

16. Kooperationsforum Automation Valley bei Fa. WIKA, Klingenberg 13.07.2011

Schnelle Bewegungssteuerung für redundante Kinematiken am Beispiel der Lasermaterialbearbeitung mit Industrierobotern

Prof. Dr.-Ing Hartmut Bruhm
Prof. Dr.-Ing. Alexander Czinki
Dipl.-Ing. (FH) Markus Lotz, M. Eng.

Hochschule Aschaffenburg



hochschule aschaffenburg
university of applied sciences

„LAserRobotik – Integration von Scan- und Fokussier-Einheiten als hochdynamische System-Achsen“

Projektlaufzeit: 01.12.2008 bis 31.05.2011



hochschule aschaffenburg
university of applied sciences

**Hochschule Aschaffenburg
(Projektkoordinator)**



**Reis Robotics, Obernburg
(Industriepartner)**



**RAYLASE AG, Weßling
(Industriepartner)**



**Bayerische Forschungsstiftung
(Fördermittelgeber)**



Projektleitung:

Prof. Dr.-Ing. Hartmut Bruhm

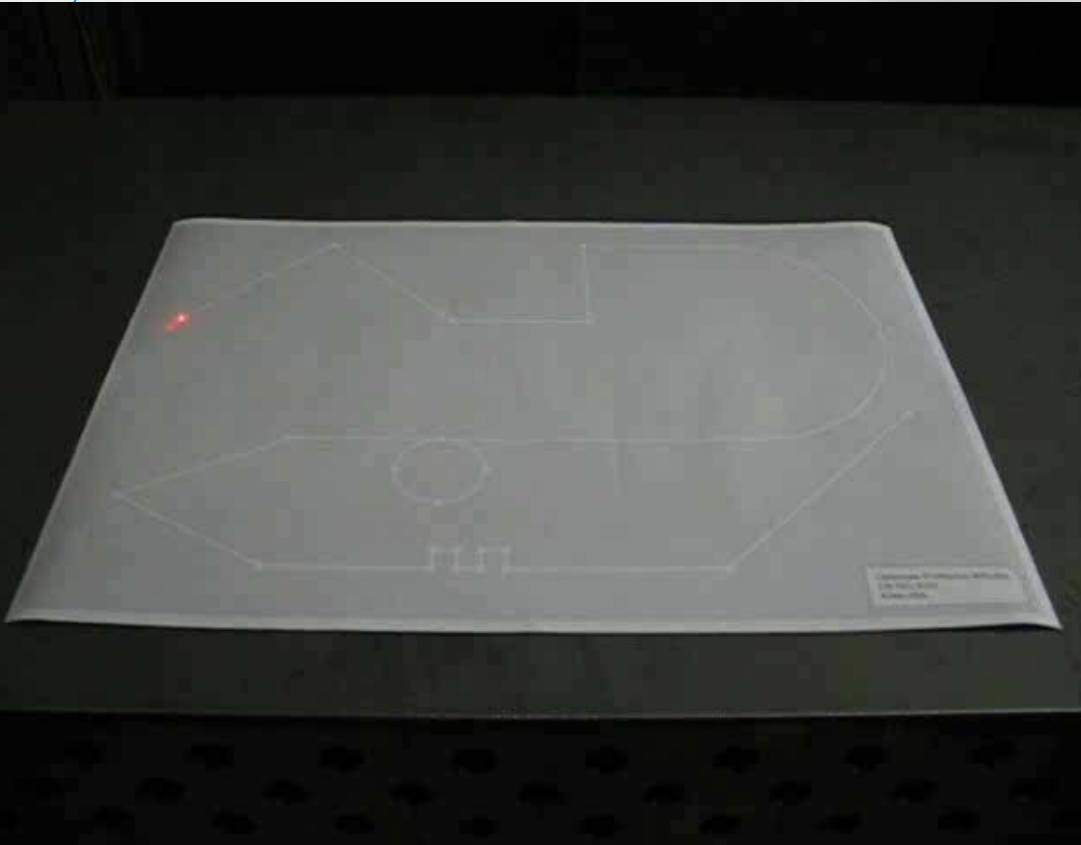
Prof. Dr.-Ing. Alexander Czinki



Inhalt

- Motivation (Einführungsbeispiel ISO-Testkontur)
- Industrieroboter mit Zusatzachsen für die Lasermaterialbearbeitung
- LARISSA-Steuerungsansatz und –algorithmen (MinMove / FineMove)
- Sensorbasierte Höhenführung mit FineMove
- Seitenführung mit FineMove (ISO-Testkontur)
- Einige Technologische Herausforderungen im Detail
- Seitenführung mit MinMove
- Projektergebnisse / Vorteile der Kooperation
- F&E-Leistungsangebot der Arbeitsgruppe Robotik

Motivation (Einführungsbeispiel)



Beispiel: Testkontur nach ISO 9283

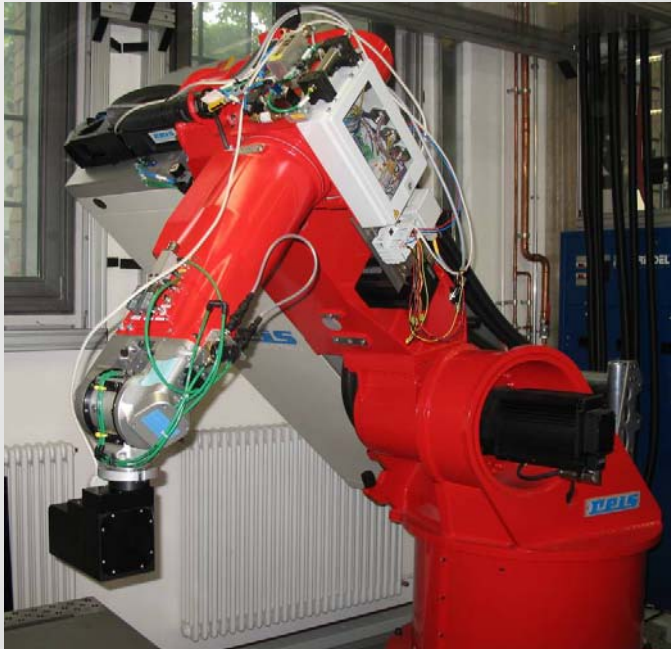
- Pilotlaser
 - konventionelle Steuerung
 - ohne Zusatzachsen
- **Bewegungsdynamik des Roboters als begrenzender Faktor**

Videolink: <http://www.youtube.com/watch?v=6wswOImDjYE> (erste Abfahrt der Kontur)

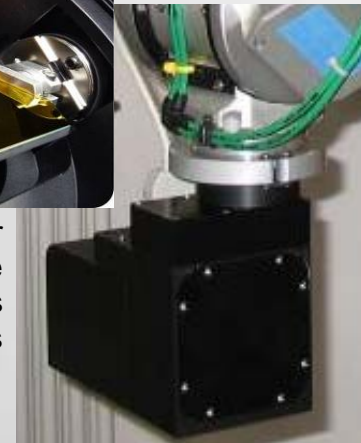
Industrieroboter mit Zusatzachsen für die Lasermaterialbearbeitung



hochschule aschaffenburg
university of applied sciences



rechts: Scanner
oben: optische
Achsen des
Scanners



Lineare Zusatzachse

Eigenschaften Roboter

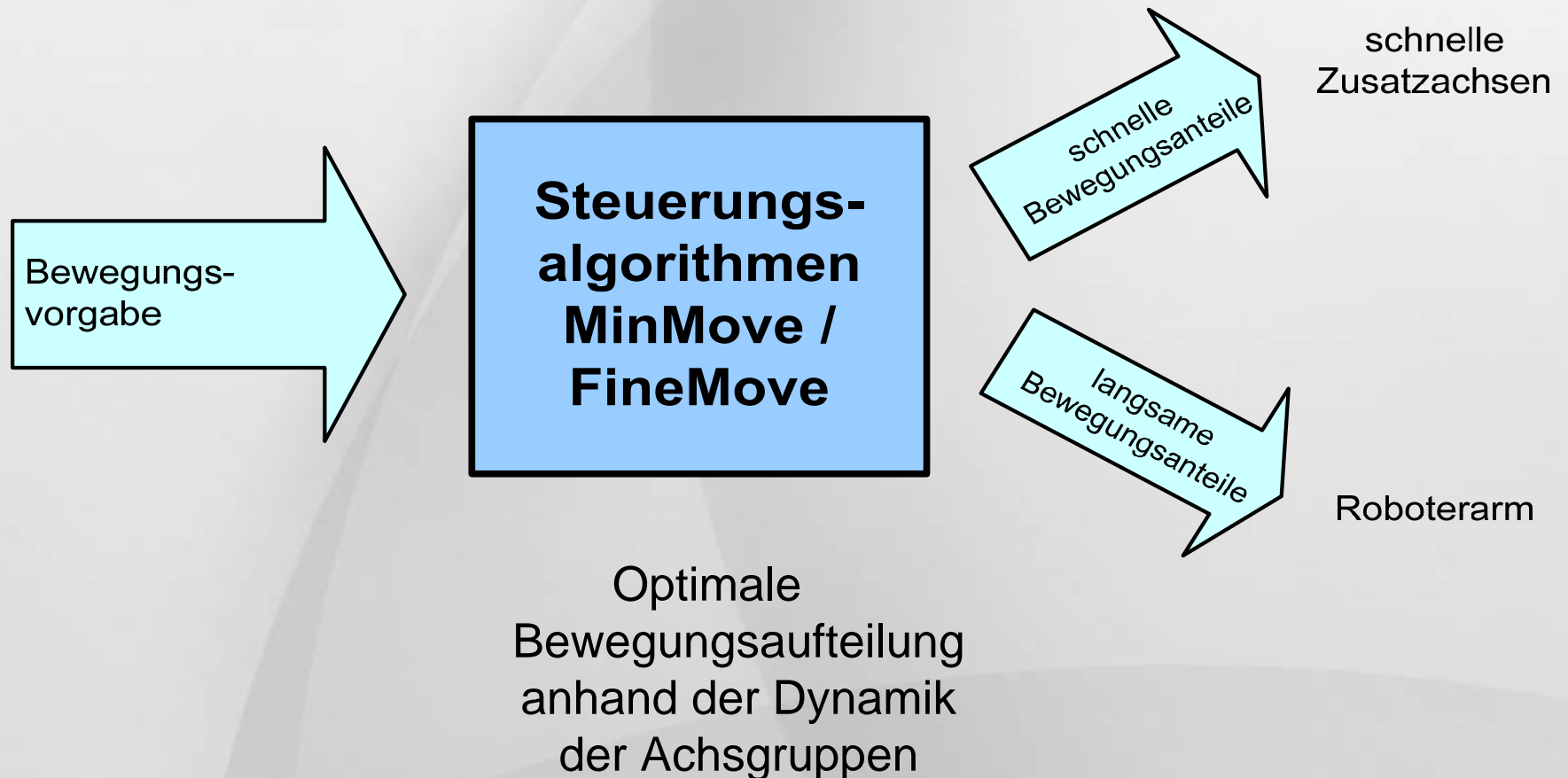
- 6 Bewegungsfreiheitsgrade
- großer Arbeitsraum
- geringe Bewegungsdynamik

Eigenschaften Zusatzachsen

- 1-2 Bewegungsfreiheitsgrade
- eingeschränkter Arbeitsraum
- hohe Bewegungsdynamik



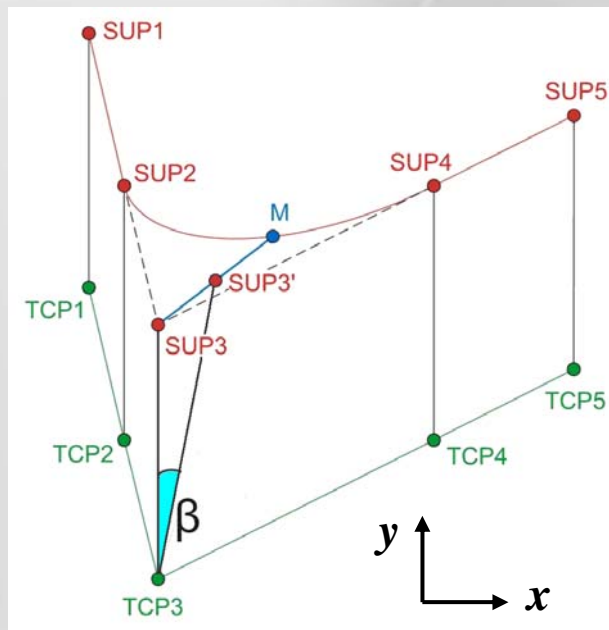
LARISSA-Steuerungsansatz



Steuerungsalgorithmen

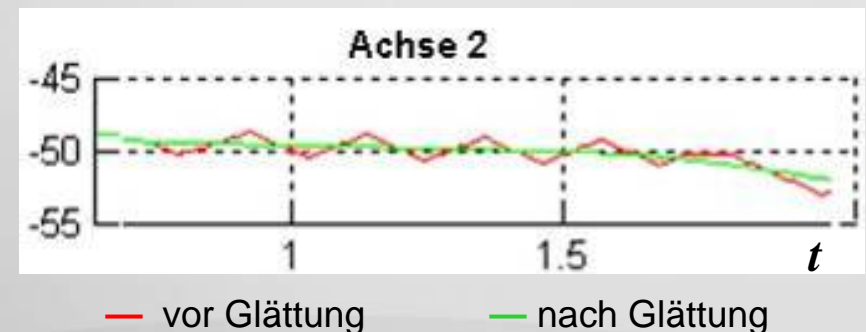
MinMove (Reis Robotics)

- Geometrische Glättung der Roboterbahn
- Geeignet für vorgeplante Bewegungen
- Nicht geeignet für sensorgeführte Bewegungen
- Implementiert auf der Robotersteuerung



FineMove (Hochschule Aschaffenburg)

- Glättung der Bewegungsvorgabe für den Roboter durch Dynamik-Filter (Frequenzweiche / Begrenzung von Beschleunigung und Ruck)
- Geeignet für vorgeplante Bewegungen
- Geeignet für sensorgeführte Bewegungen
- Prototypisch implementiert auf externem Controller (Matlab / Simulink / dSPACE)



Die Differenz wird jeweils durch die Zusatzachsen ausgeglichen.

Anwendungsszenario 1: Sensorbasierte Höhenführung mit FineMove

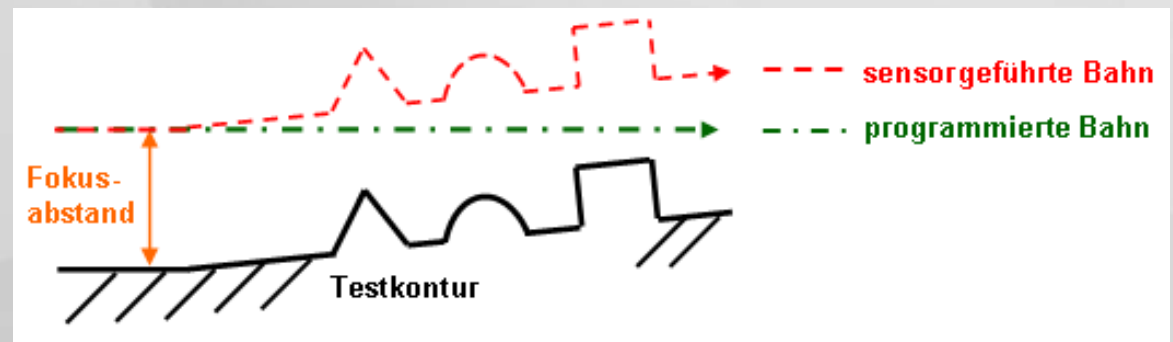
Kinematik: Roboter + Fokussierachse



Bild: Reis Robotics

Anforderungen:

- Sensorische Erfassung der Störkontur
- Schnelle und exakte Fokusnachführung
- Großer Korrekturweg (schräg aufgespanntes Teil !!)
- Einfache Programmierbarkeit
- Automatische Zentrierung der Fokussierachse





Anwendungsszenario 1: Sensorbasierte Höhenführung mit FineMove



Ergebnisse:

- ✓ Schnelle Höhenkorrektur durch die Fokussierachse
- ✓ Korrekturweg wird anschließend vom Roboter übernommen
- ✓ Korrekturweg nicht durch Stellbereich der Zusatzachse begrenzt
- ✓ Regelungs-Bandbreite: 9 Hz (ohne Zusatzachse: ca. 3 Hz¹)
Hartes Kriterium, mit Berücksichtigung der Phasenverschiebung (Restfehler < 29%)
- ✓ Reduzierter Programmieraufwand durch automatische Zentrierung der Zusatzachse

Videolink: <http://www.youtube.com/user/LARISSAProjekt#p/a/u/1/jhAh4Sdy2nk>

¹ Quelle: Projekt KoRTec
(FH Aschaffenburg, 2003)

Anwendungsszenario 2: Seitenführung mit FineMove

Kinematik:

Roboter + x/y-Scanner

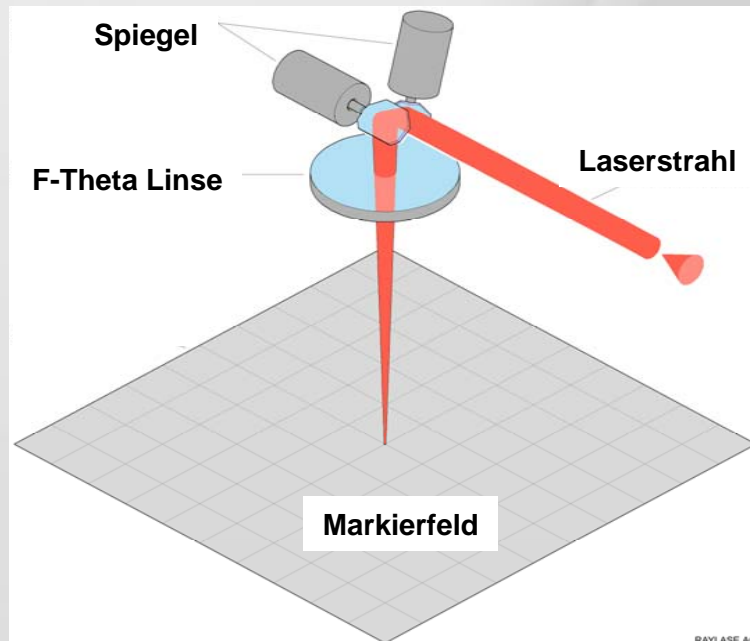


Bild: Raylase AG

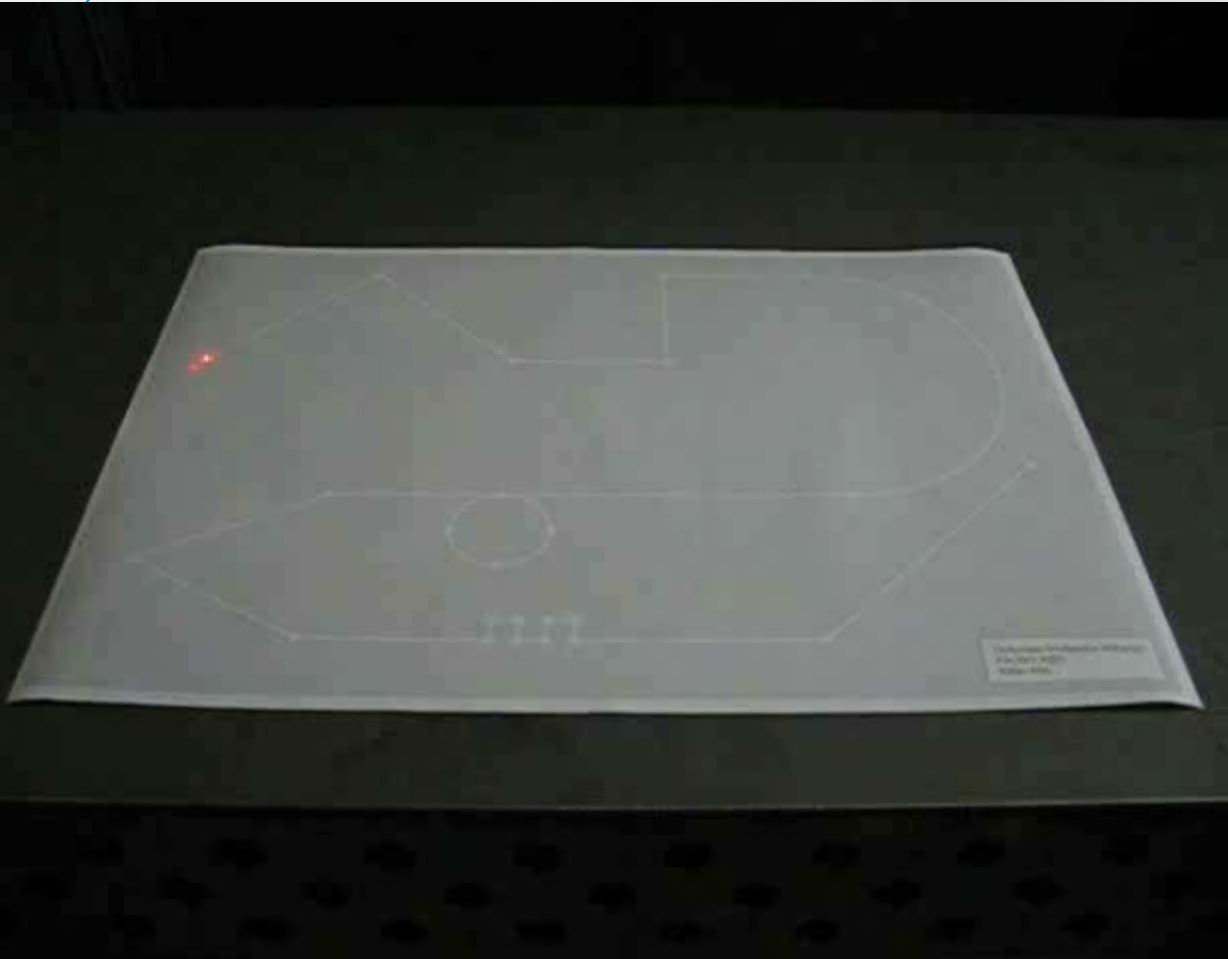
Anforderungen:

- Komplexe Bearbeitungskonturen schnell und präzise verfolgen
- Konturen mit beliebiger Ausdehnung sollen bearbeitet werden können
- Einfache Programmierbarkeit

Anwendungsszenario 2: Seitenführung mit FineMove



hochschule aschaffenburg
university of applied sciences



Ergebnisse:

- ✓ Kontur kann mit voller Geschwindigkeit gefahren werden
- ✓ Verfügbare Laserleistung zum Bearbeiten kann zu 100% genutzt werden
- ✓ Kürzere Zykluszeit (17,6 s → 3,4 s)
- ✓ Timing-Problematik bei der Modulation der Laserleistung entschärft
- ✓ Gleichmäßigeres Bearbeitungsergebnis zu erwarten
- ✓ Kein Zusatzaufwand bei der Programmierung

Videolink: <http://www.youtube.com/watch?v=6wswOImDjYE> (zweite Abfahrt der Kontur)

1. Steuerungstakt für die Scannerachsen



Kreis mit $\Delta t = 1 \text{ ms}$



Kreis mit $\Delta t = 50 \mu\text{s}$

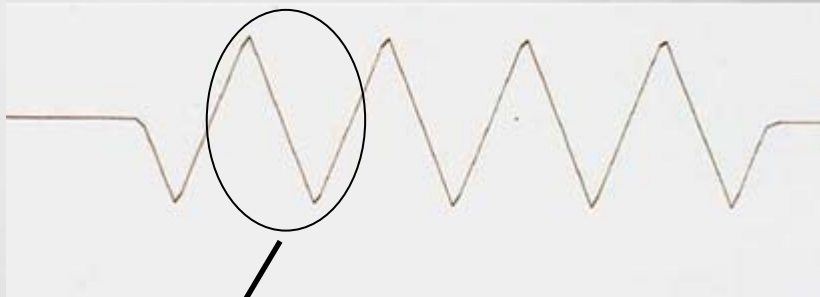
Problem:

- Scanner kommt nach 1 ms jeweils zum Stillstand
- Einbrennen durch erhöhten Eintrag von Laserleistung

Lösung:

- ✓ Steuerungsanbindung über EtherCAT (AO-Klemme im Burst-Modus)
- ✓ Ansteuerung mit $\Delta t = 50 \mu\text{s}$

2. Steuerungstakt für die Bahnvorgabe



Scanner: $\Delta t = 12,5 \mu\text{s}$

Bahnvorgabe: $\Delta t = 10 \text{ ms}$

Problem:

- Ecken werden abgeschnitten

Lösung von Reis Robotics:

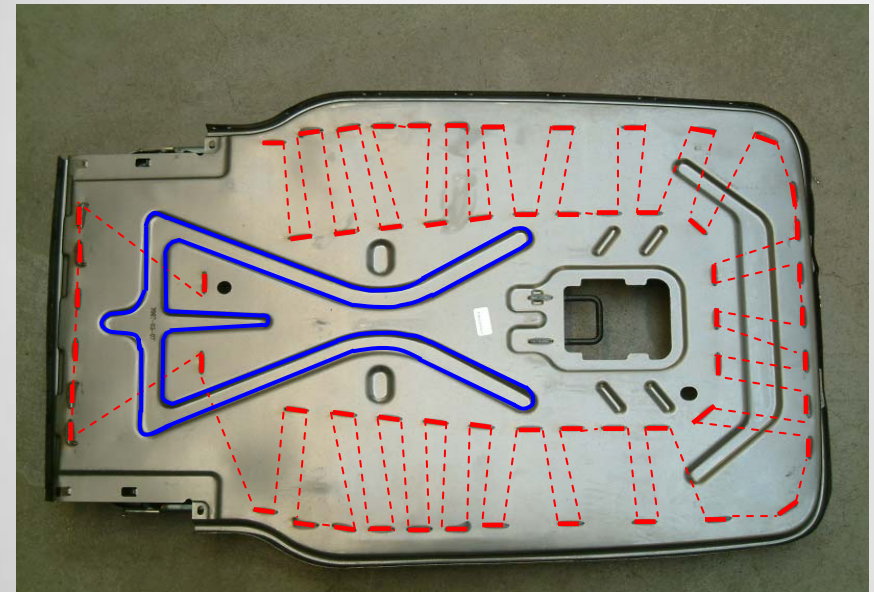
- ✓ Bahnvorgabe wird von Reis *ROBOTstar V* vorab berechnet, zwischengepuffert und mit $\Delta t = 12,5 \mu\text{s}$ abgespielt.

Anwendungsszenario 3: Seitenführung mit MinMove

Demonstration von zwei Bearbeitungsvorgängen

Werkstück: Rückenlehne eines Kfz-Sitzes

1. Demonstration der erreichbaren
Geschwindigkeitssteigerung beim
Markieren
2. Laserschweißen mit optimierter
Taktzeit

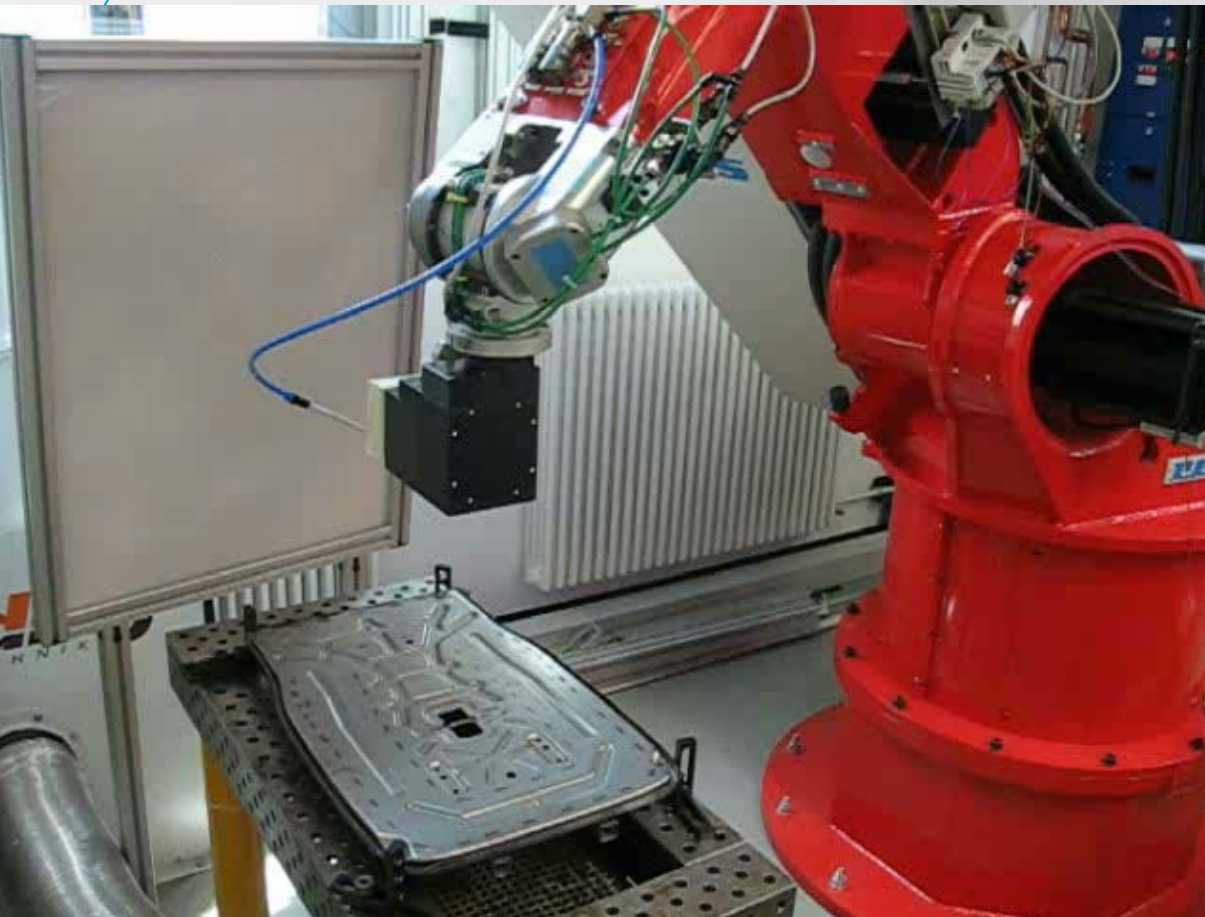


- Schweißnaht
- - - Zustellbewegung

Anwendungsszenario 3: Seitenführung mit MinMove



hochschule aschaffenburg
university of applied sciences



Ergebnisse:

- ✓ Geschwindigkeitssteigerung um Faktor 10 bis 20 beim Bearbeiten von komplexen Konturen (z.B. Markieren auf Metall, Schneiden von Kunststoff-Bauteilen, Textilmaterialien, ...)
- ✓ Wegfall von Nebenzeiten für Zustellbewegungen
- ✓ Verkürzung der Taktzeit: 53 → 25 s
- ✓ Kein Zusatzaufwand bei der Programmierung

Videolink: <http://www.youtube.com/watch?v=2M0Q1u0marU>



Projektergebnisse / Vorteile der Kooperation

- ✓ **Steuerungstechnische Integration von Roboterachsen und schnellen Zusatzachsen**
(Laserscanner, verschiedene Linearachsen)
- ✓ **Stand der Technik bei der Ansteuerung von Zusatzachsen weiterentwickelt:**
getaktete Zusammenarbeit → kontinuierliche Überlagerung von Bewegungen
- ✓ **Weitere Anwendungen des Steuerungsverfahrens erfolgreich erprobt**
(nicht redundante Roboter-Kinematiken mit schnellen Handachsen)
- ✓ **Beitrag zum Technologietransfer**
(z.B. Kompetenzaufbau bzgl. der Ansteuerung extrem schneller Prozesse über EtherCAT)
- ✓ **Steigerung der regionalen und überregionalen Bedeutung der Hochschule Aschaffenburg**
- ✓ **Wertvolle Impulse für die Lehre (Abschlussarbeiten, Masterprojekte)**

F&E-Leistungsangebot der Arbeitsgruppe Robotik



hochschule aschaffenburg
university of applied sciences

- Technologiestudien
- Konzept- und Prototypen-Entwicklung
- Automatisierungssoftware
- Steuerungs- und Regelungsverfahren
- System-Simulation und Optimierung
- Messung und Test



Prof. Dr.-Ing. Hartmut Bruhm
Hochschule Aschaffenburg
Labor für Regelungstechnik
hartmut.bruhm@h-ab.de



Prof. Dr.-Ing. Alexander Czinki
Hochschule Aschaffenburg
Center for Advanced Robotics and Mechatronics Aschaffenburg (CAMRA)
alexander.czinki@h-ab.de



M.Eng., Dipl.-Ing.(FH) Markus Lotz
Wissenschaftlicher Mitarbeiter
Hochschule Aschaffenburg
markus.lotz@h-ab.de



Fragen / Diskussion



Gefördert durch

