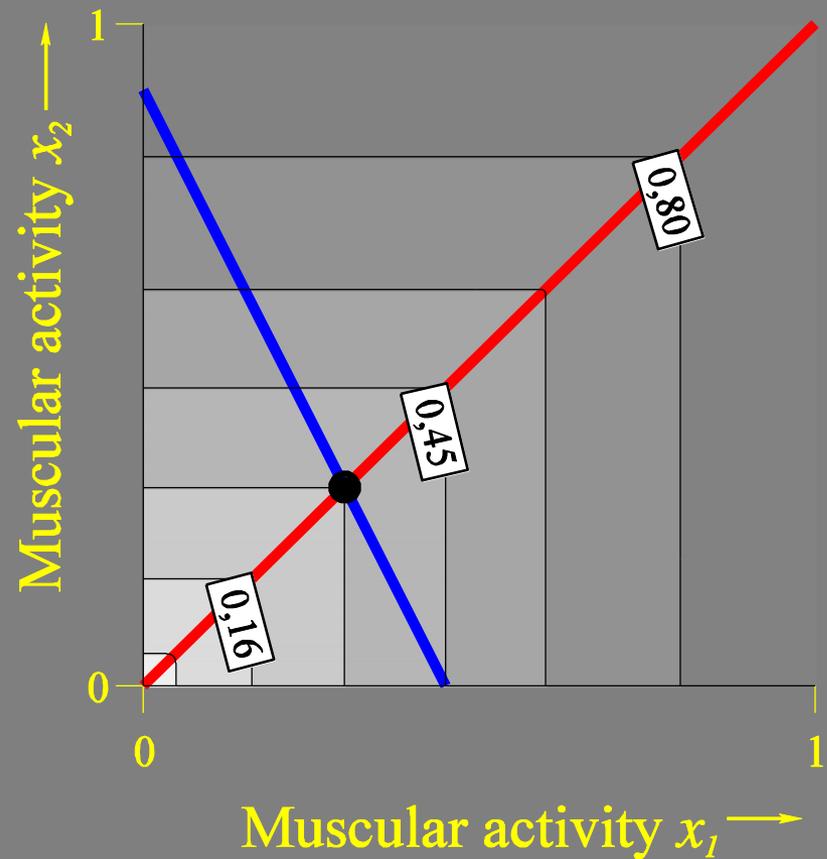


Polynomial

$p = 3$

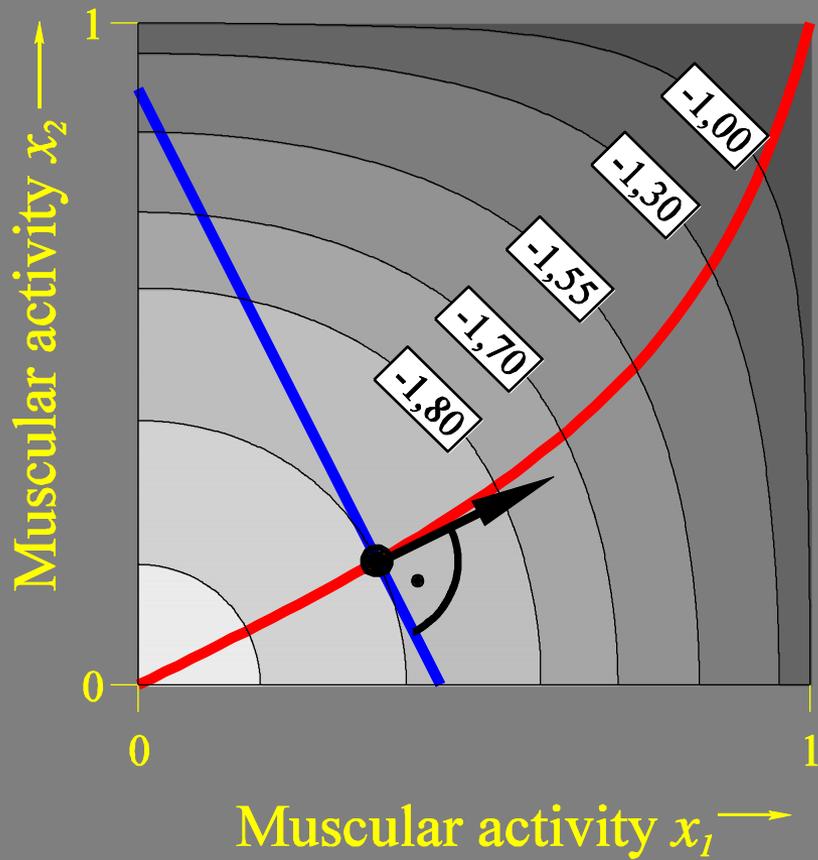


$p = \infty$ (MinMax)

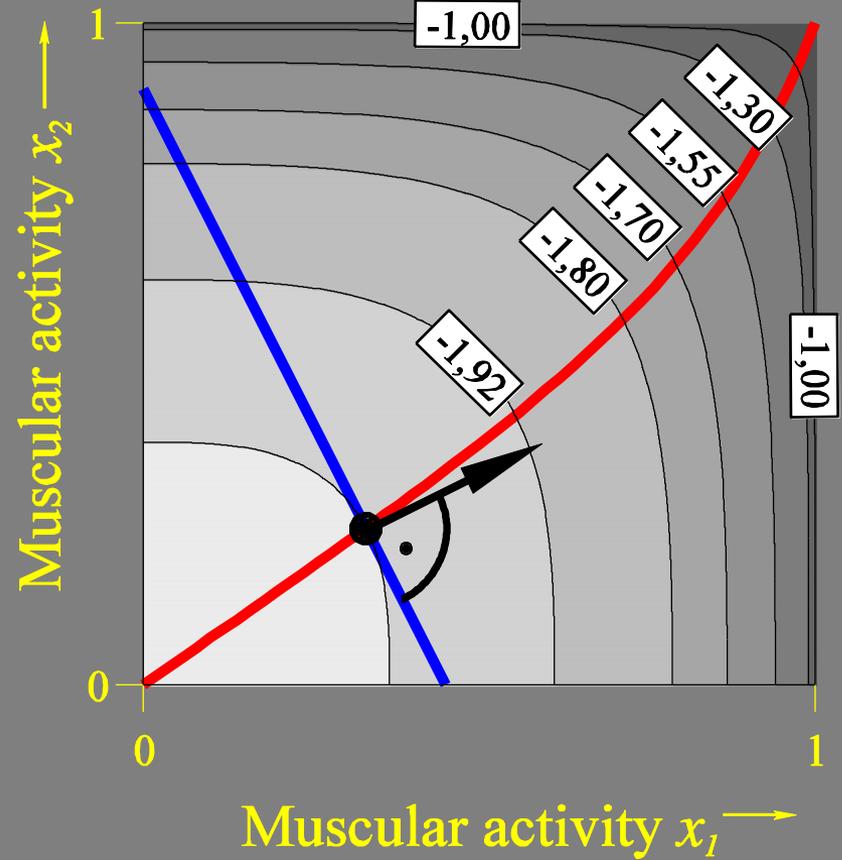


Soft Saturation

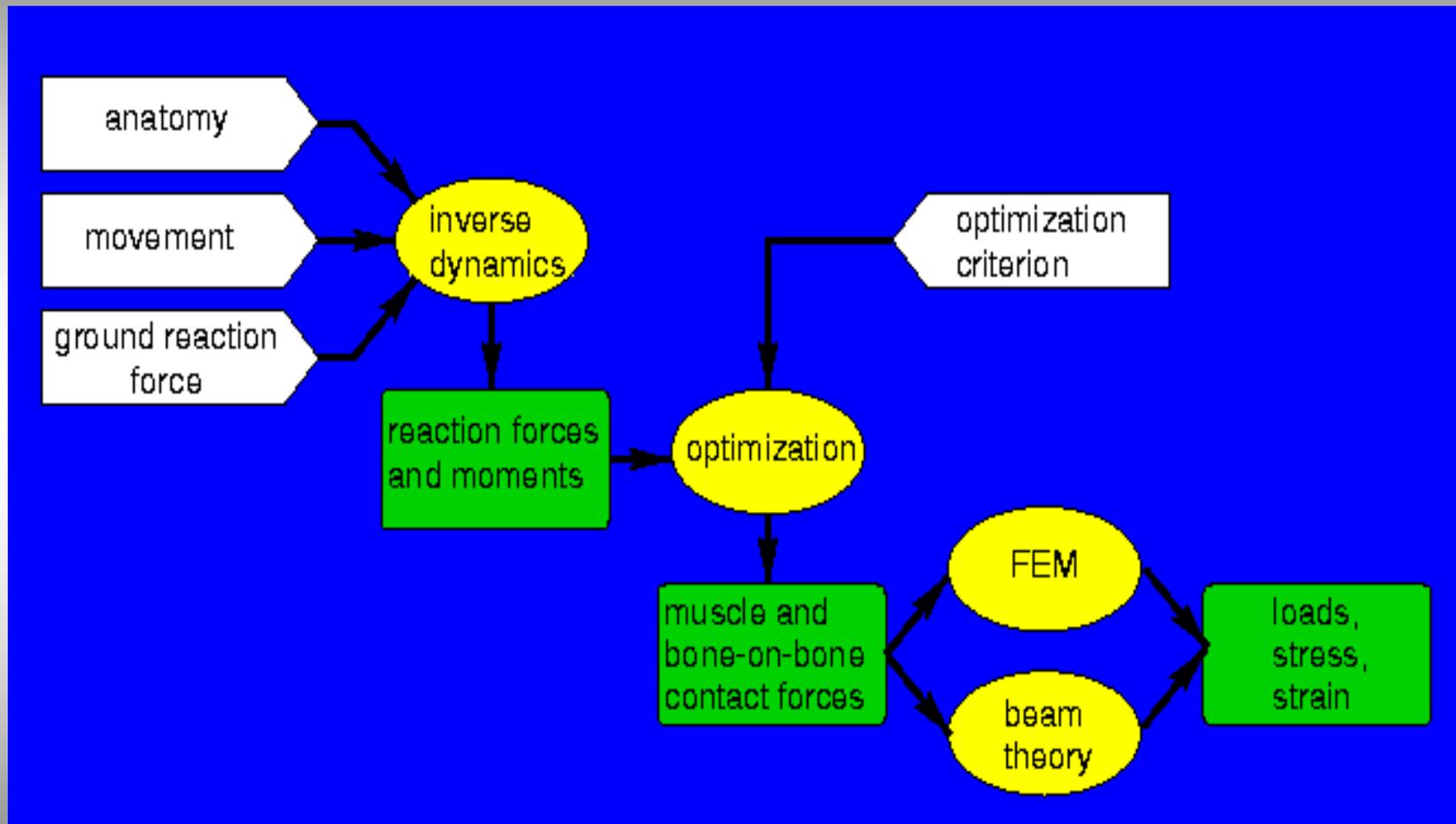
$p = 2$



$p = 3$



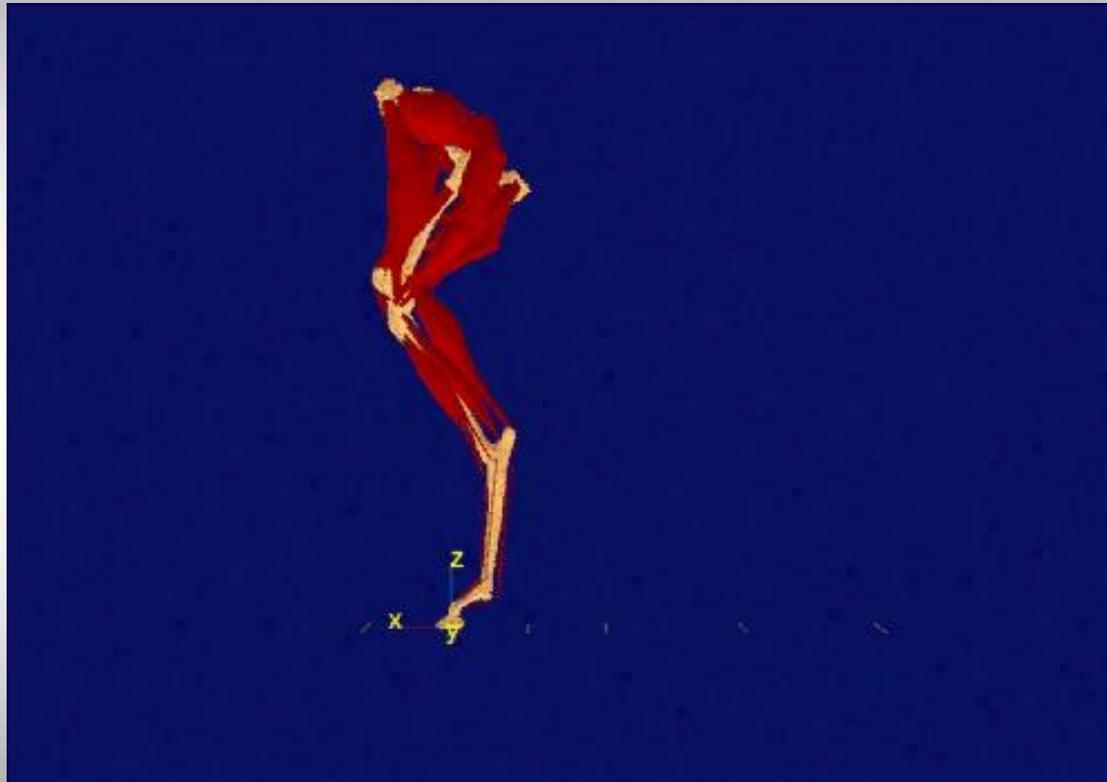
Inverse Dynamik in der Biomechanik:



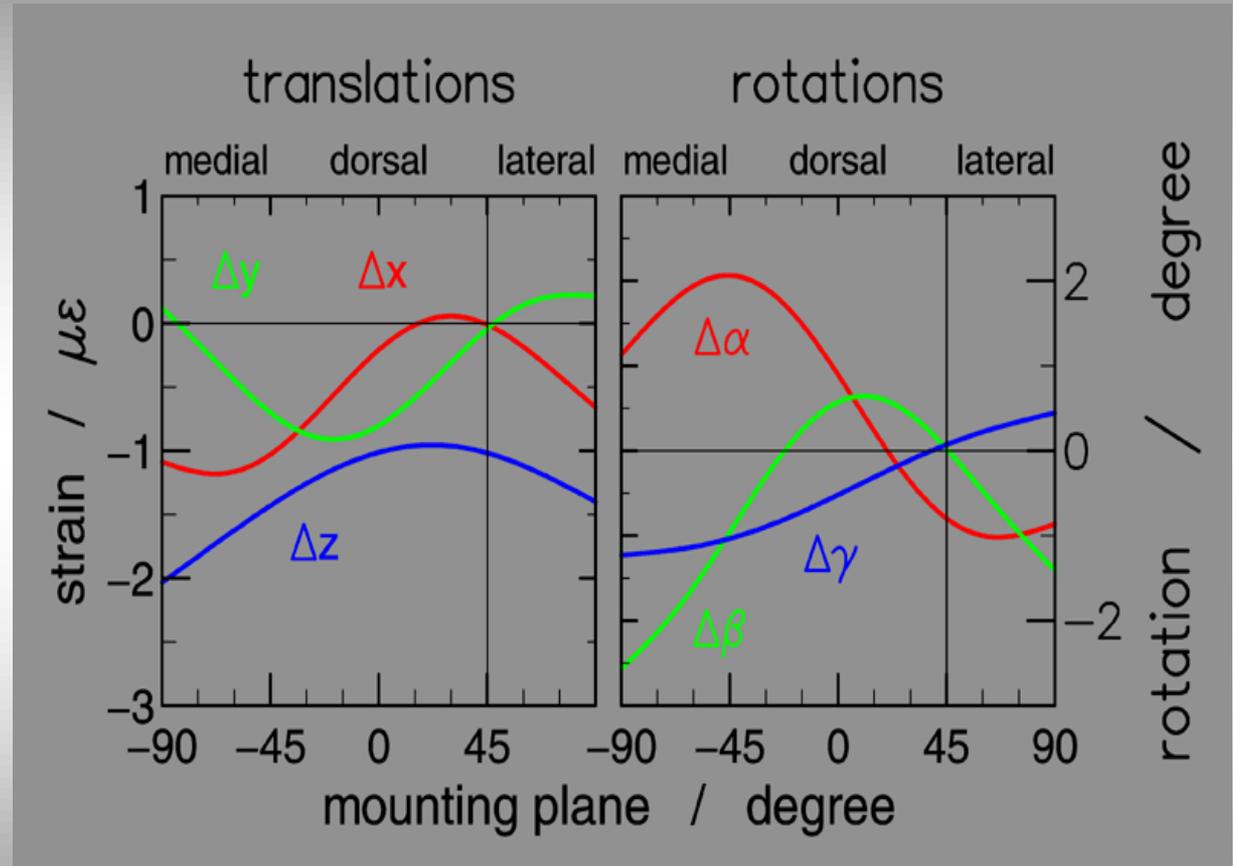
Schaf: Anatomie



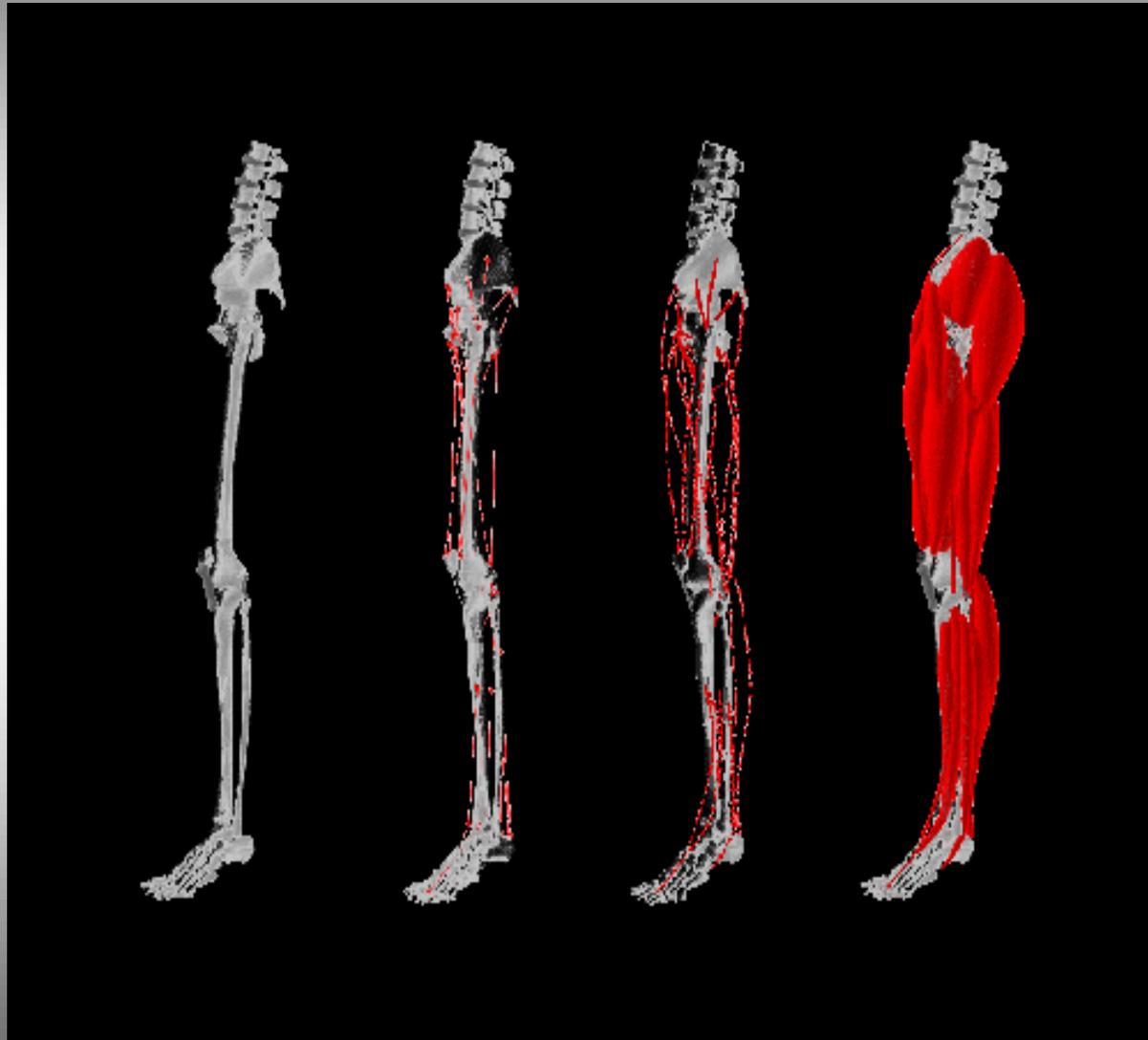
Schaf: Gangzyklus



Schaf: Interfragmentäre Bewegung



Human: Anatomie



Human: Ganganalyse



Human: Gangzyklus

