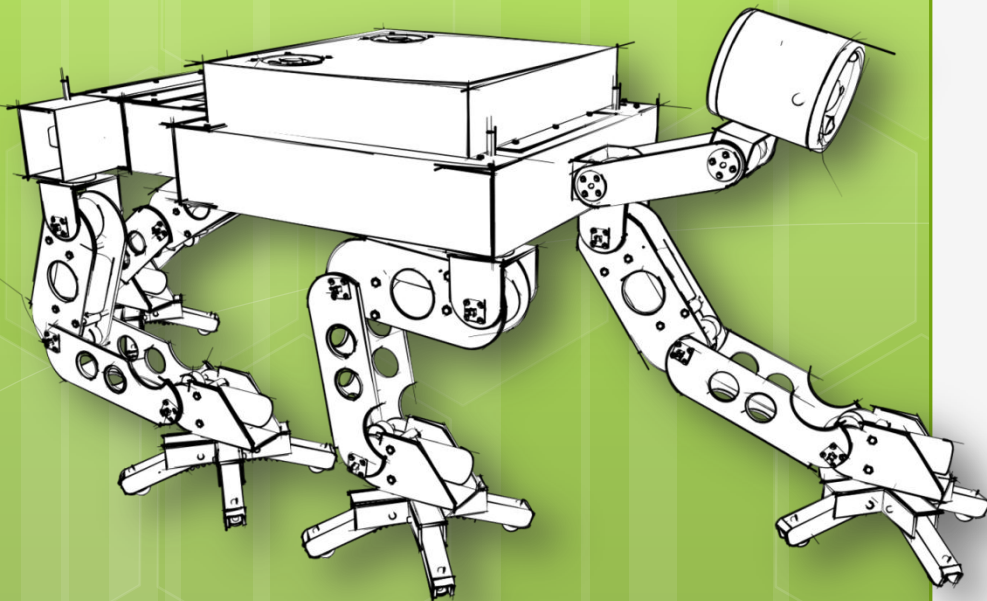


Björn Bettzüge  
10.11.2011



# Foothold Selection for Quadruped Locomotion

Concepts and Visions to  
Learn a Safety Walk on  
Rough Terrain



## Autonomous Mapping, Exploration and Evasion

An autonomous quadruped  
Robot for Hazard Control  
(USAR)

# Agenda

|            |                                                                                                 |
|------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Einführung | <ul style="list-style-type: none"><li>• Idee &amp; Motivation</li><li>• Problematik</li></ul>   |
| Überblick  | <ul style="list-style-type: none"><li>• Referenzen</li><li>• Technologien</li></ul>             |
| Ausblick   | <ul style="list-style-type: none"><li>• Lösungsansatz</li><li>• Risiken &amp; Chancen</li></ul> |



## Einführung

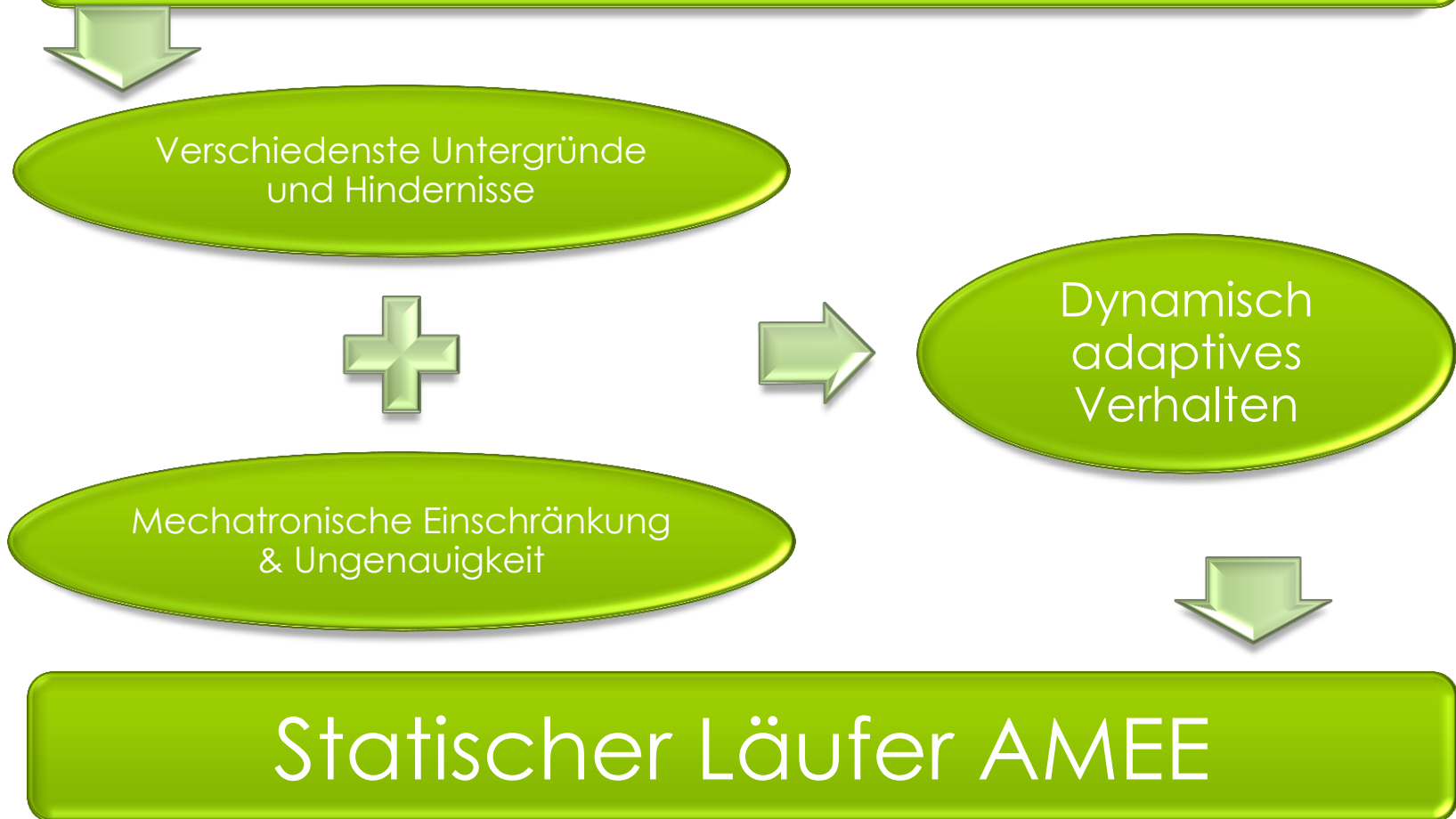
Skizze der Ideen, Motivation,  
Problemstellung

# Einsatzszenarien



# Autonomer Vierbeiniger Läufer

Autonome Mobilität in unebenem Gelände  
In vielen Situationen Einsetzbar



# Sicher Laufen lernen

## Gute Trittposition

Kinematisch  
erreichbar

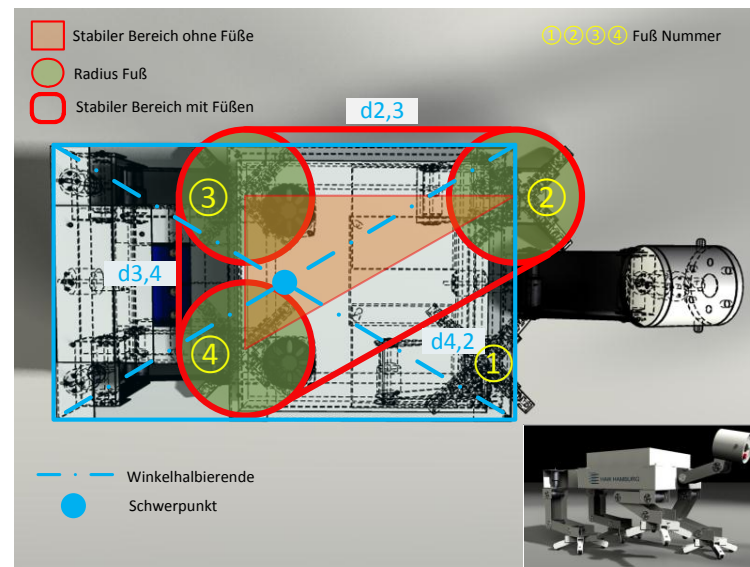
Minimieret  
Rutschen

Kollisionsfrei

Voranbringend

Stabilität  
gewährleistend

- ▶ statische oder quasi-statische Fortbewegung
- ▶ COG bzw. ZMP [6] immer im Stabilitätspolygon



- ▶ Meist im Konflikt zueinander



## Überblick

global Player, Relevante  
Technologien

# Referenzen

# Referenzen - Literaturfundus



Suchbegriffe:

- Autonomous Robots
- Artificial Intelligence
- Machine Learning, etc.



IEEE-Konferenzen

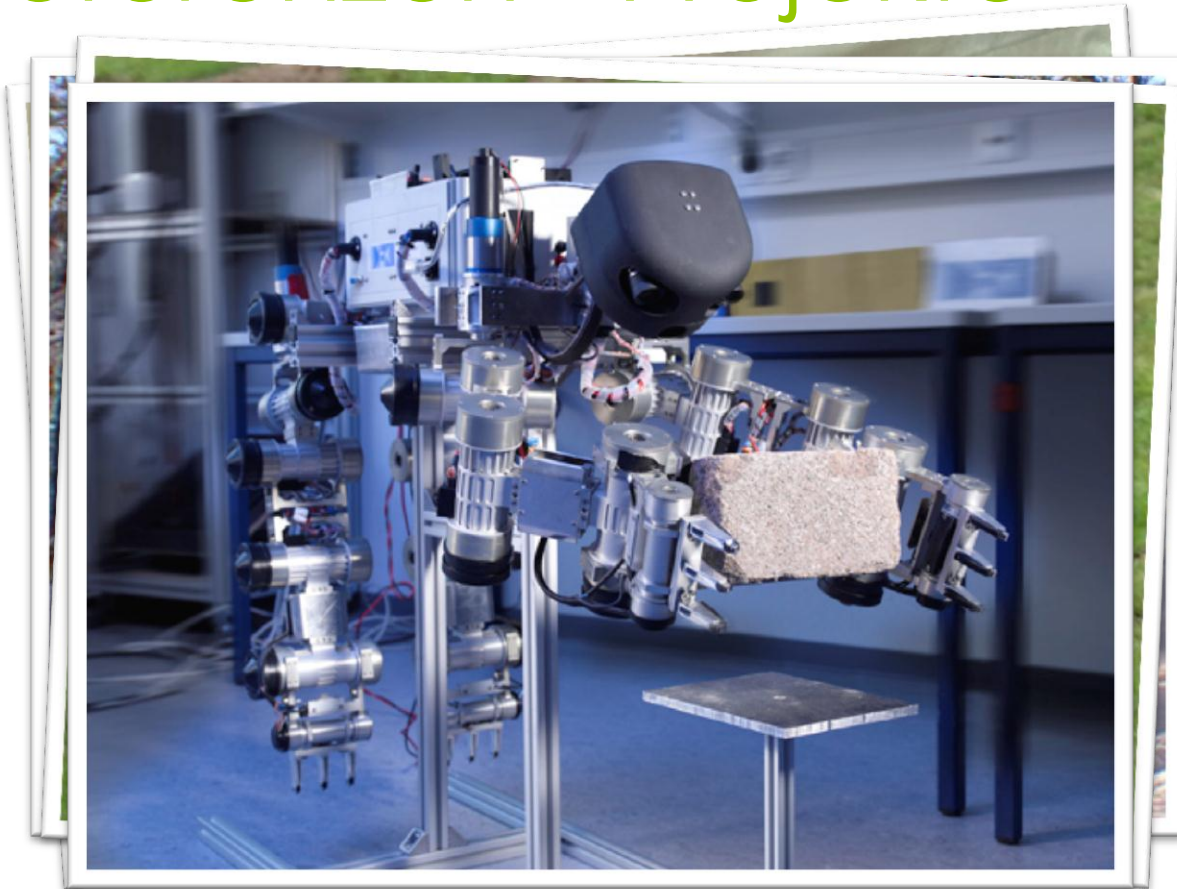
ICRA, IROS,  
ICMLC,...



Springer Press:

- Autonomous Robots
- KI – Künstliche Intelligenz
- Machine Learning etc.

# Referenzen - Projekte



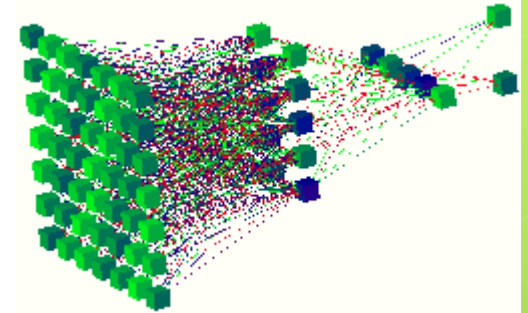
[Kal11]  
[Rai08]  
[Hil06]  
[DFKI]

# Technologie (1)

Maschinelles Lernen

# Maschinelles Lernen

- Klassifikatoren
  - Clustering, SVM
- Neuronale Netze
- Probabilistische Verfahren
  - Bayes'sche Kombinatorik, Hidden Markov Model
- Reinforcement Learning

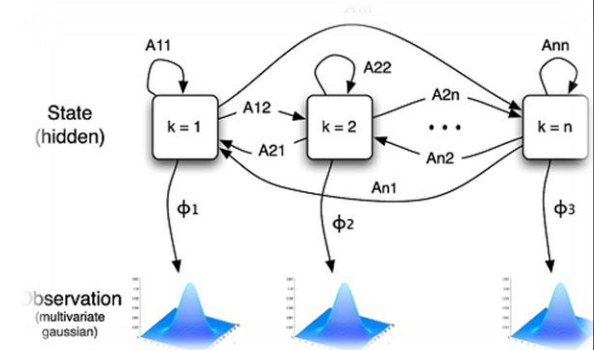


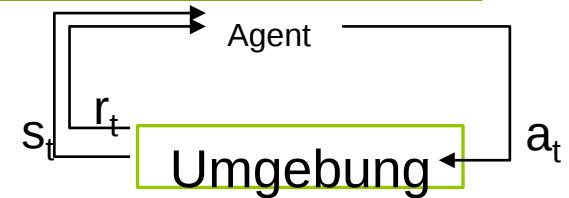
# Neuronale Netze

- Überwachtes Lernen
- Klassifikator / Funktionsapproximator
- Trainingsphase:
  - Probedaten + gewünschtes Ergebnis
  - Anpassung der Parameter abhängig der Abweichung (z.B. Back Propagation)
- Testphase:
  - Klassifizierungsqualität aus Testdaten
- Herausforderungen:
  - Geeignete Parameter, Menge & Qualität d. Daten

# Bayes Lernen

- Probabilistisches Verfahren
- Aufgrund beobachteter Effekte zurück auf Ursache kombinieren
- W.keit einer Hypothese berechnen:
  - $$P(C|E) = \frac{P(E|C) \cdot P(C)}{P(E)}$$
- Weiterführend: Hidden Markov Model
  - Aufgrund beobachteter Merkmale über W.keitsverteilung auf inneren Zustand schließen



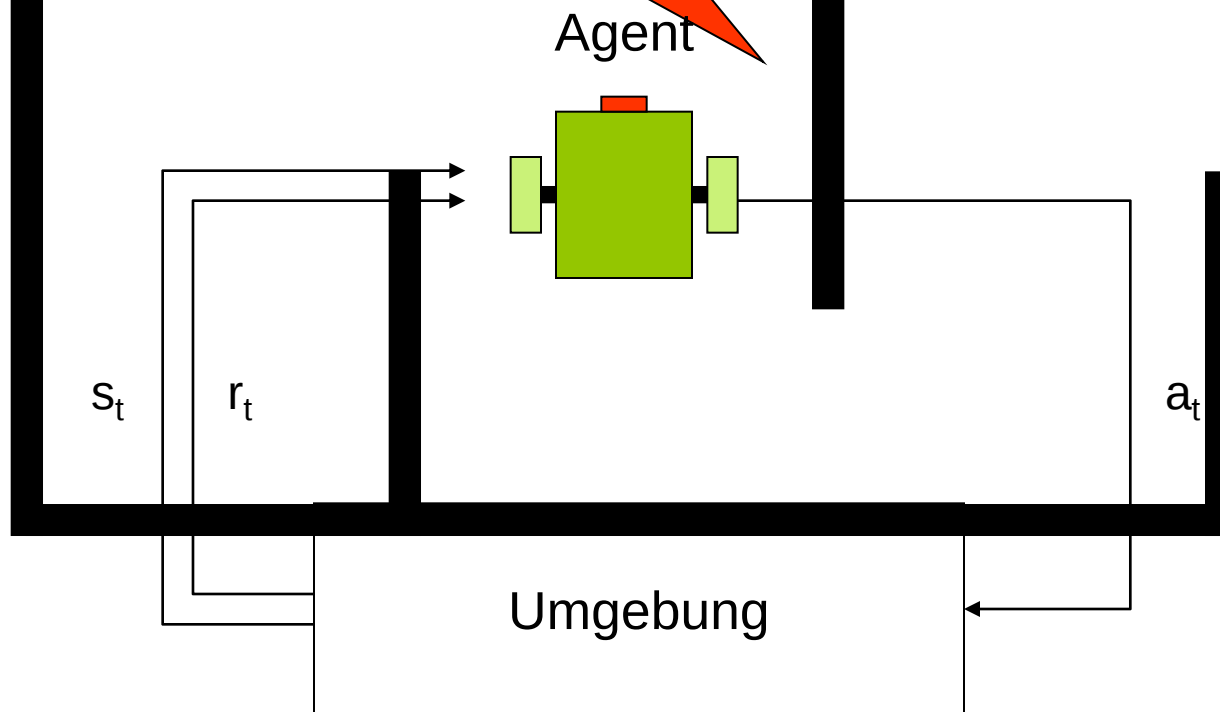


# Reinforcement Learning

- Lebewesen lernen durch Interaktion mit ihrer Umwelt.
- Anpassung des Verhaltens durch Feedback der Umwelt beeinflusst
- „Belohnung“ wünschenswerter und „Bestrafung“ schlechter Folgezustände
- Supervising nicht notwendig – Handlung wird „bewertet“
- Abbildung dieser Fähigkeit auf Maschinelle Lernen -> Reinforcement Learning.

# RL - Lernaufgabe

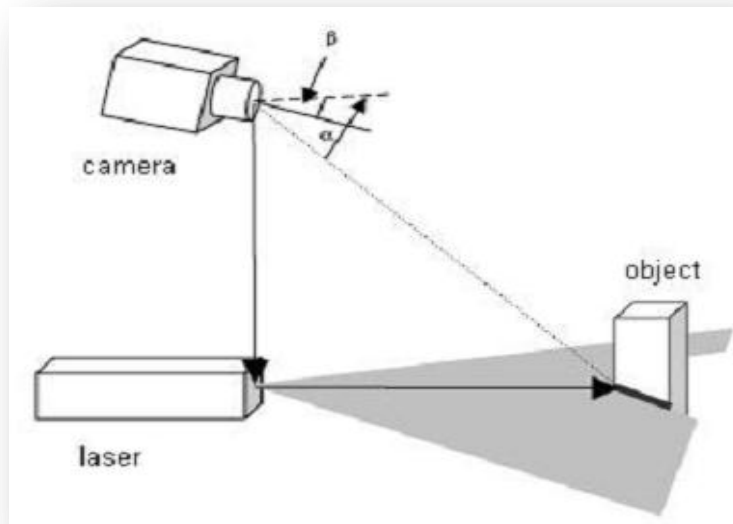
- Ziel: Möglichst ~~auf sich selbst in der Umgebung~~ agieren
- Entspricht Maximierung der Belohnungssequenz  $R_t$



# Technologie (2)

Bodenklassifizierung auf Laufeigenschaft

# Laser Stripe Scan



Laser & IR-Kamera

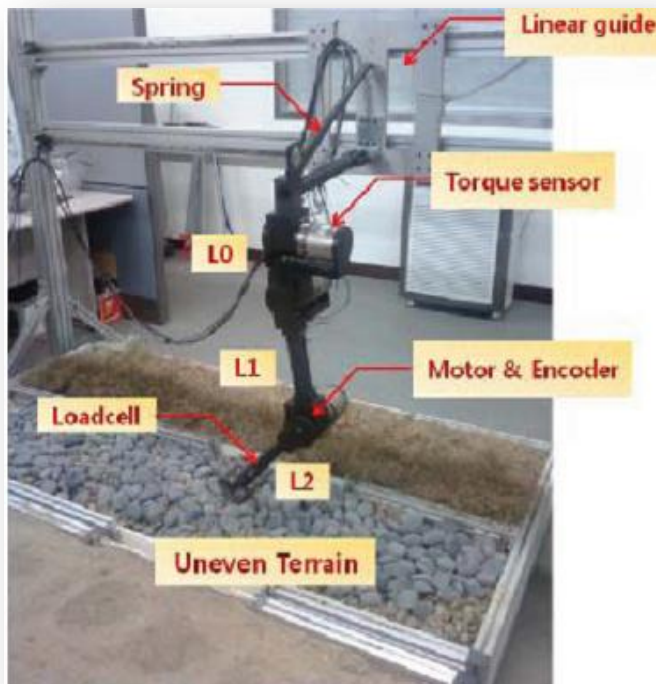
Tiefen- /  
Breiten-Bild

Ortsfrequenz-  
gang

Klassifizierung  
mittel PNN

[LuL09]

# Propriozeption



[Kim10]  
[Tra11]

Körper-  
wahrnehmung

Drehmoment,  
Kraft, Strom,...

Klassifizierung  
mittels SVM,  
HMM, NN

Anpassung  
durch MMC, RL

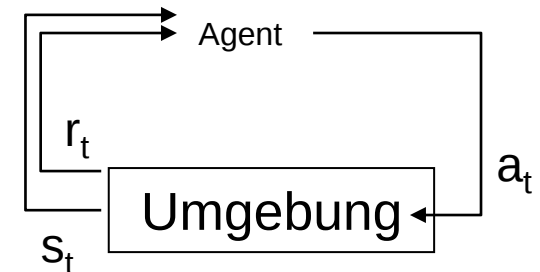
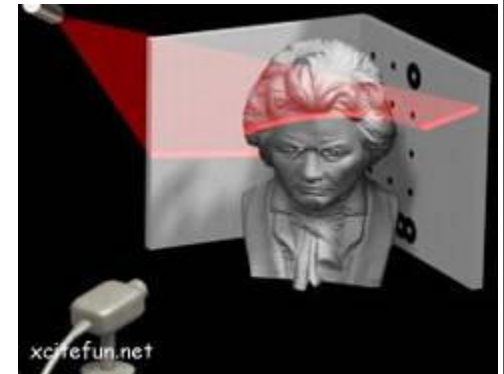


## Ausblick

Eigene Lösungsansätze,  
Risiken & Schnittstellen zu  
anderen AW-Projekten

# Der „Masterplan“

- Mobilitätscharakterisierung mit RL
  - Scanne Boden / Umgebung (Ortsfrequenzgang, Tiefen- & Breitenbild,...)
  - Schätze Mobilitätseigenschaft
  - Vorteilhaftesten Schritt ausführen
  - Messe propriozeptive Daten
- Gib Feedback (Reward) um zu lernen



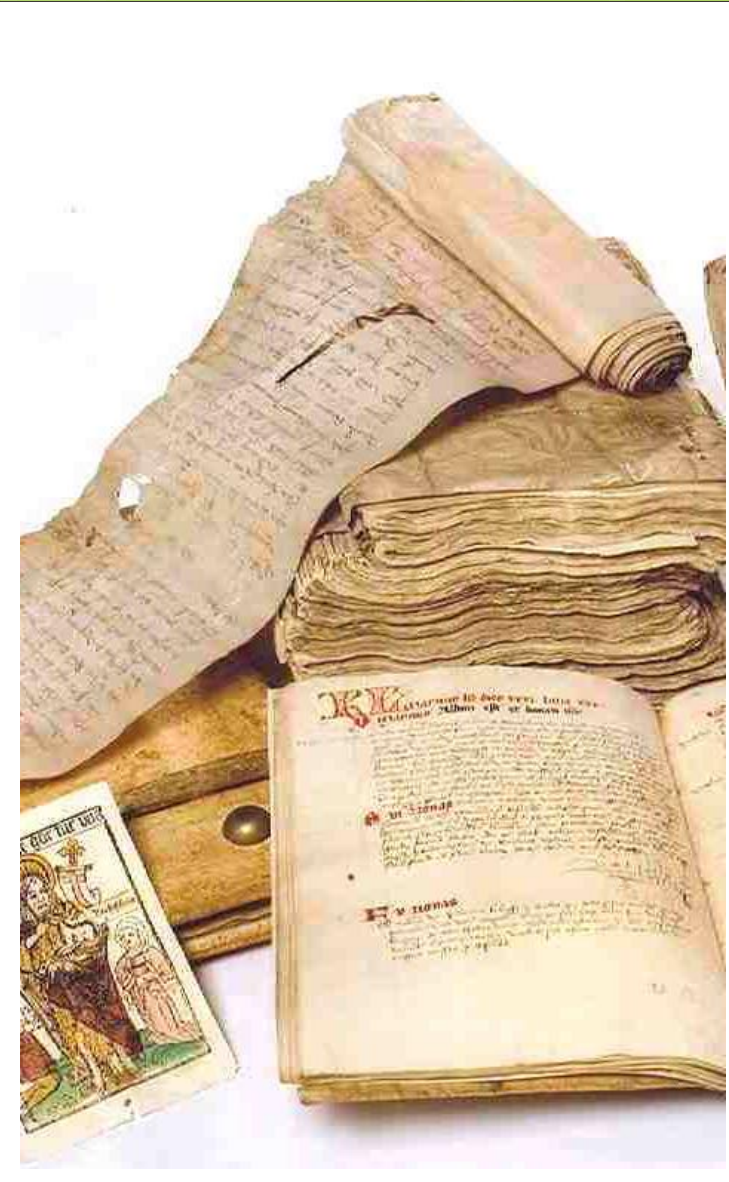
# Risiken und Chancen

## Risiken

- Zeit
  - z.B. durch Erstellen von Simulationsumgebungen
- Finanzierung
- Lernalgorithmen
  - Ineffizient oder zu teuer
  - Nicht realisierbar

## HAW related Works

- Haushaltsroboter
  - Meisel & Co.
- Rescuesimulation
  - Thiel-Clemen & Co.
- RoboCup Rescue Projekte bei MT
  - Frischgesell & Co.



## Quellen

Literatur,  
Bildquellen

# Literatur

- [Run11] **Ruhnke, Jan. 2011.** *Entwicklung und Realisierung eines vierbeinigen USAR-Roboter-Laufsystems. Bachelor-Thesis.* Hamburg : HAW Hamburg, 2011
- [Mur08] **Murphy, Robin R., et al. 2008.** Search and Rescue Robotics. [Buchverf.] Bruno Siciliano und Khatib Oussama. *Springer Handbook of Robotics.* Berlin : Springer, 2008, S. 1151-1173.
- [Her08] **Hertzberg, Joachim und Chatila, Raja. 2008.** AI Reasoning Methods for Robotics. *Handbook of Robotics.* Berlin : Springer, 2008.
- [Tra11] **Trautmann, E., Ray, L. 2011.** Mobility characterization for autonomous mobile robots using machine learning. *Autonomous Robots.* 2011, 30, S. 369-383.
- [Rai08] **Raibert, Marc, et al. 2008.** *BigDog, the Rough-Terrain Quaduped Robot.* Waltham, MA : Boston Dynamics, 2008.
- [Kal11] **Kalakrishnan, M., et al. 2011.** learning, planning and control for quadruped locomotion over challenging terrain. *International Journal of Robotics Research.* 2011, 30
- [Hil06] **Hilljegerdes, J. et al. 2006.** The Construction of the Four Legged Prototype Robot ARAMIES. *Climbing and Walking Robots.* Berlin Heidelberg : Springer, 2006.
- [LuL09] **Lu, Liang, et al. 2009.** *Terrain Surface Classification for Autonomous Ground Vehicles Using a 2D Laser Stripe-Based Structured Light Sensor .* St. Louis : IEEE/RSJ Intern. Conf. on Intelligent Robots and Systems, 2009.

# Literatur

[Dug96] **Dugad, R. und Desai, U. 1996.** *A tutorial on hidden Markov models.* Bombay : Indian Institute of Technology, 1996.

[Kim10] **Kim, Kisung, et al. 2010.** *Performance Comparison between Neural Network and SVM for Terrain Classification of Legged Robot.* Taipei : SICE Annual Conference, 2010.

[Tok08] **Tokic, Michel. 2008.** *Reinforcement Learning an Robotern mit neuronalen Netzen. Masterthesis.* Weingarten : Hochschule Ravensburg-Weingarten, 2008.

[Hor10] **Hornung, Armin, Bennewitz, Maren und Strasdat, Hauke. 2010.** *Efficient vision-based navigation. Autonomous Robots.* April 2010, 29, S. 137-149.

# Bildquellen

- [1] [www.eduard-heindl.de/hannover/hannover.html](http://www.eduard-heindl.de/hannover/hannover.html)
- [2] siehe [Tra11]
- [3] [www.seoonma.de/preise/website-analyse/](http://www.seoonma.de/preise/website-analyse/)
- [4] [www.iberger-duo.de/html/gastebuch.html](http://www.iberger-duo.de/html/gastebuch.html)
- [5] [www.ieee.org](http://www.ieee.org)
- [6] [www.staatsarchiv.bs.ch](http://www.staatsarchiv.bs.ch)
- [7] Projekt AMEE
- [8] [www.springer.com](http://www.springer.com)



Vielen Dank  
für die  
Aufmerksamkeit

AMEE ist ein Projekt von Studenten  
der HAW Hamburg



Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg  
*Hamburg University of Applied Sciences*

Vielen Dank an die Materialsponsoren



***Distrelec***



Ebenso ein Dank an die betreuenden Professoren  
G. Klemke & A. Meisel sowie an unsere Ehefrauen