



Bewegungssteuerung von hexapoden Insekten / Robotern

von

Thorsten Reinhard

Seminar:
Robotik

bei

Prof. Dr. von Stryk / Betreuer: Sebastian Klug



Agenda

- Motivation
- Bewegungssteuerung von hexapoden Insekten
- Beispiele für Bewegungssteuerungen von hexapoden Robotern



Motivation

Motivation

- Ziel: Aus der Natur zu lernen
- Dementsprechend Antrieb, Konstruktion, Umwelterfassung und Steuerung des Roboters konzipieren





Positiva des Laufens

Warum Laufen ?

- Geländegängigkeit
- Steigvermögen
- Manövrierfähigkeit
- Transportkosten
- Multifunktionalität des Beines



Motivation

- Warum sechs Beine?
 - Statisch stabil
- Warum untersuchen wir das Laufverhalten von Insekten?
 - gut geeignete Morphologie
- Einsatzgebiete: Land- und Forstwirtschaft, Inspektion und Wartung von Anlagen, technischen Systemen und Bauwerken, Rettungswesen und zur Brandbekämpfung, Weltraum, Militär

Biologisches Vorbild

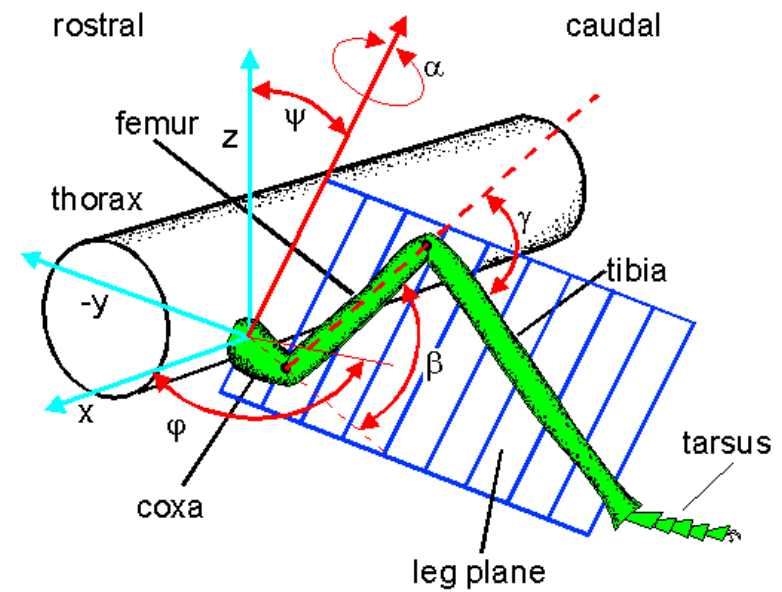
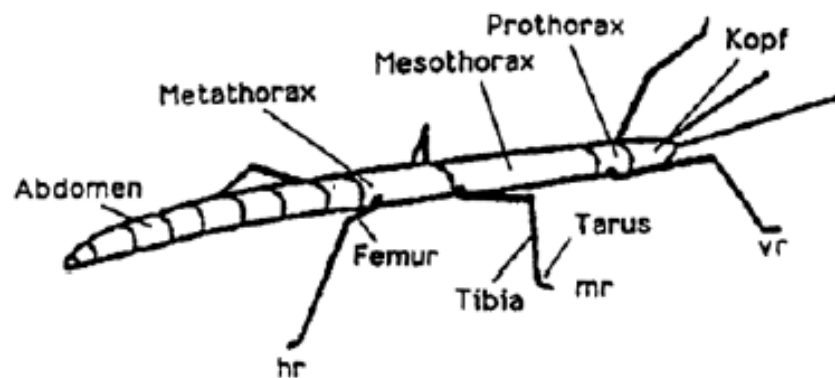


Abb.1 Stabheuschrecke

Carausius morosus

"Bewegungssteuerung von
hexapoden Insekten / Robotern"
von Thorsten Reinhard

Biologisches Vorbild



"Bewegungssteuerung von
hexapoden Insekten / Robotern"
von Thorsten Reinhard

Tarry I & II



"Bewegungssteuerung von
hexapoden Insekten / Robotern"
von Thorsten Reinhard



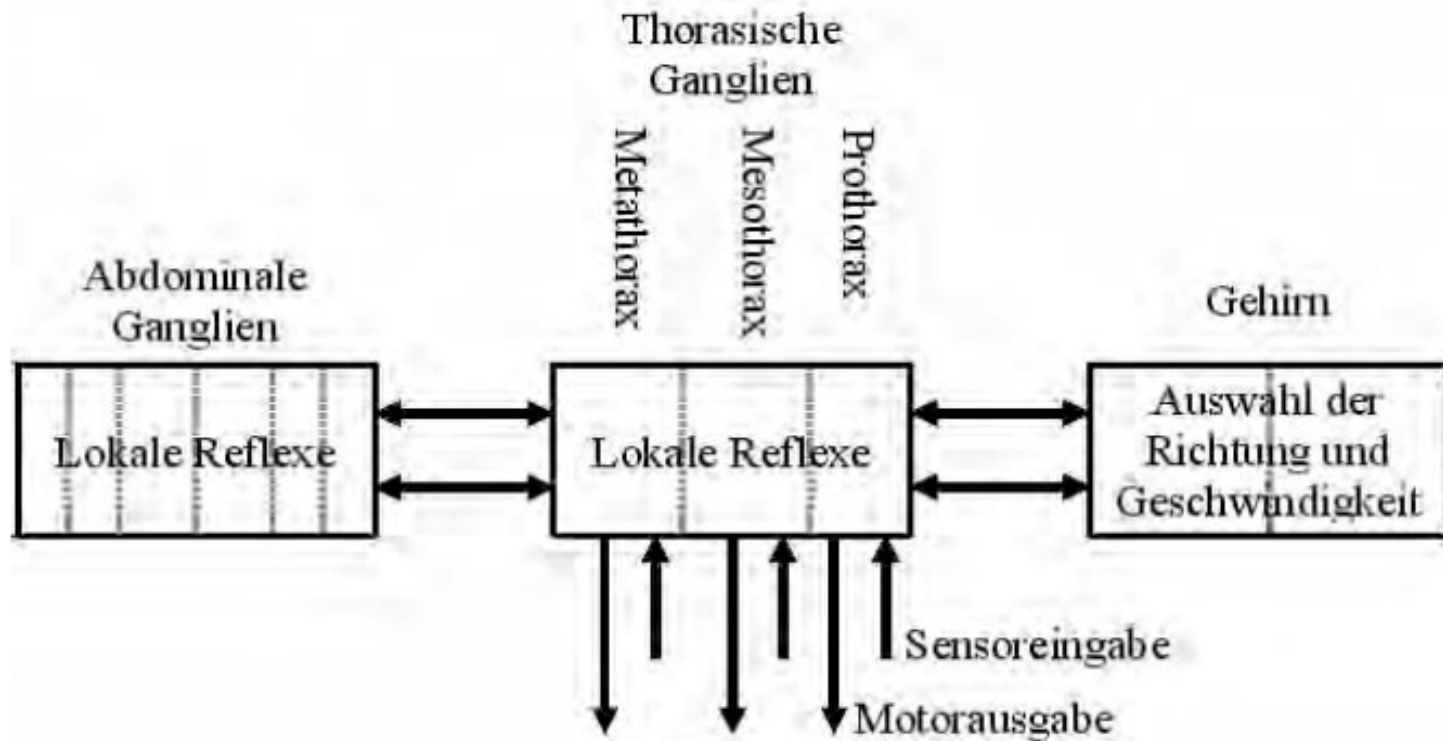
Bewegungssteuerung bei hexapoden Insekten



Hierarchische und modulare Bewegungssteuerung

- Zentrales Nervensystem zweigeteilt:
 - Gehirn
 - Ganglienkette an der Unterseite (Brust)
- Gehirn: Initiierung, Richtung, Geschwindigkeit, Ende (globale Taktvorgabe)
- Lokal: Dezentrale Steuerung jedes Beines (keine Rückkopplung zu Gehirn)
- Ausnahme: Kopflöse Insekten

Hierarchische und modulare Bewegungssteuerung



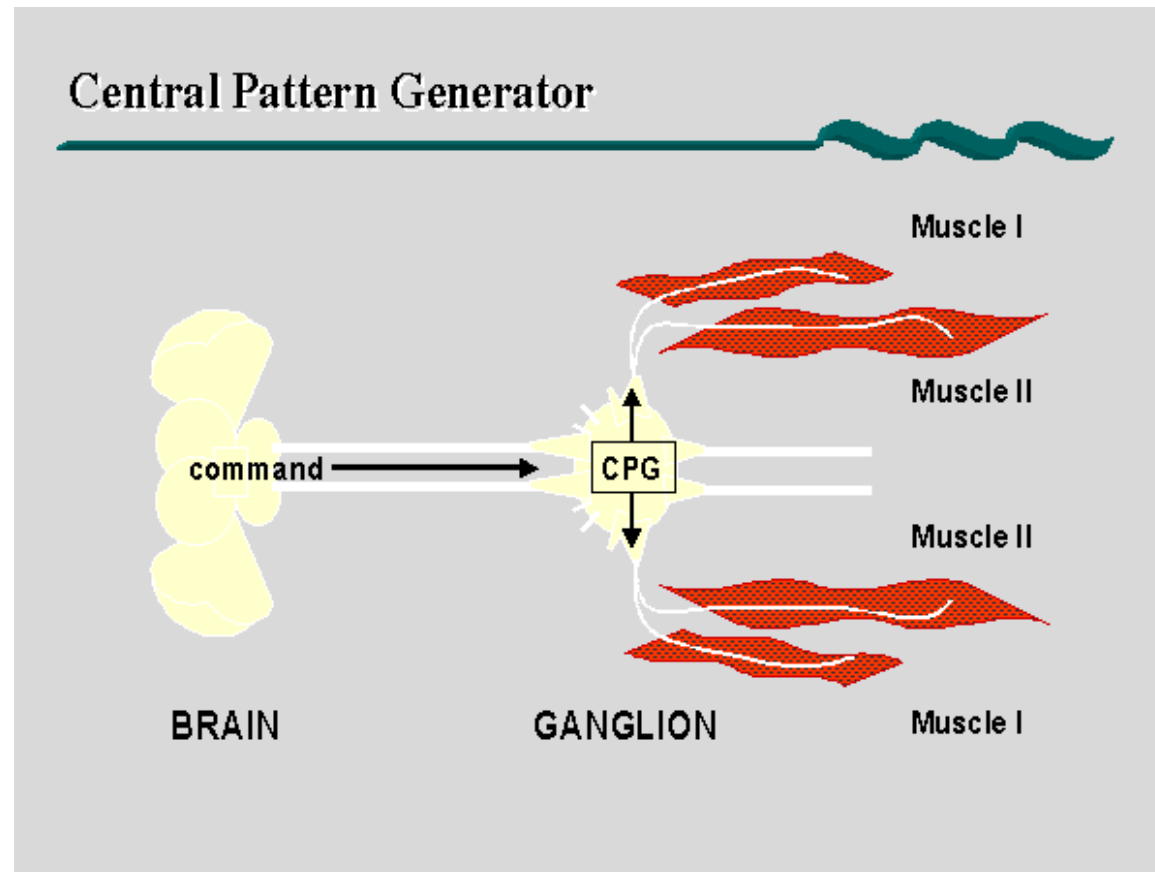
"Bewegungssteuerung von
hexapoden Insekten / Robotern"
von Thorsten Reinhard



Lokale Einzelbeinkoordination

- Zentraler Mustergenerator (ZMG) erzeugt Bewegungen eines einzelnen Beines
- Zyklische Bewegungen bestehen aus:
 - Stemmphase
 - Schwingphase
- U.a. abhängig von Beinposition, Beinbelastung und momentaner Phase anderer Beine

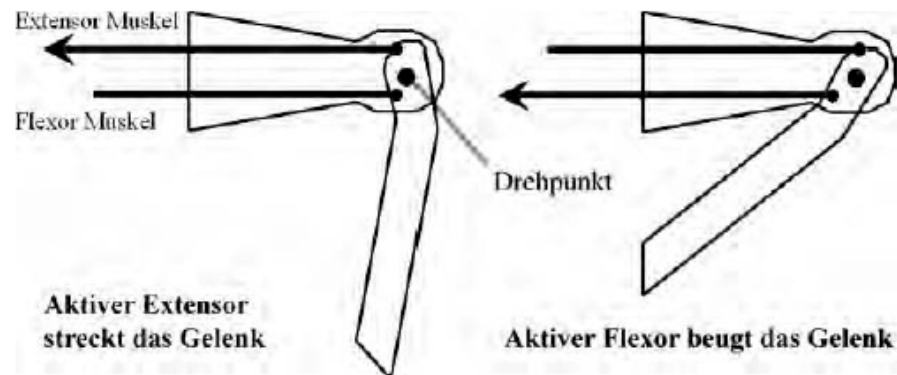
Zusammenspiel ZMG, Ganglion, Muskeln



"Bewegungssteuerung von
hexapoden Insekten / Robotern"
von Thorsten Reinhard

Lokale Einzelbeinkoordination – Teil II

- Beugemuskel (Levator) aktiv während Schwingphase, Streckmuskel (Depressor) während Stemmphase
- Laufen: Zwei antagonistische Muskelgruppen eines Gelenkes von den Motorneuronen alternierend angesteuert



"Bewegungssteuerung von
hexapoden Insekten / Robotern"
von Thorsten Reinhard



Globale Beinkoordination

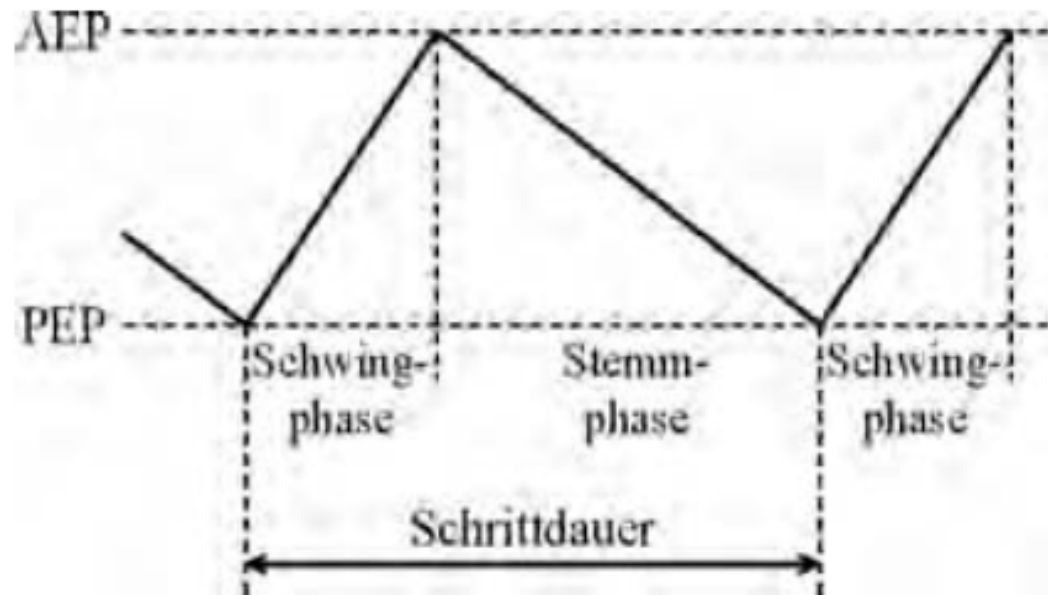
- **HEL (hintere Extremlage)**

Am weitesten hinten liegende Position eines Beines

- **VEL (vordere Extremlage)**

Am weitesten vorne liegende Position eines Beines

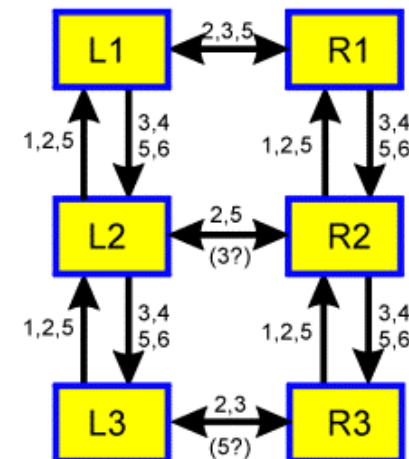
Merkmale des Schrittzklus eines Einzelbeines



"Bewegungssteuerung von
hexapoden Insekten / Robotern"
von Thorsten Reinhard

Beinkoordinationsregeln

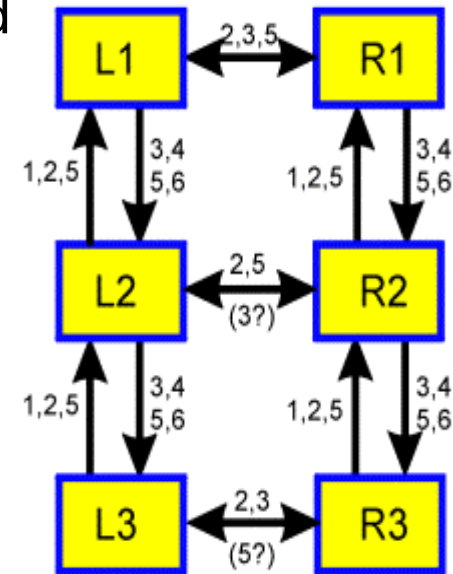
- Regeln für die Koordination zwischen den Beinen (nach Cruse):
 1. Wenn ein Bein seine Schwingphase noch nicht beendet hat, wird die Schwingphase des davorliegenden gehemmt.



"Bewegungssteuerung von
hexapoden Insekten / Robotern"
von Thorsten Reinhard

Beinkoordinationsregeln

2. Durch den Start der Stemmphase eines Beines wird das vordere und das gegenüberliegende Bein gedrängt, in die Schwingphase überzugehen.



"Bewegungssteuerung von
hexapoden Insekten / Robotern"
von Thorsten Reinhard



Beinkoordinationsregeln

3. Je weiter ein Bein während der Stemmphase nach hinten bewegt wird, desto früher beginnt das hintere mit der Stemmphase.

Beinkoordinationsregeln

4. Platzierung des hinteren Fußes an Fuß des nächstvorderen Beines (HEL) bzw. an Antennen

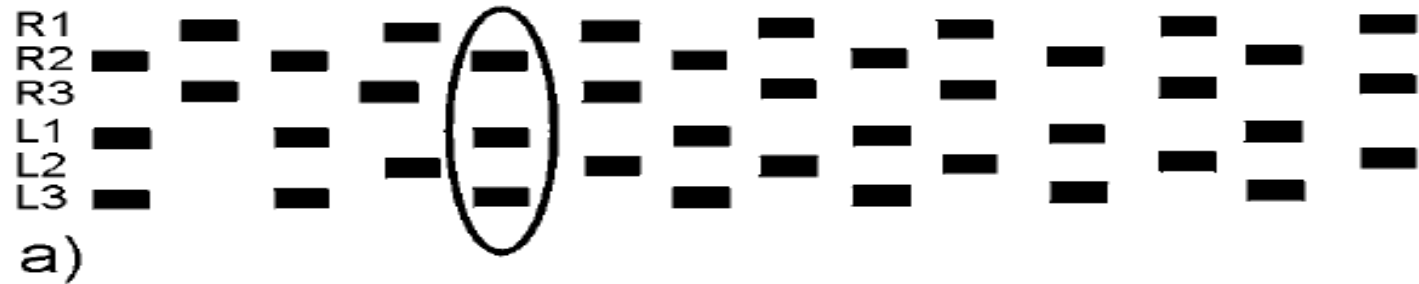
Korrigierende Reflexbewegung bei Misserfolg (Regel 6)



"Bewegungssteuerung von
hexapoden Insekten / Robotern"
von Thorsten Reinhard

Gangarten

tripod

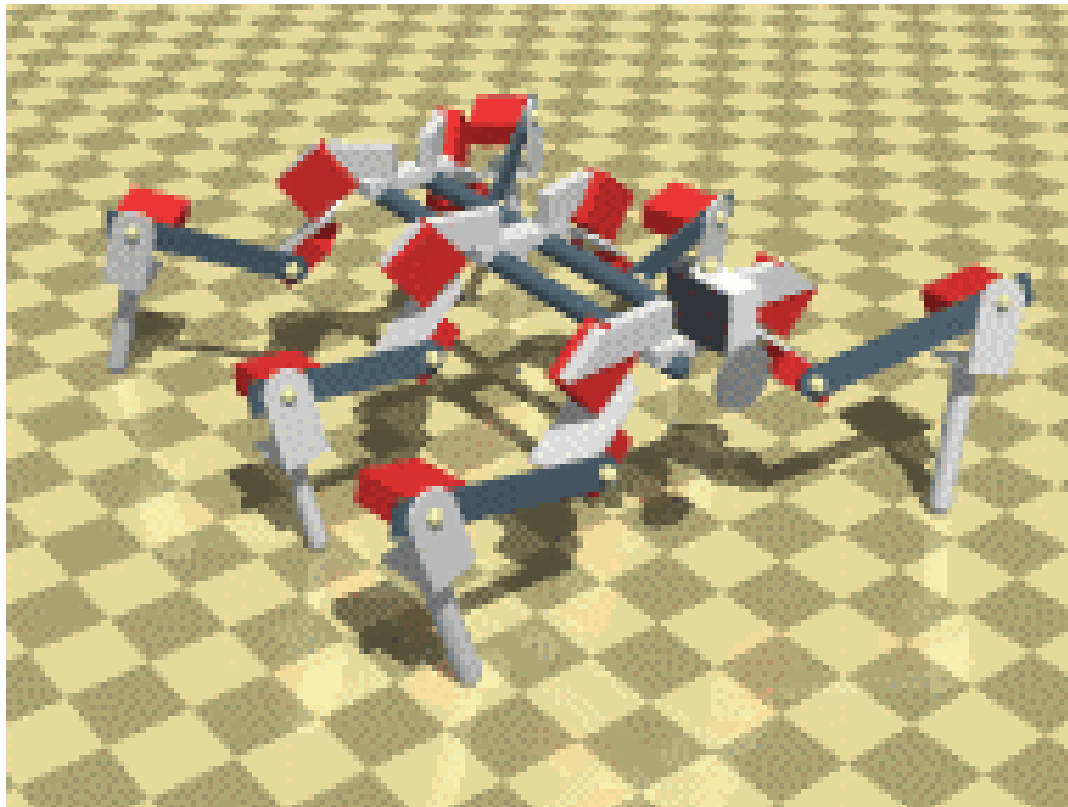


tetrapod



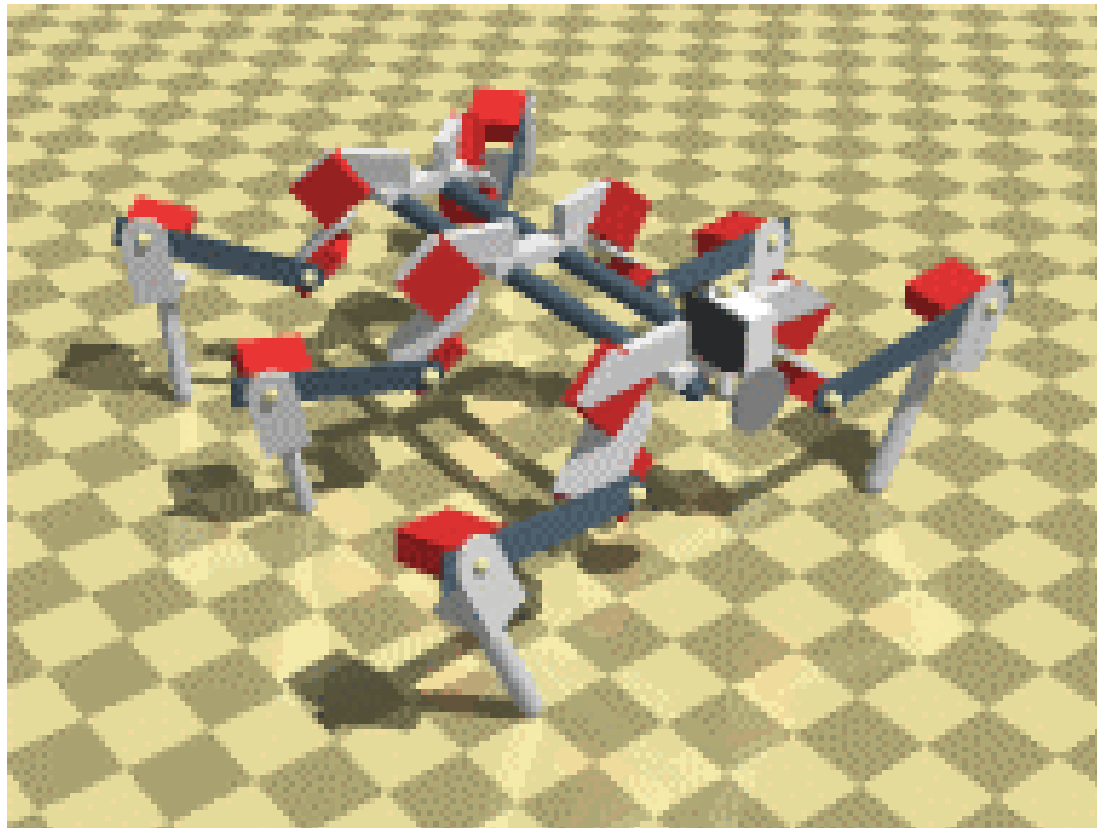
"Bewegungssteuerung von
hexapoden Insekten / Robotern"
von Thorsten Reinhard

Tripod



"Bewegungssteuerung von
hexapoden Insekten / Robotern"
von Thorsten Reinhard

Tetrapod



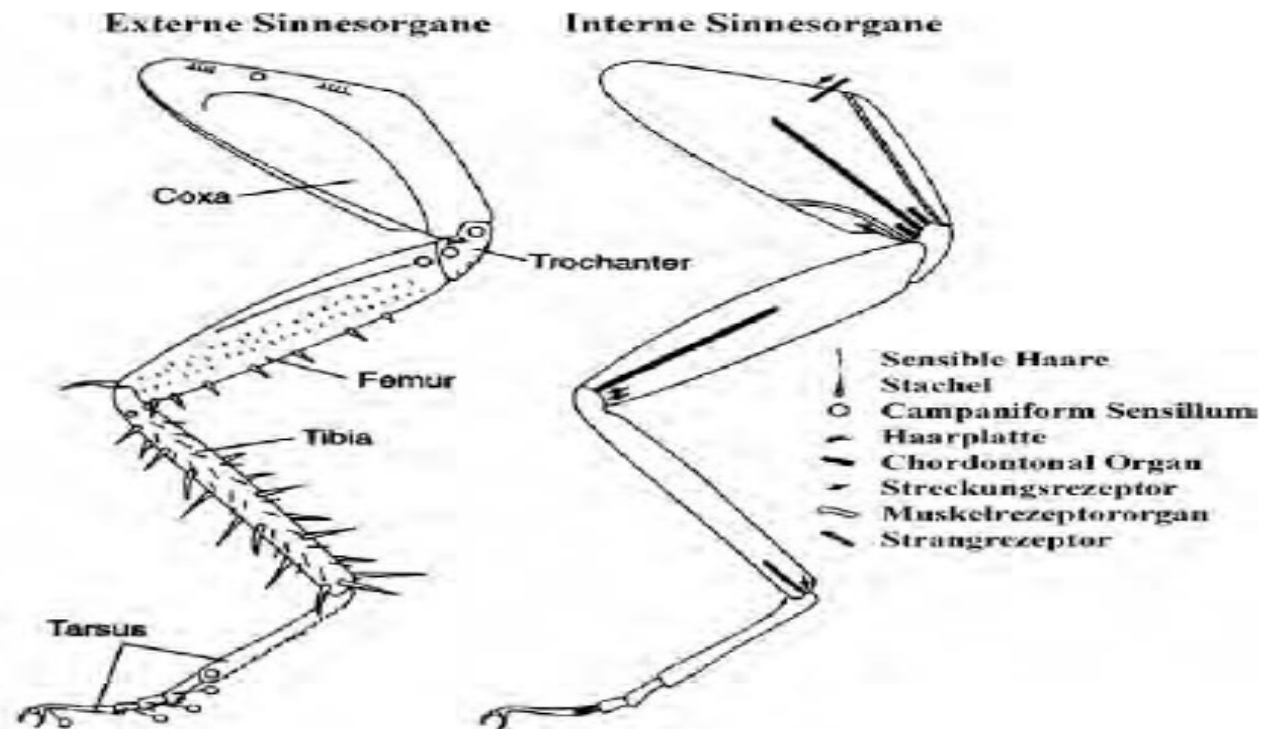
"Bewegungssteuerung von
hexapoden Insekten / Robotern"
von Thorsten Reinhard



Globale Beinkoordination – Teil IV

- Beim Kurvenlaufen wird die Schrittlänge über VEL und HEL angepasst
- Erhöhung / Erniedrigung der Schrittlänge
- Beinkoordination wird beibehalten

Einfluss von Sensoren



"Bewegungssteuerung von
hexapoden Insekten / Robotern"
von Thorsten Reinhard



Sensorische Rückkopplungen

- Bestimmen das Muster und das zeitliche Auftreten der Bewegungsphase mit
- Signal über Belastungsänderung zeigt an, wann ein Bein den Körper nicht mehr stützen braucht
- Signalisieren VEL und HEL

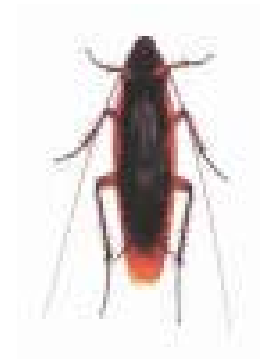
- Körperhöhe (durch mechanische Kopplung)

- Reflexe auf unterster Ebene

Einfluss von Sensoren – Teil II

- Sensoren helfen bei Fußpunktsuche sowie bei Hinderniserkennung bzw. -umgehung
- Phasenabhängigkeit von Sensoreinflüssen (Modulation von Sensorneuronen)
- Neuronales Netz dynamisch
- Auch Modulation bei Motorneuronen

- Schabe: ZMG bestimmt Laufbewegung, Sensoren werden unwichtig





Zusammenfassung

- (1) Bein-Reflexe
- (2) ZMG / Kreislauf von Schwingen, Aufsetzten, Stemmen eines Beines
- (3) Koordination von 1. und 2. Ebene
- (4) Zentrale Handlungsplanung aufgrund externer Sensorinformationen



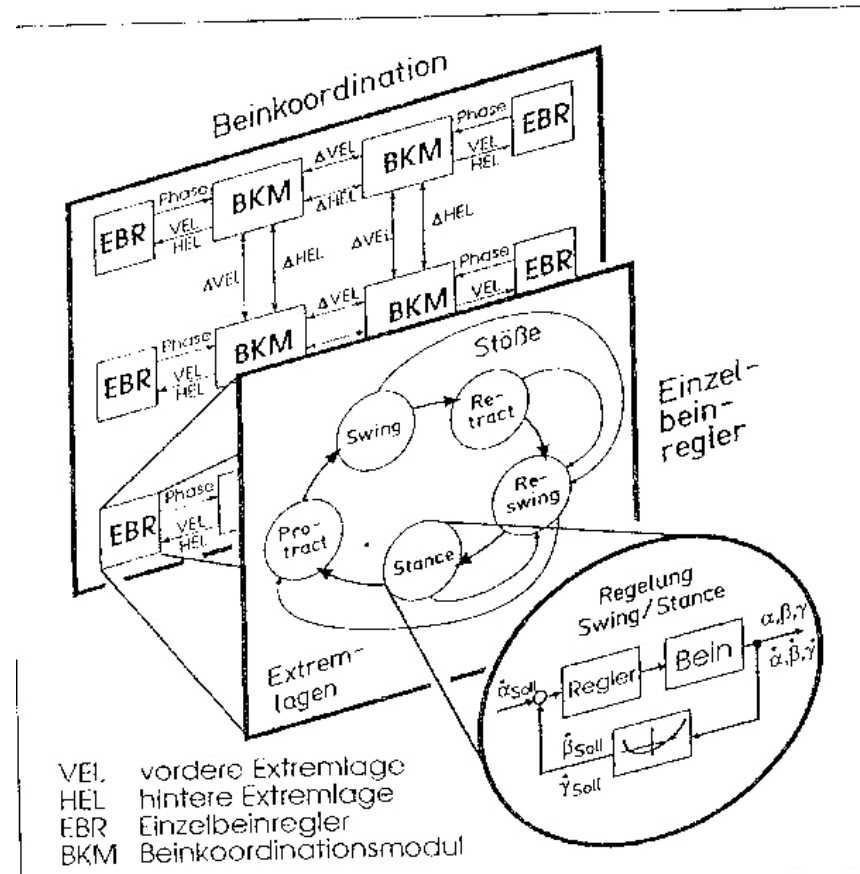
Bewegungssteuerung von hexapoden Robotern



Steuerungsbewegung bei Robotern

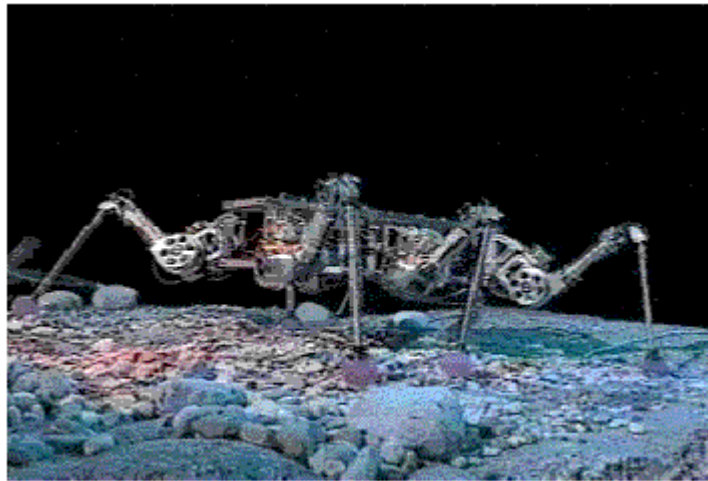
- Konventionelle Methode: Analytisch algorithmisch
 - Problem: Mögliche Bewegungen der Gelenke redundant
 - Daher hoher Rechenaufwand
 - Umwelt dynamisch
-
- Weitere Möglichkeiten
 - Aktivierungsbasierte Verhaltenssteuerung
 - Künstlich Neuronale Netze nach Vorbild der Natur

Erster Ansatz der TU München



"Bewegungssteuerung von hexapoden Insekten / Robotern"
von Thorsten Reinhard

TUM (TU München)

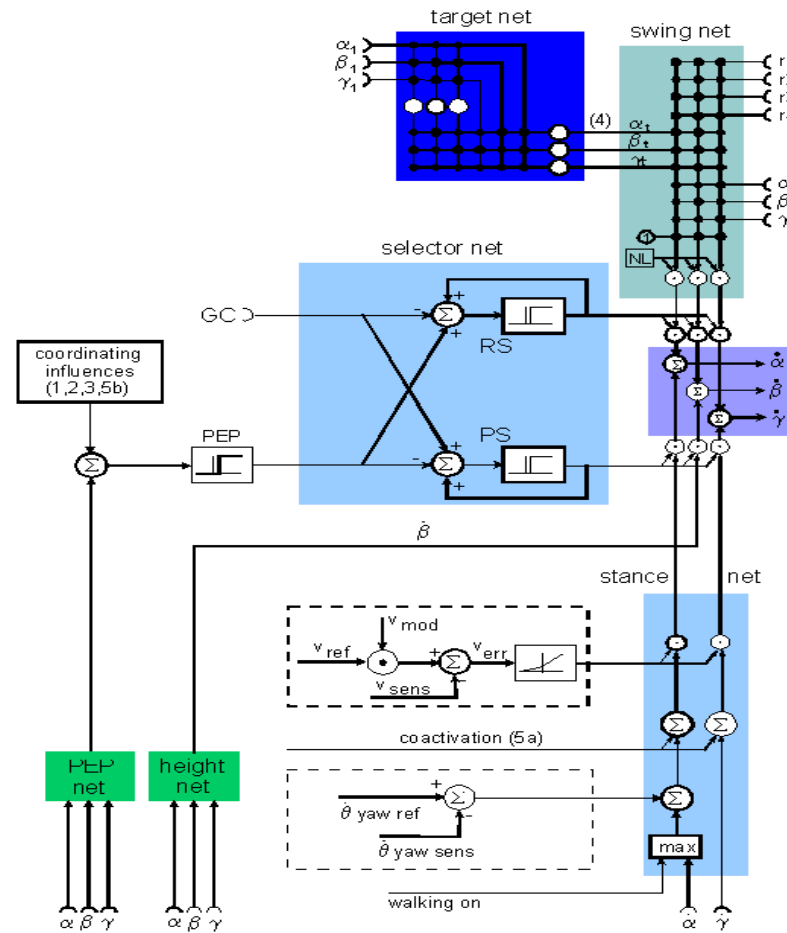




WALKNET

- Drei Agenten: Stemmphase, Schwingphase, Selektor
- Globaler Befehl bestimmt Initiierung, Geschwindigkeit, ...
- Künstlich Neuronale Netze (KNN)
- Modifiziert eingesetzt in TARRY II

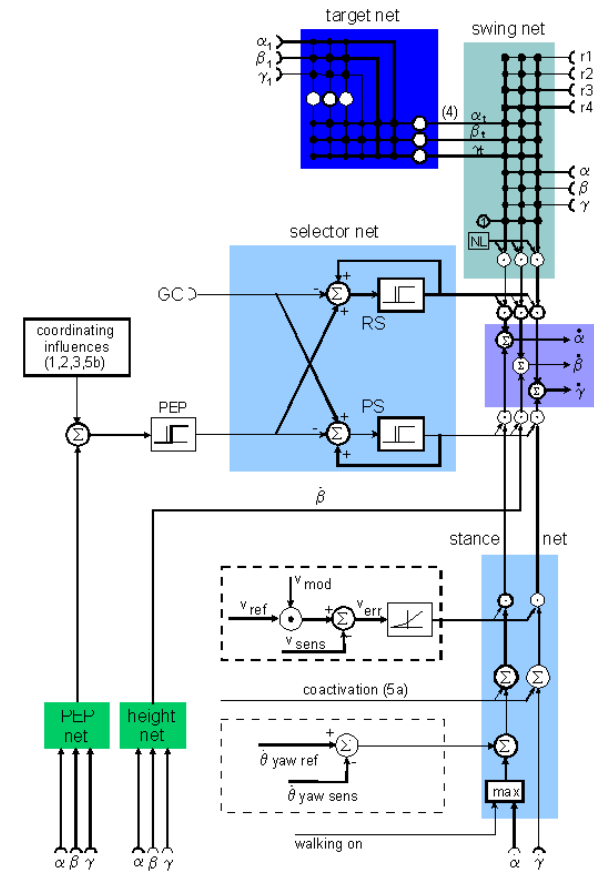
WALKNET (Universität Bielefeld)



"Bewegungssteuerung von hexapoden Insekten / Robotern"
von Thorsten Reinhard

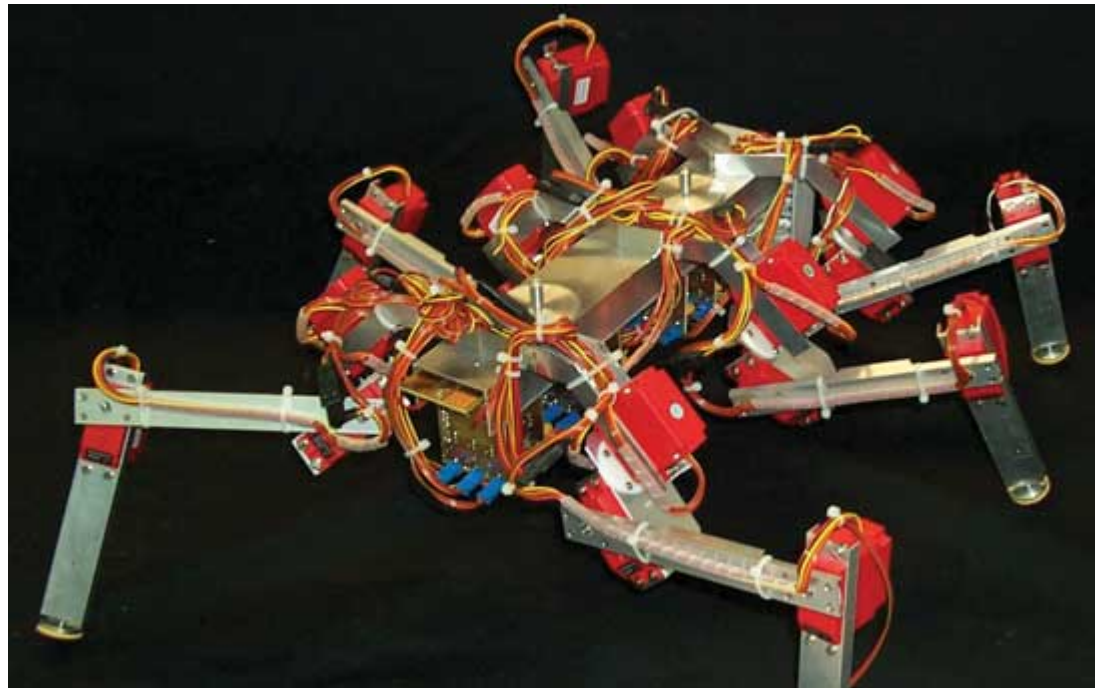
Vorteile WALKNET

- Robust gegenüber Störungen
- Kurvenlaufen
- Positive Rückkopplung
- Reduzierte Berechnungsaufwand durch Mechanismen



"Bewegungssteuerung von hexapoden Insekten / Robotern"
von Thorsten Reinhard

Tarry II (Universität Duisburg)



"Bewegungssteuerung von
hexapoden Insekten / Robotern"
von Thorsten Reinhard

Tarry II – Orientierung an Stabheuschrecke

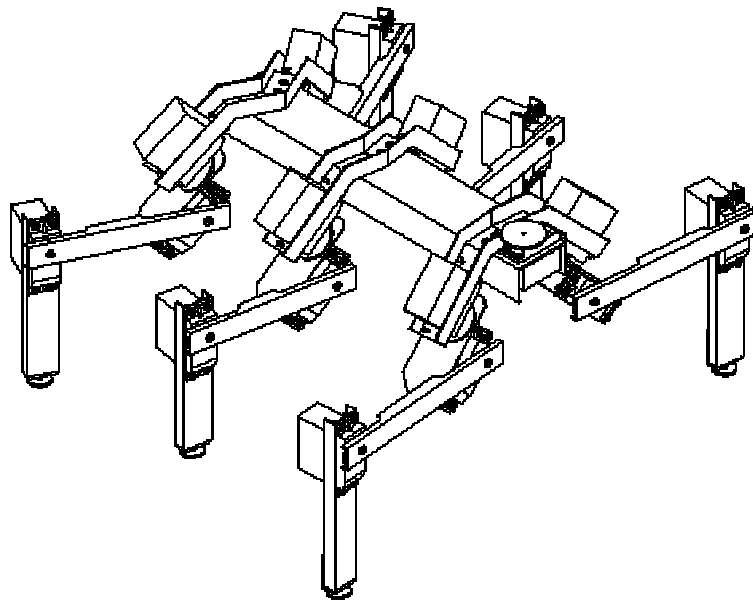


Abbildung 1: CAD-Modell der Laufmaschine TARRY II

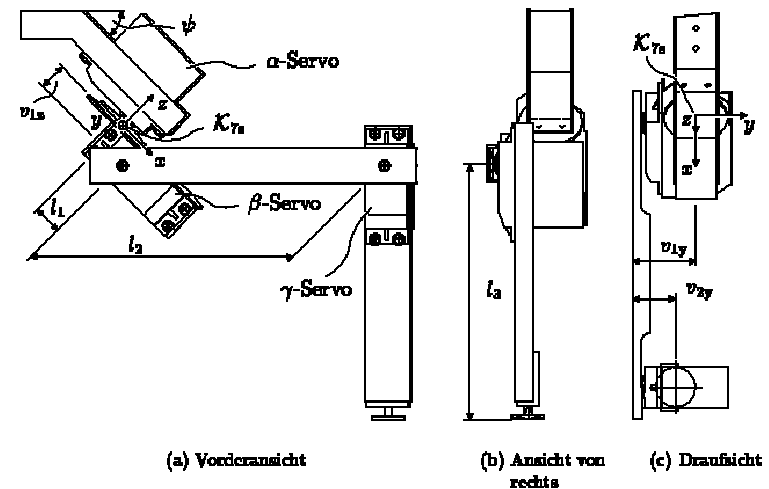
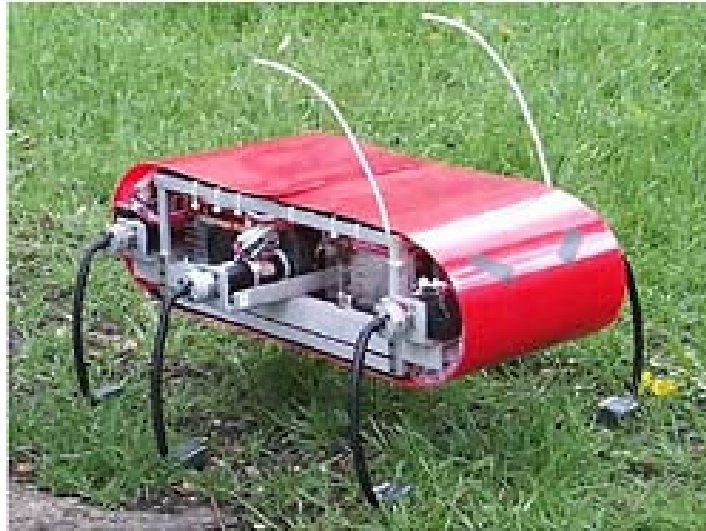


Abbildung 2: Linkes Bein der Laufmaschine in drei Ansichten

"Bewegungssteuerung von
hexapoden Insekten / Robotern"
von Thorsten Reinhard

RHex

- Einfache Beinkonstruktion
- Orientierung an Schabe



"Bewegungssteuerung von
hexapoden Insekten / Robotern"
von Thorsten Reinhard

Einsatz - Harvester (Finnland)

- Konzipiert für Wald- und Forstarbeiten



"Bewegungssteuerung von
hexapoden Insekten / Robotern"
von Thorsten Reinhard



Probleme

- Neurophysiologie bei Insekten nicht vollständig verstanden
- Unklar, welche Elemente für Gewandtheit und Anpassbarkeit an unbekanntes Terrain verantwortlich sind
- Antriebstechnologien oft zu träge und schwach; Nachbildung von Muskeln (fluidische Muskeln)
- Konstruktion haben oft zu hohes Körpergewicht
Reduktion des Körpergewichts durch Leichtbaustoffe



Referenzen

- Internetseite Tarry II
<http://www.tarry.de/>
- Internetseite WALKNET
<http://www.uni-bielefeld.de/biologie/Kybernetik/research/walk.html>
- Cruse, Dürr et al (2003) „Control of hexapod walking in biological systems“
- Fred Delcomyn (1999) – „Walking Robots and the Central and Peripheral Control of Locomotion in Insects“
- Werner Nachtigall – „Bionik - Grundlagen und Beispiele für Ingenieure und Naturwissenschaftler“, Springer-Verlag, Seite 168 bis 174

Und zum Schluss...

Fragen ?



"Bewegungssteuerung von
hexapoden Insekten / Robotern"
von Thorsten Reinhard