

Sturzvermeidung von zweibeinigen Robotern durch reflexartige Reaktionen

Oliver Höhn
Institut für Regelungstechnik – Universität Hannover
Appelstr. 11, 30167 Hannover
<http://www.irt.uni-hannover.de>

Gliederung

- **Motivation**
- **Falluntersuchungen**
- **Sensorik**
- **Schrittreaktion**
- **Zusammenfassung und Ausblick**

Motivation

Warum Falluntersuchungen bei Robotern?

Prognose für Serviceroboter

- Bis 2005 wird der Einsatz von 2.2 Mio. Servicerobotern erwartet
- Serviceroboter haben mit einem Marktanteil von 2.5 Mrd. \$ mit Industrierobotern gleichgezogen

Stürze beim Menschen

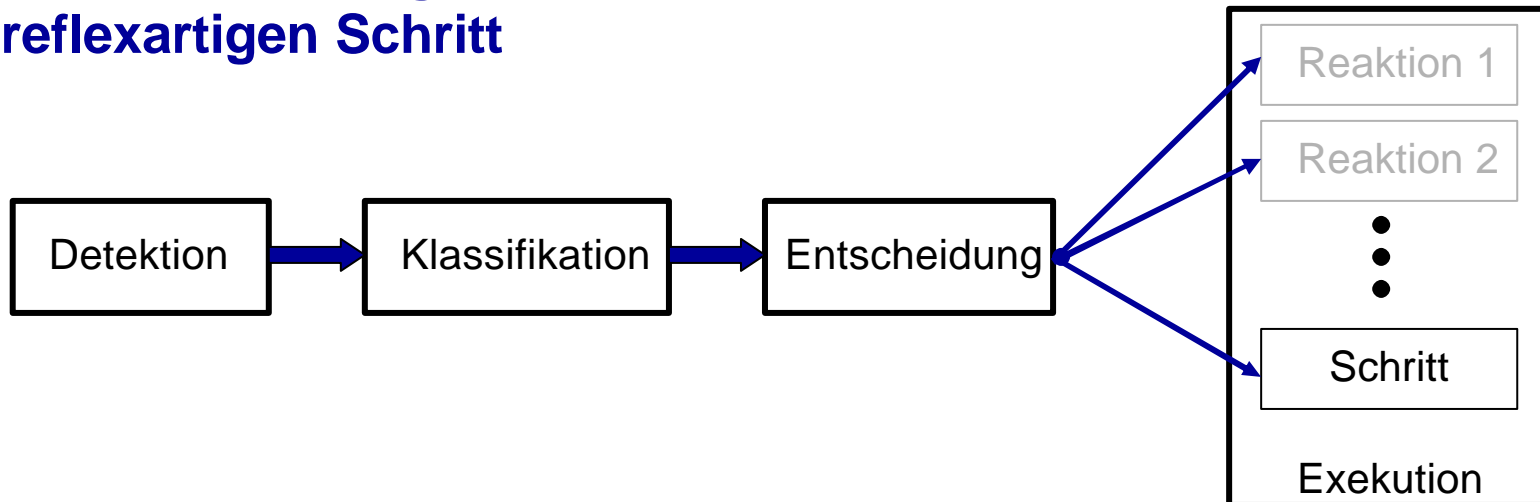
- Jährlich stürzen 2.5 Mio. Menschen in deutschen Haushalten
- Durch Stürze entstehen jährliche Kosten von 8 Mrd. €

Falluntersuchungen

Fragestellungen

- Wie lassen sich Stürze erkennen?
- Welche Reaktionen können einen Fall verhindern?
- Wodurch kann der Schaden bei einem Sturz minimiert werden?

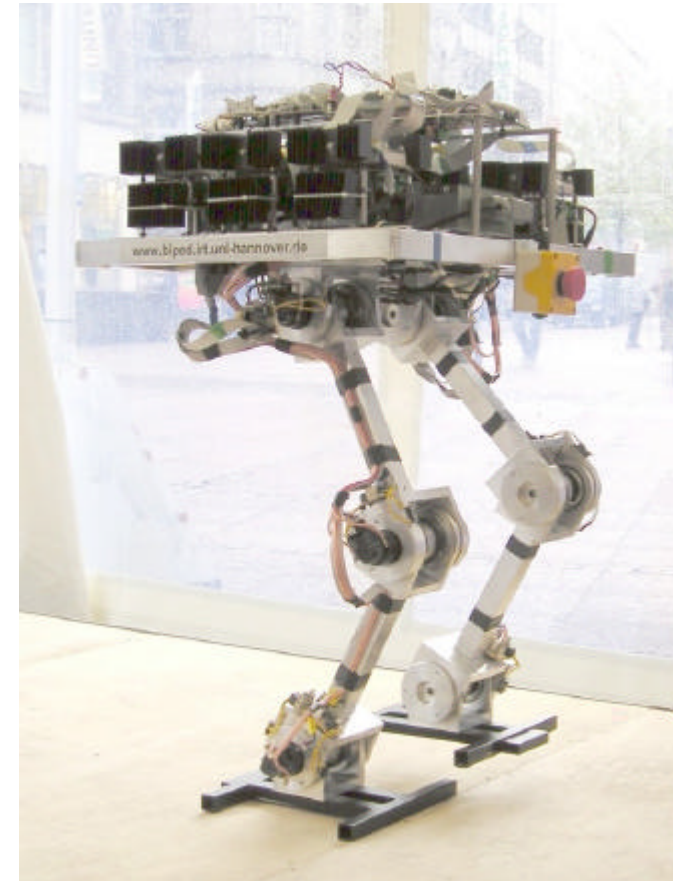
Sturzvermeidung durch einen reflexartigen Schritt



Falluntersuchungen

Laufroboter „BARt“

- Gewicht 25 kg, ca. 80 cm groß
- 3 aktive Freiheitsgrade pro Bein ➡
Bewegung auf sagittale Ebene beschränkt
- DC-Motoren mit Harmonic-Drive Getrieben
- Statisch und dynamisch stabiler Gang, kann Treppen steigen
- Motorola MPC555 Mikrocontroller
- RTOS-UH als Echtzeitbetriebssystem
- Software fast ausschließlich in PEARL
- Operiert bis zu 30 min. vollständig autonom



BARt (Bipedal Autonomous Robot)

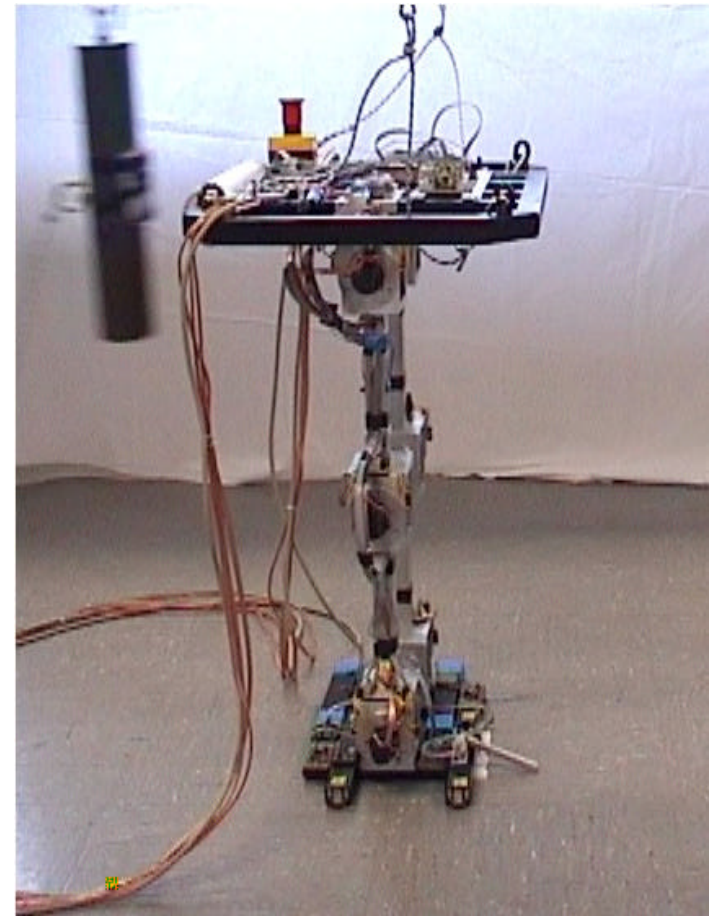
Falluntersuchungen

Versuchsaufbau

- Auslagerung der Elektronik-Komponenten
- Sicherung des Roboters mit Seilen
- Stoßgewicht (2.7 kg) dient zum Einleiten reproduzierbarer Impulse

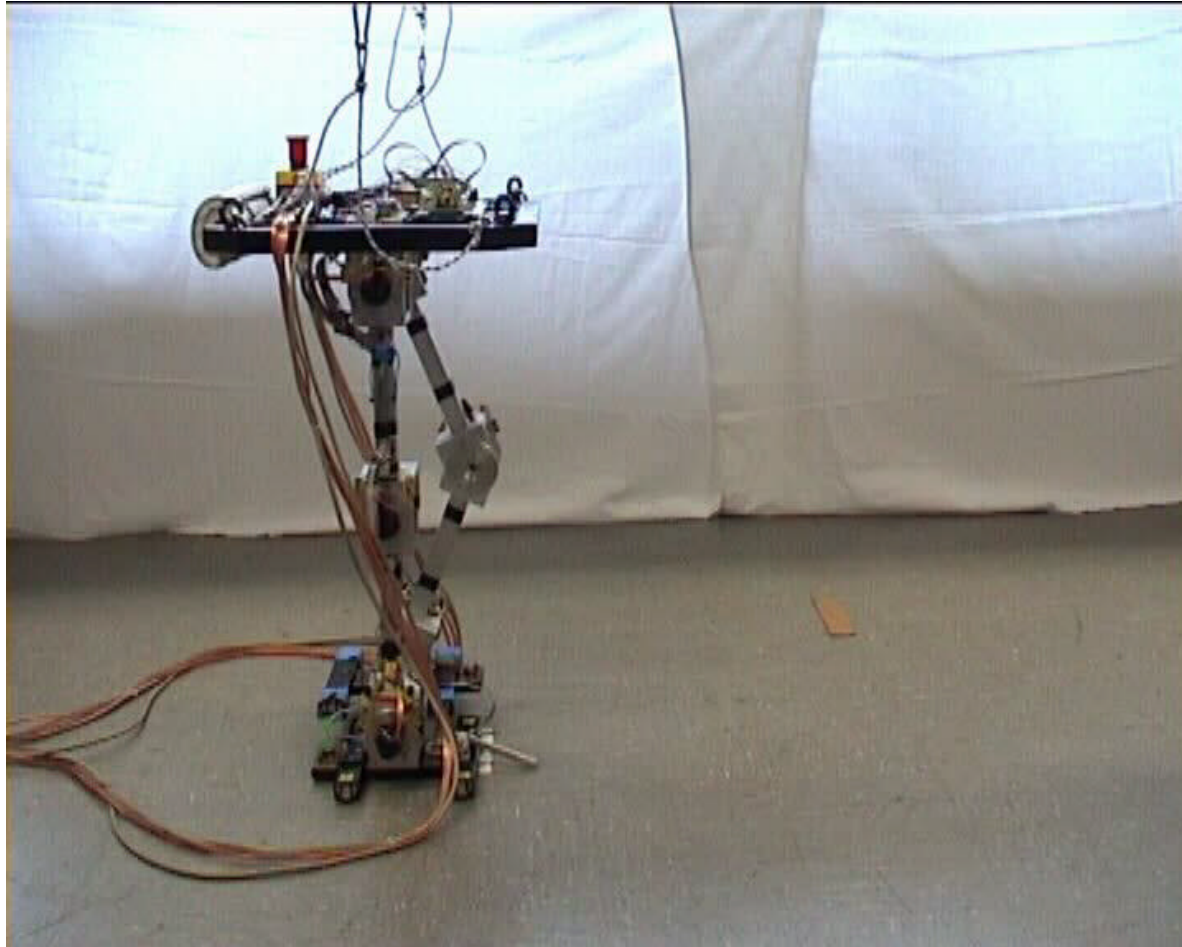
Kennzahlen

- Übertragene Impulse: bis zu 9 kg·m/s
- Stoßzahl: ca. 0,5
- Kippwinkelgeschwindigkeiten: um 60 °/s
- Typ. Stoßdauer: 30 - 50 ms
- Nötige Reaktionszeiten: ca. 0,5 s



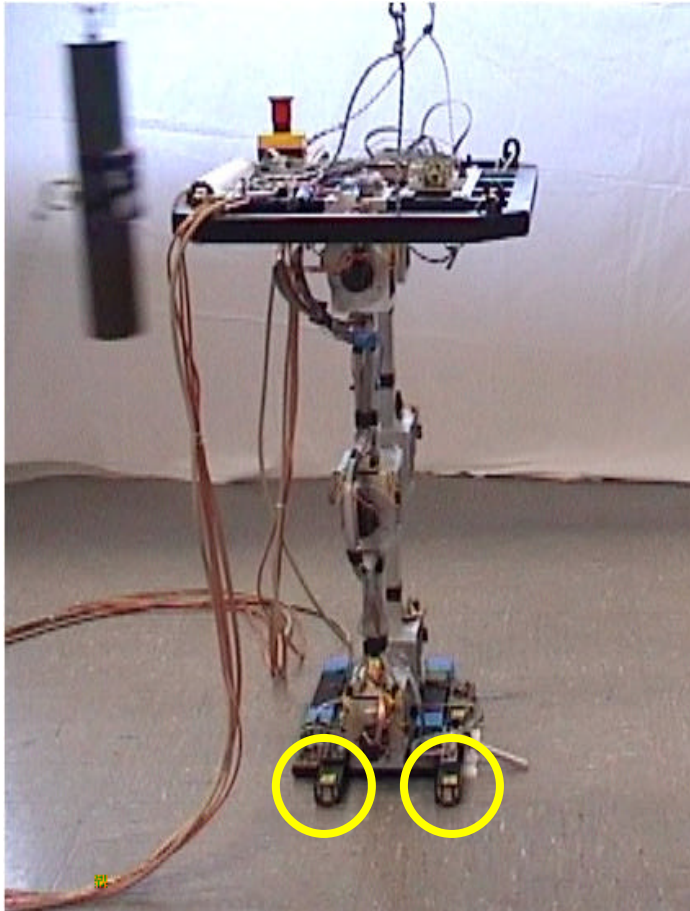
BARt (Bipedal Autonomous Robot)

Falluntersuchungen



Sensorik

Kraftsensoren



Kraftsensoren

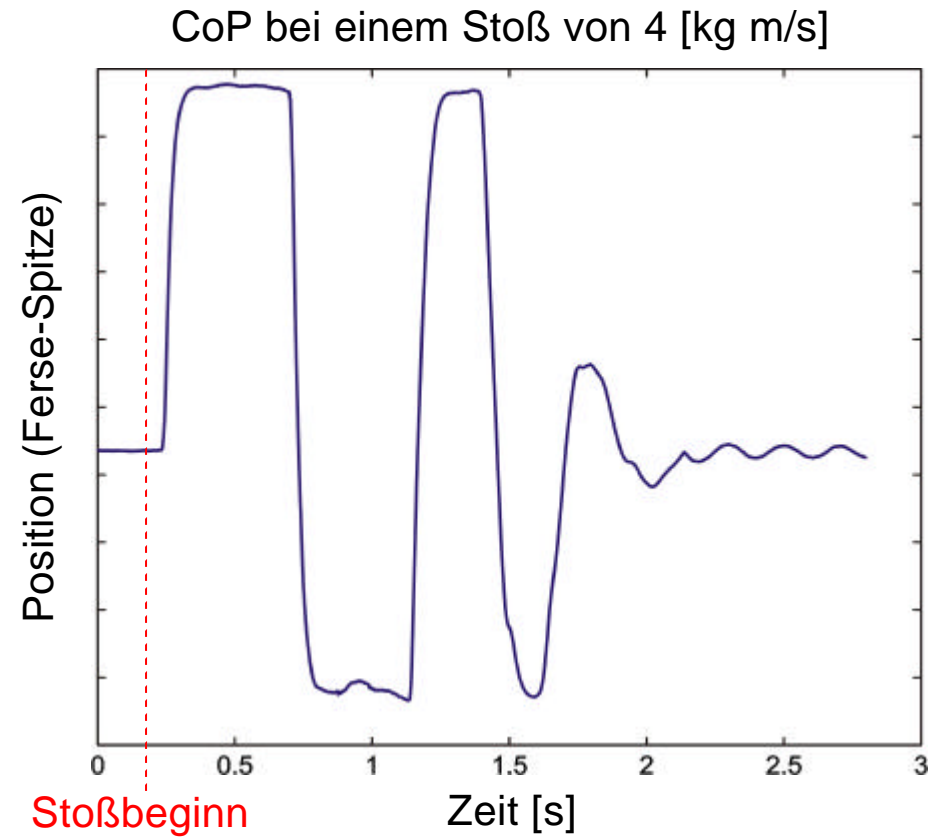
Beschleunigungs-Sensoren

Neigungssensor

Sensorik

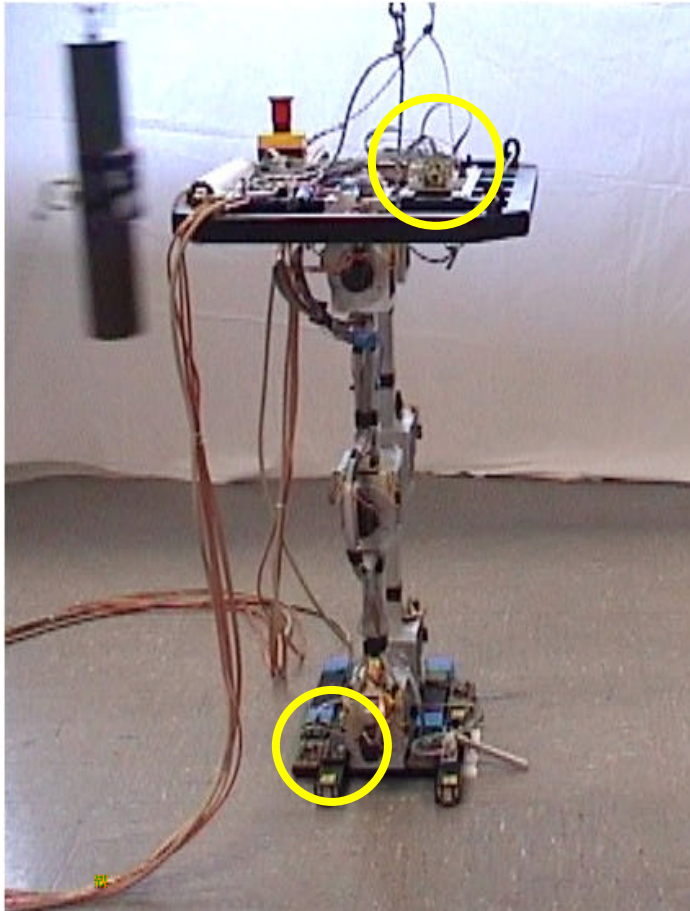
Kraftsensoren

- Vier Wägezellen pro Fuß
- Nennlast je Sensor: 40 kg
- Wandlung der Sensordaten in PWM-Signale
- Auswertung mit der TPU
- Bestimmung des Druckpunktes (CoP) unter dem Fuß



Sensorik

Beschleunigungs-Sensoren



Kraftsensoren

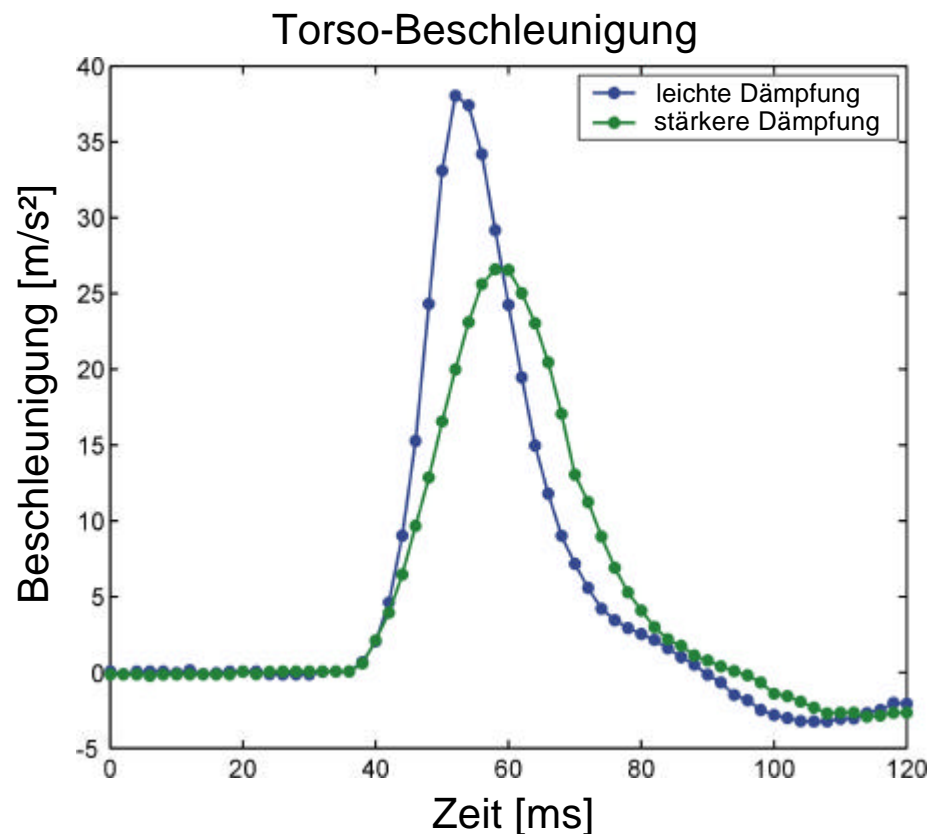
Beschleunigungs-Sensoren

Neigungssensor

Sensorik

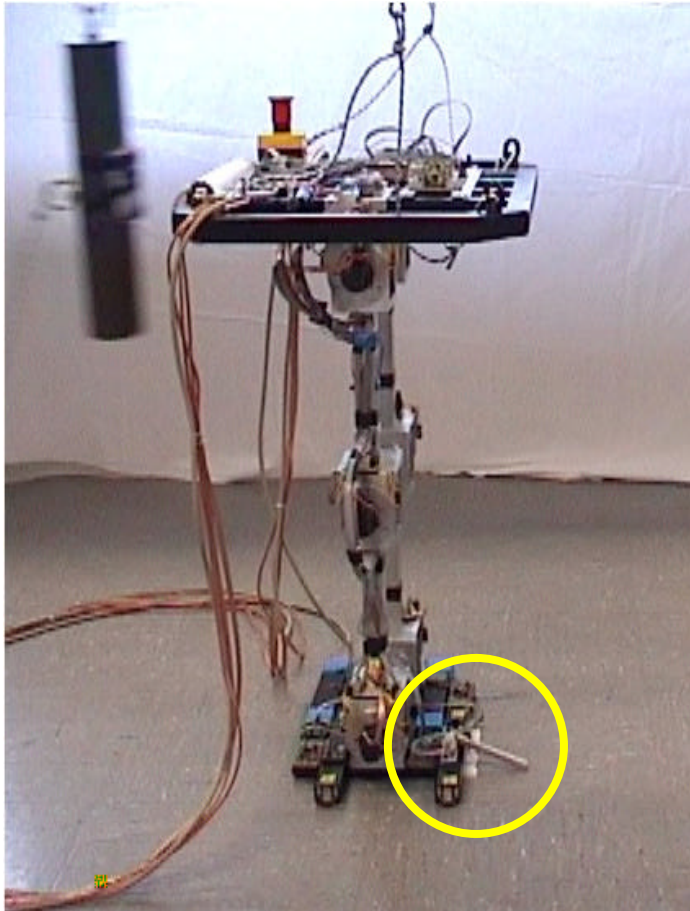
Beschleunigungs-Sensoren

- Sensoren: ADXL 202 bzw. 210
- Messbereich von 2g bzw. 10g
- Messen der Torsobeschleunigung
- Ermitteln des Fuß-Winkels
- Beschleunigungswert wird als PWM übertragen
- Auswerten der Signale mit der TPU



Sensorik

Neigungssensor



Kraftsensoren

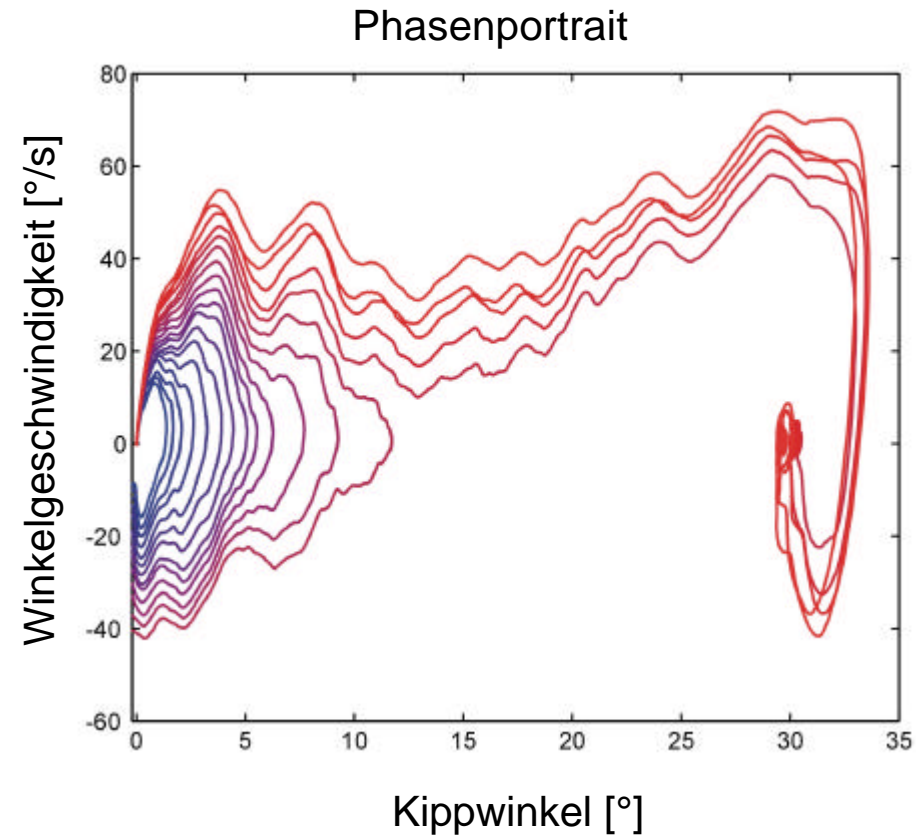
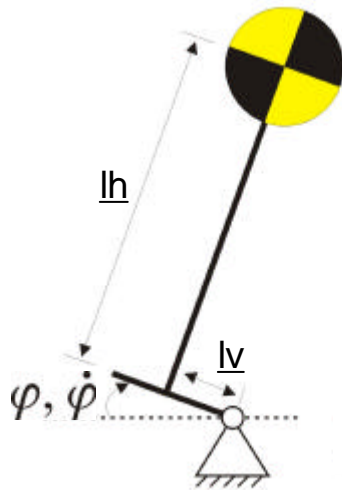
Beschleunigungs-Sensoren

Neigungssensor

Sensorik

Neigungssensor

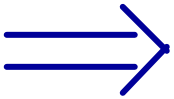
- Messung mit Präzisions-Potentiometer
- 12 bit A/D-Wandler
- Serielle Anbindung an QSPI



Sensorik

Ergebnisse

- Kippgeschwindigkeit mit CoP nicht zu bestimmen
- Zuverlässige Ermittlung der Torsogeschwindigkeit durch Beschleunigungssensoren
- Neigungssensor ermöglicht genaue Zustandsbestimmung

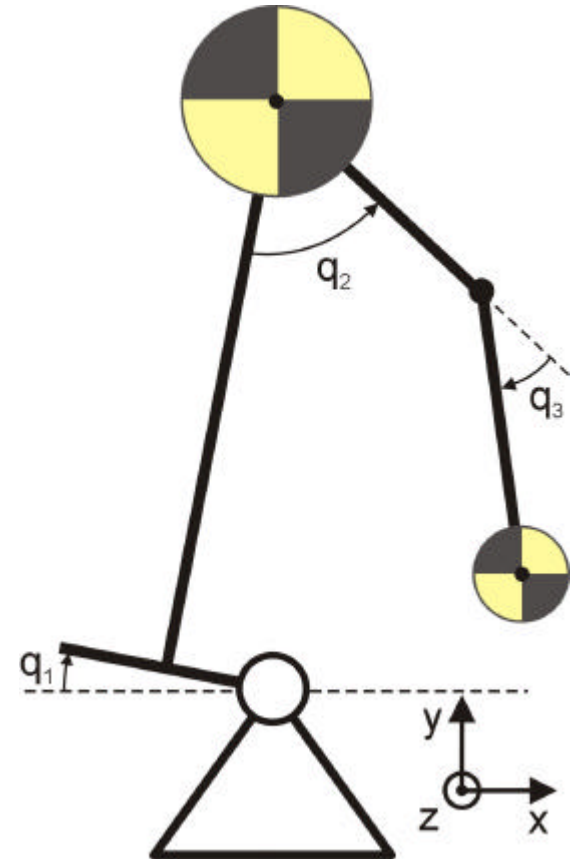


- CoP ist notwendiges Kriterium zur Schrittausführung
- Reflexauswahl durch Informationen von Beschleunigungs- und Neigungssensor
- Detektionszeit typ. 80 ms

Schrittreaktion

Bahnplanung

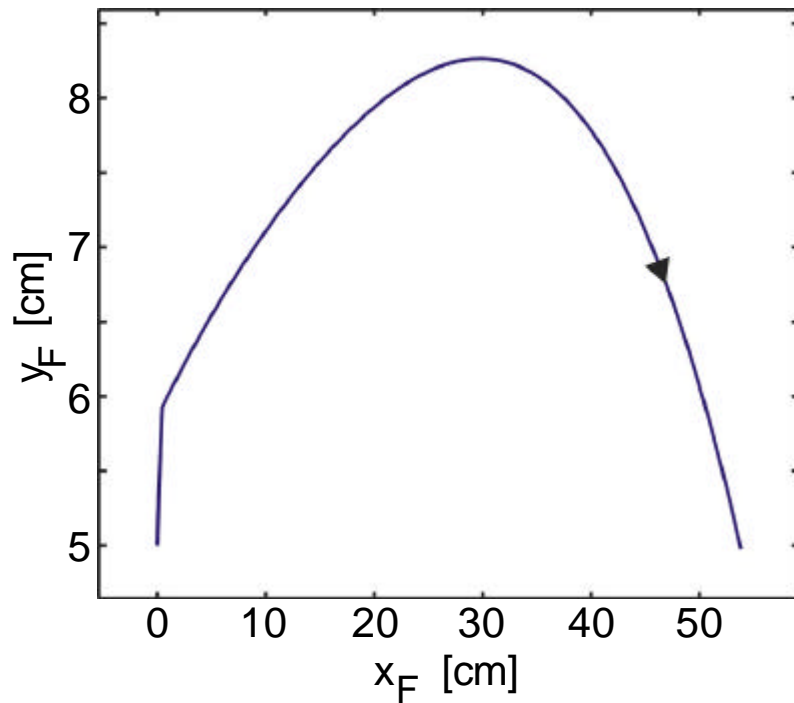
- Vereinfachtes Ersatzmodell
 - 3 Freiheitsgrade, 2 aktiv
 - 2 konzentrierte Massen
 - Torso 20 kg
 - Fuß 5 kg
- Erzeugung der Bewegungsgleichungen über LaGrange
- Bewegungssimulation mit Matlab/Simulink
- Trajektorien werden mit Gütefunktion bewertet
- Optimierung durch Simplex-Algorithmus



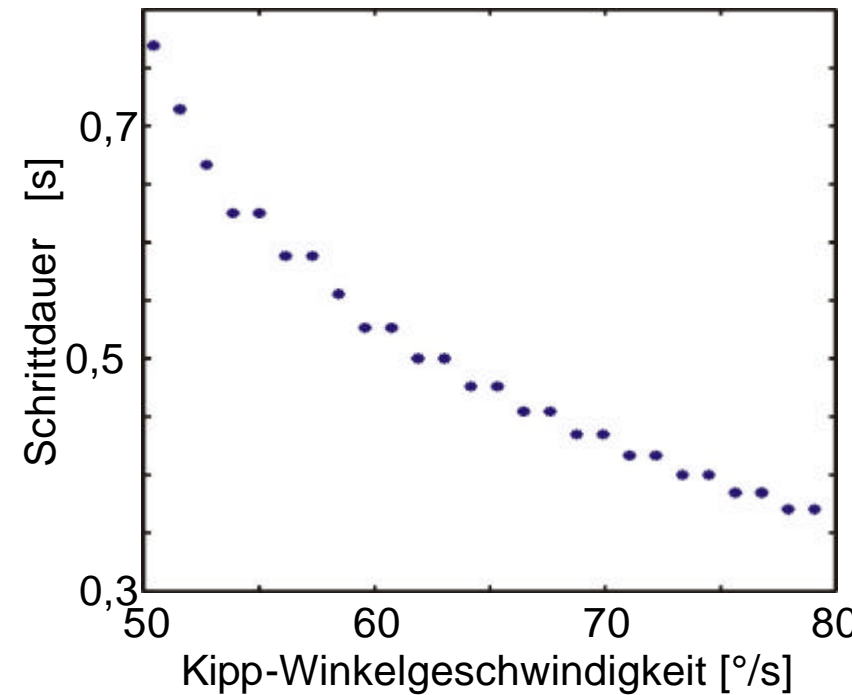
Schrittreaktion

Bahnplanung

Schritt-Trajektorie

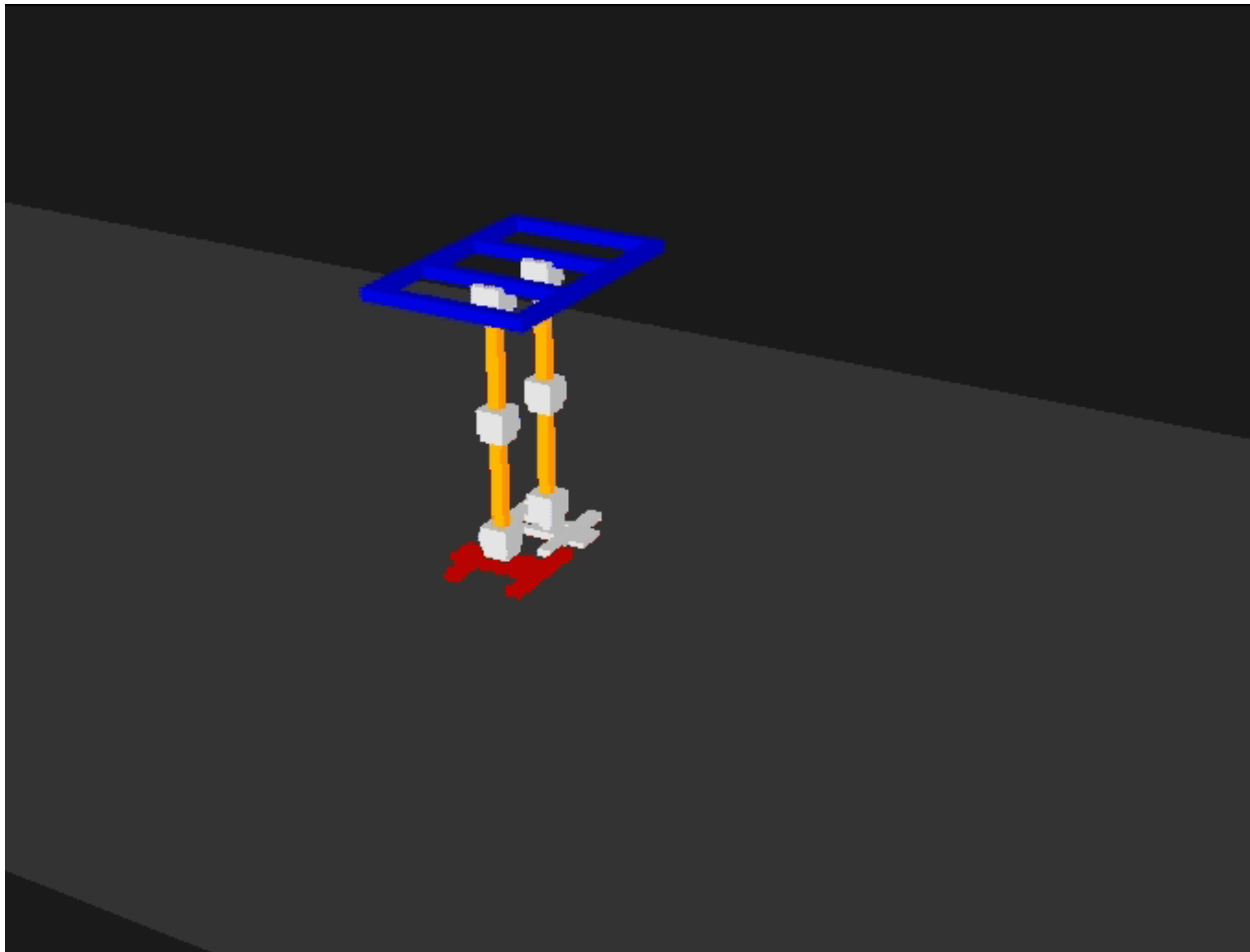


Schritt-Dauer



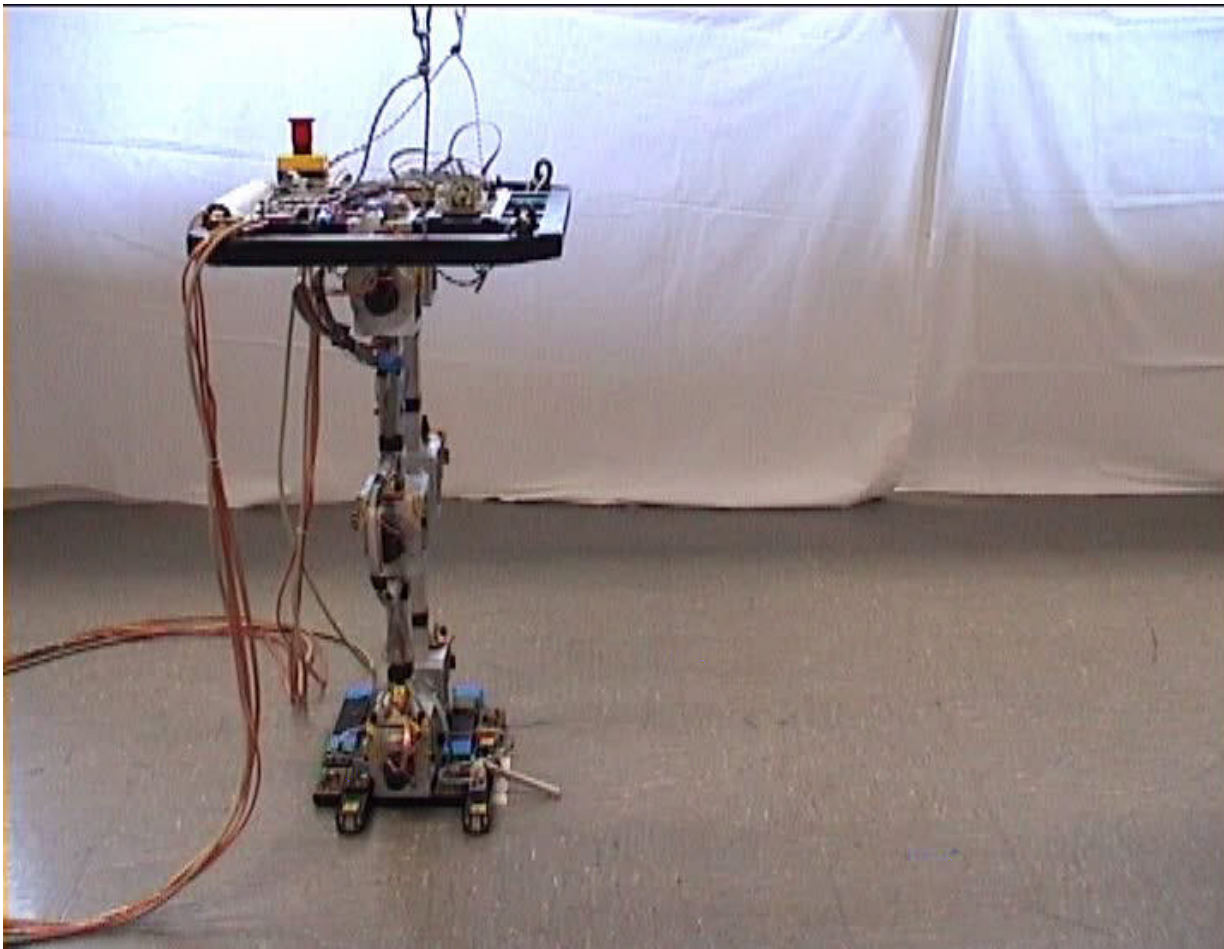
Schrittreaktion

Simulierter Ausfallschritt



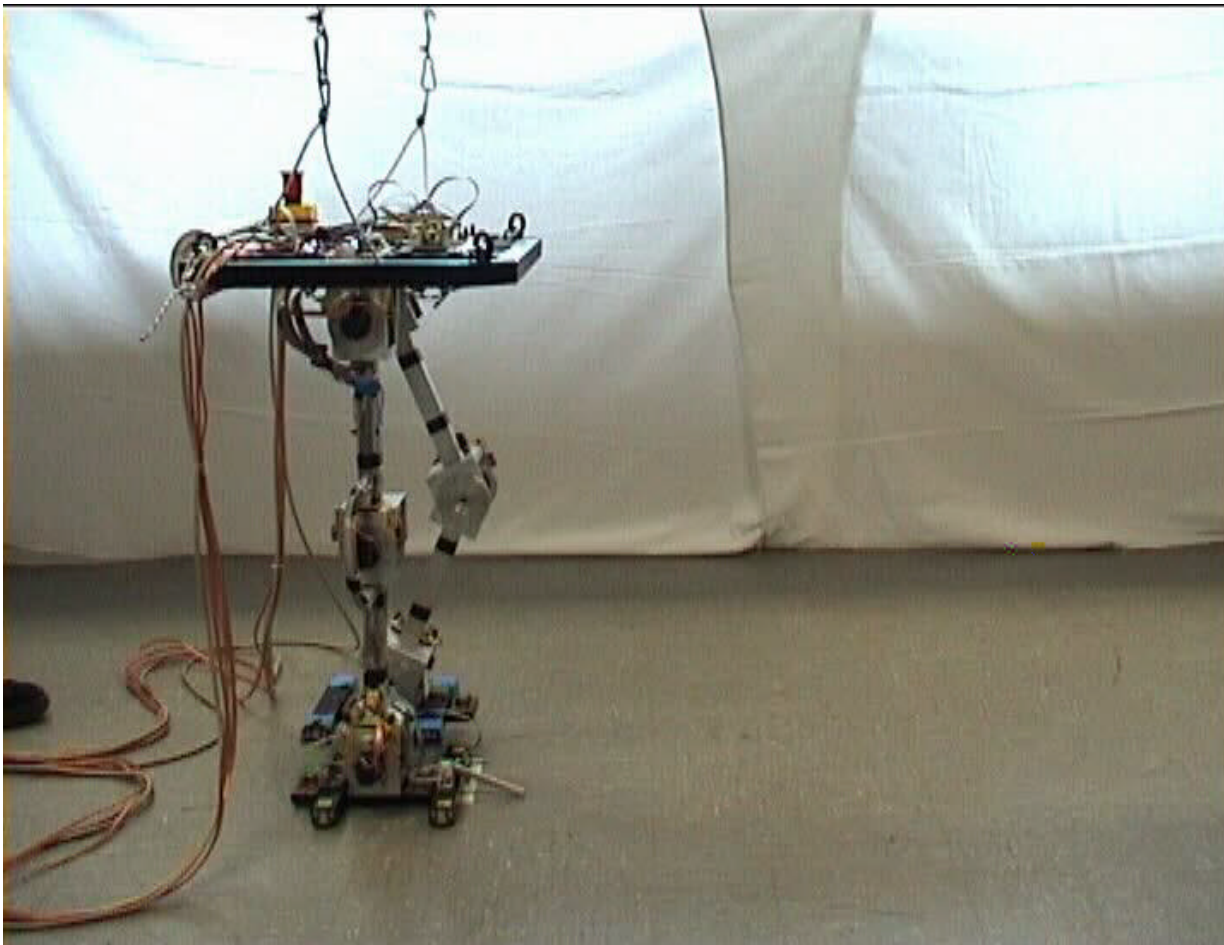
Schrittreaktion

Reaktion bei einem Stoß



Schrittreaktion

Reaktion bei einem leichten Schieben



Zusammenfassung und Ausblick

Zusammenfassung

- Zustandsdetektion nach einem Stoß sehr zuverlässig
- Stabilisierung des Roboters gelingt bei Stößen von bis zu $8 \text{ kg}\cdot\text{m/s}$
- Seitliches Kippen kann nicht aktiv verhindert werden

Ausblick

- Ersetzen des Neigungssensors durch einen Drehratensensor
- Untersuchung von Reaktionen bei Robotern mit mehr Freiheitsgraden

Dipl.-Ing. Oliver Höhn,
Institut für Regelungstechnik
Universität Hannover
E-Mail: hoehn@irt.uni-hannover.de