

# Advanced Robot Perception

Fortgeschrittene Konzepte der Wahrnehmung für  
Robotersysteme

Georg von Wichert, Siemens Corporate Technology

# Wer bin ich?

Dr.-Ing. Georg von Wichert

Studium der Elektrotechnik, TU Darmstadt

Promotion in Regelungstechnik/Robotik, TU Darmstadt



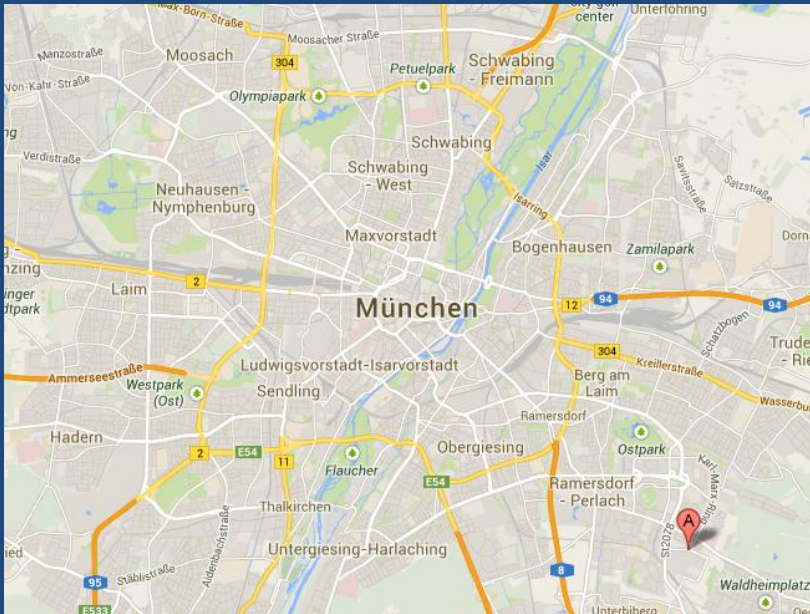
Thema: Lernende visuelle Wahrnehmung für mobile Roboter

Link zur TU: [Institute for Advanced Study in Garching](#)

# Wer bin ich?

Dr.-Ing. Georg von Wichert

Heute bei Siemens Corporate Technology,  
Robotics, Autonomous Systems & Control







Wer sind Sie?

Siemens Corporate Technology | Oktober 2014

# Das Forschungs- und Entwicklungs-Center

# Siemens gliedert sich in 4 Sektoren: Industry, Energy, Healthcare und Infrastructure & Cities

Siemens: Daten und Fakten Geschäftsjahr 2013

Siemens Sektoren				Kennzahlen GJ 2013
Industry	Energy	Healthcare	Infrastructure & Cities	
<b>Divisionen:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Industry Automation</li> <li>Drive Technologies</li> <li>Customer Services</li> </ul>	<b>Divisionen:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Power Generation</li> <li>Wind Power</li> <li>Energy Service</li> <li>Power Transmission</li> </ul>	<b>Divisionen:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Imaging &amp; Therapy Systems</li> <li>Clinical Products</li> <li>Diagnostics</li> <li>Customer Solutions</li> </ul>	<b>Divisionen:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Rail Systems</li> <li>Mobility &amp; Logistics</li> <li>Low and Medium Voltage</li> <li>Smart Grid</li> <li>Building Technologies</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li><b>Umsatz:</b> ~€ 76 Mrd.</li> <li><b>Standorte:</b> in 190 Ländern</li> <li><b>Mitarbeiter:</b> ~362.000</li> <li><b>FuE-Ausgaben:</b> ~€ 4,3 Mrd.</li> <li><b>FuE-Ingenieure:</b> ~29.800</li> <li><b>Erfindungen:</b> ~8.400</li> <li><b>Aktive Patente:</b> ~60.000</li> </ul>
 <p>~€ 19 Mrd.<sup>1)</sup></p>	 <p>~€ 27 Mrd.<sup>1)</sup></p>	 <p>~€ 14 Mrd.<sup>1)</sup></p>	 <p>~€ 18 Mrd.<sup>1)</sup></p>	
<b>Zentrale Funktionen</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Corp. Finance</li> <li>Corp. Technology</li> <li>Corp. Development</li> <li>...</li> </ul>				
<div>Corporate Technology</div>				

1) Umsatz im GJ 2013

# Siemens – ein Pionier in einer sich schnell verändernden Welt

Siemens: Umfeld, Wettbewerb und Strategie





# CT entwickelt High-Impact-Technologien mit Fokus auf Kundennutzen

Beispiele für Entwicklungsprojekte von CT

Aktuelle Beispiele	Der Beitrag von CT
 <p><b>Biograph mMR</b> Das 1. kombinierte PET/MR-System der Welt</p>	 <ul style="list-style-type: none"> <li>• Mitentwicklung der PET-Detektoren</li> <li>• Frequenzfilter für Gammastrahlung</li> <li>• Image Stitching</li> </ul>
 <p><b>Windpark-Optimierung</b> Mehr Ausgangsleistung ohne Hardware-Investition</p>	 <ul style="list-style-type: none"> <li>• Simulation kompletter Windparks zur Minimierung von Turbulenzen</li> <li>• Prognosemodell für Wetter und Leistung</li> </ul>
 <p><b>Allgäuer Überlandwerke</b> Nationales Smart Grid-Pilotprojekt</p>	 <ul style="list-style-type: none"> <li>• SO EASY Software zum Ausgleich von Energiebedarf und -produktion</li> <li>• Systemintegration von Elektrofahrzeugen</li> </ul>
 <p><b>Electrolyzer</b> Energiespeicher-Prototyp zur Kommerzialisierung an Industry transferiert</p>	 <ul style="list-style-type: none"> <li>• Funktionsfähiger H<sub>2</sub>-Hydrolyse-Prototyp</li> <li>• PEM-Technologie im Umkehrverfahren</li> <li>• Unterstützung in Demonstrationsprojekten</li> </ul>
 <p><b>EvaCon</b> Neuartige Anlage zur Wasseraufbereitung</p>	 <ul style="list-style-type: none"> <li>• Abwasserreinigung mittels zurückgewonnener Abwärme im Niedertemperaturbereich</li> <li>• Einsparung bei Energie- und Wasserverbrauch</li> </ul>



# CT leistet einen Beitrag zur Wettbewerbsfähigkeit von Siemens

## Abteilungen von CT: Übersicht

### Corporate Technology (CT) CTO: Prof. Dr. Siegfried Russwurm

#### Technology and Innovation Management (TIM)

- Entwickelt Technologie- und Innovationsstrategie sowie Portfolio
- Etabliert und fördert Kooperationen mit externen Partnern

#### Business Excellence/*top*<sup>+</sup> (CT BE)

- Unterstützt die Siemens Geschäfte, ihre Wettbewerbsfähigkeit zu stärken
- Beinhaltet *top*<sup>+</sup>, Governance und Guidance sowie Beratung

#### Research and Technology Center (RTC)

- Erbringt erstklassige Forschungsservices für die Divisionen und Innovationen für Siemens

#### New Technology Fields (NTF)

- Fokussiert auf interdisziplinäre, langzeitorientierte Forschungsprojekte

#### Innovative Ventures (IV)

- Schlägt die Brücke von der Technologie zum Geschäft (z. B. durch Technologie-Kommerzialisierung)

#### Development Center (DC)

- Leistet hochwertige Produktentwicklung auf Near-shore- und Off-shore-Basis

#### Intellectual Property (IP)

- Erbringt hervorragende IP-Services und bringt die IP-Strategie von Siemens voran

# CT Research and Technology Center: ~1.650 Experten in 12 Technologiefeldern

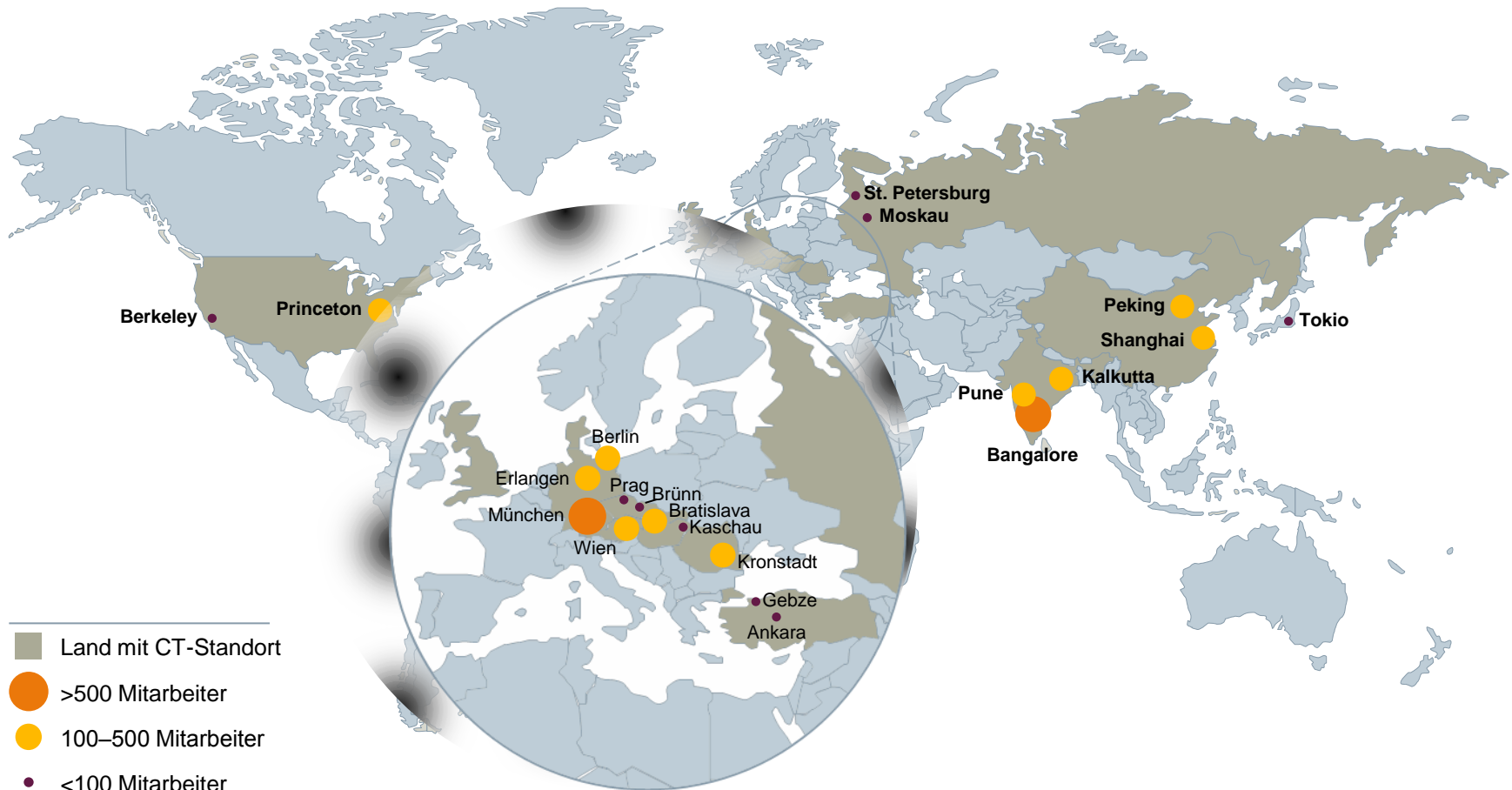
## CT Research and Technology Center (RTC)

<b>Software Architecture Development</b>  <ul style="list-style-type: none"> <li>Softwarequalität</li> <li>Architektur</li> </ul> HQ <sup>1)</sup> : München RGs <sup>2)</sup> : 7	<b>IT Platforms</b>  <ul style="list-style-type: none"> <li>SW/System-integration</li> <li>Middleware, Cloud</li> <li>Enterprise IT</li> </ul> HQ: München RGs: 10	<b>IT Security</b>  <ul style="list-style-type: none"> <li>Security- Architektur und Lifecycle</li> <li>CERT-Services</li> <li>Embedded Security</li> </ul> HQ: München RGs: 8	<b>Business Analytics &amp; Monitoring</b>  <ul style="list-style-type: none"> <li>Entscheidungs-unterstützung</li> <li>Knowledge Discovery</li> <li>Zustands-überwachung</li> </ul> HQ: München RGs: 9	<b>Automation &amp; Control</b>  <ul style="list-style-type: none"> <li>Modellierung &amp; Simulation</li> <li>Engineering</li> <li>Laufzeit &amp; Optimierung</li> <li>Lösungen</li> </ul> HQ: Princeton, US RGs: 12	<b>Networks &amp; Communication</b>  <ul style="list-style-type: none"> <li>Wireless &amp; Industrie-Netzwerke</li> <li>Internet der Dinge</li> </ul> HQ: München RGs: 6
<b>Systems Engineering</b>  <ul style="list-style-type: none"> <li>Benutzer-schnittstellen-Design</li> <li>PLM-Prozess-unterstützung</li> </ul> HQ: München RGs: 11	<b>Imaging &amp; Computer Vision</b>  <ul style="list-style-type: none"> <li>Computer Vision</li> <li>Bildverarbeitung &amp; -analyse</li> </ul> HQ: Princeton, US RGs: 13	<b>Materials</b>  <ul style="list-style-type: none"> <li>Materialentwicklung &amp; -verarbeitung</li> <li>Analytik</li> </ul> HQ: Berlin RGs: 9	<b>Electronics</b>  <ul style="list-style-type: none"> <li>Elektronik-Entwicklungs- &amp; Fertigungsprozesse</li> <li>Montage &amp; Test</li> </ul> HQ: München RGs: 8	<b>Sensor Technologies</b>  <ul style="list-style-type: none"> <li>Sensorik &amp; System-integration</li> <li>Inspektion &amp; Test</li> </ul> HQ: Erlangen RGs: 8	<b>Power &amp; Energy Technologies</b>  <ul style="list-style-type: none"> <li>Leistungsmanage-ment &amp; Switching</li> <li>Leistungselektronik</li> <li>Elektromagnetik &amp; Mechatronik</li> <li>Energiespeicherung</li> <li>Energie- und industrielle Prozesse</li> </ul> HQ: Erlangen RGs: 12

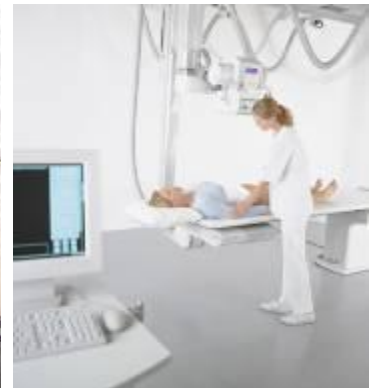
1) Headquarter 2) Research Groups

# Die globale Präsenz von CT sichert die Nähe zu internen Kunden und weltweiten Forschungshochburgen

Globale Organisation von CT (größte Standorte)



## Across the Siemens Portfolio: Systems that move



Motion is a key element in many industrial applications

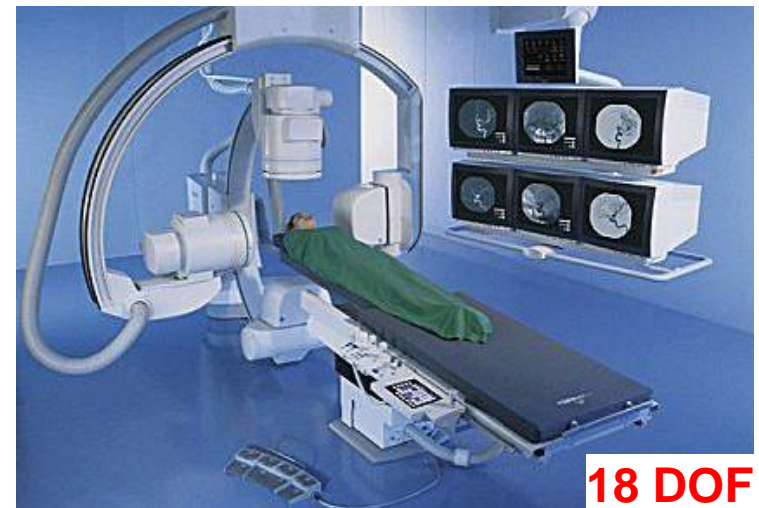


# Application example

## Motion generation for medical equipment (1)

Objective: Generic motion generation for imaging systems:

- Automatic collision-free moves from any initial configuration to any target configuration (current assumption: known environment)
- Fast response and execution time
- Plausibility of motions



# Application example

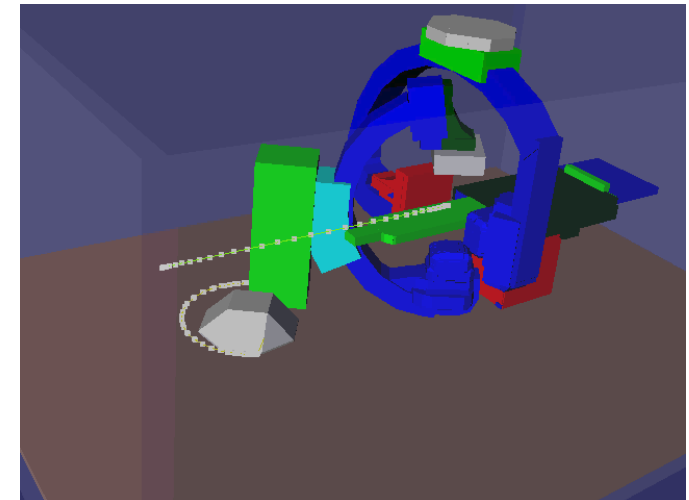
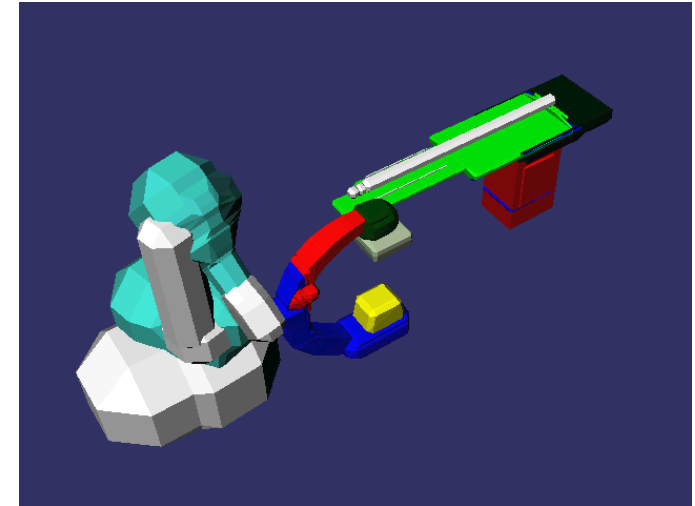
## Motion generation for medical equipment (2)

### Main challenges:

- Many degrees of freedom
- Domain- and machine-specific requirements

### Key elements of solution:

- Generic SW architecture
- Deliberate combination of appropriate global planners (e. g. random-based, rule-based) and local heuristics (e.g. potential field)
- Path optimization
- Path cache, roadmaps, ...



# Application example

## Motion generation for medical equipment (3)



Source: H IM AX

### Main benefits:

- Usability
- Increased acceptance
- Increased throughput

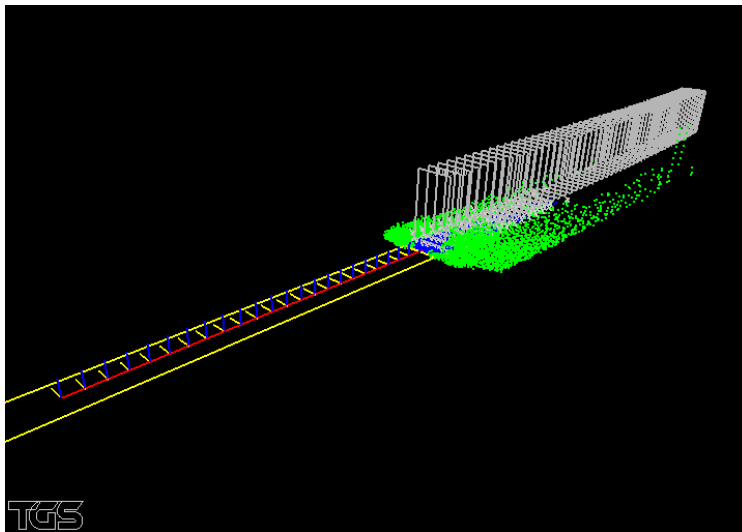




# CargoMover®



- Radar
- Video
- Laserscanner



# Application example: Environment perception for STS crane automation

Objective: New functions based on detection, recognition and localization of objects near portal cranes

**Bay scanning**  
**Container Localization**  
**on ship**



**Container localization on truck**

**Unknown truck/trailer combination**  
**Detection of trailer load capacity**

**Stack topology**  
**Stack anti-collision**  
**Zone supervision**

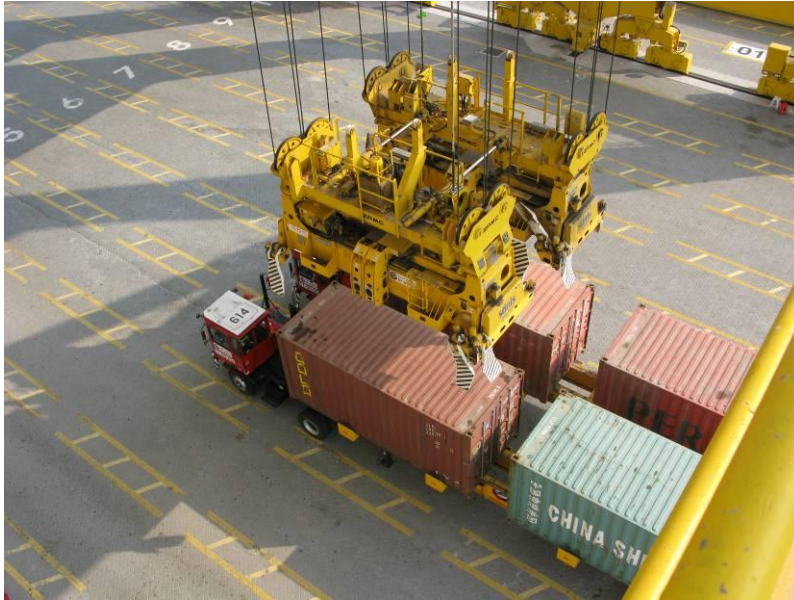
**Container localization on straddle site**

**Wagon localization**  
**Wagon lifting detection**



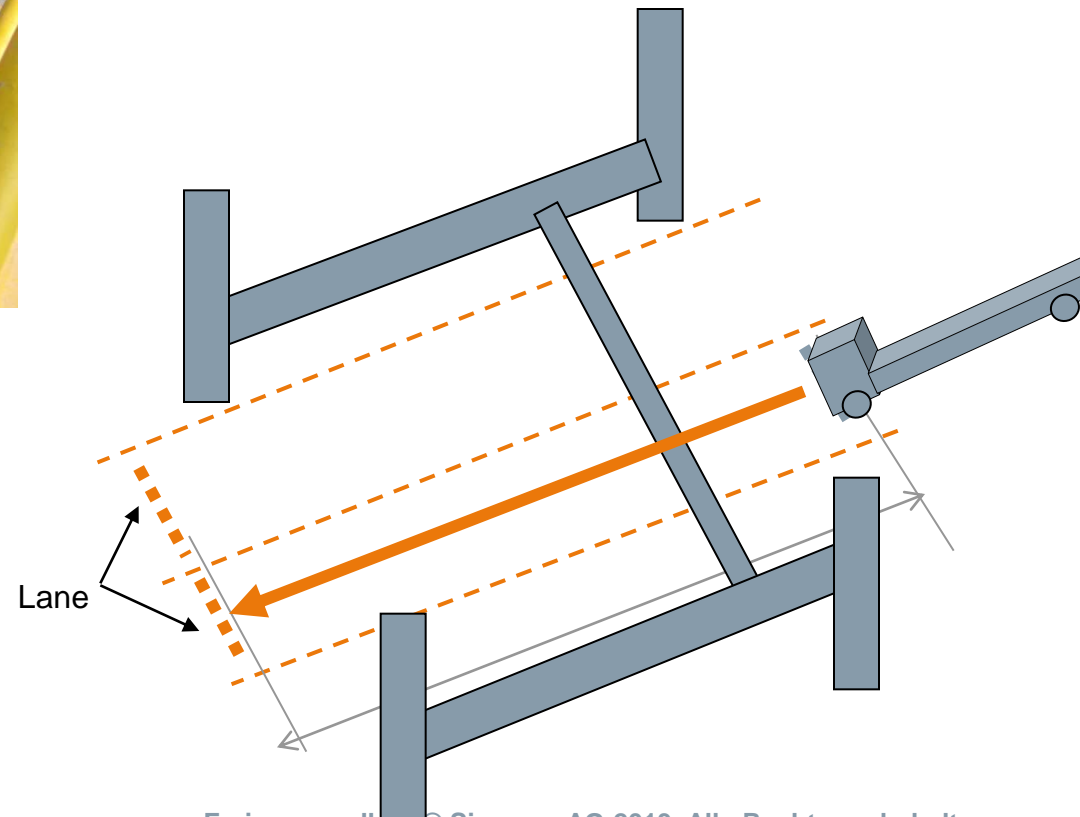
**Container localization on wagon**

# Application Example: STS\* Crane Automation - Truck Positioning System (1)



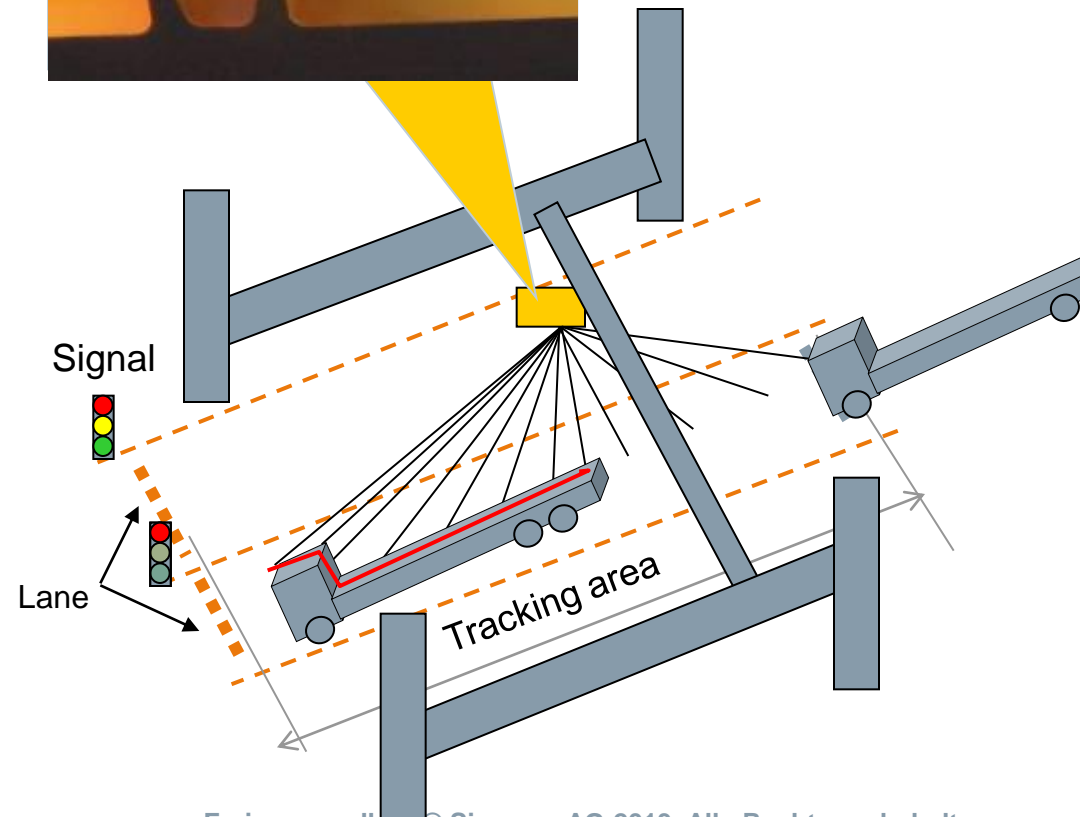
## Objectives

Guide truck driver to optimal loading / unloading position



\*STS = Ship-to-Shore

# Application Example: STS\* Crane Automation - Truck Positioning System (1)



## 3D Perception Tasks

Detection, classification,  
(active) tracking & localization of trucks

# Application Example: STS\* Crane Automation - Truck Positioning System (3)

## Main benefits:

- Safety
- Availability
- Throughput





# Application example

## Navigation System for AGVs (1)

### Objectives:

- Autonomous motion in industrial environments
- Recognition and transfer of pallets
- Easy installation

### Approach:

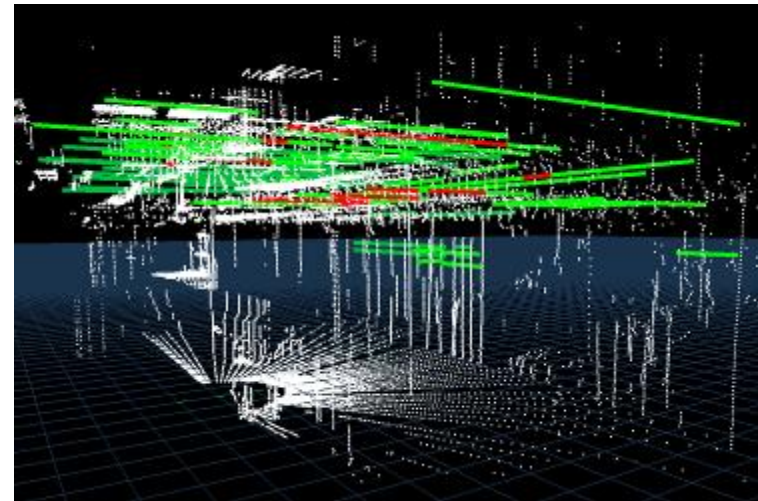
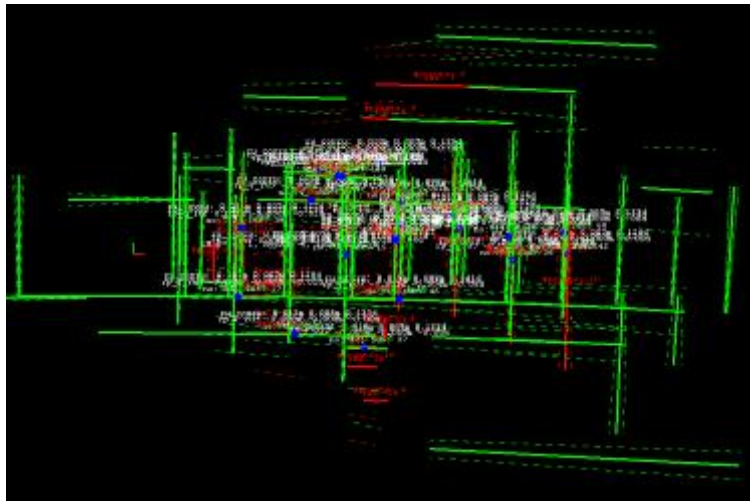
- “Autarkic localization” using building features as landmarks
- 3D-sensor data from swiveling 2D-laserscanner
- Automatic map building during teaching run



Source: RD | IA&DT SDW

# Application example

## Navigation System for AGVs (2)





# Application example

## Navigation System for AGVs (3)

### Main challenges:

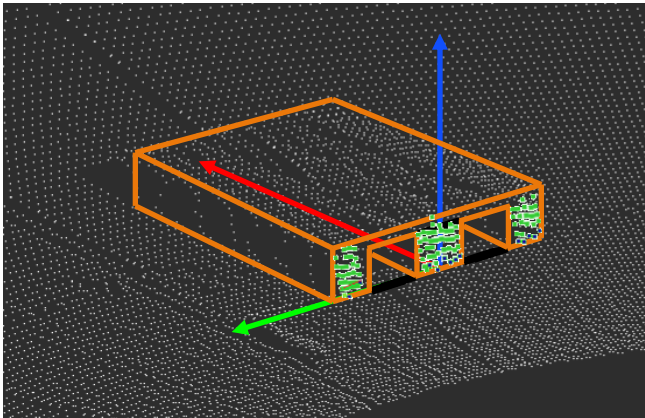
- Uncertainties (Measurements, models)
- Diversity of environments
- High position accuracy
- High dependability requirements

### Main benefits:

- Rationalization
- Availability
- Flexibility
- Safety



# Application example Navigation System ANS (3)



## Kommissionierungszentrum bei LAPP Kabel

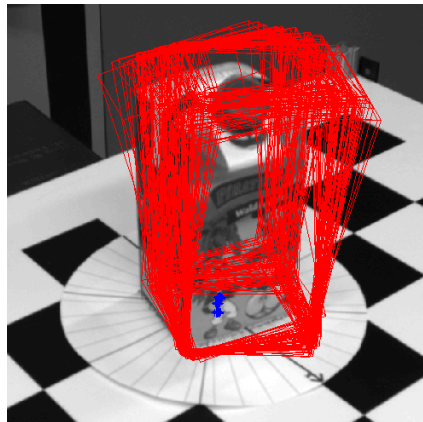




# Environment Perception: Core Function for Robot Assistants



Result of  
SIFT-feature-  
based stereo



## Objectives for scene analysis system

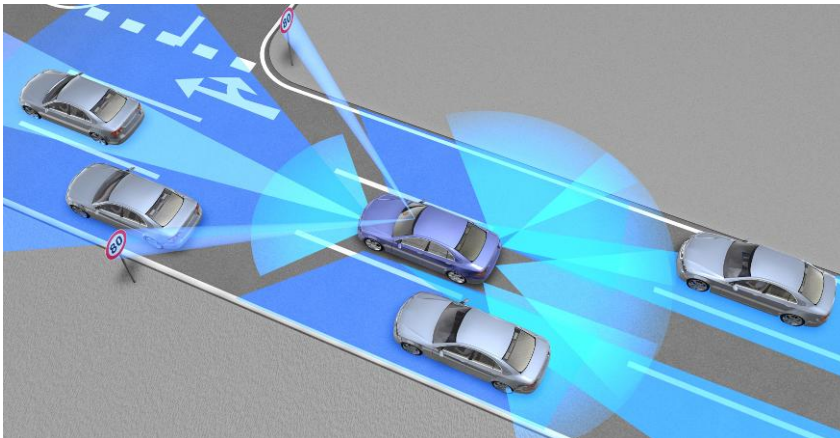
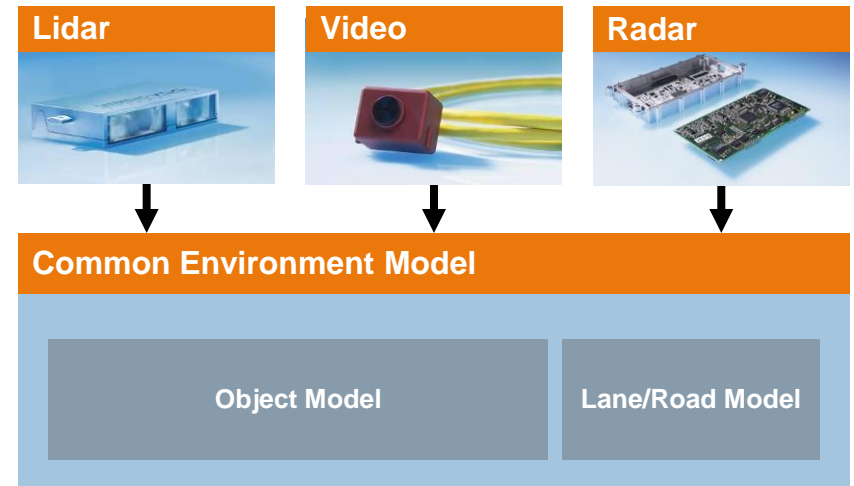
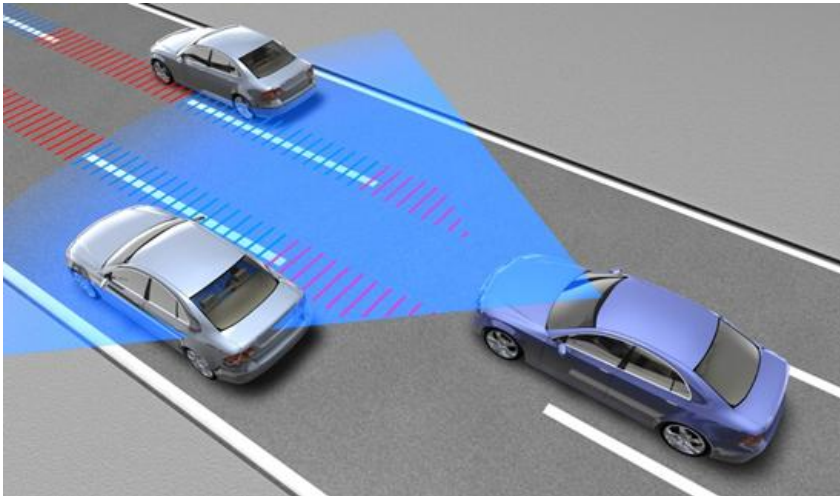
- Recognition of relevant objects in the scene
- Acceptable performance (processing time, detection rates, pose accuracy of  $< 1$  cm, ...)
- Suitability to complex, cluttered environments
- Robustness to environmental influences
- Handling of a large number of objects

## Main directions of our approach

- Consistent handling of unavoidable uncertainties (model errors, measurement errors)
- Fusion
- Active perception
- Integration of a-priori knowledge

T. Grundmann, W. Feiten and G. v. Wichert: *A Gaussian Measurement Model for Local Interest Point Based 6 DOF Pose Estimation*. In: IEEE International Conference on Robotics and Automation, Shanghai, China, 2011.

# Umgebungserfassung für Fahrerassistenzsysteme



# Inhalte der Vorlesung

- Sensortechnologien für robotische Wahrnehmungssysteme
- Schwächen und Stärken unterschiedlicher Sensoren
- Wichtige Methoden für die Erzeugung und Verarbeitung räumlicher Daten (3D)
- Umgang mit unsicherer Information
- Sensordatenfusion und Zustandsschätzung
- Modellierung von Sensoren
- Statische und dynamische Umgebungs- und Szenenmodelle
- Wahrnehmung als kognitiver Prozess

# Lernziele der Vorlesung

- Kenntnis der wesentlichen Komponenten und Konzepte robotischer Perzeptionssysteme
- Fähigkeit zur Analyse komplexer Wahrnehmungsaufgaben für autonome (Roboter-) Systeme
- Fähigkeit zur Konzeption und Realisierung von Perzeptionssystemen für autonome Systeme (nicht nur Roboter)
- Der Focus der Vorlesung wird auf „kontaktlosen“ Sensoren und den Verarbeitungsstrukturen liegen!



# Bitte sagen Sie Ihre Meinung!

- Die Vorlesung ist neu und noch plastisch!
- Wenn Ihnen Fehler auffallen, bitte melden.
  - Ggf. dezent ;-)
- Ziel ist, dass alle beteiligten Spaß an diesem tollen Thema haben!

# Vorlesungstermine

N0507, Seminarraum-MST/LSR (0105.EG.507)

Am Freitags morgen: immer um 8:00 Uhr!

Folien sind zeitnah auf [moodle.tum.de](https://moodle.tum.de) zu finden.

# Hausaufgaben

- „hands on“- Anwendung des Vorlesungsstoffes anhand kleiner Programmieraufgaben
  - Unter Verwendung existierender Basissoftware (ROS) Bibliotheken (z.B. OpenCV)
  - Linux (virtuelle Maschine)
  - Bereitgestellte Rahmenprogramme
  - Reale und simulierte Daten
- Vorteil: Hilft sehr beim Verständnis
- Nachteil: Ist etwas Aufwand (auch für mich!!)

# Was ist Wahrnehmung?

**Perception** (from the Latin *perceptio*, *percipio*) is the organization, identification, and interpretation of sensory information in order to represent and understand the environment.

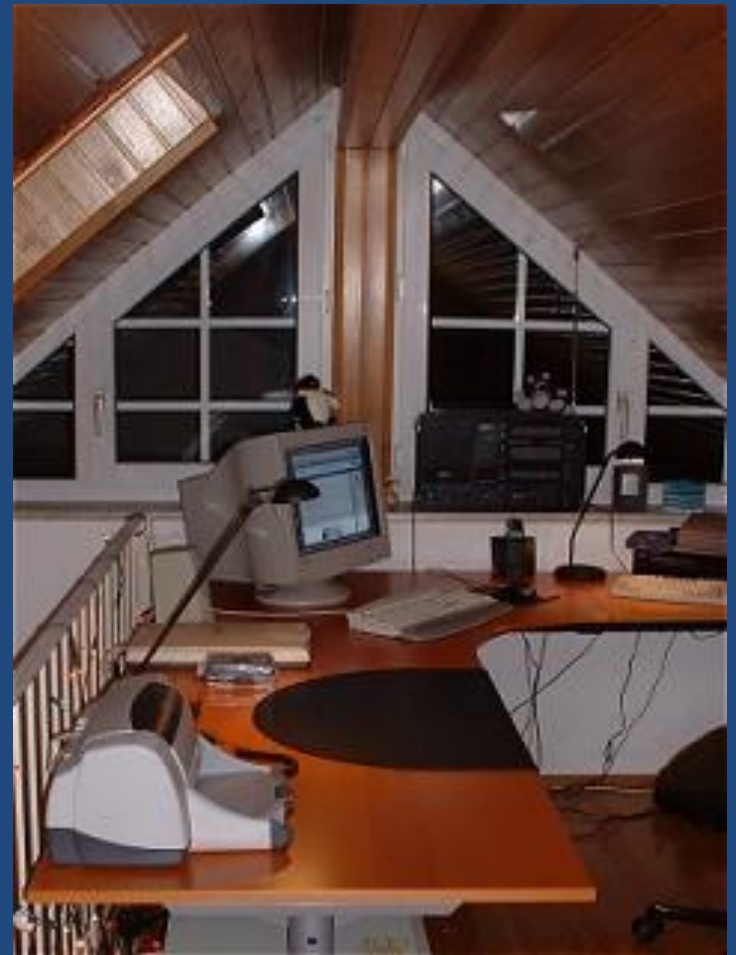
(Schacter, Daniel L. (2011). *Psychology*. Worth Publishers.)



Wikipedia ;-)

# Was ist Wahrnehmung?

- Wahrnehmung ist viel mehr als die bloße Verarbeitung oder Transformation von Sensorrohdaten
- Wahrnehmung ist eine Intelligenzleistung!



# Was ist Wahrnehmung?

- Wahrnehmung ist viel mehr als die bloße Verarbeitung oder Transformation von Sensorrohdaten
- Wahrnehmung ist eine Intelligenzleistung!



# Was ist Wahrnehmung?

**Perception** (from the Latin *perceptio*, *percipio*) is the organization, identification, and interpretation of sensory information in order to represent and understand the environment.

(Schacter, Daniel L. (2011). *Psychology*. Worth Publishers.)



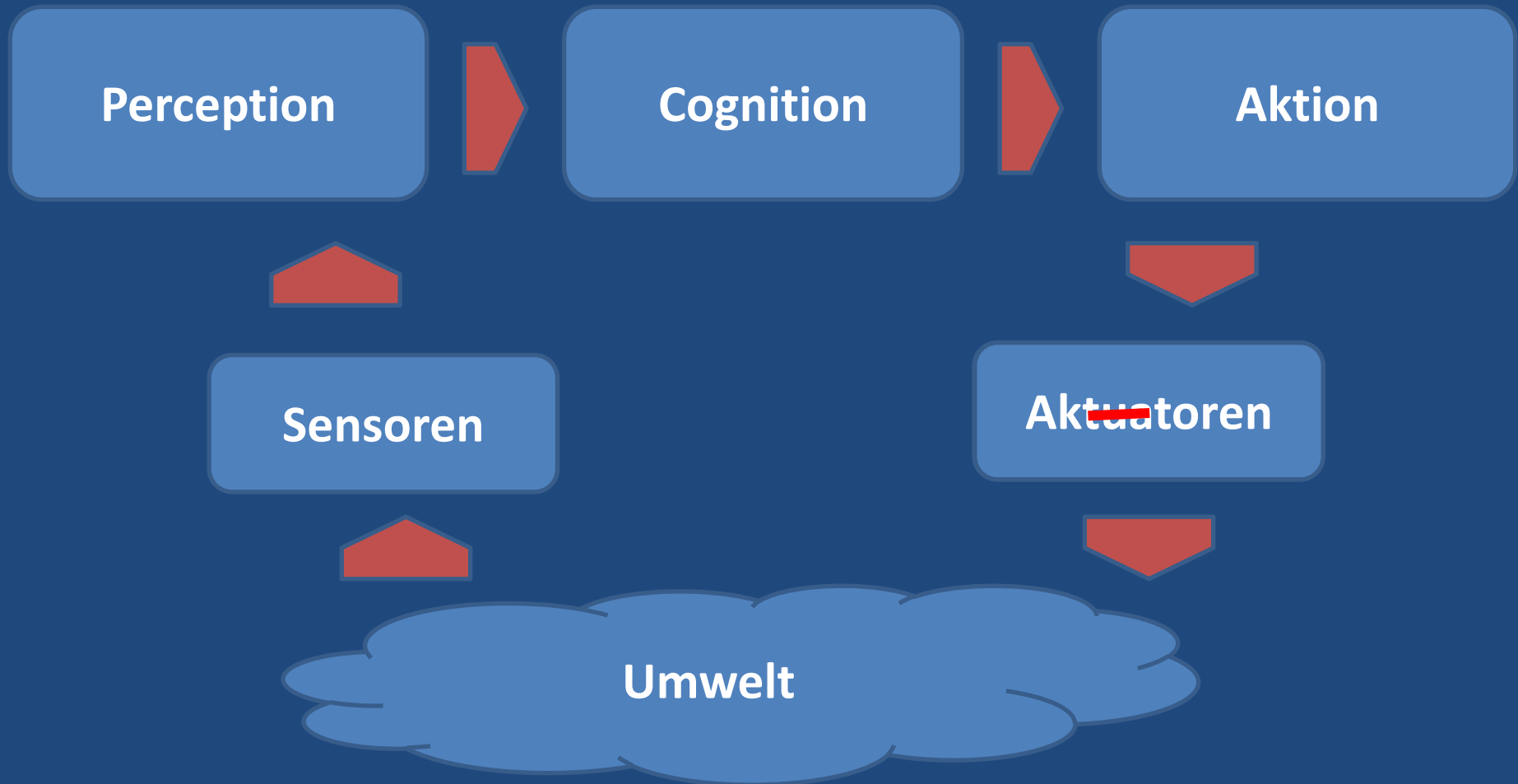
# Was ist Wahrnehmung?

**Perception** (from the Latin *perceptio, percipio*) is the **organization, identification, and interpretation** of sensory information in order to **represent and understand the environment**.

(Schacter, Daniel L. (2011). *Psychology*. Worth Publishers.)

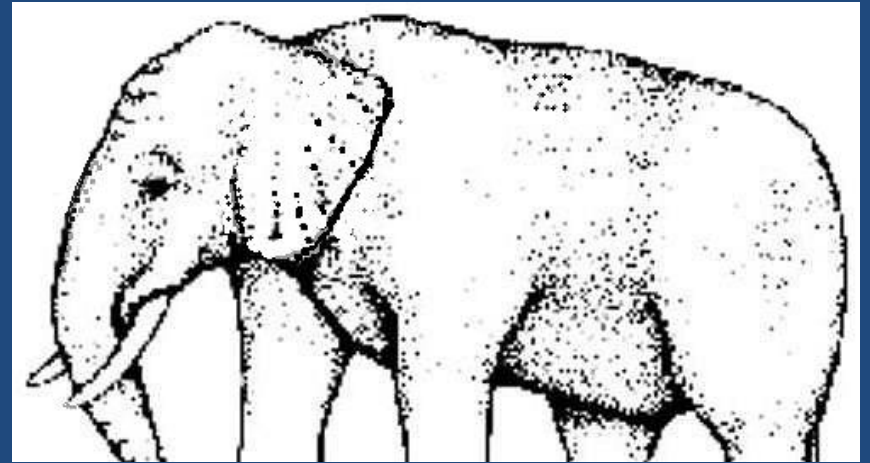
Perception is sometimes described as the process of constructing mental representations of distal stimuli using the information available in proximal stimuli.

# The Perception-Cognition-Action-Loop



# Was ist Wahrnehmung?

- Wahrnehmung ist viel mehr als die bloße Verarbeitung oder Transformation von Sensorrohdaten
- Wahrnehmung ist eine Intelligenzleistung!

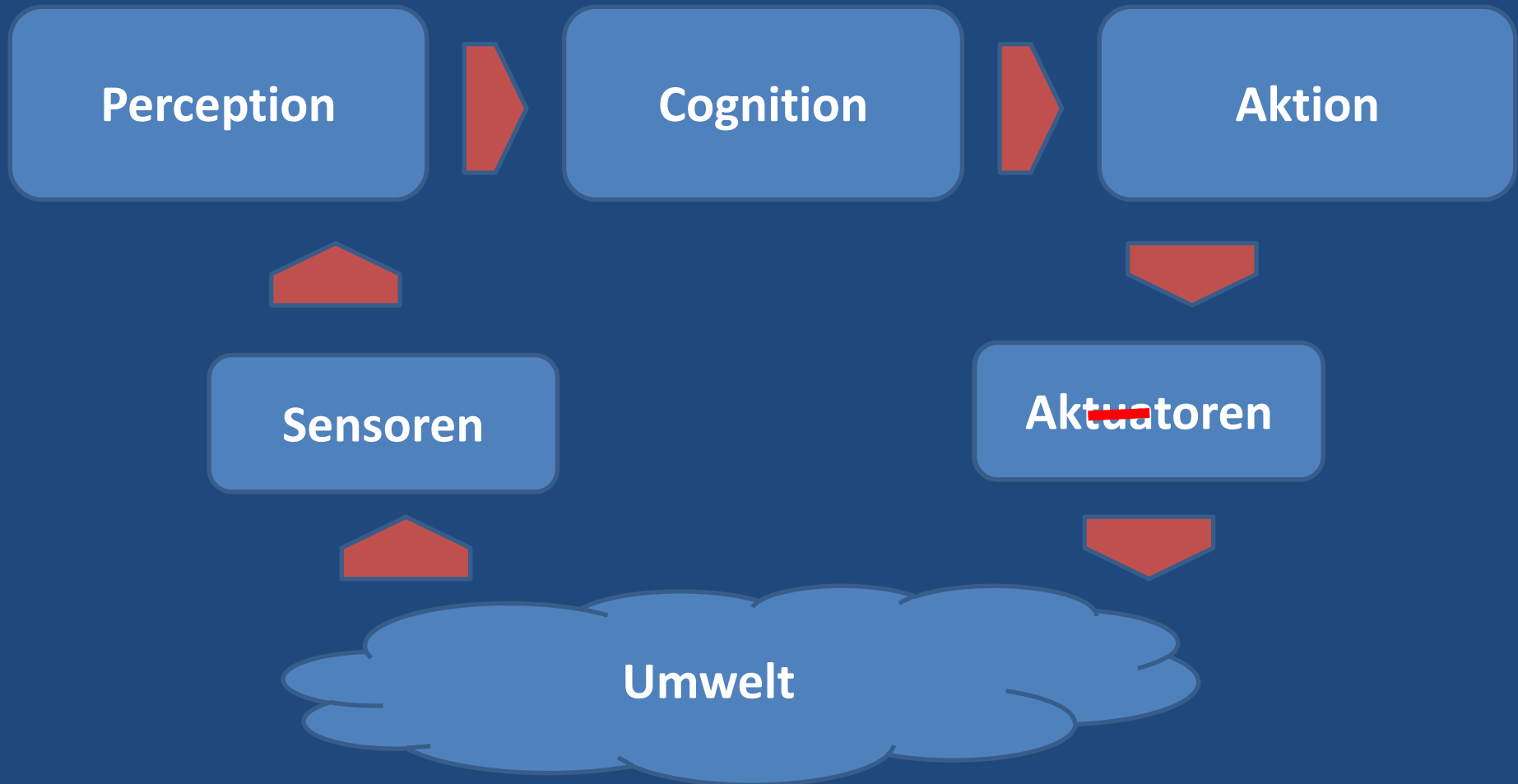


# Was ist Wahrnehmung?

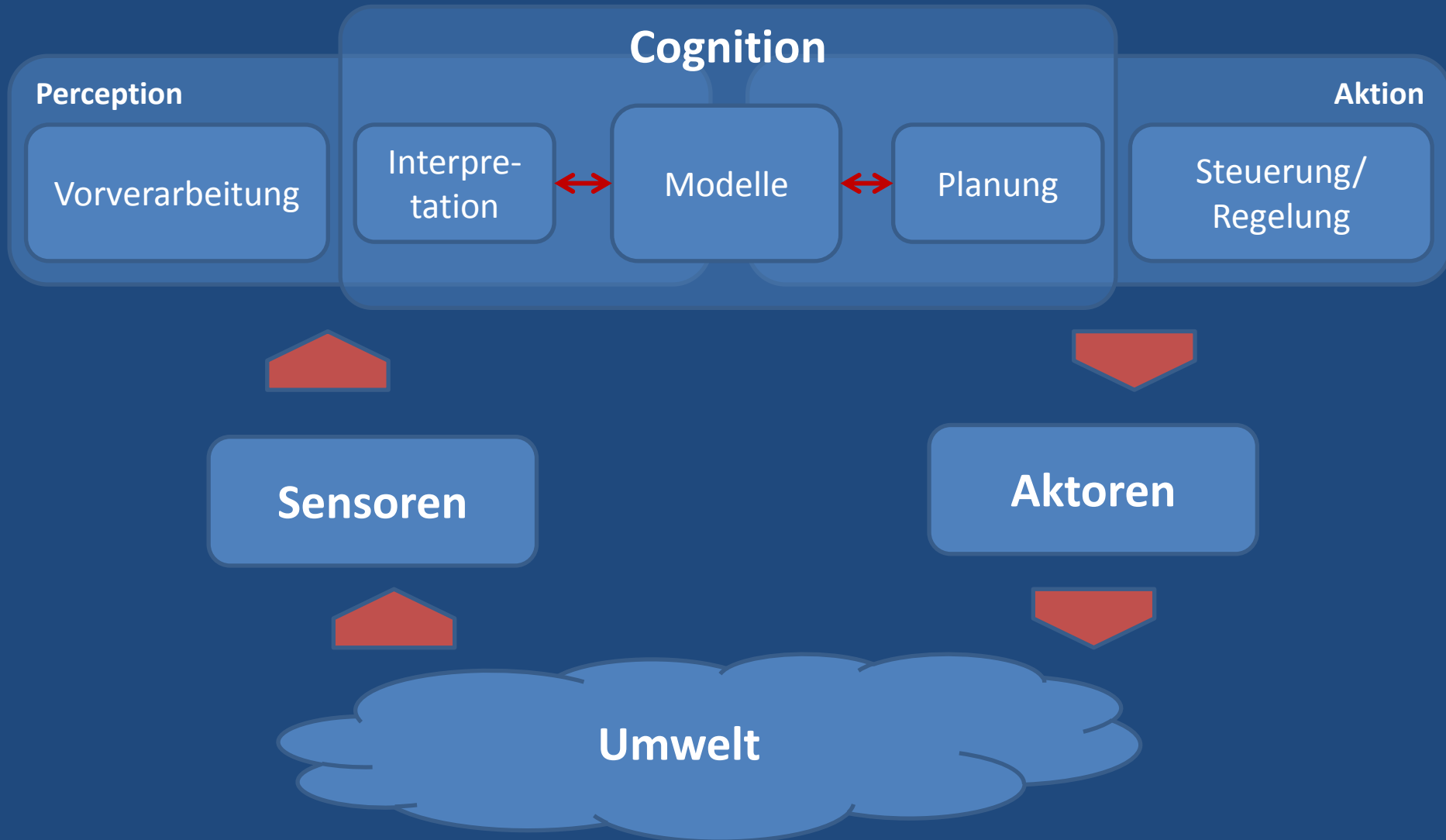
- Wahrnehmung ist viel mehr als die bloße Verarbeitung oder Transformation von Sensorrohdaten
- Wahrnehmung ist eine Intelligenzleistung!



# The Perception-Cognition-Action-Loop



# The Perception-Cognition-Action-Loop





# Wie geht es weiter?

- Wichtige Sensortypen und ihre Eigenschaften im Hinblick auf die Wahrnehmungsaufgabe
- Klassiker der Sensordatenverarbeitungsalgorithmik und dafür erforderliche mathematische Tools
- Thema Kalibrierung
- Fusion von Daten und Informationen aus unterschiedlichen Quellen
- Vom Sensordatum zur Interpretation
- Wahrnehmung als Prozess