

## Von Zäunen befreit

### Mensch Roboter Kollaboration – Wissenschaft und Technik



Björn Ostermann  
Wuppertal, 09.11.2010

## Zur Person

- Björn Ostermann
  - FH Bonn-Rhein-Sieg
    - 2006 Dipl.-Ing. (FH) Maschinenbau / Mechatronik
      - Vertiefungsfach Robotik
  - Hochschule Bonn-Rhein-Sieg
    - 2009 M.Sc. Autonome Systeme
      - Master-Thesis über einen kollaborierenden Roboter
  - Bergische Universität Wuppertal
    - Ab 2009 Promotion zum Thema kollaborierende Roboter

## Inhalt

- Kollaboration
- Geschichtliche Entwicklung
- Sensoren und Algorithmen
- Forschung im IFA
- Gebiete der Kollaboration und Umsetzung im IFA
- Einzelne Projekte
  - Kollisionsüberwachung mit 3D Kamera
  - Kollisionsüberwachung mit Ultraschall

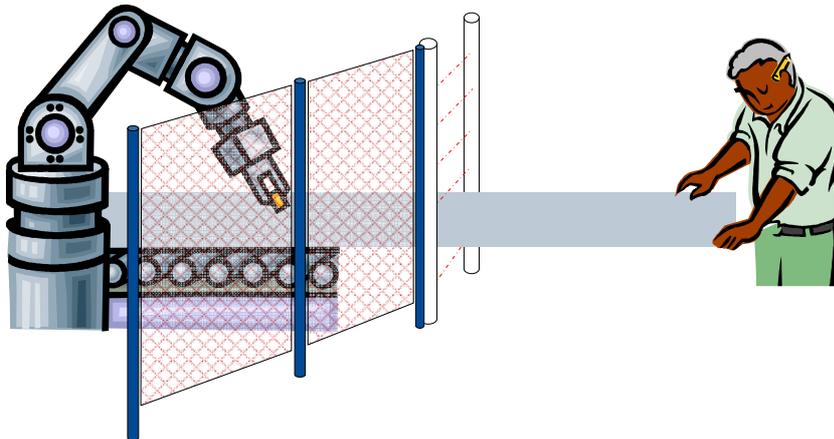
## Warum „Kollaboration“?

- Kollaboration
  - lat. co- = „mit-“
  - lat. laborare = „arbeiten“
  - Zusammenarbeit mehrerer Personen
- Collaborationism
  - cooperation with enemy forces occupying one's country
- Collaboration
  - a recursive process where two or more people work together

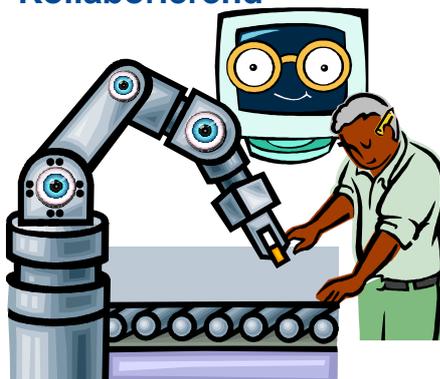


[Quelle: Wikipedia.org]

## Industrielle Praxis



## Kollaborierend



### Roboter und Mensch im „Kontakt“

- Roboter darf Mensch bei Kontakt nicht verletzen
  - Mechanik
- Roboter muss Mensch ausweichen
  - Algorithmen
- Roboter muss Mensch erkennen
  - Sensorik
- Mensch muss Roboter vertrauen
  - Psychologie

Die Mitgliedstaaten treffen alle erforderlichen Maßnahmen, um sicherzustellen, dass Maschinen nur in Verkehr gebracht und/oder in Betrieb genommen werden dürfen, wenn sie [...] die Sicherheit und Gesundheit von **Personen** [...] **nicht gefährden**.

[MRL 2006/42/EG, Art. 4(1)]

## Was erreichen wir mit Kollaborierenden Arbeitsplätzen?

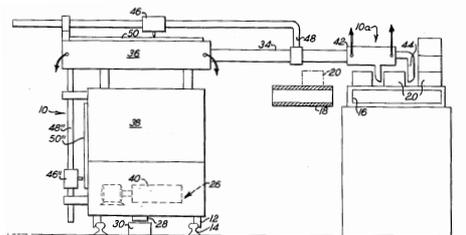
- Forschung
  - Schaffen neuer, flexibler Arbeitsplätze
- Industrie
  - Erleichtern / Beschleunigen des Erledigens einer Aufgabe
- IFA – DGUV
  - Das Bedürfnis nach Manipulationen senken
  - Manipulationen erschweren
  - Die Sicherheit des Arbeitnehmers erhöhen

## Inhalt

- Kollaboration
- **Geschichtliche Entwicklung**
- Sensoren und Algorithmen
- Forschung im IFA
- Gebiete der Kollaboration und Umsetzung im IFA
- Einzelne Projekte
  - Kollisionsüberwachung mit 3D Kamera
  - Kollisionsüberwachung mit Ultraschall

## Roboter-Mensch Kollaboration

- 1954 – Entwicklung des Industrieroboters



[ Quelle: [www.freepatentsonline.com](http://www.freepatentsonline.com)  
United States Patent 2988237 ]

1954

2010

## Roboter-Mensch Kollaboration

- 1954 – Entwicklung des Industrieroboters
- 1962 – Erster Einsatz in der industriellen Fertigung



[ Quelle: [www.wikipedia.org](http://www.wikipedia.org) ]

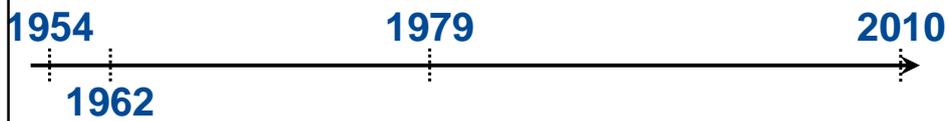
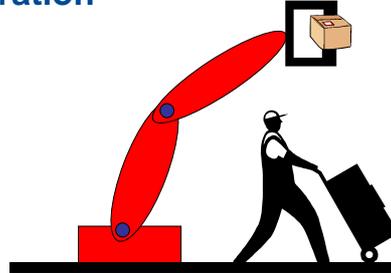
1954

1962

2010

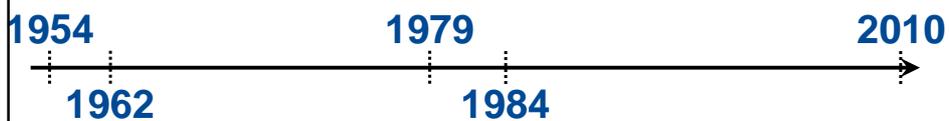
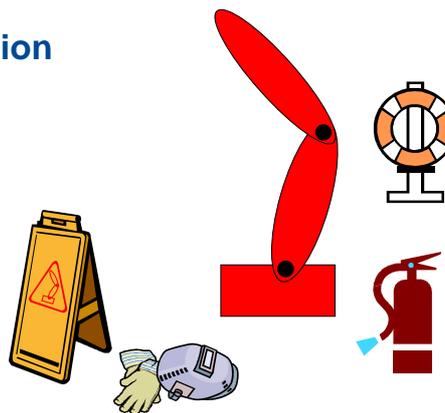
## Roboter-Mensch Kollaboration

- 1954 – Entwicklung des Industrieroboters
- 1962 – Erster Einsatz in der industriellen Fertigung
- 1979 – Erster tödlicher Unfall



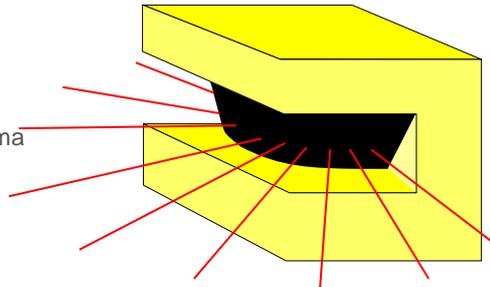
## Roboter-Mensch Kollaboration

- 1954 – Entwicklung des Industrieroboters
- 1962 – Erster Einsatz in der industriellen Fertigung
- 1979 – Erster tödlicher Unfall
- 80er – Erste Projekte zum Thema sichere Kollaboration



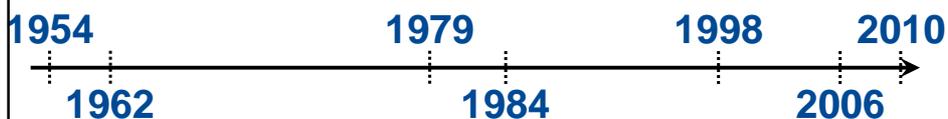
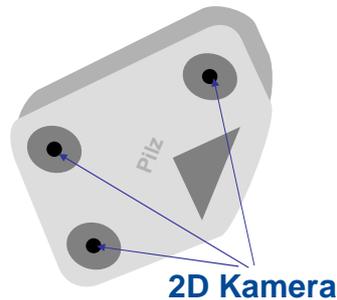
## Roboter-Mensch Kollaboration

- 1954 – Entwicklung des Industrieroboters
- 1962 – Erster Einsatz in der industriellen Fertigung
- 1979 – Erster tödlicher Unfall
- 80er – Erste Projekte zum Thema sichere Kollaboration
- 1998 – Zertifizierung von Laserscannern



## Roboter-Mensch Kollaboration

- 1954 – Entwicklung des Industrieroboters
- 1962 – Erster Einsatz in der industriellen Fertigung
- 1979 – Erster tödlicher Unfall
- 80er – Erste Projekte zum Thema sichere Kollaboration
- 1998 – Zertifizierung von Laserscannern
- 2006 – Zertifizierung vom „SafetyEye“

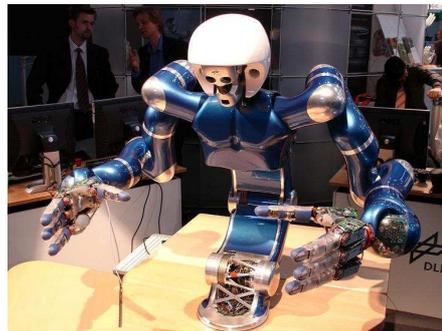


## Inhalt

- Kollaboration
- Geschichtliche Entwicklung
- **Sensoren und Algorithmen**
- Forschung im IFA
- Gebiete der Kollaboration und Umsetzung im IFA
- Einzelne Projekte
  - Kollisionsüberwachung mit 3D Kamera
  - Kollisionsüberwachung mit Ultraschall

## 26 Jahre Kollaboration

- Versuchsaufbauten mit
  - Kraftsensoren



[ Quelle: DLR ]

## 26 Jahre Kollaboration

- Versuchsaufbauten mit
  - Kraftsensoren
  - Kapazitiven Sensoren



[ Quelle: MRK Systeme GmbH ]

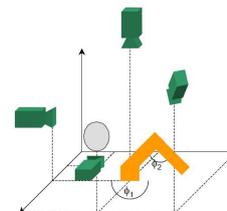
## 26 Jahre Kollaboration

- Versuchsaufbauten mit
  - Kraftsensoren
  - Kapazitiven Sensoren
  - Kameras (2D)

[ Quelle: Thiemermann ]



[ Quelle: Rob@work ]

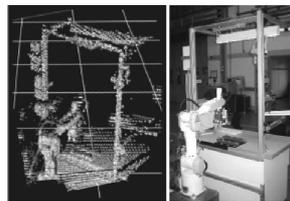
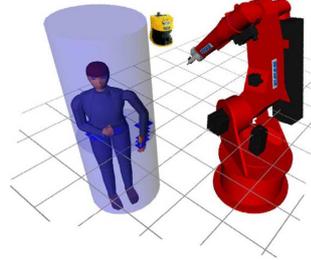


[ Quelle: Dominik D. Henrich ]

## 26 Jahre Kollaboration

- Versuchsaufbauten mit
  - Kraftsensoren
  - Kapazitiven Sensoren
  - Kameras (2D)
  - Laserscanner (2D und 3D)

[ Quelle: REIS Robotics ]



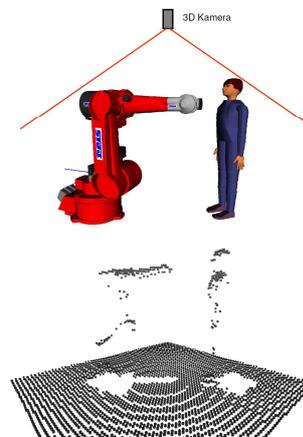
[ Quelle: Rob@work ]



[ Quelle: Wösch, Neubauer ]

## 26 Jahre Kollaboration

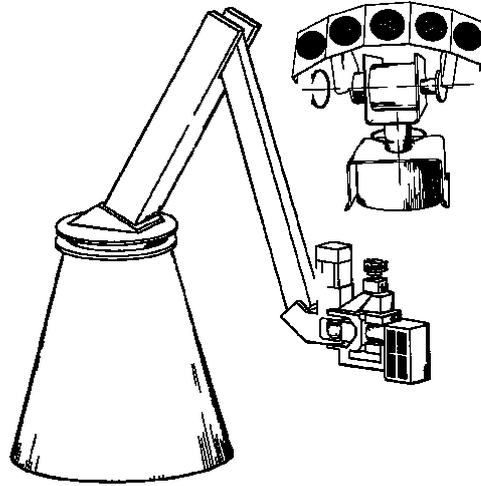
- Versuchsaufbauten mit
  - Kraftsensoren
  - Kapazitiven Sensoren
  - Kameras (2D)
  - Laserscanner (2D und 3D)
  - Kameras (3D)



[ Quelle: REIS Robotics ]

## 26 Jahre Kollaboration

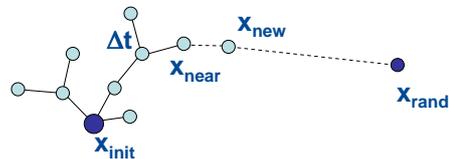
- Versuchsaufbauten mit
  - Kraftsensoren
  - Kapazitiven Sensoren
  - Kameras (2D)
  - Laserscanner (2D und 3D)
  - Kameras (3D)
  - Ultraschall
  - ...



[ Quelle: US Patent 4,674,057 ]

## 26 Jahre Kollaboration

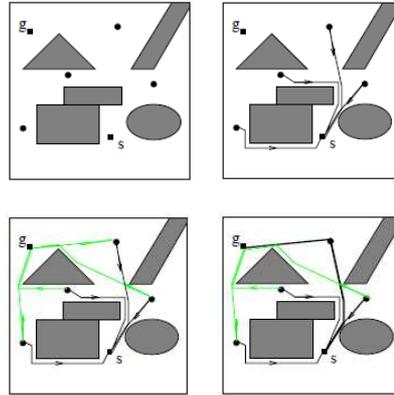
- Pfadberechnungen mit
  - Rapidly-Exploring Random Trees



[ Quelle: Implementierung einer Bewegungsplanung für einen Roboterarm ]

## 26 Jahre Kollaboration

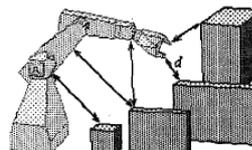
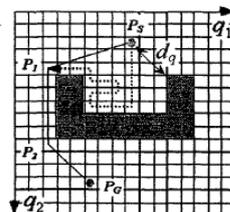
- Pfadberechnungen mit
  - Rapidly-Exploring Random Trees
  - Zufälliges paralleles Suchen



[ Quelle: Path Planning for Industrial Robot arms - A Parallel Randomized Approach ]

## 26 Jahre Kollaboration

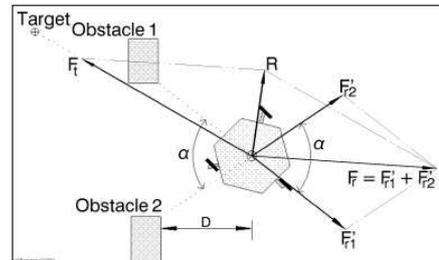
- Pfadberechnungen mit
  - Rapidly-Exploring Random Trees
  - Zufälliges paralleles Suchen
  - A\* such Algorithmus



[ Quelle: Automated generated collision-free time optimized robot movements in industrial environments based on rounding ]

## 26 Jahre Kollaboration

- Pfadberechnungen mit
  - Rapidly-Exploring Random Trees
  - Zufälliges paralleles Suchen
  - A\* such Algorithmus
  - Potential-Feld Methode
  - ...



[ Quelle: Potential Field Methods and Their Inherent Limitations for Mobile Robot Navigation]

## Inhalt

- Kollaboration
- Geschichtliche Entwicklung
- Sensoren und Algorithmen
- **Forschung im IFA**
- Gebiete der Kollaboration und Umsetzung im IFA
- Einzelne Projekte
  - Kollisionsüberwachung mit 3D Kamera
  - Kollisionsüberwachung mit Ultraschall

## Warum forscht die DGUV

- Die Unfallversicherungsträger haben mit allen geeigneten Mitteln für
  - **die Verhütung von Arbeitsunfällen,**
  - Berufskrankheiten
  - und
  - arbeitsbedingten Gesundheitsgefahren
  - und
  - für eine wirksame Erste Hilfezu sorgen.
- Sie sollen dabei auch **den Ursachen** von arbeitsbedingten Gefahren für Leben und Gesundheit **nachgehen**.

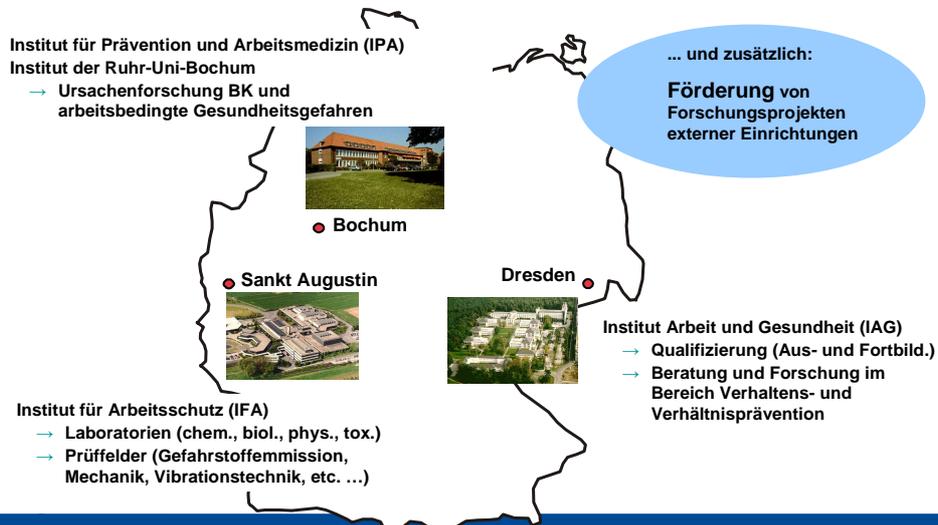
[ Quelle: SGB VII §14 (1) ]

## Warum forscht die DGUV

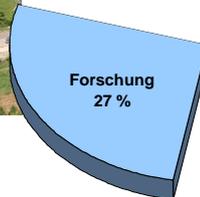
- Die Unfallversicherungsträger wirken bei der Gewinnung neuer medizinisch-wissenschaftlicher Erkenntnisse mit;
  - insbesondere zur Fortentwicklung des Berufskrankheitenrechts
- sie sollen durch
  - **eigene Forschung**
  - oder
  - **durch Beteiligung an fremden Forschungsvorhaben**dazu beitragen,
- den Ursachenzusammenhang zwischen Erkrankungshäufigkeiten in einer bestimmten Personengruppe
- und
- gesundheitsschädlichen Einwirkungen im Zusammenhang mit der versicherten Tätigkeit aufzuklären.

[ Quelle: SGB VII §9 (8) ]

## DGUV-Forschung im Überblick



## Aufgabenverteilung im IFA (2009)



### Aktivitäten ....

- 1/4 im Bereich Unfallverhütung
- 3/4 im Bereich Berufskrankheiten und arbeitsbedingte Gesundheitsgefahren

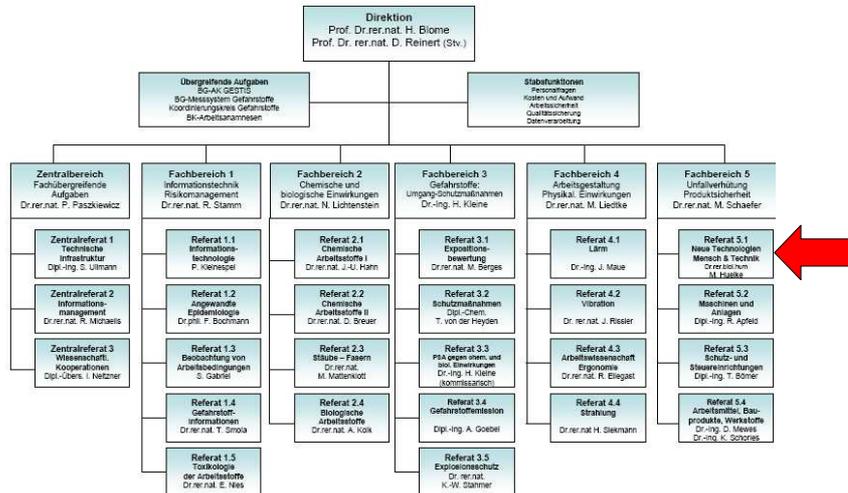
## Die wichtigsten Zahlen zum IFA (2009)

• Mitarbeiter	241
• Jahresetat	25 Mio €
• Prüfung technischer Einrichtungen	1.488
• Prüfung PSA	454
• Betriebsmessungen, Beratungen	924
• Teilnahme in Gremien	209
• Laufende Forschungsprojekte	49

## Wissenschaftliche Disziplinen

- Chemie
- Physik
- Mineralogie
- Mikrobiologie
- Toxikologie
- Medizin
- Epidemiologie
- Ergonomie
- Bauwesen
- Verfahrenstechnik
- Maschinenbau
- Textiltechnik
- Metallurgie
- Elektrotechnik
- Elektronik
- Steuerungstechnik
- Informatik
- Psychologie

## Organisation des IFA (Stand Januar 2010)

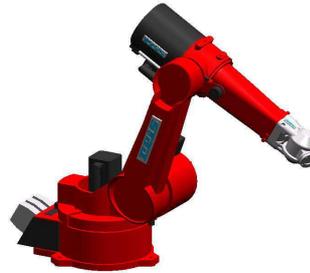


## Forschung „Kollaborierende Roboter“ im IFA

- Fachbereich 5 „Unfallverhütung – Produktsicherheit“
  - Referat 5.1 „Neue Technologien, Mensch und Technik“
- Beginn der Forschungen im IFA 2008
  - 5 abgeschlossene Projekte
  - 4 laufende Projekte
  - 12 Mitarbeiter
- Team aus Physikern, Psychologen, Medizintechnikern, Elektrotechnikern, Maschinenbauern und Informatikern

## Forschungsobjekt

- REIS RV 30-16
  - Maximallast  
16 kg
  - Wiederholgenauigkeit  
 $\pm 0,08\text{mm}$
  - Maximale Geschwindigkeit  
ca. 4m/s
  - Gewicht  
360 kg
  - Maximaler Arbeitsraum  
2200 mm



## Inhalt

- Kollaboration
- Geschichtliche Entwicklung
- Sensoren und Algorithmen
- Forschung im IFA
- **Gebiete der Kollaboration und Umsetzung im IFA**
- Einzelne Projekte
  - Kollisionsüberwachung mit 3D Kamera
  - Kollisionsüberwachung mit Ultraschall

## Aufgabengebiet – Psychologie / Ergonomie

- Potentielle Beeinträchtigung der Aufgabenbearbeitung
  - Geschwindigkeit
  - Bewegungsrichtung
- Reaktionsvermögen des Menschen
  - Abschalten im Fehlerfall
- Vorhersagbarkeit / Verlässlichkeit
  - Wiederholbarkeit von Ereignissen
  - „Mimik“, Richtungsanzeigen

## VR-Raum



## Roboter – VR-Raum



## Aufgabengebiet – Psychologie / Ergonomie

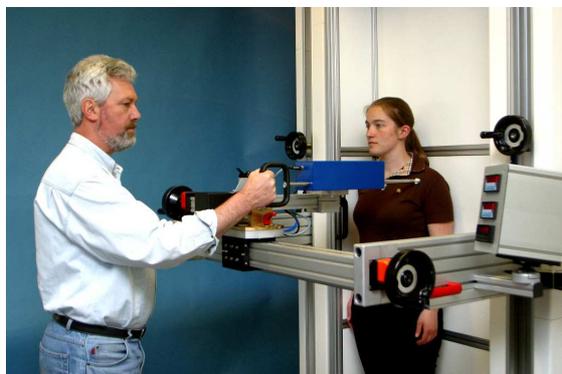
- Potentielle Beeinträchtigung der Aufgabenbearbeitung
- ✓ • Geschwindigkeit
- ✓ • Bewegungsrichtung
- Reaktionsvermögen des Menschen
- ✓ • Abschalten im Fehlerfall
- Vorhersagbarkeit / Verlässlichkeit
- ✓ • Wiederholbarkeit von Ereignissen
  - „Mimik“, Richtungsanzeigen

**Tests am realen  
Roboter  
und in der  
virtuellen Realität**

## Aufgabengebiet – Mechanik

- Reaktionsvermögen / Nachlaufweg
  - Getriebe
  - Stabilität / Durchbiegung der Achsen
- Positionshaltung im Energieausfall
  - Selbsthemmende Getriebe
- Inhärent sichere Konstruktion
  - Geringe Kräfte
  - Mechanische Abschaltung bei Kollision

## Algotometer – erster Aufbau

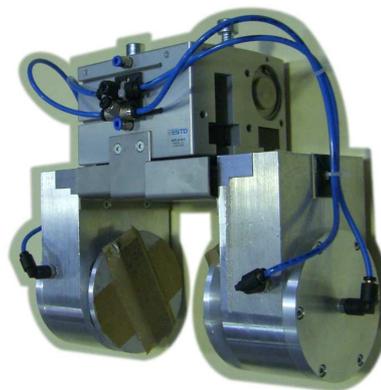


## Algometer – aktueller Stand



## Der sichere Greifer

- Keine elektrischen Komponenten
- Automatische „Erkennung“ nicht planer Flächen
- Pneumatische Reduzierung der Greifkraft, ohne Verletzungsgefahr
- Besondere Werkstückform über „Adapter“ konfigurierbar
- Zum Patent angemeldet



## Aufgabengebiet – Mechanik

- Reaktionsvermögen / Nachlaufweg
  - Getriebe
  - Stabilität / Durchbiegung der Achsen
- Positionshaltung im Energieausfall
  - Selbsthemmende Getriebe
- Inhärent sichere Konstruktion

**Algometer**



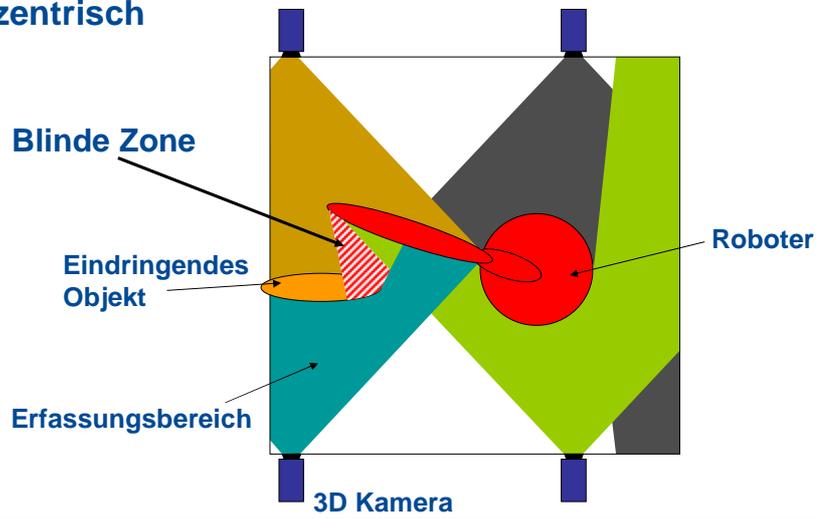
- Geringe Kräfte
- Mechanische Abschaltung bei Kollision

**Der sichere Greifer**

## Aufgabengebiet – Sensorik

- Erfassen des Roboters
  - Interne Sensoren in den Gelenken
- Erfassen der Umgebung
  - Allozentrische Sensorik
  - Egozentrische Sensorik
- Erfassen des Menschen
  - Markerbehaftete Sensoren
  - Algorithmen

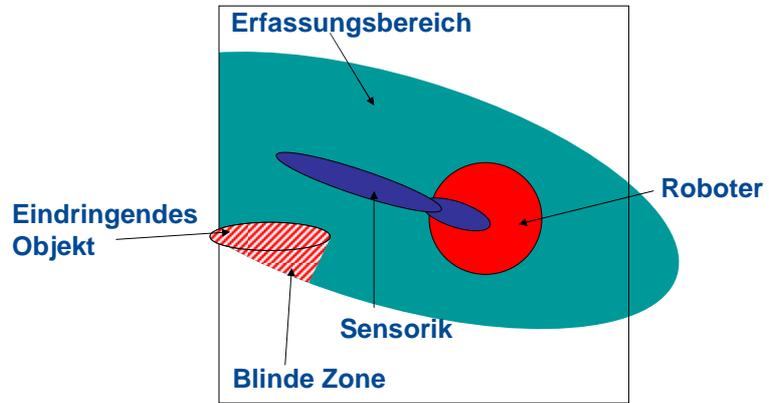
### Allozentrisch



### Allozentrische Sensorik



## Egozentrisch

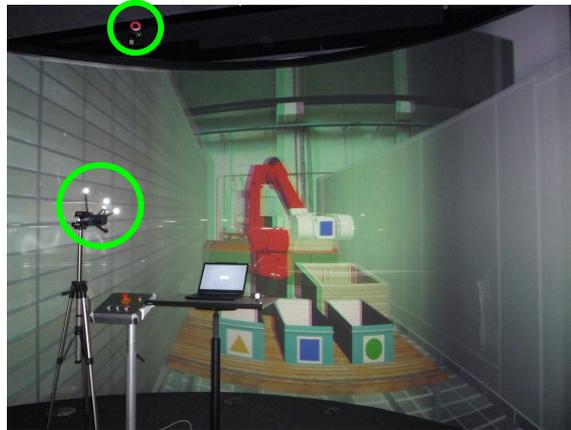


## Egozentrische Sensorik



Ultraschall Sensoren

## Markerbehaftete Sensoren



Vicon

## Aufgabengebiet – Sensorik

- Erfassen des Roboters
  - Interne Sensoren in den Gelenken
- Erfassen der Umgebung
  - ✓ Allozentrische Sensorik ← **3D „Time of flight“ Kamera**
  - ✓ Egozentrische Sensorik ← **Ultraschall Sensoren**
- Erfassen des Menschen
  - ✓ Markerbehaftete Sensoren ← **Vicon System**
  - ✓ Algorithmmik

## Aufgabengebiet – Algorithmik

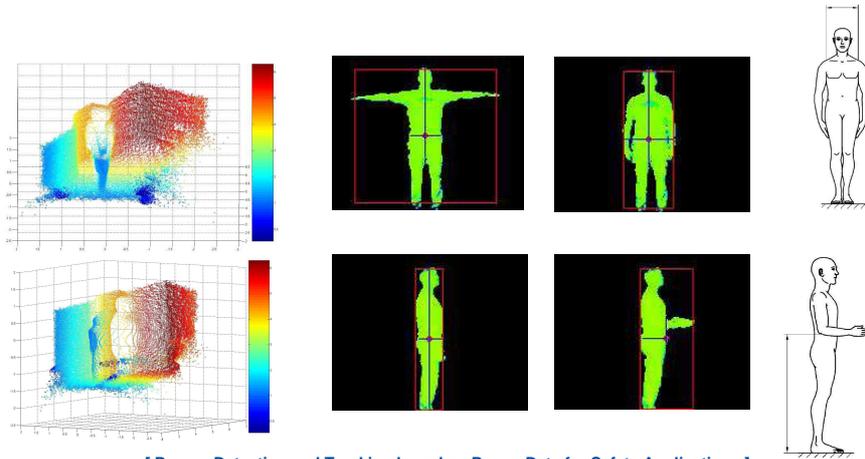
- Extrahieren des Menschen aus den Umgebungswerten
  - Vergleich statisch – dynamisch
  - Bilderkennung
  - 3D – Formerkennung
- Pfadplanung – Umgehung von erkannten Hindernissen
  - Baumanalyse, Gravitationsmodelle, ...
  - Geometrisch
- Geschwindigkeitsplanung
  - Absolute Nähe zum Menschen
  - Nähe zu unterschiedlichen „Bedrohungsgebieten“ am Menschen

## Vergleich statisch – dynamisch



[ Infrastructure between autonomous motion controls and robot simulating software ]

### 3D – Formerkennung



[ Person Detection and Tracking based on Range Data for Safety Applications ]

### Aufgabengebiet – Algorithmik

- Extrahieren des Menschen aus den Umgebungswerten
- ✓ • Vergleich statisch – dynamisch
- Bilderkennung
- ✓ • 3D – Formerkennung
- Pfadplanung – Umgehung von erkannten Hindernissen
- Baumanalyse, Gravitationsmodelle, ...
- ✓ • Geometrisch
- Geschwindigkeitsplanung
- ✓ • Absolute Nähe zum Menschen
- Nähe zu unterschiedlichen „Bedrohungsgebieten“ am Menschen

**R&D Ostermann**

**Masterthesis v.d. Lippe**

**Masterthesis Ostermann**

## Inhalt

- Kollaboration
- Geschichtliche Entwicklung
- Sensoren und Algorithmen
- Forschung im IFA
- Gebiete der Kollaboration und Umsetzung im IFA
- **Einzelne Projekte**
  - **Kollisionsüberwachung mit 3D Kamera**
  - Kollisionsüberwachung mit Ultraschall

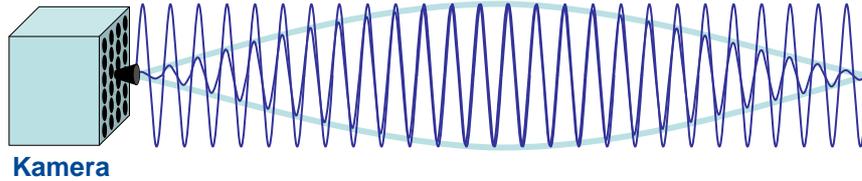


## Kollisionsüberwachung mit 3D Kamera

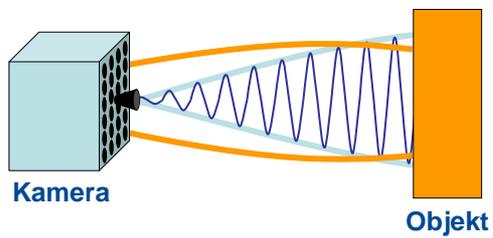
- Funktionsweise des Sensors
- Platzierung des Sensors
- Funktionsweise des „Flexiblen Zauns“
- Ablauf der Steuerung
- Datenverarbeitung im Steuerungsprogramm
  - „Bild“-Verarbeitung
  - Abstandsberechnung
  - Pfadplanung
- Reaktionszeiten



## Funktionsweise des Sensors

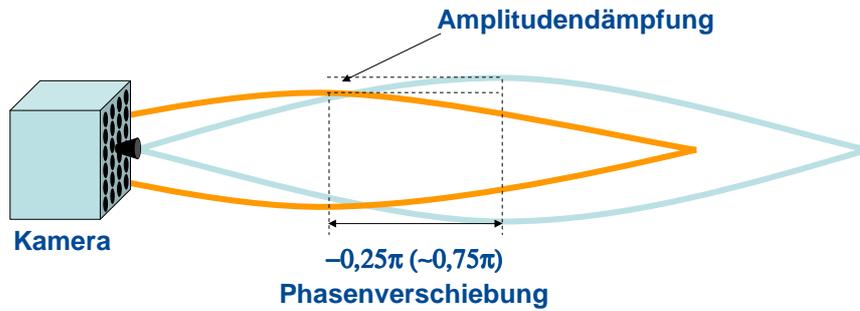


## Funktionsweise des Sensors





## Funktionsweise des Sensors



Wellenlänge  $\pi$  : 14m

Distanz bei  $0,75\pi$  :  $14\text{m}/2 * 0,75 = 5,25\text{m}$

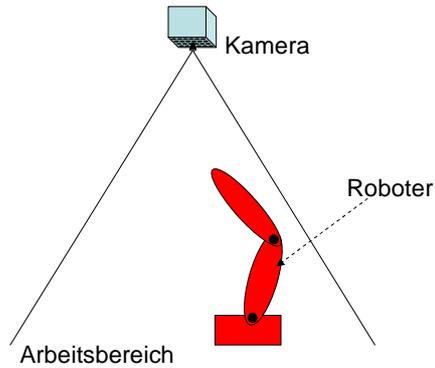


## Kollisionsüberwachung mit 3D Kamera

- Funktionsweise des Sensors
- **Platzierung des Sensors**
- Funktionsweise des „Flexiblen Zauns“
- Ablauf der Steuerung
- Datenverarbeitung im Steuerungsprogramm
  - „Bild“-Verarbeitung
  - Abstandsberechnung
  - Pfadplanung
- Reaktionszeiten



## Platzierung des Sensors

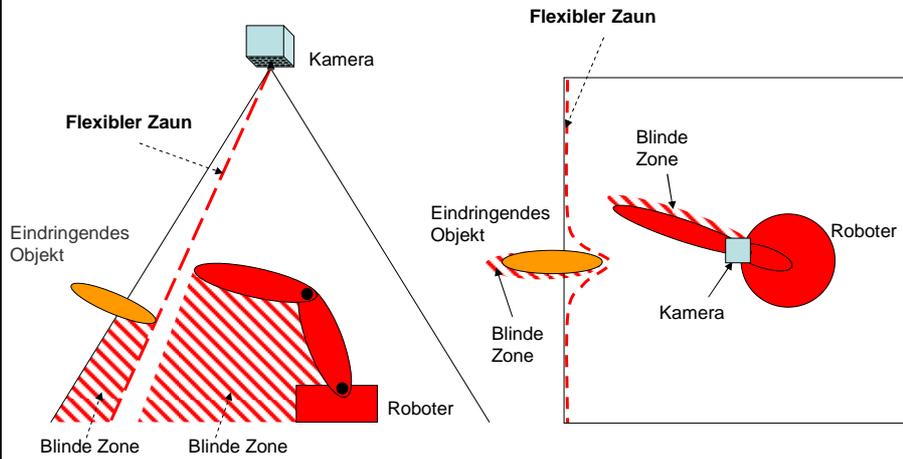


## Kollisionsüberwachung mit 3D Kamera

- Funktionsweise des Sensors
- Platzierung des Sensors
- **Funktionsweise des „Flexiblen Zauns“**
- Ablauf der Steuerung
- Datenverarbeitung im Steuerungsprogramm
  - „Bild“-Verarbeitung
  - Abstandsberechnung
  - Pfadplanung
- Reaktionszeiten



## Funktionsweise des „Flexiblen Zauns“

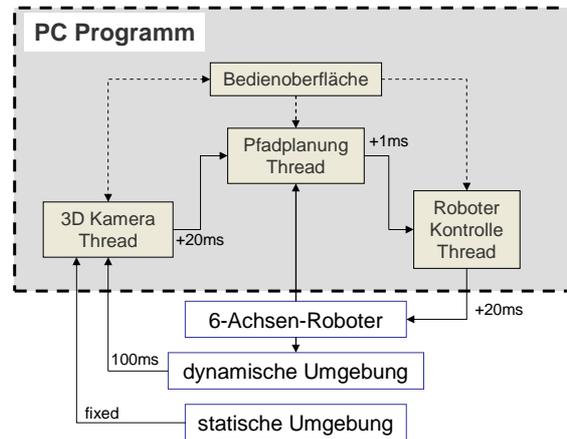


## Kollisionsüberwachung mit 3D Kamera

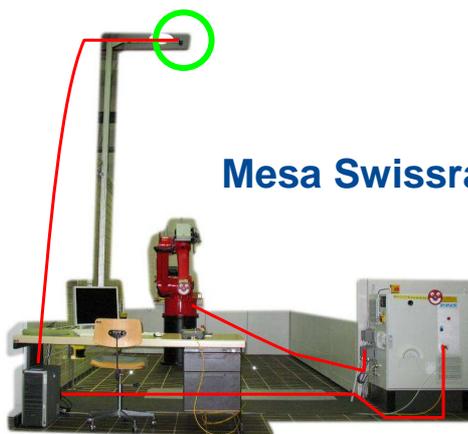
- Funktionsweise des Sensors
- Platzierung des Sensors
- Funktionsweise des „Flexiblen Zauns“
- **Ablauf der Steuerung**
- Datenverarbeitung im Steuerungsprogramm
  - „Bild“-Verarbeitung
  - Abstandsberechnung
  - Pfadplanung
- Reaktionszeiten



## Ablauf der Steuerung



## 3D Time of flight Kamera



Mesa Swissranger 3000



[ Quelle: Mesa ]

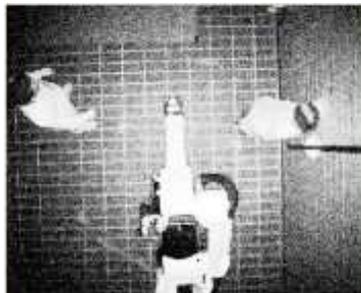


## Kollisionsüberwachung mit 3D Kamera

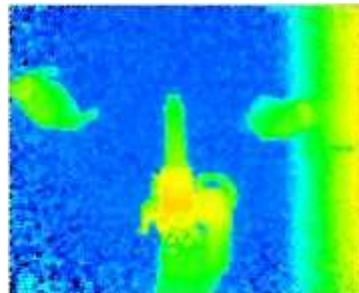
- Funktionsweise des Sensors
- Platzierung des Sensors
- Funktionsweise des „Flexiblen Zauns“
- Ablauf der Steuerung
- **Datenverarbeitung im Steuerungsprogramm**
  - **„Bild“-Verarbeitung**
  - Abstandsberechnung
  - Pfadplanung
  - Reaktionszeiten



## Daten die von der Kamera geliefert werden



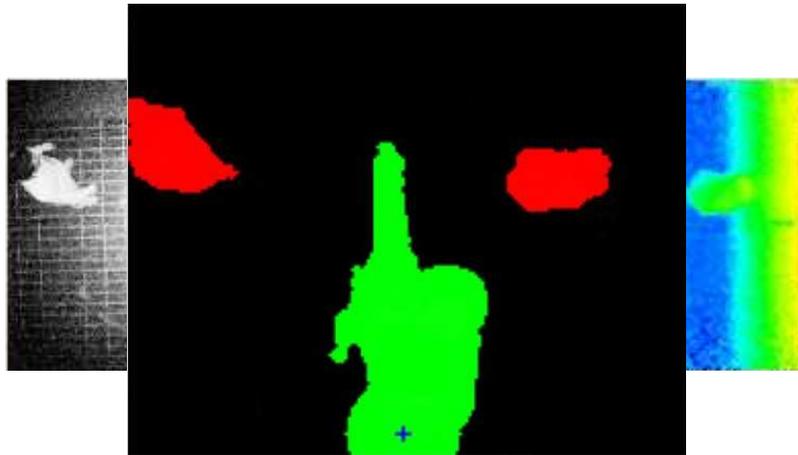
**Reflektionswerte**



**Distanzwerte**

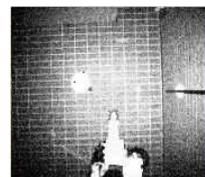


## Daten die von der Steuerung benötigt werden

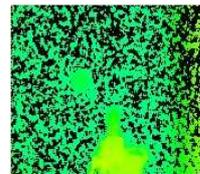


## Eindringungen erkennen

- Subtraktion des Hintergrundes von Einzelbildern



Reflexionsbild



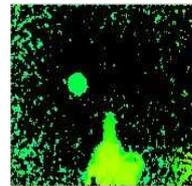
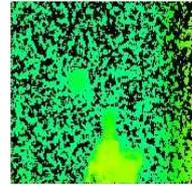
Distanzbild





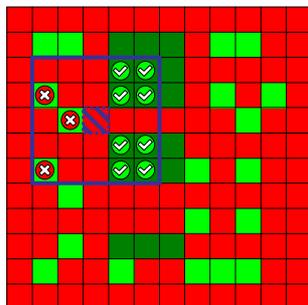
## Eindringungen erkennen

- Einbinden eines Offsets in die Hintergrundwerte
- EN 999 „Anordnung von Schutzeinrichtungen im Hinblick auf Annäherungsgeschwindigkeiten von Körperteilen“: Kap. 6.2 – 30 cm möglich

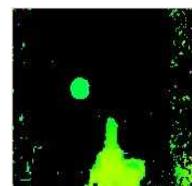
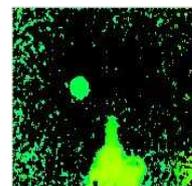


## Eindringungen erkennen

- Plausibilitäts-Filter



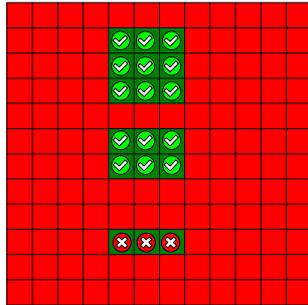
- Freies Pixel
- Eindringung unter kürzestem Wert
- Eindringung über kürzestem Wert



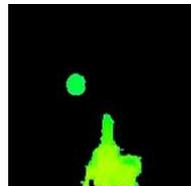
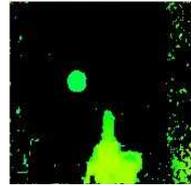


## Eindringungen erkennen

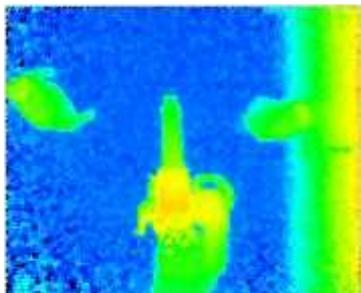
- Region Growing



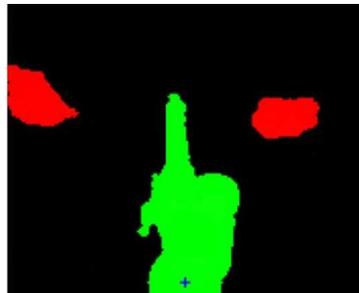
- ⊗ Eindringung zu klein
- ✓ Eindringung groß genug



## Ergebnis der Bildverarbeitung



Distanzwerte



Dynamische Objekte

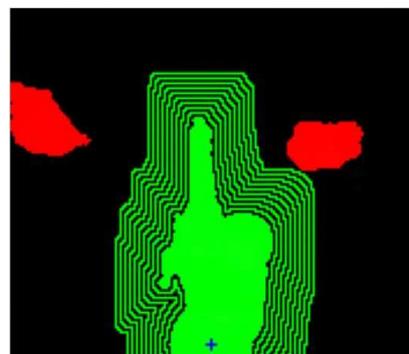
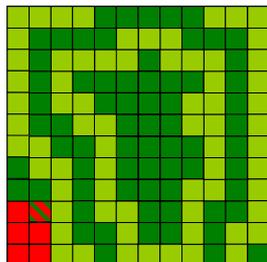


## Kollisionsüberwachung mit 3D Kamera

- Funktionsweise des Sensors
- Platzierung des Sensors
- Funktionsweise des „Flexiblen Zauns“
- Ablauf der Steuerung
- **Datenverarbeitung im Steuerungsprogramm**
  - „Bild“-Verarbeitung
  - **Abstandsberechnung**
  - Pfadplanung
- Reaktionszeiten

## Abstand zu Objekten

- Inkrementelles Erweitern des Roboters
- Abbruch des Erweiterns, wenn eine Eindringung berührt wird





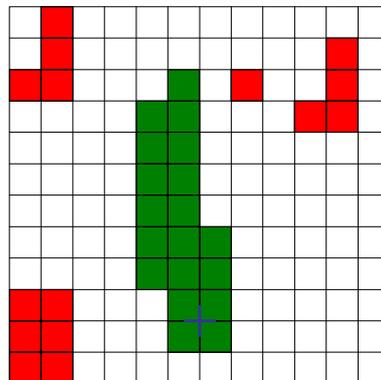
## Kollisionsüberwachung mit 3D Kamera

- Funktionsweise des Sensors
- Platzierung des Sensors
- Funktionsweise des „Flexiblen Zauns“
- Ablauf der Steuerung
- **Datenverarbeitung im Steuerungsprogramm**
  - „Bild“-Verarbeitung
  - Abstandsberechnung
  - **Pfadplanung**
- Reaktionszeiten



## Erreichbarer Raum

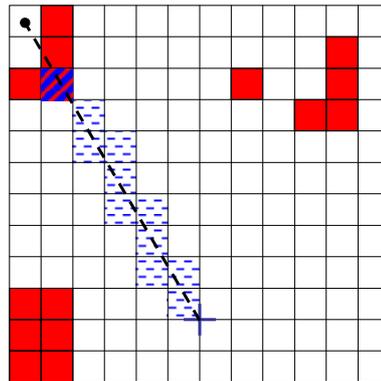
- Entfernen des Roboters aus der Hinderniskarte





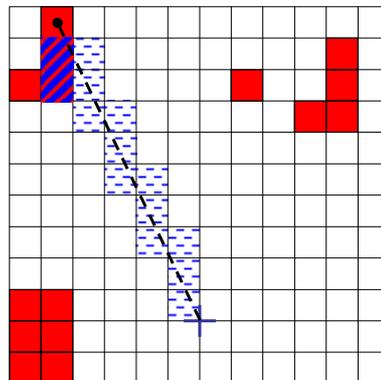
## Erreichbarer Raum

- Entfernen des Roboters aus der Hinderniskarte
- Zeichnen einer Linie von der Basis bis an den Rand
- Erste berührte Eindringung merken



## Erreichbarer Raum

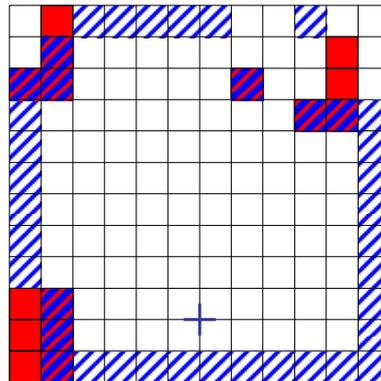
- Entfernen des Roboters aus der Hinderniskarte
- Zeichnen einer Linie von der Basis bis an den Rand
- Erste berührte Eindringung merken
- Mit dem nächsten Randpixel fortfahren





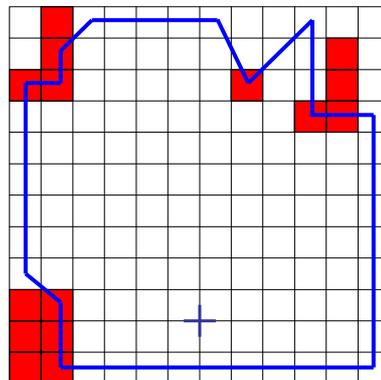
## Erreichbarer Raum

- Entfernen des Roboters aus der Hinderniskarte
- Zeichnen einer Linie von der Basis bis an den Rand
- Erste berührte Eindringung merken
- Mit dem nächsten Randpixel fortfahren bis alle Randpixel getestet sind



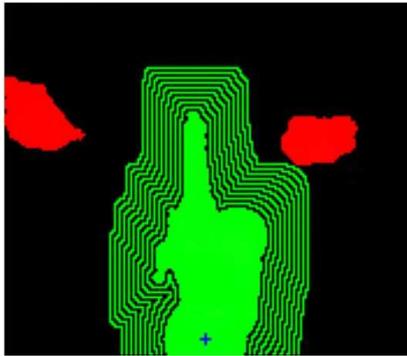
## Erreichbarer Raum

- Entfernen des Roboters aus der Hinderniskarte
- Zeichnen einer Linie von der Basis bis an den Rand
- Erste berührte Eindringung merken
- Mit dem nächsten Randpixel fortfahren bis alle Randpixel getestet sind
- Gefundene Endpunkte zu einer Linie verbinden

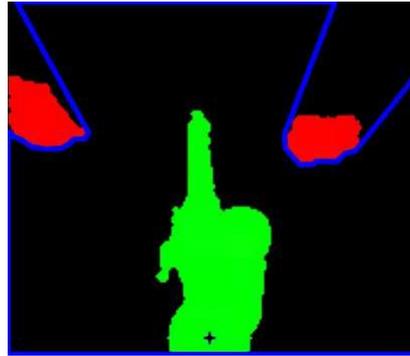




## Demonstration der Ergebnisse



Abstand zu Objekten



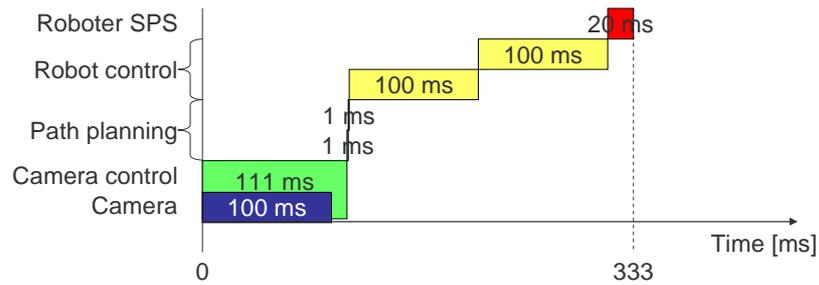
Erreichbarer Raum



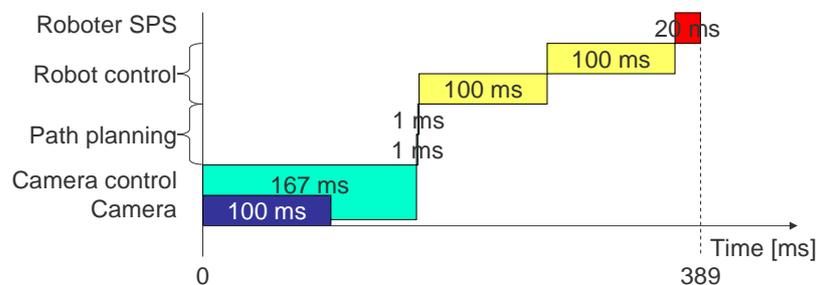
## Kollisionsüberwachung mit 3D Kamera

- Funktionsweise des Sensors
- Platzierung des Sensors
- Funktionsweise des „Flexiblen Zauns“
- Ablauf der Steuerung
- Datenverarbeitung im Steuerungsprogramm
  - „Bild“-Verarbeitung
  - Abstandsberechnung
  - Pfadplanung
- **Reaktionszeiten**

## Bestimmung der Reaktionsgeschwindigkeit Ausweichpfad planen



## Bestimmung der Reaktionsgeschwindigkeit Robotergeschwindigkeit anpassen



## Inhalt

- Kollaboration
- Geschichtliche Entwicklung
- Sensoren und Algorithmen
- Forschung im IFA
- Gebiete der Kollaboration und Umsetzung im IFA
- **Einzelne Projekte**
  - Kollisionsüberwachung mit 3D Kamera
  - **Kollisionsüberwachung mit Ultraschall**

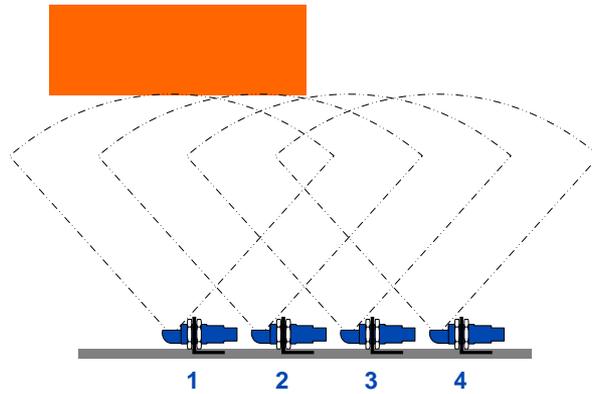


## Kollisionsüberwachung mit Ultraschall

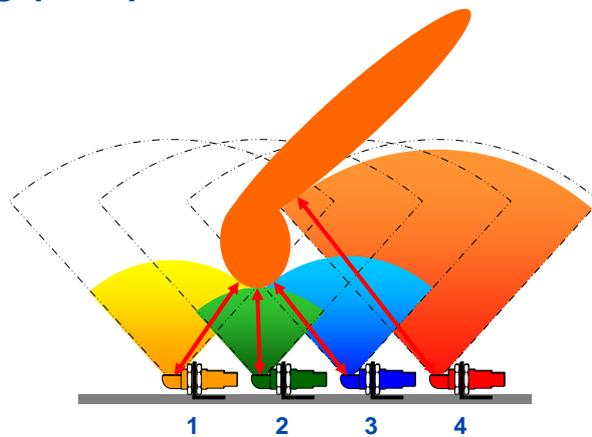
- Wirkungsprinzip des Sensors
- Platzierung des Sensors
- Gewünschte Funktionsweise des „Flexiblen Schutzfeldes“
- Ablauf der Steuerung
- Zusammenhang Abstand – Geschwindigkeit
- Meilensteine im Projekt und aktuelle Arbeit



## Wirkungsprinzip des Sensors

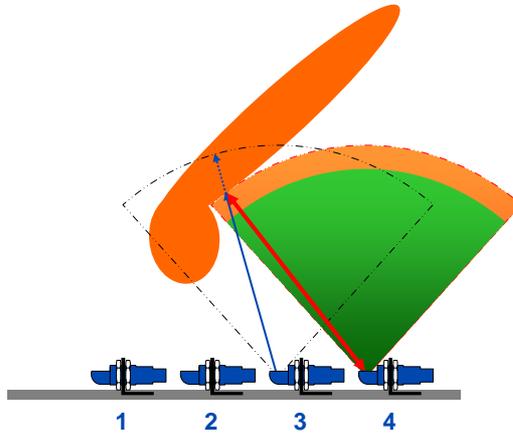


## Wirkungsprinzip des Sensors

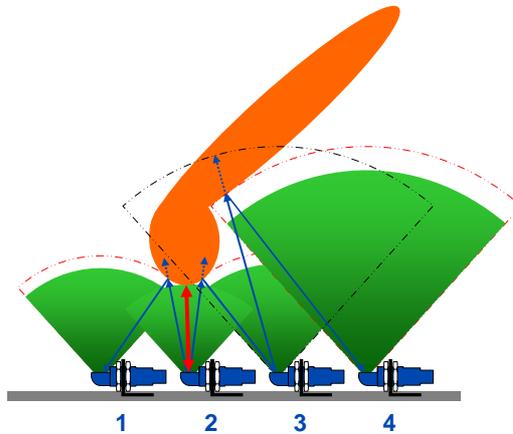




### Wirkungsprinzip des Sensors

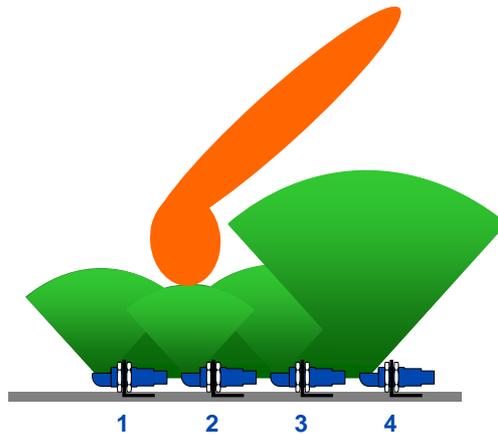


### Wirkungsprinzip des Sensors





## Wirkungsprinzip des Sensors

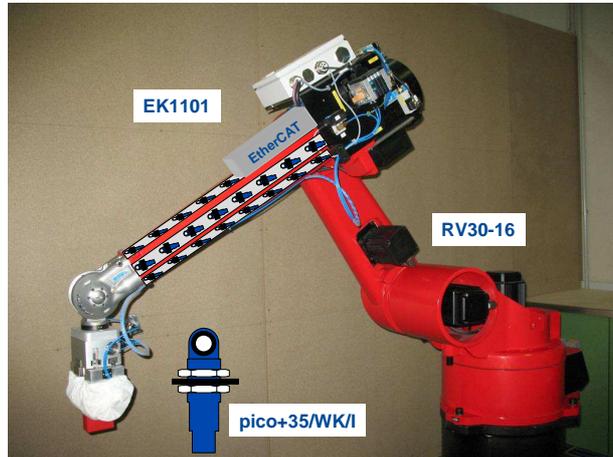


## Kollisionsüberwachung mit Ultraschall

- Wirkungsprinzip des Sensors
- **Platzierung des Sensors**
- Gewünschte Funktionsweise des „Flexiblen Schutzfeldes“
- Ablauf der Steuerung
- Zusammenhang Abstand – Geschwindigkeit
- Meilensteine im Projekt und aktuelle Arbeit



## Platzierung der Sensoren



## Platzierung der Sensoren



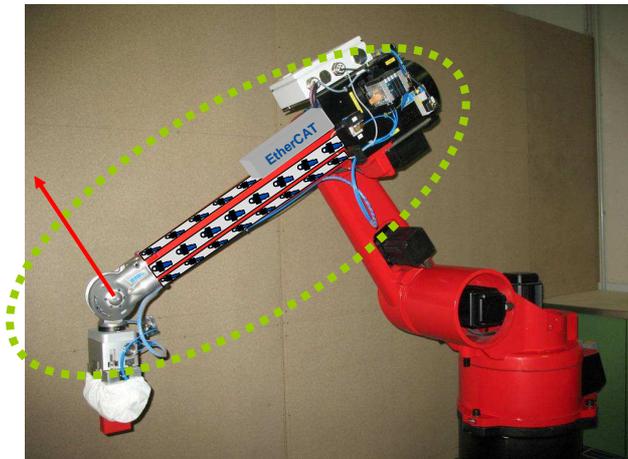


## Kollisionsüberwachung mit Ultraschall

- Wirkungsprinzip des Sensors
- Platzierung des Sensors
- **Gewünschte Funktionsweise des „Flexiblen Schutzfeldes“**
- Ablauf der Steuerung
- Zusammenhang Abstand – Geschwindigkeit
- Meilensteine im Projekt und aktuelle Arbeit

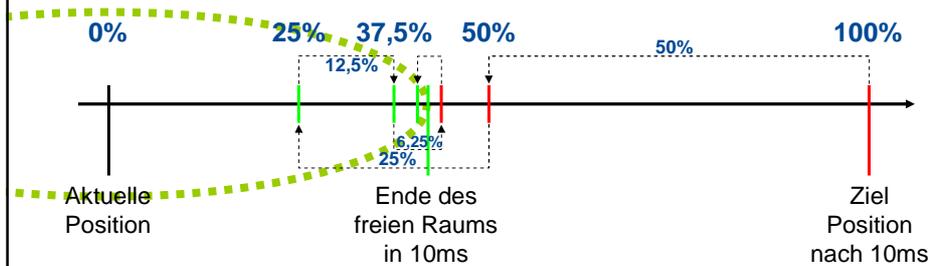


## Funktionsweise des „Flexiblen Schutzfeldes“





## Funktionsweise des „Flexiblen Schutzfeldes“



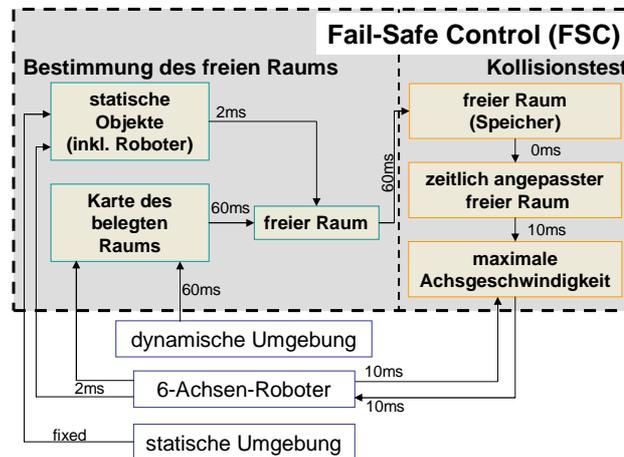
- Roboter akzeptiert ganzzahlige %-Werte
- Nach 7 Iterationen Genauigkeit von 1/128



## Kollisionsüberwachung mit Ultraschall

- Wirkungsprinzip des Sensors
- Platzierung des Sensors
- Gewünschte Funktionsweise des „Flexiblen Schutzfeldes“
- **Ablauf der Steuerung**
- Zusammenhang Abstand – Geschwindigkeit
- Meilensteine im Projekt und aktuelle Arbeit

## Ablauf der Steuerung



## Kollisionsüberwachung mit Ultraschall

- Wirkungsprinzip des Sensors
- Platzierung des Sensors
- Gewünschte Funktionsweise des „Flexiblen Schutzfeldes“
- Ablauf der Steuerung
- **Zusammenhang Abstand – Geschwindigkeit**
- Meilensteine im Projekt und aktuelle Arbeit

## Grundlage für die Geschwindigkeitsberechnung

- Nachlaufzeit
  - Zykluszeit der Sensoren und Auswertung
  - Verarbeitung in der Robotersteuerung
  - Trägheit des Roboters
- Geschwindigkeiten
  - Roboter (Sensorwerte, Datenblatt)
  - Mensch (DIN EN 999, DIN EN ISO 13855)

## DIN EN 999, DIN EN ISO 13855

$$S = (K * T) + C$$

*S* Mindestabstand

*K* Faktor für die Annäherungsgeschwindigkeit eines Menschen

**2m/s + X**

*T* Nachlaufzeit

**100ms**

*C* der Eindringungstiefe in den Gefahrenbereich bis zur Detektion

**0mm**

## DIN EN 999, DIN EN ISO 13855

$$S = (K * T) + C$$

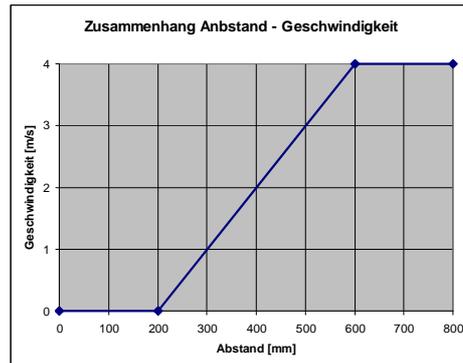
$$K = 2m/s + X$$

$$X = 4m/s$$

$$S = (6m/s * 100ms) + 0mm = 600mm$$

$$X = 0m/s$$

$$S = (2m/s * 100ms) + 0mm = 200mm$$



## Kollisionsüberwachung mit Ultraschall

- Wirkungsprinzip des Sensors
- Platzierung des Sensors
- Gewünschte Funktionsweise des „Flexiblen Schutzfeldes“
- Ablauf der Steuerung
- Zusammenhang Abstand – Geschwindigkeit
- **Meilensteine im Projekt und aktuelle Arbeit**

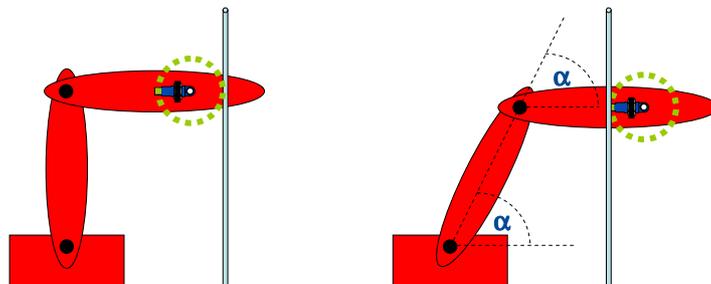


## Meilensteine

- ✓ Erfassung und Analysierung des Standes von Wissenschaft und Forschung
- ✓ Erstellen eines Sensorkonzepts zum sicheren Erfassen von Fremdobjekten
  - Umsetzung des Konzepts
- ✓ Einlesen der Roboter-Achswerte in einen PC
- ✓ Steuern der Robotergeschwindigkeit über einen PC
- ✓ Einlesen der Sensorwerte in einen PC
- ✓ Montage der Sensoren am Roboter
- ✓ Automatisierte extrinsische Kalibrierung der Sensoren
  - Automatisierte intrinsische Kalibrierung der Sensoren
  - Einlesen des Arbeitsraumes
  - Vergleich gemessene zu erwarteten Werten
  - Berechnung der resultierenden maximalen Geschwindigkeit

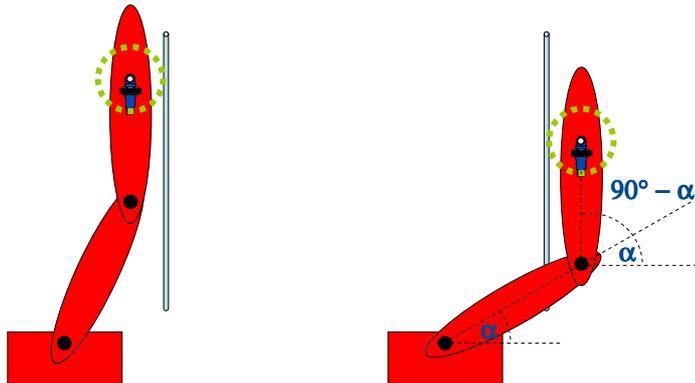


## Automatisierte extrinsische Kalibrierung der Sensoren

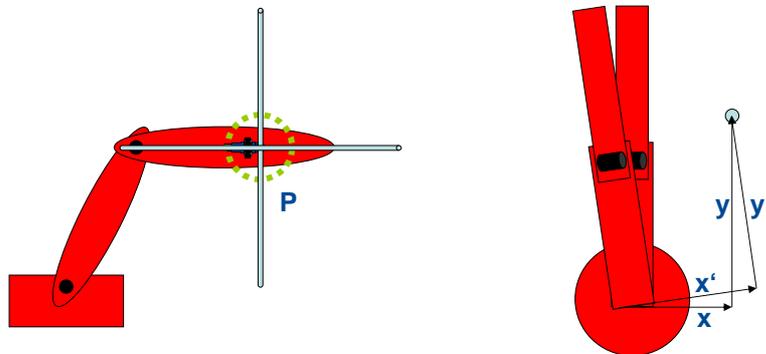




### Automatisierte extrinsische Kalibrierung der Sensoren

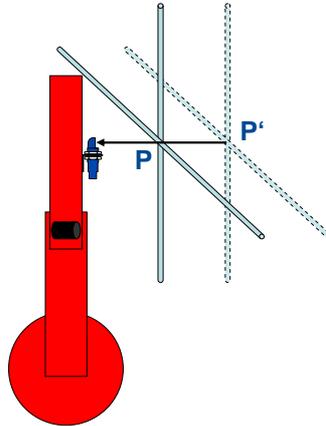


### Automatisierte extrinsische Kalibrierung der Sensoren





### Automatisierte extrinsische Kalibrierung der Sensoren



### Auf zum Essen!

