

# Tag der Mechatronik 2010

22. September 2010,  
FH Technikum Wien

**TAGUNGSBAND**





Tag der Mechatronik 2010

TAGUNGSBAND

Wien, 22. September 2010  
Fachhochschule Technikum Wien

**Viktorio Malisa**  
(Hrsg.)

**F-AR<sup>nt</sup>**  
Förderung der Automation und Robotik

Wien 2010

# Impressum

- Veranstaltung: Tag der Mechatronik 2010  
22. Sep. 2010
- Veranstalter: Arbeitsgemeinschaft Mechatronik Plattform  
Institut für Mechatronics, FH Technikum Wien
- Veranstaltungsort: Fachhochschule Technikum Wien  
Höchstädtplatz 5, 1200 Wien, Austria  
T: +43 (0)1 333 40 77 – 464  
E: info.mmr@technikum-wien.at, I: www.technikum-wien.at
- Organisationskomitee: Viktorio Malisa  
Wolfgang Haindl  
Udo Traussnigg  
Johannes Steinschaden  
Andreas Mehrle
- Herausgeber: FH-Prof. Dipl.-Ing. Viktorio Malisa  
Leiter des Instituts für Mechatronics  
Studiengangsleiter Bachelor und Master Mechatronik/Robotik
- Umschlaggestaltung: Linie B, 1060 Wien
- Druck & Bindung: paco Medienwerkstatt, 1160 Wien

Copyright **F-AR** Verein zur Förderung der Automation und Robotik, 2010

Alle Rechte, auch das des auszugsweisen Nachdruckes, der auszugsweisen oder vollständigen Wiedergabe, der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen, der Verbreitung, der Bearbeitung und Übersetzung sowie jeder Form von gewerblicher Nutzung, vorbehalten.

Alle in diesem Tagungsband enthaltenen Angaben wurden nach bestem Wissen zusammengestellt und mit Sorgfalt kontrolliert. Dennoch sind Fehler nicht ganz auszuschließen. Aus diesem Grund sind die im vorliegenden Tagungsband enthaltenen Informationen mit keiner Verpflichtung oder Garantie irgendeiner Art verbunden. Herausgeber und Institut übernehmen infolgedessen keine Verantwortung und werden keine daraus folgende oder sonstige Haftung übernehmen, die auf irgendeine Art aus der Benutzung dieser Informationen – oder Teilen davon – entstehen, auch nicht für die Verletzung von Patentrechten, die daraus resultieren können.

Printed in Austria.

Druckversion: ISBN-Nr. 978-3-902759-03-0  
Online Version: ISBN-Nr. 978-3-902759-05-4



F-AR Verein zur Förderung der Automation und Robotik  
Schweizertalstr. 5/1/1, 1130 Wien  
www.f-ar.at

# Vorwort

Liebe Kolleginnen und Kollegen, liebe Teilnehmerinnen und Teilnehmer!

Der Tag der Mechatronik am 22. Sep. wurde von der Mechatronik Plattform Österreichs ins Leben gerufen. Zum ersten Mal wurde der Tag der Mechatronik 2006 an der FH Technikum Wien veranstaltet. Seit dem wird in Österreich jedes Jahr eine zentrale Feier an einer anderen Fachhochschule organisiert. Lokale Feierlichkeiten werden an den Mechatronik Studien, in den Verbänden sowie den Firmen organisiert.

Die Mechatronik Plattform Österreich ist eine Kooperation österreichischer Fachhochschul-Studiengänge, die sich zum Ziel setzt, durch die Förderung von Studierenden, Absolvent(inn)en und Lehrenden und durch die Intensivierung der wissenschaftlichen Zusammenarbeit die Entwicklung innovativer mechatronischer Produkte zu unterstützen und damit einen Beitrag zur weiteren Entwicklung Österreichs als Mechatronik-Standort zu leisten.

Dieser Tag hat sich noch nicht überall durchgesetzt, bekommt aber immer größeren Stellenwert. In immer mehr Ländern wird der 22. Sep. als Tag der Mechatronik gefeiert.

In Österreich wird besonders die zentrale Feier des Tags der Mechatronik von namhaften Firmen unterstützt, wie in diesem Jahr von **Montech, Festo, AIT** und **IVM Engineering**. An diesem Tag werden lukrative Preise für Bachelor- und Masterarbeiten verliehen, sowie Mechatroniker AbsolventInnenkarrieren ausgezeichnet. Die gesamte Mechatronik Branche wird aufgerufen, an diesem Tag ihre MitarbeiterInnen, Kunden und Partner zu würdigen. Dieser Tag eignet sich besonders um neue Produkte der Öffentlichkeit zu präsentieren. Am Beginn des neuen Semesters werden neue Studierende ins Studium eingeführt und zugleich ist es die Zeit ein Rückblick auf das vergangene Jahr zu machen.

Für den Tag der Mechatronik 2010 wünsche ich Ihnen viel Erfolg, viele gute Vorträge, interessante Gespräche und einen angenehmen Aufenthalt in Wien



Viktorio Malisa  
Mechatronik/Robotik, FH Technikum Wien  
Mitglied der Mechatronik Plattform



# Inhaltsverzeichnis

Programm Tag der Mechatronik 2010.....	1
Mechatronik Plattform.....	3
Themenschwerpunkt: Sensorik in der Mechatronik.....	9
Nominierungen AbsolventInnenkarrieren .....	25
Nominierungen Bachelorarbeiten .....	37
Nominierungen Diplom-/Masterarbeiten.....	55

# PROGRAMM

Version 10.6

**Mittwoch, 22. Sep. 2010**

<b>12:30-13:00h</b>	<b>Registrierung</b>	<b>AULA</b>
<b>13:00-13:10h</b>	<b>Begrüßung / Schmöllebeck / Malisa /</b>	

## Sensorik in der Mechatronik

<b>13:10-13:30h</b>	<b>Vortrag 1 / Stärz, R. /</b>	
<b>13:30-13:50h</b>	<b>Vortrag 2 / Zinner, C. /</b>	
<b>13:50-14:10h</b>	<b>Vortrag 3 / Haas, F.; Pauritsch, M. /</b>	
<b>14:10-14:30h</b>	<b>Vortrag 4 / Braunsteiner, A. /</b>	
<b>14:30-14:50h</b>	<b>Vortrag 5 / Kubinger, W. /</b>	
<b>14:50-15:30h</b>	<b>Pause / Posterpräsentation</b>	<b>AULA</b>
<b>15:30-15:50h</b>	<b>Vortrag 6 / Hesse, S. /</b>	
<b>15:50-16:10h</b>	<b>Vortrag 7 / Paul, C. /</b>	
<b>16:10-16:30h</b>	<b>Vortrag 8 / Hochrainer, M. /</b>	
<b>16:30-16:50h</b>	<b>Vortrag 9 / Kohlmaier, M.; Krappinger, R. /</b>	
<b>16:50-17:10h</b>	<b>Vortrag 10 / Geiger, F. /</b>	
<b>17:10-17:30h</b>	<b>Vortrag 11 / Hendorfer, G. /</b>	
<b>17:30-18:15h</b>	<b>Pause / Posterpräsentation</b>	<b>AULA</b>

## Preisverleihung

<b>18:15-18:25h</b>	<b>Mechatronik Plattform / Traussnigg, U. /</b>	
<b>18:25-18:35h</b>	Sponsor <b>Montech</b>	<b>Tagungsband</b>
<b>18:35-19:00h</b>	Sponsor <b>IVM</b>	<b>Beste AbsolventInnen Karriere</b>
<b>19:00-19:25h</b>	Sponsor <b>Festo</b>	<b>Beste Bachelorarbeit</b>
<b>19:25-19:50h</b>	Sponsor <b>AIT</b>	<b>Beste Masterarbeit</b>
<b>20:00-21:00h</b>	<b>Buffet</b>	<b>AULA</b>

Anschließend wird die Besichtigung von Roboterlabors organisiert

**Anmerkung:** Alle Vorträge sowie Preisverleihung finden im **Raum A1.04A** statt

Mitglieder der Mechatronik Plattform:

Themenschwerpunkt

# Sensorik in der Mechatronik

**Vortrag 1: Entwicklung eines low-cost Messsystems zur Plasmacharakterisierung in PVD-Beschichtungsanlagen**

Ronald Stärz, MCI MANAGEMENT CENTER INNSBRUCK  
Mechatronik - Maschinenbau

**Vortrag 2: Software-based High-Speed Stereo Vision**

Christian Zinner, AIT Austrian Institute of Technology GmbH  
Safety & Security Department

**Vortrag 3 :Präzises, schnelles Messsystem mit Funkdatenübertragung für mobiles Condition Monitoring von Zerspanungsprozessen**

Franz Haas, Pauritsch, M., Campus02 Fachhochschule der Wirtschaft GmbH  
Fachbereich Maschinenbau

**Vortrag 4: Innovative Lösungen zur Qualitätssicherung in der industriellen Produktion**

Arnold Braunsteiner, Plasmo Industrietechnik GmbH

**Vortrag 5: Analyse der Zuverlässigkeit von bildgebenden Sensoren**

Wilfried Kubinger, FH Technikum Wien, Institut für Mechatronik

**Vortrag 6: Sensoren in der Robotik**

Stefan Hesse, FH Technikum Wien, Institut für Mechatronik

**Vortrag 7: Sensortechnik in der Automatisierung**

Christian Paul, CARL CLOOS SCHWEISSTECHNIK GMBH

**Vortrag 8: Sensoren in der modalen Analyse**

Markus Hochrainer, FH Wiener Neustadt für Wirtschaft und Technik GmbH

**Vortrag 9: Kraftsensitive robotergestützte Bearbeitung**

Rainer Krappinger & Martin Kohlmaier, ABB AG, Robotics

**Vortrag 10 Sensorik im Mechatronik-Studium**

Franz Geiger, Fachhochschule Vorarlberg, Dornbirn, Mechatronik

**Vortrag 11: Material- und Bauteilprüfung mittels Thermografie und Shearografie**

Günther Hendorfer, FH Oberösterreich, Wels, Automatisierungstechnik

---

Sponsoren:







# Mechatronik Plattform

Arbeitsgemeinschaft Mechatronik Plattform wurde in Österreich vor fünf Jahren, genau am 1. Dez. 2005 gegründet. Mechatronik Plattform hat sich die Aufgabe gestellt einen Beitrag zu leisten, Mechatronik als eigenständige Disziplin zu festigen. Mitglieder der Arbeitsgemeinschaft sind die Mechatronik FH-Studiengänge. StudentInnen, AbsolventInnen und HochschulprofessorInnen der mechatronischen Studienrichtungen Österreichs sollen untereinander besser verbunden und stärker mit der Industrie verknüpft werden.

Die Ziele dieser Mechatronik Plattform sind neben der Förderung der Mechatronik zusätzlich:

- die Sicherung des Produktionsstandortes Österreich durch innovative mechatronische Produkte,
- Erhöhung des Frauenanteils in den mechatronischen Berufen,
- Förderung der Kooperation und Austausch von Studierenden, AbsolventInnen und Lehrenden,
- Kontinuierliche Verbesserung der Qualität in der Ausbildung,
- Förderung der wissenschaftlichen Zusammenarbeit.

Aufgabe der Arbeitsgemeinschaft ist die gemeinsame, informative und fachliche Behandlung und Koordinierung von Fragen, die im Interesse ihrer Mitglieder liegen. Insbesondere sollen Fragen betreffend der Didaktik, der Lehre und der Forschung und Entwicklung behandelt werden. Die Mitglieder bestimmen den 22. September zum „Tag der Mechatronik“ mit dem Ziel, die Mechatronik der Öffentlichkeit zu präsentieren und Studierendenprojekte, HochschulprofessorInnen und Kooperationspartner auszuzeichnen.

Der Arbeitsgemeinschaft gehören Studiengangsleiter der Bachelor-, Master- und Diplomstudiengänge als Mitglieder an:



FH Wr. Neustadt  
Mechatronik/Mikrosystemtechnik  
Prof. (FH) DI Wolfgang Haindl

FH CAMPUS 02, Graz  
Automatisierungstechnik  
Prof. (FH) DI Dr. techn. Udo Traussnigg

FH Vorarlberg, Dornbirn  
Mechatronik  
DI Dr. techn. Johannes Steinschaden

MCI MANAGEMENT CENTER  
INNSBRUCK  
Mechatronik-Maschinenbau  
Dr. Andreas Mehrle

FH Technikum Wien  
Mechatronik/Robotik  
Prof. (FH) DI Viktorio Malisa

Andere Studiengänge können sowohl als gleichberechtigtes Mitglied als auch als Beobachter in die Arbeitsgemeinschaft aufgenommen werden.

Kennzeichnend für die Zusammenarbeit in der Arbeitsgemeinschaft ist, dass sie mit einem Mindestmaß an Institutionalisierung auskommt. Auf Grundlage dieses Verständnisses über die Form der Zusammenarbeit erfüllen folgende Einrichtungen der Arbeitsgemeinschaft ihre Aufgaben:

- die Konferenz der Mitglieder,
- die Arbeitsgruppen.

Weitere Informationen finden Sie auf den Webseiten: [www.mechatronik-plattform.at](http://www.mechatronik-plattform.at)



## Mechatronik/Mikrosystemtechnik

- » Spezialisierung in innovativen, interdisziplinären Fachgebieten
- » Ausbildungskooperationen mit internationalen Forschungszentren und Unternehmen
- » Einbindung in aktuelle Industrie- & Forschungsprojekte
- » Exzellente Infrastruktur (Hard- und Software)
- » Top Referenten aus Industrie & Forschung
- » Individuell & effizient studieren in Kleingruppen
- » Management- & Führungsausbildung
- » Exzellente Jobaussichten

»Computational Engineering »Mechatronics Systems »Surface Engineering & Tribology

Die Fachhochschule Wiener Neustadt ist ein anerkannter Forschungspartner für Wirtschaft und Industrie. Derzeit sind Wissenschaftler und Studierende des Studiengangs Mechatronik u.a. in 3 EU-Forschungsprojekte (COTECH, IMPROVE, SEAL) eingebunden.

Ziel des Studiums ist die Vermittlung einer vertieften fachlichen Ausbildung zur Entwicklung von mechatronischen Produkten und Systemen unter besonderer Berücksichtigung von

- >> funktionalen Oberflächen (insbesondere reibungs- und verschleißoptimierte Gestaltung)
- >> dem Einsatz computergestützter Methoden zur Produkt- und Systementwicklung (Modellierung, Simulation, Analyse und Optimierung) sowie
- >> ökonomischen und ökologischen Effekten in der Auslegung und Umsetzung

### Short Facts **BACHELOR**

- » Studiendauer: 6 Semester
- » Organisationsform: Vollzeit
- » Abschluss: Bachelor of Science in Engineering

### Short Facts **MASTER**

- » Studiendauer: 4 Semester
- » Organisationsform: berufsermöglichend
- » Abschluss: Master of Science in Engineering

### Forschungs- & Ausbildungspartner/zukünftige Arbeitgeber sind u.a.

AIT, Attophotonics Biosciences, Audi, austriamicrosystems, CERN, Infineon, MAGNA, OMV, Organo Systems, Otto Bock, RUAG Aerospace, Siemens, TFZ Wiener Neustadt, TU-Wien, XTribology Excellence Centre,...

Durch die enge Kooperation der FH Wiener Neustadt mit den Forschungseinrichtungen des TFZ Wiener Neustadt können für AbsolventInnen auch Dissertationsstellen angeboten werden.

## Mechatronics - more innovations



**FH Wiener Neustadt**  
 Prof(FH) Dipl.-Ing. Wolfgang Haindl  
 T: 02622 / 89084-222  
 E: wolfgang.haindl@fhwn.ac.at

### Die Arbeit an der Schnittstelle

Die Automatisierungstechnik arbeitet an der Schnittstelle von Elektronik, Informatik, Maschinenbau und Wirtschaft. Die Herausforderung bei der Automation technischer Prozesse liegt darin, zwischen den meist gegenläufigen Aspekten von Zeit, Kosten, Qualität, Ressourcen und Umwelt ein Optimum herzustellen. Wesentlich ist die Betrachtung des gesamten Systems, anstatt einzelne Komponenten unabhängig voneinander zu optimieren.

Die Automatisierungstechnik verbindet unterschiedliche Fachbereiche und Technologien, weshalb das Bachelorstudium stark interdisziplinär auf technisch operative Tätigkeiten ausgerichtet ist. Einen besonderen Schwerpunkt stellen die fachlichen Wahlmöglichkeiten im Umfang von rund 18 % des Bachelorstudiums dar, die eine individuelle Profilbildung ermöglichen und damit den verschiedenen Ausprägungen des Berufsfeldes Rechnung tragen. Die Studierenden können sich z. B. je nach ihrer beruflichen Orientierung in unterschiedlichen Fachbereichen (virtuelle Methoden im Maschinenbau, elektronische Systementwicklung, Informatik) spezialisieren. Die praxisorientierte selbstständige Erarbeitung fachspezifischer Themen in Teamarbeit nimmt dabei eine wesentliche Rolle ein.

### Lehre

Das Studienzeitmodell, 17 Wochen/Semester, mit den Präsenzzeiten Freitag 13:45-21:30 Uhr und Samstag 08:00-16:00 Uhr, ist besonders darauf abgestimmt, dass es Studierenden möglich ist, das Studium parallel zur beruflichen Tätigkeit zu absolvieren. Berufserfahrung und berufliche Tätigkeit ist aber nicht zwingend erforderlich, wodurch auch MaturantInnen und andere Personen ohne Arbeitsverhältnis studieren können.

### Studienangebot

Bachelorstudiengang Automatisierungstechnik				
180 ECTS-Credits	6 Semester	berufsbegleitend	38 Studienplätze pro Jahrgang	BSc
Masterstudiengang Automatisierungstechnik-Wirtschaft				
90 ECTS-Credits	3 Semester	berufsbegleitend	33 Studienplätze pro Jahrgang	DI

### Forschung und Entwicklung

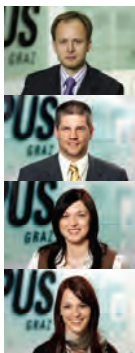
Der Studiengang steht in unterschiedlichster Art und Weise als Partner für Unternehmen zur Verfügung. F&E Themen werden im Rahmen von Studierendenprojekten und Bachelor- bzw. Diplomarbeiten bearbeitet. Darüber hinaus werden einerseits die klassische Auftragsforschung und -entwicklung, andererseits Projekte im Rahmen von Förderungen, maßgeblich von LektorInnen, abgewickelt.

### Forschungsschwerpunkte

- Industrielle Messtechnik und Messplatzautomatisierung
- Virtuelle Methoden und Simulation in der Entwicklung
- RFID (Radio Frequency Identification)
- Energietechnische Optimierung
- Entwicklung von Prototypen und Demonstratoren

**Ein Dutzend Argumente für ein Studium der Automatisierungstechnik und Detailinformationen zum Aufnahmeverfahren und zu den Informationsveranstaltungen finden Sie unter [www.campus02.at](http://www.campus02.at)**

### Kontaktpersonen:



Prof. (FH) Dipl.-Ing. Dr.techn. Udo Traussnigg  
Studiengangsleitung  
Tel.: +43 316 6002-728  
Mail: [udo.traussnigg@campus02.at](mailto:udo.traussnigg@campus02.at)

DI Dieter Lutzmayr  
Stv. Studiengangsleitung & FuE Manager  
Tel.: +43 316 6002-742  
Mail: [dieter.lutzmayr@campus02.at](mailto:dieter.lutzmayr@campus02.at)

Silke Haas  
Koordination Studienbetrieb & FuE  
Tel.: +43 316 6002-726  
Mail: [silke.haas@campus02.at](mailto:silke.haas@campus02.at)

Sandra Bernsteiner  
Koordination Studienbetrieb & PR  
Tel.: +43 316 6002-737  
Mail: [sandra.bernsteiner@campus02.at](mailto:sandra.bernsteiner@campus02.at)

Büroadresse: Körblergasse 111, Raum C209  
Postadresse: Körblergasse 126, 8021 Graz  
E-Mail: [at@campus02.at](mailto:at@campus02.at)  
Fax: +43 316 6002-1258

Büroöffnungszeiten:  
Mo.-Do. 08:00 – 16:00 Uhr  
Fr. 08:00 – 19:00 Uhr  
Sa. 08:00 – 13:00 Uhr  
[www.campus02.at/at](http://www.campus02.at/at)

# Mechatronik

## Bachelor-Studium/Vollzeit

Täglich nutzen wir Produkte, die neben mechanischen Teilen auch Elektronik beinhalten und von Software gesteuert werden (z. B. Digitalkamera, DVD-Player, Kaffeemaschine). Haben Sie sich schon einmal überlegt, wie diese Produkte entstehen, wer sie entwickelt und konstruiert?

Im globalen Wettbewerb ist es enorm wichtig, laufend innovative Produkte zu entwickeln und hoch flexibel zu produzieren. Hier setzt das interdisziplinäre Studium Mechatronik der FH Vorarlberg an. Wenn Sie den Dingen gerne auf den Grund gehen und technisches Interesse haben, dann ist Mechatronik ein interessantes Gebiet für Sie. Es umfasst die Bereiche Mechanik, Elektronik und Informatik und verknüpft diese Disziplinen mit dem Ziel, technische Produkte zu optimieren.

### Zugangsvoraussetzungen

Allgemeine Universitätsreife oder Studienberechtigungsprüfung für unseren Studiengang, facheinschlägige Lehre mit Zusatzprüfungen, facheinschlägige deutsche Fachhochschulreife mit Zusatzprüfungen.

Bewerberinnen und Bewerber, deren Muttersprache nicht Deutsch ist, haben Sprachkenntnisse in Deutsch nach B2 des CEFR und in Englisch nach B1 des CEFR nachzuweisen. Alle Dokumente müssen beglaubigt sein.

CEFR: Common European Framework of Reference

### FH VORARLBERG

Hochschulstraße 1  
6850 Dornbirn, Austria

info@fhv.at  
[www.fhv.at](http://www.fhv.at)

### Berufliche Tätigkeitsfelder

Als Mechatronik-Absolventin oder Absolvent sind Sie gefragt am Arbeitsmarkt. Denn Sie setzen in Ihrer Arbeit wissenschaftliche und mathematische Prinzipien, Erfahrungen, Augenmaß und Hausverstand gut ein, um Dinge für Menschen besser zu machen. In der Produktentstehung bieten sich interessante Berufsfelder, etwa:

- Mechatronik
- Maschinenbau
- Robotik
- Elektronik
- Automatisierungstechnik
- Mikrotechnik
- Fahrzeugtechnik
- Medizintechnik

### Bewerbung

Schriftliche Anmeldung mittels Anmeldeformular, Motivationsschreiben, tabellarischem Lebenslauf, Zeugnis- und Passkopie sowie einem zusätzlichen Passfoto bis 15. Mai.

Sind Sie interessiert? Wir freuen uns auf ein Beratungsgespräch mit Ihnen.



**DI Dr. Johannes Steinschaden**  
Studiengangsleitung



**Jeannette Bohnes**  
Beratung und Anmeldung  
Tel +43 (0) 5572 792-5000  
mechatronik@bachelorstudium.at

# Mechatronik - Maschinenbau

<b>DAUER</b>	6 bzw. 4 Semester inklusive Abschlussarbeit und Abschlussprüfung	
<b>POSITIONIERUNG</b>	Hoher Praxisbezug, internationale Ausrichtung, enge Zusammenarbeit mit der Wirtschaft	
<b>SCHWERPUNKTE</b>	Industrielle Steuer- & Regelungstechnik Optische Messtechnik & elektronische Bildverarbeitung Handhabungstechnik & Robotik Fertigungstechnik & Materialwissenschaften Elektromechanische Modellierung & Simulation	
<b>SEMESTERZEITEN</b>	Vollzeitstudium: Wintersemester: Oktober bis Ende Jänner Sommersemester: März bis Ende Juni	Berufsbegleitendes Studium: Wintersemester: September bis Ende Jänner Sommersemester: Mitte Februar bis Mitte Juli
<b>ORGANISATIONSFORM</b>	Vollzeitstudium: Präsenzzeiten: Montag–Freitag, tagsüber	Berufsbegleitendes Studium: Präsenzzeiten: Freitag 13:30–22:00 Uhr Samstag 08:30–17:00 Uhr; Präsenzwoche mögl.
<b>STUDIENPLÄTZE PRO JAHR</b>	20 in jeder Organisationsform	
<b>UNTERRICHTSSPRACHE</b>	Deutsch, Englisch (darüber hinaus umfassendes Fremdsprachenangebot)	
<b>AKADEMISCHER GRAD</b>	Bachelor bzw. Master of Science in Engineering	
<b>STUDIENBEITRAG</b>	Derzeit EUR 363,-/Semester zzgl. gesetzlichem ÖH-Beitrag	
<b>BEWERBUNG</b>	Bewerbungen können laufend mittels Bewerbungsbogens eingebracht werden	
<b>AUFNAHMEVERFAHREN</b>	Werdegang (30%) Schriftlicher Eignungstest (20%) Kommissionelles Bewerbungsgespräch (50%)	
<b>KONTAKT</b>	DIE UNTERNEHMERISCHE HOCHSCHULE® MCI MANAGEMENT CENTER INNSBRUCK 6020 Innsbruck / Austria, Universitätsstraße 15 +43 512 2070-3900, office-mech@mci.edu www.mci.edu/master-studium-mechatronik-maschinenbau	



# Studiengang Mechatronik/Robotik an der Fachhochschule Technikum Wien

## Fachhochschule Technikum Wien

Mit derzeit über 4100 AbsolventInnen und mehr als 2700 Studierenden sowie 11 Bachelor- und 16 Masterstudiengängen ist die FH Technikum Wien der größte rein technische Fachhochschule in Österreich. Das wissenschaftlich fundierte und gleichzeitig praxisnahe Studienangebot ist vielfältig und individuell kombinierbar. Die FH Technikum Wien bietet Ausbildungen in folgenden Bereichen:

- Communication Technologies & Electronic Engineering
- Information Technologies & Business Solutions
- Engineering & Environmental Technologies
- Life Science Technologies



Die Studiengänge und Institute sind fachlich und organisatorisch je einem der genannten Bereiche (Studienzentren) zugeordnet. Die Studiengänge werden in Vollzeit- und berufsbegleitender Form sowie als Fernstudium angeboten.

Neben einer qualitativ hochwertigen technischen Ausbildung wird an der FH Technikum Wien auch großer Wert auf Sprachausbildung sowie wirtschaftliche und persönlichkeitsbildende Fächer gelegt. Sehr gute Kontakte zu Wirtschaft und Industrie eröffnen den Studierenden bzw. AbsolventInnen beste Karrierechancen.

## Studiengang Mechatronik/Robotik

Die Fachhochschule Technikum Wien war die erste Fachhochschule Österreichs, die ab 2003/04 ihr Studienangebot zur Gänze auf die europaweit einheitliche Studienarchitektur Bachelor-Master-Doktor umstellte. Im selben Jahr startete auch der Studiengang Mechatronik/Robotik – zuerst als Diplom- und dann ab 2005/06 als Bachelor-Studiengang. Seit 2007/08 gibt es ein Master-Studium Mechatronik/Robotik, das in Vollzeit- oder in berufsbegleitender Form absolviert werden kann.

Der Studiengang Mechatronik/Robotik ist organisatorisch dem Studienzentrum Engineering & Environmental Technologies zugeordnet. Derzeit studieren insgesamt knapp 280 Studierende Mechatronik/Robotik an der Fachhochschule Technikum Wien. Etwa 200 Absolventinnen und Absolventen sind inzwischen aus den Studiengängen Mechatronik/Robotik hervorgegangen.



Die FH Technikum Wien wurde 1994 gegründet und erhielt im Jahr 2000 als erste Wiener Einrichtung Fachhochschulstatus. Sie ist ein Netzwerkpartner des Fachverbandes der Elektro- und Elektronikindustrie (FEEI).

> [www.technikum-wien.at](http://www.technikum-wien.at)



Tag der Mechatronik 2010  
Schwerpunkt

# Sensorik in der Mechatronik



## **PRÄZISES, SCHNELLES MESSSYSTEM MIT FUNKDATENÜBERTRAGUNG FÜR MOBILES CONDITION MONITORING VON ZERSPANUNGSPROZESSEN**

**Haas, F.; Pauritsch, M.**

### **Kurzfassung:**

*Im Beitrag werden die Ergebnisse eines Industrieprojektes präsentiert, das die Optimierung von Zerspanungsprozessen (z.B. Drehbearbeitung) zum Inhalt hat. Verbesserungen in der Energieeffizienz bei Maschinen und Fahrzeugen führen zwangsläufig zum Einsatz von „exotischen“ Werkstoffen (z.B. Titan) und innovativen Schneidstoffen (z.B. Polykristalliner Diamant). Zur richtigen Wahl der wirtschaftlichen Prozessparameter für diese Schneidstoff-Werkstoff-kombinationen wurde ein neues Messsystem entwickelt, gebaut und im industriellen Fertigungsumfeld getestet. Die mechanische Komponente des Messgerätes besteht aus einem als Drehwerkzeug konzipierten Balken-dynamometer mit drei DMS-Messbrücken und einem Infrarot-Temperatursensor zur Erfassung der Temperatur der Werkzeugschneide. Die elektronische Komponente der Neuentwicklung ist durch vier parallel arbeitende, schnelle A/D-Umsetzer (100 Samples/s) mit hoher Auflösung (24 bit) und Funkdatenübertragung (ZigBee-Modul) zum Auswerterechner charakterisiert. Die drahtlose Datenübertragung und der Akkubetrieb ermöglichen die Messdatenerfassung innerhalb einer gekapselten Maschine unter Produktionsbedingungen. Messergebnisse dokumentieren die Praxistauglichkeit des mechatronischen Systems und im Ausblick werden die universellen Einsatzmöglichkeiten des Daten-erfassungskonzepts aufgezeigt.*

**Schlüsselwörter:** Zerspanungsprozess, Kraftmessung, A/D-Umsetzer, Funkdatenübertragung.

### **Anmerkung:**

Es wurden lt. dem Programm „Tag der Mechatronik 2010“ nicht alle Vorträge auch als Paper veröffentlicht!

## FA. CARL CLOOS SCHWEISSTECHNIK HAIGER: SENSOREN IN DER ROBOTERAUTOMATISIERUNG

C. Paul, L. Höfner

**Kurzfassung:** Zur Automatisierung von verschiedensten Fertigungsabläufen werden Roboter in den unterschiedlichsten Industriezweigen eingesetzt. Die meisten Anwendungen der Robotertechnik findet man in der Automobilindustrie im Bereich Handhabung, Widerstands- und MSG-Schutzgasschweißen. Auch außerhalb der Automobilindustrie werden Roboter in automatisierten Schweißprozessen eingesetzt. Der Einsatz von Robotertechnik setzt eine hohe Maßhaltigkeit der Bauteile voraus, was in vielen Fällen nur durch einen sehr hohen Aufwand in der Vorfertigung erreicht werden kann. Durch Einsatz geeigneter Sensortechnik kann dieser Aufwand reduziert werden und trotzdem eine kostengünstige und qualitätsoptimale Fertigung garantiert werden. Die wesentliche Anforderung an das Sensorsystem ist das Erkennen und das Vermessen der Schweißnahtgeometrie um die optimale Positionierung des Schweißroboters und die richtige Wahl der Schweißparameter zu gewährleisten.

### 1. APPLIKATIONSBEISPIELE

Industrieroboter besitzen ein vielseitiges Anwendungsspektrum. Sie übernehmen viele Handlingsaufgaben z.B. in Fertigungslinien des Automobilbaus, zum Palletieren von diversen Komponenten oder im Bereich Bereitstellung von Fertigungsgütern. Andere Aufgaben sind Lackierarbeiten, bei denen spezielle explosionsgeschützte Roboter zum Einsatz kommen. Ein weiteres großes Einsatzgebiet der Robotertechnik ist das Schweißen und Schneiden unterschiedlichster Werkstoffe (**Bild 1**). In allen Applikationen werden die verschiedensten Sensortechniken eingesetzt um Toleranzen auszugleichen.



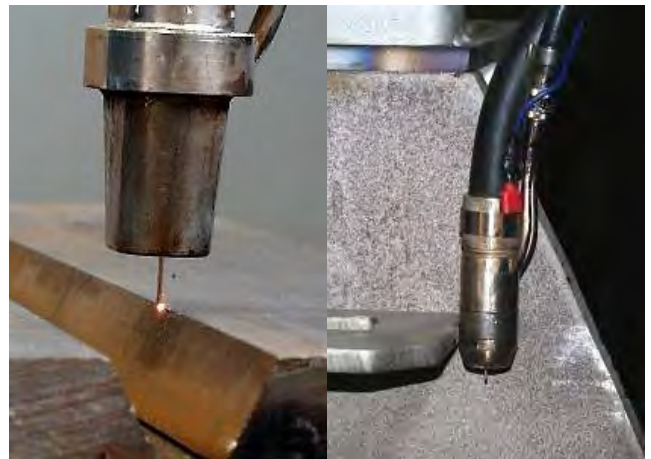
**Bild 1.** Schweißroboter

### 2. TAKTILE SENSOREN

Taktile Sensoren dienen vorwiegend zur offline-Vermessung der Nahtfuge oder des Bauteils. Dabei wird das Bauteil vor dem eigentlichen Schweißprozess an

markanten Positionen vermessen und diese Positionen im Anwenderprogramm verrechnet.

Die Messung kann mit der Gasdüse, dem Schweißdraht oder einem in der Nähe des Schweißbrenners befestigtem Taststift durchgeführt werden (**Bild 2**). Hierzu wird auf das tastende Objekt eine Spannung gelegt und das Bauteil mit einer vordefinierten Suchgeschwindigkeit angefahren. Bei Kontakt mit dem Bauteil wird ein digitales Signal erzeugt, und die kontaktierte Position gespeichert. Anhand der zuvor gespeicherten Position am Originalbauteil und der aktuellen Position am verschobenen Bauteil wird die Differenz ermittelt und die zu schweißende Bahn um diesen Vektor verschoben. Durch Messen von mehreren Referenzpunkten an einem Bauteil kann eine 3D-Transformation des gesamten Bauteils erreicht werden.



**Bild 2.** Taktile Sensoren zur offline-Vermessung

Zur online-Vermessung von Nahtfugen wird häufig bei konventionellen Schweißanlagen ein Sensor mit analogen Signalen eingesetzt. Hier wird ein Taststift oder eine Nadel, die flexibel aufgehängt ist, vor dem Schweißbrenner montiert und in der Naht positioniert (**Bild 3**). Während des Schweißprozesses wird die zu schweißende Fuge kontinuierlich abgetastet und der Schweißbrenner bei einer Abweichung von der programmierten Position direkt korrigiert. Da der Sensorvorlauf nicht direkt in der Steuerung verarbeitet wird ist eine sichere Nahtführung am Schweißnahtanfang bei Heftstellen und am Nahtende nicht gewährleistet.

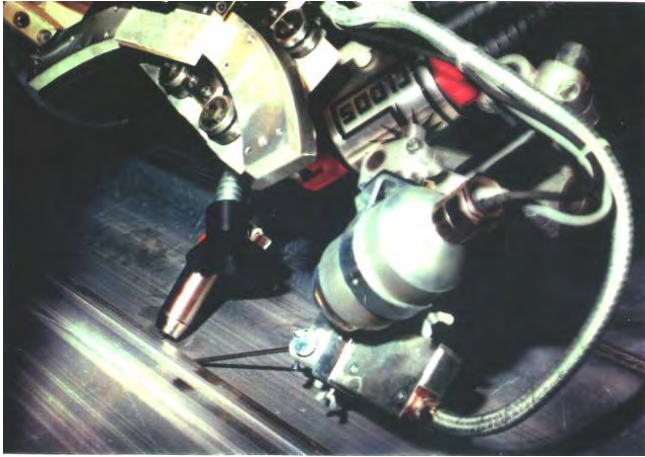


Bild 3. Taktile Analogsensor

### 3. LICHTBOGENSENSOR

Häufig wird in Kombination mit dem taktilen Sensor auch der Lichtbogensensor eingesetzt. Nachdem zuvor mit dem taktilen Sensor der Nahtanfang bestimmt und der Brenner in der Schweißnaht positioniert wurde übernimmt der Lichtbogensensor die weitere Korrektur entlang der zu schweißenden Nahtgeometrie. Der Lichtbogensensor erfordert eine Pendelbewegung des Schweißbrenners quer zur Schweißrichtung (Bild 4). An der rechten und linken Amplitude werden bei jedem Pendelhub Strom- und Spannungsverlauf aufgenommen. Diese Strom-Spannungssignale werden in einem Rechnersystem ausgewertet und in Korrektursignale für Seiten- und Höhenkorrektur an die Robotersteuerung übermittelt. Anhand dieser Korrektursignale die direkt aus dem Prozess ermittelt werden, wird der Brenner online in der Schweißnaht geführt. Die direkte Prozessauswertung zur Nahtführung hat gegenüber allen anderen industriell eingesetzten Sensoren den Vorteil dass keine externen Sensorelemente im Umfeld des Brenners angebracht werden müssen und somit auch die Zugänglichkeit an schwierigen Werkstückgeometrien gegeben ist. Der Lichtbogensensor kann an allen Nahtformen und Werkstoffen für Stahl und CrNi-Stähle mit einer Flankenhöhe größer gleich 5mm eingesetzt werden.

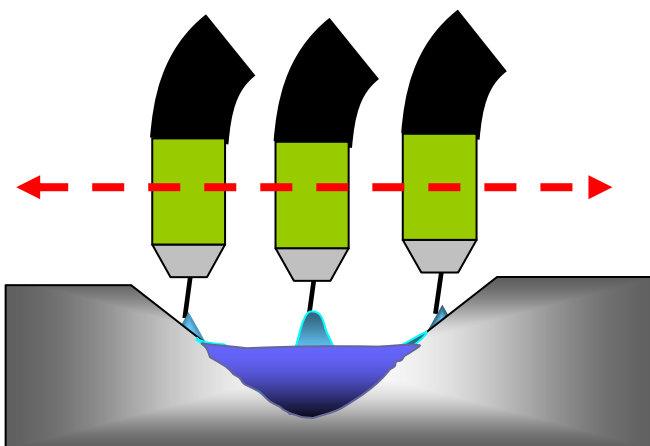


Bild 4. Funktion Lichtbogensensor

### 4. LASERSENSOREN ZUR OFFLINE VERMESSUNG

Die ein- und zweidimensionalen Sensoren gehören zu den optischen Laserabstandssensoren. Diese Sensoren arbeiten nach dem Triangulationsprinzip, d.h. der Sensor

sendet einen punktförmigen Laserstrahl aus, der von der zu vermessenden Oberfläche reflektiert und auf einem Empfänger im Sensorkopf ausgewertet wird (Bild 5). Beim Überfahren einer Werkstückoberfläche z.B. Überlappnaht wird proportional zur Abstandsänderung ein Analogsignal der Robotersteuerung zur Verfügung gestellt und somit der Kantensprung am Überlappstoß erkannt. Da diese Sensoren berührungslos arbeiten sind Abtastgeschwindigkeiten bis zu Faktor 10 größer, gegenüber den taktilen Sensoren möglich.

Auch zum adaptiven Schweißen werden eindimensionale Lasersensoren eingesetzt, hierzu wird der Sensor mit dem Roboter über die zu messende Nahtgeometrie bewegt. Durch Abstandsmessungen im Millisekunden Bereich wird die Nahtgeometrie in der Auswerteelektronik abgebildet. Anhand der gefunden Messdaten, Nahtvolumen, Nahtbreite oder Spalt werden vordefinierte Schweißparameter aufgerufen, um auch bei Geometrieabweichungen ein gleichmäßiges Auffüllen der Schweißnaht zu erreichen.

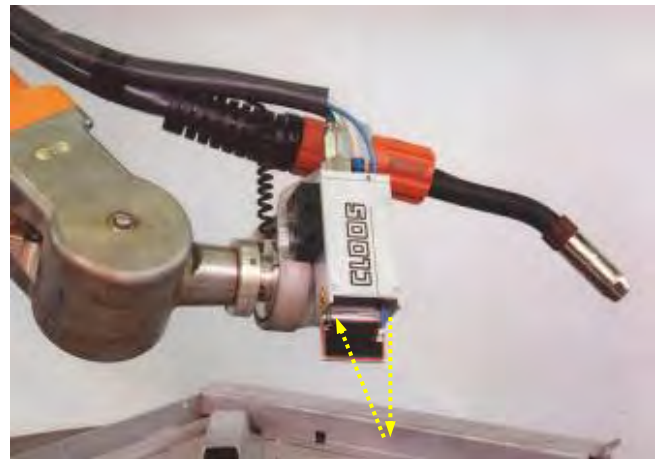


Bild 5. Laserabstandssensor

### 5. LASERSENSOREN ZUR ONLINE-VERMESSUNG

Neben diesen Abstandssensoren ist der zweidimensionale Laser-online-Sensor ein Universalwerkzeug. Mit ihm kann man sowohl die Fuge vor dem Schweißprozess statisch, sowie während der Bahnfahrt online vermessen und die Ergebnisse zur Nahtverfolgung und zum adaptiven Schweißen verwenden (Bild 6). Der Laser-online-Sensor sendet eine Laserlinie in einem festgelegten Winkel aus. Ein lichtempfindliches Element empfängt die von der Werkstückoberfläche reflektierten Strahlen. Der Eintrittspunkt auf der Empfängeroptik gibt Aufschluss über die Entfernung und Position zur Werkstückoberfläche, sowie Informationen zur Fugegeometrie. Diese Informationen werden mit einem vordefinierten Template auf Plausibilität geprüft. Im Template wird die genaue Nahtgeometrie mit ihren zulässigen Toleranzen beschrieben. Werden die im Template festgelegten Toleranzen überschritten, wird automatisch der Schweißprozess unterbrochen um Fehlschweißungen bei zu großen Toleranzen zu vermeiden. Innerhalb der festgelegten Grenzen wird der Schweißprozess, d.h. Schweißgeschwindigkeit, Pendelamplitude sowie die Abschmelzleistung direkt der vorgefundenen Nahtgeometrie angepasst. Durch die geringe Bauform kann der Sensor nahe am Schweißprozess platziert werden um so eine optimale Voraussetzung für die Nahtverfolgung zu erzielen.



**Bild 6.** Lasersensor zur offline-Vermessung

Zur Integration der Lasersensoren in eine Roboteranlage können verschiedene Schnittstellenkonzepte verwendet werden.

Rohdatenanbindung:

Hier sendet der Sensor die aktuellen Sensordaten ohne weitere Verarbeitung an die übergeordnete Robotersteuerung. Die übergeordnete Steuerung übernimmt dann das Filtern der Sensordaten und implementiert die Korrekturdaten direkt am TCP in Echtzeit. Diese Methode hat den Vorteil, dass dem Sensorsystem nicht die aktuelle Position und Geschwindigkeit des TCP's mitgeteilt werden muss.

Werkzeug/TCP-Korrekturanbindung:

Manche Schnittstellen erfordern Korrekturdaten des Sensorsystems bezogen auf den TCP entweder in Werkzeugkoordinaten oder Basiskoordinaten. Beim Ersteren benötigt das Sensorsystem Vorlaufdaten, die aktuelle Position und Geschwindigkeit in Echtzeit, beim Letzteren werden zusätzlich auch die Orientierungsdaten des Werkzeugs benötigt. Das Sensorsystem übernimmt alle Datenverarbeitungen und Analysen. Die gesendeten Daten werden „gefiltert“ übergeben.

Masterkonzept:

Sensorsysteme, die außer den Positionsdaten auch Orientierungsdaten in 6-D messen, können die Kontrolle über den Roboter/Manipulator übernehmen und das Werkzeug in Echtzeit der Fuge entlang führen.



**Bild 7.** Lasersensor zur online-Verfolgung

Die Nahtverfolgung mit einem Lasersensor ist immer dann notwendig, wenn die Schweißroboter mit toleranzbehafteten Bauteilen konfrontiert werden, die nicht mit anderen Sensoren zu detektieren sind. Einschränkungen sind z.B. Nahtgeometrien im

Dünnblechbereich mit Schenkellängen  $\leq 5\text{mm}$ , I-Stöße und auch speziell beim Lichtbogensensor der Einsatz bei Aluminiumwerkstoffen. Zur Nahtverfolgung wird der Sensor an einem Vorhaltepunkt der Schweißnaht positioniert und mit einer definierten Geschwindigkeit in Nahtrichtung gefahren. Bei Erkennen der Nahtgeometrie wird der Brenner am Nahtanfangspunkt positioniert, der Schweißprozess gestartet und entlang der Schweißfuge geführt. Das Nahtende wird durch den Sensor erkannt, der Sensorvorlauf abgearbeitet, so dass der Schweißprozess am tatsächlichen Nahtende abgeschlossen wird. Durch die online-Nahtführung werden Fertigungstoleranzen und auch Schweißverzug erkannt, die während des Schweißprozesses entstehen können. Die Distanz zwischen projizierter Laserlinie und Schweißbrenner wird bei der Positionsberechnung berücksichtigt, so dass eine exakte Brennerführung und damit optimale Qualität erzielt werden kann. Die Nahterkennung des Sensorsystems ist unabhängig vom Grundwerkstoff und von der Nahtvorbereitung. Da dieser Sensor online während des Schweißprozesses eingesetzt werden kann, hat die Nahtfindung und Verfolgung keinen Einfluss auf die Taktzeit (**Bild 7**).

**6. ADAPTION DER SCHWEISSPARAMETER**

2-D Lasersensoren liefern nicht nur die Position, sondern auch Informationen über die Nahtgeometrie. Die dadurch gewonnenen Messwerte lassen Rückschlüsse auf die Spaltbreite, Nahthöhe und den Nahtquerschnitt zu (**Bild 8**). Mit diesen Informationen findet eine adaptive Anpassung der Schweißparameter statt. Hier wird bei einer Änderung des Nahtvolumens während des Schweißprozesses online eine proportionale Anpassung aller notwendigen Schweißparameter vorgenommen, um ein optimales und gleichmäßiges Nahtaussehen zu gewährleisten (**Bild 9**). Bei der Anpassung der Schweißparameter gibt es die Möglichkeit zwischen verschiedenen Parametersätzen umzuschalten, oder eine lineare, bzw. stufenlose Anpassung aller notwendigen Schweißparameter analog zur Nahtgeometrieänderung vorzunehmen.



**Bild 8.** Nahtvorbereitung



**Bild 9.** Adaptiv geschweißte Naht

**7. INSPEKTIONSAUFGABEN FÜR CAQ ANWENDUNGEN**

Lasersensoren finden auch Einsatz im Bereich von CAQ-Anwendungen (Computer Aided Quality Assurance). Dabei werden sie für Nahtinspektionen im Rahmen der Qualitätssicherung eingesetzt. Die zu prüfenden Kriterien der Nahtoberfläche: Nahtbreite, Nahtüberhöhung, Einbrandkerben und Oberflächenporen werden vom Anwender

in einem Template festgelegt. Durch Abscannen der Nahtgeometrie können Veränderungen der Nahtoberfläche im Mikrometerbereich erkannt werden. Abweichungen die außerhalb der im Template festgelegten Toleranzen liegen werden als Fehlstellen aufgezeichnet und dokumentiert. Durch Vernetzung mit einem Qualitätssicherungssystem kann man die Dokumentationspflicht von Fertigungsabläufen und Überwachung der Schweißqualität gewährleisten.

## **8. ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK**

Um den Einsatz der Sensorik universell zu ermöglichen, ist es notwendig, neben der Steigerung der Leistungsfähigkeit die äußere Geometrie kompakt zu gestalten. Hierzu ist es unumgänglich das Sichtfeld des Sensors zu erhöhen und die Empfindlichkeit gegenüber reflektierenden Oberflächen zu verringern. Eine dreidimensionale Erkennung von Nahtgeometrien und Bauteilen mittels Sensorsystemen wird zukünftig weitere Aufgaben übernehmen können.

Mit der dreidimensionalen Erkennung sind die Fähigkeiten des Roboters ansatzweise vergleichbar mit dem des menschlichen Auges.

## **9. QUELLENANGABEN**

DVS-Merkblatt: DVS 0927-1

Bilder: Cloos Schweißtechnik, D. Holler

**FH TECHNIKUM WIEN: SENSOREN IN DER ROBOTIK**

Hesse, S.

**Kurzfassung:** Um mobile und stationäre Roboter mit mehr Intelligenz auszustatten, müssen neuartige Sensoren entwickelt werden. Dafür hält die Biologie viele interessante Lösungsansätze bereit, die fachübergreifend zu untersuchen sind. Bisherige Laborlösungen müssen zu erprobten Komponenten werden.

**Schlüsselwörter:** Robotersensor, Sichtsystem, Schnurrhaarsensor, Tastsinn, Fügehilfe

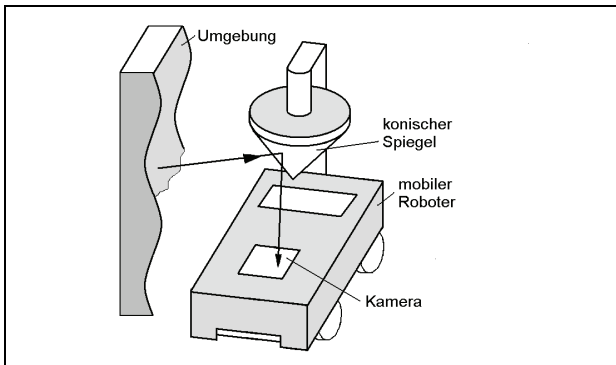
**1. EINLEITUNG**

Sensorik bedeutet, ein System mit Gefühlen auszustatten. Sensoren sind auch die Sinnesorgane eines Roboters. Ein autonomer mobiler Roboter braucht verschiedene Sensoren, um überleben zu können. Roboter, die sich in Design und Funktion am Beispiel biologischer Vorbilder orientieren, weisen die Richtung für die Zukunft autonomer intelligenter Systeme. Allerdings fällt es noch schwer, von der Evolution optimierte Lösungen technisch nachzuempfinden. Einiges reizt allerdings die Mechatroniker sehr.

**2. OMNIDIREKTIONALES SEHEN**

Insekten verfügen über Facettenaugen, mit denen ein fast vollständiges Panoramabild gewonnen wird, ohne dabei den Kopf zu drehen. Jedes Facettenauge besteht aus vielen Einzelaugen, die jeweils in eine geringfügig andere Richtung blicken. Große Libellen haben bis zu 28 000 Einzelaugen je Seite. Das bedeutet 56 000 Einzelsignale in Echtzeit auszuwerten und das bei einer Frequenz von bis zu 300 Bildern je Sekunde.

Omnidirektionales Sehen kann u.a. mit speziellen Kameras und Spiegelsystemen erreicht werden. Die Umgebung wird z.B. mit einem Kegelspiegel erfasst (Abb. 1). Dieser projiziert ein Bild auf die waagrecht unterhalb des Spiegels angeordnete Kamera. Das resultierende Bild ist zwar stark verzerrt, kann aber einen mobilen Roboter, entzerrt oder nicht, als Navigationshilfe dienen. Derartige Zerrbilder dienten bereits im 18. Jh. als Belustigung und zur Vermittlung optischer Gesetze.

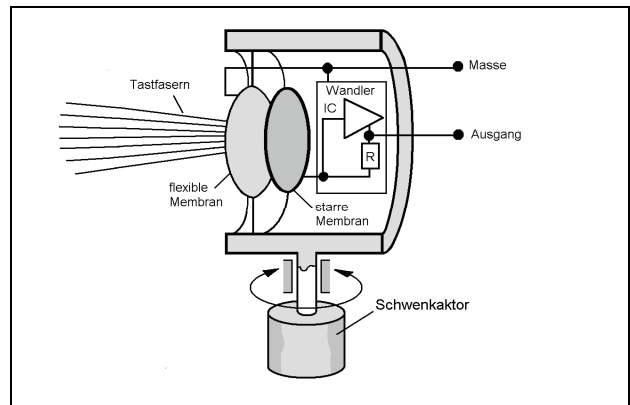


**Abb. 1:** Prinzip für ein omnidirektionales Sichtsystem mit Kegelspiegel

Es geht also um das Wiedererkennen von Mustern als Kernproblem der Selbstlokalisierung von mobilen Robotern (Weber 2002). Gegenwärtig werden verschiedene Experimentalsysteme untersucht. Eine Anwendung wäre z.B. ein Einkaufsassistent für Baumärkte (gefördertes Projekt, TU Ilmenau).

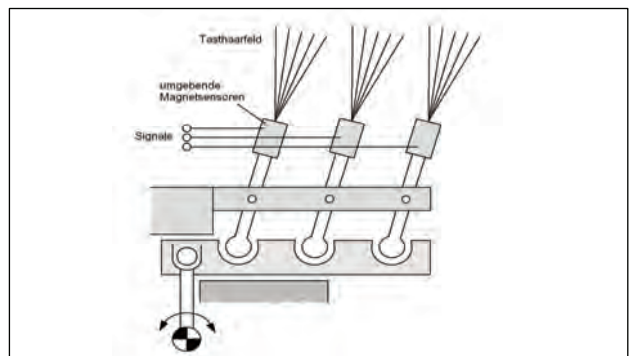
**3. TASTSINN IST LICHTUNABHÄNGIG**

Der Tastsinn stellt ein evolutionäres Grundprinzip bei bewegten Lebewesen dar und dient zur Verhaltensregulation. Tasthaare sind bei Säugetieren (Raubtiere, Nager, Robben) sehr verbreitet. Sie liefern detaillierte Informationen zu Oberflächen und Formen in unmittelbarer Nähe. Schnurrhaar-Sensoren für Roboter sollten aktiv sein, d.h. die Umgebung durch Bewegungsaktivitäten taktil scannen, was auch bei Dunkelheit funktioniert (Möller 2006). Dazu müssten sich die Tasthaarelemente, die z.B. auf eine Mikrofonmembran wirken (wodurch ein elektromagnetisches Signal entsteht), zusätzlich bewegen (Abb. 2).



**Abb. 2:** Schnurrhaar-Sensor mit Schwenkaktor

Ein anderer konstruktiver Vorschlag für die Aktivierung der Schnurrhaar-Elemente wird in Abb. 3 vorgestellt.



**Abb. 3:** Tasthaar-Bewegungseinheit für mobile Roboter

Die beim vor- und zurückbewegen entstehenden Signale können einem künstlichen neuronalen Netzwerk zugeführt werden, um eine Mustererkennung zu realisieren.

Taktile Sensoren zur Schweiß fugenverfolgung (als einzelner Tastfinger) werden übrigens seit Jahren mit Erfolg eingesetzt und sind handelsüblich (Hesse 2009). Die Bedeutung der Tastaarsensoren, insbesondere für mobile Roboter wurde bisher unterschätzt. Ihre Entwicklung befindet sich gegenwärtig im Laborstadium.

#### 4. KRÄFTE UND MOMENTE VISUELL ABBILDEN

Tastkräfte kann man auf einen Verformungskörper wirken lassen und die entstandene Verformung auswerten, z.B. nach Wirkungsort, -richtung und -stärke. Ein Wirkprinzip wird in Abb. 4 gezeigt. Der transparente Verformungskörper in der Größe einer Fingerkuppe besteht aus einer vor Ort aufblasbaren Membran, die mit einer von innen projizierten Lichtstruktur versehen wird. Bei Krafteinwirkung verändert sich das Messgitter, was durch eine integrierte Minikamera beobachtet werden kann. Bei z.B. einem minimal-invasiven chirurgischen Eingriff könnte ein Force-Feedback-System zum Bediener in einem Telepräsenzsystem aufgebaut werden.

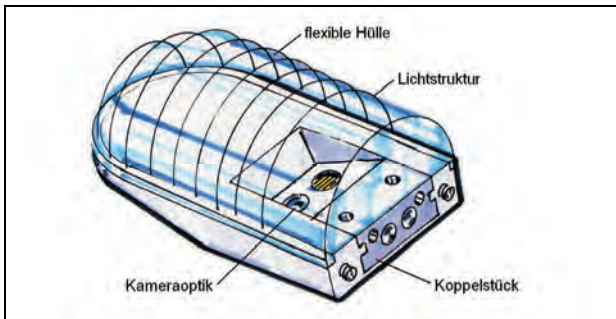


Abb. 4: Tastfingerkuppe in Membranausführung (Projekt nach Geisen)

Das Prinzip lässt sich auch für einen Montageroboter nutzen. Es kann eine Fügehilfe entworfen werden, bei der ebenfalls ein Verformungskörper mit Messgitter Verwendung findet (Abb. 5). Der Sensor wird zwischen Roboterflansch und Montagegreifer eingebaut. Beim Versuch des Fügens durch Zusammenstecken treten bei Achsabweichungen geringe Verschiebekräfte auf, die das Messgitter verformen. Das visuelle Muster wird durch eine integrierte Kamera erfasst und die Daten einer Auswertung zugeführt. Daraus generiert die Steuerung Nachrückbewegungen des Endeffektors, so dass das Fügen möglich wird. Die Fügeachsen stimmen jetzt überein.

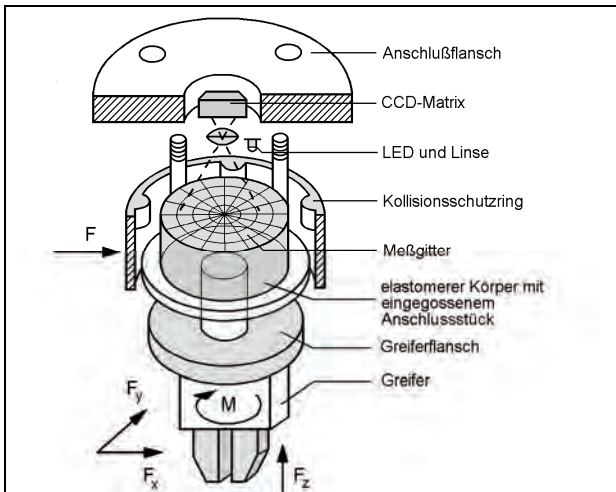


Abb. 5: Fügehilfe mit optischer Abbildung von Kräften und Momenten

Auf dem Messgitter (es sind auch andere Muster möglich) bilden sich folgende Erscheinungen ab:

- Kollisionskräfte am Rand des Verformungskörper
- Drehmomente nach Größe und Drehsinn
- Querschiebekräfte in x- und y-Richtung
- Aufstoßkräfte in der z-Achse

Das wird in Abb. 6 an typischen Situationen gezeigt.

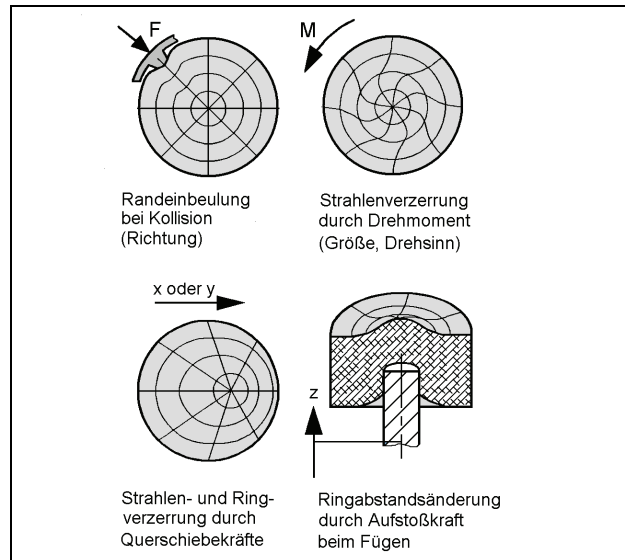


Abb. 6: Messgitterveränderungen an einem Verformungskörper aus elastischem, hysteresearmen Werkstoff

Das System erfasst quasi multisensoriell sämtliche "Tastdaten", nutzt aber ein gemeinsames optisches Wirk- und Auswertesystem. Das Sensorsignal würde auch während eines Fügevorgangs anliegen, d.h. man kann damit auch eine Aussage über den Verlauf des Fügevorgangs über den Fügeweg gewinnen. Damit liegen Daten vor, die in ein Qualitätssicherungssystem eingehen könnten. Das System ist sehr feinfühlig. Die Erfassung des Messgitters ist verschleißfrei. Die Härte des Verformungskörpers müsste abhängig von der Belastung ausgewählt werden. Das Material sollte außerdem alterungsbeständig sein. Für die Auswertung der abgebildeten Muster kann man auf Fuzzy-Logik und/oder künstliche neuronale Netzwerke zugreifen.

#### 5. ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

Mit Hilfe von Sensoren können Roboter eine Vielzahl von Informationen aus der Umwelt und über sich selbst gewinnen. Aus dem Studium von Lösungen, die durch Evolution entstanden sind, lassen sich Ansätze für neue Sensoren gewinnen. Das erfordert eine engere Zusammenarbeit zwischen Technik, Biologie und Psychologie, auch um letztlich bewährte Verhaltensweisen in Programme fassen zu können.

#### 6. LITERATURVERZEICHNIS

- Hesse, S., Schnell, G., 2009. Sensoren für die Prozess- und Fabrikautomation, 4. Aufl., Verlag Vieweg+Teubner, ISBN 978-3-8348-0471-6, Wiesbaden  
Möller, R. 2006. Das Ameisenpatent. Spektrum Verlag, ISBN 3-8274-1704-X, Heidelberg  
Weber, J. 2002. Globale Selbstlokalisierung für mobile Serviceroboter; Diss. Universität Kaiserslautern

## ABB FORCE CONTROL – KRAFTSENSITIVE MECHANISCHE BEARBEITUNG

Kohlmaier, M.; Krappinger, R.

**Kurzfassung:** Eine neue Qualität des Programmierens und der Prozesssteuerung von Robotern bietet innovative und effizientere Möglichkeiten beim mechanischen Bearbeiten. Die Kombination von intelligenter Software und feinfühligere Sensorik bildet die Basis des innovativen Systems „Force Control (FC) Machining“. Ergebnisse sind markant kürzere Programmierzeiten, verbesserte Arbeitsbedingungen, höhere Produktqualität, erweiterte Flexibilität, längere Lebensdauer der Bearbeitungswerkzeuge und gesteigerte Produktivität sowie geringere Schadensrisiken.

**Schlüsselwörter:** Force Control, kraftsensitiv, Pfadlernen, FC Speed Change, FC Pressure

### 1. EINLEITUNG

Eine neue Qualität des Programmierens und der Prozesssteuerung von Robotern bietet innovative und effizientere Möglichkeiten beim mechanischen Bearbeiten. Die Kombination von intelligenter Software und feinfühligere Sensorik bildet die Basis des innovativen Systems „Force Control (FC) Machining“. Ergebnisse sind markant kürzere Programmierzeiten, verbesserte Arbeitsbedingungen, höhere Produktqualität, erweiterte Flexibilität und gesteigerte Produktivität sowie geringere Schadensrisiken. Diese Vorteile kommen vor allem Anwendern zugute, die Werkstücke wie Metallgussteile, Stahlwerkzeuge, Kunststoffteile, Holz- oder Glaswerkstücke bearbeiten. So werden die Vorteile der roboterunterstützten Produktion auch für Klein- und Mittelbetriebe nutzbar, z.B. im Handwerksbereich in Schlossereien und Tischlereien. Daraus resultieren Wettbewerbsvorteile für alle Unternehmensgrößen.

### 2. PROBLEM- UND AUFGABENSTELLUNG

Konventionelle Programmiermethoden sind zeit- und aufwendig. Der Programmierer ermittelt die Pfade für Bearbeitungsprozesse, in dem die Positionen Punkt für Punkt entlang der Werkstückkontur programmiert (geteacht) werden. Dabei muss er auf Bauteiltoleranzen und spezifische spätere Prozessparameter achten. So ist häufig das Einlernen von mehreren hundert Punkten erforderlich. Trotzdem führt bei den anschließenden Bearbeitungsprozessen ein konstantes Abfahren dieser Pfade zu Problemen und Risiken: vom Beschädigen des Werkstückes oder Werkzeuges über Unterbrechungen in der Fertigung bis zum Crash. Die Anwender versuchen, solche Mängel z.B. mit teuren flexiblen Werkzeugen, zusätzlichen Servoachsen, reduzierten Arbeitsgeschwindigkeiten oder ständigen Anpassungen zu vermeiden. Diese Maßnahmen bringen zumindest wirtschaftlich relevante Nachteile.

### 3. MATERIALIEN UND METHODEN

Für die robotergestützte mechanische Bearbeitung und zur Erreichung von konstanten und qualitativ hoch-

wertigen Bearbeitungsergebnissen wird auf die ABB Force Control Technologie zurückgegriffen.

Dabei wird für die Kraftdetektion ein Kraftsensor von der Firma ATI (SI 330-30-IP60, <http://www.ati-ia.com/>) eingesetzt. Mittels einem AD-Wandler werden diese Signale dem ABB-Roboterantriebssystem (IRB 140, [www.abb.com](http://www.abb.com)) zugeführt und softwaremäßig rechnerisch verarbeitet. Das Ergebnis wird für die einzelnen Merkmale wie das selbstständige automatische Erlernen der Roboterpfade als auch zur Kompensation der beim Bearbeitungsprozess auftretenden unterschiedlichen Kräfte verwendet.

### 4. ERGEBNISSE

Der Roboter erstellt sein Programm selbst. Die Softwareoption „Lead Through Teaching - Automatic Path Learning“ (automatisches Pfadlernen) unterstützt den Anwender beim einfachen Programmieren der Pfade. Im Gegensatz zum konventionellen aufwändigen Programmierprozess führt ihn eine grafische Benutzeroberfläche mit wenigen Mausklicken zum Ziel (siehe Abbildung 1). Er führt den Roboter mit der Hand lediglich zu den ungefähren späteren Arbeitspositionen. Und dass in nur relativ wenigen Arbeitspunkten. Dabei sind bauteilabhängige Abweichungen von einigen Millimetern zulässig. Anschließend „lernt“ der Roboter mit der Option „Automatic Path Learning“ in einem weiteren Schritt die tatsächlich benötigten Positionen entlang der Bauteilkontur. In relativ kurzer Zeit sind komplexe Pfade erstellt und können sofort abgefahren werden. Zeit- und kostenintensives Programmieren entfällt – der Roboter erstellt selbst komplexeste Bearbeitungspfade. Leicht nachvollziehbar ist: Der Nutzen ist umso größer, je komplexer das Bauteil ist. So sind bis zu 90 % Einsparungen der Programmierzeit möglich. Das verkürzt die „Time to Market“ und erhöht wesentlich die Effizienz der gesamten Anlage. Hersteller können auch deutlich schneller und flexibler auf Kundenwünsche reagieren.



Abbildung 1: Benutzeroberfläche RobotWare FC Machining am Programmierhandgerät (Quelle: ABB)

Die Kraftsensitivität ermöglicht neue Lösungen zum mechanischen Bearbeiten der Bauteile. Konventionell führt der Roboter das Werkzeug mit konstanter Geschwindigkeit auf dem programmierten Pfad. Deren Größen sind unabhängig von der tatsächlichen Kontaktkraft. Sie kann jedoch als Folge von Toleranzen, Formabweichungen, Hindernissen auf der Werkstückoberfläche oder anderen Anomalitäten variieren. Das „blinde“ Folgen einer einmal programmierten Bahn kann



deshalb zu erheblichen Problemen führen. Zum Beispiel zum Abschalten des Roboters wegen Überlastung seiner Servomotoren, zum Werkzeugbruch oder zum Beschädigen des Werkstückes. Um solche Situationen auszuschließen fahren die Praktiker ihre Maschinen meist mit deutlich reduzierter Geschwindigkeit – und schränken so deren Produktivität stark ein. Force Control Machining bietet hier zwei neue Bearbeitungsstrategien.

FC Pressure sorgt beim Bearbeiten für eine konstante, kontrollierte Anpresskraft (normal zum Pfad) und damit für einen konstanten Druck des Werkzeuges auf die Werkstückoberfläche. Die Vorgaben bzw. Grenzwerte richten sich selbstverständlich nach dem Arbeitsprozess und dem Werkstoff: Schleifen bzw. Fräsen von Angüssen und Graten, Polieren der Oberfläche von Metallguss- oder Kunststoffteilen, Fräsen, Bohren und Schleifen von Holzwerkstücken, Verbundmaterialien aus Holz und Kunststoff oder anderen Werkstoffen. In jedem Bearbeitungsprozess erfasst die Software über den am Roboterflansch aufgebauten sehr feinfühligem Kraftsensor mit mehreren Freiheitsgraden die Ist-Kräfte und gleicht sie mit der Soll-Vorgabe ab (Abbildung 2). Neben dem gleichmäßigen Kontaktdruck ändert sie die vorgegebenen Pfade adaptiv. Dies stellt sicher, dass das Werkzeug immer an der Oberfläche des Werkstückes entlang fährt – unabhängig von Konturunebenheiten und Fertigungstoleranzen. Das System reagiert bereits auf geringe Kraftunterschiede von 5N. Weiter reduziert die Software das Schadensrisiko für die Werkstückoberfläche und prognostiziert zuverlässig den Werkzeugverschleiß.

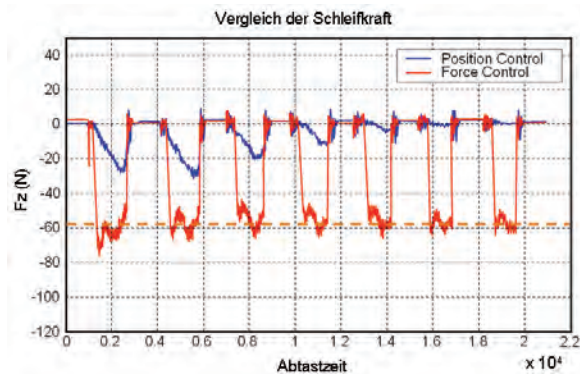


Abbildung 2: Vergleich der Schleifkraft

FC SpeedChange ändert bzw. variiert die Roboterbahngeschwindigkeit in Abhängigkeit von der Bearbeitungskraft (in Richtung des Pfades). So sorgt sie für konstanten Materialabtrag während des Prozesses. Treten zu hohe Bearbeitungskräfte auf, reduziert die Software automatisch die Geschwindigkeit des Roboterarms und hält so die Bearbeitungskräfte konstant (siehe Abbildung 3). Das verhindert weitgehend auch Maßabweichungen, die sich sonst aus dem Durchfedern des Roboterarms ergeben. Weiter vermeidet der Roboter so Beschädigungen des Werkstücks oder Werkzeugs aufgrund zu hoher mechanischer und thermischer Beanspruchungen. Sowohl die optimale Roboterbahngeschwindigkeit als auch die reduzierten Schadensrisiken bzw. die erhöhte Prozesssicherheit steigern die Produktivität und Wirtschaftlichkeit des kompletten Bearbeitungsprozesses.

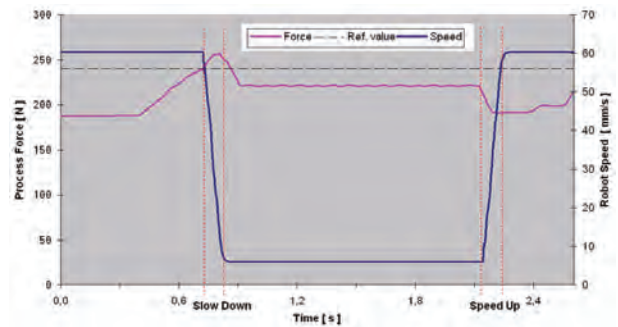


Abbildung 3: Schleifprozess mit FC Speed Change

Nachfolgende Abbildung 4 vergleicht zusammenfassend den Unterschied zwischen einem konventionellen positionskontrollierten Bearbeitungsablauf mit dem Roboter und den kraftgesteuerten Bearbeitungsstrategien FC Pressure und FC Speed Change.

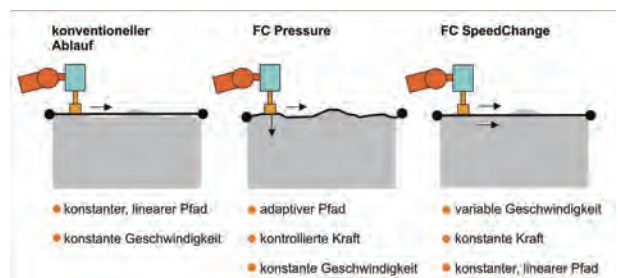


Abbildung 4: Vergleich konventioneller Ablauf mit den zwei FC Bearbeitungsstrategien

## 5. ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

Die Technologien Force Control (FC) Machining mit den zwei Bearbeitungsstrategien FC Pressure und FC Speed Change bringen dem Anwender vom Handwerks- bis zum Industriebetrieb markante Verbesserungen und Wettbewerbsvorteile wie erzielbare höhere Produktqualitäten, erhebliche Kosteneinsparungen durch die Verkürzung der Programmierzeit von bis zu 90%, bis zu 20% verkürzte Zykluszeiten und eine Verlängerung der Lebensdauer der Bearbeitungswerkzeuge.

## 6. LITERATURVERZEICHNIS

Fixell, P.; Kohlmaier, M.; Krappinger, P., 2007. *ABB Review*, ABB, Zürich

Kohlmaier, M., 2008. Robotergestützte mechanische Bearbeitung, *Join Ex Kongressbuch*, Join Ex, Wien

Kohlmaier, M.; Krappinger, P., 2006. System und Verfahren zur automatisierten Ver- und/oder Bearbeitung von Werkstücken, *ABB Patent 06\_641DE*, ABB, Österreich

## ANALYSE DER ZUVERLÄSSIGKEIT VON BILDGEBENDEN SENSOREN

Kubinger, W.

**Kurzfassung:** In diesem Vortrag wird der Einsatz von bildgebenden Sensoren in der Automatisierungstechnik und der Robotik vom Standpunkt der Zuverlässigkeit aus betrachtet. Es wird dabei diskutiert und analysiert, welche Anforderungen beim Einsatz solcher Sensoren zu beachten sind und wie diese Anforderungen zur Zeit abgedeckt bzw. berücksichtigt werden können.

An Hand von zwei Beispielen – der farb-basierten Segmentierung und der Stereosensorik – wird gezeigt, welche Ansätze es aktuell gibt und in welche Richtung die anwendungsorientierte Forschung hier in den nächsten Jahren verstärkt gehen wird.

**Schlüsselwörter:** Zuverlässige Kamerasysteme, Evaluierung, Stereo, Farbe

### 1. EINLEITUNG

Bildgebende Kamerasysteme werden immer häufiger in der Automatisierungstechnik und der Robotik eingesetzt. Sie ersetzen dort zunehmend klassische Sensoren auf elektrischer, magnetischer, kapazitiver oder optischer Basis. Diese Sensoren wurden zur Anwesenheitskontrolle, zur Positionsbestimmung, zur Lagekontrolle o.ä. in großer Zahl eingesetzt. Durch ihren einfachen Aufbau und ihre oft robuste Ausführung waren und sind diese Sensoren sowohl Aufbau als auch Funktion betreffend sehr zuverlässig.

Jedoch sind diese klassischen Sensoren in ihrer Funktion limitiert und man kann nur durch umständliche Konfigurationen oder Variationen verschiedener Sensoren – die noch dazu zueinander kalibriert sein müssen – komplexere Messaufgaben lösen.

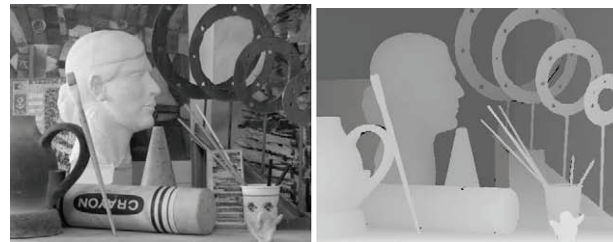
Bildgebende Sensoren sind hier eine Sensorklasse, die sehr umfangreiche Informationen über das zu vermessende Objekt liefern kann. Allerdings ist dabei die Komplexität der im Sensor eingesetzten Algorithmen in der Regel deutlich höher. Diese Sensorklasse findet zunehmend Einsatz in Spezialanwendungen wie der Oberflächeninspektion (Azad et al., 2007) oder der Druckinspektion von Banknoten (Fürtler et al., 2007). Durch den komplexen Aufbau dieser Sensoren kann es jedoch einerseits zu einer Verringerung der Sensorzuverlässigkeit durch mechanische Einflüsse kommen. Diese sind neben Staub und Schmutz, die die Optik beeinflussen können, auch Vibrationen oder Stöße, die den Sensoraufbau intern verschieben können und damit die Sensorkalibrierung verfälschen. Andererseits ist die Bildauswertung selbst, d.h. das mathematische Verfahren, mit dem der Sensor intern seine Aufgabe erfüllt, ein ganz wichtiger Faktor für die Zuverlässigkeit. Durch dieses Verfahren wird ja festgelegt, wie genau und zuverlässig der Sensor die Anforderungen abdecken kann und wie robust er Störungen – also z.B. Schwankungen in der Beleuchtung oder ein variables Umgebungslicht – handhaben kann.

### 2. ANALYSE DER ZUVERLÄSSIGKEIT

Da bildgebende Sensorsysteme eine sehr große Datenmenge liefern – ein einzelnes Sensorbild besteht aus mehreren Millionen einzelnen Bildpunkten, die unterschiedliche, aber in der Regel verknüpfte Informationen beinhalten -- ist es nicht praktikabel, alle möglichen Eingangskombinationen zu berücksichtigen und zu modellieren.

Ebenso werden beim Testen der einzelnen Verfahren nicht alle Kombinationen möglicher Einsatzfälle betrachtet, sondern man versucht repräsentative Testbilder zu verwenden, die aussagekräftige Ergebnisse über die Funktionsfähigkeit und die Zuverlässigkeit eines solchen Verfahrens liefern können.

Alle solche Evaluierungsverfahren basieren auf dem Prinzip, dass es zu jedem einzelnen Testbild ein zugehöriges Resultatbild gibt, das den erwarteten Wert (engl. ground truth) beinhaltet. Dieses Referenzbild enthält das tatsächlich zu erwartende Ergebnis, das ein zu 100% korrekt funktionierendes Verfahren liefern würde. In der Abbildung 1 ist als Beispiel ein Stereoreferenzbild aus der Middlebury-Datenbank inklusive seines erwarteten Wertes dargestellt.



**Abbildung 1:** Testbild Art aus der Middlebury-Datenbank. Linkes Kamerabild (links) und der erwartete Wert (rechts) (Humenberger et al., 2010)

Des Weiteren werden noch charakteristische Parameter für die Charakterisierung der Zuverlässigkeit der Funktion eines solchen Verfahrens verwendet. Üblicherweise verwendet man dabei Parameter, die angeben, ob ein Verfahren ein Pixel korrekt etwa einem Körper zugeordnet hat (engl. true positiv) oder nicht (engl. false positiv) bzw. ob korrekt erkannt wurde, dass dieses Pixel nicht diesem Körper zuzuordnen ist (engl. true negativ) oder ob dies nicht gelungen ist (engl. false negativ). Mit Hilfe solcher Parameter, die stark verfahrens- und evaluierungsspezifisch sind, lässt sich eine gute Aussage darüber treffen, wie zuverlässig ein Verfahren seine Aufgabe als Teil eines bildgebenden Sensorsystems erfüllt.

### 3. BEISPIELE VON EVALUIERUNGSVERFAHREN

Evaluierungsverfahren werden eingesetzt, um für eine vorgegebene Aufgabe oder Problemstellung nachzuweisen, dass die Zuverlässigkeit des eingesetzten Verfahrens den Anforderungen entspricht. Oft werden Sie auch verwendet, um alternative Ansätze zu prüfen und

mit dem aktuell verwendeten Verfahren objektiv zu vergleichen.

### 3.1. Die Middlebury Datenbank

Zur Evaluierung von Stereoverfahren hat sich die Middlebury Datenbank (Scharstein und Szeliski, 2002) als Stand der Technik etabliert. Hier wird ein Satz von Testbildern inklusive der zugehörigen Ground-Truth-Bilder zur Verfügung gestellt. Außerdem sind die Evaluierungsergebnisse einer Reihe von Algorithmen dokumentiert und diese Datenbank wächst laufend. Ein Beispiel für ein solches Referenzbild ist in der Abbildung 1 dargestellt.

Zur Evaluierung der Zuverlässigkeit wird hierbei die Anzahl der korrekt zugeordneten und der falsch zugeordneten Pixel verwendet. In der folgenden Tabelle 1 ist ein Beispiel für die Evaluierung eines CENSUS-basierten Echtzeit-Stereomatching-Algorithmus aus Humenberger et al. (2010) exemplarisch dargestellt.

Algorithm	Avg.	Tsukuba		
	Rank	Nonocc	All	Disc
PlaneFitBP	18.0	0.97 7	1.83 19	5.26 7
RealtimeVar	37.9	3.33 55	5.48 60	16.8 64
RealtimeBP	40.0	1.49 29	3.40 43	7.87 35
RealtimeBFV	40.2	1.71 34	2.22 32	6.74 21
FastAggreg	43.5	1.16 11	2.11 30	6.06 14
OptimizedDP	46.5	1.97 39	3.78 48	9.80 45
Prop. Alg.	49.7	5.08 70	6.25 66	19.2 68
RTimeGPU	50.4	2.05 42	4.22 52	10.6 50
ReliaDP	53.2	1.36 22	3.39 42	7.25 30
TreeDP	56.2	1.99 41	2.84 39	9.96 47
BlockMatch	68.6	6.61 73	7.91 73	28.9 74

**Tabelle 1:** Beispiel der Ergebnisse einer Evaluierung und Gegenüberstellung der Ergebnisse mit existierenden Verfahren (Humenberger et al., 2010)

Mit Hilfe der ermittelten Erkennungsrate in Prozent lässt sich die Zuverlässigkeit der Erkennung objektiv darstellen und damit ein Vergleich mit anderen Verfahren angeben.

### 3.2. Der Kugeltest

Eine Möglichkeit, farbbasierte Segmentierungsverfahren zu bewerten, stellt der Kugeltest dar (Kubinger, 1999). Dabei wird überprüft, ob ein Segmentierungsverfahren in der Lage ist, eine Kugel bekannter Farbe vollständig vom Hintergrund zu trennen, ohne irgendeine Vorabinformation über die Szene zu besitzen.

Die Kugeltest-Datenbank beinhaltet Referenzbilder von Kugeln unterschiedlicher Farbe inklusive des zugehörigen erwarteten Wertes. Ein Beispiel eines Referenzbildes ist in der folgenden Abbildung 2 dargestellt.

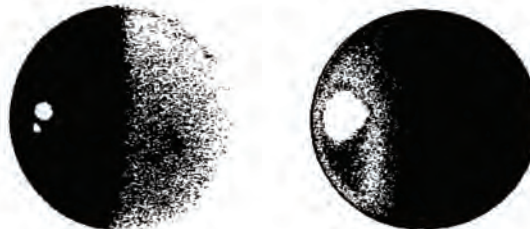


**Abbildung 2:** Kugeltest-Referenzbild (links) und der erwartete Wert (rechts)

Zur Evaluierung der Erkennungszuverlässigkeit der Faktor FS verwendet, der aussagt, wie stark das getestete Verfahren fehlerhaft segmentiert.

$$FS = (\text{Überseg.Pix.} + \text{Unterseg.Pix.}) / (\text{korrekt segm. Pix.})$$

Dabei wird das Verhältnis von untersegmentierten (die nicht korrekt erkannt wurden) und übersegmentierten Pixel (die falsch erkannt wurden) zu den korrekt segmentierten Pixel gebildet. Je kleiner dieser Faktor damit ist, desto besser ist das Verfahren. In der Abbildung 3 ist exemplarisch das Ergebnis einer solchen Evaluierung dargestellt.



**Abbildung 3:** Zwei exemplarische Ergebnisse des Kugeltests (Kubinger, 1999)

Man erkennt sehr gut, dass die beiden hier evaluierte Verfahren Schwierigkeiten im Bereich der abgeschatteten Seite und bei dem Glanzpunkt haben. Die restlichen Teile werden gut erkannt. Der Faktor FS ergab sich zu 0,66 (links) bzw. 1,57 (rechts).

## 4. ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

Die Bestimmung der Zuverlässigkeit von Verfahren, die bei bildgebenden Sensorsystemen eingesetzt werden, gewinnt immer mehr an Bedeutung. Da zunehmend klassische Sensorsysteme in der Automatisierungstechnik durch diese neue Sensorik ersetzt werden, ist eine genaue Kenntnis der Zuverlässigkeit eines solchen Systems unbedingt notwendig.

Im Rahmen dieser Arbeit wurden exemplarisch zwei Ansätze vorgestellt, die eine objektive Bewertung der Zuverlässigkeit von speziellen bildgebenden Verfahren ermöglichen. Da die existierenden Ansätze erst einen sehr geringen Teil der möglichen Anwendungen bzw. Verfahren abdecken, besteht hier noch sehr viel Forschungsbedarf an objektive Evaluierungsverfahren, um den zukünftigen zuverlässigen Einsatz von bildgebenden Sensoren zu gewährleisten.

## 5. LITERATURVERZEICHNIS

- Azad, P.; Gockel, T., Dillmann, R., 2007. Computer Vision: Das Praxisbuch, Elektor-Verlag
- Fürtler, J.; Mayer, K., Eckel, C., Brodersen, J., Nachtnebel, H., Cadek, G., 2007. Geometry Unit for Analysis of Warped Image Features on Programmable Chips, EURASIP Journal on Embedded Systems
- Humenberger, M.; Zinner, C., Weber, M., Kubinger, W., Vincze, M., 2010. A fast stereo matching algorithm suitable for embedded real-time systems, Computer Vision and Image Understanding
- Kubinger, W., 1999. Ein neues Verfahren zur Bewertung regionenbasierter Farbsegmentierungsverfahren, Dissertation, Fakultät Elektrotechnik, TU Wien
- Scharstein, D. & Szeliski, R., 2002. A taxonomy and evaluation of dense two-frame stereo correspondence algorithms, International Journal of Computer Vision, 47(1/2/3): 7-42



matching costs aggregation, minimum search and 3D reconstruction are necessary for the computation of a depth image [Humenberger et al. 2010]. A standard implementation in plain C/C++ without any performance optimizations, but on a recent Quad-Core CPU with 2.5GHz, completes a single frame in ~10s, and thus it achieves a frame rate of only 0.1 frames per second. Such slow stereo processing is not acceptable for most applications.

### 3. HIGH SPEED STEREO MATCHING

It is evident that for fast stereo matching the resources of the CPU must be exploited as much as possible. A number of techniques are available and must be employed to achieve this. The most important ones, which have all been applied during the optimization of S<sup>3</sup>E, can be enumerated as follows [Zinner et al. 2008].

- a) selecting an efficient algorithm and enhancing the efficiency of the algorithm itself
- b) choosing efficient data types
- c) avoiding redundant operations
- d) using 3<sup>rd</sup> party performance primitives libraries, e.g., Intel Performance Primitives [Intel 2007]
- e) creating own performance primitives libraries for functions that are not available in 3rd party libraries [Zinner et al. 2007]
- f) optimizing the memory access patterns to make data caches more efficient
- g) using instruction-level parallelism such as MMX and SSE intrinsics
- h) exploiting thread-level parallelism on multi-core architectures, e.g., with OpenMP [OpenMP, 2008]

The last measure, namely parallelizing the program for modern multi-core CPUs [Intel 2008], can be accomplished quite effectively by using the OpenMP extensions of modern C/C++ compilers. A particular problem is to ensure that the performance is scaling properly with an increasing number of CPU cores. The following example shows a simple approach that exploits the symmetry of the algorithm (i.e., many operations are applied on the left and on the right image, respectively).

```
#pragma omp parallel {
  #pragma omp sections nowait {
    #pragma omp section
    CensusTransform(imgLeft);
    #pragma omp section
    CensusTransform(imgRight);
  } /* end of sections */
} /* end of parallel section */
```

This code scales well when moving from a single- to a dual-core CPU, because the two image processing function will work in parallel. But it fails to accelerate further when it runs on a quad-core CPU.

To overcome this drawback, in an advanced approach each image is divided into *n* slices, where *n* is the number of CPU cores available. The *n* slices are then processed in a loop, whose iterations will be parallelized by OpenMP statements on multi-core machines.

```
int n = omp_get_num_threads(); // num of cores
int i;
#pragma omp parallel
for (i = 0; i < n; i++) {
  ImgDescr roiL = GetImgSlice(imgLeft, i, n);
  ImgDescr roiR = GetImgSlice(imgRight, i, n);
  CensusTransform(roiL);
  CensusTransform(roiR);
}
```

By doing so, the achievable multiprocessing speed-up is not anymore limited by a factor of 2, which is a big

advantage with regard to upcoming processor models comprising even more than 4 cores.

## 5. RESULTS

Table 1 depicts the impact of the several optimization steps applied on this implementation of a stereo vision algorithm. The impact of the optimization measures a) to g) is quite impressive and shows the importance of considering performance issues during the development workflow.

However, high multi-core performance with more than 2 CPU cores is only ensured with the enhanced OpenMP approach of processing images slices in parallel. This technique yielded an additional speedup of 1.87 on a quad core CPU and it can be expected that the speed increases even more on processors with more than 4 cores.

Optimization level	Exec. time / s	Frames per sec.	Speed-up factor
Unoptimized	9.4	0.1	-
Optimizations a) – g)	0.25	4.0	38
Quad core – simple OpenMP	0.127	7.9	1.97
Quad core – enhanced OpenMP	0.068	14.7	1.87

**Tab. 1:** Performance impact of optimization steps on a quad-core CPU

## 6. CONCLUSION AND OUTLOOK

The various performance optimization methods achieved an overall performance gain of 140 with VGA input images on an Intel quad-core CPU@2.5GHz. An enhanced method has been described to parallelize the processing among more than two CPU cores. This measure could almost double the achieved frame rate from 7.9fps up to 14.7fps. The system in its current form represents a robust real-time capable 3D sensing system suitable for various industrial applications.

## 7. REFERENCES

Zabih, R., Woodfill, J.I., 1994 *Non-parametric Local Transforms for Computing Visual Correspondence*. In: Eklundh, J.-O. (ed.) ECCV 1994. LNCS, vol. 801, pp. 151–158. Springer, Heidelberg

Humenberger, M., Zinner, C., Weber, M., Kubinger, W., Vincze, M., 2010, *A fast stereo matching algorithm suitable for embedded real-time systems*. To appear in Journal on Computer Vision and Image Understanding

Intel Corporation, 2007, *Intel Integrated Performance Primitives for Intel Architecture*. Document Number: A70805-021US (2007)

Intel Corporation, 2008, *Intel Core2 Duo Processors and Intel Core2 Extreme Processors for Platforms Based on Mobile Intel 965 Express Chipset Family*, Document Number:316745-005 (January 2008)

OpenMP Architecture Review Board, 2008, *OpenMP Application Program Interface*, available at <http://openmp.org>

Zinner, C., Kubinger, W., Isaacs, R., 2007: *Pfelib: A Performance Primitives Library for Embedded Vision*. EURASIP J. on Embed. Syst. 2007(1), 14 pages

Zinner, C., Humenberger, M., Ambrosch, K., Kubinger, W., 2008, *An Optimized Software-Based Implementation of a Census-Based Stereo Matching Algorithm*, Lecture Notes in Computer Science, Advances in Visual Computing, Vol. 5358, 2008, pp. 216-227



Tag der Mechatronik 2010  
Nominierungen

# AbsolventInnenkarrieren



**FH CAMPUS 02: BERNHARD GIPNER  
SIEMENS AG ÖSTERREICH**

**TRAUSSNIGG, U.**

**Kurzfassung:** Nach der Matura an der BULME Graz und einigen Jahren Berufserfahrung hat Bernhard Giptner 1999 sein Studium am FH-Studiengang Automatisierungstechnik begonnen und dieses 2003 erfolgreich beendet. Danach vertiefte er sein Wissen über die computerunterstützte Produktentwicklung in seiner Dissertation „Methodik zur systematischen Virtualisierung des Produktentstehungsprozesses“ am Institut für Fahrzeugtechnik an der Technischen Universität Graz und promovierte 2009 zum Doktor der technischen Wissenschaften. Beruflich leitet er seit 2007 am SIEMENS Mobility Weltkompetenzcenter für Schienenfahrwerke in Graz die Methoden- und Technologieentwicklung der virtuellen Produktentwicklung.

**1. LEBENS LAUF**

Bernhard Giptner wurde am 24. November 1970 in Feldbach geboren. Von 1977-1981 besuchte er die Viktor Kaplan Volksschule und in den Jahren 1981 bis 1985 die Unterstufe des Bundesrealgymnasiums Kirchengasse in Graz. Danach begann er seine technische Ausbildung an der Höheren technischen Bundes- Lehr und Versuchsanstalt BULME Graz-Gösting Fachrichtung Maschinenbau. Seine ersten beruflichen Erfahrungen sammelte er nach der Matura 1993 in Deutschland bei den Stadtwerken Frankfurt am Main. Seinen Zivildienst absolvierte er 1996 als Notfallsanitäter am Notarztsystem Feldbach. Von 1997 bis 1999 war er für die Firma BEKO Engineering & Informatik AG im Bereich der Konstruktion tätig, die es ihm ermöglichte, seine fachliche Ausbildung zu vertiefen.

Das Jahr 1999 erwies sich mit dem Wechsel zu MAGNA Steyr und dem Beginn des Fachhochschulstudiums Automatisierungstechnik an der FH CAMPUS 02 als entscheidender Wendepunkt in seinem beruflichen Werdegang. Durch MAGNA mit der virtuellen Produktentwicklung (Produktentwicklung am Computer) konfrontiert, erkannte er sehr bald das Fehlen von diversen Prozessen, Methoden und Systemen, um die virtuelle Produktentwicklung effektiv und effizient zu steuern. In seiner Diplomarbeit „Virtueller Mockup“ befasste er sich daher mit dem Thema des Simulationsdatenmanagements, einem der fehlenden Bausteine im Bezug auf virtuelle Produktentwicklung und beendete sein Studium 2003.

Da jedoch seine Diplomarbeit für ihn mehr Fragen aufwarf als sie Lösungen anbieten konnte und auch sein Interesse am wissenschaftlichen Arbeiten geweckt war, begann er 2004 seine Dissertation „Methodik zur systematischen Virtualisierung des Produktentstehungsprozesses“ am Institut für Fahrzeugtechnik bei Prof. W. Hirschberg, validierte diese Methodik an dem von ihm entwickelten Simulationsdatenmanagement und promovierte 2009 an der Technischen Universität Graz zum Doktor der technischen Wissenschaften.

Beruflich wechselte er 2007 zur Siemens Mobility und leitet dort seither am Weltkompetenzcenter für Schienenfahrwerke in Graz die Methoden- und Technologieentwicklung der virtuellen Produktentwicklung.

**2. SIEMENS MOBILITY UND IHRE LEITZIELE  
COMPLETE UND GREEN MOBILITY**

Leistungsfähige Mobilitäts- und Logistiklösungen für ein integriertes Verkehrssystem um Menschen und Güter wirtschaftlich, schnell und sicher zu befördern. Mit „Complete mobility“ antwortet Siemens auf die Herausforderungen der wachsenden Weltbevölkerung und Urbanisierung, Klimawandel und Ressourcenverbrauch. Um auch in Zukunft Mobilität sicher zu stellen, brauchen wir vernetzte Verkehrs- und Informationssysteme. Ganz gleich, ob es um den Verkehr in Städten und Ballungsräumen oder um die Verbindung zwischen Metropolen und Ländern geht: Die vielfältigen Herausforderungen lassen sich nur bewältigen, wenn alle Verkehrsträger sinnvoll aufeinander abgestimmt sind und perfekt zusammenspielen. Deshalb schafft Siemens integrierte Mobilitätslösungen – für einen sicheren, wirtschaftlichen und umweltgerechten Personen- und Güterverkehr. Siemens besitzt alle dafür erforderlichen Kompetenzen: von Betriebsführungssystemen für die Bahn- und Straßenverkehrstechnik über Bahn- elektrifizierung und Schienenfahrzeuge für den Nah-, Regional- und Fernverkehr bis zur Flughafenlogistik und Postautomatisierung.

Nachhaltige Mobilitätslösungen mit Weitblick sind die Ziele von „Green mobility“ nachhaltiges Wirtschaften ist das Ziel. Forschung, Entwicklung, Wirtschaft und Politik suchen nach neuen, umweltverträglichen Wegen. Regierungen rund um den Globus planen Investitionen in Höhe von 478 Milliarden US-Dollar. Zwei Drittel dieser Investitionen sollen in Maßnahmen für mehr Energieeffizienz fließen. An oberster Stelle stehen hierbei Lösungen hin zum umweltverträglichen Schienenverkehr, gerade weil dieser nur für zwei Prozent des Endenergieverbrauchs verantwortlich zeichnet.



**Abb. 1:** SIEMENS Hochgeschwindigkeitszug Velaro



### 3. SIEMENS WELTKOMPETENZZENTRUM GRAZ

Siemens Mobility gehört heute zu den weltweit führenden Systemanbietern für den schienengebundenen Verkehr. Die dynamische Entwicklung des Unternehmens ist nicht zuletzt eine Folge der modernen Organisationsstruktur, die sich auf leistungsstarke Kompetenzzentren stützt. Eines davon ist das Kompetenzzentrum für Fahrwerke bei Siemens Mobility in Graz. Mitte der 90er Jahre wurden hier sämtliche Fahrwerk-Aktivitäten von Siemens Verkehrstechnik, DUEWAG und SGP Verkehrstechnik konzentriert. Heute arbeiten am Standort Graz über 900 Mitarbeiter, die jährlich mehr als 3000 Fahrwerke produzieren. Das Kompetenzzentrum für Fahrwerke in Graz ist damit der weltgrößte Hersteller von Fahrwerken für den Personenverkehr.

Fahrwerke aus Graz sind Hightechsysteme. Die Voraussetzungen für die innovativen Produkte stellen die lange Tradition und die hohe Engineering-Kompetenz dar. Um die gesamten Entwicklungs- und Produktionsprozesse effizient und zielgerecht zu gestalten, wurden in Graz alle Kernfunktionen an einem Standort zusammengefasst. Von der Entwicklung über Engineering bis hin zu Fertigung und dem Test von Fahrwerken. Die optimale Integration sämtlicher Kompetenzen sichert höchste Qualität.

Kernkompetenzen wie der Drehgestellrahmen werden direkt im Kompetenzzentrum gefertigt.



Abb. 1: SIEMENS Fahrwerk Syntegra

### 4. METHODIK ZUR SYSTEMATISCHEN VIRTUALISIERUNG DES PRODUKTENTSTEHUNGSPROZESSES

Um den Herausforderungen des globalen Marktes begegnen zu können, hat sich die Strategie der Zeitführerschaft etabliert. Die Fähigkeit, Produkte schneller als die Konkurrenz auf den Markt zu bringen, wird aufgrund der immer kürzeren Produktlebenszyklen wettbewerbsentscheidend. Diese Zeitführerschaft kann über strategische, organisatorische und technologische Maßnahmen erreicht werden.

Für die Erreichung der Zeitführerschaft über technologische Maßnahmen ist der konsequente Einsatz von virtuellen Entwicklungsmethoden notwendig. Aufgrund der Komplexität des Produktentstehungsprozesses und der nur beschränkt verfügbaren Ressourcen der Unternehmen bedarf es einer wohl überlegten und strukturierten Vorgehensweise bei der Virtualisierung des Produktentstehungsprozesses. Dies führt die Unternehmen zwangsläufig in die Situation, dass sie bei der Substitution von konventionellen Entwicklungsmethoden durch innovative Methoden priorisieren müssen. Um diesen Veränderungsprozess mit dem Ziel einer durchgängigen virtuellen Entwicklung systematisch durchführen zu können, müssen geeignete Methoden (Bewertungsmethoden) und Steuerungs-

werkzeuge (Kennzahlensysteme) integriert bzw. entwickelt werden.

Verfügbare finanzorientierte Kennzahlensysteme sind zur Bearbeitung der beschriebenen Problemstellung wenig geeignet, da sie keine adäquate, strategisch orientierte Bewertung neuer Technologien bieten. Eine Empfehlung, wann in diese im Sinne der strategischen Zeitführerschaft investiert werden muss, kann nicht abgeleitet werden. In der Arbeit wird eine Methodik mit dem Ziel der Bewertung von neuen virtuellen Entwicklungsmethoden hinsichtlich ihres Beitrages zur Virtualisierung des Produktentstehungsprozesses entwickelt und angewandt.

Bei der konkreten Anwendung der Methode konnte eine Vielzahl an Optimierungspotentialen für den Produktentstehungsprozess der Siemensfahrwerke erarbeitet werden. Die ganzheitliche Darstellung der Optimierungspotentiale und die Auswirkungen der einzelnen Projekte zur Realisierung der Potentiale schufen eine neue Qualität in der Kommunikation zwischen den am Optimierungsprozess beteiligten Entwicklern und dem Topmanagement, sodass Investitionen zur Optimierung auch in Zeiten der Wirtschaftskrise in einem wesentlich konzentrierteren Umfang getätigt wurden als vor der Einführung der Bewertungsmethodik.

Einige dieser Optimierungspotentiale wurden bereits realisiert, und bei einer Neuentwicklung eines Fahrwerks konnte eine Verkürzung des Produktentwicklungsprozesses von ca. 30 Prozent erreicht werden. Natürlich gehen nicht alle Optimierungen auf diese Methode zurück, und viele der Optimierungspotentiale hätten auch anders ermittelt werden können, aber durch die eindeutige Nachvollziehbarkeit der Aktivitäten und deren Auswirkungen durch Kennzahlen konnte eine langfristige Optimierungsstrategie erarbeitet und so die nachhaltige Optimierung des Produktentstehungsprozesses sichergestellt werden.

### 5. ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass mittels der von Bernhard Giptner entwickelten und neuartigen Methodik Aussagen getroffen werden können, ob mittels neuer virtueller Entwicklungsmethoden eine entscheidende Beschleunigung des virtuellen Produktentstehungsprozesses erreicht werden kann. Des Weiteren können Lücken in der virtuellen Prozesskette identifiziert und Handlungspotentiale abgeleitet werden.

Durch diese Aussagen ist es möglich, eine langfristige Optimierungsstrategie zu erarbeiten und die Umsetzung dieser für das Topmanagement mit Kennzahlen zu versehen, um den Grad der Verbesserungen an managementgerechten Zielgrößen (Kosten- und Zeiteinsparungen sowie Qualitätsverbesserungen) messen zu können. Dies löst vor allem das Problem der Entwickler, den Nutzen ihrer Optimierungsbemühungen isoliert darstellen zu müssen. Durch die ganzheitliche Betrachtung können so auch Projekte argumentiert werden, die eigentlich keinen direkten Nutzen bringen und zur ganzheitlichen Optimierung unumgänglich sind.

Im Entwicklungsprozess bei SIEMENS Graz konnte durch die reale Anwendung und konsequenten Umsetzung eine Reduktion der Durchlaufzeit des Produktentwicklungsprozesses von ca. 30 Prozent erreicht werden. Eine Reduktion, die zusammen mit weiteren Maßnahmen eine deutliche Absicherung des Standorts in den Jahren der Wirtschaftskrise ermöglichte.

# CURRICULUM VITAE

## PERSONAL INFORMATION

Name  
Address  
Telephone  
E-mail  
Date of birth  
Nationality

**EIPELDAUER PATRICK**  
**BÄRENGÄSSLI 2, 5610 WOHLLEN, SWITZERLAND**  
**+41796205468**  
**eipel@gmx.at**  
**AUGUST 2<sup>ND</sup> 1982**  
**AUSTRIA**



## WORK EXPERIENCE

November 2008 – present

Alstom (Switzerland) Ltd.  
Zentralstrasse 40  
5242 Birr, Switzerland

Energy and Transport

### Six Sigma Black Belt

Coaching of Six Sigma projects ranging from manufacturing to organisational processes and carrying out own Black Belt projects in the Generator Rotor Factory in Birr to improve customer satisfaction and performance of the department:

- Coaching and Motivation of Six Sigma Green Belt Projects (savings >30k€, 10/year)
- Black Belt project (saving >100k€, 1/year)
- Conducting Six Sigma Green Belt Training
- Training and supporting departments in Root Causes Analysis (5Why, Fishbone, FMEA)
- Training, supporting and coaching of teams in a "Zero Defect" Initiative (FMEA)
- Implementation of 5S, creating 5S structure and training of workforce
- Facilitation of target workshops and strategy deployment for 3 departments
- Value Stream Mapping to identify project opportunities within the department of generator rotor manufacturing

Success:

Successful coaching of 12 Six Sigma Green Belt Projects with cost and/or quality improvements bigger 30k€ per year:

- Lean contents (60%): Flow optimisation, installation of visual controls, standardisation and SOI, SMED, eliminating 7 wastes
- Six Sigma content (40%): Improving process capabilities and process stabilities of existing processes

Successful Black Belt project; reducing failures from 17% to <<0.1% of a brazing process, resulting on cost savings above 250k€ per year:

- Use of Lean methodology (60%) to standardise, optimise and implement basic standards to quickly improve brazing process
- Use of Six Sigma methodology (40%) to further improve process capability and stability and conducting Gage R&R to improve measurement method

October 2007 – October 2008

Mars Inc., Slough, United Kingdom  
Fast Moving Consumer Goods  
Company (Snackfood, Food and  
Petfood)

### European Process and Project Manager

Managing and coaching a variety of European teams to deliver strategic business projects from innovation to continuous improvement and execution.

Main responsibilities:

- Leading cross functional teams across Europe
- Motivating team members through ambiguous project stages
- Assigning responsibilities and task
- Setting smart goals and timings to achieve ambitions growth targets
- Communication and aligning on all levels of the organisation
- Project Problem solving and trouble shooting

Success:

Delivering my projects on time whilst continuously improving the workflow with the use of Lean tools (i.e. process mapping, FMEA, 7 wastes), which led to a decrease in complexity and costs. Further more motivating project members at ambiguous project-stages with clear targets, goals and accompanying visualization.

Training of the UK- and Netherlands based European Process and Project Management Team in Lean basics.

## September 2006 – October 2007

Mars Austria OG, Breitenbrunn,  
Austria

Fast Moving Consumer Goods  
Company (Snackfood, Food and  
Petfood)

Success:

## Lean Coach (Factory Breitenbrunn)

Implementing a "Lean Operating System" which included:

- Managing and coaching the change process to the new ways of working
  - Training and coaching the local workforce in Lean understanding and Lean tools (5S, SMED, KVP, "data & facts", 5Why, Pareto, Fishbone, Root Cause Analysis)
  - Use of A3 methodology for structured problem solving within the operating system
  - Management and local workforce buy-in in communication sessions
  - Designing and set-up of an audit- and coaching process at management level
  - Leading the design of the Lean roadmap with the engagement of the senior management to improve long-term performance
  - Coaching GEMBA projects of workforce
  - Working within European Lean network for benchmarking and Best practise
- 3% increase of factory performance
- Increase in engagement scores
- Standardisation of the 5S tool across European Sites

## September 2005 – February 2006

BMW AG, Plant Regensburg, 93055  
Regensburg, Germany  
Automotive industry, manufacturing  
and production

Success:

## Student Internship (Diploma Thesis), Department TR-450 Assembly Production

- Improvement of the Inline-Measurement of the BMW Sunroof (for quality optimization)
  - Six Sigma, Process Improvement of the Sunroof Installation Unit and concept for a "Statistical Process Control"
  - Quality improvement, -assurance and management, failure examination, statistical analysis in Excel and Minitab 14, database analysis
- Improvement of the Inline-Measurement
- Reducing number of defects by 50% of the Sunroof Installation Unit
- Concept for implementation of a Statistical Process Control

## AUGUST 1998 – OCTOBER 2007

Spring 2004 - 2007

Winter 2004 – Spring 2005

July 2004

August 2002

June 2002

August 200

August 1998

Various jobs and employers during technical college and my university studies to gain broad work experience and finance my studies:

Baumpfleger Granitzer, 2340 Moedling, Austria  
Tree cutting, Safety work, Customer consulting

Joh. Schoenbichler & Co Theehandlung, 1010 Vienna, Austria  
Sales clerk, customer focus and service

Baxter AG, 1221 Vienna, Austria  
Analysis of energy consumption, technical service and creating presentations

Baxter AG, 1221 Vienna, Austria  
Shift worker, department for crude fraction - plasma processing

Post AG, 1020 Vienna, Austria  
Mail delivery

VAMED-KMB GmbH, 1090 Vienna, Austria  
Facility management, Inspection and service of medical equipment

Beyhl Engineering GmbH, 2514 Traiskirchen, Austria  
Electro engineering, Electric installations

## EDUCATION AND TRAINING

September 2002 – June 2006

Fachhochschule Wr. Neustadt für  
Wirtschaft und Technik (University of  
Applied Sciences)

Mechatronics/Microsystem Engineering (Graduation with Distinction)

*Project Thesis:*

Improvement of the Inline-Measurement of the BMW Sunroof (for quality optimization)

*Diploma Thesis:*

**Six Sigma** Process Improvement of the Sunroof Installation Unit and concept for a "Statistical Process Control"

*Diploma subjects:*

- Mechatronics
- Vibrations and modular Analysis
- Quality Management
- Quality Assurance

*Principal Subjects:*

Mathematics, physics, mechanics, numerical methods in mechanics, production engineering, accounting, marketing, project management, electrical engineering, engineering materials, automation engineering, process control, accounting, product liability/regulation, power electronics, sensors and actuators, finite elements, semiconductor technology,

Title of qualification awarded

Diplomingenieur (FH)

October 2001 – June 2002

Military service, department for examination and Blood analysis

September 1996 – June 2001

Technical college, TGM, Vienna,  
Austria

Department for electronic engineering and biomedical engineering (Graduated with A-Level)

Title of qualification awarded

Engineer

## TECHNICAL SKILLS AND COMPETENCIES

IT Applications

MS Office (Word, Excel, PowerPoint, Project, Visio), Mind-manager, Lotus Notes, Minitab 15, Apis, I-nexus

Certificates

- Situational Leadership Training (3 day workshop)
- Black Belt Training (2009, 3 weeks, including DOE, Lean and Value Stream Mapping)
- Six Sigma Green Belt Certification (January 2008)
- GEMBA certificate (January 2007, 3 day workshop, value adding, 5S)

## LANGUAGES

German (Mother Tongue)

English

Tagalog

Fluent in spoken and written

Beginners Level

## EXTRACURRICULAR ACTIVITIES

Oktober 2008 - present

June 2004 – October 2007

September 2002 – June 2006

Part of Management of talkademy (Virtual Language School))

Member of the management of newly founded Rowing Club Armada

Student spokesman at FH Wr. Neustadt. Responsible for interests and concerns of 50 students within my year

## INTERESTS AND HOBBIES

Interests

Hobbies

Achievements

- Reading, especially books about Management, Leadership, Change Management
- Running, Cycling, Hiking, Skiing
- Former rowing athlete: 3rd in junior lightweight, 3rd place in junior 4 team boat (national championship), 2nd and 3rd place in men's eight long distance, 3rd place in indoor rowing long distance (German championship)

## DRIVING LICENCE

Car driver's licence



## **Lebenslauf:**

Name: Thomas Syrinek  
Adresse: Schönblickstrasse 15  
71254 Ditzingen  
Deutschland

Telefon: +49 (0) 170 911 2958  
E-Mail: [thomas.syrinek@freenet.de](mailto:thomas.syrinek@freenet.de)  
Geburtsdatum: 16.08.1974  
Geburtsort: Neunkirchen (Österreich)  
Staatsbürgerschaft: Österreich  
Familienstand: Ledig, 1 Tochter



### **Ausbildung:**

1980 – 1984: Volksschule, Puchberg am Schneeberg  
1984 – 1988: Hauptschule, Puchberg am Schneeberg  
1988 – 1989: Polytechnischer-Lehrgang, Grünbach am Schneeberg  
1989 – 1993: Elektroinstallateurlehre,  
Josef Witzmann GmbH, Wr Neustadt  
Berufsschule für Elektrotechniker, Stockerau

### **Studium:**

09.1998 – 06.2002: Fachhochschule Wr. Neustadt  
Bereich: Präzision-, System- und  
Informationstechnik  
Spezialisierung: Mechatronik und  
Mikrosystemtechnik

### **Praktika:**

07.1999 – 09.1999: Wr. Neustädter Bildungs- und Forschungs-  
Ges.m.b.H  
3D-Konstruktion, 3D-Assemblierung  
07.2000 – 09.2000: Siemens AG Austria, Automobiltechnik  
10.2000 - 06.2002: Siemens Automotive GmbH  
Entwicklung eines automatisierten  
Einklemmkraftmesssystems

### **Projekte:**

10.2000 – 04.2001: Entwicklung einer automatisierten  
Qualitätskontrolle für Blechoberflächen  
Böhler-Bleche, Müzzzuschlag  
06.2001 – 11.2001: Projektarbeit:  
Erstellung eines Ausstellungsstückes mittels  
LabVIEW für Siemens VDO Automotive.

**Diplomarbeit:**

Thema: Automatisiertes Einklemmkraftmessgerät für Schiebebedächer und Fensterheber mit Schließkraftbegrenzung

**Präsenzdienst:**

04.1993 – 11.1993: Landwehrstammregiment 37, Maximiliankaserne, Wr. Neustadt, Jäger und LKW-Fahrer

**Berufstätigkeit:**

1993 – 1998: Josef Witzmann GmbH, Wr. Neustadt  
Elektroinstallateur  
Baustellenleitung, technisches Service

07.2002 – 11.2002: Siemens VDO Automotive, Wien  
Versuchingenieur, freier Mitarbeiter  
Messtechnik, Versuch und Betreuung

12.2002 - 07.2004: Porsche Engineering Services GmbH  
Projektingenieur, Serienbetreuung Cayenne  
Elektrik/Elektronik Entwicklung

08.2004 - 07.2006: Dr. Ing. h.c. F. Porsche AG, Stuttgart  
Projektleiter Sonderaufgaben  
Assistent Leiter Elektrik/Elektronik Entwicklung

seit 08.2006 Dr. Ing. h.c. F. Porsche AG, Stuttgart  
Teamleiter Karosserieelektrik  
Sicherheit- und Verstellsysteme Sportwagen

**Computer Kenntnisse:**

Standardsoftware: MS-Office, MS-Project, MS-Visio, SAP R3, R-Plan  
CAD-Software: I-DEAS  
Program.-Sprachen: Visual Basic, C  
Engineer-Software: Matlab, -Simulink, Pspice, OrCad, LabView

**Fremdsprache:**

Englisch

**Hobbies und Interessen:**

Schifahren  
3D-Konstruktion  
Automobiltechnik

Ditzingen, am 08.09.2008

# ARBEITSGEMEINSCHAFT MECHATRONIK PLATTFORM

Tag der Mechatronik

FH Technikum Wien, 22. September 2010

## FH TECHNIKUM WIEN: DI (FH) ROLAND AMBROSCH, MSC

### Ambrosch, R.

**Kurzfassung:** DI (FH) Roland Ambrosch, MSc begann 2003 sein Diplommstudium für Mechatronik/Robotik an der FH Technikum Wien und schloss dieses mit ausgezeichnetem Erfolg 2007 ab. In den anschließenden 2 Jahren absolvierte er berufsbegleitend den Vollzeit-Masterstudiengang Mechatronik/Robotik und erwarb den Titel Master of Science. Der Fokus seiner Diplomarbeiten lag im Bereich humanoide Robotik und Bildverarbeitung.  
**Schlüsselwörter:** Mechatronik, Robotik, humanoide Roboter, Bildverarbeitung, Computer Vision

#### 1. ERSTE PROJEKTE

Bereits während des Studiums hat Roland Ambrosch freiberuflich an diversen Projekten im Bereich der Elektronik- und Softwareentwicklung, sowie im Bereich Robotik gearbeitet. In den ersten Projekten ging es vor allem um den Bau von Geräteprototypen für den Endconsumer-Markt. Es wurde beispielsweise ein erstes tragbares Lesegerät mit epaper Technologie in Verbindung mit GSM entwickelt um somit aktuelle Zeitungen über Nacht auf das Gerät laden zu können und dem Leser tagesaktuelle Nachrichten zur Verfügung stellen zu können.

Weiters wurden digitale Videorekorder-Prototypen auf Kundenwunsch entwickelt. Diese Geräte gehen als Serie Ende 2010 auf den Markt.

Das erste mechatronische Projekt wurde bereits in der ersten FH-Sommerpause für die Firma SICK durchgeführt und war ein Demogerät zur Präsentation der neuesten Sicherheitstechnik. In diesem Projekt musste konstruiert, verkabelt und gefertigt werden.

#### 2. NACH DEM STUDIUM

Die Zeit nach dem Studienabschluss 2007 mündete direkt in die Selbständigkeit, wobei die erste Zeit durch wenige, große Kunden gekennzeichnet war. Während dem Aufbau des digitalen Videorekorders und der dazugehörigen Infrastruktur, Verwaltungssoftware und dem dazugehörigen Projektmanagement ergaben sich erste kleine Automatisierungsprojekte im Dosierbereich. Der Dosierbereich ist nach wie vor ein großer Teil im Unternehmen Pro Automation GmbH. Das automatisierte Verkleben von Elektronikbauteilen, das Auftragen von Lötpaste, das Auftragen von Silikondichtungen, etc. ist nach wie vor tägliches Brot der Pro Automation GmbH.

Nach dem ersten Jahr in reiner Selbständigkeit folgt ein interessantes Jahr als Nachwuchsingenieur bei SIEMENS (SIMEA), wo vor allem das Arbeiten in großen Teams und die Abwicklungen von großen Projekten mit über mehrere Abteilungen hinweg transparent geworden sind.

Neben diesem Angestelltenverhältnis hat Herr Ambrosch außerdem sein erstes gefördertes Forschungsprojekt mit Hilfe des FFG im Bereich Sicherheitstechnik mit Kameras durchgeführt. In diesem Projekt wurde ein Algorithmus zur Erkennung von

Personen und zu diesen Personen gehörenden Gepäckstücken entwickelt.

#### 3. PRO AUTOMATION GMBH

Nachdem sich Herr Ambrosch Ende 2009 wieder entschloss zurück in die Selbständigkeit zu wechseln, hat er mit seinem Einzelunternehmen Software zur Erkennung von Temperaturmaxima in Abhitzekesseln mit Hilfe von Ultraschallsensoren entwickelt, IT Software geschrieben und Sonderroboter für den Dosierbereich gebaut.

Im Februar 2010 wurde ein großer Schritt in Richtung größere Aufträge und Umsätze getan und die Pro Automation GmbH gegründet. Herr Ambrosch ist Geschäftsführer der Pro Automation GmbH. Ziel der Pro Automation GmbH ist es industrielle Produktionen jeder Art zu automatisieren und vor allem die Automatisierung im Lebensmittelbereich voran zu treiben.

Im Laufe des ersten Quartals wurden beispielsweise Inbetriebnahmen für Keks- und Schokoladenproduktionen in Sibirien durchgeführt. Neben dem Automatisierungssektor ist die Entwicklung das zweite, große Standbein, mit diesem aktuell eine Visualisierungssoftware für gemessene oder berechnete Signale aus Prozessleitsystemen in Kraftwerken, Müllverbrennungen o. ä. Systemen kundenspezifisch entwickelt wird. Ziel der Pro Automation ist es im nächsten Jahr einige Automatisierungen im Bereich der Primär- und Sekundärverpackung im Lebensmittelbereich, in Kooperation mit anderen Firmen durchzuführen. Die Pro Automation GmbH zählt zur Zeit 5 Mitarbeiter.

#### 4. LEBENS LAUF

##### University of Applied Sciences for Mechatronics/Robots

Masters Course for Mechatronics/Robotics, Technikum Vienna/Austria

absolviert 06/2009

##### University of Applied Sciences for Mechatronics/Robots

Diplomstudiengang for Mechatronics/Robotics, Technikum Vienna/Austria

absolviert mit Auszeichnung 07/2007

##### Technical High-School for Electronics/Computer Engineering

„HTL Moessingerstrasse“, Klagenfurt/Austria

absolviert 07/2002

##### Auszeichnungen

*Student Social Award* 2003/04 for social activities during the previous year

*Studentship* for special skills of the study course

Mechatronics/Robotics 2003/04, 2004/05, 2005/06

*Best Project Award* of the study course and

Mechatronics/Robotics platform 2004/05, 2005/06

Passed the *diploma with distinction* 2007.

*Awarded for the best diploma thesis* of the Mechatronics/Robotics platform 2007



## 5. PUBLIKATIONEN

1) **Ambrosch, R. & Kettler, R.:** *Control and Organization of Guiding Robots*. 16<sup>th</sup> International DAAAM Symposium, ISBN 3-901509-46-1, Vienna, Austria 2005.

**Abstract:** *Mobile robots used for guiding purpose should have stable solutions to guide through buildings and are abutted to concierges. Guide robots based on mobile platforms with additional hardware and electronics were developed. More than one robot acting parallel, interfaces between robots and humans, predefined paths and modularity of a tested solution are discussed in this paper.*

2) **Ambrosch, R.; Rinnerthaler, F. & Kubinger W.:** *Building an autonomous, mobile demonstration platform for embedded vision applications*. 17<sup>th</sup> International DAAAM Symposium, ISBN 3-901509-57-7, Vienna, Austria 2006.

**Abstract:** *This platform is a model of a real car to test different embedded vision algorithms and mobile robot algorithms. The test results of the platform can be used as a reference for real cars. To be able to evaluate different sorts of experiments, modularity is the basis of the platform. The built-in image processing unit is small in size to be close to automotive applications. Typical requirements of the automotive industry, like real-time behaviours, are considered. The developed software framework is highlighted to show the modularity of the platform.*

3) **Ambrosch, R. & Malisa V.:** *Hand Tracking with a Humanoid Robot Head*. 18<sup>th</sup> International DAAAM Symposium, ISBN 3-901509-58-5, Vienna, Austria 2007.

**Abstract:** *This cognitive machine vision system was build for the interaction of humans with a humanoid robot. It is able to track and follow hands via a vision system and a human like head and neck. The control loop runs at a speed of 1 kHz and the vision algorithm at four frames per second. The actuation is realized via brushless motors. The vision algorithm and the follow-me behavior is implemented on a personal computer using OpenCV. Tracking works at distances between 0.5 m and 2 m. This system will be used to move the humanoid robot's hand and position it to grasp objects.*

4) **Almansa, A., Ambrosch, R., Hesse, S., Hieger, C., Malisa, V., Trenker, M., Kubinger, W., Wagner, E.:** *Taschenbuch Robotik – Montage - Handhabung*. ISBN 978-3-446-41969-8, Vienna, Austria 2010.

**Kurzfassung:** *Das Taschenbuch ist ein Nachschlagewerk mit umfassendem Sachregister. Es widmet sich den Themen Robotik und Montage und beleuchtet alle Seiten der automatischen Handhabung. Die Beiträge gehen über die weitgehend bekannte Industrierobotik hinaus und beschäftigen sich auch mit zukunftsweisenden Themen wie beispielsweise Servicerobotik, Teleoperatoren oder autonomen mobilen sowie humanoiden Robotern. Es werden die wichtigsten Grundlagen, Funktionen und die diversen Anwendungsmöglichkeiten besprochen. Die erklärenden Texte werden durch zahlreiche Darstellungen anschaulich ergänzt.*

## 6. KONTAKT



DI (FH) Roland Ambrosch MSc

Email: [RA@ProAutomation.at](mailto:RA@ProAutomation.at)

Web: [www.ProAutomation.at](http://www.ProAutomation.at)



Tag der Mechatronik 2010  
Nominierungen

# Bachelorarbeiten



## FH TECHNIKUM WIEN: IMPROVEMENT OF NAOS SPEECH SYNTHESIS AND RECOGNITION SKILLS

Baldinger, A.

**Abstract:** *This thesis deals with the improvement of the speech synthesis and recognition skills of Nao, a humanoid robot by the French company Aldebaran robotics. First are the problems leading to this project identified and the tasks how to solve them are formulated. An introduction in humanoid robotics and speech synthesis and recognition follows. The robot Nao and the used development environments are introduced. In the main part are the efforts to improve the speech synthesis and the speech recognition skills shown. At the end the conclusions and the possibilities of future work in this area are displayed. The implementation of new speech recognition was not possible in this project due to robot problems and therefore a study on speech recognition algorithms and an approach for future implementations on Nao got carried out.*

**Keywords:** Nao, Aldebaran, humanoid, speech, recognition

### 1. PROBLEM AND TASK FORMULATION

The speech recognition skills of the robot Nao were rated insufficient due to the lack of understanding. This happens due to background noises, not perfectly spoken words and more than one person talking near Nao. Furthermore has the text-to-speech function for speech synthesis problems with special technical vocabulary. Therefore is the task of this project the improvement of Naos skills in speaking and recognizing speech. The final goal is to use Nao as interactive presentation robot. The speech synthesis will be improved by a text preprocessor for better pronunciation and the possible solutions for the improvement of the recognition capabilities will be evaluated.

### 2. INTRODUCTION

A humanoid robot is a robot with an appearance similar to a human that is mainly designed for interaction. The main problem robotics engineers face today is the high complexity of a humanoid robot and to effectively merge the different technologies into one product.

#### 2.2. Speech synthesis

Speech is the main way of communication for humans and therefore speech synthesis provides a better way for robots to communicate with humans. The problem of speech synthesis is that the same letter can be pronounced differently and is also depending on the position. There exist different ways to create synthesized speech and current systems work quite sufficiently. Jasmine Haider (2009) evaluated the text-to-speech capabilities of Nao and the use of German as language, providing necessary background about Naos speech synthesis capabilities.

#### 2.3. Speech recognition

Speech recognition has been researched for over 40 years now and still no perfect system exists. The high complexity of speech recognition has its origin in the uncertainty of the data and even from the same speaker the same word sounds different as Euler pointed out (2008) (see Figure 1).

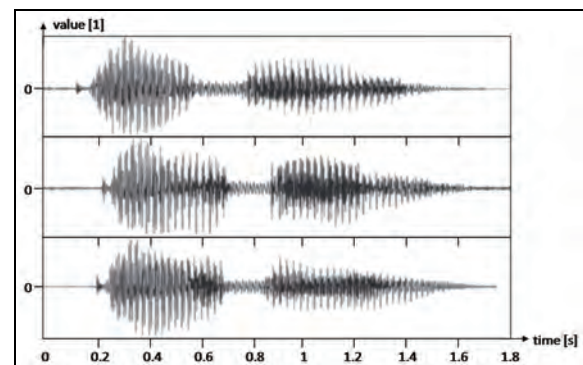


Figure 1: Same word "Donau" 3 times from the same speaker

There exist different levels of speech recognition capabilities as Pfister and Kaufmann explained (2008):

- Single word recognition
- Keyword spotting
- Word sequence recognition
- Continuous speech recognition

The single word recognition is the simplest system and the continuous speech recognition the most sophisticated one with regarding not only the syntax but also the semantics of a sentence.

### 3. MATERIALS AND METHODS

The robot Nao is a humanoid robot manufactured by the French company Aldebaran robotics and has been the new robot for the Robocup Standard Platform League (SPL) since 2007. Nao is 58 cm tall, weights 4.3 kg and has 25 Degrees of freedom (Dof) in the academic version. It has an embedded Linux as Operating System and NaoQi as main program for robot behaviors and programming.

The 2 development environments for programming Nao in this project were Aldebaran Choregraphe and Microsoft Visual Studio 2005.

### 4. NAOS SPEECH SYNTHESIS

Aldebaran robotics provides the possibility for text-to-speech with the module ALTextToSpeech already embedded in the NaoQi. Nevertheless has Nao little problems with the pronunciation of unknown words from special vocabulary:

- General technical vocabulary (torque, force, ...)
- Electrical vocabulary (voltage, current, ...)
- Mechatronics/Robotics vocabulary (humanoid, ...)
- Names (supervisor, head of department, ...)

The pronunciation improvement is realized with a text preprocessor, which replaces words Nao cannot pronounce with translations Nao can pronounce properly from a vocabulary file. This function is called Prolmp for Pronunciation Improver and shows a significantly better understandable voice with a negligible processing time in tests.

## 5. NAOS SPEECH RECOGNITION

At the start of the project were 3 possible solutions named for improving Naos speech recognition skills:

- Improvement of the existing module
- Development of a complete new recognition system
- Implementation of an existing open source system

Due to the missing access to the source code was the improvement of the existing module not possible. A short literature study on speech recognition was carried out instead. One conclusion of this study was that the development of an own solution is impossible due to the lack of time and knowledge. Because the access to live microphone data is not possible in the used version of Nao the implementation of an open source system is not possible either. Thus a short evaluation of two open source speech recognition systems was conducted.

### 5.1. CMU Sphinx

CMU Sphinx is an open source speech recognition project by the Sphinx Group at the Carnegie Mellon University in Pittsburgh, USA. It is based on statistical methods for comparing patterns using Hidden Markov Models. The current version can be downloaded [<http://cmusphinx.sourceforge.net/>, access on 26.05.2010] and consists of two main parts as described by CMU (2008):

- Trainer
- Decoder (Recognizer)

The trainer sets up the speech recognition system and defines how the letters are recognized in the sound signal. The decoder analyzes a sound signal and tries to find the equivalent word from the grammar library. For ensuring a real-time recognition it is necessary to translate the live microphone data to a 13 dimensional cepstral format continuously. Till the end of this project this rather important issue was not solved.

### 5.2. Microsoft SAPI

The Microsoft SAPI is an API for speech recognition and synthesis provided by the company Microsoft to give third-party companies and private persons the opportunity to include speech in their products. Most important for this project is the possibility to create a speech recognition system with use of SAPI that can run stand-alone without the separate installation of the SDK. This can be achieved with the redistributables provided from Microsoft, but it is not completely clear how such an installation on Nao could be realized.

### 5.3. Audio Source Localization

The ability to localize the source of an audio signal is vital for a robot to ensure proper interaction. If a human starts to talk, the robot should turn around and face its

communication partner. There exist 2 main ways to calculate the direction of an audio source using 2 different values from the microphones.

#### 5.3.1. Volume Comparison

The easiest way of calculation the angle of an audio source to an array of microphones (in Naos case 4) is the comparison of the volume levels. The microphone outputs of the 4 microphones are compared to each other and the one with the highest energy has to be the nearest to the sound source. This way the location of the audio source can be calculated in 45° steps. An example code was programmed showing that the technique works perfect in a close range (<150mm) but gets more and more unreliable the farer away the sound source is.

#### 5.3.2. Interaural Time Difference

Interaural time difference is the difference in time when a sound signal peak is received by two geometrically different placed points. The different times in the arrival of a specific sound peak between the microphones are measured and compared. With this method an exact calculation of the audio source direction can be realized (see Figure 2)

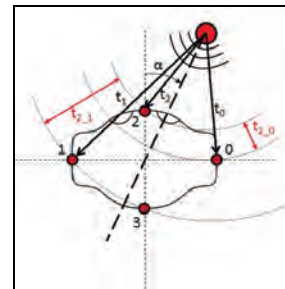


Figure 2: Interaural time difference measurement

An example program for the Interaural time difference method was implemented too, but the calculation failed due to corrupt sensor outputs.

## 6. CONCLUSION AND PERSPECTIVE

The whole project was realized partly, as the speech synthesis skills were improved, the speech recognition improvement failed due to robot problems and the audio source localization was realized with restraints. Basic knowledge of speech recognition, synthesis and audio source localization was acquired in a literature study. Future projects will need a newer version of the robot Nao and could focus on the implementation of an open source speech recognition system.

## 7. BIBLIOGRAPHY

- Euler, S. (2006). *Grundkurs Spracherkennung*. Friedr. Vieweg & Sohn Verlag | DWV Fachverlag GmbH, Wiesbaden. ISBN 3-83348-0003-1
- Pfister, B. Kaufmann, T. (2008). *Sprachverarbeitung – Grundlagen und Methoden der Sprachsynthese und Spracherkennung*. Institute for technical informatics and communication grids ETH Zürich. Springer-Verlag Berlin Heidelberg. ISBN 978-3-540-75909-6.
- CMU. (2008). *Robust group's Open Source Tutorial*. Tutorial for CMU Sphinx. Carnegie Mellon University. [<http://www.speech.cs.cmu.edu/sphinx/tutorial.html>, access on 26.05.2010].
- Haider, J. (2010). *NAO spricht deutsch*. Project report, master program mechatronics. UAS Technikum Vienna.

## FH TECHNIKUM WIEN: MOBILES MESSSYSTEM FÜR DIE MESSUNG VOM ENERGIEVERBRAUCH AN VOLLAUTOMATISCHEN ANLAGEN

Maglot, W.

**Kurzfassung:** Da in naher Zukunft die Energiekosten steigen werden, wird bei Unternehmen die genutzte Energie für die Fertigung ein wesentliches Einsparungspotential darstellen. Um unter diesen Aspekt Optimierungen vornehmen zu können, müssen jedoch Details über den Energieverbrauch einer Anlage ermittelt werden. Eine Realisierung dieser Problemstellung wird im Verlauf der Arbeit in Form eines Konzeptes zur Messung vom Energieverbrauch an vollautomatischen Anlagen behandelt. Dabei umfasst die Arbeit neben der Erfassung des Gesamtverbrauchs auch den Energiebedarf der einzelnen Prozesse. Im Verlauf werden relevante Messgrößen definiert und ermittelt, wie diese messbar gemacht werden können. In weiterer Folge wird festgelegt, welche Sensorik zur Anwendung kommen kann und wie Eingangsgrößen gewandelt werden müssen, um sie weiter zu verarbeiten. In weiteren Schritten wird erläutert, welche Art der Datenerfassung und Datenübertragung für das Messsystem in Frage kommt und welche physikalischen Grenzen dabei die Größe des modularen Aufbaues des Messsystems beschränken. Weiters werden mögliche Hersteller ermittelt und eine Visualisierung behandelt. Im Ausblick werden schlussendlich nicht behandelte Themen und Potentiale für weitere Projekte angeführt, welche im Rahmen der Konzeptarbeit nicht ermittelt werden konnten.

**Schlüsselwörter:** Energieverbrauch, Wirkleistung, Blindleistung, Pneumatik, Hydraulik, Messsystem, vollautomatische Fertigungsanlage,

### 1. EINLEITUNG

In der heutigen Zeit ist der Energieverbrauch während der Produktion und Fertigung und die dadurch entstehenden Kosten ein erheblicher Faktor, mit dem Unternehmen arbeiten müssen. Bei steigenden Energiekosten werden Optimierungen und Einsparungen beim Verbrauch ein wesentliches Potential bieten, um die Fertigungskosten gering zu halten. Dadurch können Produkte kostengünstiger produziert werden. Dies ermöglicht es dem Unternehmen, einen Marktvorteil zu erlangen.

Zur Zeit kommen nur komplexe, beziehungsweise aufwändige Lösungen zur Anwendung, um den energetischen Verbrauch einer Anlage fest zu stellen. Zumeist sind die benötigten Messverfahren in die bestehende Regelung eingebunden und ermöglichen keinen eindeutigen Rückschluss auf den Verbrauch einzelner Prozesse. Messverfahren dieser Art stellen nur den Gesamtbedarf an elektrischer Energie dar und berücksichtigen keine weiteren zugeführten Energieformen wie pneumatische oder hydraulische Energie.

Ziel dieser Konzeptarbeit ist es, ein Messverfahren zu generieren, das sowohl den Gesamtverbrauch einer Anlage feststellt, als auch die einzelnen Prozesse berücksichtigt. Dadurch können neben den aktuellen Kosten durch den Verbrauch auch Verluste dargestellt werden, welche in den Leitungen auftreten können. Die anfallenden Kosten können den einzelnen Prozessen zugeordnet und visualisiert werden. Die resultierenden Ergebnisse bieten dem Unternehmen ein

Fundament, um Optimierungen an der Anlage vor zu nehmen und anfallende Kosten dadurch gering zuhalten.

### 2. PROBLEM- UND AUFGABENSTELLUNG

Die Konzeptarbeit soll ein Messsystem beschreiben, welches den Energieverbrauch einer vollautomatischen Anlage erfasst und visualisiert. Neben dem Gesamtverbrauch der Anlage soll auch der Verbrauch jedes einzelnen Prozesses gemessen und visualisiert werden. Hierbei werden elektrische, pneumatische und hydraulische Energieformen berücksichtigt. Das System muss mobil und modular gestaltet werden, um einen einfachen und schnellen Einsatz an verschiedenen vollautomatischen Anlagen zu ermöglichen.

Mögliche Hersteller müssen für das Messsystem identifiziert werden. Die Vor- und Nachteile müssen sowohl auf technischer als auch auf wirtschaftlicher Basis geprüft und bewertet werden. Weiters muss festgelegt werden, welche Software zur Datenerfassung und Datenaufbereitung herangezogen werden soll. Schlussendlich muss eine mögliche Auswertung und Visualisierung der Messdaten behandelt werden.

### 3. MESSGRÖSSEN

Eine vollautomatische Anlage kann durch eine Kombination von mehreren Energieformen betrieben werden. Neben elektrischer Energie wird oftmals auch Pneumatik eingesetzt, um Aktoren zu versorgen. Für große Lasten kann weiters auch hydraulische Energie eingesetzt werden. In seltenen Fällen kommen auch chemische Reaktionen zum Einsatz. Im Verlauf dieser Konzeptarbeit werden jedoch nur elektrische, pneumatische und hydraulische Energieformen berücksichtigt. Aufgrund des modularen Aufbaues erlaubt das Konzept jedoch eine Erweiterung zur Erfassung des Verbrauchs von weiteren Energieformen. In sehr vielen Unternehmen wird hauptsächlich elektrische Energie genutzt, um elektrische Maschinen, Sensorik und vieles mehr zu betreiben. Diese Energieform wird vom jeweiligen Netzbetreiber in Form von Wechselstrom oder Dreiphasenwechselstrom zur Verfügung gestellt und von Verbrauchern in den Unternehmen in die benötigte Spannung gewandelt. Die Kosten, die dabei entstehen, richten sich nach dem Verbrauch des Unternehmens und werden mit Stromzählern erfasst. Durch eine Erfassung der jeweiligen Spannungen und Ströme kann dabei sowohl die Wirk- als auch die Blindleistung und damit auch die aktuellen Kosten ermittelt werden. Pneumatische Energie hingegen kann nur durch einen invasiven Eingriff in die Versorgungsleitung ermittelt werden. Dabei muss vorab durch eine elektrische Messung am Verdichter selbst ermittelt werden, wie viel Energiekosten bei der Erzeugung eines Normliters verursacht werden und in weiterer Folge dann, mittels einer Durchflussmessung festgestellt werden, wie viel Liter jeder Prozess selbst benötigt. Für die Messung von hydraulischer Energie genügt eine Ermittlung der benötigten elektrischen Energie der Pumpe, welche den jeweils benötigten hydraulischen Druck aufbaut. Um dabei einen Rückschluss auf

die Prozesse selbst zu gewährleisten, muss jedoch eine Referenzmessung vorgenommen werden.

#### 4. MESSPUNKTE

Um die einzelnen Messpunkte zu definieren, muss Rücksprache mit dem technischen Verantwortlichen für die Anlage getroffen werden. Dabei müssen in der Dokumentation Knotenpunkte gefunden werden, welche für die Energieversorgung von Spannung, Strom und Pneumatik stehen. Die zentrale Energieversorgung und sämtliche Prozesse müssen dabei definiert werden und allfällige Verbraucher, die nicht einem Prozess zuzuordnen sind, zusammengefasst und erfasst werden.

Weiters muss bestimmt werden, welche Größenordnung die Messgrößen einnehmen können. Aus den ermittelten Daten geht der zu erwartende Umfang an benötigten Sensoren und die Anzahl der Messpunkte hervor. Aufgrund der individuellen Gestaltung der Anlagen ist dies ein Arbeitsschritt, der immer wieder neu durchgeführt werden muss und einen unberechenbaren Arbeitsumfang bedeutet, welcher jedoch die Basis für eine Auslegung bildet.

#### 5. DATENÜBERTRAGUNG

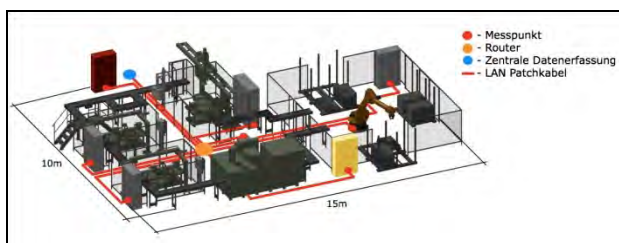


Abbildung 1: Messpunkte an einer vollautomatischen Anlage

Die einzelnen Messpunkte, wie sie die Abbildung 1 aufzeigt, müssen die aufgenommenen Daten an eine zentrale Datenverarbeitung weiter leiten. Hierfür gibt es sowohl kabelgebundene als auch kabellose Methoden. Für den modularen Aufbau des Messsystems empfiehlt sich eine kabellose Verbindung. Module dieser Art benötigen für die Installation weniger Zeit, sind jedoch in der Anschaffung teurer als kabelgebundene Systeme.

Ein weiteres Problem stellt die Übermittlung der Datenpakete dar, da kabellose Methoden in der Übertragungsrates wesentlich eingeschränkter sind als kabelgebundene. Um einen Vergleich zu ermöglichen, werden in der Arbeit Preise und Leistung eines führenden Herstellers für Datenerfassung, -übermittlung und -verarbeitung herangezogen und ermittelt, welche Variante für das angestrebte Messsystem ausreichend ist.

#### 6. VISUALISIERUNG

Eine Auswertung und Visualisierung der Daten ist essenziell, um die Ergebnisse der Messung in eine aussagekräftige Form zu transformieren. Da es sich bei der Arbeit jedoch um eine Konzeptarbeit handelt, ist ein Erstellen eines Programms zur Messauswertung nicht vorgesehen. Jedoch soll dieses Kapitel aufzeigen, wie sich eine derartige Messung visualisieren lässt und welche Darstellungsform gewählt werden sollte. Um dies zu gewährleisten, wurde eine Simulation im Umfang von zehn Prozessen erstellt, ausgewertet und visualisiert. Dabei kam die Software LabView von National Instruments zur Anwendung, da es im Verlauf der Konzeptarbeit als mögliche Lösung hervorging.

#### 7. ZUSAMMENFASSUNG

Da in naher Zukunft die Energiekosten steigen werden, wird bei Unternehmen die genutzte Energie für die Fertigung ein wesentlicher Bereich bei Einsparungen sein. Um unter diesen Aspekt Optimierungen vornehmen zu können, müssen jedoch Details über den Energieverbrauch einer Anlage ermittelt werden. Eine Realisierung dieser Problemstellung wird im Verlauf der Arbeit in Form eines Konzeptes zur Messung vom Energieverbrauch an vollautomatischen Anlagen behandelt. Dieses Konzept soll den Gesamtbedarf an Energie als auch den Bedarf einzelner Prozesse messbar machen. Für vollautomatische Fertigungsanlagen kommen verschiedene Formen von Energie zur Anwendung. Dabei stellen elektrische, pneumatische, hydraulische und chemische Energieformen relevante Größen dar. Da jedoch hauptsächlich elektrisch, pneumatische und hydraulische Energieformen zur Anwendung kommen, werden ausschließlich diese berücksichtigt. Die Arbeit behandelt in ersten Schritten das messbar machen der jeweiligen Größen und die dafür benötigte Sensorik. Auf Basis der ermittelten Messgrößen zeigt die Arbeit in weiterer Folge anhand einer Beispielanlage auf, wie einzelne Messpunkte in einer Anlage ermittelt werden können und wie die Größenordnung der Messgrößen festgelegt werden kann. In weiteren Schritten wird erläutert, welche Art der Datenerfassung und Datenübertragung als auch der zentralen Datenerfassung für das Messsystem in Frage kommt und welche physikalischen Grenzen dabei die Größe des modularen Aufbaues des Messsystems beschränken. Nachdem das Messsystem in theoretischer Form ermittelt wurde, zeigt die Arbeit weiters mögliche Hersteller auf, um das System zu realisieren. Zum Ende der Arbeit wird eine mögliche Visualisierung anhand eines Beispielprogramms aufgezeigt. Dabei werden wesentliche Punkte, die für eine ausreichend aussagekräftige Präsentation der ermittelten Werte notwendig sind, angeführt.

#### 8. AUSBLICK

Eine Software zur Erfassung, Auswertung und Visualisierung wurde im Rahmen dieser Arbeit nicht entwickelt. Dies stellt jedoch einen wesentlichen Punkt für die Funktion des Messsystems dar. Der Aufwand für die Erstellung eines entsprechenden Programms ist umfangreich und wäre ein Thema für eine weitere Bachelorarbeit. Als Basis für ein derartiges Programm muss jedoch die Hardware festgelegt werden.

#### 9. LITERATURVERZEICHNIS

- Flegel, G./Birnstiel, K./Nerretter, W. (2004) *Elektrotechnik für Maschinenbau und Mechatronik* (8. Auflage), München: Hanser
- Schmidt, W. (1997) *Sensorschaltungstechnik* (3. überarbeitete Auflage), Würzburg: Vogel
- Hoffmann, J. (2002) *Taschenbuch der Messtechnik* (3. Auflage), München: Hanser
- Hoffmann, J./Trentmann, W. (2002) *Praxis der PC Messtechnik*, München: Hanser
- Heuck, K./Dettmann, D. (2005) *Elektrische Energieversorgung, Erzeugung, Übertragung und Verteilung elektrischer Energie für Studium und Praxis* (6. Auflage), Wiesbaden: Vieweg&Sohn
- Khartchenko, N. (1997) *Umweltschonende Energietechnik*, Würzburg: Vogel
- Watter, H. (2007) *Hydraulik und Pneumatik, Grundlagen und Übungen - Anwendungen und Simulation*, Wiesbaden: Vieweg

## **ENTWICKLUNG VON AKTIVEN FLÜSSIGKEITSTILGERN ZUR REDUKTION VON STRUKTURSCHWINGUNGEN**

**Student:** Martin Eidler BSc.

**FH-Betreuer:** DI Dr.techn. Markus Hochrainer MSc.

**Kurzfassung:** Diese Arbeit untersucht den Einsatz von aktiven Flüssigkeitstilgern zur Schwingungsreduktion von Bauwerken zufolge Erdbeben- oder Winderregung. Ein Flüssigkeitstilger besteht aus einem teilweise mit Wasser gefüllten U-förmigen Rohr, wobei Strukturschwingungen eine Bewegung der Flüssigkeitssäule induzieren. Die Schwingungsenergie der Struktur wird in eine kontrollierte Strömung umgesetzt und durch viskose und turbulente Dämpfung dissipiert. Dieses passive System kann durch Veränderung des Luftdruckes an den Rohrenden zu einem einfachen aktiven System erweitert werden und Nachteile von passiven Systemen kompensieren. Klassische mechanische Tilger, auch aktive Systeme, werden weltweit eingesetzt, sind aber teuer und wartungsintensiv. Am Beispiel eines Labormodells wird die ausgezeichnete Schwingungstilgung sowie die praktische Umsetzbarkeit von aktiven Flüssigkeitstilgern erstmals experimentell gezeigt, sodass in Zukunft der aktive Flüssigkeitstilger den klassischen Masse-Feder Tilger in vielen Anwendungen ersetzen kann.

**Schlüsselwörter:** Flüssigkeitstilger, Schwingungsdämpfung, Feder-Masse Dämpfer, ATLCD

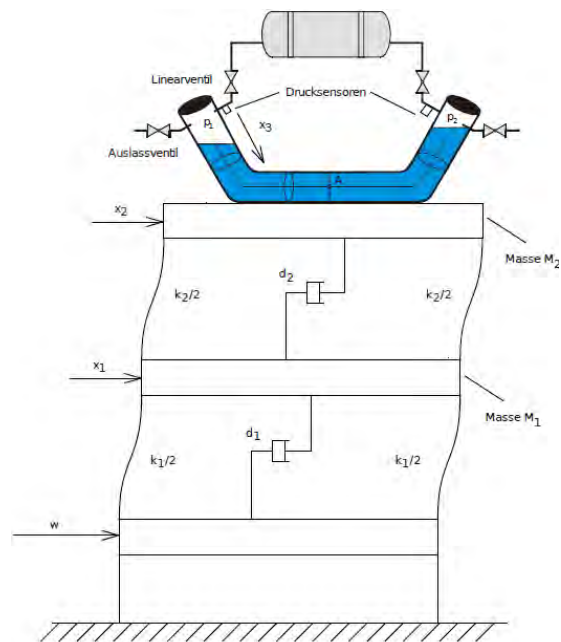
### 1. EINLEITUNG

Die Reduktion von mechanischen Schwingungen ist eine bei praktischen Anwendungen häufig geforderte Aufgabenstellung und bei vielen technischen Anwendungen erforderlich. Während im mittleren Frequenzbereich einige ausgereifte Möglichkeiten zur Schwingungsreduktion zur Verfügung stehen, existieren im tieffrequenten Bereich bei sehr großen und schweren Maschinen und Ingenieurbauten nur wenige Systeme zur effizienten Schwingungstilgung. Verbreitet sind vor allem aktive oder passive Masse-Feder Systeme. Die Flüssigkeitstilgung wurde erstmals 1902 als Frahm Schlinger-Tank zur Dämpfung der Rollbewegung von Schiffen eingesetzt [1]. Erst Ende des 20. Jahrhunderts wurde diese im Schiffsbau nicht weiter verfolgte Idee im Erdbebeningenieurwesen aufgegriffen und weiterentwickelt. Ein weiteres wichtiges Einsatzgebiet ist die Reduktion von winderregten Schwingungen von schlanken Hochhäusern oder weit gespannte Brücken. Ein weiteres mögliches Anwendungsgebiet ist die Dämpfung von Schwingungen, wie sie durch starken Seegang auf Offshore-Bohrinseln hervorgerufen werden [2]. Gegenüber den klassischen Systemen zeichnen sich Flüssigkeitstilger vor allem durch einen einfachen Aufbau, Wartungsfreiheit und flexible Frequenzabstimmung aus. Die klassische Schwingungsdämpfung am Bauwerk erfordert selbst für passive Systeme teure und komplexe Elemente, während der Einbau eines wassergefüllten Rohres auch in bestehenden Systemen vergleichsweise einfach ist. Darüber hinaus können die in vielen Hochhäusern vorhandene Wasserspeicher (Lösch- oder Gebrauchswasser) zur Schwingungsreduktion verwendet werden. Die Erweiterung auf ein aktives System mit Hilfe von Druckluft ist im Vergleich zu aktiven Masse Feder Systemen ebenfalls einfach und kostengünstig. Darüber hinaus kann

experimentell und theoretisch gezeigt werden, dass aktive/passive Flüssigkeitstilger die gleiche schwingungsdämpfende Wirkung erzielen wie aktive/passive mechanische Tilger.

### 2. PROBLEM- UND AUFGABENSTELLUNG

In dieser Arbeit wird ausgehend von einem passiven Flüssigkeitstilger der neuartige aktive Tilger aufgebaut und die Schwingungsreduktion an einem einfachen Bauwerksmodell mit zwei horizontalen Freiheitsgraden untersucht, siehe Abb. 1. Das Modell besteht aus den starren Stockwerksmassen  $M_1$  und  $M_2$  welche über linear elastische Stiele aus Federstahl verbunden sind.



**Abb. 1:** Zweigeschossiger Stockwerksrahmen mit aktivem Flüssigkeitstilger

Im obersten Geschoß ist der aktive Flüssigkeitstilger installiert, der sich dadurch auszeichnet, dass die Wassersäule neben der Weganregung auch durch den Differenzdruck  $\Delta p = p_2 - p_1$  in den Rohrenden in Bewegung versetzt wird. Durch diese aktive Eingriffsmöglichkeit muss der Flüssigkeitstilger nicht wie bei passiven Systemen auf eine einzige Strukturfrequenz abgestimmt werden, sondern kann über einen weiten Frequenzbereich Einsatz finden. Wird die aktive Druckbeaufschlagung abgeschaltet, besitzt das System weiterhin die herausragenden Eigenschaften des passiven Flüssigkeitstilgers.

Der als Labormodell aufgebaute Stockwerksrahmen wird mit Hilfe eines elektrodynamischen Schwingungserregers angeregt, die relativen Stockwerksverschiebungen werden mit Hilfe von



Wegsensoren gemessen. Um ein kontrolliertes Einströmen der Druckluft zu erreichen, werden lineare Einlass- und schaltende Auslassventile verwendet. Die Druckdifferenz in den Rohrenden wird durch einen Relativdruck-Sensor ermittelt. Von besonderer Bedeutung für die praktische Umsetzung ist die Tatsache, dass für die aktive Regelung nur Druckänderungen in der Größenordnung von etwa 0.1 bar erforderlich sind. Daher ist ein kleiner autonomer Druckluftspeicher für den Betrieb ausreichend.

Neben dem Aufbau des Labormodells besteht die wesentliche Aufgabe im Vergleich von aktiver und passiver Tilgung. Dazu ist die Entwicklung einer Regelstrategie erforderlich für die eine möglichst hohe Dämpfung der Struktur im Bereich der Resonanzfrequenzen gefordert wird.

#### 4. REGLERENTWURF

Die zentrale Aufgabe des Regelalgorithmus besteht in der Bereitstellung von effektiver Strukturdämpfung, sodass die für mechanische Systeme typischen Resonanzerscheinungen vermieden werden. Bei der Analyse von komplexen mechanischen Systemen wird in der Regel eine modale Analyse verwendet, weshalb sich eine darauf aufbauende modale Regelung [3] für das System eignet. In der Regelungstechnik ist diese Regelungsform ein Spezialfall der Zustandsregelung, bei der die Systemdynamik vollständig entkoppelt und einfach vorgegeben werden kann.

Die modalen (entkoppelten) Bewegungsgleichungen einer Struktur mit mehreren Freiheitsgraden und aktivem Flüssigkeitstilger lauten mit den Eigenfrequenzen  $\omega_i$ , den modalen Koordinaten  $q_i$  und der modalen Dämpfung  $\zeta_i$

$$\ddot{q}_i + 2\zeta_i\omega_i\dot{q}_i + \omega_i^2q_i = \mathcal{G}_iF$$

Zusammen mit dem Partizipationsfaktor  $\mathcal{G}_i$  ist die Tilger-Interaktionskraft durch  $F = m_W a_W$  gegeben, wobei  $m_W$  die Masse und  $a_W$  die Beschleunigung der horizontal bewegten Flüssigkeitssäule beschreibt. Um die modale Strukturdämpfung zu vergrößern, muss der Faktor  $2\zeta_i\omega_i$  durch die aktive Regelung erhöht werden. Bei geeigneter Tilgergeometrie kann die Interaktionskraft in erster Näherung proportional zur Druckdifferenz angenommen werden,  $F \propto \Delta p$ , sodass mit der Wahl

$$\Delta p = \alpha_i\dot{q}_i + \beta_iq_i$$

die gesamte Systemdynamik beliebig gewählt werden kann. Bei gut separierten Eigenfrequenzen gibt es darüber hinaus zwischen den Schwingungsmoden eine relativ geringe Beeinflussung, sodass mit einem einzigen Tilger mehrere Systemresonanzen gedämpft werden können. Nach diesen theoretischen Betrachtungen wurden die Parameter  $\alpha_i$  und  $\beta_i$  experimentell nachoptimiert, um die eingeschwingene Systemantwort im Resonanzbereich bestmöglich zu reduzieren. Wird das Vorzeichen des Dämpfungsparameters geändert, wirkt der Tilger destabilisierend, und das System wird zu starken Schwingungen angeregt. Diese fundamentale Eigenschaft kann zur gezielten Schwingungsanregung und bei realen Systemen zur messtechnischen Bestimmung der Modelldynamik genutzt werden.

#### 5. ERGEBNISSE

Die modale Regelung wurde im Schwingungslabor mit Hilfe einer handelsüblichen PC-Hardware, einer USB-Universalmesstaste und der Software LabView realisiert.

Nachdem die Stockwerksverschiebungen direkt gemessen werden konnten, war der Einsatz eines Zustandsschätzers nicht erforderlich. Die geringen Systemfrequenzen von etwa 2.9Hz erlaubten darüber hinaus den Einsatz einer einfachen softwaregetrimten Regelschleife.

Abb. 2 zeigt die experimentell ermittelte Übertragungsfunktion des zweigeschossigen Stockwerkrahmens mit passiver und aktiver Schwingungstilgung. Deutlich ist erkennbar, dass das passive System nur die erste Systemresonanz dämpft, während mit der aktiven Druckveränderung beide kritischen Frequenzbereiche optimal gedämpft werden. Darüber hinaus wird mit dem aktiven System bei gleicher Tilgermasse eine deutlich bessere Schwingungsreduktion erreicht. Bei passiven Systemen ist für jeden Schwingungsmodus ein separater Tilger erforderlich, der perfekt auf das System abgestimmt sein muss. Diese Anforderung ist bei aktiven Systemen nicht mehr gegeben.

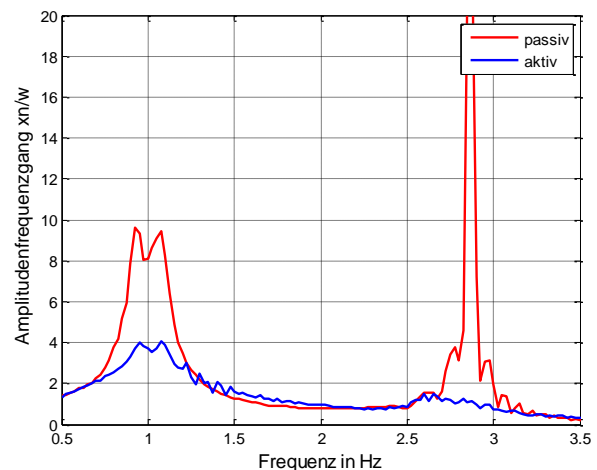


Abb. 2: Vergleich eines passiven zu einem aktiven Flüssigkeitstilger auf einer Struktur mit zwei Freiheitsgraden

#### 6. ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

In dieser Arbeit wurde erstmals ein aktiver Flüssigkeitstilger gebaut und unter Laborbedingungen an einem Gebäudemodell getestet. Die Ergebnisse bestätigen die theoretischen Ergebnisse und zeigen die Vorteile eines aktiven Flüssigkeitstilgers sehr eindrucksvoll. Neben der Möglichkeit mehrere Systemresonanzen gleichzeitig zu dämpfen, ist im Vergleich zu passiven Systemen eine deutliche Reduktion der verbleibenden Schwingungsamplituden möglich. Damit kann insbesondere bei transienten Schwingungsvorgängen eine Verbesserung erreicht werden. Die Ergebnisse zeigen, dass aktive Flüssigkeitstilger bei tieffrequenten Schwingungsproblemen herausragende Eigenschaften besitzen, sodass sie bei vielen Aufgabenstellungen den klassischen aktiven und passiven Masse-Feder Tilger ersetzen können.

#### 7. LITERATURVERZEICHNIS

- [1] Dan Hartog, *Mechanical Vibrations*. Dover, 1987.
- [2] H.H. Lee, S.-H. Wong and R.-S. Lee, *Resonance mitigation on the offshore floating platform system with tuned liquid column damper*, Department of Marine Environment and Engineering, National Sun Yat-sen University, 2005.
- [3] Markus J. Hochrainer, *Control of vibrations of civil engineering structures with special emphasis on tall buildings*, TU Wien, 2001.
- [4] Peter A. Fotiu., *Maschinendynamik*, Fachhochschule Wiener Neustadt, 2008

# OPTIMIEREN EINER INDUKTIVEN LADEEINHEIT

**Student:** Luis Sagmeister, BSc  
**FH-Betreuer:** DI Dr. Hlavacek Gerald

**Kurzfassung:** Die Arbeit beschreibt die Verbesserung der magnetischen Haltekraft eines kontaktlosen Ladegeräts, das zum Aufladen des Akkus einer Mikrocontroller gesteuerten Beinprothese verwendet wird. Es wurde die aktuelle Bauform mittels FEM analysiert und eine neue Geometrie entwickelt, die eine bessere Haltekraftcharakteristik aufweist.

Für ein induktives Ladegerät der nächsten Generation wurden Voruntersuchungen durchgeführt, die es ermöglichen sollen die Neuentwicklung kleiner und billiger zu machen. Hierfür wurde der aktuelle Charger untersucht um Verbesserungspotential aufzuzeigen.

Weiters wurde das Verhalten des Chargers bei variierendem Abstand untersucht um die Anforderungen, die an eine neue Schaltung gestellt werden, genauer zu definieren.

## 1. EINLEITUNG

Unter kontaktlosem Laden versteht man das Aufladen eines Akkus ohne direkte elektrische Kontakte. Die Energieübertragung erfolgt in diesem Fall über magnetische Induktion. Das Konzept ist nicht neu, schon im 19. Jahrhundert beschäftigte sich Nikola Tesla mit der kontaktlosen Energieübertragung. Heutzutage ergeben sich viele neue Einsatzmöglichkeiten für diese Technologie. Vom Laden von Handys, Laptops, Autos, Robotern bis hin zur elektrischen Zahnbürste.

Es gibt verschiedene Gründe, die für den Einsatz sprechen z.B: der Verwendung in explosionsgeschützter Umgebung, kein Verschleiß von elektrischen Kontakten, galvanische Trennung, oder Spannungsversorgung von unzugänglichen Geräten wie Implantaten.

Das von mir untersuchte Ladegerät dient zum Aufladen des Akkus einer Microcontroller gesteuerten Beinprothese.

## 2. PROBLEM- UND AUFGABENSTELLUNG

Der Michelle Charger, der auf der gleichnamigen Prothese zum Einsatz kommt, wird durch ein magnetisches Haltesystem bestehend aus 4 Ringmagneten gehalten (siehe Abb. 2).

Da sich die magnetische Haltekraft des Michelle Chargers als nicht stark genug erwiesen hat, soll diese unter Berücksichtigung der Vormagnetisierung des Ferritkerns, der für die Energieübertragung nötig ist, optimiert werden.

Dies gliedert sich in folgende Punkte:

- Simulation der Magnete mittels FEM
- Entwicklung eines Prototypen
- Vermessen der Vormagnetisierung des Ferritkerns

Weiters sollten für ein Ladegerät der nächsten Generation, welches sich noch in der Planungsphase befindet Voruntersuchungen durchgeführt werden, die es kleiner und billiger machen. In diesem Zusammenhang sollten auch folgende Punkte untersucht werden:

- Untersuchen der Verluste des aktuellen Chargers um Verbesserungspotential aufzuzeigen
- Vermessen von Ferritwerkstoffen

- Analysieren des Verhaltens des Chargers bei Änderung des Abstandes

## 3. WARUM KONTAKTLOSES LADEN?

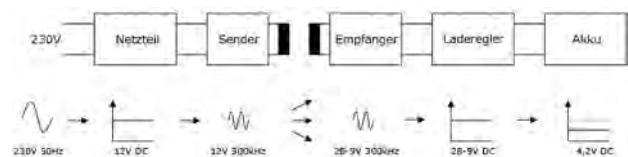
In medizinischen Anwendungen wie der Prothetik kommen immer häufiger hoch komplexe elektronisch gesteuerte Komponenten zum Einsatz. Diese Baugruppen müssen mit Energie versorgt werden.

Einen Sonderfall stellen Implantate dar, da das Verlegen von Kabeln durch den Körper und speziell das Durchführen durch die Haut nach wie vor große Probleme darstellen. Hier bietet die kontaktlose Energieübertragung große Vorteile.

Doch auch Bauteile wie Prothesen können davon profitieren. Ein Kniegelenk, das vollkommen wasserdicht ist und keine Kabelkontakte nach außen besitzt, kann die Lebensqualität des Anwenders und den Einsatzbereich deutlich erhöhen. So sind dann auch Tätigkeiten wie Schwimmen möglich.

Es gibt verschiedene Technologien um Energie zu übertragen, ich habe hier jedoch nur induktive Systeme betrachtet. Sie sind zwar in ihrer Reichweite stark begrenzt, erreichen jedoch den höchsten Wirkungsgrad.

Allgemein besteht der Charger aus 5 Komponenten. Abb. 1 zeigt den allgemeinen Aufbau eines "Contactless Chargers". Das Netzteil wandelt die Netzspannung in eine niedrige Gleichspannung um und versorgt damit den Sendeteil, welcher daraus eine hochfrequente Wechselspannung erzeugt. In der Primärspule baut sich ein wechselndes Magnetfeld auf, welches durch die induktive Kopplung eine Spannung in die Empfängerspule induziert. Diese Spannung wird gleichgerichtet und vom Laderegler so umgewandelt, dass sie dem Ladezyklus des Akkus entspricht. LiIon/Po (zu Beginn des Ladevorganges konstant Strom, Ende konstant Spannung).



**Abb. 1:** Aufbau Induktives Ladegerät

In der Prothese befindet sich fest verbaut die Empfängerspule und Leistungselektronik. Das Sendeteil wird durch ein Magnet Haltesystem an der Außenseite des Gelenks gehalten.

Erst wenn der Empfänger erkannt ist, darf mit voller Leistung übertragen werden. Aus diesem Grund verfügt das System über eine bidirektionale Kommunikation. Es werden Daten zur Identifikation, der Akkustand und etwaige Fehler übertragen.

Der Anwender erkennt über 2 LED-Gruppen den Ladezustand und die aktuelle Betriebsart. Nach dem Ladevorgang wird der Charger einfach abgezogen und die Prothese ist einsatzbereit.

### 3.1 Magnetisches Haltesystem

Das Fixieren des Chargers mittels Haltemagnete ist in dieser Anwendung die beste Möglichkeit. Der sehr geringe Ab-

stand der Magnete zum Ferritkern führt in dieser Bauform jedoch dazu, dass sich Feldlinien der Haltemagnete über den Ferritkern kurzschließen und so die Energieübertragung stören. Weiters stellen die großen Feldlinienkurzschlüsse (Schließen des magnetischen Kreises auf der eigenen Halterungsseite siehe Abb. 3, ungenutztes Magnetvolumen) ein Problem dar, da sie mit steigendem Abstand zunehmen und so die Haltekraft über dem Abstand sehr stark abfällt.

Das Erhöhen der Haltekraft kann auf mehrere Arten erreicht werden.

- Größeres Magnetvolumen
- Stärkerer Magnetwerkstoff
- Bündelung der Feldlinien
- Reduzieren von magn. Kurzschlüssen (>Polabstand)
- Optimieren des Eisenrückchlusses (Sättigungseffekte)
- Verringern der Abstände

Nach der Analyse diverser Geometrien mittels FEM zeigte sich, dass Segmentmagnete mit unterschiedlicher Polarisation die besten Eigenschaften besitzen. Der größte Vorteil liegt im großen Abstand der Pole, wodurch es im Einsatzbereich zu keinerlei Kurzschlüssen des magnetischen Flusses kommt.

Dadurch wurde mit 1/5 des ursprünglichen Magnetvolumens deutlich mehr Haltekraft erzielt. Der nun vorhandene Abstand der Magneten zum Ferritkern steigert den Gesamtwirkungsgrad der Energieübertragung bei einer Distanz von 3mm um rund 5%.

### 3.2 Optimierungsansätze für Neuentwicklung

Um weiteres Verbesserungspotential zu finden, wurde der aktuelle Charger auf seine Verlustleistung hin untersucht. Da die nächste Generation von Ladeteilen noch kleiner werden soll, sinkt damit zwangsläufig auch die Fläche für die Ableitung der entstehenden Wärme.

Durch einen thermischen Messaufbau wurde bewiesen, dass die Sendeplatine(77%) und nicht der Ferritkern(23%) den Großteil der Verluste verursacht.

Die Neuentwicklung dieser Schaltung muss wegen Platzmangels einfacher und simpler aufgebaut werden und gleichzeitig eine hohen Wirkungsgrad aufweisen. Hierfür würden sich optimierte selbstschwingende Schaltungen auf Grundlage des Royeroszillators anbieten. Sie befinden sich selbstständig in Resonanz, was eine Voraussetzung für effiziente Energieübertragung darstellt.

Die Forderung, dass das Laden der Prothese auch bei einem Abstand von 3mm funktionieren soll (kosmetischer Überzug), erschwert die Auslegung des Chargers enorm. Im Gegensatz zu einem herkömmlichen Transformator können sich bei diesem System die Induktivität und damit auch die Frequenz sowie der Koppelungsfaktor erheblich verändern.

Aus Sicherheitsgründen muss zwischen Sender und Empfänger eine Kommunikation in Form einer Erkennungs-ID sichergestellt werden um das Erwärmen von Fremdkörper zu verhindern.

Um bei dieser reduzierten Schaltung dennoch Daten übertragen zu können, könnte alternativ eine LED, die sich im Zentrum des Ferritkerns befindet, verwendet werden. Dabei würde das Signal über eine Photodiode auf der Senderseite empfangen.

So können auf die, für den Anwender gedachten allgemeinen LED Signale die beispielsweise den Ladezustand anzeigen, die Informationen durch PWM aufmoduliert werden.

## 4. ERGEBNISSE

Um die Simulation zu bestätigen wurde ein Prototyp des neuen Haltesystems gefertigt und auf Kraftentwicklung und

Beeinflussung der Energieübertragung hin vermessen. Aufgrund der positiven Messergebnisse wird das neue System nun auch in der Serienfertigung des Chargers verwendet.

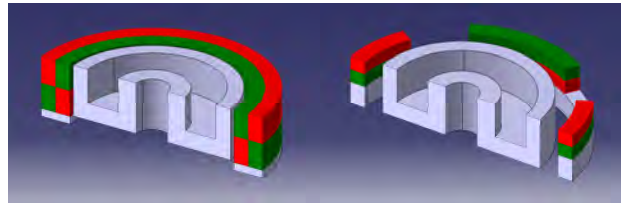


Abb. 2: Vergleich altes (links) und neues (rechts) Haltesystem

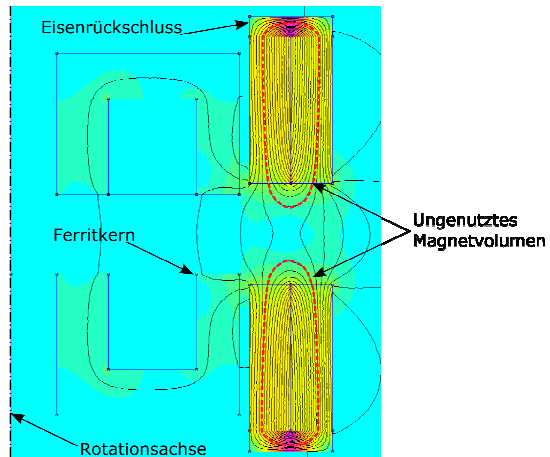


Abb. 3: Simulation alte Magnetanordnung mit Problemstellen

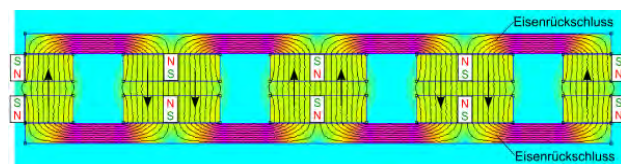


Abb. 4: Simulation der Segmentmagnete(abgewickelte Darst.)

## 5. ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass das magnetische Halterungssystem deutlich verbessert wurde, was dem Anwender die Handhabung erleichtert und so das einwandfreie Aufladen der Prothese sicherstellt. Die Steigerung des Wirkungsgrades bei größerem Abstand trägt dazu bei die Ladezeit zu verringern.

Die vorgelegten Messungen und Konzepte schaffen die Grundlagen für Neuentwicklungen, die dazu beitragen den Charger kleiner und billiger zu machen.

Das alternative Konzept zur Datenübertragung mittels LED macht die Entwicklung einfacher, da die Kommunikation getrennt von der Energieübertragung erfolgen kann. Dieser Entwurf muss sich jedoch erst der Akzeptanz der Anwender stellen.

## 6. LITERATURVERZEICHNIS

Prof. Dr.-Ing. Nejila Parspour Peter Wambganß. *Stromversorgung aus dem HF-Feld*. 2010. Elektronik Scout 2010.

Christoph Kirnstötter. *Kontaktlose Energieübertragung und Nutzung der Bewegungsenergie für die Akkuladung bei Hightechprothesen*. 2007.

## FH CAMPUS 02: ENTWICKLUNG UND AUFBAU EINES HYBRID-DEMOMODELLS EINER HM-SHIFTERSÄGE

**Student:** FASCH, Markus

**Kurzfassung:** Der Einsatz von Prototyping Technologien wird zukünftig immer mehr zur Anwendung kommen. Um sich weiterhin als innovativer und kompetenter Partner für Lösungsvorschläge komplexer Problemstellungen zu präsentieren, entstand im Unternehmen HAGE Sondermaschinenbau die Idee, eine Arbeit zu schaffen, welche anhand eines konkreten Anwendungsfalls Einsatzmöglichkeiten solcher Technologien aufzeigt.

Die Arbeit bringt dem Leser Basiswissen der aktuellen Rapid Prototyping Verfahren näher. Zahlreiche anschauliche Prozesseinblicke und Grafiken bieten einen Überblick über verschiedene Themengebiete. Im Speziellen wird auf den Entwicklungs- und Produktionsprozess eines Demonstrationsmodells eingegangen. Die hybride Bauweise ist durch eine Kombination konventioneller Fertigungsverfahren, wie z.B. Fräsen, Drehen und Prototypenherstellungsprozessen gekennzeichnet. Ausführliche Beschreibungen mit detailliertem Bildmaterial erläutern die einzelnen Phasen der Entstehung der Prototyping Modelle. Des Weiteren wird auch auf die - verbauten und entwickelten - elektronischen Komponenten näher eingegangen.

**Schlüsselwörter:** Rapid Prototyping, Demonstrationsmodell, Prototypenherstellungsprozesse, hybride Bauweise

### 1. EINLEITUNG

Die Idee für die Entwicklung eines hybriden Demomodells entstand in Zusammenarbeit mit der Firma HAGE Sondermaschinenbau. Diese benötigte ein funktionsfähiges Modell, welches als Ausstellungsobjekt auf Messen und für Simulationszwecke vor Kunden dienen sollte. Bei dem Modell handelt es sich um eine HM-Doppelwinkelsäge, welche das Aushängeschild von Sägeanlagen der neuen Produktlinie HAGEcut ist. Sie ist zur Durchführung von Shifterschnitten an Stahlprofilen konzipiert. Die Sägeantriebsleistung beträgt 20 kW mit einem Sägeblattdurchmesser von 400 – 520 mm. Ausgehend von einem 90° Schnitt können Schnittwinkel von +/- 55° über die horizontale Achse und + 47°, -27° über die vertikale Schwenkachse realisiert werden.



**Abb. 1:** HAGEcut Shifter-Säge

### 2. PROBLEM UND AUFGABENSTELLUNG

Aus dieser Idee heraus mussten die geeigneten Herstellungsverfahren der einzelnen Komponenten ausgewählt werden. Hierbei wurde entschieden, dass aufwendig zu bearbeitende, d.h. mit vielen kleinen Details versehene Bauteile bzw. Baugruppen, durch ein 3D-Druckverfahren hergestellt werden sollten. Man fand mit der FH CAMPUS 02 einen kompetenten Partner mit dem nötigen Know-How und der technischen Ausstattung, um diese Bauteile herstellen zu können. Die restlichen Teile sollten durch konventionelle Fertigungsverfahren, welche durch den Maschinenpark bei HAGE abgedeckt werden können, hergestellt werden. Eine der umfangreichsten Aufgabenstellungen war es, alle Achsen am Modell anzusteuern. Hierfür wurde in Zusammenarbeit mit der Steuerungstechnik von HAGE eine eigene Elektronik entwickelt und die benötigte Software dafür geschrieben. Natürlich funktionierte nicht alles so reibungslos wie anfangs gedacht, deshalb wird auch ein Blick auf die gemachten Fehler und die hierfür getroffenen Lösungen geworfen.

### 3. MATERIALIEN UND METHODEN

Als Steuerung kommt ein Humerboard und eine eigens gefertigte Platine zum Einsatz. Der sich auf dem Board befindliche Mikroprozessor C167 eignet sich als Rechen- und Steuereinheit, da dieser einerseits relativ viel Peripherie aufweist und andererseits mit hohen Taktfrequenzen betrieben werden kann. Auch in der Industrie kommen 16Bit Rechner, wie der C167, häufig zur Anwendung.



**Abb. 2:** erweitertes C167 Humerboard

Die Wahl des Antriebes für das Sägeblatt fiel auf einen DC Getriebemotor 1:50 Typ 20G der Firma Igarashi. Aufgrund der im Modellbau häufig eingesetzten Servomotoren wurde auch bei dem Hybridmodell bei allen beweglichen Achsen darauf zurückgegriffen wobei es sich um die Type HS-322 HD der Firma HITEC handelt.



Abb. 3: verwendete Servo- und Getriebemotoren

Alle mechanisch zu fertigenden Teile mussten dahingehend umkonstruiert werden, dass sie aus Aluminiumblöcken oder -platten zu fertigen sind und von ihrer Außenkontur den realen Teilen entsprechen. Aluminium wurde als Werkstoff gewählt, da sich dieser leichter zerspanen lässt und eine geringere Dichte als Stahl besitzt. Für alle Fertigungsteile sind Werkstatzzeichnungen erstellt worden. Auch das Sägeblatt wurde mittels Laserzuschchnitt im Maßstab nachgebildet. Alle Druckbauteile wurden mittels des 3D-Farbdruckers „ZPrinter 650“ von „ZCoperation“ hergestellt, von der auch die benützte Drucksoftware „ZPrint“ und die Zusatzsoftware „ZEdit“ zur Grafikbearbeitung stammen.

#### 4. PRAKTISCHE DURCHFÜHRUNG

Um die verschiedenen Arbeitsabläufe am Modell simulieren zu können wurde ein Mikrocontrollerprogramm erstellt. Für den Bediener des Modells besteht die Möglichkeit diese vordefinierten Arbeitsabläufe über ein dazugehöriges Bedienpult abzurufen. Dieses besitzt eine Start-Stopp-Taste und einen Drehschalter zur Auswahl des gewünschten Programmablaufes.

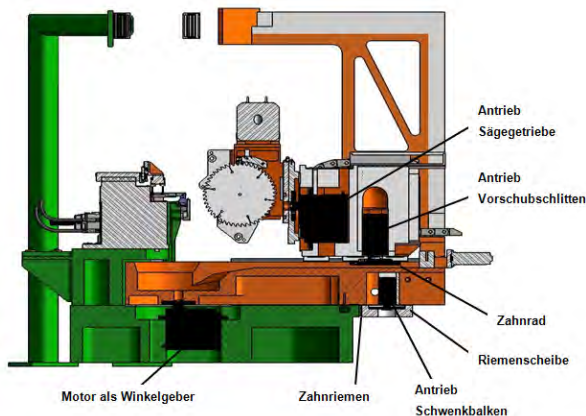


Abb. 4: Schnittdarstellung der Antriebe am Modell

Insgesamt wurden im Modell vier Servomotoren und ein Getriebemotor verbaut. Zwei Servos befinden sich in dem Vorschubschlitten, wobei einer für die Schwenkbewegung des Sägegetriebes verantwortlich ist, der Zweite ist für die Vorschubbewegung des Schlittens zuständig. Die Rotationsbewegung des Motors wird über eine Zahnstange-Ritzel Kombination in eine lineare Bewegung umgewandelt. Die restlichen beiden führen die Schwenkbewegung des Schwenkbalkens aus, auf dem der Vorschubschlitten sitzt. Diese erfolgt über eine Kombination beider Motoren, welche leicht modifiziert wurden, wobei sich einer im Drehmittelpunkt und der andere am Außenkranz befindet. Diese Kombination ergibt sich, weil der Motor im Mittelpunkt zu wenig Drehmoment besitzt, um den Balken stabil zu positionieren. Aus diesem Grund wurde das Innenleben entnommen und er erfüllt nun die Aufgabe eines Winkelgebers für den eigentlichen Antriebsmotor. Dieser treibt über eine Riemenscheibe und einen Zahnriemen, der an der Außenfläche des Grundgestells befestigt ist, den Schwenkbalken an. Hierfür sind mehrere Umdrehungen des Riemenrades

nötig, um den Balken mit den geforderten Winkeln zu schwenken. Dies wäre ohne Geber nicht möglich, da der Servomotor nur für einen Schwenkwinkel von ca. 180° ausgelegt ist. Nachdem die mechanische und elektrische Endmontage durchgeführt war, wurden verschiedene Programmabläufe getestet, Parameter optimiert und die letzten Feinabstimmungen durchgeführt.



Abb. 5: fertiges Modell HM-Shiftersäge

#### 5. ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

Mit der Arbeit soll dem Leser ein Grundwissen zum Verständnis von Rapid Prototyping vermittelt werden. Sie soll weiters einen Überblick über die am Markt vorherrschenden Herstellungsverfahren bieten, im Speziellen hinsichtlich ihrer Produktentwicklungsprozesse und Einsatzgebiete. In Zukunft werden diese Technologien immer weiter in Anwendungsgebiete von herkömmlichen Fertigungsverfahren vordringen und nicht mehr ausschließlich im Prototypenbau und der Kleinserienproduktion ihre Anwendung finden. Gründe hierfür liegen in immer kostengünstigeren Technologien und in der breiten Palette der Werkstoffe, welche die mechanisch-technologischen Eigenschaften der Zielwerkstoffe nahezu vollständig abbilden können.

Das Ergebnis stellt eine voll automatisierte Nachbildung der Shiftersäge im Maßstab 1:5 dar. Zum ersten Einsatz kam das Hybridmodell im April 2010 bei der internationalen Fachmesse „Wire & Tube“ in Düsseldorf. Die Resonanz der Kunden und Besucher war äußerst positiv, da die Möglichkeiten der Sägeanlage durch die Produktpräsentation live demonstriert und dadurch besser veranschaulicht werden können. Das Publikum zeigte auch reges Interesse am Modell selbst. Vor allem sorgte die hybride Bauweise für Verwunderung, da die verwendeten Technologien für viele noch Neuland darstellten.

#### 6. LITERATURVERZEICHNIS

- GEBHARDT ANDREAS (2000): *Rapid Prototyping. Werkzeuge für die schnelle Produktentstehung*. völlig überarbeitete Auflage. München/Wien: Carl Hanser Verlag.
- POPRAWA REINHARD (2005): *Lasertechnik für die Fertigung. Grundlagen, Perspektiven und Beispiele für den innovativen Ingenieur*. Berlin/Heidelberg: Springer-Verlag.
- IDL ROBERT (2010): *Die nächste Dimension, 3dmodell macht 3D-Bilder*. In: GIGatech H 4-5/2010
- ZCoperation (2009): *Funktionsweise des 3-D Drucks, Die Vision, die Innovation und die Technologien hinter dem Tintenstrahl-3D-Druckverfahren*. Burlington: ZCoperation.
- FREIGASSNER PETER (2009): *Digitaler Regleraufbau für gleichgewichtsstabilisierten Laufroboter*. FH-Campus 02, Bachelorarbeit.

## FH CAMPUS 02: ENTWICKLUNG EINES TESTPROGRAMMS FÜR EINEN RFID CHIP

**Student:** Ing. BSc RUPRECHTER, Thomas  
**FH-Betreuer:** DI Dr. PAURITSCH, Manfred

**Kurzfassung:** Dieses Projekt befasst sich mit der Entwicklung eines Testprogramms für einen RFID-Chip (Radio Frequency Identification). Um die hohen Qualitätsstandards der Halbleiterindustrie zu gewährleisten, ist es zwingend notwendig, jeden Chip mit gleichbleibender Testgenauigkeit im Produktivtest auf seine Funktion hin zu überprüfen. Ein großer Bestandteil der Chipentwicklung neben Design und Verifikation ist die Prüfprogrammentwicklung.

Zu Beginn der Arbeit werden der Stellenwert und der Aufgabenbereich der Prüftechnik in der Chipentwicklung allgemein analysiert. Anschließend werden die Testhardware Komponenten, die für dieses Projekt erforderlich sind, erklärt. In weiterer Folge wird die Testdurchführung an Chips anhand einiger Praxisbeispiele näher erörtert. Ein wichtiger Punkt dieser Arbeit ist auch die Funktionsweise des zu testenden RFID-Chips. Zum Schluss wird näher auf die eigentliche Prüfprogrammentwicklung für diesen RFID-Chip eingegangen.

**Schlüsselwörter:** Testprogramm, RFID, Halbleiterindustrie, Automatisches Testsystem

### 1. EINLEITUNG

Die Begriffe elektronisches Ticketing, elektronische Reisepässe, Kreditkarten, Bankomatkarten und Schipässe kennt in der heutigen Zeit fast jeder. Aber nur die Wenigsten wissen, dass diese Chips im Infineon Design Center Graz in der Abteilung "Chipcard und Security" entwickelt werden. Durch den technologisch aufwendigen Herstellungsprozess ist eine automatisierte Endprüfung für jedes fertiggestellte Produkt zwingend notwendig. Darum muss für jedes Produkt ein Testprogramm entwickelt werden.

Die Aufgabenstellung dieser Arbeit ist die Entwicklung eines Testprogramms für einen RFID-Chip. Der RFID-Chip trägt den Namen my-d™ move SLE 66R01P. Früher stellte die Prüftechnik nach außen hin eine eher untergeordnete Rolle in der Produktentwicklung und -herstellung dar. Sie ist aber zu einem unverzichtbaren Bestandteil innerhalb des Fertigungsprozesses und der Qualitätssicherung geworden.

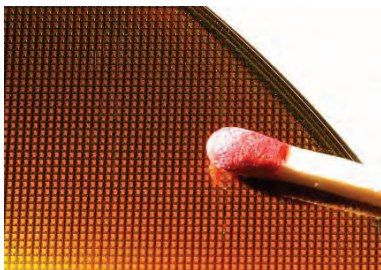


Abb. 1: my-d™ move im Größenvergleich

Der letzte Abschnitt einer Chipfertigung ist der produktive Endtest. Ware, die an den Kunden geht, muss einwandfrei funktionieren. Somit muss man beim Produktivtest Schwächen des Fertigungsprozesses herausfinden, um nur fehlerfreie Chips

an den Kunden zu senden. In Abb. 1 sieht man den fertig produzierten Chip im Größenvergleich. Wenn man die Größe des Chips sieht, wird einem bewusst, wie komplex das Testen eines Chips eigentlich ist. Es muss das gesamte Testequipment (Tester, Prober, Loadboard und Nadelkarte) auf solche kleinen Chips eingestellt werden.

### 2. PROBLEM- UND AUFGABENSTELLUNG

Die Prüfprogrammentwicklung erstreckt sich über die gesamte Chipentwicklungsdauer. Eine Chipentwicklung besteht aus mehreren Phasen, wobei der Testingenieur sehr lange im Projekt arbeitet. Zuerst muss natürlich ein Produkt-Definitionsprozess durchgeführt werden. Hier werden etwaige Produktideen bearbeitet und miteinander verglichen. Darüber hinaus wird der derzeitige Markt gründlich beobachtet. Wenn ein geeignetes Projekt gefunden wurde, wird die Machbarkeit überprüft und anschließend ein Projektplan erstellt. Der nächste Schritt ist die Konzeptphase des Designs. Bereits in dieser frühen Phase beginnt der Einsatz der Prüftechnik. Es muss analysiert werden, ob die Anforderungen, die das Design erfüllen soll, auch abgetestet werden können. Es könnte passieren, dass ein neues automatisches Testsystem angeschafft werden muss.



Abb. 2: Testequipment für dieses Projekt

Danach folgt der Produkt-Entwicklungsprozess. In diesem Schritt wird der Chip von Analog und Digital Designern erstellt. Anschließend wird der Chip gelayoutet. Wenn das Design abgeschlossen und verifiziert worden ist, werden die Masken bestellt (Tape-Out) und die Wafer werden gefertigt. In der Zwischenzeit wird die erste Version des Prüfprogramms schon erstellt und an einem Emulator ausprobiert. Wenn der Chip dann auf Silizium gefertigt worden ist, beginnt die Charakterisierung und Verifikation des Chips durch den Systemtechniker. Der Testingenieur unterstützt diesen bei dieser Aufgabe. Im nächsten Schritt wird das Produkt qualifiziert. Zu diesem Zeitpunkt muss das Produktivprüfprogramm fertig entwickelt und in der Fabrik installiert sein. Im Produkt-Betreuungsprozess kommt es dann zum Produkt Ramp-Up und zur Massenproduktion. Erst zu diesem Zeitpunkt endet das Projekt für den Testingenieur.

### 3. MATERIALIEN UND METHODEN

Zum Testen einer Halbleiterschaltung benötigt man neben einem automatischen Testsystem auch noch weiteres Testequipment, um eine Verbindung mit dem Chip am Wafer herstellen zu können.

Für diese Arbeit wurde das Testsystem Comptest 320MX von der Firma SPEA ausgewählt. Bei diesem Testsystem handelt es sich um einen Mixed Signal Tester. Mit dem Comptest 320MX können Digitaltests mit einer maximalen Testpatternrate von 40 MHz durchgeführt werden. Des Weiteren können auch einfache Analogmessungen an einem Chip vorgenommen werden. Das Testsystem stellt zur Messung 128 Testerkanäle zu Verfügung. Damit können auch mehrere Chips parallel getestet werden.

Eine weitere wichtige Testhardwarekomponente ist der Waferprober (Modell UF200 von der Firma TSK).

Beim Wafertest ist der Testkopf des automatischen Testsystems direkt auf dem Waferprober aufgesetzt. Der zu testende Wafer liegt am Chuck im Waferprober auf. Die Nadelkarte ist das Interface zwischen Loadboard, Tester und Prober. Der Wafer der am Chuck aufliegt wird mit Hilfe des Probersetups in eine bestimmte Lage gebracht. Die Nadelkarte kontaktiert dann mit jedem Chip auf dem Wafer.

Der SPEA Comptest 320MX und der Waferprober UF200 werden über eine Windows 2000 Intel Core 2 Workstation gesteuert (System-Controller).

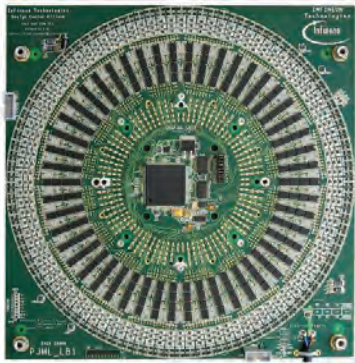


Abb. 3: Loadboard

Als mechanische und elektrische Schnittstelle zwischen dem Testkopf des automatischen Testsystems und der Nadelkarte wird ein Loadboard als weitere Testhardwarekomponente verwendet (Abb. 3). Auf dem Loadboard können etwaige Zusatzschaltungen für den Wafertest platziert werden. Zum Beispiel können Relais oder analoge Switches auf dem Board angebracht werden um die Testerkanäle gezielter zu verwenden.

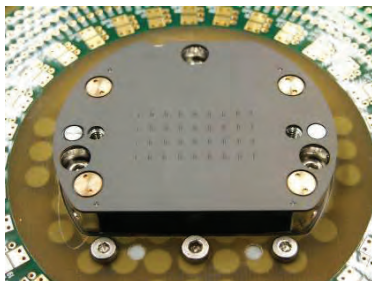


Abb. 4: Unteransicht einer Nadelkarte

Einer der empfindlichsten Testhardwarekomponenten ist die Nadelkarte (Probe Card). Sie wird benutzt um das DUT mit dem automatischen Testsystem zu verbinden. Zum Kontaktieren des DUTs werden feinste Nadeln eingesetzt. Das DUT besitzt mehrere Kontaktflächen (Pads). Aufgrund der

geringen Durchmesser der Kontaktierungsnadeln werden Messungen an Pads mit einer Fläche von nur mehr  $60 \mu\text{m} \times 60 \mu\text{m}$  ermöglicht. Man unterscheidet grundsätzlich zwei Typen von Nadelkarten. In Abb. 4 sieht man die Unteransicht der Vertikal-Nadelkarte mit den Nadeln.

Ein Testprogramm besteht typischerweise aus folgender Testsequenz:

- Kontakttest (Open/Short)
- Funktional-Tests
- Parameter-Tests

### 4. PRAKTISCHE DURCHFÜHRUNG

Die Entwicklung eines Prüfprogramms erfolgt für das Testsystem SPEA Comptest 320MX unter Verwendung der Programmierumgebung Borland C++. Um die Testhardware ansteuern zu können, liefert die Firma SPEA eine Programmbibliothek, die spezielle Funktionen beinhaltet. Die Firma Infineon Technologies hat zusätzlich zu den SPEA-Libraries ein eigenes Programmmodul entwickelt ("Modulare Prüftechnik"). Dies war notwendig, weil man nur für einen gewöhnlichen digitalen Test eine Reihe von Funktionen aufrufen musste. So wurde das Prüfprogramm nach nur wenigen Tests sehr unübersichtlich.

In der "Modulare Prüftechnik" wurden alle geläufigen Testsequenzen eingebunden und somit konnte man sehr übersichtlich ein Prüfprogramm erstellen. Geläufige Tests konnten jetzt nur mit einem Befehl aufgerufen werden, ähnlich einer Funktion in C.

### 6. ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

Ziel dieser Arbeit war die Entwicklung eines Prüfprogramms für den RFID-Chip my-d<sup>TM</sup> move. Die Testumgebung sollte auf einem automatischen Testsystem, dem SPEA Comptest 320MX, erstellt werden.

Darüber hinaus wurde der Stellenwert der Prüftechnik in der Halbleiterindustrie näher erklärt. Auch das gesamte Testequipment für Chip my-d<sup>TM</sup> move wurde erörtert. Weiters wurde auf die generelle Funktionsweise des Chips näher eingegangen.

Anschließend wurden die Testpatterngenerierung und das Testkonzept für dieses Produkt erklärt. Zum Schluss wurden die Prüfprogrammentwicklung und der produktive Testablauf beschrieben.

Das Prüfprogramm, das hier entwickelt wurde, ist bereits an einen Produktionsstandort der Firma Infineon Technologies übergeben worden. Es wurde eine sogenannte AMSA (Advanced measurement system analyse) mit dem Prüfprogramm durchgeführt. Im Detail versteht man darunter die Überprüfung von Wiederholbarkeit und Reproduzierbarkeit der Messung. Somit konnte die Stabilität des Messvorganges nachgewiesen werden. Derzeit befindet sich das Produkt in der Ramp-Up Phase und das Prüfprogramm funktioniert einwandfrei.

### 7. LITERATURVERZEICHNIS

- BUSHNELL, M. & AGRAWAL V. (2000): *Essentials of Electronic Testing for Digital, Memory, and Mixed-Signal VLSI Circuits*. Dordrecht: Springer.
- FINKENZELLER K.(2008): *RFID- Handbuch*. 5. Aufl. Wien: Hanser Fachbuchverlag.
- LAMMER A. (2009): *Design for Test and Production Test*. TU-Vorlesung Graz.
- PERRY A. (2003): *Fundamentals of Digital Semiconductor Testing*. 4. Aufl. New Smyrna Beach: Soft Test Inc.
- SPEA (2007): *C320MX Programming Training*. SPEA S.r.l. Volpiano.

## FH VORARLBERG: EXTRAKTION UND KLASSIFIKATION VON FARBREGIONEN FÜR MONOKULARE SPURERKENNUNG

Kohler, Linda

**Kurzfassung:** Während die ersten kamerabasierten Fahrerassistenzsysteme in der Regel Grauwertbilder verwendeten, werden bei neueren Generationen Farbbilder eingesetzt. Anders als bei Grauwertbildern, bei denen man sich allein auf Kanten, Ecken und Texturen zur Segmentierung stützen könnte, wird im Rahmen dieser Arbeit die Farbe zur Segmentierung hinzugezogen. Durch diesen Schritt wird versucht eine größere Bandbreite an Applikationen mit der Spurerkennung zu unterstützen.

Es wird eine Methodik der Farbsegmentierung vorgestellt, die direkt auf das Rohbild des Sensors appliziert wird. Hierzu werden aus der Literatur bekannte Algorithmen zu Interpolation, Weißabgleich und regionenbasierten Segmentierungsverfahren untersucht, die geeignetsten implementiert und teilweise problemspezifisch erweitert.

Des Weiteren wird eine geeignete Farbkonvertierung bestimmt und eine darauf basierende Methode zur Farbklassifikation vorgestellt.

Die Robustheit des vorgestellten Verfahrens im Vergleich zum grauwertbasierten Verfahren wird in ausgewählten Video-Sequenzen mit verschiedenen Lichtsituationen nachgewiesen. Dabei zeigt sich, dass bei Teststrecken mit ausschließlich farbigen Spurmarkierungen die Verfügbarkeit des Systems von 71% auf 97% gesteigert werden kann.

**Schlüsselwörter:** Spurerkennung, Farbsegmentierung, Farbklassifikation, Interpolation, HSV-Modell

### 1. EINLEITUNG

Während der letzten 20 Jahre ist der Verkehrsfluss stetig gewachsen. Dadurch ist in Zukunft damit zu rechnen, dass der Verkehr auf der vorhandenen Verkehrsinfrastruktur noch weiter zunehmen wird. Dieses schnelle und große Wachstum des Verkehrs macht das Fahren immer schwieriger und stressiger, so dass die Einführung und Entwicklung neuartiger und intelligenter sogenannter Fahrerassistenzsysteme notwendig wird.

Derartige Systeme unterstützen den Fahrer bei Aufgaben im Straßenverkehr und kompensieren Unachtsamkeiten seitens des Fahrers in bestimmten Situationen, wie beispielsweise ein System für monokulare Spurerkennung. Dieses System überwacht den Verkehrsraum durch eine hinter dem Innenspiegel platzierte Kamera kombiniert mit einem Embedded System. Durch die Spurerkennung kann man einerseits die Orientierung und Position des Fahrzeuges auf der Fahrbahn bestimmen und andererseits den weiteren Spurverlauf ermitteln.

Die Anwendungen dieses Systems sind dabei sehr vielfältig. Sie reichen von der Warnung des Fahrers beim Verlassen der Fahrspur, über die Querverführung und Stabilisierung des Fahrzeuges, bis hin zur automatischen Gegenlenkung des Fahrzeuges in die Fahrspur bei Verlassen der Spur.

### 2. PROBLEM- UND AUFGABENSTELLUNG

Während früher die kamerabasierten Fahrerassistenzsysteme in der Regel Grauwertbilder verwendeten, werden heutzutage hauptsächlich Farbbilder verwendet. Trotzdem basiert die Segmentierung der Spurmarkierungsmomente immer noch auf Grauwertbildern, die aus den Farbbildern generiert werden. Dadurch ist man allein auf Kanten, Ecken und Texturen zur Erkennung von Spurmarkierungen angewiesen.

Dies birgt einige Probleme in sich. Die Fahrbahnmarkierungen sind oft aufgrund von Verschmutzung, Schatten auf der Fahrbahn durch andere Verkehrsteilnehmer, Bäume usw. aber auch infolge von schlechten Sicht- und Witterungsbedingungen, wie Schnee, Regen, Dunkelheit, Gegenlicht, nur schlecht zu erkennen. Ausserdem kommt es häufig vor, dass Spurmarkierungen einen starken Verschleiß aufweisen und dadurch nicht mehr ihre typische Form aufweisen bzw. gar nicht vorhanden sind. Dadurch kann es passieren, dass die Markierungen und der Spurverlauf nur sehr ungenau bis teilweise gar nicht erkannt werden können.

Gleiche Spurmarkierungen können in verschiedenen Ländern unterschiedliche Bedeutungen haben. So weisen beispielsweise gelbe Spurmarkierungen in Deutschland auf eine Baustelle hin, in den USA hingegen sind sie die normale Fahrbahnmarkierung. Da die Grauwertkonvertierung von Gelb einem hellen Grau wie bei Asphalt oder Beton sehr ähnlich ist, ist es im Grauwertbild sehr schwer eine gelbe Linie vom grauen Asphalt zu unterscheiden.

Daher wurde im Rahmen dieser Arbeit erstmals die Farbe als Merkmal zur Segmentierung hinzugezogen, um das System in eben genannten Situationen zu verbessern. Dabei sollte besonderes Augenmerk darauf gelegt werden, den Fahrbahnrand sowie Markierungen möglichst gut von der Fahrbahn zu trennen und die Farbe der gefundenen Strukturen zu bestimmen.

Des Weiteren sollte eine für die Spurerkennung optimierte Farbkonvertierung bestimmt werden und die entwickelten Methoden sollten abschließend auf ausgewählten Videosequenzen ausgewertet werden.

### 3. PRAKTISCHE DURCHFÜHRUNG

Ausgangsbasis der vorgestellten Methode ist das Rohbild, das der Bayer Sensor liefert. Da dabei lediglich Information für eine Farbkomponente pro Pixelposition vorhanden ist müssen die fehlenden Pixel interpoliert werden. Hierzu wurden die 4 Interpolationsverfahren Nearest-Neighbor-Interpolation, Bilineare Interpolation, Edge-Directed Interpolation und Freeman-Interpolation (Acharya und Ray 2005) implementiert und im Hinblick auf Qualität und Rechenaufwand untersucht. Anders als bei den meisten Vergleichen der Interpolationsmethoden, die in der Literatur zu finden sind, wurden bei diesem Vergleich nicht das RGB-Bild als Vergleichsbasis verwendet sondern erstmals wurden die rekonstruierten Farbkanäle direkt umgerechnet in das Saturierungsbild.



Abbildung 1 zeigt den direkten Vergleich der implementierten Methoden.

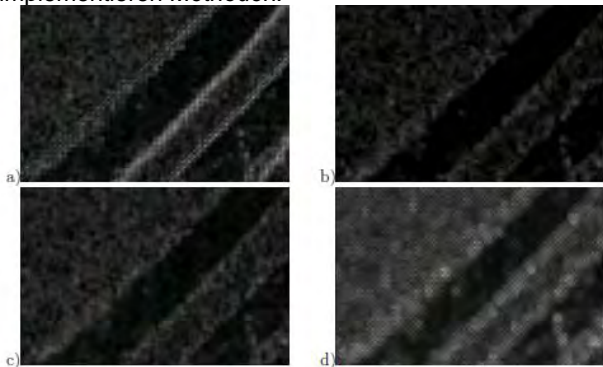


Abbildung 1: Vergleich der Interpolationsmethoden

- a) Nearest Neighbor Interpolation
- b) Bilineare Interpolation
- c) Edge-Directed Interpolation
- d) Freeman Interpolation

Im Vergleich konnte die Bilineare Interpolation durch ihren Umgang mit Kantenartefakten sowie durch ihre Laufzeitfreundlichkeit überzeugen und wurde für die Weiterverarbeitung ausgewählt.

Im Hinblick auf die spätere Segmentierung und Klassifikation musste ein geeigneter Farbraum gefunden werden. Durch einen Vergleich von RGB-, CMY- und HSV-Farbraum fiel die Wahl auf letzteren, da dieser im Gegensatz zum RGB- und CMY-Farbraum für die Darstellung von farbigen Regionen nur die Sättigungskomponente benötigt, während in den anderen beiden Farbräumen alle drei Komponenten für diese Aussage benötigt werden. Aber auch in Bezug auf die Klassifikation erweist sich dieser als ideal, da er hierbei ebenfalls nur eine Komponente benötigt, um eine Aussage über den Farbton zu machen, während beim RGB-Raum alle 3 Farbkomponenten benötigt werden.

Daher wurden die, durch die Interpolation gewonnenen, Farbkanäle direkt umgerechnet in den HSV-Raum. Die Weiterverarbeitung erfolgte auf dem dabei entstandenen Sättigungsbild, da dies aufgrund seiner Definition die ideale Grundlage für das Segmentieren von farbigen Flächen bietet. Dargestellt wird das Sättigungsbild als Grauwertbild, wobei schwarze Pixel als „unbunte“ (nicht gesättigte) und weiße Pixel als „bunte“ (gesättigte) interpretiert werden können.

Um die Methodik robust gegenüber der Umgebungsbeleuchtung zu machen wurde ein Weißabgleich eingeführt. Realisiert wurde dies durch den Gray-World-Algorithmus, der davon ausgeht, dass die Welt im Mittel Grau ist und falls dies nicht der Fall sein sollte, das Bild dementsprechend korrigiert. Dieser Weißabgleich basiert auf RGB-Daten, wodurch er direkt nach der Interpolation gemacht wird.

Für die Rauschreduzierung wurde eine Gaußpyramide implementiert, bei der das Sättigungsbild die unterste Stufe bildet. Diese wird mit einem Gaußfilter geglättet und stufenartig um jeweils 3/4 ihrer Auflösung reduziert. Für die Weiterverarbeitung fiel die Wahl auf die 1. Ebene, da hierbei einerseits das Bildrauschen größtenteils eliminiert wird und andererseits die Struktur der Spurmarkierungen noch vollständig erhalten bleibt. Zuerst wurde ein Thresholding mit 1. Ebene der Gaußpyramide gemacht, um daraus ein Binärbild für die eigentliche Segmentierung zu generieren. Hierbei wurde ein dynamischer Schwellwert implementiert. Dieser wird für jedes Bild neu aus den Grauwerten auf der Straße berechnet. Dadurch wird der Schwellwert sehr robust in Bezug auf Beleuchtungsschwankungen. Nach dem Thresholding ist

nur bekannt ob ein Pixel überhaupt zu einer Region gehört oder zum Hintergrund, jedoch nicht zu welcher Region es gehört. Hierzu wurde eine abgewandelte Form des Region Labeling implementiert. (Bulgarelli und Di Stefano)

Dabei wird das Bild pixelweise abgescannt und jedes Pixel wird mit einem Label, das die Zugehörigkeit zu einer Region angibt, markiert. Dabei werden, anders als bei der Standard-Region-Labeling-Methode, nicht erst alle Labelpixel vergeben und in einem zweiten Schritt die Äquivalenzen aufgelöst, sondern sie werden im 1. Durchlauf direkt eliminiert. Dies wird dadurch ermöglicht, indem die Label in sogenannten Labelklassen festgehalten werden und sobald eine Äquivalenz auftritt werden die beiden betroffenen Labelklassen zu einer Labelklasse vereint. Dadurch werden Folgeäquivalenzen verhindert. Dadurch behinhalten die Labelklassen bereits nach dem 1. Durchlauf die gültigen Label, sodass im 2. Durchlauf lediglich die Label upzudaten sind. Die Klassifikation basiert auf dem Farbton des HSV-Raums. Die gefundene Struktur wird anhand ihres Hue-Wertes in ihre Farbklasse eingeteilt.

#### 4. ERGEBNISSE

Zur Bewertung der neuen Methode wurde ihre Verfügbarkeit gegenüber der grauwertbasierten Methode gemessen, indem verschiedene Testdurchläufe gemacht wurden. Dabei konnte bei einem Langzeittest von einer Teststrecke von fast 300km, bestehend aus weißen und gelben Spurmankierungen, eine Verfügbarkeitssteigerung von grob 95% auf 97% festgestellt werden.

Des Weiteren wurde eine Verfügbarkeitsauswertung auf einer kürzeren Teststrecke mit ausschließlich gelben Markierungen durchgeführt. Hierbei konnte die neue Methode zeigen, wo ihre Stärken liegen. Es konnte eine Steigerung der Verfügbarkeit für eine Spur von 71% auf 97% festgestellt werden und im Hinblick auf beidseitige Verfügbarkeit konnte sogar eine Steigerung von bisher 12% auf 61% gemessen werden.

Zusätzlich wurde in Testversuchen gemessen, inwieweit die Farbe der gefundenen Strukturen richtig klassifiziert wird. Zum einen wurde dabei die Klassifikationsrate von gelben Markierungen untersucht. Diese lag bei 96%. Zum anderen wurde dabei auch überprüft, ob weiße Spurmankierungen bei der Klassifikation ignoriert werden. Dabei zeigte sich, dass keine Einzige als Gelbe erkannt wird.

#### 5. ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

Im Laufe dieser Bachelorarbeit ist eine farbbasierte Segmentierungs- sowie Klassifikationsmethode zur Spurerkennung, die bisher auf Grauwertbildern basierte, entwickelt worden. Die Methode ist sehr robust gegenüber Belichtungsschwankungen. Durch diese Methode kann die Verfügbarkeit des Systems deutlich erhöht werden. Vor allem zeigte sich dies bei ausschließlich farbigen Markierungen, bei denen eine Steigerung von 71% auf bis zu 97% erreicht wird.

#### 6. LITERATURVERZEICHNIS

Acharya, T.; Ray, K., 2005. *Image Processing. Principles and Applications*. 1st Edition. John Wiley and Sons, New Jersey

Bulgarelli A., Di Stefano, L., (o.J.). *A Simple and Efficient Connected Component Labeling Algorithm*. :

[http://didattica.arces.unibo.it/file.php/59/Elaborazione\\_](http://didattica.arces.unibo.it/file.php/59/Elaborazione_)

**FH-VORARLBERG: ENTWICKLUNG EINES GALVANOMAGNETISCHEN POSITIONSSENSORS FÜR GETRIEBEANWENDUNGEN**

**Student: Pfister, Thomas**

**Kurzfassung:** Im ersten Teil der Bachelorarbeit wird beschrieben warum Hall-Sensoren in Zukunft eine wichtige Rolle im Bereich der Sensorik einnehmen werden. Zudem werden grundlegende Informationen vermittelt um Dauermagnete für ein Hall-System einsetzen zu können. Im Hauptteil werden 3 Konzepte entwickelt.

Diese werden anhand einer Funktionsstruktur dargestellt. Die entwickelten Ideen für Magnetbauformen werden anhand eines Simulationsprogrammes analysiert. Zur Konzeptabsicherung werden Flussdichteverläufe messtechnisch ausgewertet. Mittels einem Prototypen werden die Funktionalität des besten Konzeptes und der Einfluss von Störgrößen untersucht. Des Weiteren wird eine Verbesserung des Prototyps gezeigt. Zum Schluss wird auf die Trends von Hall-Sensoren und Dauermagneten eingegangen und vorgestellt wie Fortschritte das entwickelte Produkt optimieren könnten. Ziel ist es, ein serientaugliches Produkt zu entwickeln, das den Forderungen eines Automobilherstellers entspricht. Dieses Ziel konnte nur bedingt erfüllt werden.

**Schlüsselwörter:** Hall-Sensorik, Magnetdesign, Start&Stop-Funktion, Linearwegmessung,

**1. EINLEITUNG**

Bei der Entwicklung moderner Fahrzeuge spielt die Limitierung des Spritverbrauchs und der Emission eine zentrale Rolle. Dies ist durch die Rohstoffknappheit und die aktuelle Klimasituation bedingt. Die Start&Stop Funktion, wie sie bei Fahrzeugen mit Micro- und Mild-Hybrid-Antrieben zum Einsatz kommt, leistet hier einen wesentlichen Beitrag. Für die Realisierung der Start&Stop Funktion ist das eindeutige Erkennen der Getriebeeinstellung, die sogenannte Gang-Gasse-Erkennung, eine grundlegende Voraussetzung. Deshalb werden zunehmend Getriebe mit berührungslos arbeitenden Positionssensoren ausgestattet. Im Zuge dieser Arbeit wird ein berührungsloser Positionssensor, auf Grundlage modernster 3D-Hall-Sensorik, entwickelt. Schwerpunkt wird auf die Auslegung des Magnetkreises gesetzt.

**2. PROBLEM- UND AUFGABENSTELLUNG**

Um die Gangstellung eindeutig detektieren zu können muss eine Positionserkennung einer Stange realisiert werden. Dazu muss eine Linearbewegung von 60mm gemessen werden. Um Entwicklungskosten zu sparen, wird eine bestehende, robuste Sensorplatine verwendet. Hauptanforderung ist die Einhaltung einer bestimmten Ausgangskennlinie. Im Bereich der Nullstellung ( $\pm 8\text{mm}$ ) darf ein Linearitätsfehler von 2% nicht überschritten werden. Außerhalb sind es 3%. Ausgabeform soll ein PWM-Signal sein. Im ausgefahrenen Zustand darf eine Länge von 197mm nicht überschritten werden und das System muss leichter als 100g sein. Die Sensorkosten dürfen, bei einer Stückzahl von 300.000, 4 Euro nicht überschreiten.

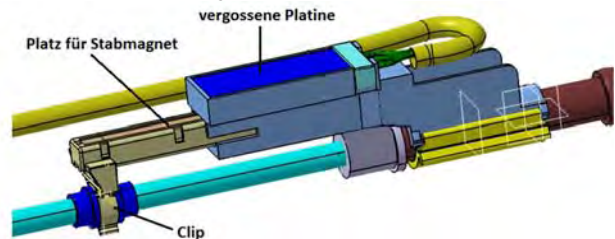
**3. KONZEPTERSTELLUNG**

Grundlage der Konzepterstellung waren die Anwendungsprinzipien für Dauermagnete laut Cassing und Seitz (2006).

Die Magnetfeldsimulationen wurden mit dem Simulationsprogramm CST [2] durchgeführt. Mittels des Digitalmultimeter Keithly 2700 wurden die Sensordaten aufgenommen und mit Labview 8.6 ausgewertet. Der Verfahrensweg wurde mit einem Koordinatentisch ( $10\mu\text{m}$  Auflösung) nachgestellt.

**3.1 KONZEPT: RECHTECKSTANGE**

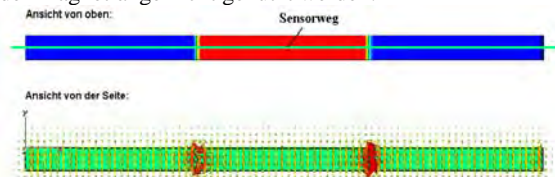
Ein rechteckiger Kunststoffträger wird in einem Sensorgehäuse geführt und mittels eines Clips an der Getriebestange befestigt. Ein Hall-Sensor nimmt das magnetische Signal eines, auf dem Kunststoff aufgeklebten, Stabmagneten auf. Die Platine wird im Sensorgehäuse mit Fermadur vergossen. Dies schützt die Elektronik vor Feuchtigkeit.



**Abb. 1:** Kunststoffträger samt Sensorhalterung

Der Hall-Sensor liefert nur bei sinus- bzw. cosinusförmigen Flussdichteverlauf zweier Komponenten (z.B  $B_x$  und  $B_y$ ) eine brauchbare Ausgangsspannung. Der Stabmagnet muss entlang der Längsseite diesen Verlauf aufweisen. Es werden folgende Magnetvarianten untersucht:

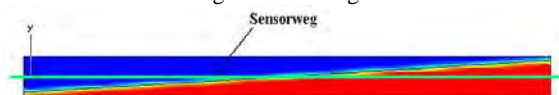
- **Tri-Polar Magnet:** Dieser liefert nur zwischen Mitte des ersten und Mitte des dritten Poles (eine Periode) einen ansatzmäßig sinusförmigen Verlauf. Deshalb kann ein Drittel der Magnetlänge nicht genutzt werden.



**Abb. 2:** Tri-Polar Magnet mit Feldlinienverlauf

Die exakte Sinusform kann durch Neigung der Polgrenzen erzielt werden. Aus Platzmangel ist diese Variante unbrauchbar.

- **Schräg polarisierter Magnet:** Entlang des Sensorweges kommt es zur Drehung des Flusszeigers um  $180^\circ$ .



**Abb. 3:** Schräg polarisierter Magnet

Ein grobes Problem stellt der seitliche Versatz zwischen Magnet und Sensor dar. Schon bei 0,1 Millimeter in Y-Richtung wird der zulässige Fehler überschritten. Da durch Reibungserscheinungen ein Versatz zu erwarten ist, kann diese Variante nicht realisiert werden.

- **Sinusmagnet:** Ein patentierter Magnet der Firma MMT liefert ohne zusätzlichen Bauraum den gewünschten Verlauf:



Abb. 4: Veranschaulichung des Sinusmagneten [3]

Aus wirtschaftlichen Gründen ist diese Lösung nicht tragbar.

### 3.2 KONZEPT: SPIRALSTANGE

Bei diesem Konzept wird statt des Stabmagneten ein diametraler Ringmagnet verwendet. Dieser wird mit einem leitmodifizierten Kunststoff umspritzt. Durch eine Spirale wird der Magnet in eine Drehbewegung versetzt. Dadurch wird ein idealer Sinus- bzw. Cosinusverlauf erzeugt.

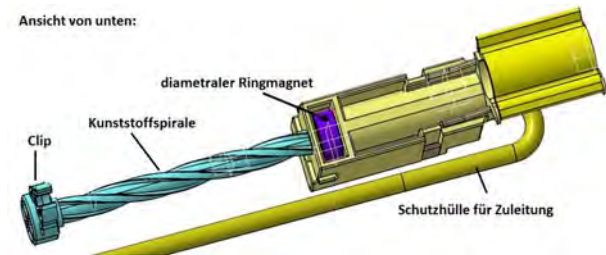


Abb. 5: Kunststoffspirale mit umspritztem Magnet

Nachteilig ist, dass das mechanische Spiel zwischen Magnetumspritzung und Spirale einen enormen Einfluss auf den Linearitätsfehler hat. Um die Anforderungen zu erfüllen, dürfte dieser max. 0,05mm betragen.

Durch Versuche wurde ermittelt, dass sich N35EH, bei einem Sensorabstand von 4,3mm, am besten als Magnetmaterial eignet. Relativbewegungen zwischen Magnet und Sensorplatte von max. 0,35mm in Y-Richtung sind tolerierbar. In X-Richtung sind es 1,4mm.

### 3.3 KONZEPT: ZUSAMMENGESTZTER MAGNET

Dies ist eine Mischung der ersten Konzepte. Mehrere Ringmagnete werden verdreht zu einem Stabmagneten zusammengefügt.

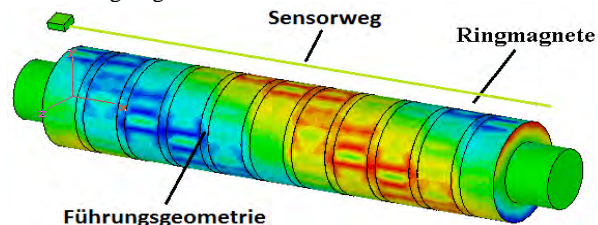


Abb. 6: Flussdichteverteilung zusammengesetzter Magnet

Zwischen den Magneten befindet sich eine Führungsgeometrie. Diese ermöglicht eine definierte Verdrehung und hält die Magnete in Position. Die Magnete stoßen sich in dieser Position ab. Um die Kraftwirkung zu minimieren kann die Führung aus einem magnetisch-leitfähigen Material hergestellt

werden. Erst ab einem Sensorabstand von 5mm ist der Flussdichteverlauf sinusförmig. Die erzeugte Stange wird wie in Konzept 1, statt dem Träger, ins System eingebunden. Nachteilig wirken sich die aufwendige Herstellung und das hohe Gewicht aus.

## 4. KONZEPTVALIDIERUNG

Das zweite Konzept wurde am besten bewertet. Es wird mit einem Prototyp validiert.

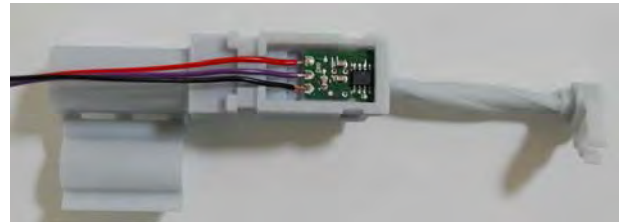


Abb. 7: Prototyp mit eingeklebter Sensorplatte

Der Prototyp wurde mittels Rapid Prototyping hergestellt. Das Stereolithografieverfahren ermöglicht eine Genauigkeit von 0,1 -0,2mm. Das mechanische Spiel ist voraussichtlich zu groß. In der Einbausituation beeinflussen Vibrationen das Ergebnis negativ. Diese konnten durch Anbringung einer Führung in den Griff gebracht werden.

## 5. ERGEBNISSE

Das zu große mechanische Spiel ist in der Ausgangskennlinie ersichtlich.

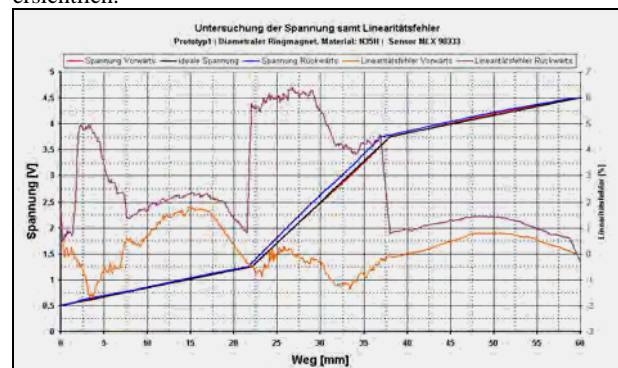


Abb. 8: Ausgangskennlinie mit Linearitätsfehler

Bei diesem Prototyp wurde ein Linearitätsfehler von etwa 6% erzielt. Bei großer Steigung der Ausgangsspannung wirkt sich das Spiel am meisten aus. Mit konstanter Steigung über den gesamten Messweg wird die Fehlergrenze von 2% knapp erreicht. Durch Spritzgießen der Spirale in der Serienproduktion wird der Fehler noch verringert. Die exakte Verringerung kann jedoch nicht vorhergesehen werden.

## 6. ZUSAMMENFASSUNG

Es wurde gezeigt, dass mit diesem Sensor, bei konstanter Steigung der Ausgangsspannung, ein maximaler Fehler von 2% erreicht werden kann. Bei der projektspezifischen Ausgangskennlinie wird, unter diesen Bedingungen, dieser Fehler nicht erreicht.

## 7. LITERATURVERZEICHNIS

- [1] Cassing, Wilhelm; Dietrich, Seitz, 2006. *Dauermagnete. Mess- und Magnetisierungstechnik*, Expert-Verlag, 3816925081, 1. Aufl., Gelsenkirchen
- [2] www.cst.com (Zugriff am 08.09.2010)
- [3] www.movingmagnet.com (Zugriff am 10.09.2010)



Tag der Mechatronik 2010  
Nominierungen

# Diplom-/Masterarbeiten



## FH WIENER NEUSTADT: MODELLIERUNG UND SIMULATION DER VERLUSTWIRKUNGSKETTE INVERTER-MOTOR FÜR EIN HYBRID ELECTRIC VEHICLE

**Student:** Martin Gintzel, MSc  
**FH-Betreuer:** DI Wolfgang Haindl

**Kurzfassung:** Die Masterthesis Modellierung und Simulation der Verlustwirkungskette Inverter-Motor für ein Hybrid Electric Vehicle wurde in Zusammenarbeit mit Magna Electronics Austria erstellt und thematisiert die technischen und physikalischen Grundlagen sowie Verlustmechanismen an Komponenten eines elektrischen Traktionsantriebes für ein Hybrid Electric Vehicle. Es wurden Modelle für sämtliche Komponenten der Verlustwirkungskette Inverter-Motor erstellt und eine Modellverifikation anhand von Messergebnissen durchgeführt.

**Schlüsselwörter:** Antriebstechnik, Leistungselektronik, Permanentterregte Synchronmaschine

### 1. EINLEITUNG

Eine Kombination von Verbrennungskraftmaschine und elektrischem Antrieb ermöglicht einen geringeren Verbrauch von fossilen Brennstoffen und damit eine Reduktion von ausgestoßenen Schadstoffen. Ziel ist es, ein Gesamtsystem mit einem möglichst hohen Wirkungsgrad zu realisieren.

Um einen elektrischen Traktionsantrieb als Teil eines solchen Systems hinsichtlich seines Wirkungsgrads optimieren zu können, sind umfangreiche Maßnahmen erforderlich.

### 2. PROBLEM- UND AUFGABENSTELLUNG

Der in der Masterthesis thematisierte Traktionsantrieb besteht aus einem Zweipunkt Spannungs-Inverter in Kombination mit einer Permanentterregten Synchronmaschine mit Reluktanzeinfluss. Der Inverter wird aus einer High Voltage Battery gespeist.

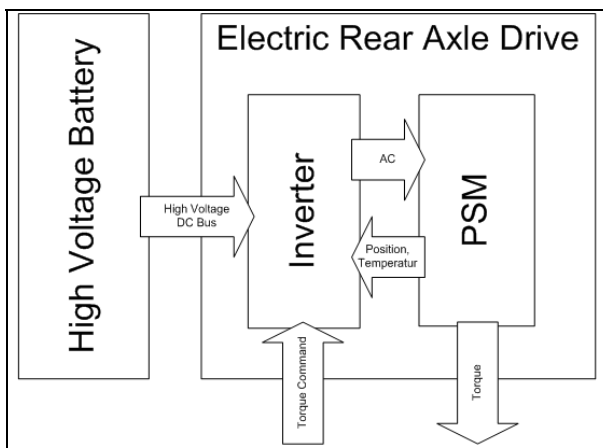


Abb. 1: Blockdiagramm Antriebsystem

In der Automobilindustrie ist es üblich, den Kraftstoffverbrauch für bestimmte normierte Fahrzyklen anzugeben. Der Fahrzeughersteller leitet für einen gewünschten Fahrzyklus auf Basis der Fahrzeugdaten sämtliche Vorgaben für die Verbrennungskraftmaschine und den elektrischen Antrieb ab.

Um den Schadstoffausstoß sowie den Kraftstoffverbrauch von Hybridfahrzeugen zu minimieren, muss ein optimales Zusammenspiel von Verbrennungskraftmaschine und elektrischem Antrieb gefunden werden. Daraus ergibt sich auch eine Vorgabe des Fahrzeugherstellers für den Gesamtwirkungsgrad des elektrischen Antriebs bei einer Vielzahl von definierten Arbeitspunkten unter spezifizierten Randbedingungen.

Auf Basis eines Modells der Verlustwirkungskette Inverter-Motor soll der Einfluss verschiedener Umgebungsbedingungen und Konstruktionsmerkmale auf den Systemwirkungsgrad analysiert werden.

Ziel ist es, nach dem Bau eines Prototypens, eine vollständige Efficiency Map auf Basis von Simulationsdaten zu generieren.

### 3. MATERIALIEN UND METHODEN

Das Gesamtmodell der Verlustwirkungskette Inverter Motor besteht aus drei Teilmodellen die in Matlab Simulink erstellt wurden:

#### 3.1 Motormodell

Das Motormodell basiert auf einem in *Elektrische Antriebe - Regelung von Antriebssystemen* (Dierk Schröder, 2009), vorgestellten Differentialgleichungssystem. Dieses Gleichungssystem bildet das statische und dynamische Verhalten der Permanentterregten Synchronmaschine mit Reluktanzeinfluss ab und beinhaltet Verluste in Form von Stator Wicklungsverlusten. Lagerreibungen und Verluste von Wellendichtringen wurden auf Basis von Näherungsgleichungen berücksichtigt. Die Tauglichkeit dieser Gleichungen wurde durch geeignete Messungen verifiziert. Eisenverluste im Stator und Wirbelstrom Verluste im Permanentmagneten des Rotors wurden aus einer Ansoft Maxwell FE Simulation übernommen. Diese sind in Form von mehrdimensionalen Look Up Tables im Modell hinterlegt. Ebenso sind arbeitspunktabhängige Maschinenparameter wie die Hauptinduktivitäten sowie der Permanentmagnetfluss in mehrdimensionalen Look Up Tables hinterlegt.

### 3.2 Inverter Hardware Modell

Das Inverter Hardware Modell berücksichtigt Schaltverluste und Durchlassverluste in Diode und IGBT in Abhängigkeit der Sperrschichttemperatur basierend auf *Leistungselektronische Schaltungen* (Dierk Schröder, 2008). Weiters werden Verluste an Zwischenkreiskondensatoren sowie ohmsche Verluste an Leitungen, Busbars und Steckern berücksichtigt. Ein thermisches Modell berechnet auf Basis von Kühlmitteltemperatur, Umgebungstemperatur sowie der anfallenden Verlustleistung im Inverter die Sperrschichttemperatur. Die Sperrschichttemperatur hat einen wesentlichen Einfluss auf die anfallenden Verlustleistungen in Diode und IGBT.

### 3.3 Inverter Software Modell

Das Modell der Inverter Software ist in vier zeitdiskrete Blöcke mit unterschiedlichen Abtastzeiten unterteilt. Es bildet das Verhalten einer vorhandenen Inverter Software ab die auf einer Feldorientierten Regelung basiert. Der Antrieb agiert als Momentensteller und beinhaltet zwei zeitdiskrete Stromregler.

Die Teilmodelle wurden im Gesamtmodell der Verlustwirkungskette Inverter-Motor zusammengefügt.

## 4. PRAKTISCHE DURCHFÜHRUNG

Die Simulation der Verlustwirkungskette Inverter-Motor wurde an vorgegebenen Arbeitspunkten mit variierenden Randbedingungen durchgeführt und so mehrere Efficiency Maps generiert.

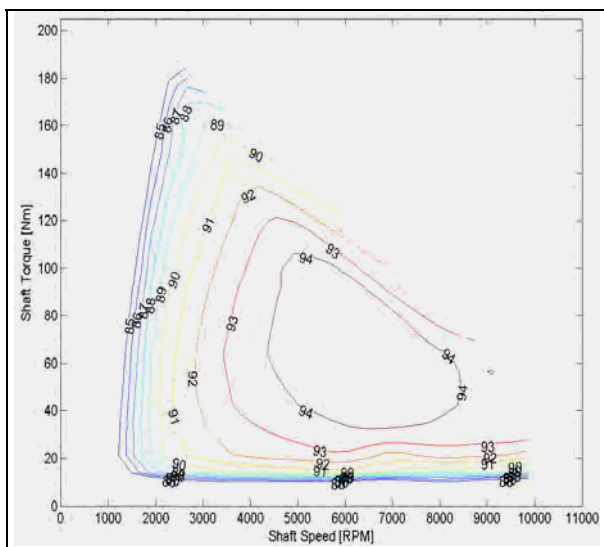


Abb. 2: Simulierte Efficiency Map

Die erstellten Modelle wurden durch Messungen an einen geeigneten Prüfstand verifiziert.

Um eine Aussage über die Genauigkeit der erfassten Messdaten abgeben zu können, mussten zunächst die einzelnen Fehlerquellen betrachtet werden.

## 5. ERGEBNISSE

Die Auswertung der vorliegenden Ergebnisse zeigte dass die FE Simulationsdaten der Motorverlustmechanismen, die in das Motormodell integriert wurden, von den

Messergebnissen abweichen. Dadurch ergaben sich Rückwirkungen auf die Verlustleistungen im Inverter. Nach einer Anpassung der FE Simulationsdaten kann der Systemwirkungsgrad nun mit der geforderten Genauigkeit von  $\pm 3\%$  über den gesamten Arbeitsbereich des Antriebssystems errechnet werden.

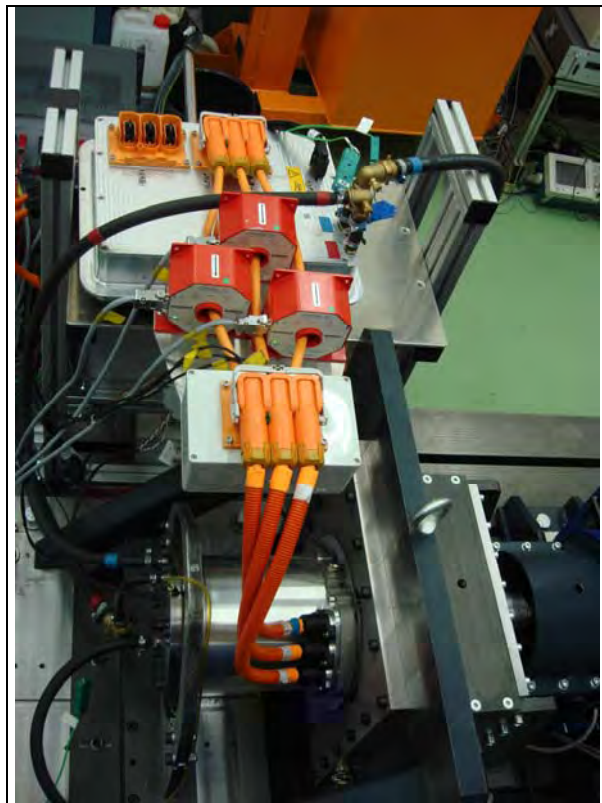


Abb. 3: Prüfstands Aufbau bestehend aus Inverter, Motor und Messequipment.

## 6. ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

Der modulare Modellaufbau, die Parametrierung über Parameter Files sowie die ausschließliche Verwendung von Standard Matlab Simulink Blöcken erwies sich als besonders vorteilhaft. Dies ermöglicht einen flexiblen und vielseitigen Einsatz der Modelle auch außerhalb der Thematik Efficiency Simulation.

Magna Electronics integriert die erstellten Modelle zurzeit in einen Hardware in the Loop (HIL) Prüfstands Aufbau. Des Weiteren werden die Modelle in Entwicklung der Inverter Regelungs Software eingesetzt.

In weiterer Folge soll auf Basis von thermischen FE Simulationen und Versuchen ein thermisches Modell der Permanentregten Synchronmaschine mit Reluktanzeinfluss erstellt werden. Dies ermöglicht ähnlich wie beim Invertermodell eine thermische Rückkopplung auf sämtliche Maschinenparameter. .

## 7. LITERATURVERZEICHNIS

- Dierk Schröder, 2009. *Elektrische Antriebe - Regelung von Antriebssystemen*, Springer  
Dierk Schröder, 2008. *Leistungselektronische Schaltungen*, Springer

## FH CAMPUS 02: DIESEL ENGINE DEVELOPMENT WITHOUT ACTIVE NOX EXHAUST AFTER TREATMENT

Atzler, Hannes

**Abstract:** Although the new emission legislation EU6 will not be introduced before autumn 2015, AVL started to deal with this topic already years ago. Several systems with active DeNOx Exhaust After treatment Systems (EAS) have been tested regarding their capability to achieve the required emission levels for EU6 up to now. This Project had the target to meet EU6 **without** active DeNOx EAS.

A FIAT 1.9L engine has been used as a base engine for the project. The modified engine, featuring 2-stage turbo charging, low pressure EGR, cylinder pressure based engine management and a low NOx combustion system, was developed on test bed and finally transferred to a demo vehicle. The main focus was put on the continuous development and improvement of the available software structures and functionalities.

The selected engine layout has proved to be suitable for the achievement of EU6 without DeNOx EAS. The NOx limits of 80mg/km have been met with 20% margin, whereas all other emission components were in line with the EU6 legislation. Additional tests with an electrically heated catalyst have shown significant improvement in HC and CO tail pipe emission, enabling the achievement of future even more stringent emission levels.

**Schlüsselwörter:** EU6, DeNOx, Exhaust Gas -Recirculation, Exhaust After treatment System, Electrical heated Catalyst.

### 1. INTRODUCTION

A very typical way for development companies like AVL is to set up a demonstrator vehicle in order to proof their competence in the field of engine engineering. The project which deals as base for this thesis had the target to set up a EU6 demonstrator vehicle and to collect data for future projects. The duration of this project was set on six months, whereas two months were planned for stationary engine optimisation and four months for in-vehicle development and chassis dyno optimisation for emission compliance.

The Alfa Romeo 159 Sports Wagon was chosen as platform for the demonstrator vehicle. This vehicle has already the 1.9L JD7m engine installed and was procured with EU4 emission level including DPF (Diesel Particulate Filter).

### 2. TARGETS FOR THE PROJECT

To setup a demonstrator with combined future technologies, should have surplus value for the company, so the targets of the project were not only to fulfil the EU6 emissions but also a detailed investigation of the overall benefits of the system layout compared with similar products.

Still the main target of the project was to setup a demonstrator vehicle which is able to meet the EU6 NOx limit of 80 mg/km without active NOx exhaust after treatment, while staying within the boundary conditions for HC, CO and particulate matter.

The particulate limit was set to be lower than the base EU4 calibration at the same time the fuel consumption should stay at the same level or be improved.

### 3. HARDWARE/SOFTWARE

Since no active DeNOx EAS should be used along this project the engine had to be equipped with more advanced engine hardware to lower the engine out emissions to the required EU6 levels. Fig. 1 shows the final definition of the engine layout for EU6. It includes a 2-stage turbo charger, with a small and a large TC, to run higher boost pressures in the emission relevant points. Additionally a low pressure EGR system in parallel to a high pressure EGR system was installed to improve the TC efficiency and to lower the mixture temperature of fresh air and EGR in the intake manifold.

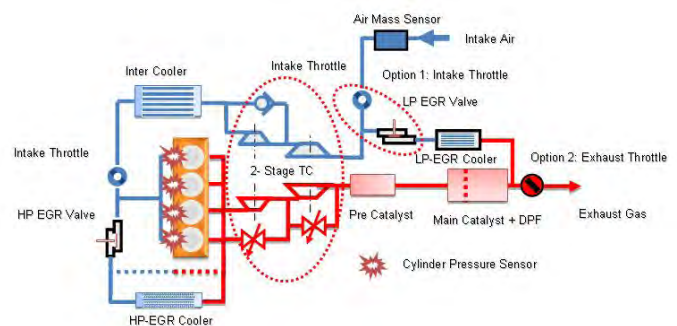


Fig. 1 EU6 Engine Layout w/o active NOx EAS

Furthermore the compression ratio has been lowered from 17.5 to 16 and four pressure sensor glow plugs (PSG) were installed to enable a low NOx combustion system with a closed loop cylinder pressure control.

To support the new hardware and to have more flexibility in terms of software development an ASCET ECU by-pass system from ETAS was set-up. With this system it is possible to read variables from the original engine control unit into a software simulator, doing modifications according to a self developed software structure, and to send back the modified variable to the ECU in real time.

### 4. PRACTICAL EXECUTION

The development work was executed in four main phases.

- Hardware Testing
- Calibration
- Vehicle testing
- Fine Tuning and E-Cat tests

The initial hardware testing phase was used to test the new hardware equipment and the in house developed software structure for their real potential to meet the required emissions. For this manner an engine was prepared for test bed use and equipped with more than 100 temperature



Fig. 2 AVL Engine Test Bed



pressure and probes for special measuring devices. The engine testing was first performed on so called 14 mode points which represent the most emission relevant points within the engine operation map in the European driving cycle (NEDC). Different hardware combinations have been tested and the calibration for the main injection parameters was adapted to achieve a low NOx combustion.

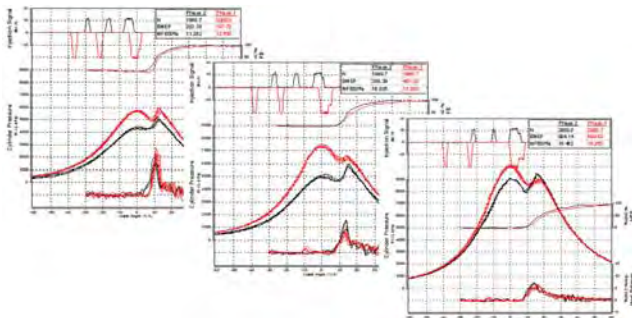


Fig. 3 Low NOx Diesel Combustion

The difference between the base calibration combustion (red) and the finally calibrated low NOx combustion (black) is visualised in Fig. 2. Main Characteristic of this combustion is a very retarded ignition of the injected fuel in the higher load area and the low combustion temperature due to the low charge temperature at high EGR rates. In order to improve combustion stability the cylinder pressure control was used to ensure a constant MFB50% while correcting the timing of the injections. Once the hardware was fixed and the software was running reliable the testing procedure was changed from the static 14 mode method to the dynamic testing on test bed, by simulating the vehicle behaviour in the NEDC. These dynamic conditions have brought up the necessity for additional changes within the bypass software structure to enable a more stable control of the combustion.

The finally defined hardware from the test bed was duplicated on the vehicle to start the vehicle testing on the chassis roller. The result of this vehicle rebuild can be seen in Fig. 3.



Fig. 4 Demo Vehicle

The vehicle calibration started with the dataset derived from the test bed. As seen in Fig.4, the initial chassis roller test already showed an emission level of EU5+.

Continued calibration changes and improvements within the software structure have reduced the NOx level to 60mg/km. At the same time the particulate matter was reduced to 40mg/km. The last optimisation work of the engine was done on road to improve the drivability and NVH performance of the vehicle for customer presentations. Furthermore an electrical heated catalyst was tested which reduce the tail pipe HC by 42% and

CO by 86% by achieving an early light of the catalytic converter right at the beginning of the test cycle.

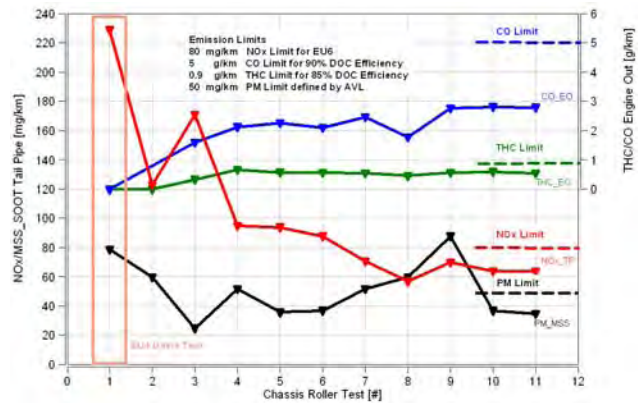


Fig. 5 Chassis Dyno Emission Results

## 5. SUMMARY AND CONCLUSIONS

The achieved results have clearly shown that the chosen engine concept is capable of meeting the low emission limits for EU6. The system layout has also proven that it is possible to fulfil future emission requirements without a significant drawback in fuel consumption and DPF regeneration intervals.

Tab.1 gives an overview on the development history from the initial 14 mode test via the dynamic testing on test bed to the final result on the chassis dyno.

Test Procedure	Nox mg/km	MSS-Soot mg/km	THC mg/km	CO mg/km	FC l/100km	Comment
14-Mode Simulation	49	35	230	1260	5.16	Final 14-Mode Result
AVL CRUISE Simulation	64	57	160	1020	6.44	Final Cruise Result
Dynamic HOT NEDC on Test Bed	52	105	300	2210	7.3	Final Test Bed Result
Dynamic COLD NEDC on Test Bed	79	79	990	2590	7.49	Final Test Bed Result
Dynamic COLD NEDC on Vehicle	61	37	603	2840	7.63	Final Vehicle Result
Vehicle BAG Results	63	37	40	310	7.63	
EU6 Emission Limits	80	4.5 (DPF)	90	500	---	Proposed for 2015

Tab. 1 Summary Emission Results

During the different development phases important engine data could be acquired and will be of use for the definition of new engine layouts aiming at compliance with the upcoming emission legislations.

One of the major high lights of the project was the investigation of an electrically heated catalyst, which was found to be a very efficient way to reduce the tail pipe emission of vehicles. The tests with the electrical heated catalyst have additionally opened new possibilities to meet even more stringent future emission norms.

## 6. LITERATURE

- R. van Basshuysen/ F. Schäfer (Hrsg.), *Handbuch Verbrennungsmotor (Braunschweig/Wiesbaden 2002)*
- Robert Bosch GmbH, *Dieselmotoren Management, System und Komponenten, Mit Partikelfilter, 4. Aufl., (Wiesbaden 2004)*
- SAE 2003-01-0043: *Passenger Car Investigation of NOx-Adsorber & DPF Combination to Fulfil Future Diesel Emission Limits*
- 16. Aachener Kolloquium Fahrzeug- und Motorentechnik 2007: *Combustion Control for Engines with Direct Injection*
- Official Journal of the European Union: *REGULATION (EC) No 715/2007 OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 20 June 2007*
- 6.FAD Konferenz, 5.-6. November 2008, Dresden: *DeNOx Konzepte für Dieselmotoren zur Erfüllung von EU6 und US Tier2Bin5*

## FH CAMPUS 02: DRAHTLOSE DATENÜBERTRAGUNG UNTER ERSCHWERTEN UMWELT-BEDINGUNGEN

Sonnleitner, Bernhard

**Kurzfassung:** Seit mehr als einem Jahrhundert ist es bekannt, dass man elektromagnetische Wellen für die Übertragung von Informationen nutzen kann. Doch erst seit Kurzem findet diese Technologie langsam ihren Einzug in die industrielle Automatisierungstechnik. Der Grund hierfür liegt darin, dass an drahtlose Systeme, die in der Industrie zum Einsatz kommen, große Anforderungen an die Datenübertragungssicherheit und Zuverlässigkeit gestellt werden und diese erst mit modernsten Technologien und neuester Hardware zu bewerkstelligen sind. Ziel ist es, ein drahtloses Kommunikationssystem zu entwickeln, das sogar unter rauen Umweltbedingungen noch zuverlässig arbeitet. Hochsensible Messdaten werden an Stellen erfasst, an denen mit außerordentlicher Staubbelastung, Wassereintrich und starken Vibrationen zu rechnen ist.

Mittels drei vorhandenen Messkanälen werden die Daten von Dehnmessstreifen-Vollbrücken mit einer Abtastrate von einem Kilohertz erfasst. Die digitalisierten Signale, mit der Auflösung im Nanovolt-Bereich, werden bei Funkunterbrechungen bis zu sechs Minuten zwischengespeichert. Die Übertragung der Messdaten erfolgt auf Basis des drahtlosen Kommunikationsstandard ZigBee im 2,4-GHz-Frequenzband. Der Empfänger nutzt den CAN-Bus, um die Daten der mit dem Programm LabView erstellten Online-Visualisierung zur Verfügung zu stellen. Die Validierung der Resistenz gegenüber Umwelteinflüssen, der Vibrationssicherheit und der Funktion erfolgt an Bergbaumaschinen unter untertage-identischen Verhältnissen.

**Schlüsselwörter:** ZigBee, Dehnmessstreifen, hohe Abtastrate, minimale Leistungsaufnahme, drahtlose Messdatenübertragung

### 1. EINLEITUNG

An Bergbaumaschinen, welche für den Untertageabbau von Rohstoffen eingesetzt werden, sollen an den Schneidwalzen und Schneidköpfen die auftretenden Kräfte im Schneidbetrieb gemessen werden (siehe Abbildung 1).

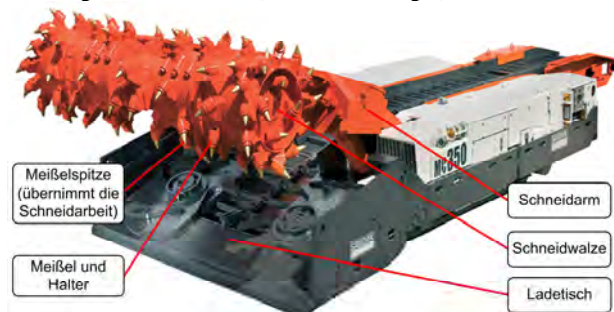


Abb.1: Bergbaumaschine zum Abbau von Kohle

Anhand der tatsächlich an den Meißelspitzen auftretenden Kräfte, die mit dem zu entwickelnden System gemessen werden können, ist es möglich, Materialoptimierungen an den Schneidköpfen und Prozessoptimierungen an der gesamten Maschine durchzuführen. Mit der genauen Kenntnis über die Kräfte an den Schneidköpfen können einerseits Materialeinsparungen

bewerkstelligt werden, um die Werkzeuge billiger zu produzieren. Andererseits können mit diesem Wissen auch Schwachstellen eliminiert werden und damit ein noch leistungsfähigeres und stabileres Werkzeug geboten werden. Zusammengefasst betrachtet lässt sich der Wirkungsgrad des Schneidsystems erhöhen.

### 2. PROBLEM- UND AUFGABENSTELLUNG

Bergbaumaschinen wie in Abbildung 1 dargestellt haben ein Eigengewicht von über 60 Tonnen, wobei dieses Gewicht größtenteils durch Stahl gebildet wird, eine Gesamtlänge von 11 Metern, eine Höhe von ca. einem Meter und eine Gesamtschnittbreite von 3,5 Metern. Mit dem Schneidbetrieb – dem Abbau von Rohstoffen oder Gestein – ist eine enorme Staubentwicklung verbunden. Um diese zu vermindern und um die Meißel zu schonen, wird das Schneidsystem zusätzlich mit Wasser beaufschlagt. Weiters für die Auslegung des Messsystems zu berücksichtigen sind die Vibrationen und Stoßbelastungen, die durch das Schneiden im Gestein verursacht werden. Für den Antrieb der Schneidwalzen und der Längsbewegung der gesamten Maschine werden unter anderem Elektromotoren, die mit Hochspannung betrieben werden, eingesetzt. Hier ist das entstehende magnetische Feld für die Messsystem-Auslegung zu berücksichtigen. Zusammengefasst betrachtet liegen rauen Umweltbedingungen vor, die bei der Systemkonzeption berücksichtigt werden müssen, um ein stabiles System zu entwickeln.

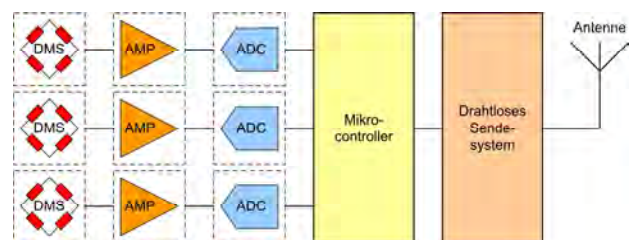


Abb.2: Basiskonzept des Messwertaufnehmers

Abbildung 2 zeigt das Basiskonzept des Messwertaufnehmers und Datensenders. Um einen nützlichen Kräfteverlauf an den Schneidwerkzeugen zu erhalten, ist es notwendig, drei Spannungen mittels Dehnmessstreifen zu erfassen. Die digitalisierten Daten werden von einem Mikrocontroller verwaltet, gespeichert und an das Sendesystem übergeben. Die gesamte Elektronik ist im Meißelsystem der Maschine untergebracht.

### 3. MATERIALIEN UND METHODEN

Die größte Herausforderung bei der Umsetzung des Projektes ist die lückenlose Übertragung der erfassten Messwerte an die Empfangsstation, an der die Daten schließlich gespeichert werden. Hierfür gilt es die Gegebenheiten Untertage zu erfassen, und zu analysieren, welche Auswirkungen diese und die massive Stahlkonstruktion der Maschine auf ein

drahtloses System haben. Die Leistung der Freiraumwellen, welche die Empfangsantenne aufnimmt, ist nur mehr ein Bruchteil der Leistung, mit der diese von der Sendeantenne abgestrahlt wird. Das bedeutet also, dass die elektromagnetische Welle zusätzlich zur Grundübertragungsdämpfung durch verschiedenste Effekte wie Interferenz oder Brechung geschwächt wird. Durch Berücksichtigung aller möglichen Einflüsse, die Untertage auftreten können, ergibt sich schließlich ein Funk-system, welches die Übertragungssicherheit und grundlegenden Anforderungen wie Datenübertragungsrate und minimaler Energiebedarf best möglich erfüllt.

#### 4. PRAKTISCHE DURCHFÜHRUNG

Die praktische Durchführung der Arbeit ist in drei Hauptteile gegliedert: die Konzepterstellung, die Konzeptumsetzung und die Validierung des gesamten Messsystems unter untertage-identischen Verhältnissen an der Maschine. Die Konzepterstellung beinhaltet die Berechnung der Übertragungsdämpfung der drahtlosen Kommunikationsstrecke. – Anhand der Ergebnisse ist ein Rückschluss auf die Verbindungsqualität und die Notwendigkeit eines Datenpuffers bei Funkunterbrechungen möglich. Weiters erfolgt in dieser Phase die detaillierte Erstellung von Blockdiagrammen für den Messwertempfänger und Datensender, die Empfangseinheit und der Visualisierungs- und Kontrollsoftware.

In der Phase der Konzeptumsetzung erfolgen die Erstellung aller nötigen Dokumente, wie der Schaltplan, die Stückliste und das Layout auf Basis der Konzeptentwicklung, um anschließend ein physikalisches Produkt zu erhalten. Die Abb. 3 zeigt den Messwertempfänger und Datensender, der direkt im Meißelsystem der Maschine untergebracht ist und während des regulären Betriebes der Maschine den Kraftverlauf an der Meißelspitze erfasst und die Werte drahtlos an die Empfangsstation sendet. Mit einem Energiebedarf von 480 mW im vollen Messbetrieb und einem Versorgungsspannungsbereich von 0,7 - 3,3 V werden drei DMS-Kanäle in Vollbrückenschaltung mit einer Frequenz von 1 kHz und einem maximalen Rauschen von 600 nV abgetastet. Bei Funkunterbrechungen steht ein Datenpuffer von 6 Minuten zur Verfügung.

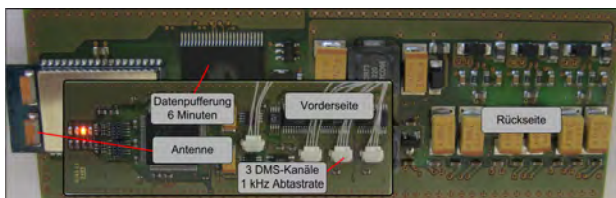


Abb.3: Messwertempfänger und Datensender

Die Empfangsstation prüft die empfangenen Daten auf Fehler und Lücken im Datenstrom die aufgrund von Funkunterbrechungen und -störungen entstehen können und behebt bzw. protokolliert diese. Der eingesetzte ARM7-Mikrocontroller sendet die Messdaten weiter über CAN an die Visualisierungs- und Kontrollsoftware.

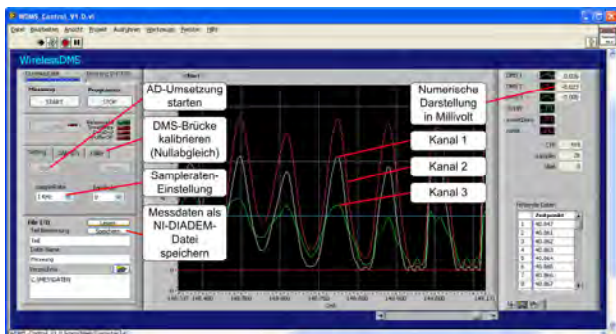


Abb.4: Visualisierungs- und Kontrollsoftware

Abbildung 4 zeigt die Oberfläche der Visualisierungs- und Kontrollsoftware, welche mit LabView von National Instruments erstellt wurde. Die Hauptfunktionen der Anwendung sind die grafische und numerische Darstellung des Messdatenstromes. Zur weiteren Analyse des Kräfteverlaufes besteht die Möglichkeit zur Speicherung der Daten. Die wichtigsten Steuerungsfunktionen der Anwendung sind das Starten und Stoppen der AD-Umsetzung am Messwertempfänger – nach einer abgeschlossenen Messwertaufzeichnung wird damit, um Energie zu sparen, der Analogteil des Messwertempfängers spannungsfrei geschaltet. Weitere Hauptfunktionen der Anwendung sind das Kalibrieren bzw. Abgleichen der DMS-Brücken und die Einstellung der Abtastrate.

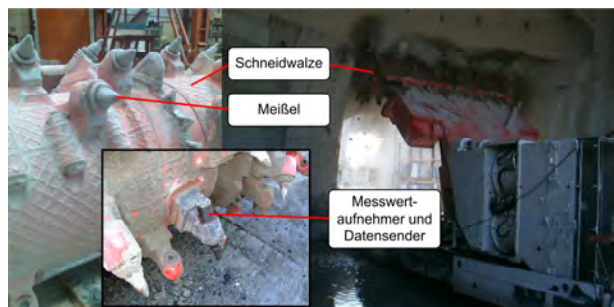


Abb.5: Erprobung des Messsystems im regulären Einsatz

#### 5. ERGEBNISSE

Der letzte Schritt ist die Verifizierung und die Validierung des Gesamtsystems an der Maschine im regulären Betrieb. Abbildung 5 zeigt den an der Maschine applizierten Messwertempfänger und Datensender sowie die Maschine im Schneidbetrieb. Das drahtlose Messsystem zeigte im Testschneidbetrieb sehr zufriedenstellende Ergebnisse. Je nach Schneidtrommelstellung ergibt sich eine Funkreichweite von 20 - 100 m. Das System konnte den Vibrationen und Umwelteinflüssen, wie Staub und Wasser, als auch den elektromagnetischen Einflüssen der Elektromotoren standhalten.

#### 6. ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

Die wohl interessanteste aber zugleich auch aufwendigste Arbeit ist die Untersuchung der Effekte in der drahtlosen Datenübertragungstechnik. Dennoch ist das Wissen über die Eigenschaften und Besonderheiten dieser Effekte essenziell, um eine hohe Datenübertragungssicherheit zu erreichen. Mit dem in dieser Arbeit entwickelten Messsystem, das resistent gegenüber Staub, Wasser und starken Vibrationen ist, werden hochsensible Messdaten an unzugänglichen Stellen und rotierenden Teilen erfasst, drahtlos übertragen und „online“ visualisiert. Mit den gespeicherten Daten werden Systemanalysen und -optimierungen durchgeführt. Damit konnten auch die Kräfte am Schneidmeißel einer Bergbaumaschine im regulären Betrieb erfasst werden, was Ziel dieser Arbeit war – mit den damit gewonnenen Messdaten werden Material- und Prozessoptimierungen durchgeführt.

#### 7. LITERATURVERZEICHNIS

- Meinke, H. H.; Grundlach, F.-W., 1992. *Taschenbuch der Hochfrequenztechnik Band I, II*, Springer Verlag, ISBN: 3-540-54714-2, 3-540-54715-0, Berlin Heidelberg New York
- Otfried, Georg, 1997. *Elektromagnetische Wellen*, Springer Verlag, ISBN: 978-3-540-62924-5, Berlin
- Eady, Fred, 2007. *Hands-On ZigBee*, Elsevier Verlag, ISBN: 978-0-12-370887-8, USA
- Kupris, G.; Sikora, A., 2007. *Datenfunk mit IEEE 802.15.4 und ZigBee*, Franzis, ISBN: 978-3-7723-4159-5, Deutschland

**FH - VORARLBERG: SIMULATION MODEL FOR LIEBHERR HYDRAULIC - CRANES**

**Bickel Roman**

**Abstract:** The kinematics and the kinetics of the different crane topologies as well as of the hydraulic gears were achieved preferably in a modular and flexible model structure. Thereby, an object-oriented modeling methodology, the kinematical transformer concept, was utilized. Furthermore, the Lagrange formulation was used to model the cranes as multi-body systems and the corresponding differential equations of motion in a realistic way. Another important point was the verification of these differential equations of motions via the software packages of SimMechanics and Dymola. Finally the implementation via an iterative solution algorithm (RKF), of the model on a programmable logic controller (PLC), has to be taken into account.

**Key Words:** Lagrange formulation, kinematical transformer, Runge Kutta Fehlberg (RKF)

**1. INTRODUCTION**

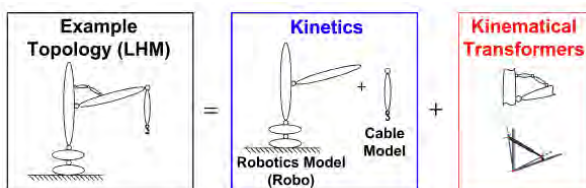
An important need of the company Liebherr is to reduce the factors of time and cost by using realistic physical models and mathematical descriptions at the product development process. Therefore, the realization of a real crane model in block structure, which can be built regardless of the different types of cranes, is an essential step in the future. A further application of the model could be in the area of support or to improve the crane operators driving skills for safety reasons.

**2. PROBLEM FORMULATION**

A simulation model for three different crane types should be created. Therefore inertia tensors, hydraulic drives and different reeving mechanisms of the cranes have to be considered. Tower and boom can be regarded as rigid bodies. The complete mathematical model has to be evaluated with the real cranes. Finally the model has to be implemented on a PLC and the outputs of the model have to be displayed via VRML and Java-Scripts.

**3. METHODOLOGY**

To describe these three crane types mathematically, it is important to simplify the crane topologies to a simplified model representing all different systems. A typical crane can be divided into three main blocks: the hydraulics, the kinematics and the kinetics. The kinetics block consists of two further sub blocks: a robotics and a cable model.

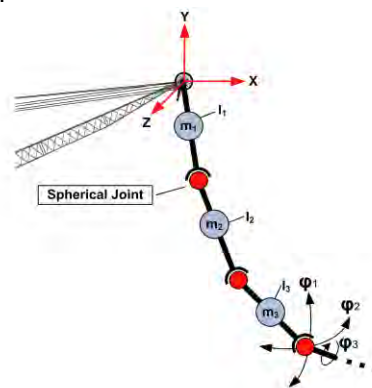


**Figure 1:** Abstraction of the different crane types.

For simplifying the different cranes topologies the important multi-body formalism in the field of mechanics (Wörnle 2007) was used (see Fig.1.). The so-called kinematical transformers are the basis of the model (Kecskeméthy 1993). With their help, the different methodologies of the luffing and hoisting gears are covered and a kind of object oriented modeling can be achieved (Eberharter 2010). The method of kinematical transformers describes a transmission element which maps input states into output states comprising positions, velocities, accelerations and generalized forces. Each transformer output can be evaluated by applying the input on a transmission operation (direct kinematics) or the other way around by its inverse (indirect or inverse kinematics).

**4. IMPLEMENTATION**

The hydraulics consists of several components such as pumps, motors, pipes, valves and pistons, which can be represented by PT2 elements. The connection between the hydraulics and the kinematics is mostly given by winches and pistons or a combination of them. This is represented by the kinematical transformers. They are used to cover the velocity of various reeving mechanisms via the Jacobian transformation (Eberharter and Rajek and Schneider 2009). This can be realized by its own mathematical invertible transformation block. The kinetics block contains all kinetic descriptions of the different cranes, which are mathematically described with the Lagrange formulation (Arnold 2008). The sub block of kinetics cable model refers to the cable between the boom tip point and the load. Another demand is that the cable has to be fixed mounted on the boom tip point. Movements of the hoisting cable in combination with the load have produced the largest effects in terms of the dynamic behavior of the crane. To model this cable, a rigid link to connect with spherical joints was used. For this one n-fold pendulum is connected to the boom tip to ensure the simulation of harmonics caused by oscillation (see Fig. 2.).



**Figure 2:** Cable realized with an n-fold physical pendulum.

The requirement of the cable elongation cannot be covered with this kind of implementation. On the other

hand it is possible to take as well the rotation of the load and thus the twist of the as the inertia tensor  $I$  into account. In the case of the previously described physical systems, the ordinary differential equations are given. These equations can be solved by numerical integration methods as the Runge Kutta Fehlberg (RKF) algorithm. Compared with analytical solutions of differential equations, numerical solutions are always possible and can be transferred in particular to a PLC controller.

## 5. RESULTS

Different measurements have been used for the evaluation of the mathematical model with a real crane. Therefore, only simple movements such as separately rotations, or luffing movements or a combination of them have been performed with a mobile harbour crane of type LHM-280 with a simple hook. For the comparison measurement only the slewing gear of the crane was actuated. This means that the boom has a defined fix initial position. The input currents  $I_D$  and  $I_A$ , which describe the current of the slewing and the luffing hydraulic pumps, are generated with the joystick. With these signals, the crane rotates 51 degrees to the right hand side and stops abruptly after approximately 12 seconds (see Fig. 3.).

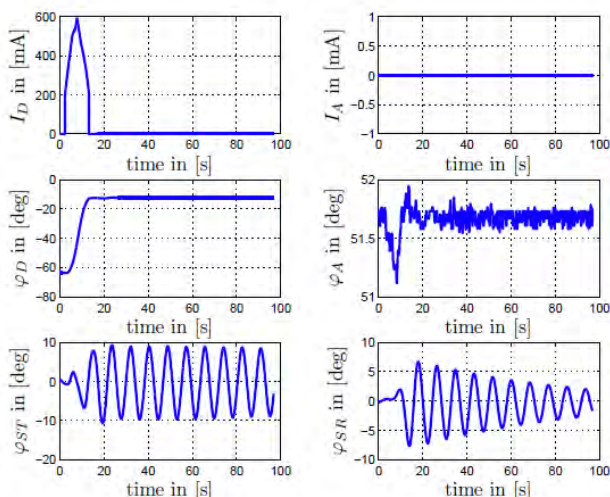


Figure 3: Measurement results of the real crane.

With the use of the forward kinematics, the position vector from the base frame to the hook, considering the rotational angle of the boom, the luffing angle and the radial and tangential angles of the cable can be determined. The movement the hook position (red) and its 2D projections (blue, green, black) are shown in Fig. 4.

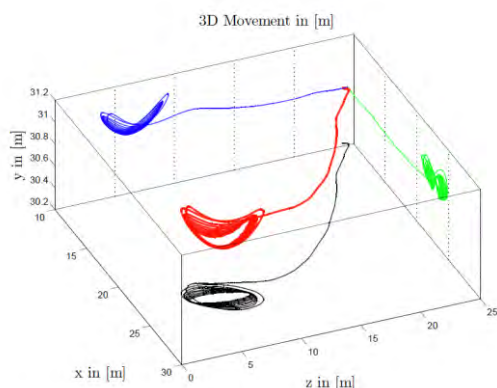


Figure 4: Calculation of the boom tip and the hook.

The output of the model describing the movement of the hook (red) is given in Fig. 5., whereby the external forces, such as air flow or frictions, are not covered in the simulation.

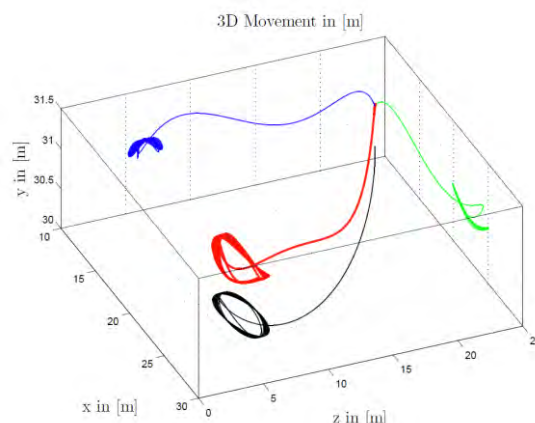


Figure 5: Calculation of the boom tip and the hook.

## 6. CONCLUSION AND OUTLOOK

In conclusion it can be said, that by comparing the iterative solution with the different toolboxes, such as Simulink and Dymola, important results could be achieved. Finally, a model was created, which contains a Simulink library for a general description of the topologies of the LHM, CBB and HS cranes of the company Liebherr. This library consists of the hydraulics, the kinematical transformer blocks, the kinetics robotics model that includes all inertia tensors and the n-fold cable model in 2D and 3D space. The combination of the different library parts makes it possible to create models for these three types of cranes. With these models the dynamic behavior of the complete crane can be evaluated by plotting its outputs, such as the occurring forces, positions, velocities and accelerations. Furthermore it is also possible to simulate realistic applications, such as container lifting. With these kind of mathematical descriptions to illustrate the physics of the cranes and additional testing with the real crane, the time and cost factors of the product developing process can be decreased.

## 7. BIBLIOGRAPHY

- V.I. Arnold., 2008. *Mathematical Methods of Classical Mechanics*, Springer Verlag, 2<sup>nd</sup> edition, ISBN 978-0387968902, New York, U.S.A.
- J.K. Eberharter., 16./17. Juni 2010. *GeoLib- The Geometry and Kinematics Library. 7.* Betriebsfestigkeits- und Simulations-Treffen, Nenzing/Bürs.
- J.K. Eberharter, M. Rajek, and K. Schneider., 2009. *Synchronisierte Mehrkranhübe*. Internationales Forum Mechatronik, Linz.
- A. Kecskeméthy., 1993. *Objektorientierte Modellierung der Dynamik von Mehrkörpersystemen mit Hilfe von Übertragungselementen*. Fortschritt-Berichte VDI, Reihe 20, Nr. 88, VDI Verlag GmbH, Düsseldorf.
- Ch. Wörnle., 2007. *Dynamik von Mehrkörpersystemen*, Universität Rostock.

## FH VORARLBERG: SENORLOSE REGELUNG VON PERMANENTMAGNETERREGTER SYNCHRONMASCHINEN VON STILLSTAND BIS NENNDREHZAHL (MASTERARBEIT)

Schittl, Christoph

**Kurzfassung:** Dieses wissenschaftliche Papier bietet einen Auszug aus der gleichnamigen Masterarbeit und befasst sich mit der sensorlosen Regelung einer PMSM von Stillstand bis Nenndrehzahl. Durch die Verwendung der feldorientierten Regelung (FOC) müssen diverse Signale, unter anderem auch die Lage des Rotors, als Eingangsgrößen vorhanden sein. Entfällt der Lagegeber, ist die Erfassung des Rotorwinkels nicht direkt möglich - er muss daher geschätzt werden. Anhand von drei ausgewählten Beobachterverfahren, Rotorflussbeobachter, Sliding Mode Observer und MRAC-Verfahren, die mathematisch aufbereitet werden, soll geprüft werden, unter welcher Drehzahl sie den gesuchten Rotorwinkel richtig schätzen. Desweiteren wird eine Startstrategie aufgestellt, die den Beobachter unterstützen soll, von Stillstand weg, die PMSM in einem geregelten Betriebszustand zu halten. Durch Versuche an einer Testmaschine werden die Simulationsergebnisse verifiziert.

**Schlüsselwörter:** sensorlose Regelung einer PMSM, Rotorflussbeobachter, Sliding Mode Observer, MRAC-Verfahren, Startstrategie.

### 1. EINLEITUNG

Permanentmagneterregte Synchronmaschinen, kurz PMSM, werden auf Grund ihrer hohen Leistungsdichte, des guten Wirkungsgrades sowie der guten regelungstechnischen Eigenschaften besonders bei Anwendungen im hohen Drehzahlbereich (> 1000Hz) eingesetzt. Durch das Fehlen eines Lagegebers (Robustheit des Systems verbessert, die Ausfallwahrscheinlichkeit minimiert) muss der Rotorwinkel durch geeignete Verfahren geschätzt und in die FOC eingespeist werden. Neben schwachen Signalen bei kleinen Drehzahlen können auf Grund von Inverter-Totzeiten, Messungenauigkeiten sowie Spannungsabfällen beim Inverter Schwierigkeiten bei der Schätzung der Rotorposition entstehen.

Um das gesetzte Ziel, die Entwicklung einer sensorlosen Regelung der PMSM von Stillstand bis zur gewünschten Drehzahl, innerhalb der vorgegebenen Zeit zu erreichen, wurde folgende Vorgehensweise eingeschlagen. Nach einer umfassenden Literaturrecherche zu den Themen "Feldorientierte Regelung" sowie "sensorlose Regelung von PMSM" wurde eine mathematische Untersuchung ausgewählter Beobachter (Schätz-)Verfahren durchgeführt.

Nach der mathematischen Analyse und Durchführen von Simulationen werden die ausgewählten Beobachter, Rotorflussbeobachter, Sliding Mode Observer und MRAC-Verfahren, auf einer vorgegebenen Hardware und Testmaschine verifiziert werden. Desweiteren wird eine Startstrategien untersucht, die es ermöglichen soll, den Beobachter zu bestimmten Zeitpunkten den richtigen Winkel zu übergeben und sich dadurch mit der Maschine zu synchronisieren.

### 2. PROBLEM- UND AUFGABENSTELLUNG

Ziel dieser Arbeit ist die Entwicklung einer sensorlosen Regelung der PMSM von Stillstand bis zur gewünschten Drehzahl, wobei der Anlauf ohne Lastmoment erfolgen kann. Desweiteren soll die entwickelte Regelung auf einer vorhandenen Synchronmaschine mit dazugehörigen Hardware implementiert, getestet und bewertet werden.

### 3. MATERIALIEN UND METHODEN

Ausgehend vom Ersatzschaltbild einer Synchronmaschine (Abb. 1) wird die Gleichung zur Beschreibung des Systems aufgestellt.

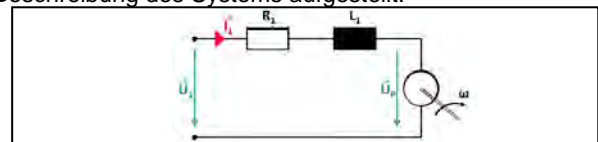


Abb. 1: Ersatzschaltbild einer PMSM (allgemein)

Die Spannungsgleichung lautet im S - Koordinatensystem

$$\underline{U}_1^S = R_1 \cdot \underline{I}_1^S + \frac{d\underline{\psi}_1^S}{dt}$$

Die Änderung des Flusses besteht aus der Änderung der induktiven Last sowie der sogenannten Polradspannung, auch als Gegen-EMK bekannt. Diese stellt den Einfluss des rotorischen magnetischen Feldes auf das Statorfeld dar.

$$\frac{d\underline{\psi}_1}{dt} = L_1 \cdot \dot{\underline{I}}_1 + j \cdot \omega \cdot \underline{\psi}_{PM}$$

Als erstes Verfahren zur Schätzung des Rotorwinkels wird der Rotorflussbeobachter analysiert. Dieser basiert auf der Auswertung des Rotorflusses während des Betriebes der PMSM.

Um den Rotorflussbeobachter mathematisch beschreiben zu können, wird von der Statorspannungsgleichung sowie der Gleichung für die Flussverkettung ausgegangen.

Auf Basis der obigen Gleichungen kann das Modell für den Rotorflussbeobachter aufgebaut werden.

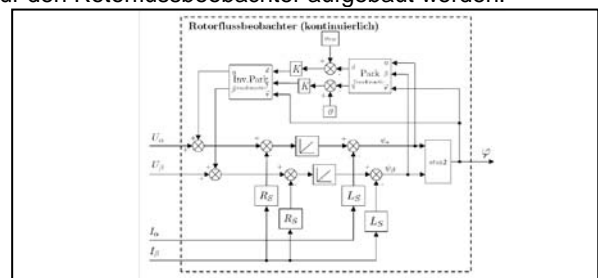
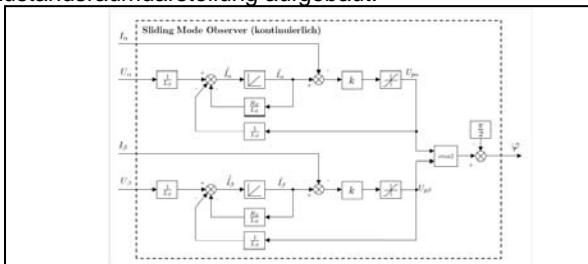


Abb. 2: Kontinuierliches Modell des Rotorflussbeobachters

Als nächstes Beobachterverfahren wird der Sliding Mode Observer präsentiert. Dieser wird als robust gegenüber Parameteränderung oder Störungen angesehen. Diese Robustheit verringert die Ausfallwahrscheinlichkeit. Wie der Name schon sagt, arbeitet dieses Verfahren mit „Sliding Modes“. Je nach Eingangsgröße oder Zustand der Schaltvariablen wird von einem in den anderen Modus geschaltet.

$$\frac{dI_1^s}{dt} = -\frac{R_1}{L_1} \cdot I_1^s + \frac{1}{L_1} \cdot (U_1^s - U_p^s)$$

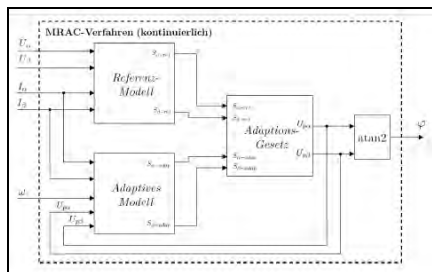
Dieser Beobachter wird mit Hilfe der Zustandsraumdarstellung aufgebaut.



**Abb. 3:** Kontinuierliches Modell des Sliding Mode Observers

Als letztes der drei zu untersuchenden Beobachterverfahren wird das sogenannte „Model Reference Adaptive Control“-Verfahren, kurz MRAC-Verfahren, analysiert. Dieses Verfahren basiert auf zwei unterschiedlichen Modellen, auf einem Referenzmodell sowie auf einem adaptiven Modell. Letzteres beinhaltet die gesuchte Größe, während das erste diese nicht enthalten darf. Ein Adaptionsgesetz passt das adaptive Modell solange an das Referenzmodell an, bis die Differenz der Ausgangssignale beider Modelle zu Null wird.

Die folgende Abbildung 4 soll einen Überblick über das MRAC-Verfahren und seine Wirkungsweise geben. Zusätzlich bildet sie die Grundlage für das kontinuierliche Modell.



**Abb. 4:** Kontinuierliches Modell des MRAC-Verfahren

## 5. ERGEBNISSE

Die Ergebnisse aus der Simulation zeigen, dass es nur mit dem Rotorflussbeobachter möglich ist, die PMSM von Stillstand weg in einem geregelten Betriebszustand zu halten. Den anderen Beobachtern gelingt es erst ab einer Umschaltfrequenz (-Drehzahl) in einem Bereich unter 100 Hz in den geregelten Betrieb zu schalten<sup>1</sup>.

Trotz positiver Simulationsergebnissen besteht mit keinem der ausgewählten Beobachterverfahren die Möglichkeit, die PMSM von Stillstand weg in einem geregelten Betriebszustand zu halten. Die Ursachen für die Ergebnisse an der realen Maschine liegen auf der Hand. Auf Grund der vorhandenen Signalqualität können, vor allem im unteren Frequenzbereich, die

Beobachterverfahren nicht den richtigen Winkel schätzen. Desweiteren können in der Simulation nicht alle vorherrschenden Bedingungen bzw. Einflüsse an der Testmaschine sowie im Umrichter eingebracht werden.

Mit der Kenntnis der Simulations- und Testergebnisse soll eine Startstrategie es ermöglichen, von Stillstand bis zu einer bestimmten Umschaltfrequenz die PMSM in einem geregelten Zustand zu halten. Ab dieser Umschaltfrequenz sollen die bereits erwähnten Beobachterverfahren zum Einsatz kommen.

Bei dieser Strategie kommt neben der Messung der Polradspannung  $U_p$  das Verfahren der Interpolation zum Einsatz. Durch die richtige Wahl von kleinen Zeitabschnitten sollen abwechslungsweise die Messung der Polradspannung sowie die Interpolation des Winkels erfolgen. Das ist notwendig, weil im eingeschalteten Zustand (PWM aktiv) keine Berechnung der Polradspannung stattfinden kann.

## 6. ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

Dieses Papier beschäftigt sich mit der Untersuchung ausgewählter Beobachterverfahren, Rotorflussbeobachter, Sliding Mode Observer und MRAC-Verfahren, die dazu dienen, den richtigen Rotorwinkel zu schätzen und die PMSM von Stillstand weg bis Nennndrehzahl in einem geregelten Betriebszustand zu halten.

Trotz positiver Simulationsergebnissen besteht mit keinem der ausgewählten Beobachterverfahren die Möglichkeit, die PMSM von Stillstand in einem geregelten Betriebszustand zu halten. Auf Grund schlechter Signalqualität können vor allem im unteren Frequenzbereich die Beobachterverfahren nicht den richtigen Winkel schätzen. Desweiteren können in der Simulation nicht alle realen Bedingungen bzw. Einflüsse der Testmaschine sowie des Umrichters berücksichtigt werden.

Desweiteren zeigt dieses Papier eine mögliche Startstrategie auf, die es ermöglicht, die PMSM von Stillstand bis zu einer Umschaltfrequenz in einem geregelten Zustand zu halten. Ab einer Umschaltfrequenz sollen die bereits erwähnten Beobachterverfahren zum Einsatz kommen.

## 7. LITERATURVERZEICHNIS

- Vas, Peter, 1998, *Sensorless Vector and Direct Torque Control*. Oxford University Press, 978-0198564652 Oxford, GB.
- Sahhary, Bassel, 2008, *Elektrische Antriebe mit dauermagneterregten Maschinen im dynamischen sensorlosen Betrieb*, Dissertation an der Helmut-Schmidt-Universität, Hamburg.
- Perassi, Hector D., 2006, *Feldorientierte Regelung der permanenterregten Synchronmaschine ohne Lagegeber für den gesamten Drehzahlbereich bis zum Stillstand*. Dissertation an der Technische Universität, Ilmenau.
- Kiel, Jürgen, 2005, *Regelung permanenterregter Synchronmaschinen ohne mechanischen Geber für den industriellen Einsatz*, Cuvillier Verlag, 3-86537-717-3, Göttingen.
- Utkin, Vadim; Guldner J., Shi J., 2009, *Sliding mode control in electro-mechanical systems*, CRC Press, 978-1420065602, Boca Raton FL.
- Schittl, Christoph, 2010, *Sensorlose Regelung von permanenterregten Synchronmaschinen von Stillstand bis Nennndrehzahl*, Masterarbeit an der Fachhochschule Vorarlberg, Dornbirn.

<sup>1</sup> Die genauen Ergebnisse können in Schittl 2010 nachgelesen werden.

## FH TECHNIKUM WIEN: GENERATIVE FERTIGUNG KERAMISCHER BAUTEILE DURCH LED-BASIERTE STEREO LITHOGRAPHIE

Hatzenbichler, M.

**Kurzfassung:** Die technische Keramik vermengt zu einer Suspension mit Bindemittel (Polymernetzwerk) und Photo-initiator wird durch radikalische Photopolymerisation strukturiert. Die Digital-Light-Processing (DLP) – Technologie wird anstatt des Lasers in einem neu entwickelten Prototypen verbaut und verwendet blaue Light Emitting Diode (LED) als Lichtquelle. Unterschiedliche Einflussfaktoren wie die Sauerstoffinhibierung, die mechanische Beanspruchung des Grünlings und die Variation der Belichtungsstrategie wurden näher analysiert und bewertet. Der freie Materialrückfluss unter der Rakel (Klinge) erwies sich neben dem Scherrate/Viskositätsverhältnis der Keramiksuspension als Schlüsselkriterium für eine ausreichende Bauteilqualität.

**Schlüsselwörter:** Digital-Light-Processing, Radikalische Photopolymerisation, Keramiksuspension, Stereolithographie, Rakelmechanismus;

### 1. EINLEITUNG

Im Zeichen der Wirtschaftlichkeit wird nach neuen Methoden geforscht um komplexe 3D-Bauteile kostengünstig und schnell herstellen zu können. Diese Aspekte sind unter anderem in der Herstellung von Prothesen (Zahnkronen, künstliche Gelenke) gefragt. Beim generativen (additiven) Fertigungsverfahren (Stereolithographie (SLA)) wird im Gegensatz zu subtraktiven und formativen Verfahren, die gewünschte Geometrie durch das Aneinanderfügen von einzelnen Schichten erzeugt (Homa 2008). Dieses Fügen birgt den Nachteil der schlechten Oberflächengüte im Vergleich zu Hochgeschwindigkeitsfräsen (HSC), siehe Eschl (2002). Die einzelnen 2D-Schichten führen durch ihren diskreten Verlauf in Z-Richtung zu einem Treppeneffekt bzw. der schlechten Oberflächengüte. Um diesem Problem zu begegnen wird, durch eine Reduzierung der Schichthöhe auf 25 µm bei der Strukturierung mit blauem LED-Licht mit 440...480 nm (Trixner 2006), eine Annäherung an einen kontinuierlichen Kantenverlauf angestrebt. Die Maskenbelichtung des Digital-Light-Processing (DLP) Projektors bietet dabei den Vorteil der konstanten Baugeschwindigkeit unabhängig von der Bauteilgeometrie. Die rheologischen Eigenschaften (Scherrate, Viskosität, Thixotropie u.a.) der Keramiksuspension sind ein entscheidender Faktor um ein einwandfreies Produkt herstellen zu können.

### 2. PROBLEM- UND AUFGABENSTELLUNG

Die Dentalindustrie ist an der Kombination von technischen Keramiken und dem Verfahren der SLA sehr interessiert. Das Prinzip der, mit Keramikpulver angereicherten, Photopolymere birgt die Diskrepanz des angestrebten hohen Feststoffanteils (80 Gew.-%) und der damit erschwerten Verarbeitbarkeit in herkömmlichen, für feststofffreie Harze ausgelegte, Stereolithographieanlagen.

Bei der Strukturierung der Suspension kann entweder von unten durch eine transparente Material-wanne (Liska et al. 2007) oder von oben erfolgen. Die Belichtung von unten führt zu einer Anhaftung des polymerisierten Materials am Glasboden der Wanne, diese Haftkräfte sind proportional zur

Fläche der Strukturierung. Aus diesem Grund ist der Einsatz dieses Konzepts auf eine bestimmte Bauteilgröße beschränkt. Weiters kann es aufgrund des zyklischen Ablösens zu Beschädigungen der Bauteil-struktur (Spannungsrisse) kommen. Um nun vergleichbare Ergebnisse liefern zu können soll nun von oben belichtet und die Strukturierung in natürlicher Umgebungsatmosphäre durch-geführt werden. Man verspricht sich davon den positiven Effekt der Sauerstoffinhibierungsschicht untersuchen zu können. Die Planung und Realisierung eines funktionsfähigen Stereolithographieprototyps für Keramiksuspensionen ist ein wesentlicher Bestandteil dieser Arbeit. Der Fokus der Entwicklung liegt dabei beim Rakelmechanismus, mit dem Ziel eine Suspension mit einem Feststoffgehalt von 80 Gew.-% bei einer Schichtdicke von 50 µm verarbeiten zu können.

### 3. MATERIALIEN UND METHODEN

#### Stereolithographie

Das SLA – Verfahren wurde von Chuck Hull 1986 (Eschl 2002) entwickelt. Durch einen Laser wird auf der Materialoberfläche bis zur eingestellten Schichtdicke die vorgegebene Struktur der Schicht erzeugt. Die Belichtung durch den Laser erfolgt dabei zeilenweise. Die Energie des UV-Lichts veranlasst die Freisetzung von Radikalen und initialisiert eine Photo-polymerisationsreaktion. Die geringe Höhendifferenz (50µm) und die rheologischen Eigenschaften (Viskosität und Fließ-grenze) machen eine aktive, mechanische Beschichtung notwendig, da ansonsten keine homogene Verteilung von neuem Material möglich wäre. Die Vorwärtsbewegung der Klinge verursacht Druckunterschiede an dessen Front- und Rückseite, das Material ist bestrebt diese Unterschiede auszugleichen.

#### Keramiksuspensionen

Bei den Versuchsreihen wurde Zirkoniumoxid in Pulverform (TZ-3YS-Tosoh, Tokyo, Japan, d = 0,3 µm, Reinheit 99,5 %) eingesetzt. Die Formulierungen WW1057/14, WW1030/6D und ZS1080/1 bestehen aus einem Feststoffanteil von 77...82 Gew.-% ZrO<sub>2</sub> – Pulver vermengt mit Bindemittel (Photomer), Dispersionsmittel und Photoinitiator. Die Anteile der einzelnen Komponenten variieren entsprechend der geforderten, rheologischen Eigenschaften der Suspension. Keramiksuspensionen müssen in der Stereolithographie zwei konträre Eigenschaften erfüllen:

- 1.Optimale, rheologische Eigenschaften (Scherrate /Viskosität) für eine homogene Benetzung (Schicht) der Bauteiloberfläche.
- 2.Entsprechend hoher Anteil >50Gew.-% (Chartier et. al 2002) an Keramikpulver für einen formstabilen Entbinder- und Sinterprozess.

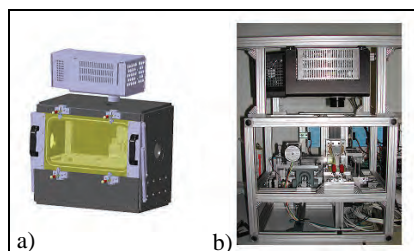
Zur Prävention von Sedimentationseinflüssen werden alle Suspensionen regelmäßig und speziell vor jedem Versuch bei 2400



U/min für eine Dauer von 5 min mit einem Rotationsmischer (Speedmixer DAC 150 FVZ) homogenisiert.

#### 4. PRAKTISCHE DURCHFÜHRUNG

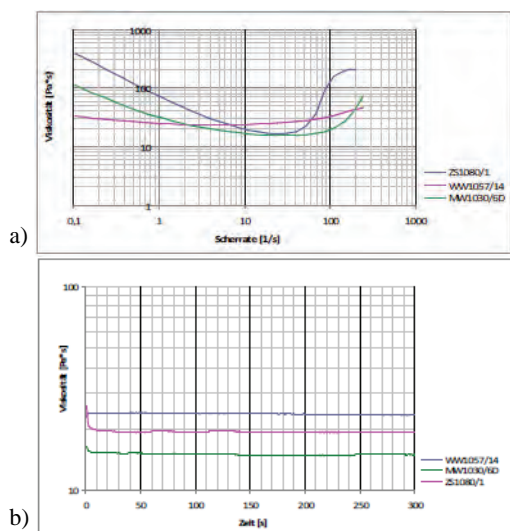
Der Prototyp (siehe Abb.1) wurde in verwindungssteifer Quaderform konzipiert um die Möglichkeit einer luftdichten Ummantelung des Bauraums zu eröffnen. Die Justierung des Sauerstoffgehalts erlaubt so eine eingehende Analyse der Inhibierungsschicht auf das gefertigte Bauteil.



**Abb. 1:** Prototyp - Planungsentwurf (a), reale Umsetzung (b). Die Herstellung eines homogenen Schichtaufbaus ist ein Schlüsselfaktor im Bereich der additiven Fertigungsverfahren, daher liegt der Schwerpunkt beim Entwurf des Rakels. Im Zuge der Entwicklung wurde daher nach Beendigung des Grundaufbaus mit der Evaluierung verschiedener Rakeltechnologien begonnen. Die Klinge als Rakelmedium stellte dabei den Ausgangspunkt dar, dessen technisch einfacher Aufbau erlaubte erste Einblicke in das rheologische Verhalten der Keramik-suspension.

#### 5. ERGEBNISSE

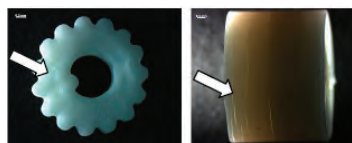
Die Messung wurde mit einem Rotationsviskosimeter CP 25-1 in der Konfiguration Platte-Platte bei einer Temperatur von 20°C durchgeführt. Für die Klassifizierung der Merkmale wurden die Messkurven ab einer Scherrate von 0,1 1/s herangezogen. Der vorzeitige Abbruch bei der Formulierung ZS 1080/1 ist in der Erreichung der Belastungsgrenze begründet (siehe Abb. 2).



**Abb. 2:** Scherrate-Viskositätsdiagramm (a), Viskositäts-Zeitdiagramm (b)

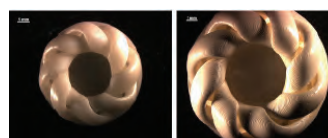
Die Formulierung ZS1080/1 verhält sich bis zur Belastungsgrenze des Messgeräts dilatant, die Viskosität wird demnach bei steigender Scherrate größer. Im Gegensatz dazu zeigen die Formulierungen WW1057/14 und MW1030/6D annähernd newton'sches Verhalten, mit einer stärkeren Ausprägung der Dilatanz der Keramik suspension MW1030/6D. Die in Abs. 2 beschriebenen Spannungsrisse sind ein Qualitäts-kriterium. Es wird zwischen interlaminaren, intralaminaren und trans-

laminaren Rissen unterschieden (siehe Abb.3). Es hat sich gezeigt, dass translaminare Risse vermehrt bei geometrisch komplexen Körpern (Zahnrad u.a.) und interlaminare Risse bei geometrisch einfachen Körpern (Zylinder u.a.) auftreten.



**Abb. 3:** Rissarten – translaminar li., interlaminar re.

Die Ursache für die Entstehung solcher Risse sind neben den Belastungen während des Bauprozesses, die Entbinderung. Dabei wird die Polymerkomponente (Bindemittel) durch eine Wärmebehandlung (100...500°C) aus dem Bauteil entfernt. Die Bauteile müssen einer Trocknung, Entbinderung und Sinterung unterzogen werden. Die Volumenreduzierung beträgt 24,9 % (siehe Abb.4). Abouliatim (2007) bestätigt, die Schrumpfung kann in Abhängigkeit zum Feststoffanteil 15-25 % betragen.



**Abb. 4:** Ringförmige Schleife (WW1057/14, SD 50 µm, ET 6s, LI 22120 lux)

#### 6. ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

Die erfolgreiche Funktionsverifizierung mit dem Acryl-Harz R5 von Fa. ENVISIONTEC Perfactory® mit einem Feststoffgehalt von 0 Gew.-% war essentiell. Die stufenweise Erhöhung des Feststoffgehalts veranschaulichte den Zusammenhang zwischen den mechanischen Anlagenkomponenten (Parallelität, Positioniergenauigkeit, u.a.) und den rheologischen Eigenschaften (Viskosität, Scherrate, Thixotropie, u.a.) der Suspension.

Die optimale Abstimmung beider Aspekte führte zu einer zufriedenstellenden Lösung. Die Flexibilität der Klinge und die optimalen rheologischen Eigenschaften der Formulierung WW1057/14 reduzierten die negativen Einflüsse (Inhomogenität der Schicht, Schubbeanspruchung der Klinge). Diese Konfiguration ermöglicht die Herstellung von rissfreien Bauteilen. Die Sauerstoffinhibierungsschicht an der Bauteiloberfläche führte zu einer höheren Festigkeit des Schichtverbunds.

#### 7. LITERATURVERZEICHNIS

- Abouliatim, Y. & Chartier, T., 2007.** *Fabrication of ceramics by stereolithography*, In: RTEjournal, urn:nbn:de:0009-2-11635
- Chartier, T., Chaput, F., Doreau, F., Loiseau, M., 2002.** *Stereolithography of structural complex ceramic parts*, In: Journal of Material Science, No. 37, 3141-3147
- Eschl, J., 2002.** *Die mechanischen Eigenschaften von Stereolithographiematerialien während der Aushärtung*, Dissertation, Universität Stuttgart
- Homa, J., 2009.** *Rapid Prototyping – Einführung und Verfahren*, Technische Universität Wien, Institut für Werkstoffwissenschaft und Werkstofftechnologie
- Liska, R., Schuster, M., Inführ, R., Turecek, C., Fritscher, C., Seidl, B., Schmidt, V., Kuna, L., Haase, A., Varga, F., Lichtenegger, H., Stampfl, J., 2007.** *Photopolymers for rapid prototyping*, In: J. Coat. Technol. Res., Vol. 4, No. 4, 505-510
- Trixner, K., 2006.** *Einfluss der Belichtungsart auf das Polymerisationsverhalten moderne Composite*, Dissertation, Ludwig-Maximilians Universität zu München

**FH TECHNIKUM WIEN: ANALYSE, IMPLEMENTIERUNG UND EVALUIERUNG ECHTZEITFÄHIGER STEREO MATCHING ALGORITHMEN AUF EINER GPU**

Hörhager, B.

**Kurzfassung:** Stereo Vision generiert aus Bildpaaren Tiefeninformation, diese kann zur Navigation eines mobilen Roboters verwendet werden. Hierzu gibt es unterschiedliche Algorithmen. Der in dieser Arbeit behandelte ist der Census basierte Stereo Vision Algorithmus. Dieser Algorithmus liefert gute Ergebnisse bei Szenen mit texturierten Objekten. Sind die Objekte jedoch nicht texturiert so kann die Szene nicht vollständig mit Korrespondenzen gefüllt werden, oder nur mit unsicheren Korrespondenzen gefüllt werden. Um die Korrespondenzen zu verbessern wurden zwei zusätzliche Algorithmen getestet, der erste ist der SGM (Semi global Matching) Algorithmus und der zweite ist ein Plane Fitting Algorithmus. Durch die Anwendung dieser Algorithmen konnte das Ergebnis bei einigen Real Life Szenen erheblich verbessert werden. Da diese Algorithmen ausgeführt auf einer CPU Laufzeiten von bis zu 15s pro Bild paar aufweisen, wurden diese mit der Programmiersprache CUDA implementiert und auf verschiedenen Grafikkarten getestet, dadurch konnten Laufzeiten von unter 150ms und Frameraten von mehr als einem Frame pro Sekunde erzielt werden. Dadurch konnte die Echtzeitfähigkeit des Algorithmus wieder hergestellt werden.

**Schlüsselwörter:** CUDA, GPU, GPGPU, Stereo Vision, SGM, Plane Fitting

**1. EINLEITUNG**

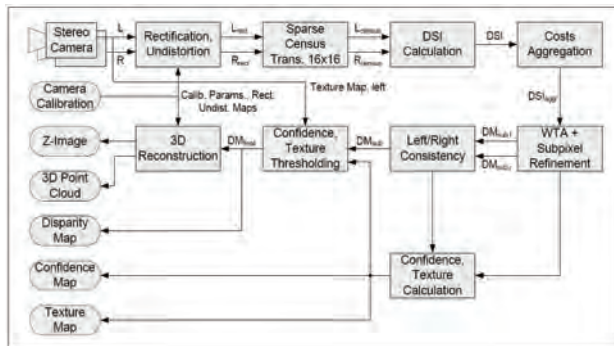
Die verwendeten Stereo Vision Algorithmen sind rechenintensive Algorithmen, welche auf einer CPU bis zu 15s für ein Bildpaar mit 450x375 Pixel bei 60 Disparitäten, zur Ausführung benötigen, daher wurden diese auf einer GPU implementiert und getestet. Da für den Plane Fitting Algorithmus eine Segmentierung nötig ist und diese schlecht parallelisierbar ist wurde ein neuer Segmentierungsalgorithmus entwickelt der eine gute Laufzeit besitzt und einfach zu implementieren ist. Dieser Algorithmus findet nicht immer eine optimale Lösung, jedoch eine Lösung in optimaler Zeit. Der zweite Algorithmus ist der sogenannte SGM Algorithmus, dieser ist gut parallelisierbar, jedoch sehr rechenintensiv.

**2. PROBLEM- UND AUFGABENSTELLUNG**

Für Echtzeitanwendungen kann die derzeitige Implementierung des Census basierten Stereo Matching mit den Erweiterungen des SGM und Plane Fitting Algorithmus nicht eingesetzt werden, da diese auf einer CPU Laufzeiten von bis zu 15s (Humenberger et.al, 2010) benötigen. Daher wurde die Idee diese Operationen auf einer GPU auszuführen geboren. Zur Programmierung auf der GPU wird eine eigene Programmiersprache mit Namen CUDA verwendet, diese setzt eine unterschiedliche Programmierung voraus als sie bei der Programmierung einer CPU üblich ist.

**3. STEREO VISION**

Der dieser Arbeit zugrundeliegende Stereo Vision Algorithmus ist der Census basierte Stereo Vision Algorithmus, dieser besteht aus mehreren Schritten die in Abbildung 1 zu sehen sind, weiters wurde dieser bereits mit CUDA implementiert (Weber, 2009). Einige Schritte sind das Rektifizieren, die Census Transformation sowie einige andere. Die Census Transformation kann in unterschiedlichen Arten durchgeführt werden, um Laufzeit einzusparen. Die Abstufungen werden mit der Sparsestufe angegeben. Der nächste Schritt ist die DSI Berechnung, die DSI beinhaltet die Kosten zur Korrespondenzsuche für jede Disparität. Diese Kosten werden mit der Kosten Aggregation in Blöcken zusammengefasst um das Matching zu verbessern. Nach diesem Schritt wird der SGM Algorithmus angewendet um das Matching weiter zu verbessern. Die Berechnung der Disparity Map ist der nächste Schritt, hier werden zwei Disparity Maps berechnet, eine von links nach rechts und eine von rechts nach links, diese werden danach verglichen um unsichere Korrespondenzen zu entfernen. Nach diesem Schritt kommt der zweite Algorithmus zur Verbesserung zum Einsatz und zwar der Plane Fitting Algorithmus. Mit der nun optimierten Disparity Map lässt sich das Tiefenbild berechnen.



**Abb. 1:** Ablauf des Census basierten Stereo Matching Algorithmus Quelle: (Humenberger et.al, 2009)

**4. ALGORITHMEN ZUR VERBESSERUNG**

**4.1. SGM (Semi Global Matching)**

Der SGM Algorithmus versucht die Informationen zur Korrespondenzsuche durch die Informationen der Nachbarn zu verbessern. Hierzu wird die DSI (Disparity Space Image) in unterschiedlichen Richtungen durchgerechnet, acht sogenannte Pfade haben sich als ausreichend herausgestellt, vergleiche (Engelke, 2010). Die möglichen Pfade sind von links nach rechts, von oben nach unten, sowie diagonal durch das Bild. Die Berechnungsformel ist in Formel 1 gegeben.

$$L_r(p, d) = C(p, d) + \min(L_r(p - r, d), L_r(p - r, d - 1) + P_1, L_r(p - r, d + 1) + P_1, \min_i L_r(p - r, i) + P_2) - \min_k L_r(p - r, k)$$

**Formel. 1:** Berechnungsformel des SGM Algorithmus Quelle: (Hirschmüller, 2005)

Wobei  $L_r$  die aktuellen Kosten,  $d$  die Disparitätsstufe,  $p$  die Koordinate der aktuellen Kosten und  $r$  der aktuell berechnete Pfad sind.

#### 4.2. Plane Fitting Algorithmus

Der Plane Fitting Algorithmus, hat zur Grundlage, dass Bereiche die keine Textur vorweisen und zusammenhängen dasselbe Objekt repräsentieren. Dies ist in vielen Fällen auch korrekt, jedoch sind auch Objekte möglich die nicht aus einer Ebene bestehen, wie zum Beispiel eine Blumenvase oder ein Ball, bei diesen Objekten liefert der Plane Fitting Algorithmus falsche Ergebnisse.

Der Ablauf des Plane Fitting Algorithmus ist wie folgt:

1. Berechnung der Textur Map
2. Segmentierung der Textur Map
3. Berechnung der Parameter der einzelnen Segmente der Textur Map
4. Einfügen der Ebene in die Disparity Map

Die Segmentierung der Textur Map wurde mit einem neu entwickelten Algorithmus durchgeführt, da die derzeit bekannten Algorithmen schlecht bis nicht parallelisierbar sind. Der neu entwickelte Algorithmus findet nicht immer eine optimale Lösung, jedoch eine Lösung in optimaler Zeit.

Die Parameter der einzufügenden Ebenen werden mit der Least Squares Methode berechnet, diese ist in Formel 2 definiert.

$$\begin{bmatrix} \sum_{i=1}^m u_i^2 & \sum_{i=1}^m u_i v_i & \sum_{i=1}^m u_i \\ \sum_{i=1}^m u_i v_i & \sum_{i=1}^m v_i^2 & \sum_{i=1}^m v_i \\ \sum_{i=1}^m u_i & \sum_{i=1}^m v_i & \sum_{i=1}^m 1 \end{bmatrix} \begin{pmatrix} a \\ b \\ c \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \sum_{i=1}^m u_i d_i \\ \sum_{i=1}^m v_i d_i \\ \sum_{i=1}^m d_i \end{pmatrix}$$

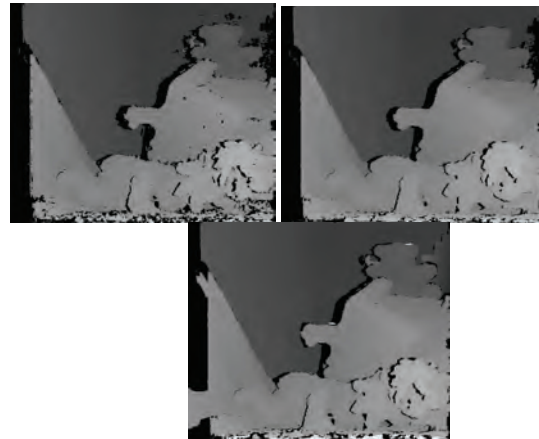
**Formel. 2:** Least Squares Methode des Plane Fitting Algorithmus Quelle: (Humenberger et.al. 2010)

Die Least Square Methode reagiert sensibel auf sogenannte Ausreißer, daher sollte vor der Anwendung des Plane Fitting Algorithmus der SGM sowie ein Konfidenzcheck durchgeführt werden. Als letzter Schritt ist die Ebene in die Disparity Map einzufügen.

#### 5. ERGEBNISSE

Durch die Anwendung der beiden Algorithmen zur Verbesserung der Korrespondenzsuche wurden die Ergebnisse der Evaluierungsbilder der Middlebury Universität verbessert, wobei durch den Plane Fitting Algorithmus wenige bis keine Verbesserungen erzielt wurden. Der Plane Fitting Algorithmus hat seine Stärken jedoch bei unterschiedlichen Real Life Szenen, wie zum Beispiel bei einer Szene am Gang des AITs, denn hier sind große Flächen ohne Textur vorhanden, und zwar die Wände. Diese werden durch den Plane Fitting Algorithmus gematcht. In Abbildung 2 sind die Ergebnisse der Korrespondenzsuche des Teddy Evaluierungsbildes der Middlebury Universität zu sehen, wobei das erste Bild das Ergebnis mit reinem Census basierten Stereo Matching ist, das zweite Bild das durch den SGM verbesserte und das dritte Bild das durch den SGM und Plane Fitting Algorithmus verbesserte Ergebnis. Die Gesamtlaufzeiten werden durch den SGM Algorithmus im Vergleich zum reinen Census basierten Matching um bis zum Faktor 30 verlängert. So benötigt der Census basierte Algorithmus auf einer GTX 295 rund 11,62ms der SGM Algorithmus rund 310,79ms zusätzlich.

Der Plane Fitting Algorithmus benötigt auf derselben GPU rund 12,93ms zusätzlich, bei 5 einzufügenden Ebenen. Die Daten sind für ein Bild mit der Größe 450x375 mit 60 Disparitäten. Diese Zeiten entsprechen einer Durchschnittlichen Beschleunigung zu der Implementierung auf der CPU um den Faktor 21, vergleiche (Humenberger et.al, 2010).



**Abb. 2:** Ergebnisse durch den Census basierten Stereo Matching Algorithmus, den durch SGM verbesserten und den durch den Plane Fitting verbesserten Ergebnisse am Beispiel des Teddy Evaluierungsbildes der Middlebury Universität

#### 6. ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

Im Rahmen dieser Arbeit konnte gezeigt werden dass durch die Anwendung des SGM und des Plane Fitting Algorithmus das Ergebnis verbessert werden konnte. Desweiteren konnte die Laufzeit um den Faktor 21 reduziert werden, dadurch erhält die Kombination dieser Algorithmen wieder bedingte Echtzeitfähigkeit, da mehr als ein Frame pro Sekunde berechnet werden kann. Bei der Anwendung des Plane Fitting Algorithmus sollte darauf geachtet werden, dass die Ausgangsdaten richtig sind, da sonst die Ebenen falsch eingefügt werden könnten.

Es wird vermutet dass durch die Einführung der neuen Generation der CUDA fähigen Grafikkarten eine weitere Geschwindigkeitsoptimierung möglich ist, da hier neue Funktionen verfügbar sind.

#### 7. LITERATURVERZEICHNIS

- Humenberger, M. Engelke, T. Kubinger, W. 2010. A Census-Based Stereo Vision Algorithm Using Modified Semi-Global Matching and Plane-Fitting to Improve Matching Quality. To appear in proceedings of the Twenty-Third IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 6th Workshop on Embedded Computer Vision
- Humenberger, M. Zinner, C. Weber, M. Kubinger, W. Vincze M. 2009. Computer Vision and Image Understanding: Preprint A fast Stereo Matching algorithm suitable for embedded real-time systems 25. August 2009
- Hirschmüller, H. 2005. IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR): Accurate and Efficient Stereo Processing by Semi-Global Matching and Mutual Information, 20-26th June 2005, San Diego, CA, USA
- Engelke, T., 2010. Analyses of Global Stereo Matching Techniques with the Census Transform, Thesis, (BSc) Fachhochschule Flensburg, Angewandte Mathematik
- Weber, M.W., 2009. An Optimized GPU-based Stereo Matching Algorithm. Diploma Thesis. Technische Universität Wien, Hochschule Regensburg



**Montrac –  
intelligentes  
Transportsystem  
für die Vernetzung  
industrieller  
Produktions- und  
Logistikprozesse**

**FLEXIBILITY  
FOR INNOVATORS ONLY**

**MONTECH®**

Montech AG  
CH-4552 Derendingen  
[www.montech.com](http://www.montech.com)

Tag der Mechatronik 2010



**Mechatronik/Robotik**

> So kreativ kann Technik sein.

Beste Karrierechancen. Mit dem  
Bachelorstudium Mechatronik/Robotik.  
Interessiert?

**FACHHOCHSCHULE  
TECHNIKUM WIEN**

> [www.technikum-wien.at](http://www.technikum-wien.at)

# DER BESTE WEG, DIE ZUKUNFT VORAUSZU- SAGEN, **IST SIE ZU GESTALTEN.**

Wenn es um bahnbrechende Innovationen geht, ist das AIT Austrian Institute of Technology der richtige Partner für Ihr Unternehmen: Denn bei uns arbeiten schon heute die kompetentesten Köpfe Europas an den Tools und Technologien von morgen, um die Lösungen der Zukunft realisieren zu können.

Mehr über die Zukunft erfahren Sie hier: [www.ait.ac.at](http://www.ait.ac.at)

**AIT**  
AUSTRIAN INSTITUTE  
OF TECHNOLOGY  
TOMORROW TODAY

ISBN 978-3-902759-03-0



9 783902 759030

Mit freundlicher Unterstützung von

**MONTECH**<sup>®</sup>