www.uni-stuttgart.de

Vorlesung

Biorobotik

Unitnummer 473001
Modul 47300 ***Biorobotik***
Prüfungsnummer 47301

Prinzipien der biologischen Bewegung I

schnell stark ausdauernd

präzise balanciert

wiederholbar

koordiniert

variabel

trainierbar

robust ***stabil*** ***adaptiv***

www.uni-stuttgart.de

State of the art

Lauflabor, A. Seyfarth

MIT, R. Niiyama

Toyota, Japan

TUM, H. Ulbrich

Honda, Japan

Human Running

BioMotionLab, BMLwalker

- Rate das Geschlecht:
  http://www.biomotionlab.ca/Experiments/BMLmdsex/

- Variation des aufrechten Ganges
  http://www.biomotionlab.ca/Demos/BMLwalker.html

- weitere Information
  http://www.biomotionlab.ca

Warum können wir uns bewegen?

Stelian Coros
Postdoctoral Researcher
Disney Research Zurich

PhD, University of British Columbia, 2010
BComp, University of Guelph, 2006
stelian [at] disneyresearch.com

inspo

TEDx Zurich

x = independently organized TED event

Shared with you by

Presenting Partners

SRF Schweizer Radio und Fernsehen

tpc BROADCAST AND BEYOND

Sponsors & Supporters

BERNET_PR

epartners RECHTSANWÄLTE ATTORNEYS-AT-LAW

HOSTPOINT

Interhome

local.ch einfach finden

TEDx. Innovation. Online. Namics.

netcetera

KOMPOST

L//P Agile Web Development

Canton of Zurich
Department for Economic Affairs
Business and Economic Development

netcloud ICT PROFESSIONALS

Richmount Studio

www.uni-stuttgart.de

Was bedeutet Bewegung?

Lokomotion ...

... wird ermöglicht durch Strukturen wie Beine, Finnen, Flügel, usw.
... lässt sich durch physikalische Prinzipien erklären.
... drückt sich in speziellen Strukturen und Bewegungsmustern aus, die besonders für ihre entsprechende Bewegung geeignet sind.

... dient der Aufrechterhaltung der Art → Evolution!

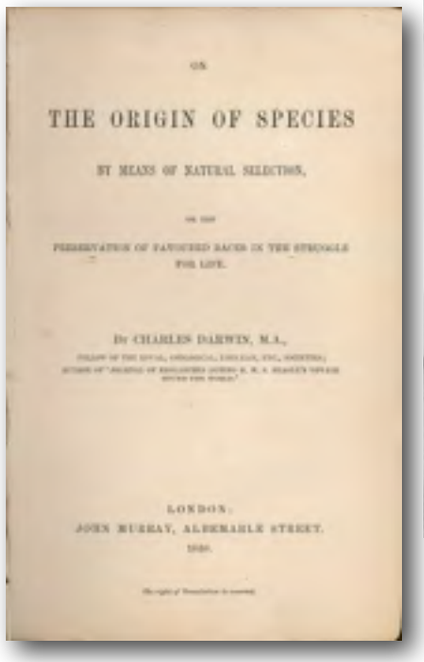
Fitness

Evolution (Darwin, 1859) bevorzugt Strukturen und Muster, die Fitness vergrößern. Fitness ist die Anzahl der überlebenden Nachkommen, die selbst wieder Nachkommen produzieren können.
→ Natürliche Selektion bevorzugt Genotyp, der Fruchtbarkeit erhöht und Sterblichkeit verringert.

Fitness (durch Lokomotion)

Fitness = f (Geschwindigkeit, Beschleunigung, Manövrierfähigkeit, Ausdauer, Energieökonomie, u.v.m.)

abhängig von Struktur des Apparats und seine Bewegungsmuster


ON
THE ORIGIN OF SPECIES
BY MEANS OF NATURAL SELECTION,
OR THE
PRESERVATION OF FAVOURED RACES IN THE STRUGGLE FOR LIFE.
By CHARLES DARWIN, M.A.,
LONDON:
JOHN MURRAY, ALBEMARLE STREET.

Vererbung
Veränderung
Auslese

Welches sind die speziellen Strukturen und Muster?
Welche Alternativen gäbe es zu den biologischen Lösung?
Welche evolutionären Fortschritte lassen sich beobachten?

www.uni-stuttgart.de

Motivation für Bewegungsforschung

Bewegung und Verhalten sind im Tierreich gleichzusetzen.

Eine spezielle Bewegung, die Fortbewegung, erlaubt es den Ort zu verändern und ist daher essentiell für die Nahrungssuche, das Flüchten und die Balz.

Auch beim Menschen, der seine Fähigkeiten durch technische Hilfen verbessern kann, bleiben basale Fähigkeiten wie Hocken, Gehen, Rennen und Klettern elementar.

www.uni-stuttgart.de

Motivation für Bewegungsforschung

Im Sport können zum Beispiel extreme Ausprägungen von Fortbewegung gezeigt werden.

Beeinträchtigungen der Fortbewegung durch Verletzungen können dramatische Einschränkungen für die Lebensqualität bedeuten.

Kompensationsmaßnahmen für Bewegungs-einschränkungen sind ein wachsender medizin-technischer Bereich.

Motivation für Bewegungsforschung

Die Erweiterung unseres konzeptionellen Verständnisses der Fortbewegung hat somit weitreichende grundlegende und anwendungsspezifische Konsequenzen.

Im Besonderen kann ein Wissenstransfer stattfinden, damit die Leistungsfähigkeit technischer Laufmaschinen und Laufhilfen verbessert wird.

www.uni-stuttgart.de

Motivation für Bewegungsforschung

Die Erweiterung unseres konzeptionellen Verständnisses der Fortbewegung hat somit weitreichende grundlegende und anwendungsspezifische Konsequenzen.

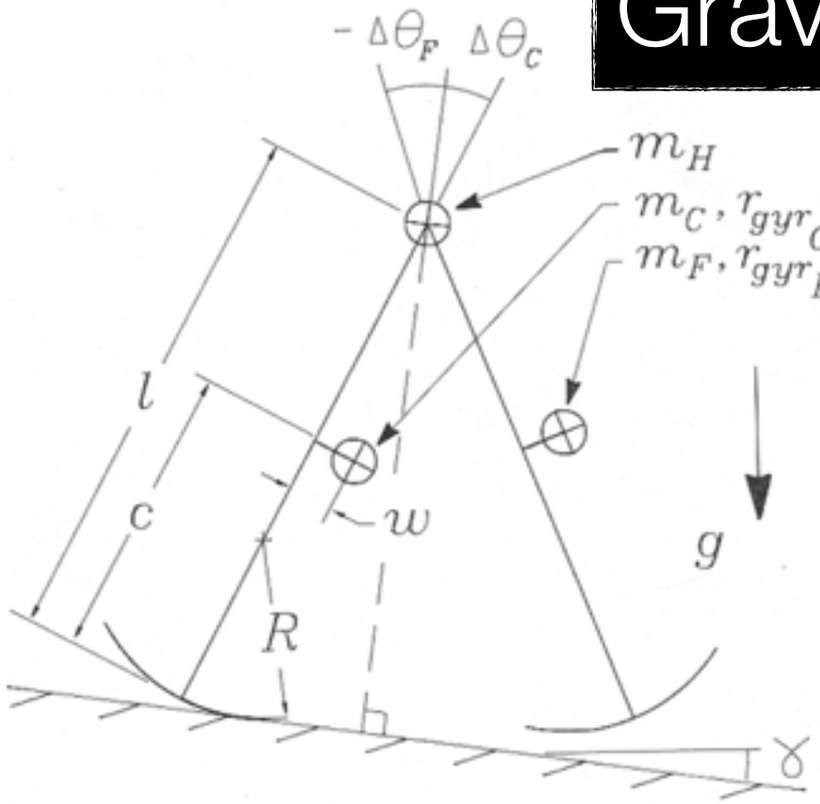
Konzepte?

Im Besonderen kann ein Wissenstransfer stattfinden, damit die Leistungsfähigkeit technischer Laufmaschinen und Laufhilfen verbessert wird.

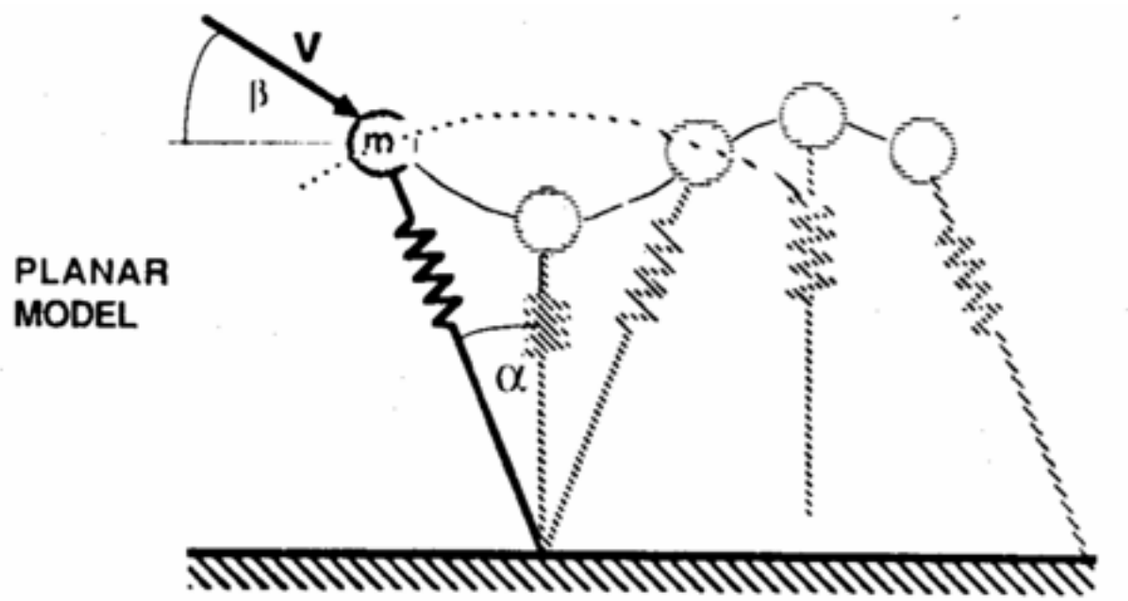
www.uni-stuttgart.de

Konzepte der biologischen Fortbewegung

Gravity walker



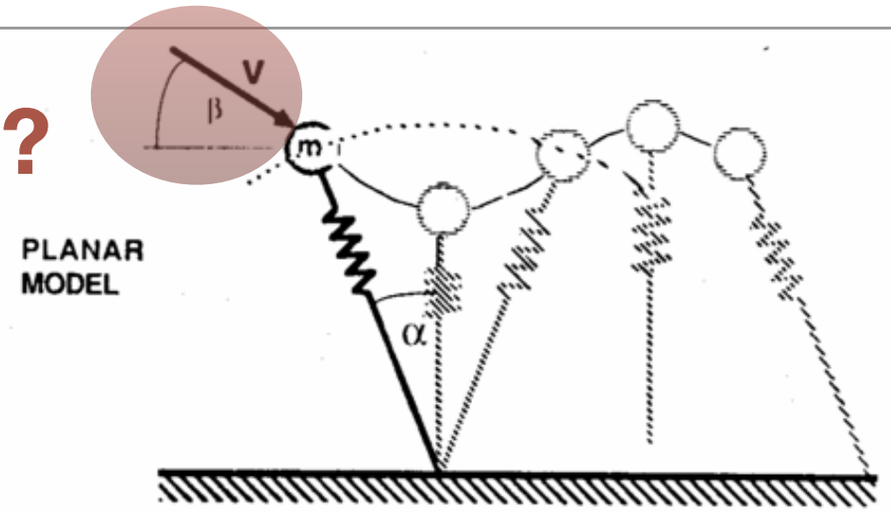
Feder-Masse-Modell



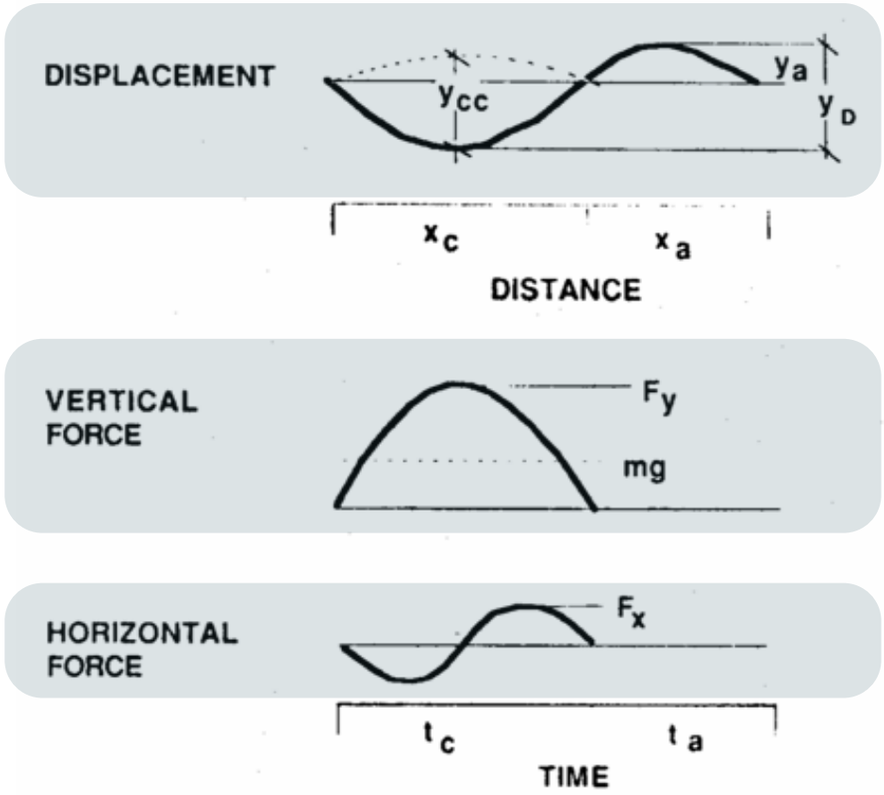
www.uni-stuttgart.de

Spring-mass model (Blickhan, 1989)

Energy balance?



v: absolute value of the landing velocity
l: length of the spring
β: angle of the land. vel.
m: mass
α: angle of attack of the spring
$\mathbf{y_{cc}}$: compression of spring at mid stance
$\mathbf{y_a}$: hopping height
$\mathbf{y_c}$: vertical displ. during ground contact
$\mathbf{y_d}$: total amplitude of hopping
$\mathbf{x_c}$: contact length
$\mathbf{x_a}$: hopping distance
$\mathbf{F_x}$, $\mathbf{F_y}$: peak vertical and horizontal force
$\mathbf{t_c}$: time of contact
$\mathbf{t_a}$: time of flight phase



Blickhan R. (1989). The spring-mass model for running and hopping. *Journal of Biomechanics* 22(11/12):1217–27.

www.uni-stuttgart.de

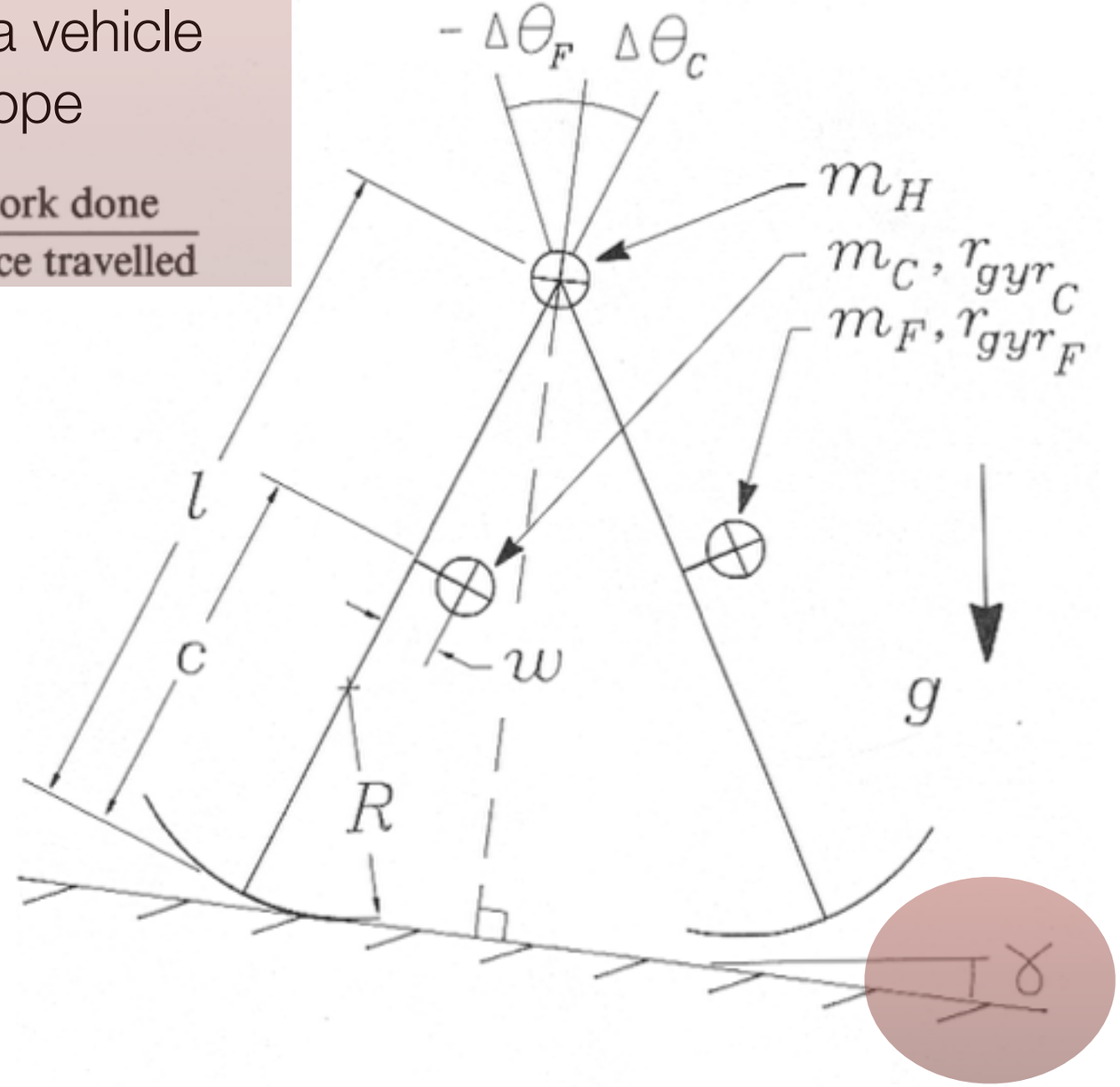
Gravity walker *(McGeer, 1990)*

Measure of efficiency of transport mode:
specific resistance = γ , for a vehicle powered by a descending slope

$$SR \equiv \frac{\text{resistive force}}{\text{weight}} = \frac{\text{mechanical work done}}{\text{weight} \times \text{distance travelled}}$$

C: contact, **F**: free
$\Delta\theta$: rotation from surface normal
leg length: **l**
gravitation: **g**

adjustable parameters:
Foot radius: **R**
Hip mass fraction: $\mathbf{m_H}$
Leg center of mass height: **c**
Fore/aft center of mass offset: **w**
Leg radius of gyration: $\mathbf{r_{gyr}}$



McGeer T. (1990). Passive dynamic walking. ***The International Journal of Robotics Research*** **9(2):62–82.**

However, spring-mass model fails …

„ … If **apex-preserving** hopping **is not the strategy** pursued by humans, we believe that current research into **template models for locomotion is focused to much on the energetically conservative spring-loaded inverse pendulum** (SLIP) template, as this approach inherently implicates apex-preserving hopping.“

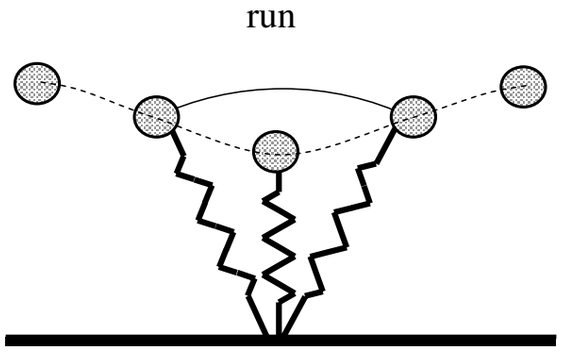
Energy balance ? → **Biological muscle !**

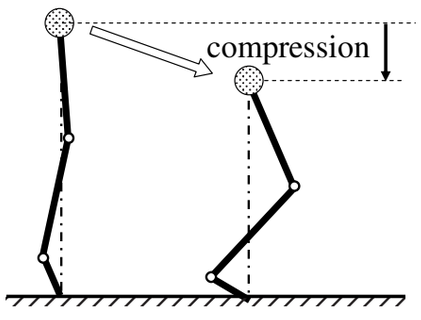
$+\Delta E$

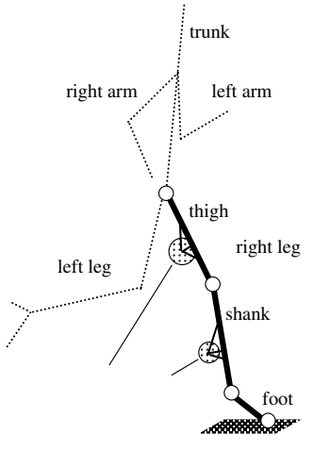
Kalveram, KT, Haeufle, DFB, Seyfarth, S., Grimmer, S. (2012). Energy Management That Generates Terrain Following versus Apex-Preserving Hopping in Man and Machine. *Biological Cybernetics* 106(1): 1–13.

Human Running

Lauflabor, Prof. Seyfarth







Blickhan, R., Seyfarth, A., Geyer, H., Grimmer, S., Wagner, H., Günther, M., 2007. Intelligence by mechanics. Phil. Trans. R. Soc. A 365, 199-220.

Energy exchange (glob.) during touchdown ~100 J

Grimmer, S. et al., 2008

Energy dissipation (glob.) 8-27 J in level running

Grimmer, S. et al., 2008

Energy release (loc.) at three joints (ankle 24 J, knee –3 J, hip 37 J) in total about 50–60 J

Günther, M. et al., 2003

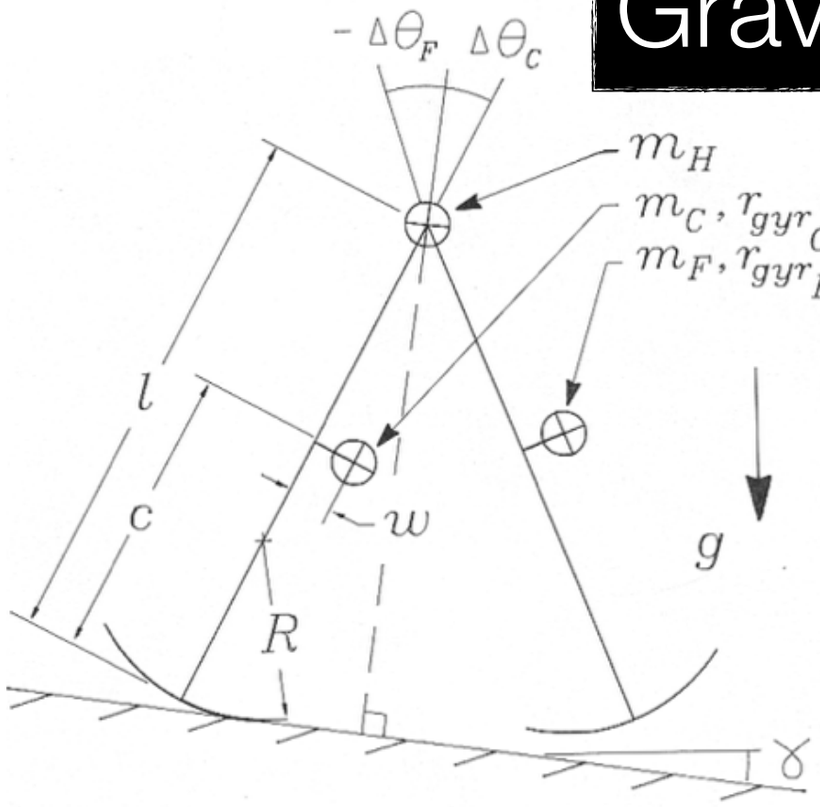
Energy dissipation (loc.) at wobbling mass (shank ~10 J, thigh ~40 J)

Schmitt, S. et al., 2010

www.uni-stuttgart.de

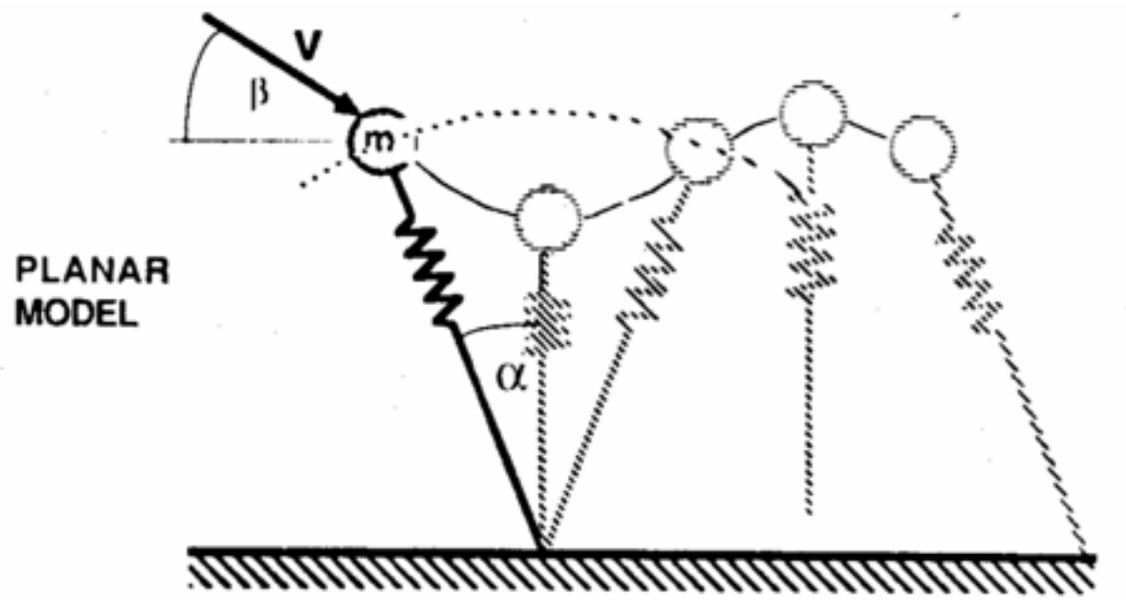
Konzepte der biologischen Fortbewegung

Gravity walker



McGeer T. (1990). Passive dynamic walking. *The International Journal of Robotics Research* 9(2):62–82.

Feder-Masse-Modell



Blickhan R. (1989). The spring-mass model for running and hopping. *Journal of Biomechanics* 22(11/12):1217–27.