



Think simple

Sprawl-Robots als Beispiel eines
sensorlosen
Fortbewegungsmodells

Beteiligte

- Heiko Bittner
- Andreas Dittrich
- Caspar David Dzikus
- Peter Haider
- Daniela Mayr
- Michael Peters

Inhalt

1. Einleitung

-- grundlegende Konzepte und Ideen

2. Mechanik

-- Aufbau und Herstellung der Sprawl-Robots

3. Kinematik

-- allgemeine Vorstellung der Kinematik von Beinen

4. Bewegung

-- Darstellung der Bewegung der Sprawl-Robots

5. Schluß

-- Zusammenfassung und Diskussion


Wechselseitiges Lernen als Motivation

- Biologie, Biomechanik \Leftrightarrow Robotik
- Die Umsetzung natürlicher Bewegungsmodelle als Grundlagenforschung

Vorteile nutzen

- Beine als Antriebssystem können nur konkurrenzfähig sein wenn:
 - sie ihre spezifischen Vorteile (Terrainunempfindlichkeit, Hindernisfähigkeit...) nutzen,
 - eine Geschwindigkeit ermöglichen die z. B. Räder nur unter Verlust anderer Vorzüge erreichen.

Probleme herkömmlichen Designs

- Sensorik
 - genaue Sensordaten erforderlich
 - Kinematik
 - aufwendige Berechnung
 - Mechanik
 - insbesondere bewegliche Verbindungen sind störanfällig
- 
- keine Sensorik
 - keine Kinematik
 - belastbare Mechanik

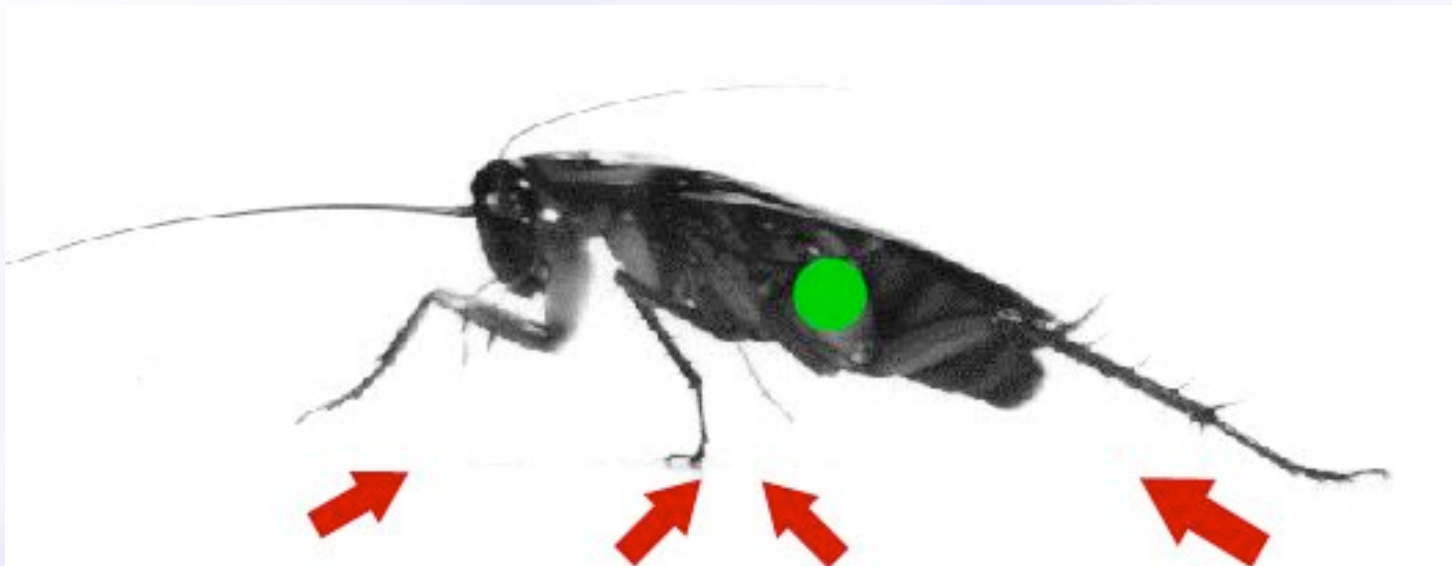
Ideen zur Realisation

- Orientierung an der Natur (Arthropoden, z.B. Kakerlake)
 - das Laufen funktioniert automatisch
 - sie sind schnell (10 x Körperlänge/sec)
 - sie können ohne relevanten Geschwindigkeitsverlust Hindernisse überwinden (3 x Hüfthöhe)
 - sie weisen statische und dynamische Stabilität auf

Biomimetik

- Nachahmung der Natur erfordert Kopie ihres Designs
- Hohe Anforderungen an Stabilität
 - Größte Schwachstelle sind Menge und Verbindung der Komponenten
- Beispiel Natur:
 - Schlüsselkomponenten liegen geschützt
 - Minimierung des Materialaufwands

Kräfteverteilung bei der Kakerlake



Einleitung

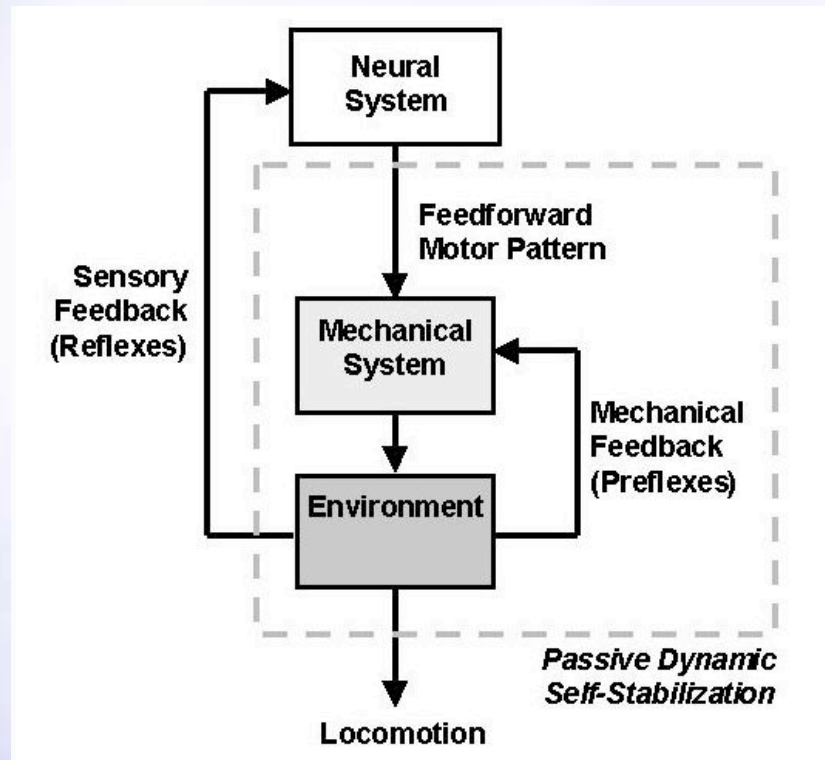
Mechanik

Kinematik

Bewegung

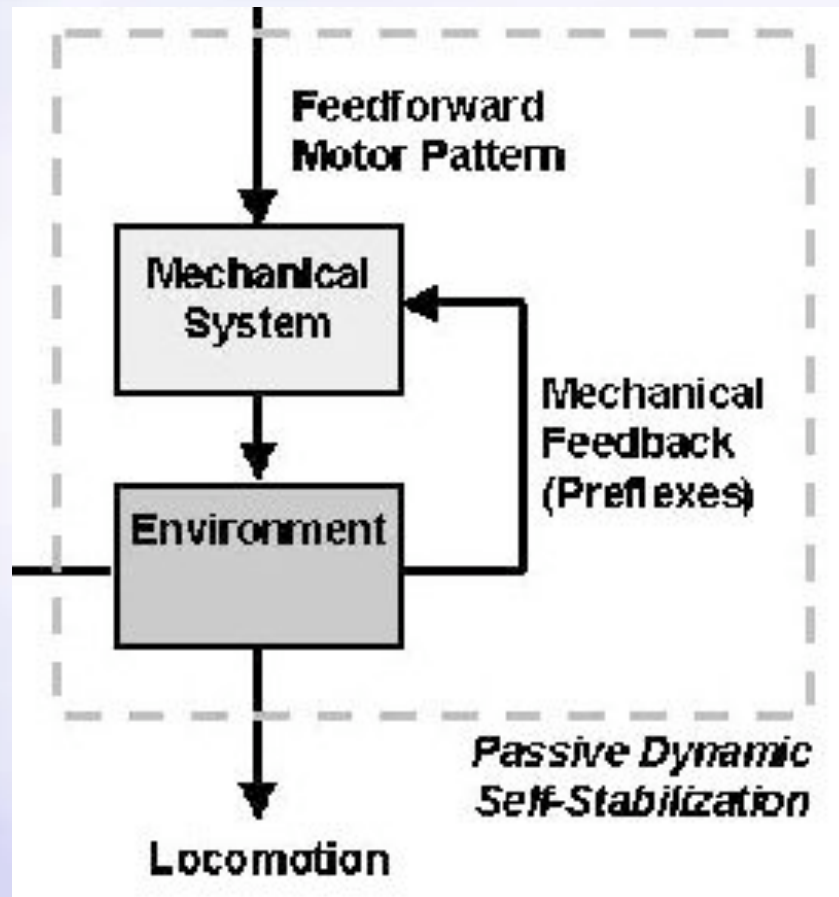
Schluß

Biologisches Modell der Fortbewegung



- Es gibt eine Vielzahl von Hinweisen, daß die Stabilität des Gangs von Lebewesen im wesentlichen auf mechanischen Eigenschaften des Beines beruht

Passive Dynamic Self-Stabilization



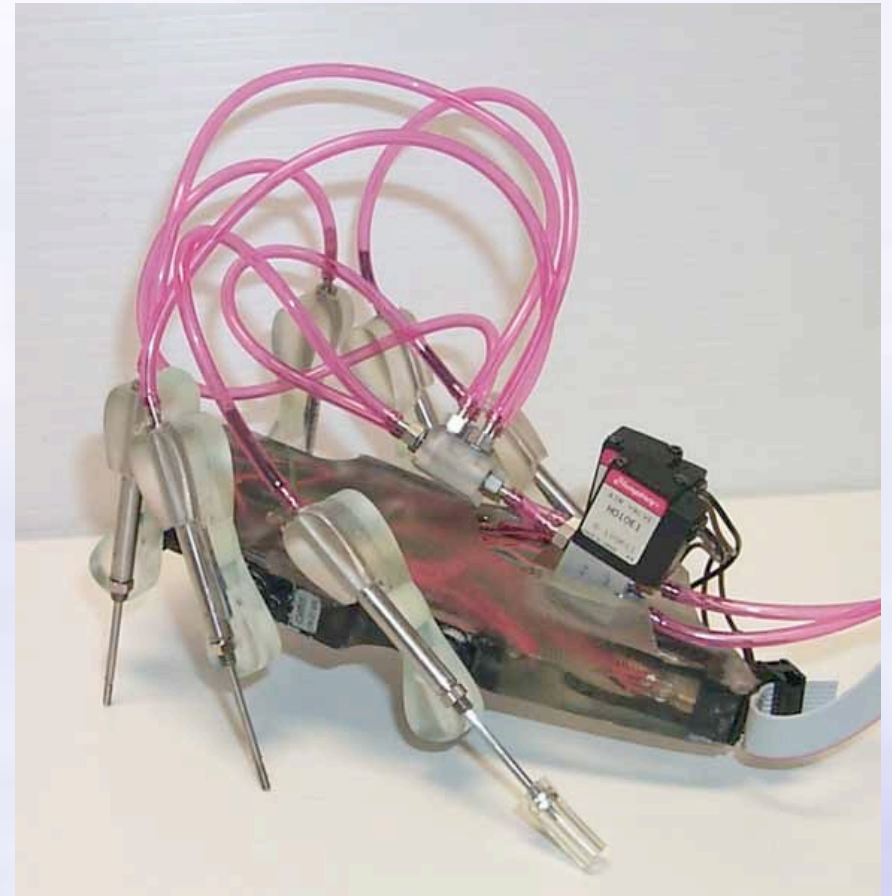
- Preflexe
 - nichlinear
 - visco-elastische Eigenschaften des mechanischen Systems
- Regelung 0. Ordnung
 - d.h. die Regelung erfolgt ohne Zeitverlust

Mechanischer Aufbau und Fertigung

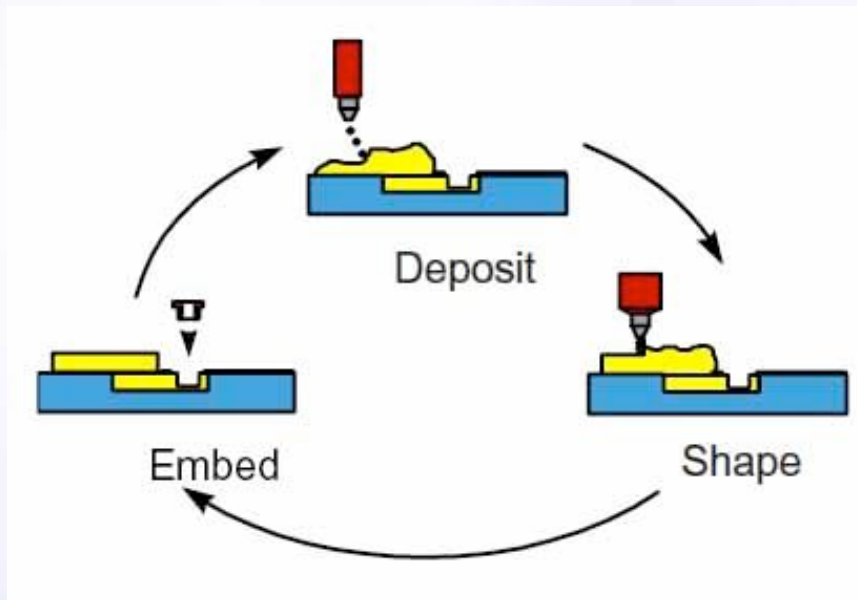
- SDM
- Shape Deposition Manufacturing

Sprawlita kompakt

- 150 mm lang
- 290 g schwer
- Preis ca. 1400 \$



Shape Deposition Manufacturing

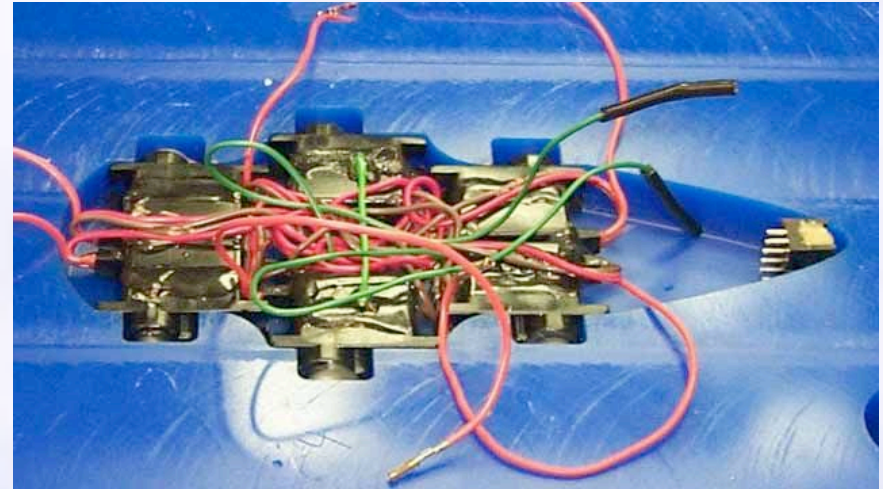
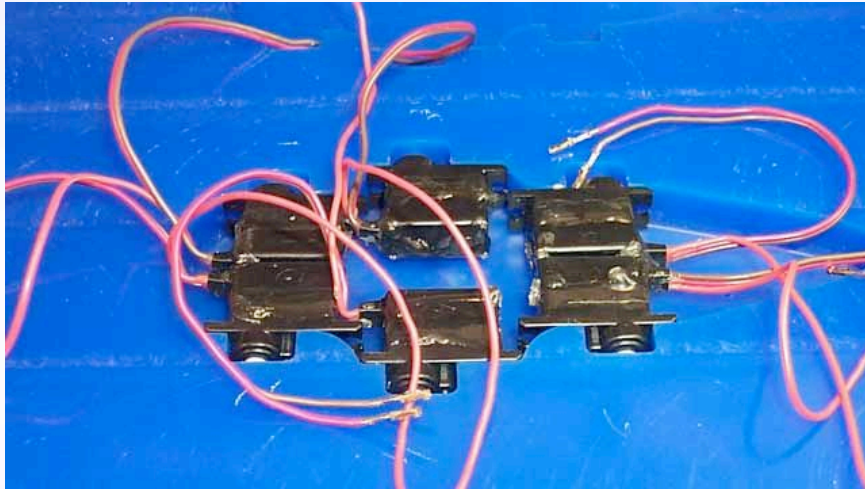


- Formen
 - Teile werden in Gußform in Lage gesetzt
- Depositionieren
 - Ausgiessen & fixieren
 - Bearbeiten des Körpers um weiter darauf aufzubauen

Vorteile

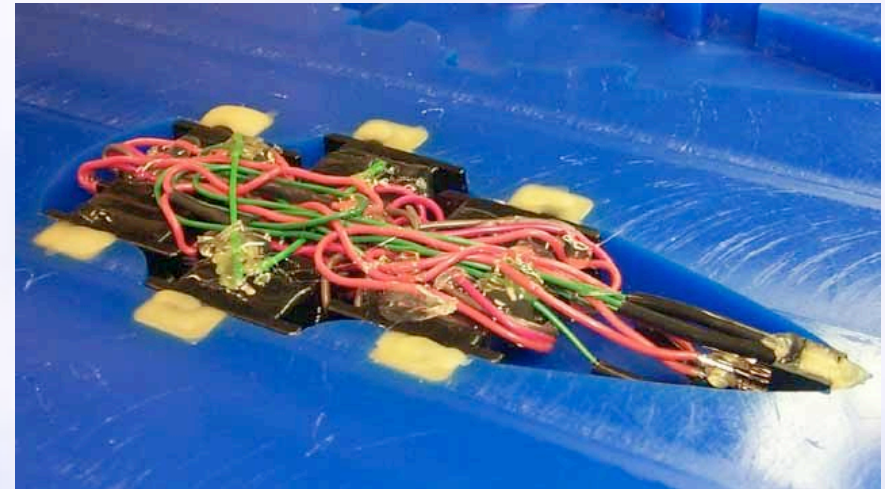
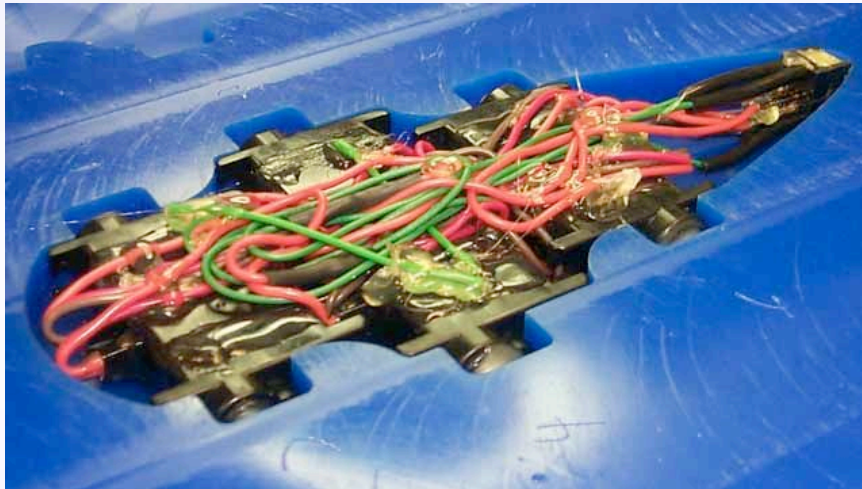
- Perfekte Befestigung/ Fixierung
- Schutz der sensiblen Komponenten
 - Kabel und Kabelkontaktpunkte
 - Microcontroller
- Kostengünstige Herstellung

Fertigung I - Grundgerüst



- Ausrichtung der Servomotoren und des Mikrocontrollers in der Form
- Verkabelung des Ganzen
 - Kabel führen zu Schnittstelle am Hinterteil
 - Alles wird möglich flach gehalten und verflochten

Fertigung II - Fixierung



- Geringe Fixierung der Kabel mit Silikon
 - Schutz vor Verschiebung während des Ausgusses
- Enden der Motoren werden abgeschlossen

Fertigung III - Ausguss



Einleitung

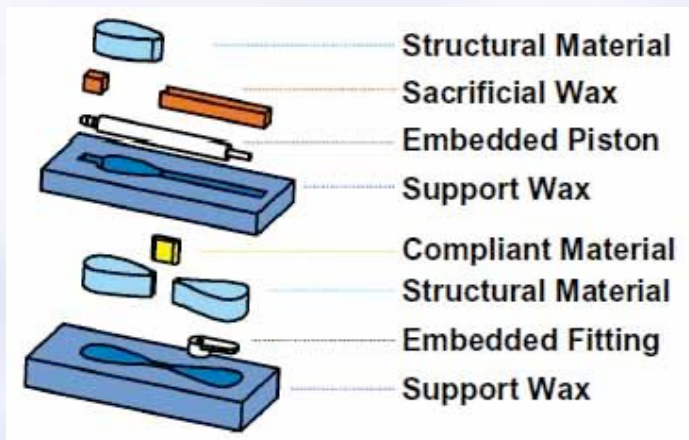
Mechanik

Kinematik

Bewegung

Schluß

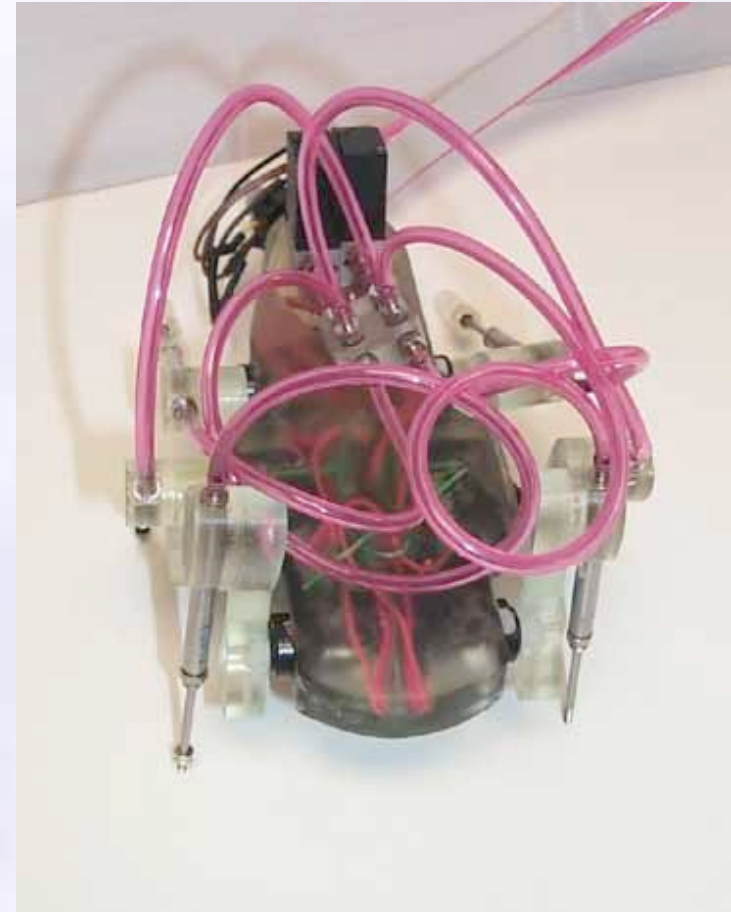
Fertigung IV - Beine



- Beine einzeln in Gußtechnik geformt
- Starre Enden, flexibles Gelenk
- Air-Piston und Kontaktstück für Servomotoren mit eingegossen
 - Keine späteren Bohrungen

Fertigung V - Pneumatik

- 2 Ventile als Aufsatz auf dem Hinterteil
- Anstecken der Beine
- Verbindung der Beine mit der Pneumatik
 - Über Kreuz je 3 Beine an einem Ventil
- Anschluß an PC am Heck



Zusammenfassung

- Hochintegriertes Konzept
 - Kostengünstig
 - Perfekt für Bestimmung angepasst
- Schlüsselbausteine standartisiert und einfach auszutauschen
- Enorme Stabilität
- Roboter ist vom Controlling her autark

Matrizen

- Matrix $n \times m$: n Zeilen, m Spalten

$$\begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{pmatrix}$$

- Geeignet für
 - Lösen von Gleichungssystemen
 - Darstellung von geometrischen Zusammenhängen
(insbesondere Transformationen)
- Vektoren als $1 \times n$ bzw. $n \times 1$ Matrix

Homogene Koordinaten

- Einführen einer zusätzlichen Dimension
 $(x, y, z) \rightarrow (x, y, z, W)$
- 2 homogene Koordinaten repräsentieren denselben Punkt, wenn sie linear abhängig sind
- Homogene Koordinate $(0,0,0,0)$ ist nicht zulässig
- Homogenisieren: $(x,y,z,W) \rightarrow (x/W, y/W, z/W, 1)$

Translation

- Als Translation bezeichnet man eine Transformation, wenn man eine Menge von Punkten oder Figuren in die selbe Richtung um den selben Betrag (Distanz) verschiebt.
- Eine Translation eines Punktes in drei Dimensionen kann durch die folgende Matrix beschrieben werden:

$$\begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & t_1 \\ 0 & 1 & 0 & t_2 \\ 0 & 0 & 1 & t_3 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

Rotation

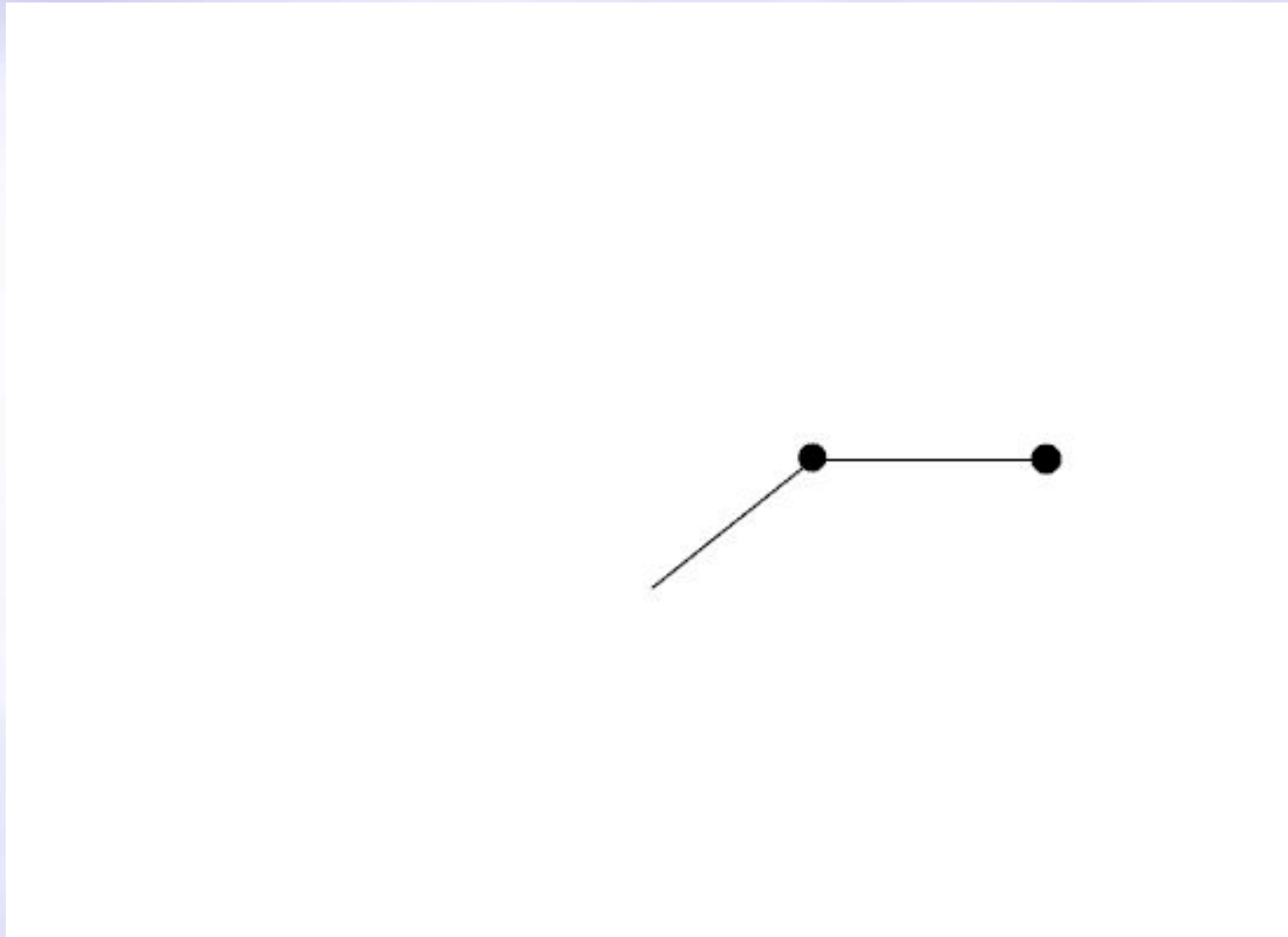
- Rotation ist die Drehung eines Objektes um einen Winkel α
- 2D: homogene kartesische Koordinaten $(x,y,1)$
Rotationsmatrix für Winkel α :

$$R(\alpha) = \begin{pmatrix} \cos \alpha & -\sin \alpha & 0 \\ \sin \alpha & \cos \alpha & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

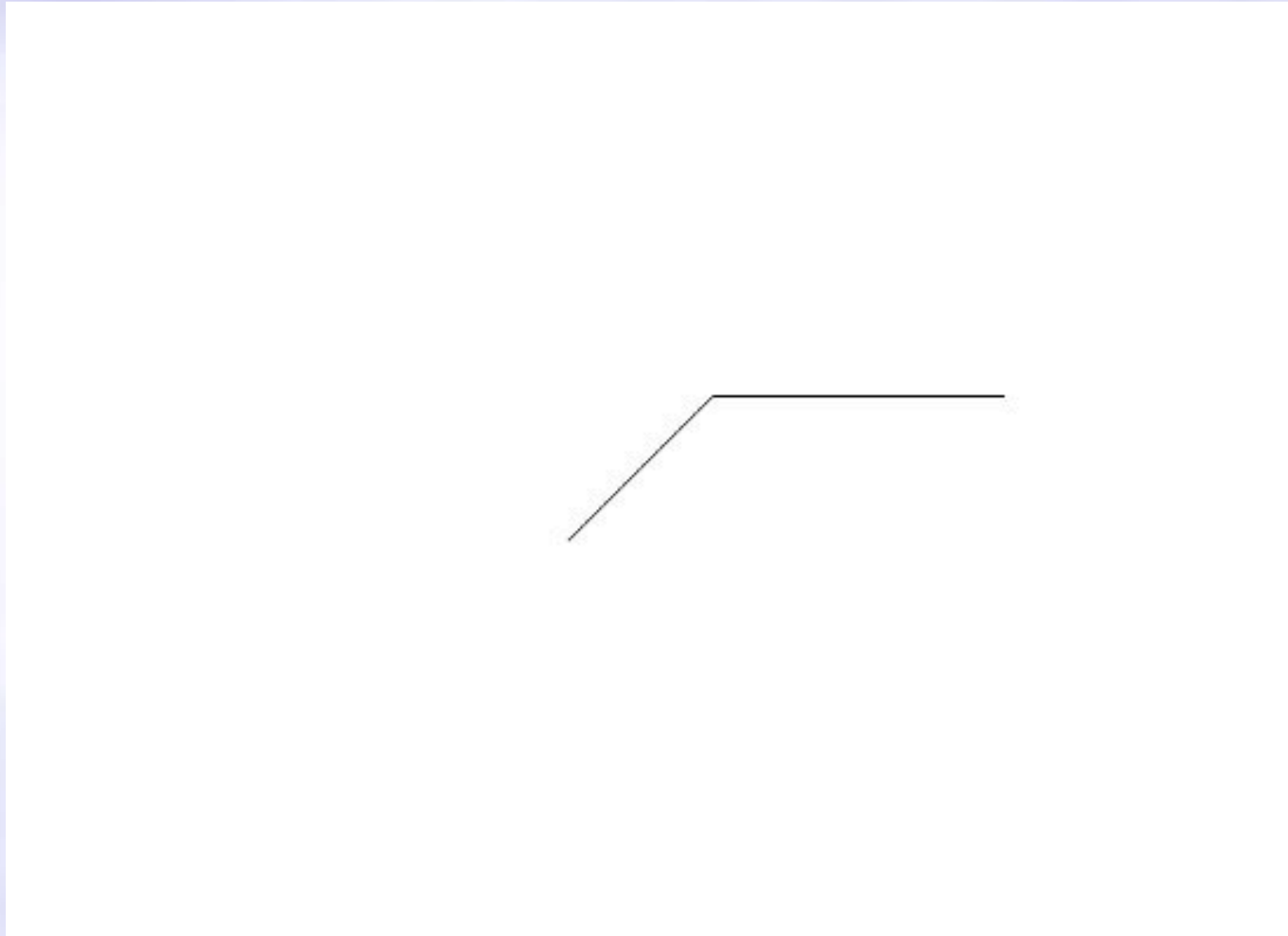
Rotation - 3D

- In 3-dimensionalen Raum betrachtet man dann 3 Rotationen: um z-, x- und y-Achse
- Diese Verhalten sich so, wie 2-dim. Rotation
- Rotationen sind additiv,
d.h. $R(\alpha_1) * R(\alpha_2) = R(\alpha_1 + \alpha_2)$

Rotation in einem Kniegelenk



Translation an einem Beinschenkel



Einleitung

Mechanik

Kinematik

Bewegung

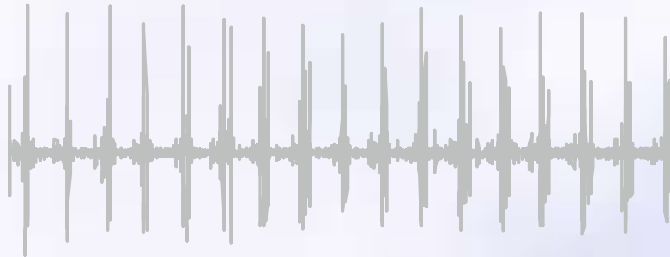
Schluß

Biologisches Vorbild



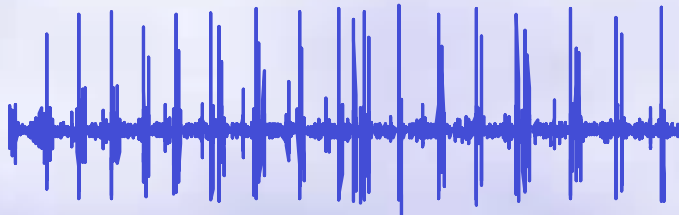
Kakerlake beim Überqueren einer Hindernisstrecke

Flaches Terrain



Impulse zu den Muskeln

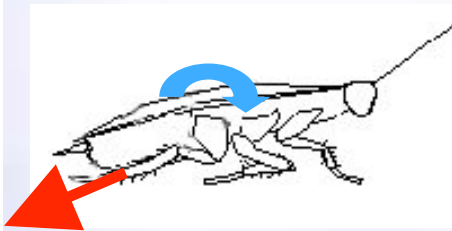
Unebenes Terrain



- Impulse zu den Muskeln ändern sich praktisch nicht bei unwegsamem Gelände
- Der Gang paßt sich ohne zentrale Informationsverarbeitung automatisch an

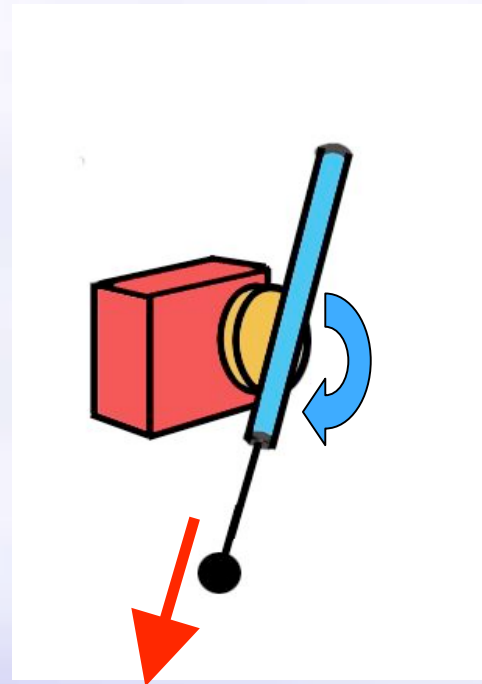
Beinkonstruktion

Kakerlaken-Modell



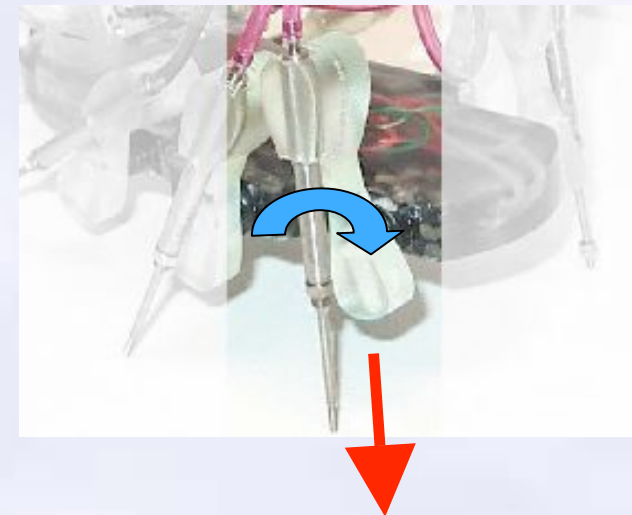
- Passives Hüftgelenk
- Effektive Beschleunigungskraft

Theoretische Adaption



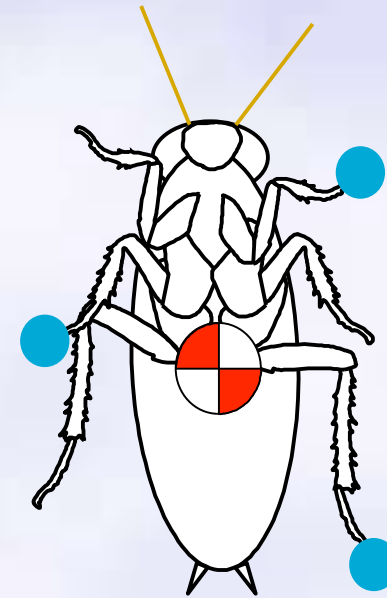
- Drehgelenk
- Prismatisches Gelenk

Implementation bei Sprawlita

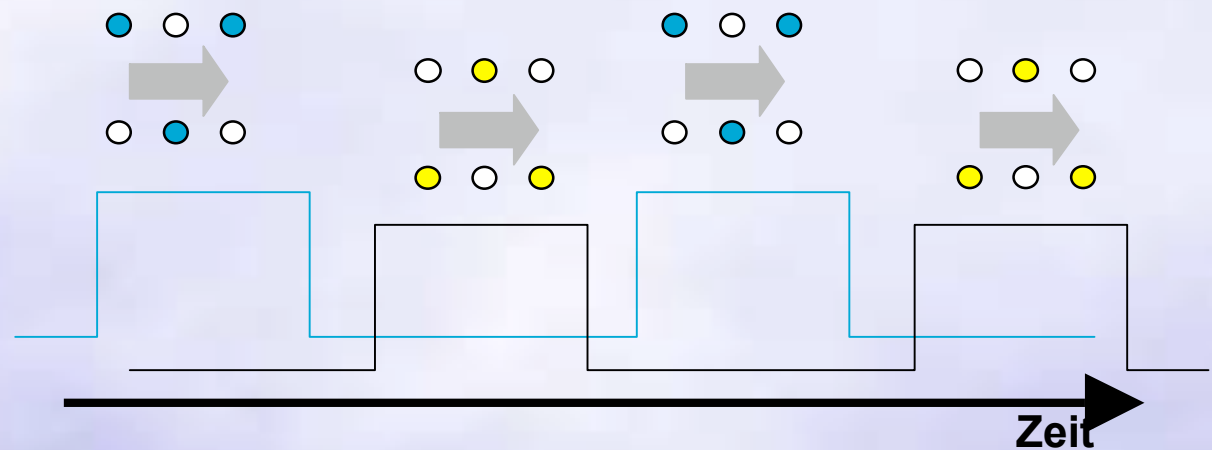


- Flexible, gedämpfte Hüftbefestigung
- Integrierter Luftdruck-Kolben

Bewegungsmuster



- Immer drei Beine bewegen sich gleichzeitig
- Schrittsequenz ist konstant



Einleitung

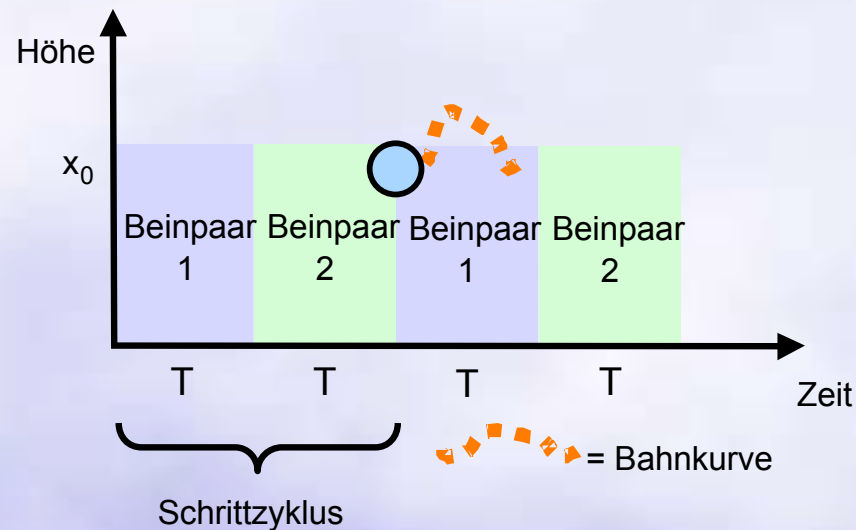
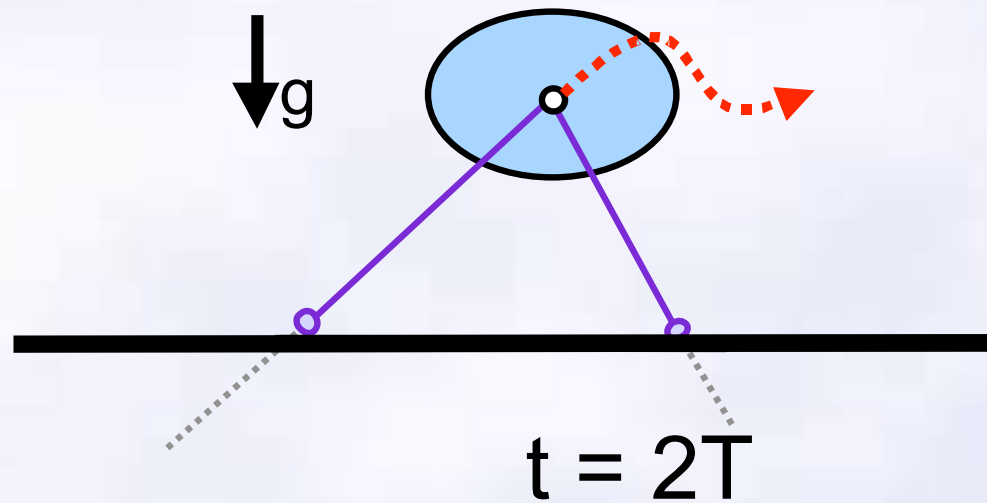
Mechanik

Kinematik

Bewegung

Schluß

Schrittsequenz am vereinfachten Beispiel



Einleitung

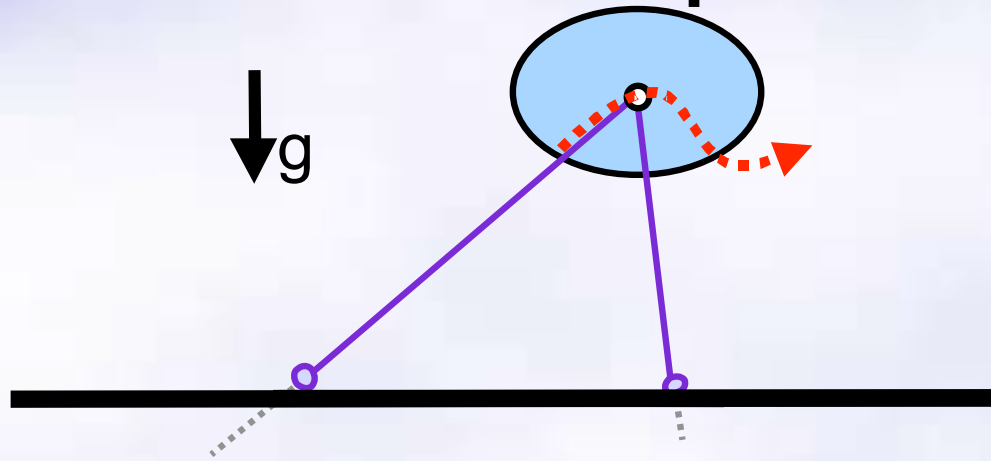
Mechanik

Kinematik

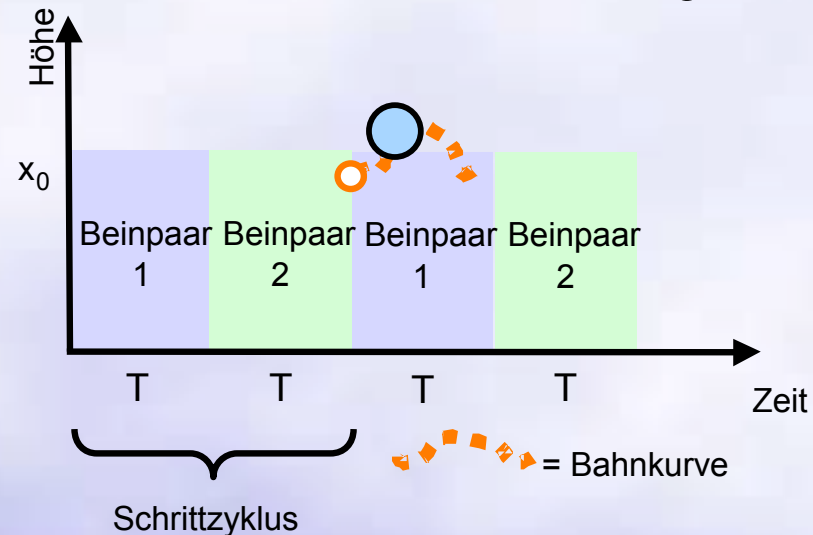
Bewegung

Schluß

Schrittsequenz am vereinfachten Beispiel



$$t = 2T + \frac{1}{3}T$$



Einleitung

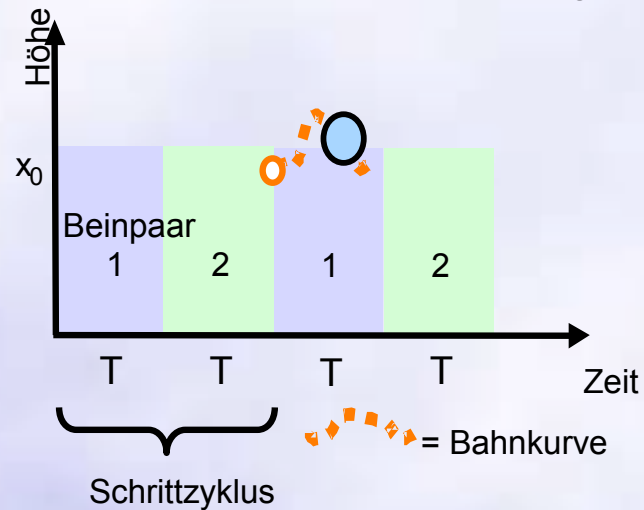
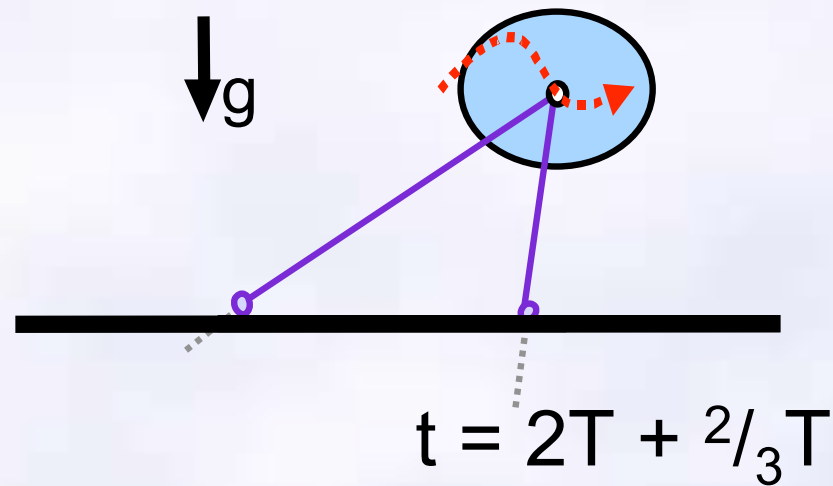
Mechanik

Kinematik

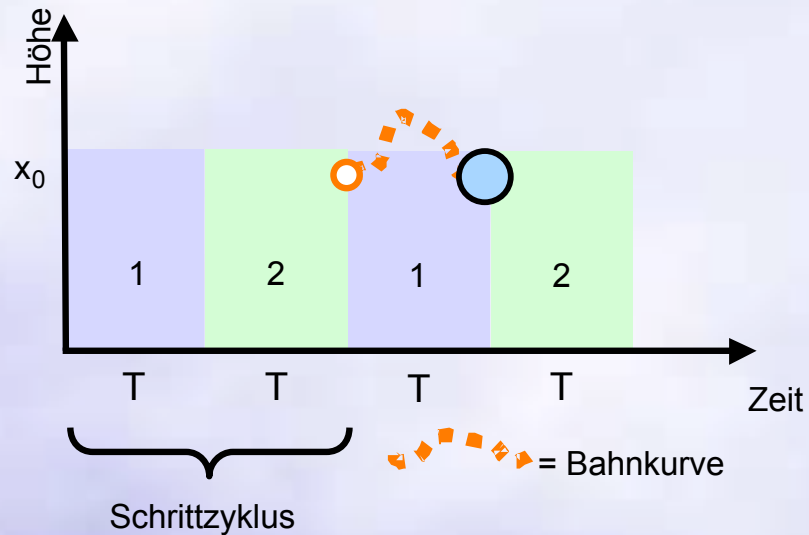
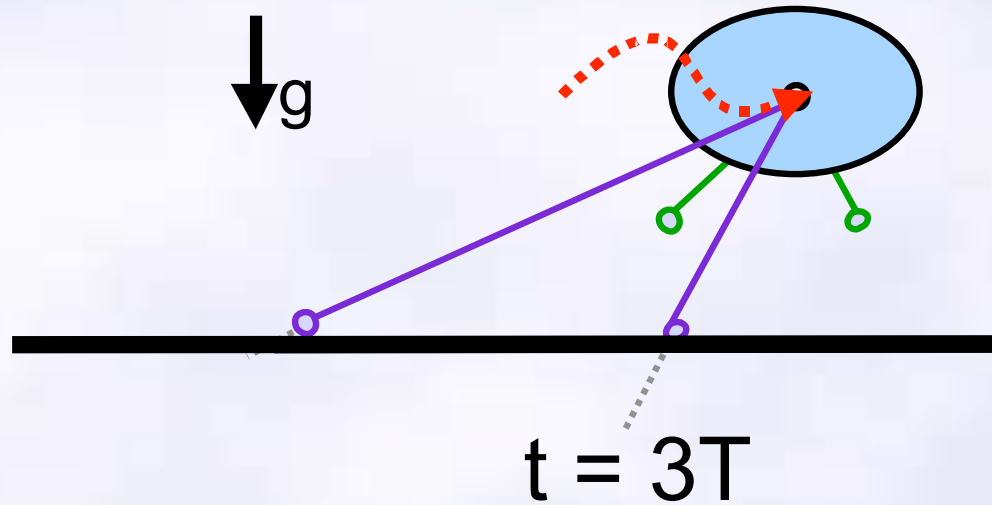
Bewegung

Schluß

Schrittsequenz am vereinfachten Beispiel



Schrittsequenz am vereinfachten Beispiel



Einleitung

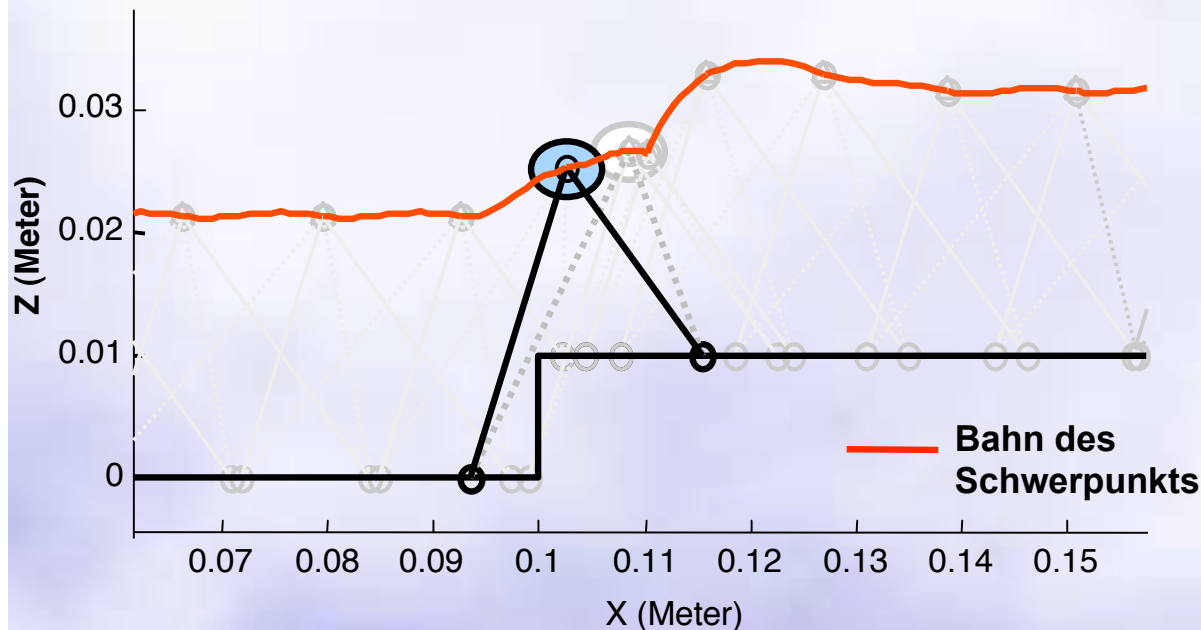
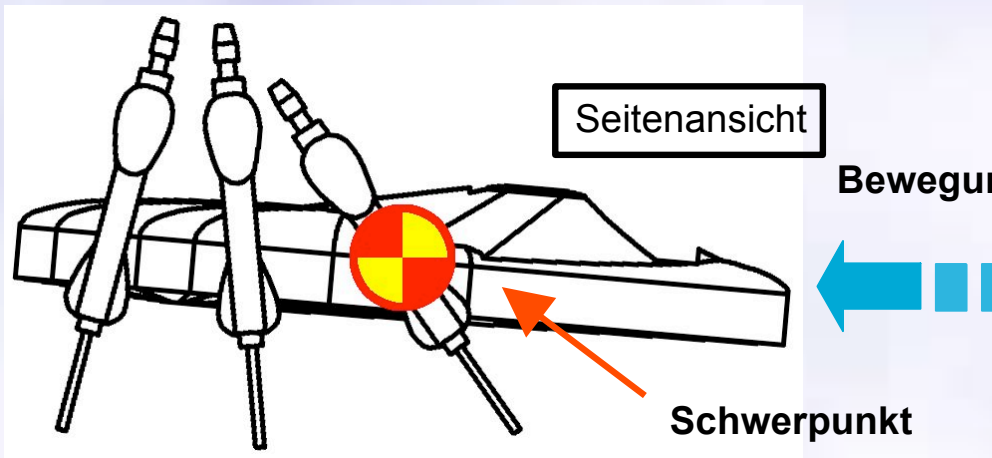
Mechanik

Kinematik

Bewegung

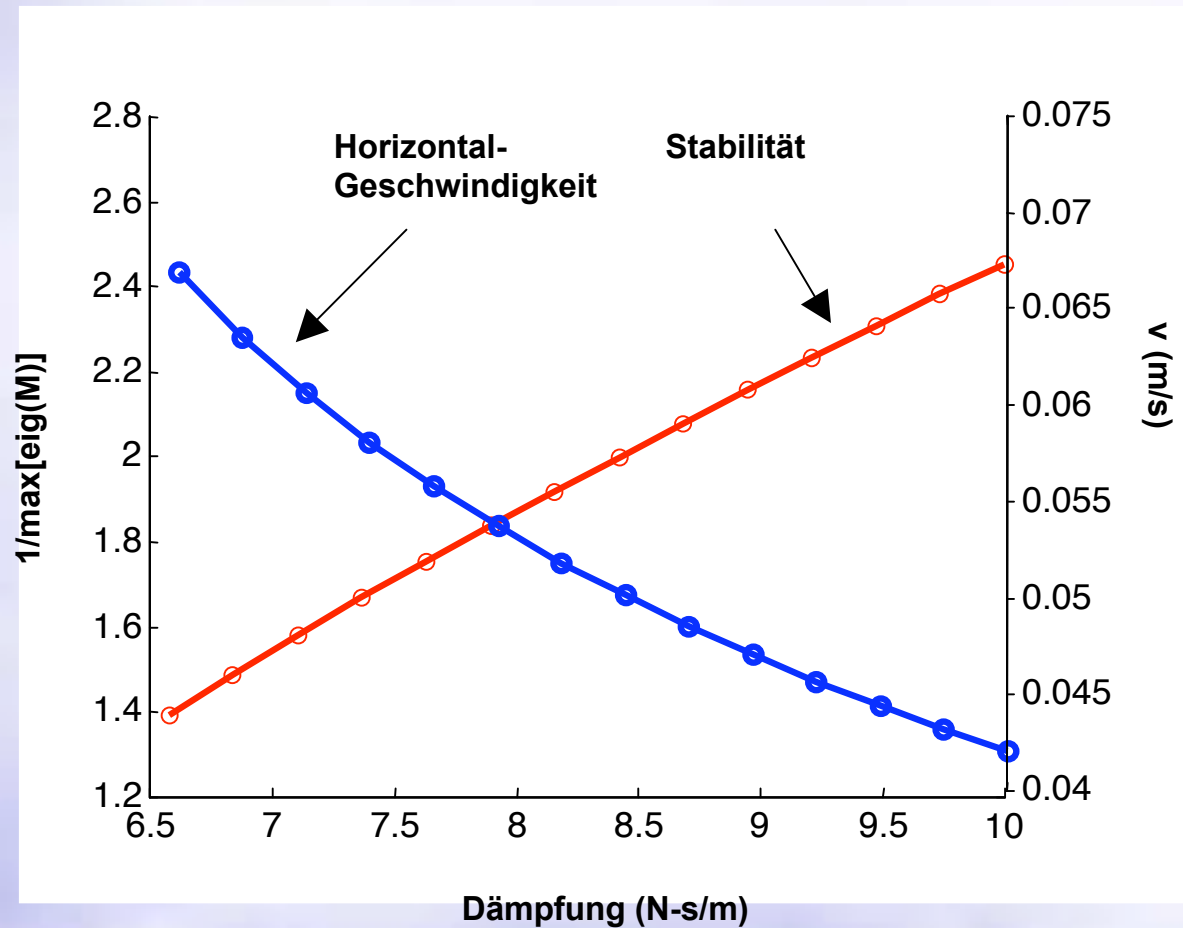
Schluß

Bewegung in unebenem Terrain



- Beschleunigungskraft erfolgt immer entlang des Hinterbeines
- Bei einem Hindernis steht es steiler, Schub erfolgt also mehr nach oben
- Schwerpunkt befindet sich im Drehpunkt des Hinterbeines -> kein Drehmoment, höhere Stabilität

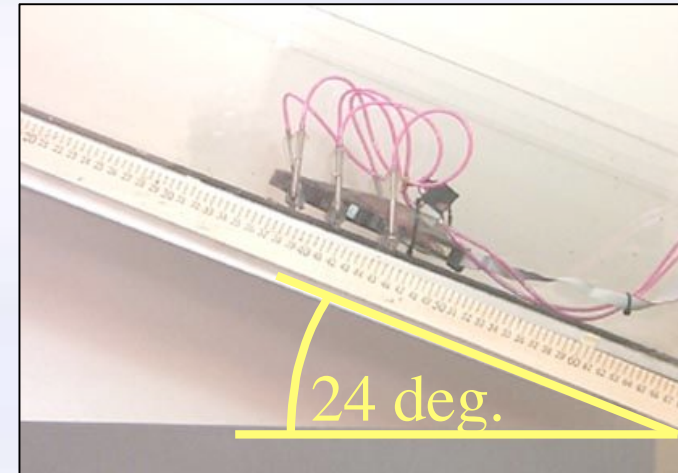
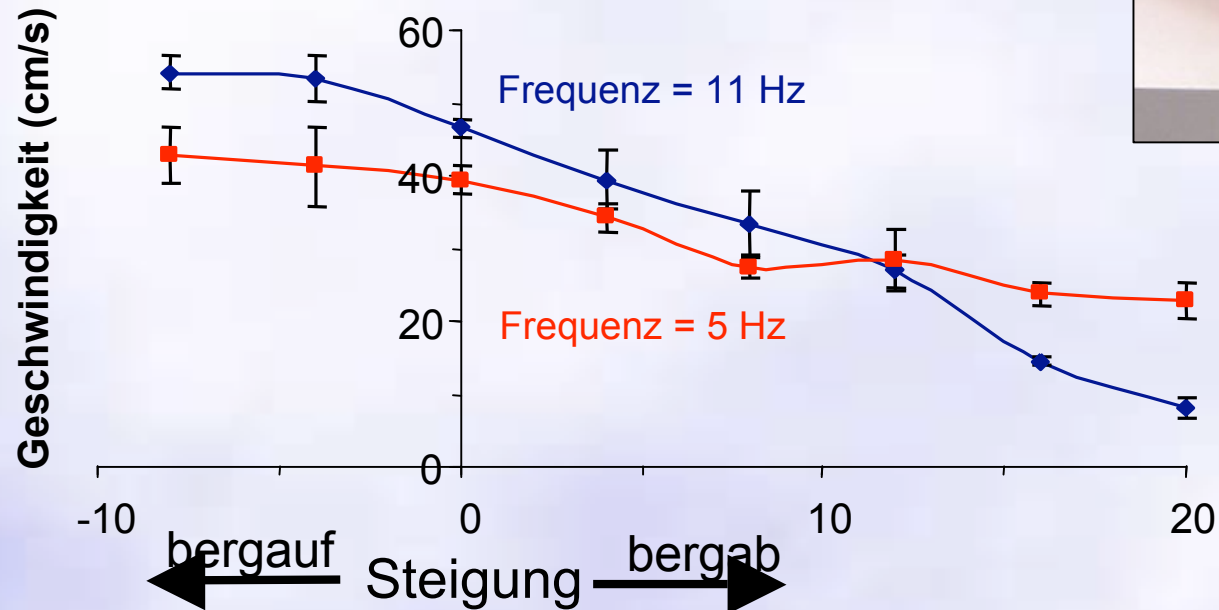
Auswirkung der Dämpfung auf Geschwindigkeit und Stabilität



- niedrigere Dämpfung bewirkt höhere Geschwindigkeit, weil mehr Energie im elastischen Hüftgelenk gespeichert wird
- höhere Dämpfung steigert die Stabilität, weil die Bodenhaftung verbessert wird

Auswirkungen der Schrittfrequenz

Geschwindigkeit bei verschiedenen Steigungen und Schrittfrequenzen



Zukunftsaussichten

- Erweiterung der Sensorik
- Anbringen von Greifern
- Optimierung des Gangs
- Forschung an weiteren Materialien
- Versuch die gewonnenen Erkenntnisse auf andere Roboter zu übertragen

Was ist wichtig für sprawl-robots

- Anordnung der Beine
- Design des Körpers
- mechanischer Aufbau
- Material

Sprawl-Robots History

Sprawl
(1. Prototyp)



Mini-Sprawl
(handgroß)

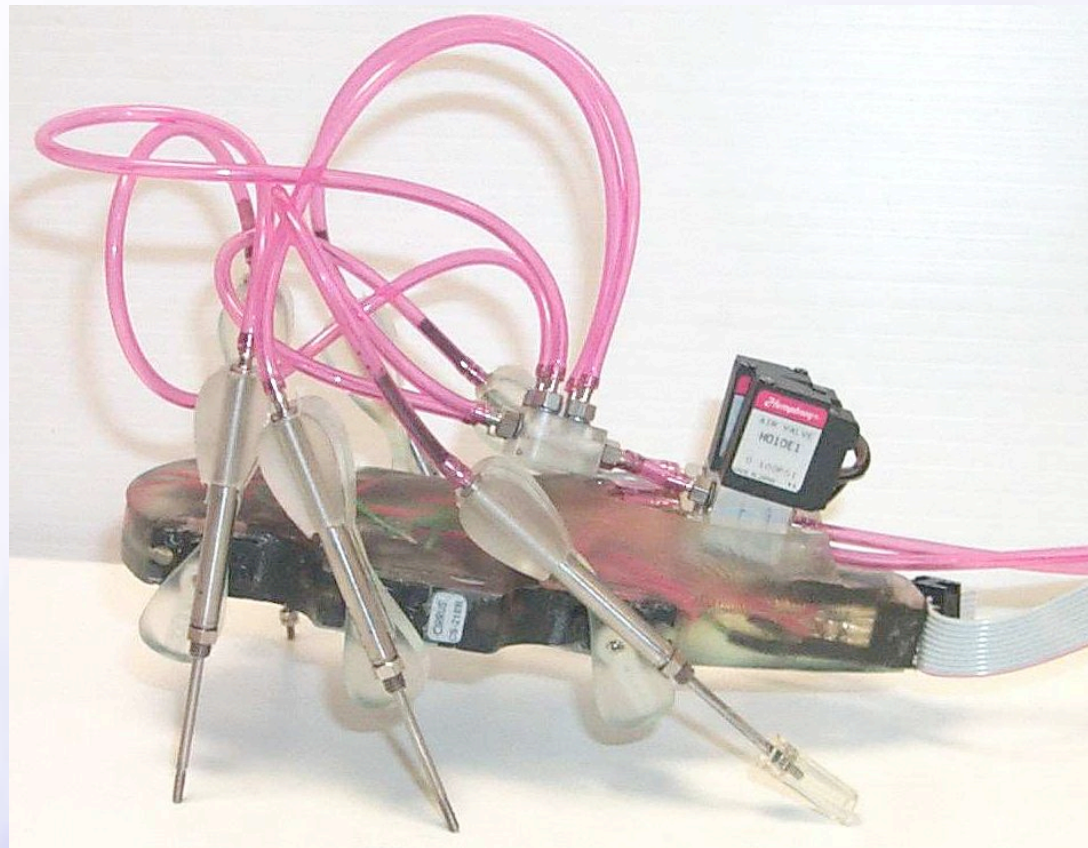


Franken-Sprawl
(SDM Bein-Hüft-Verbindung)



Sprawl-Robots History

Sprawlita (1. Prototyp in SDM)



Einleitung

Mechanik

Kinematik

Bewegung

Schluß

Sprawl-Robots History

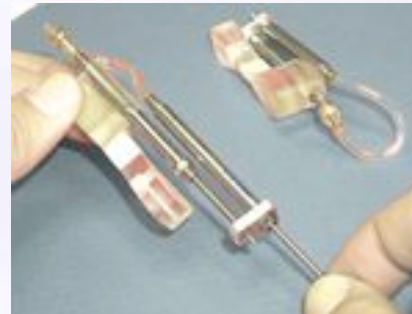
Sprawley-Davidson
(Ventile auf dem Kolben)



SprawEx
(end-effector)



Cascaded Pistons
(kaskadierter Kolben)



Pseudo-Sprawl
(konfigurierbar)



Sprawlettes
(Serienteile)



VSprawl
(Simulation)



sprawl-robots und biomimetic
available at:

www-cdr.stanford.edu/biomimetics/