

SGA – ASSPA – SSAC BULLETIN

Nr. 70 – «Analyse und Entwurf mithilfe von Simulationsmodellen: Schleifroboter und Antriebsregelung»

Editorial

Sehr verehrte Mitglieder und Mitgliederinnen,

das aktuelle Bulletin bietet Ihnen auf 30 Seiten interessante Beiträge. Die Beiträge seitens der SGA stammen vom SGA-Meeting vom 27. Januar 2015, bei dem die Förderpreise vergeben wurden. Wir freuen uns, dass der Preisträger für die beste Masterarbeit, Herr Edelmann von FHNW sich zur Verfügung gestellt hat, seine Arbeit über die robotergestützte Schleiftechnologie einem grösserem Publikum und in einem gegenüber dem bei der Verleihung des Preises gehaltenen Vortrag erweiterten Umfang vorzustellen. Die Arbeit zeigt die Vielfältigkeit der Modellbildung die während der Analyse verwendet wurden. Ausgehend von einem relativ komplexen Modell konnten durch geschickte Überlegungen mehrere Vereinfachungen gemacht werden, die schliesslich zu einem aussagekräftigen linearisierten Modell tiefer Ordnung führten. Der zweite Beitrag ist eine Zusammenfassung des Vortrags von Herrn Thomas Besselmann von ABB über den Einsatz von MPC für grosse Antriebssysteme. Beeindruckend ist vor allem die Dimension der Komponenten (Thyristoren, Gleichrichter,...), die zur Ansteuerung der Motoren im MW-Bereich benötigt werden. Über kurze gleitende Zeithorizonte kommt dabei die modellprädiktive Regelung des Drehmomentes zum Einsatz, die zu einer wesentlichen Verbesserung des dynamischen Verhaltens führt.

Im weiteren möchte ich auf die Beiträge seitens des sensors.ch hinweisen, die von Peter Kirchhofer verfasst wurden. Insbesondere die Zusammenfassung des Besuchs der EMPA ist sehr interessant, da er die Geschichte der EMPA zusammenfasst und deren Wachstum der letzten Jahre eindrücklich dokumentiert.

Im Namen der SGA möchte ich allen Autoren für ihr Engagement danken. Zudem wünsche ich allen Lesern schöne Stunden in der kommenden Frühlingszeit.

Mit freundlichen Grüssen
 Peter Gruber



Kontakt

Dr. Peter Gruber
 Grenzacherweg 116
 4125 Riehen
pgconsult@gmx.ch

HSLU Technik & Architektur

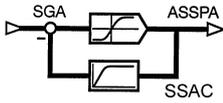
Technikumstr. 21
 6048 Horw
 E-Mail: peter.gruber@hslu.ch

Termin SGA Generalversammlung und Besichtigung

Die diesjährig GV findet am **6. Mai 2015 in Rotkreuz** statt. Die Einladung mit Traktanden wird Ihnen zusammen mit der Beitragsrechnung für 2015 mit der Post zugestellt. Bereits heute bitten wir Sie diesen Termin in Ihrer Agenda zu notieren. Mehr Infos auf Seite 22.

Inhalt

Editorial	1
SGA Meeting 2015 und Vergabe SGA Förderpreis 2014	2
Master Theses: Vollautomatische, robotergestützte Schleiftechnologie in der Armaturenfertigung	4
Modal Predictive Control of ABB's Megadrive LCI	18
SGA Generalversammlung und Besichtigung Roche Diagnostics International AG	22
SENSORS + TEST – Messe Nürnberg Eintrittsgutschein	23
Termine – Links	24
sensors.ch Besuchsbericht Empa	25
sensors.ch Vorstellung Nationales thematisches Netzwerk (NTN)	28
Pressemitteilung AMA Verband Deutschland	29



SGA Meeting 2015 und Vergabe SGA Förderpreis 2014

Zürcher Hochschule
für Angewandte Wissenschaften



Bereits zum dritten Mal hat die SGA einen Förderpreis verliehen. Wiederum wurden interessante Abschlussarbeiten eingereicht und die Jury hatte die schwierige Aufgabe, die beste Arbeit auszuwählen. Die Bewertung der Arbeiten ist natürlich immer mit einiger Subjektivität verbunden und so wurde z.B. auch eifrig diskutiert, wie der praktische Nutzen gegenüber einer theoretisch anspruchsvolleren Aufgabe gewichtet werden soll. Am besten ist es, wenn gerade beides erfüllt ist. Die ausgewählten Arbeiten wurden im Rahmen des diesjährigen SGA Meetings von den Preisträgern präsentiert.

Preisträger beste Masterarbeit:

Max Edelmann, Fachhochschule Nordwestschweiz

Das Thema der Arbeit war «Vollautomatische robotergestützte Schleiftechnologie in der Armaturenfertigung». Niemand denkt beim Waschen der Hände an die Komplexität der Herstellung einer eleganten Wasserarmatur. Die dazu nötige Schleiftechnologie wurde eingehend untersucht. Dynamische, positionsabhängige Modelle des Roboters und der Schleifmaschine wurden erstellt und analysiert. Es wurde eine Methodik entwickelt, wie die Kraft der Schleifmaschine für einen ganzen Schleifablauf optimal geregelt werden kann. Die Realisierbarkeit der Lösung wurde auch praktisch erprobt. Die Resultate seiner Masterarbeit präsentierte Max Edelmann mit eindrücklich gestalteten Folien.

Preisträger beste Bachelorarbeit:

Steve Vassaux, HEIG-VD Yverdon-les-Bains

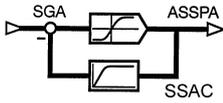
Das Thema seiner Arbeit war: «Conception d'un système de réglage « Ball on Wheel » avec caméra rapide». In der Bachelorarbeit wurde ein Demonstrationsmodell entworfen, mit dem die Leistungsfähigkeit eines Echtzeitsystems an Ausstellungen gezeigt werden kann. Das Thema war eine Kugel auf einem Rand zu balancieren. Die vielseitige Arbeit umfasste die Konstruktion der Anlage, die Entwicklung eines Auswertalgorithmus für die Echtzeiterfassung der Kugel mit einer Kamera und zu guter Letzt natürlich die Entwicklung und Implementierung der Regelung. Auch er führte mit den erläuternden Folien professionell durch seine Arbeit. Das Modell zu der Arbeit konnte nach den Präsentationen im Labor von Prof. Ruprecht Altenburger besichtigt werden.



Bild links:
Max Edelmann
Bild rechts:
Steve Vassaux

Nach den Vorträgen konnte sich Prof. Dr. Jürg Keller (Präsident SGA) der Preisverleihung widmen. Die Preise, die jeweils mit 1'000.- CHF dotiert sind, wurden in Form eines «Pseudoschecks» den beiden Preisträgern überreicht. Zusätzlich erhielten die Preisträger eine Urkunde und wurden für 2015 als Freimitglieder in der SGA willkommen geheissen.

Die SGA gratuliert herzlich und wünscht für die berufliche Zukunft viel Erfolg.



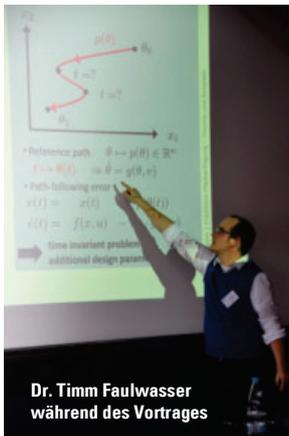
Dr. Timm Faulwasser von der EPFL Lausanne hat für seinen Fachvortrag den Titel: «Prädiktive Pfadverfolgung in Theorie und Beispielen» gewählt.

In diesem Vortrag erhielten die Teilnehmer einen Überblick über prädiktive Ansätze zur Lösung von Pfadverfolgungsproblemen. Nach einem einführenden Vergleich zwischen Pfadverfolgung und Trajektorienfolge wurde ein allgemeiner prädiktiven Ansatz für Pfadverfolgungsprobleme basierend auf einer nichtlinearen transversalen Normalform betrachtet.

Im Vortrag von **Dr. Thomas Besselmann** von ABB Corporate Research mit dem Titel «Model predictive control of ABB Megadrive LCI» wurde der Einsatz vom Model Predictive Control für grosse Antriebssysteme vorgestellt.

Im nachfolgenden Beitrag von Thomas Besselmann erhalten die SGA Mitglieder, die nicht an der Veranstaltung teilnehmen konnten, einen Einblick in seine Präsentation.

Die SGA dankt beiden Referenten an dieser Stelle noch einmal für ihre Mitwirkung an der Veranstaltung.



Dr. Timm Faulwasser während des Vortrages

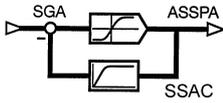


Herzlichen Dank an Dr. Thomas Besselmann

Ergänzend dazu werden, verbunden mit einem Laborrundgang, verschiedene Projekte aus dem aF&E-Bereich der ZHAW vorgestellt. Besonders hervorheben möchten wir das Projekt in dem mit Robotern Fahrzeuge mannos aus Garagen geborgen werden können um beispielsweise darin versteckte Bomben zu entschärfen.

Der Apéro am Schluss der Veranstaltung dient dem Networking und dem Austausch.





Master-Thesis:

Vollautomatische, robotergestützte Schleiftechnologie in der Armaturenfertigung



Abstract

Auf Basis einer analytischen Modellierung samt Simulationsmodell kann der dynamische Schleifprozess für Freiformflächen modelliert, simuliert und validiert werden. Das Modell wird dazu verwendet, den Schleifprozess von Armaturen zu automatisieren und den Einrichtaufwand für zu schleifende Armaturenserien zu minimieren. Neben der erhöhten Produktivität resultiert daraus die Möglichkeit, eine einzelne Armatur kosteneffizient zu schleifen. Dies soll den Lagerbestand für die Produktion reduzieren und möglichen Ausschuss verhindern. Dabei können alle Vorgaben an den Prozess berücksichtigt werden:

- mindestens die Gusshaut vollständig abzutragen,
- die notwendigen Toleranzen zu den Anbauteilen, wie z.B. Mischhebel und Sockel, einzuhalten und
- nach dem Fertigungsschritt eine Armatur mit fließenden Übergängen zu allen Freiformflächen des Designwerkstücks zu erhalten.

Im Rahmen der Thesis ist ein Laboraufbau entstanden, mit dem der Schleifprozess aktiv geregelt werden kann. Neben einem ganzheitlichen Regelalgorithmus sind wichtige Erkenntnisse aus umfangreichen Messungen im Fertigungsprozess entstanden. Der Praxis-transfer ist durch ein Umsetzungskonzept vorbereitet. Das entwickelte System ist in der Lage die prozessrelevanten Grössen der Schleifbearbeitung im Regelalgorithmus zu integrieren. Über eine entwickelte Strategie zur Prozessvorsteuerung können Unsicherheiten durch geometrische Abweichungen der Gussarmaturen, kontinuierlichen Schleifbandverschleiss und sich verändernde Maschinenparameter kompensiert werden. Die aktive Regelung des Prozesses berücksichtigt dabei die grösste Herausforderung, eine stark variable Robotersteifigkeit im Bearbeitungsprozess. Werkstücke mit geometrischen Abweichungen können trotz sich verändernden Maschinenparametern auf eine entsprechende Kontur gebracht werden, die den hohen Qualitätsanforderungen der Armaturenerstellung entspricht.

Mit der entwickelten Lösung soll die Fertigungslosgrösse auf 1 reduziert werden. Das System ist nachrüstbar gestaltet und kann roboterunabhängig auf andere Fertigungszellen übertragen werden. Neben den regelungstechnischen Neuerungen kann der korrekte Betriebszustand der Schleifzelle automatisch überwacht werden, was eine konstant hohe Qualität garantiert.

Der Beitrag behandelt eine mögliche Modellierung des Problems detailliert und zeigt den Erkenntnisgewinn durch Messungen im Feld zum Fertigungsprozess des robotergestützten Schleifens mit stationären Bandschleifmaschinen.

1. Kontext der Thesis

Das vorliegende Dokument beschreibt die Ergebnisse der Thesis nur in Ansätzen und ist in dem Sinne als nicht vollständig anzusehen. Die wichtigsten Ergebnisse und Zusammenhänge werden herausgearbeitet, ohne im Einzelnen auf die detaillierten Hintergründe eingehen zu können. Insbesondere spezifische Quantifizierungen werden nur bedingt nachvollziehbar hergeleitet, hingegen bleiben die qualitativen Aussagen zulässig

1.1 Einführung in die Problematik, Hintergrund der Arbeit

Das Thema der Arbeit ist im einem KTI-Projekt¹ der Fa. KWC AG (heute Franke Water Systems AG, KWC) und dem Institut für Automation der Fachhochschule Nordwestschweiz eingebettet. Wesentliche Ergebnisse sind im Rahmen der Thesis zum Master of Science in Engineering der Fachhochschule Nordwestschweiz entstanden.

Autor:
Max Edelmann
FHNW
Institut für Automation
5210 Windisch
max.edelmann@fhnw.ch

¹ Kommission für Technologie und Innovation KTI: <http://www.kti.admin.ch/>

Eine Herausforderung des robotergestützten Bandschleifens von Designwerkstücken mit komplexen Freiformgeometrien sind die hohen Qualitätsanforderungen an die Armaturen in Kombination mit den teilweise unbekanntenen Prozessunsicherheiten, die ein regelmässiges Korrigieren der Prozessparameter durch erfahrene Facharbeiter erfordert. Ziel ist es, eine Lösung zu entwerfen mit der die zu schleifenden Armaturrohlinge nach einmaligem Einrichten und Programmieren der Roboterbahn vollautomatisch produziert werden können.



Abbildung 1 links:
Wertschöpfungskette

Abbildung 2 rechts:
Black-Box-Modell des
Prozesses

Armaturen für Küche und Bad sind Designprodukte, die sich durch eine komplexe Geometrie bestehend aus unterschiedlichen konvexen und konkaven Radien auszeichnen. Bezogen auf den gesamten Herstellungsprozess einer Armatur, vom Gussrohling bis zum fertig montierten und verpackten Produkt, hat der Schleifprozess eine Schlüsselrolle bezüglich der erzielten Geometrie (Abbildung 1: Wertschöpfungskette). Typischerweise werden die inneren Partien der Armatur konventionell auf Werkzeugmaschinen bearbeitet. Der Schleifprozess an sich benötigt jedoch volle 6 Freiheitsgrade (Degree of Freedom DoF), um die gesamte Oberfläche bearbeiten zu können. Deshalb ist dieser Fertigungsschritt in der Vergangenheit von Hand durchgeführt worden, bevor sich der Industrieroboter auch in diesem Bereich als Standard in der industriellen Fertigung etablierte. Heutzutage wird der Industrieroboter von erfahrenen Facharbeitern mit ausgewiesener Schleifkompetenz programmiert. Dabei sind die Arbeiter für die Qualität des Prozesses verantwortlich und müssen alle auftretenden Unsicherheiten der vorgelagerten Fertigungsschritte ausgleichen. Weil sich erfahrungsgemässe wichtige Prozessparameter zusätzlich kontinuierlich ändern können und die Gussrohlinge grosse Abweichungen aufweisen können (Abbildung 2: Black-Box-Modell des Prozesses) ist ein regelmässiges Finetuning erforderlich um den Anforderungen zu genügen.

1.2 Systemanalyse

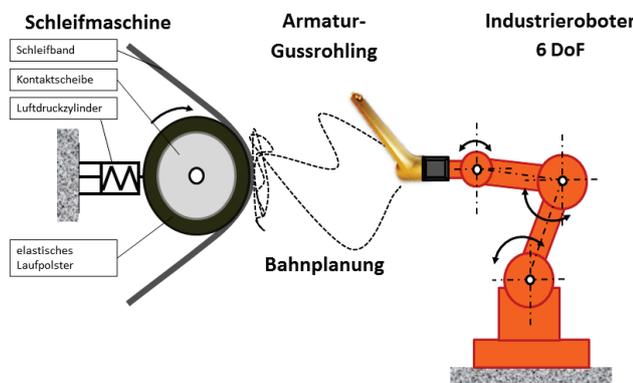


Abbildung 3:
Schematische Darstellung
der Systemgrenzen des
betrachteten Problems

Der Themenbereich der Arbeit kann anhand der schematischen Systemgrenze, die in Abbildung 3 dargestellt wird, definiert werden. Systemrelevante Komponenten sind der Industrieroboter und die Schleifmaschine, bestehend aus Schleifband, Kontaktscheibe und einem elastischem Laufpolster.

Der zu schleifende Armaturrohling wird vom Roboter auf einer vorprogrammierten Bahn an die schleifbandführende Kontaktrolle gepresst und erzeugt damit den erforderlichen Spanabtrag. Die Prozessqualität ist im wesentlichen das resultierende Schliffbild der gesamten Armatur. dabei bleibt zu beachten, dass dies ein subjektives und schwer messbares Ziel darstellt. Durch viele und teils nichtlineare Prozessgrößen ist es derzeit nicht möglich das Schleifergebnis des Prozesses direkt vorherzusagen.

Insbesondere das das schwer messbare Schliffbild als Prozesszielgröße wird durch viele verschiedene Ursachen beeinflusst, die untereinander in komplexen Wechselwirkungen zum Gesamtsystem, der Schleifzelle, stehen. Es ist kaum möglich einem ungenügenden Schliffbild eine eindeutige Fehlerursache zuzuordnen. In der Praxis wird der erfahrene Schleifer und Programmierer die programmierte Roboterbahn solange anpassen, bis das Schleifergebnis zufriedenstellend ist.

1.3 Stand der Technik und Forschung

Üblicherweise sind heute externe Messverfahren im Einsatz, um den Prozess zu verbessern. Zum einen wird über ein Lesermessverfahren der Lagefehler der Armatur innerhalb der Schleifzelle automatisch korrigiert. Zum anderen kann die Bandgeschwindigkeit mit zunehmender Einsatzzeit erhöht werden, um die sinkende Spanabtragsleistung durch den Schleifbandverschleiss zu kompensieren. Dieser Lösungsansatz kann anhand einer bekannten Bandverschleisscharakteristik vorgesteuert werden. Durch diese Verfahren bleibt der eigentliche Schleifprozess allerdings unangetastet.

Die wissenschaftliche Recherche zum Thema hat gezeigt, dass es sich um ein aktives Forschungsgebiet handelt, in dem sich besonders Schleifmaschinen-, Armaturenhersteller, Engineering-Dienstleister sowie internationale Forschungsstätten aus den Bereichen: Fertigungsverfahren, Robotik und Automation beteiligen. Einen Überblick zum aktuellen Stand der internationalen Forschung auf dem Gebiet der maschinellen Bearbeitung mit Robotern zeigt das Paper «Robot machining: recent development and future research issues» [7].

2. Analytisches Prozessmodell

Zum besseren Analyse der Problematik wird der Fertigungsprozess in der Schleifzelle modelliert. Die Fertigungszelle für den Schleifprozess ist als ein komplettes mechatronisches Gesamtsystem zu verstehen. Von besonderer Bedeutung sind dabei die Subsysteme Industrieroboter und Schleifmaschine. Das analytische Modell beschreibt die Mechanik beider Systeme separat und gemeinsam im Falle des Kontakts. Zusätzlich wird die resultierende Schleifkraft $S(t)$, als wichtigste führende Prozessgröße ausgewiesen. Ergänzend zu diesen Ausführungen sei auf die Thesis verwiesen.

2.1 Modellierung der Subsysteme Roboter und Schleifmaschine

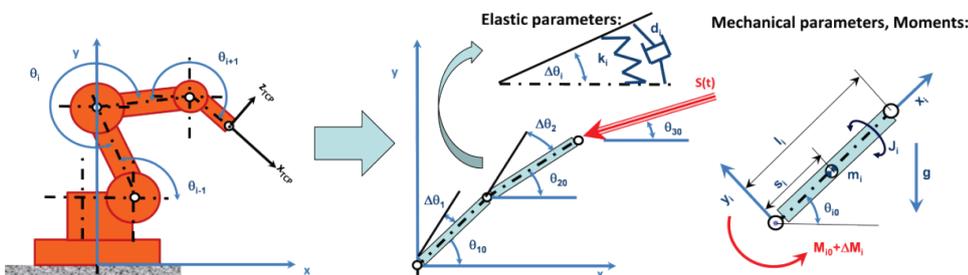
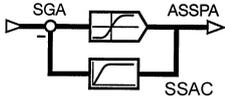


Abbildung 4:
Robotermodell als planarer
Zweigelenkbogen mit
Elastizitäten konzentriert in
den Gelenken

Ein planarer Zweigelenkbogen mit Elastizitäten in den Gelenken wird als Basis für das analytische Robotermodell verwendet, dadurch wird das Problem von 6 DoF auf 2 DoF reduziert. Die modellierte Flexibilität wird als linear und in den Gelenken konzentriert angenommen. Unter Verwendung von Parametern wie Steifigkeit k_i , Dämpfung d_i , Masse m_i , Gliedlänge l_i , Drehwinkel θ_i , Drehmoment M_i , Trägheitsmoment J_i , Abstand zum Masseschwerpunkt s_i und den Index i zum Referenzieren des entsprechenden Gliedes können die folgenden Gleichungen hergeleitet werden:



Ein planarer Zweigelenkbogen mit Elastizitäten in den Gelenken wird als Basis für das analytische Robotermodell verwendet, dadurch wird das Problem von 6 DoF auf 2 DoF reduziert. Die modellierte Flexibilität wird als linear und in den Gelenken konzentriert angenommen. Unter Verwendung von Parametern wie Steifigkeit k_i , Dämpfung d_i , Masse m_i , Gliedlänge l_i , Drehwinkel θ_i , Drehmoment M_i , Trägheitsmoment J_i , Abstand zum Masseschwerpunkt s_i und den Index i zum Referenzieren des entsprechenden Gliedes können die folgenden Gleichungen hergeleitet werden.

Zum Beschreiben der rotativen Freiheitsgrade θ_1 und θ_2 in den Drehgelenken und dessen Dynamik wird der folgende Ansatz verwendet:

$$\theta_i \rightarrow \theta_{i0} + \Delta\theta_i; \Delta\theta_i \ll \theta_{i0} \quad (1)$$

die dynamischen Kräfte können, basierend auf der Störungsrechnung, in zwei Komponenten gegliedert werden:

1. schnelle Vibrationsdynamik $\Delta\theta_i$
2. langsame Bahndynamik θ_{i0} , entsprechend der vorprogrammierten Trajektorie.
Es wird vorausgesetzt, dass die Antriebe des Roboters das erforderliche Drehmoment M_i aufbringen, um die Bewegung zu vollziehen.

Man beachte, dass die effektive Schleifkraft als Störung auf das Robotersystem einwirkt.

$$\text{Es folgt somit: } S \rightarrow \Delta S \quad (2)$$

Unter Anwendung der Mittelungsmethode [4] und Modellierungspraktiken der Roboterdynamik [5] kann eine Matrizendarstellung des Problems hergeleitet werden:

$$[M] \begin{Bmatrix} \Delta\ddot{\theta}_1 \\ \Delta\ddot{\theta}_2 \end{Bmatrix} + [D] \begin{Bmatrix} \Delta\dot{\theta}_1 \\ \Delta\dot{\theta}_2 \end{Bmatrix} + [K] \begin{Bmatrix} \Delta\theta_1 \\ \Delta\theta_2 \end{Bmatrix} = \underline{\Delta T} + \underline{\Delta S}(t) \quad (3)$$

mit

$$[M] = \begin{bmatrix} M_{11} & M_{12} \\ M_{21} & M_{22} \end{bmatrix} \quad (4)$$

$$M_{11} = m_1 s_1^2 + m_2 l_2^2 + J_{z1}$$

$$M_{12} = m_2 s_2 l_1 \cos(\theta_{20} - \theta_{10})$$

$$M_{21} = m_2 s_2 l_1 \cos(\theta_{20} - \theta_{10})$$

$$M_{22} = m_2 l_2^2 + J_{z2}$$

und

$$[D] = \begin{bmatrix} D_{11} & D_{12} \\ D_{21} & D_{22} \end{bmatrix} \quad (5)$$

$$D_{11} = 2\dot{\theta}_{10} m_2 s_2 l_1 \sin(\theta_{20} - \theta_{10}) + d_1 + d_2$$

$$D_{12} = -d_2$$

$$D_{21} = -d_2$$

$$D_{22} = 2\dot{\theta}_{20} m_2 s_2 l_1 \sin(\theta_{20} - \theta_{10}) + d_2$$

und

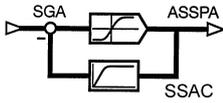
$$[K] = \begin{bmatrix} K_{11} & K_{12} \\ K_{21} & K_{22} \end{bmatrix} \quad (6)$$

$$K_{11} = -\dot{\theta}_{20}^2 m_2 s_2 l_1 \cos(\theta_{20} - \theta_{10}) + (m_1 + m_2) g s_1 \sin(\theta_{10}) - m_2 s_2 l_1 \ddot{\theta}_{20} \sin(\theta_{10} - \theta_{20}) + k_1 + k_2$$

$$K_{12} = \dot{\theta}_{20}^2 m_2 s_2 l_1 \cos(\theta_{20} - \theta_{10}) - m_2 s_2 l_1 \ddot{\theta}_{20} \sin(\theta_{10} - \theta_{20}) - k_2$$

$$K_{21} = -\dot{\theta}_{10}^2 m_2 s_2 l_1 \cos(\theta_{20} - \theta_{10}) - m_2 s_2 l_1 \ddot{\theta}_{10} \sin(\theta_{10} - \theta_{20}) - k_2$$

$$K_{22} = \dot{\theta}_{10}^2 m_2 s_2 l_1 \cos(\theta_{20} - \theta_{10}) + m_2 g s_1 \sin(\theta_{20}) - m_2 s_2 l_1 \ddot{\theta}_{10} \sin(\theta_{10} - \theta_{20}) + k_2$$



und

$$\underline{\Delta T} = \begin{Bmatrix} \Delta M_1 - \Delta M_2 \\ \Delta M_2 \end{Bmatrix}$$

$$\underline{\Delta S(t)} = \begin{Bmatrix} \Delta S(t) l_1 \sin(\theta_{10} - \theta_{30}) \\ \Delta S(t) l_2 \sin(\theta_{20} - \theta_{30}) \end{Bmatrix} \quad (7)$$

Anhand der Gleichung (3) zeigt sich die mathematische Natur des linearisierten infinitesimalen Drehwinkels $\Delta\theta_i$. Zum Lösen des Problems kann die folgende Ansatzfunktion herangezogen werden:

$$\Delta\theta_i = A_i(t) \cos \omega t + B_i(t) \sin \omega t \quad (8)$$

Aufgrund der nichtlinearen Kontaktbedingung zwischen Roboter und Schleifmaschine, die durch $S(t)$ beschrieben wird, sind die Koeffizienten A_i und B_i Funktionen in Abhängigkeit der Zeit t . Um die Mittelungsmethode anwenden zu dürfen, muss angenommen werden, dass mindestens zwei Zeitskalen vorliegen. Das bedeutet ein dynamischer Zusammenhang, der wesentlich schneller ist als die langsame Dynamik. Dadurch kann für einen gewissen Zeitraum angenommen werden, dass der Einfluss der langsamen Dynamik als konstant angesehen werden kann. Auf dieses Problem bezogen wird vorausgesetzt, dass $\dot{\theta}_{i0} \ll \Delta\dot{\theta}_i$.

Auf der anderen Seite wird die Schleifmaschine als rotierende Kontaktrolle mit linearer Führung und einem Feder-Dämpfer-Element zum Inertialsystem modelliert, die zugehörigen Parameter für Steifigkeit und Dämpfung lauten k_s, d_s . In Abbildung 5 ist das elastische Laufpolster der Kontaktrolle als ein Kraftelement mit Steifigkeit k_t und Dämpfung d_t modelliert.

Die Kontaktrolle selbst hat eine Exzentrizität e , sie ist zum Einen durch nicht-ideales Auswuchten und zum Anderen durch die einseitige Kraftwirkung S_0 des gespannten Schleifbandes bedingt. Die Exzentrizität zusammen mit der Masse m_s haben eine Unwuchtkraftwirkung in Abhängigkeit der Kreisfrequenz ω , es gilt: $F_u = m_s e \omega^2$. Dadurch wird das gesamte gekoppelte System «Roboter-Schleifmaschine» mit der Frequenz f angeregt. Die dominierende Systemfrequenz f ist gegeben durch die Drehgeschwindigkeit der Kontaktrolle, mit der Relation $\omega = 2\pi f$. Die Zentripetalkraft, die auf das elastische Laufpolster wirkt, hat eine Dehnung des Schaumstoffs zur Folge. Der Kontaktrollenradius nimmt durch die Dehnung mit steigender Drehzahl zu. Dadurch ist der Radius nicht konstant sondern eine Funktion der Frequenz, d.h. $r(f)$.

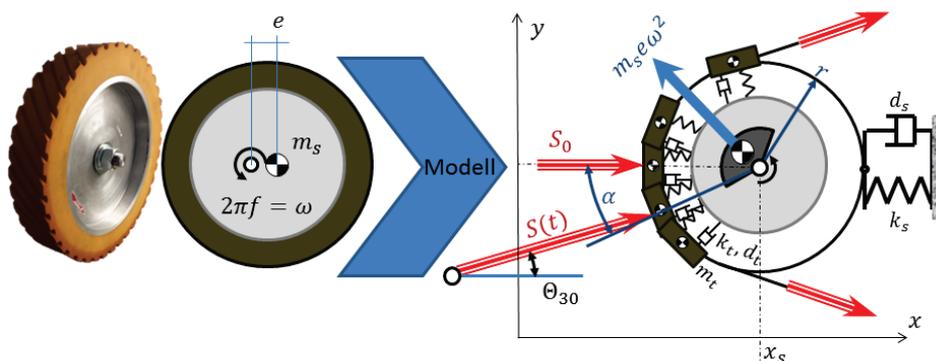


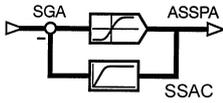
Abbildung 5:
Schleifmaschinen- und Kontaktrollenmodell

Durch geeignete Messungen im Rahmen der Thesis kann der variable Radius $r(f)$ einer mittelharten Kontaktrolle in Abhängigkeit der Frequenz f durch die folgende Funktion approximiert werden:

$$r(f) = p1 * f^2 + p2 * f + p3 + r_0 \quad (9)$$

mit $r_0 = 175\text{mm}$

Definitionsbereich: $f = [0,2500]$ in Hz



Koeffizienten (mit 95% Vertrauensintervall):

$$p1 = 4.382 \cdot 10^{-7} \quad (3.549 \cdot 10^{-7}, \quad 5.215 \cdot 10^{-7})$$

$$p2 = -12.81 \cdot 10^{-3} \quad (-30.55 \cdot 10^{-5}, \quad 4.919 \cdot 10^{-5})$$

$$p3 = 0 \quad (\text{untere Grenze})$$

Basierend auf dem Newton-Euler-Formalismus kann ein Differentialgleichungssystem zur Beschreibung der Kontaktrolle für die modellierte Schleifmaschine hergeleitet werden:

$$m_s \ddot{x}_s + d_s \dot{x}_s + k_s x_s = S \cos \Theta_{30} + m_s e \omega^2 \sin \omega t + S_0$$

$$m_s \ddot{y}_s = m_s g + S \sin \Theta_{30} + m_s e \omega^2 \cos \omega t - N$$

$$J_s \dot{\omega} = -r(f) S \sin(\Theta_{30} - \alpha) + M \quad (10)$$

In x-Richtung kann die Unwucht bei konstanter Drehzahl als eigener Schleifmaschinenkraftanteil zusammengefasst werden. In Messungen an realen Maschinen hat sich jedoch gezeigt, dass hier vernachlässigte Effekte eine zusätzliche schwingungsförmige Kraftwirkung haben. So sind zum Beispiel die Schwingungen der Antriebsrolle und aller Umlenkrollen, über die das Schleifband geführt wird, messbar. Weiter sind Schleifband und sonstige Maschinenschwingungen messbar, können aber vernachlässigt werden. Als allgemeiner Modellierungsansatz kann eine beliebige Schwingung mittels einer Sinusfunktion dargestellt werden. Grundsätzlich werden diese Abweichungen im Modell als Summe von Residuen in der Formel berücksichtigt und als R zusammengefasst, es ergibt sich:

$$f_m = m_s e \omega^2 \sin \omega t + \underbrace{\sum_i \rho_i \sin \omega_i t + \phi_i}_R \quad (11)$$

2.2 Modellierung der Kontaktrollen-Roboter-Interaktion

Im Prinzip wird für den Schleifprozess die kinematische Kette über das Werkstück, am Endeffektor des Roboters, und die Kontaktrolle der Schleifmaschine geschlossen. Beide Systeme interagieren nur im Kontaktfall miteinander, ansonsten nicht. Die wirkende Kontaktkraft $S(t)$ wird im wesentlichen über die Position des Endeffektors und der Kontaktrolle beschrieben, siehe Abbildung 6. Berücksichtigt werden müssen noch die beiden Winkel Θ_{30} und α , um die geometrische Beziehung zu komplettieren. Es folgt $u(t)$ als Distanzmaß zwischen den beiden Systemen während des Fertigungsprozesses:

$$u(t) = l_1 \cos \Theta_{10} + l_2 \cos \Theta_{20} + r(f) \cos \alpha + x_s - \Delta \Theta_1 l_1 \sin \Theta_{10} - \Delta \Theta_2 l_2 \sin \Theta_{20} \quad (12)$$

Der Spanabtrag steht in einem linearen Zusammenhang zur wirkenden Reibkraft. Die Relation zwischen der normalen Kontaktkraft N_t und der orthogonalen Reibkraft F_R beschreibt das Coulomb'sche Reibgesetz.

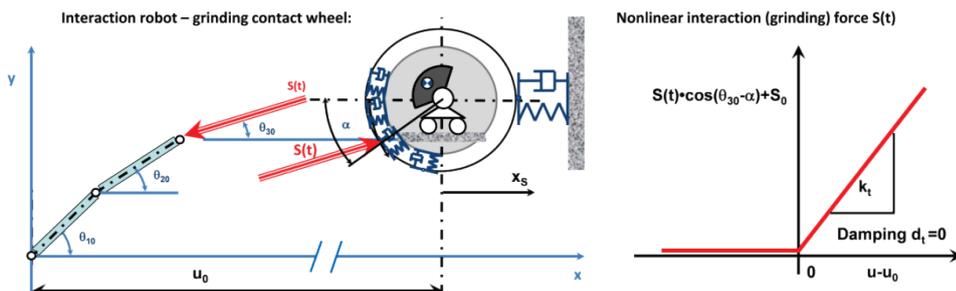
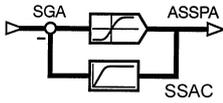


Abbildung 6:
Darstellung zur
Kontaktmodellierung



Der Bandschleifprozess erfordert kein Kühlschmiermittel und das Schleifband ist immer in Relativbewegung zum Werkstück. Deshalb ist das Gesetz für die trockene Gleitreibung zulässig:

$$F_R = \mu * N_t \quad (13)$$

$$\text{mit } N_t = S(t) \cos(\theta_{30} - \alpha) \quad (14)$$

$$\text{und } \mu = \mu(t) ; \text{ Schleifbandparameter} \quad (15)$$

Der Reibungskoeffizient μ sollte während dem Prozess gemessen werden, weil er vom Schleifbandverschleiss abhängig ist und sich exponentiell über die Zeit verschlechtert. Zudem ist die Kontaktbedingung sowohl kraft- als auch wegbestimmt. Das kann analytisch wie folgt unterschieden werden:

$$N_t = S(t) \cos(\theta_{30} - \alpha) = \begin{cases} d_t \delta + k_t \delta, & \text{wenn } \delta = u(t) - u_0 > 0 \\ 0, & \text{sonst} \end{cases} \quad (16)$$

Die Schleifkraft $S(t)$ wird in Gleichung (16) über die Variable δ bestimmt, einem Mass für die geometrische Überschneidung beider Systeme. Diese Fallunterscheidung genügt zur Bestimmung des Kontakts im Modell.

2.3 Systematische Modellvereinfachung

Die bisherigen Gleichungen beschreiben die nichtlineare Roboter-Kontaktrollen Dynamik und können unter bestimmten Voraussetzungen weiter vereinfacht und sogar in ein translatorisches Modell überführt werden, siehe Abbildung 7.

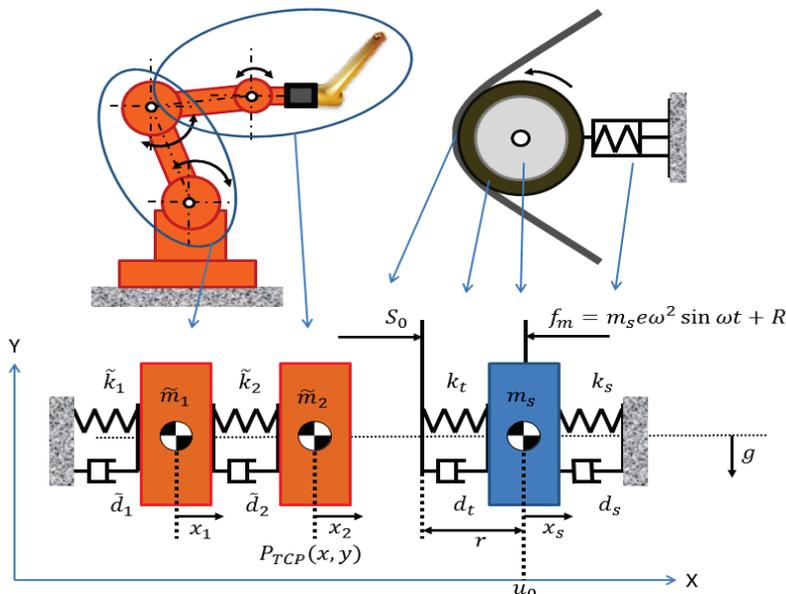


Abbildung 7:
Modellvereinfachung zum
Dreimassenschwinger mit
Kontaktbedingung

Während des Schleifbandkontaktes mit dem Werkstück ändert der Roboter nur geringfügig und verglichen mit der zur Schnittgeschwindigkeit relativ langsam seine Achswinkel. Im Gegensatz dazu wird in den Zeitabschnitten ohne Kontakt das Werkstück mit maximaler Achswinkelgeschwindigkeit umorientiert, um die nächste Oberflächenpartie schleifen zu können. Weil während der schnellen Manöver kein Kontakt mit dem Schleifband besteht, können die Formeln für den Roboter stark vereinfacht werden. Zudem ist der Einfluss des Spanabtrages auf die Überschneidungsvariable δ als sehr gering anzunehmen und kann vernachlässigt werden. Das ist dadurch begründet, dass das Werkstück immer in Bewegung ist und somit konstant durch die programmierte Bewegung Material in den Kontaktbereich gebracht wird.

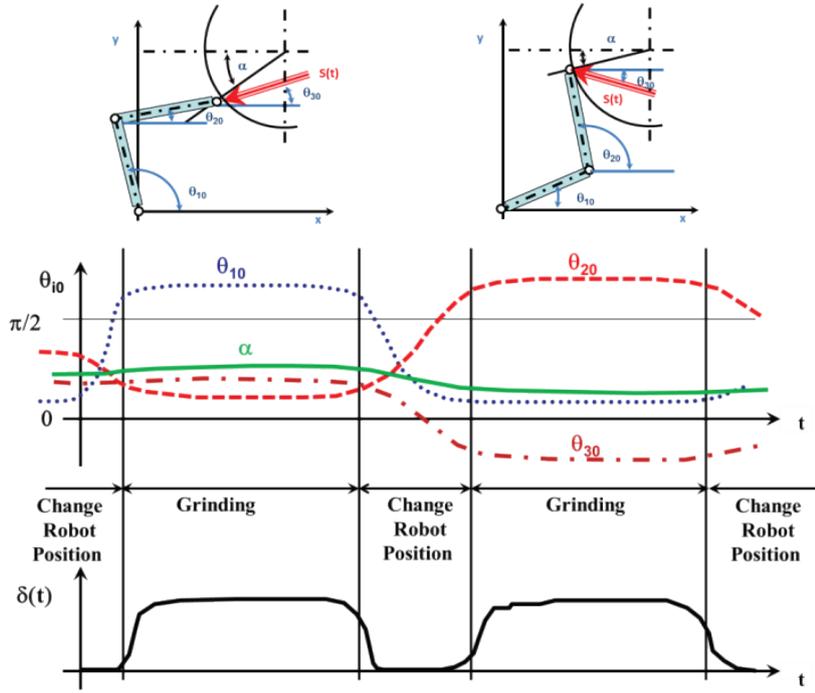
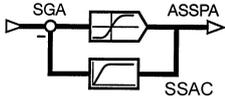


Abbildung 8:
Hauptcharakteristik der
Roboterbewegung und
deren Auswirkung auf den
Prozessparameter geometrische
Überschneidung

Abbildung 8 zeigt beispielhafte Achspositionen während des Prozesses mit und ohne Schleifkontakt. Zwischen zwei Schleifabschnitten wird das Werkstück umorientiert. Gemäss der Störungsrechnung werden die folgenden Annahmen formuliert:

1. Die geometrische Überschneidung $\delta(t)$ beider Systeme ist die Stellvariable des vereinfachten Modells:

Annahme $\dot{\theta}_{i0} \ll 1, \ddot{\theta}_{i0} \ll 1$

Daraus folgt $\dot{\theta}_{i0} \ll \Delta\theta_i, \ddot{\theta}_{i0} \ll \Delta\ddot{\theta}_i$

2. Die Differenz der beiden Drehgelenkwinkel ist $|\theta_{10} - \theta_{20}| \approx \frac{\pi}{2}$

3. Zusätzlich wird der Momentenvektor mit den Gravitationskräften gleichgesetzt:

$$\underline{\Delta T} = \begin{Bmatrix} \Delta M_1 - \Delta M_2 \\ \Delta M_2 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} (m_1 + m_2)g s_1 \sin \theta_{10} \\ m_2 g s_2 \sin \theta_{20} \end{Bmatrix} \quad (17)$$

Konsequenterweise führen diese Annahmen mit den bisherigen Gleichungen (4 bis 6) zu vereinfachten Matrixformen für den Roboter:

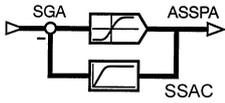
$$[M] = \begin{bmatrix} m_1 s_1^2 + m_2 l_2^2 + J_{z1} & 0 \\ 0 & m_2 l_2^2 + J_{z2} \end{bmatrix}$$

$$[D] = \begin{bmatrix} d_1 + d_2 & -d_2 \\ -d_2 & d_2 \end{bmatrix}$$

$$[K] = \begin{bmatrix} k_1 + k_2 & -k_2 \\ -k_2 & k_2 \end{bmatrix}$$

Die gesamte Systemdynamik kann in ein translatorisches System mit drei Freiheitsgraden überführt werden, wenn mit einer frei wählbaren charakteristischen Länge λ die Drehwinkel in eine Distanz transformiert werden. Hierzu wird $x_i := \Delta\theta_i \lambda$ eingeführt. Für die transformierten mechanischen Parameter des Roboters gilt nun:

$$\tilde{m}_i := \frac{m_i}{\lambda}, \quad \tilde{d}_i = \frac{d_i}{\lambda}, \quad \tilde{k}_i = \frac{k_i}{\lambda} \quad (18)$$



Schlussendlich erhalten wir die folgende vereinfachte Differentialgleichung beider Systeme im Kontaktfall:

$$[M]\ddot{\underline{x}} + [D]\dot{\underline{x}} + [K]\underline{x} = \underline{S}$$

$$\begin{bmatrix} \tilde{m}_1 & 0 & 0 \\ 0 & \tilde{m}_2 & 0 \\ 0 & 0 & m_s \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \\ \dot{x}_s \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} \tilde{d}_1 + \tilde{d}_2 & -\tilde{d}_2 & 0 \\ -\tilde{d}_2 & \tilde{d}_2 & 0 \\ 0 & 0 & d_s \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_s \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} \tilde{k}_1 + \tilde{k}_2 & -\tilde{k}_2 & 0 \\ -\tilde{k}_2 & \tilde{k}_2 & 0 \\ 0 & 0 & k_s \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_s \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} S_1 \\ S_2 \\ S(t) \cos \theta_{30} + f_m + S_0 \end{Bmatrix} \quad (19)$$

Diese Matrixform stellt einen äquivalenten Dreimassenschwinger mit Kontaktbedingung dar, siehe Abbildung 7. Wobei die Parameter mit \sim theoretisch stark variieren können und nur für einen kurzen Kontaktzeitraum linearisiert werden dürfen. Voraussetzung ist, dass der Roboter seine Achswerte nur geringfügig ändert und keine Singularitätsposition vorliegt.

Aus dieser analytischen Prozessbeschreibung ist ein numerisches Simulationsmodell erstellt worden. Das Modell berücksichtigt die vorherrschende Kontaktsituation, Kontaktfall werden die beiden schwingungsfähigen Subsysteme Roboter und Maschine gekoppelt und es entsteht der hergeleitete Dreimassenschwinger. Die Simulationsergebnisse zeigen bezüglich der Dynamik trotz starken Modellreduktionen und teilweise unbekannter Systemparameter eine gute Übereinstimmung mit den durchgeführten Messungen, siehe Abbildung 9.

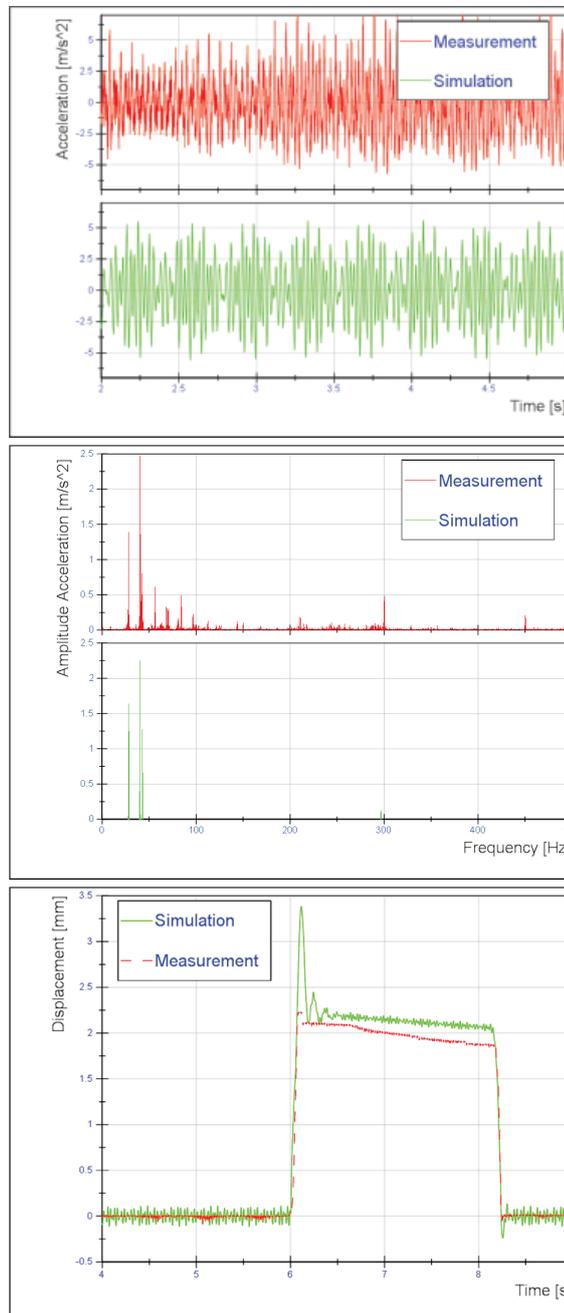
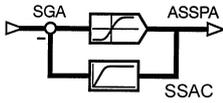


Abbildung 9:
Vergleich Messdaten mit
simulierten Modelldaten



3. Wichtige Erkenntnisse zum robotergestützten Bandschleifprozess

Im Vergleich zum bisherigen Schleifprozess, in dem die Kontaktscheibe im Kontaktfall durch den Pneumatikzylinder nachgibt, kann der Prozess, durch Implementierung des entwickelten Laboraufbaus auf Seite der Schleifmaschine, aktiv kraft- oder positionsgeregelt durchgeführt werden. Der Pneumatikzylinder als passives Element wird im Laboraufbau durch einen elektro-dynamischen Linearmotor ersetzt.

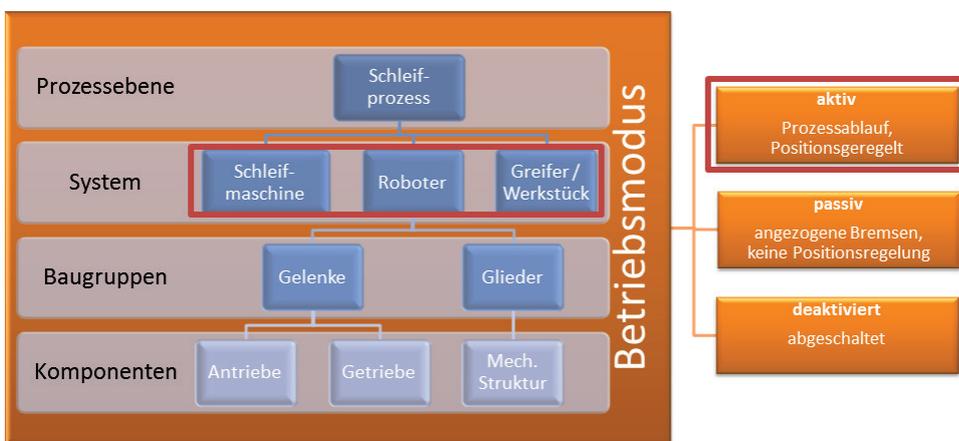


Abbildung 10: Einflüsse auf die Systemsteifigkeit des Industrieroboters

Dieser kann intern die Position erfassen und extern über ein kraftmessendes Element zwischen Kontaktrolle und Antrieb die Prozesskräfte aufnehmen. Mit den Messsignalen wird der Regelkreis über einen Regler in PID-Struktur geschlossen. Es kann dabei entweder nur die Position oder nur die Kraft im Prozess geregelt werden. Der Laboraufbau bietet Funktionalitäten einer speicherprogrammierbaren Steuerung und kann somit einen komplexen Algorithmus zur Prozesssteuerung abarbeiten.

3.1 Systemdynamik, Robotersteifigkeit und Stabilitätsproblematik

Die gesamte Systemdynamik des Schleifprozesses ist von der veränderlichen Steifigkeit des Industrieroboters abhängig. Diese stellt deshalb ein grosses Risiko für die Stabilität des Prozesses dar. Um erfolgreich einen Prozessregler zu implementieren, ist es erforderlich die Systemsteifigkeit des Roboters zu kennen. Dazu sind entsprechende Messreihen durchgeführt worden.

Frequenz [Hz]	Phasenverschiebung [°]	Steifigkeit Peak-Peak [N/mm]	Nachgiebigkeit Peak-Peak [mm/N]
0	-	58	0.0172
2.5	-13	63	0.0159
5	-5	51	0.0196
10	-100	25	0.0400
20	-160	195	0.0051

Tabelle 1 Dynamische Steifigkeit - Messwerte

Robotersteifigkeit

Die Steifigkeit oder Nachgiebigkeit² des Roboters ist ein wichtiger Parameter für den Schleifprozess, da er wesentlich die Schleifkraft beeinflusst. Das Problem bei diesem Parameter ist, dass er stark von der Stellung (Position, Orientierung) des Roboters abhängt und nicht vom Hersteller angegeben wird. Deshalb werden Roboter grundsätzlich überdimensioniert im Vergleich zu den Kräften, die in der jeweiligen Applikation zu erwarten sind. Im Forschungsbereich mit Industrierobotern sind verschiedene Publikationen zu finden, die sich diesem Problem widmen [6; 3].

Um die systemrelevante Steifigkeit des Industrieroboters im Bandschleifprozess beschreiben zu können, ist es notwendig die steifigkeitsbeeinflussenden Faktoren zu kennen. Grundsätzlich sind für den Schleifprozess sowohl die statische als auch die dynamische Steifigkeit von Bedeutung. Weiter ist die Steifigkeit auf verschiedene Komponenten des Roboters zurückzuführen und demnach auf mehreren Systemebenen angesiedelt, siehe Abbildung 10.

² Nachgiebigkeit ist invers zur Steifigkeit

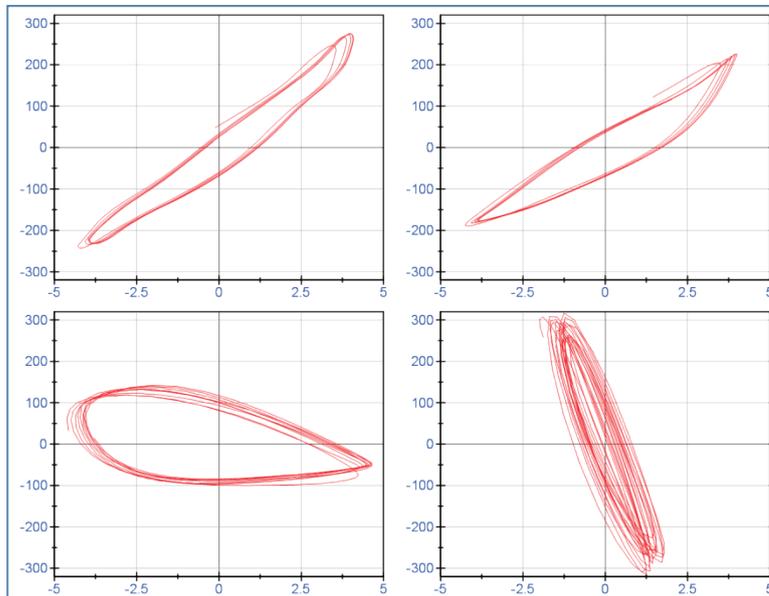
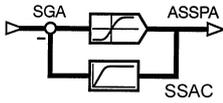


Abbildung 11:
Phasenplot Weg-Kraft der
Schwingung. 2.5Hz (oben
links), 5Hz (oben rechts),
10Hz (unten links), 20Hz
(unten rechts). Abszisse
[mm], Ordinate [N]

Zum einen liegen mechanische Steifigkeiten in den einzelnen Komponenten: Antriebsmotoren, Getriebe, und den mechanischen Strukturen der Glieder und des Greifsystems zugrunde. Zum anderen hat der Betriebsmodus einen Einfluss auf die resultierende Steifigkeit. Während dem Schleifprozess wird die Position des Werkstücks geregelt und Positionsfehler bewirken steigende Antriebsmomente um die Laständerungen zu kompensieren. Aus diesem Zusammenhang kann eine virtuelle Steifigkeit resultieren, die grösser ist als die reine mechanische Steifigkeit und zusätzlich von den Regelparametern der Steuerung abhängt.

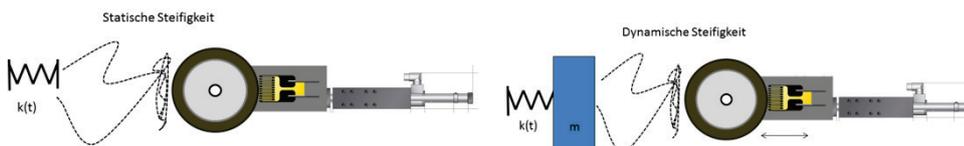


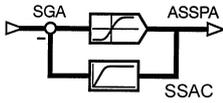
Abbildung 12:
Ansatz zur Modell-
reduktion

Die Systemsteifigkeit ist im Kontaktfall von der Schleifmaschine, den spezifischen Roboter-eigenschaften, der aktuellen Stellung, dem verwendeten Greifer und Werkstück sowie vom Betriebsmodus abhängig. Es ist deshalb kaum möglich diesen komplexen Parameter analytisch zu bestimmen.

Dynamische Steifigkeit

Die dynamische Steifigkeit ist im Gegensatz zur statischen Steifigkeit von der Frequenz abhängig und kann stark variieren, falls eine Resonanz des gekoppelten Systems angeregt wird. Zur Untersuchung der dynamischen Steifigkeit wird im Kontakt mit dem Roboter in einer bestimmten Stellung eine Sinusschwingung über den Positionsregler aufgebracht. Unter der Annahme, dass eine Stellung, nahe einer Singularität, eine hohe Nachgiebigkeit und eine niedrige Resonanz aufweist kann der ungünstigste Fall untersucht werden und so eine mögliche Variante zur Vereinfachung des Robotermodells bieten.

Der Phasenplot zu den einzelnen Messungen gibt Auskunft über das Kraft-Weg-Verhältnis der eingeleiteten Sinusschwingung. Die eingeschlossene Fläche ist ein Mass für die Dämpfung. Die Orientierung der Längsachse ist von der Phasenverschiebung abhängig, siehe Abbildung 11. Die Messung bei 2.5 Hz und 5 Hz sind sich ähnlich, weil beide unterresonant sind, d.h. es liegt eine quasistatische Steifigkeit vor. Bei 10 Hz befindet sich das System über der ersten Resonanz. Die Resonanz ist bei -90° Phasenverschiebung zu finden. Es ist deutlich erkennbar, dass die dynamische Steifigkeit stark abnimmt, bzw. die Nachgiebigkeit zunimmt. Bei 20 Hz wird das System überresonant angeregt. Es ergibt sich eine wesentlich höhere dynamische Steifigkeit, die zudem in Gegenphase schwingt.



Weitere Modellreduktionen anhand der Messungen

Anhand der durchgeführten Steifigkeitsmessung kann das entwickelte Modell für Anwendungen mit einer Regelgeschwindigkeit von bis zu 5 Hz auf eine Federsteifigkeit reduziert werden. Sind Frequenzen darüber hinaus für die Regelung interessant, ist das gemessene Resonanzverhalten für das Modell relevant. Das Modell des Roboters kann auf einen Einmassenschwinger mit einer Resonanz reduziert werden, siehe Abbildung 12.

Resonanz und Stabilitätsbetrachtung

Im Resonanzfall ist das Überschwingen wesentlich von der Dämpfung abhängig. Je höher die Dämpfung ist, desto geringer wirkt sich die Resonanz negativ auf den Prozess aus. Die Dämpfung bei einem so komplexen System wie dem Industrieroboter exakt zu ermitteln ist praktisch nicht möglich und auch nicht mehr Thema der Arbeit.

Für die weitere Arbeit innerhalb der betrachteten Systemgrenze wird angenommen, dass ein günstiger Dämpfungsfaktor D zwischen 0 ... 1 vorliegt [1]. Die Dämpfung kann dann anhand der bekannten Systemcharakteristik gefittet werden.

Systemidentifikation

Im Rahmen der statischen Steifigkeitsmessung sind Steifigkeitsparameter zu verschiedenen Roboterstellungen zu ermitteln. Darüber hinaus sind dynamische Steifigkeiten zu verschiedenen Frequenzen mit einer singularitätsnahen Roboterstellung zu ermitteln. Durch die beispielhaften Kennwerte der Messung in Tabelle 1 kann eine Systemidentifikation durchgeführt werden. Unter der Annahme, dass die Resonanzfrequenz dieser Roboterstellung bei ca. 10 Hz liegt folgt:

$$k \approx 60 \frac{N}{mm} ;$$

$$\omega_0 = f_0 2\pi \approx 10 \text{ Hz} * 2\pi \approx 62.8319 \frac{rad}{s}$$

$$\sqrt{\frac{k}{m}} = \omega_0 \rightarrow m \approx 16 \text{ kg} \quad (20)$$

Für das dynamische Verhalten kann anhand der gemessenen Frequenzen ein entsprechendes Übertragungsverhalten angenommen werden. Es ergibt sich eine geeignete Übertragungsfunktion als ein Verzögerungsglied 2. Ordnung, auch PT2-Glied genannt [2]. Weil die Roboterstellung sehr nahe an einer Singularität liegt kann weiter angenommen werden, dass dieses modellierte PT2-Glied für den Einsatz im regulären Fertigungsprozess mit diesem Robotertyp ausreichend ist. Die Roboterstellung wird in der weiteren Arbeit als Worst-Case-Stellung angenommen. Es lässt sich eine geeignete parametrisierte Übertragungsfunktion des PT2-Gliedes $G(s)$ ermitteln zu:

$$G(s) = \frac{K_p}{1 + \frac{2D}{\omega_0}s + \frac{1}{\omega_0^2}s^2} = \frac{0.01667}{1 + 0.006463s + 0.0002611s^2}$$

mit $K_p = \frac{1}{k} = \frac{1}{60} \frac{mm}{N} ; f_0 = 9.85 \text{ Hz} \rightarrow \omega_0 = 61.8894 \frac{rad}{s} ; D = 0.2 \quad (21)$

Diese rekonstruierte Übertragungsfunktion $G(s)$ zeigt eine gute Deckung mit den Messwerten der Messreihe zur dynamischen Steifigkeitsmessung, siehe Abbildung 13.

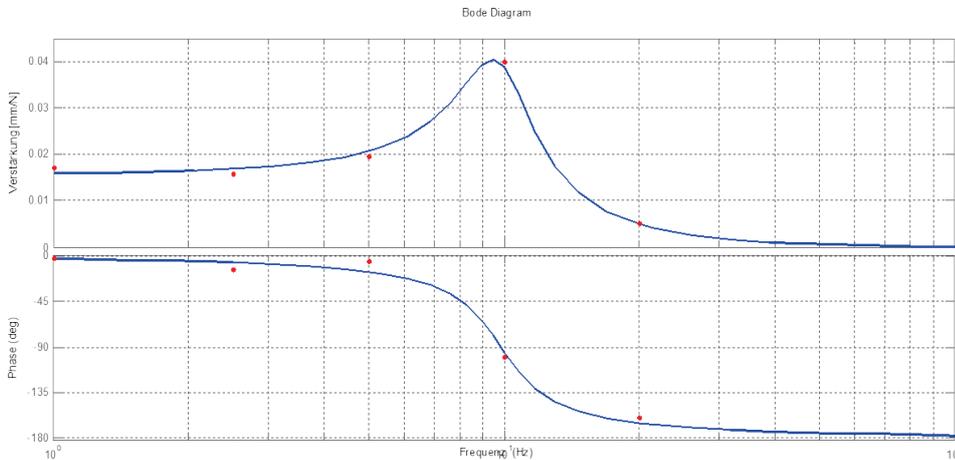
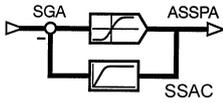


Abbildung 13: Bode-Diagramm der ermittelten Übertragungsfunktion $G(s)$ und Vergleich mit den Messwerten

3.2 Nicht-Konstanter Kontaktscheibenradius

Es ist bekannt, dass der Radius der Kontaktscheibe von der Drehzahl abhängt. Durch die wirkenden Zentripetalkräfte weitet sich der Schaumstoff des Laufpolsters auf und der Radius nimmt zu. Bisher liegen keine quantitativen Daten zu diesem Phänomen vor. Allerdings kann eine geeignete Regressionsfunktion bestimmt werden, die den Radius in Abhängigkeit des Parameters Drehzahl ausdrückt. Für die mittelharte Kontaktrolle ist diese gegeben in Gleichung (9). Die Koeffizienten des Polynoms und damit die Rate der Zunahme bei steigender Drehzahl sind abhängig von der spezifischen Kontaktrolle, siehe Abbildung 14.

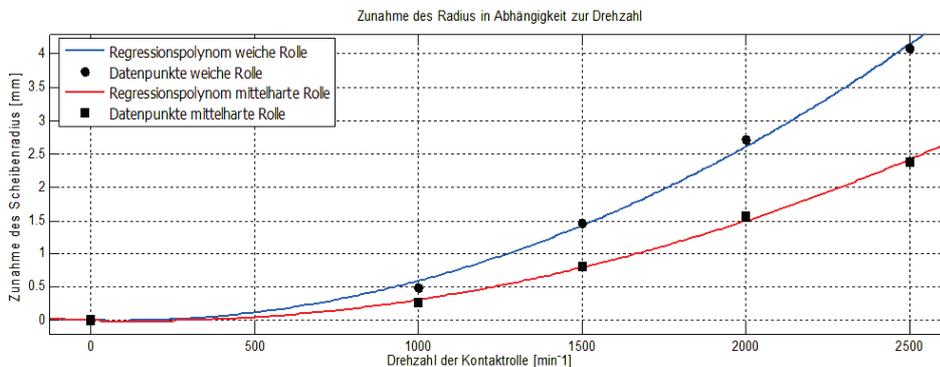


Abbildung 14: Regressionspolynom zur Drehzahlabhängigkeit

3.3 Kontinuierlicher Schleifbandverschleiss

Es ist bekannt, dass die Spanabtragleistung des Schleifbandes mit zunehmendem Verschleiss abnimmt. Diesem Zusammenhang liegt eine Exponentialfunktion zu Grunde, wodurch der Reibungskoeffizient $\mu(t)$ des Bandes am Anfang sehr stark abnimmt und sich gegen Ende der Einsatzzeit nur noch marginal verändert. Der Zusammenhang zum Fertigungsprozess sei in Gleichung (12) – (15) gegeben. Mit der Annahme, dass der Reibungskoeffizient proportional zu den gefertigten Teilen abnimmt kann eine Regressionskurve in Exponentialform mit der Werkstückzahl Stk als Basis gefunden werden, siehe Abbildung 15.

Im Laboraufbau ist eine Methode zum Schleifbandverschleiss während des Prozesses zu messen implementiert. Dadurch kann eine Möglichkeit gegeben werden den Maschinenzustand laufend zu überprüfen.

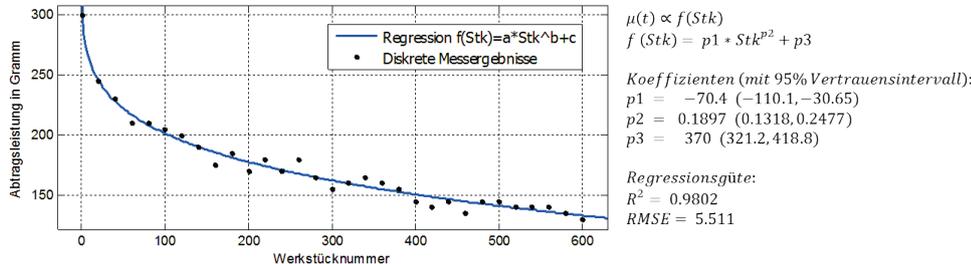
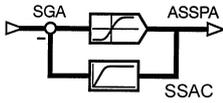


Abbildung 15: Spanabtragsleistung verschiedener Bänder im Verlauf der Einsatzdauer

4. Entwickelte Automationslösung

Auf Grundlage der Messungen und gewonnen Erkenntnisse wird ein ganzheitlicher Regelalgorithmus definiert, der in der Lage ist über auftretende Prozessunsicherheiten Lage- und Gussfehler und modellierte Prozessstörungen zu berücksichtigen. Um eine stabile und robuste Regelung zu gewährleisten, wird die effektive, prozessrelevante Systemsteifigkeit zu einer programmierten Roboterbahn berücksichtigt. Anhand einer Erkenntnisse und Messungen in der Produktion können Sollgrößen für den geregelten Fertigungsprozess bestimmt werden. Dadurch entfällt zukünftig der Aufwand den Bearbeitungsprozess regelmässig nachstellen zu müssen. Beim Bearbeiten der Werkstücke kann der Prozessregler mit einem Feedforwardsystem beaufschlagt werden, um den Abmessungen der aktuellen Werkstücke besser entsprechen zu können.

Als korrigierende Massnahmen sind je nach Situation verschiedene Ansätze möglich. Sollte sich beispielsweise herausstellen, dass eine Armatur Übermass hat, so könnte das Roboterprogramm entsprechend verlangsamt werden. Durch eine proportional zum ermittelten Übermass steigende Kontaktzeit eines verlangsamt Programms würde mehr Spanabtrag generiert und die Armatur mit Übermass auf das Referenzmass gebracht. Dabei können die geregelten Prozessparameter mit gleichen Sollwerten betrieben werden und so für die geforderten, gleichmässigen Übergänge der Freiformflächen sorgen.

5. Zusammenfassung

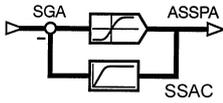
In der Thesis wird die Automatisierung des robotergestützten Bandschleifprozesses untersucht. Ziel ist die Seriengrösse einer Designarmatur mit Freiformflächen auf die Einheit 1 zu senken und die Flexibilität der Produktion zu maximieren.

In diesem Beitrag werden mögliche Prozessherausforderungen identifiziert und durch Messungen beispielhaft quantifiziert. Aus den Erkenntnissen der gemeinsamen anwendungsbezogenen Forschungs- & Entwicklungsarbeit ist im Rahmen der Thesis ein Algorithmus zur Automatisierung des Fertigungsprozesses inklusive eines Umsetzungskonzeptes entstanden.

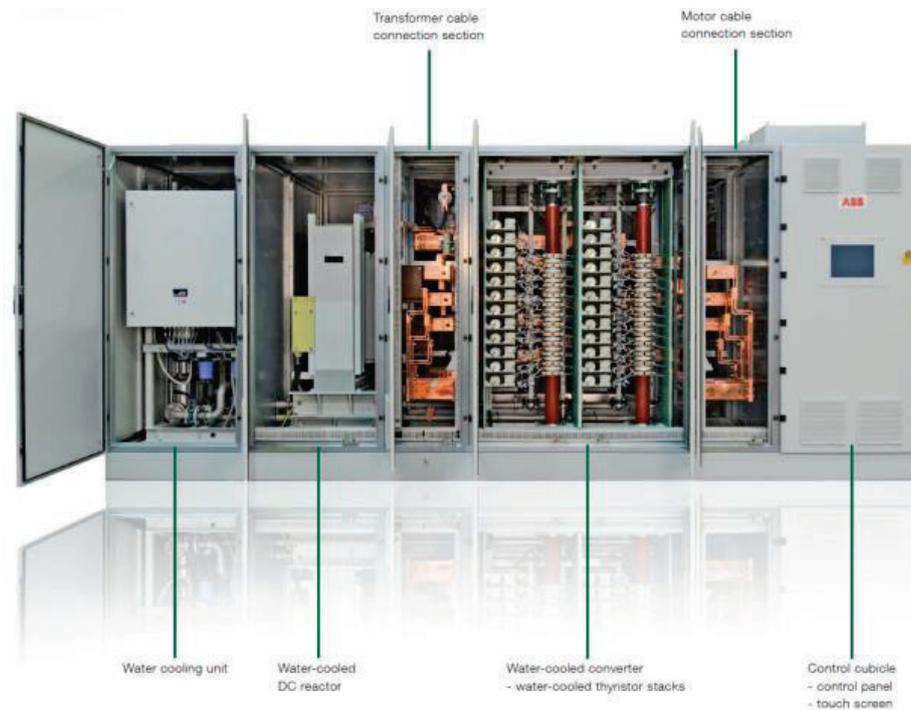
Für die sehr gute Zusammenarbeit sei allen beteiligten Mitarbeitern der Firma KWC und des Instituts für Automation der Fachhochschule Nordwestschweiz gedankt. Das Forschungsprojekt, indem diese Arbeit entstanden ist, wurde von der KTI gefördert.

6. Quellen

- [1] Gasch, Robert, Klaus Knothe, und Robert Liebich. *Strukturdynamik, Diskrete Systeme und Kontinua*. Springer, 2012.
- [2] Lutz, Holger, und Wendt Wolfgang. *Taschenbuch der Regelungstechnik*. Deutscher Fachschriften-Verlag, 2005.
- [3] Puzik, Arnold. *Genauigkeitssteigerung bei der spanenden Bearbeitung mit Industrierobotern durch Fehlerkompensation mit 3D-Piezo-Ausgleichsaktorik*. Heimsheim: Jost-Jetter Verlag, 2011.
- [4] Sanders, Jan, Ferdinand Verhulst, und James Murdock. *Averaging Methods in Nonlinear Dynamical Systems*. London: Springer, 2007.
- [5] Siciliano, Bruno, und Oussama Khatib. *Springer Handbook of Robotics*. Springer, 2008.
- [6] Weigold, Matthias. *Kompensation der Werkzeugabdrängung bei der spanenden Bearbeitung mit Industrierobotern*. Dissertation, PTW: Innovaion Fertigungstechnik, Technische Universität Darmstadt, Darmstadt: Shaker Verlag, 2008.
- [7] Yonghua Chen, Fenghua Dong. «Robot machining: recent development and future research issues.» *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, June 2013: 1489-1497.



Model Predictive Control of ABB's Megadrive LCI



Autor:

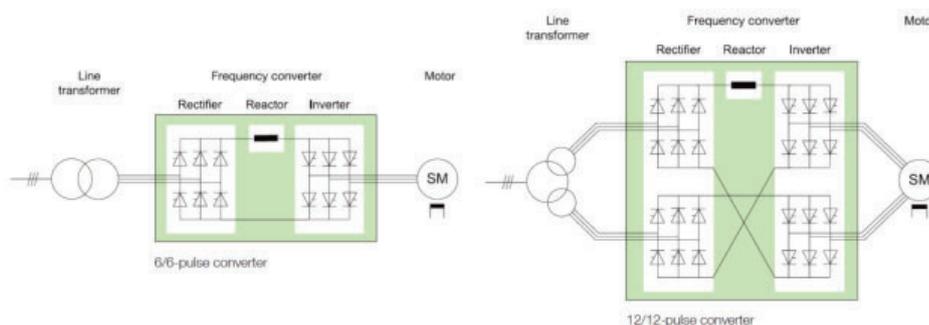
Dr. Thomas Besselmann
ABB Switzerland Ltd
Corporate Research
5405 Baden-Dättwil

E-Mail:
thomas.besselmann@ch.abb.com

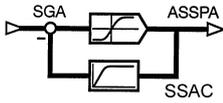
This report outlines a new torque regulation of a variable speed synchronous machine (SM) fed by a Load Commutated Inverter, ABB's Megadrive LCI. The proposed control approach is model predictive control (MPC) where both the rectifier and inverter firing angles are considered as control inputs.

Conventional controllers assign different tasks to the rectifier and inverter firing angle. In contrast, the model predictive controller coordinates the firing angles and this improves the dynamic performance and disturbance rejection. In particular, the proposed controller handles line side under voltage conditions better than a conventional PI controller. The nonlinear model predictive torque controller has been implemented on an embedded system and applied in an experimental test bed. The experiments confirm that the controller is able to successfully ride through line side under voltage conditions.

This report is split into three sections. First we provide information to ABB's Megadrive LCI. Then we summarize the working principle of MPC. Finally we provide some experimental results with the new control setup.



Examples of MEGADRIVE-LCI converter configurations



ABB's Megadrive LCI



Since its market introduction in 1974 the MEGADRIVE-LCI has gained an undisputed reputation for reliable operation in the harshest environments.

The MEGADRIVE-LCI is the preferred choice when it comes to reliable and efficient operation of high-power and high-voltage applications. Standard designs of the MEGADRIVE-LCI are available up to 72 MW; engineered designs to 100 MW and beyond.

In 1997, ABB set a world record by delivering the largest and most powerful electric variable speed drive to NASA. The MEGADRIVE-LCI controls the 135'000 hp (101 MW) synchronous motor of a wind tunnel fan.

ABB's WMT 2-pole motors
up to 12 MW / 6'400 rpm or
20 MW / 5'000 rpm

ABB has more than 900 MEGADRIVE-LCI units installed with a total power of 6'500 MW for applications in power plants, the oil, gas and chemical industries, in water pumping stations, marine propulsion systems and in test stands.



Thyristor power semiconductors are developed for high powers, highest reliability and low losses. They have low on-state and switching losses, which results in a converter efficiency of 99 percent, including the DC reactor.

Back-to-back test
48 MW / 3,500 rpm

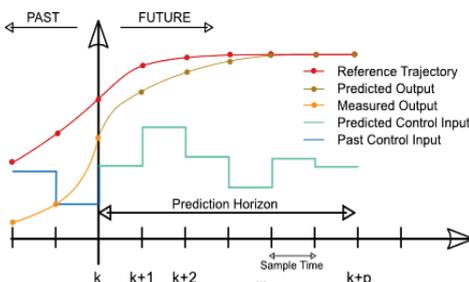
The control adjusts the actual torque or speed of the motor to the reference value. It generates the firing impulses for the thyristors in the rectifier, the inverter and the excitation converter to maintain the desired current, cos phi and voltage of the motor.

Model Predictive Control in a Nutshell

In the following the basic principles of Model Predictive Control are summarized. Model Predictive Control employs a dynamic model

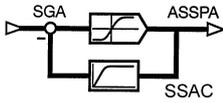
$$d/dt x(t) = f(x(t), u(t)), \quad y(t) = g(x(t), u(t))$$

to predict the evolution of the states $x(t)$ and the outputs $y(t)$ of the system to be controlled over a finite time horizon, and as a function of the control inputs $u(t)$.



At each sampling instance, starting from the current state x_k , those predictions are cast as a mathematical optimization problem, in order to determine those control inputs $u^*(t)$, which minimize a given objective function, while respecting certain constraints. In what is called the receding horizon strategy, only the first part of the control strategy $u^*(t)$ is implemented, and the optimization is repeated at the next sampling instance $k+1$, when updated state information is available.

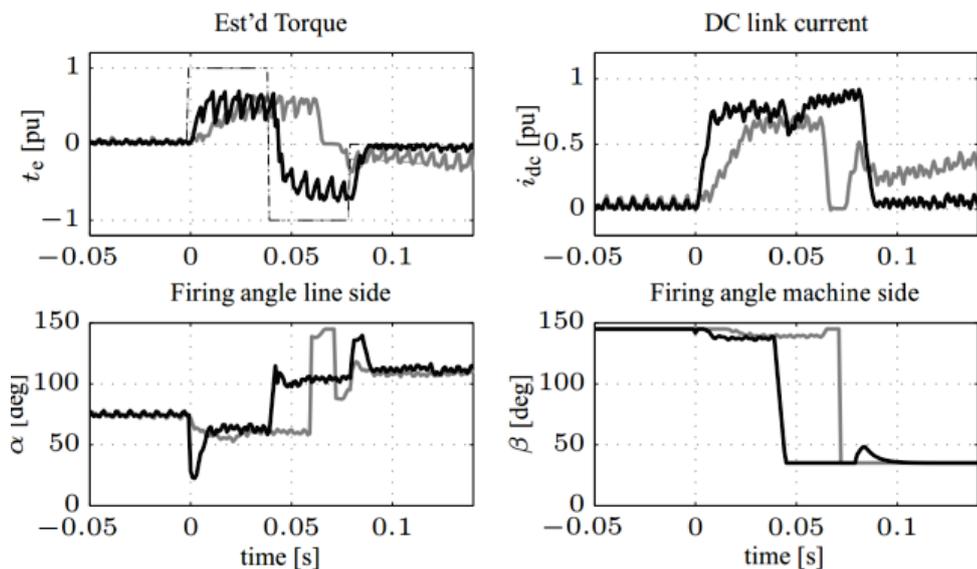
Basic MPC scheme –
(Martin Behrendt)



Experimental results



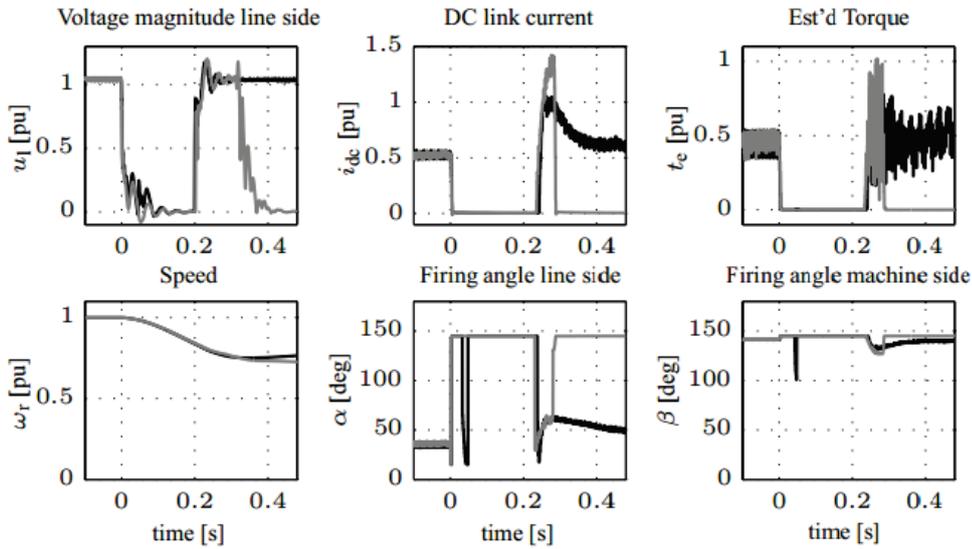
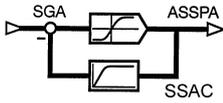
The MPC torque controller was tested on a test bed composed of a low-voltage LCI powering an 11,6 kW synchronous machine. Firstly the reaction of the proposed control solution to changes in the reference torque was tested. In this scenario the speed controller provides a torque reference for the synchronous machine to rotate with 0.5 pu speed in steady state. At time zero the torque reference of the speed controller is overwritten by a torque reference of 1 pu for 40 ms. Then the torque reference is set to -1 pu for another 40 ms. Finally the speed controller resumes control again.



Reaction of the MPC scheme (black) and of a state-of-the-art PI controller (grey) to torque reference steps

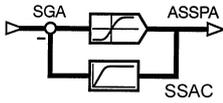
The figure shows the reactions of the MPC scheme (black) and of a state-of-the-art PI controller (grey). For the positive torque step, the MPC achieves a rise time of under 10 ms, compared to more than 20 ms for the PI controller. The change from accelerating to breaking shows an even bigger difference in behaviour. The PI controller waits for 20 ms before it reacts at all. Then it discharges the DC link before starting to break. The total delay is nearly 35 ms, such that it barely breaks at all within the 40 ms window. In contrast the MPC changes smoothly from accelerating to breaking, without discharging the DC link.

In order to test the resilience of the MPC scheme during temporary voltage outages, the main circuit breaker of the LCI was opened briefly under various operating conditions. Note that the presented test case represents an extreme drive situation, for which no grid standards must be observed. In the standard configuration of the LCI control system, the drive would simply trip if the grid voltage were to fall under a certain threshold. This threshold was deactivated during the run of the test cases. The proposed MPC solution was able to handle all tested cases without tripping or major issues. Also the PI solution – though not developed for this task – was able to handle the power losses without problems in most test cases. For the sake of brevity we present only the case with the most challenging test conditions.



Reaction of the MPC scheme (black) and of a state-of-the-art PI controller (grey) to temporary voltage outage

The figure shows the grid voltage magnitude computed from the measured phase-to-phase voltages, the measured DC link current, estimated torque and speed as well as the firing angles on the grid and machine side. During the voltage dip the grid voltage angle is lost, resulting in an interruption of the thyristor firings. In Figure this can be noted as an increase of the firing angles to 145 degrees. After the return of the grid voltage, firing of the firing angles is resumed and the firing angles are set to quickly increase the DC link current. Under PI control the DC current reference is limited to 1 pu. Yet the DC current overshoot is high enough to trigger an overcurrent trip and stop the drive operation. The MPC controller on the other hand increases the DC current to roughly 1 pu, and no trip is triggered.



SGA Generalversammlung und Besichtigung Roche Diagnostics International AG in Rotkreuz

Termin:

Mittwoch 6. Mai 2015

Beginn Besichtigung:

15 Uhr

Treffpunkt:

Empfang Zentrale **Roche Diagnostics International AG**
6343 Rotkreuz, Forrenstrasse 2
Tel: 041 799 22 44

Wegbeschreibung:

Zum Download auf Webseite Firma Roche Diagnostics
und im Anhang

Beginn GV:

16.30 Uhr – Sitzungszimmer Firma Roche Diagnostics
anschliessend Apéro

Schluss der Veranstaltung:

18.30 Uhr



Die Roche Diagnostics International AG im zugerischen Rotkreuz ist einer der weltweit führenden Anbieter von diagnostischen Systemlösungen für Kliniken, Labors und Arztpraxen. Das Unternehmen gehört zur Diagnostics Division der Roche Gruppe mit Hauptsitz in Basel. Die Roche Diagnostics International AG wurde 1969 gegründet und hat heute über 2000 Mitarbeitende aus rund 50 Nationen. Am Standort sind alle zentralen Funktionen des Diagnostics Geschäfts vereint.

Die Besichtigung beinhaltet zwei Teile. Im ersten Teil kann ein Blick in die laufende Produktion von NewGen (Blutanalysegeräte der neuesten Generation) geworfen werden. Anschliessend wird die Regelung von Motion-Control-Geräten durch einen Experten erläutert und vorgeführt.

Wir freuen uns Ihnen eine interessante Besichtigung anbieten zu können. Schnuppern Sie in die Webseite der Firma Roche rein – ein kurzes Video bietet viele Informationen.

[Webseite Firma Roche Diagnostics](#)



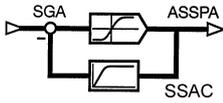
Wir bitten Sie sich bis spätestens **4. Mai 2015** für die Besichtigung und GV anzumelden.

Die Organisatoren der Besichtigung wünschen für die Erstellung der Besucherbadges im Vorfeld eine Teilnehmerliste. Daher bin ich Ihnen für die Einhaltung der Anmeldefrist dankbar.

Anmeldung unter:

sekretariat@sqa-asspa.ch

 Bitte geben Sie auch Ihre Zugehörigkeit an (z.B. Firma oder Hochschule).



SENSORS + TEST – 19. bis 21. März 2015



- SENSOR+TEST 2015, 19.-21. Mai 2015, Nürnberg
- Sichern Sie sich jetzt Ihren **Eintrittsgutschein**:
- [Gutschein anfordern](#)

- SENSOR+TEST 2015, May 19-21, 2015, Nürnberg, Germany
- Get your free **admission voucher** now:
- [Download voucher](#)

Pressemitteilung, Berlin 12. März 2015

Der AMA Verband für Sensorik und Messtechnik nominiert in diesem Jahr sechs Bewerbungen für den AMA Innovationspreis 2015. [Mehr](#) zur Pressemitteilung.

Der AMA Innovationspreis zählt seit 15 Jahren zu den renommierten Preisen in der Sensorik und Messtechnik. In diesem Jahr bewarben sich 50 Forscher- und Entwicklerteams aus dem In- und Ausland. Die Übersicht aller Bewerbungen um den AMA Innovationspreis 2015 können unter [Innovationspreis](#) eingesehen werden.



Anzeige

Jetzt kostenlosen Eintrittsgutschein sichern:
www.sensor-test.com/gutschein



Willkommen zum
Innovationsdialog!



SENSOR+TEST

DIE MESSTECHNIK - MESSE

Nürnberg, 19.–21. Mai 2015

Effizient und persönlich - Wissenschaftlich fundiert - Vom Sensor bis zur Auswertung

AMA Service GmbH - Postfach 2352 - 31515 Wunstorf, Germany - Tel. +49 5033 96390 - info@sensor-test.com

Sensors.ch-Besuch vom 19. März 2015
Empa Dübendorf / ZH

Zu Beginn der Veranstaltung stellte Dr. Gröning, Departementsleiter «Moderne Materialien und Oberflächen», die «Empa» (Eidgenössische Materialprüfungs Anstalt) vor, welche heute entsprechend der aktuellen strategischen Ausrichtung offiziell mit «Empa. Swiss Federal Laboratories for Materials Science and Technology» bezeichnet wird. Sie ist das interdisziplinäre Forschungsinstitut des ETH-Bereichs für Materialwissenschaften und Technologie-Entwicklung. Für mehr als 100 Jahre seit ihrer Gründung im Jahr 1880 war die Empa eine traditionelle Materialprüfanstalt. Seit Ende der 1980er-Jahre hat sie sich jedoch immer mehr zu einer interdisziplinären Forschungseinrichtung gewandelt.

Als Brücke zwischen Forschung und Praxis erarbeitet sie Lösungen für die vorrangigen Herausforderungen von Industrie und Gesellschaft. Indem die Empa Forschungsergebnisse dank effizientem Technologietransfer gemeinsam mit Industriepartnern in marktfähige Innovationen umwandelt, trägt sie massgeblich dazu bei, die Wettbewerbsfähigkeit der Schweizer Wirtschaft zu stärken. Zudem schafft sie die wissenschaftlichen Grundlagen für eine nachhaltige Gesellschaftsentwicklung.

Die «Anstalt für die Prüfung von Baumaterialien» begann ihre Tätigkeit 1880 im Kellergeschoss des Polytechnikums in Zürich, der heutigen ETH. Nach dem Einsturz einer von Gustav Eiffel konstruierten Eisenbahnbrücke 1891 in Münchenstein BL wurde die Anstalt mit der Abklärung der Ursache dieses bisher grössten Eisenbahnunglücks auf dem Kontinent betraut und fand dabei heraus, dass die bis dahin zur Berechnung solcher Bauwerke benutzte Eulersche Knickformel für schlanke Stäbe einer Korrektur bedurfte. In den ersten Jahren hatte die Anstalt auch mit umfassenden Qualitätsprüfungen von Bau- und Konstruktionsmaterialien für die Schweizerische Landesausstellung 1883 zu tun. Intensive Forschungsarbeiten brachten erste Publikationen auf dem Gebiet der Prüfung und Normung für Baustoffe und Metalle hervor. In den folgenden Jahren entwickelte sie sich zu einer universellen Prüfanstalt auf dem Gebiet des Bauwesens und des Maschinenbaus. 1928 wurde die Eidgenössische Prüfungsanstalt für Brennstoffe integriert, 1937 kam die bereits seit 1885 bestehende Textilkontrollstelle und «Schweizerische Versuchsanstalt St. Gallen» hinzu. Die Empa erhielt 1938 die Bezeichnung «Eidg. Materialprüfungs- und Versuchsanstalt für Industrie, Bauwesen und Gewerbe»; die Kurzform «EMPA» war aber schon seit langem zum geläufigen Begriff geworden. Seit 1988 liegt das Schwergewicht der Empa nicht mehr auf der Prüftätigkeit. Aus der «Versuchsanstalt» wurde die «Eidg. Materialprüfungs- und Forschungsanstalt». Auf Kosten wenig synergieträchtiger Routineprüfung wurden die Bereiche der anwendungsorientierten Forschung und Entwicklung ausgebaut. 1994 kam neben Dübendorf und St. Gallen mit Thun ein weiterer Standort dazu. Die Empa übernahm eine Fachsektion der Gruppe für Rüstungsdienste, die bisher Materialprüfung im militärischen Bereich gemacht hatte. Heute beschäftigt sich die Abteilung «Werkstofftechnologie» in Thun praktisch ausschliesslich mit zivilen Fragestellungen. Ab 2003 arbeiten neue Abteilungen an Nanostrukturen, Nanotubes als Elektronenquellen, quasikristallinen Schichten und an der Entwicklung und Analyse von nanostrukturierten Oberflächen und Beschichtungen. In der Folge werden weitere Forschungsabteilungen ins Leben gerufen: «Mechanical Systems Engineering», «Biomaterials», «Hydrogen & Energy» und weitere.

Kontakt:
Peter Kirchhofer
Tel. 061 281 19 45 (privat)
peter.kirchhofer@alumni.ethz.ch



An den drei Empa-Standorten sind insgesamt **fünf Departemente** angesiedelt:

- Moderne Materialien, Oberflächen und Grenzflächen (Dünnschicht-Solarzellen, Nano-Materialien, Keramik ..)
- Bau- und Maschineningenieurwesen (nachhaltiges Bauen, Holzveredelung ...)
- Materials Meet Life (Implantate, Gesundheitsüberwachung, ...)
- Mobilität, Energie und Umwelt (Reduktion der Umweltverschmutzung, Solar-Energie ...)
- Support (Wissens- und Technologietransfer, Entwicklung, Bau und Kalibrierung von Prüfmitteln, Mikroskopische Untersuchungen, Dienstleistungen für die Industrie ...)



Das Jahresbudget betrug 2013 rund 97 Mio. Franken an Bundesmitteln und mehr als 61 Mio. Franken an Drittmitteln, davon 44 Mio. Franken über Forschungsanträge und 17 Mio. Franken Dienstleistungserlöse für Fehler- und Schadens-Analysen an Halbleitern, Bauwerken, Strassen, Brücken, Bahnen und weiterer Infrastruktur.

Insgesamt werden 1'000 Angestellte beschäftigt, davon sind 160 bis 180 Personen PhD-Studenten, 40 Lehrlinge und 200 Gäste, Studenten und Praktikanten.

Die Zahl der wissenschaftlichen Publikationen stieg von 67 im Jahr 2001 auf knapp 530 im Jahr 2013. Die Zahl der vom Schweizerischen Nationalfonds finanzierten Projekte erhöhte sich im selben Zeitraum von 5 auf 110. Auch die eingeworbenen Drittmittel stiegen an, von 33,8 Mio. Franken im Jahr 2000 auf mehr als 61. Mio. Franken (2013).

Die Empa ist zur Zeit an mehr als 60 laufenden Projekten der EU-Rahmenprogramme beteiligt sowie etwa an 100 Projekten des Schweizerischen National-Fonds (SNF) und 100 Projekten der Kommission für Technologie und Innovation (KTI). Zudem bestehen 350 Firmen-Verträge, wobei die Zahl solcher Kooperationen um mehr als 100 pro Jahr zunimmt. Die Aufwendungen verteilen sich auf die Grundlagenforschung (16 %), die präkompetitiven Forschungsprojekte (16 %, vor allem im Rahmen von EU-Programmen) sowie auf die angewandte Forschung und Entwicklung (72 %).

Anschliessend stellte Reto Largo, Managing Director der Demonstrations- und Forschungsplattform «NEST» (Next Evolution in Sustainable Building Technology) das gemeinschaftliche Forschungs- und Entwicklungsprojekt von Empa und Eawag (Eidgenössische Anstalt für Wasserversorgung, Abwasserreinigung und Gewässerschutz) vor:

Die gebaute Umwelt ist ein Schlüsselement unserer Zivilisation. Die Qualität und Nachhaltigkeit von Wohn- und Arbeitsräumen beeinflussen unser Wohlbefinden und unsere Leistungsfähigkeit. Infrastrukturbauten für Verkehr, Energie, Versorgung und Entsorgung ermöglichen uns Mobilität, Kommunikation und Wohlstand. In kaum einem anderen Wirtschaftsbereich ist es so schwierig, neue Konzepte und Ideen am Markt umzusetzen. Die hohen Investitionskosten, die über lange Zeiträume amortisiert werden müssen, führen zu einer geringen Risikobereitschaft, die durch die hohe Regeldichte noch weiter reduziert wird. Vor einer erfolgreichen Markteinführung muss ein neues Material oder System erst seine Praxistauglichkeit unter Beweis stellen. Dafür braucht es Demonstrationsprojekte, die unter realen Bedingungen durchgeführt und wissenschaftlich begleitet werden – und genau das ist die Zielsetzung von NEST. Dank NEST kommen Innovation am Bau schneller und ausgereifter auf den Markt. Innovative Firmen werden bei der Umsetzung ihrer Ideen unter optimalen Bedingungen unterstützt und gleichzeitig neues Wissen aus Forschung und Entwicklung eingebracht. NEST bietet der Bauwirtschaft und Forschungspartnern eine Demonstrations-Plattform, als Rückgrat für einzubauende modulare Wohneinheiten und Arbeitsräume unter lebensesechten Bedingungen zur Erprobung und Weiterentwicklung neuer Ideen und Produkte. Auf dem Weg von der Idee zum Markterfolg wird innovativen Firmen dadurch geholfen, das finanziell schwierige «Todestal» zu überbrücken. Gleichzeitig ist NEST ein internationales Schaufenster für Visionen und Innovationen. Im NEST vereinen Institute des ETH-Bereichs ihre Kräfte, um die besten und innovativsten Ideen auf den Gebieten der Baustoffwissenschaften, Bautechnologien und baulichen Systemintegration zu verwirklichen. Es wird nicht versucht, eine einzelne Innovation zu entwickeln, vielmehr sollen Fortschritte für nachhaltige Gebäude erreicht werden. (Zitiert nach Patrik Aebischer, Präsident EPF Lausanne).



Bild links:
NEST: Visualisierung des fertiggestellten und mit Wohn-Einheiten bestückten «Rückgrats» © Empa

Bild rechts:
NEST: Bauplatz für das «Rückgrat» als tragende Struktur © Empa



Als Applikationsbeispiele präsentierte R. Largo folgende Untersuchungen:

- Innovative Verwendung von Holz und Verbundmaterialien
- Eignung von biologisch veredeltem, wasserabweisendem Holz als Baumaterial
- Zellulose Aero-Gele
- Smart Buildings mit smart home control
- Adaptive Fassaden-Systeme für Niedrig-Energie- und Null-Emissions-Gebäude
- HiLo Leichtbau-System für Böden und Dächer
- Integriertes Niedrig-Energie Heiz- und Kühl-System
- Flexible Einrichtung von Büros und Wohnräumen

Der **Rundgang** führte durch **Laboratorien** der Abteilungen «Bau- und Maschineningenieurwesen» sowie «Materials Meet Life». In den Laboratorien des **Mechanical Systems Engineering** konnten wir zum Forschungsschwerpunkt Biomedizinische Technik eine Prüfeinrichtung für künstliche Hüftgelenke in Betrieb sehen. Das Gelenk wird in Flüssigkeit bei einer Temperatur von +37 °C mit Kraftstössen zu 8 kN (= 100 kg x 8 x 9,81 m/s²), d.h. bei 8-facher Erdbeschleunigung, mit einer Wechselfrequenz von ca. 5 Hz belastet. Frühestens nach 10 bis 12 Tagen dürfen erste Risse in der Gelenk-Pfanne aus Titan auftreten. Eine neuartige Gelenk-Pfanne aus Keramik sollte dank geringerer Korrosion eine längere Lebensdauer erreichen, da weniger Material-Paarungen bestehen. Ein weiterer Vorteil der Keramik-Pfanne ist eine geringere Wandstärke wodurch weniger Knochen weggefräst werden muss. Zudem wächst die Keramik-Pfanne besser in den Knochen ein. Zellbesiedlungs-Versuche für die Keramik-Pfanne werden am Empa-Standort St. Gallen durchgeführt.

An einem anderen Prüfplatz werden Stents (Stütz-Röhrchen mit in der Wandung eingelasserten Löchern für Blutgefässe) aus neuartigen Materialien untersucht. Das im Körper resorbierbare Grundgerüst aus Magnesium ist mit PHA-Kunststoff beschichtet, welcher als Depot für pharmazeutische Wirkstoffe dient, welche an das durchfliessende Blut nach und nach abgegeben werden.

Für Belastungsversuche und Schadensanalysen an Seilbahnkabinen gemäss ISO-Norm besteht ein Rüttelstand wo über insgesamt 5 Mio Lastzyklen mit 2 bis 3 Hz die Wechselfestigkeit der verwendeten Materialien und der Fügestellen geprüft wird. Eine Abkürzung der Testzeit dank höherer Frequenz ist nicht sinnvoll, da dabei das Material wegen innerer Reibungsverluste unzulässig erwärmt würde.

In den Laboratorien für Zuverlässigkeitstechnik wurde uns gezeigt, wie an Leistungshalbleiter-Modulen thermische Wechselzyklus-Tests durchgeführt werden. Dabei werden die Module bei niedriger Spannung mit hohen Durchlass-Strömen belastet. Dadurch erwärmen sich die Halbleiter-Chips und deren Bond-Drähte. Zur Entwärmung sind die Module auf Flüssigkeits-durchströmten Montageplatten aufgebaut. Zur Simulation klimatischer Einflüsse bestehen verschiedene Test-Kammern für Temperaturen von -70 °C bis +180 °C bei einstellbarer Luftfeuchte.

Elektro-chemische Zellen, wie sie u.a. bei elektrischen Automobilen eingesetzt sind, werden mittels elektrischer Impedanz-Spektroskopie auf ihre Charakteristiken hin überprüft. Ihre Impedanz wird im Bereich von 0,01 Hz bis 30 kHz gescannt, und zwar bei unterschiedlichen Temperaturen, Lade- und Entlade-Strömen und Lade-/Entlade-Zyklen.

Verschiedenste Halbleiter (von der Integrierten Schaltung bis zum Leistungs-Halbleiter) bzw. die betreffenden Chips können mikroskopisch untersucht werden. Dazu müssen die Prüflinge zuerst chemisch gestriipt werden, was die Verwendung von äusserst aggressiven Chemikalien erfordert. Anschliessend werden die Chips oder auch geschliffene Proben davon elektrisch mittels Abtast-Proben bei verschiedenen Umgebungstemperaturen untersucht. Zur mikroskopischen Untersuchung stehen unterschiedliche Geräte zur Verfügung: Licht-, Infrarot- und Röntgen-Mikroskope. Bei der Emissions-Mikroskopie wird die Lichtemission an beschädigten Halbleiter-Sperrschichten beobachtet. Zusätzlich kann auch die örtliche Erwärmung von Leiterbahnen auf den Chips als Hinweis auf Fehler ausgewertet werden. Bei Elektronen-Mikroskopen (Scanning Electron Beam, SEM) und Ionen-Mikroskopen (Focused Ion Beam, FIB) werden zur «Beleuchtung» Elektronenstrahlen bzw. Helium-Ionenstrahlen verwendet. Damit können kleinere Strukturen beobachtet werden, als dies mit dem Röntgen-Mikroskop möglich ist. Mit Ionenstrahlen anderer chemischer Elemente können an Chips mikroskopisch kleine Bearbeitungen vorgenommen werden, und zwar kann dabei Material abgetragen werden (Nano-Analyse) oder Wolfram oder Platin aufgetragen werden, um dabei unterbrochene Chip-Leiterbahnen zu reparieren.

Website Empa:
www.empa.ch

Website NEST:
www.nest.empa.ch

Nationales Thematisches Netzwerk (NTN) Innovative Oberflächen

Am 11. März 2015 fand in Olten im Von Roll Campus der Fachhochschule Nordwestschweiz FHNW ein vom Verein «NTN Innovative Oberflächen» veranstalteter Workshop unter dem Titel «New Scientific and Industrial Trends in Sensors» statt. Eingeladen zum Workshop waren interessierte Vertreter aus der Industrie und von den Hochschulen und weiteren interessierten Kreisen, wie z.B. die Mitglieder von sensors.ch.



Im **Teil 1** wurden die Anwesenden durch **Wolf Zinkl** vom Verein «NTN Innovative Oberflächen» über die Ziele und die Struktur des Vereins informiert:

Der Verein bezweckt die Initiation von wissenschaftsbasierten Innovationen auf dem Gebiet der Oberflächentechnologien, deren Implementation und die Vernetzung mit Marktanforderungen als Grundlagen für Kooperationen zwischen Hochschulen und der Industrie.

Produktoberflächen als Funktionsträger bestimmen die Wertigkeit und die Qualität von Produkten und sind in den verschiedensten Branchen wichtige Wettbewerbsfaktoren.

Ein Beirat wissenschaftlicher und industrieller Experten steht für den persönlichen Kontakt und für Innovationsideen der Vereinsmitglieder und Netzwerkteilnehmer zur Verfügung. Für die Anbahnung von Kooperationen und für den kontinuierlichen Wissenstransfer bestehen als sogenannte Innovations-Plattformen (IPL) multidisziplinär zusammengesetzte Expertengruppen mit verschiedenen Themenschwerpunkten. Industrieunternehmen können diese IPL dazu nutzen, um neue Partner für neue Geschäfte zu finden, sich über den Stand der Technik, neue Forschungserkenntnisse, neue Technologien und über Trends zu informieren und auszutauschen.

Mitglieder des Vereins sind Unternehmen, Forschungseinrichtungen und interessierte Privatpersonen. Die Kommission für Technologie und Innovation (KTI) des Bundes unterstützt den Verein NTN.

Im **Teil 2** des Anlasses wurden durch den Manager der Innovationsplattformen (IPL) im Verein, **Marco Romanelli**, kurz die bis heute ins Leben gerufenen vier IPL vorgestellt. Jährlich veranstalten die Plattformen 3 bis 4 Workshops.

Smart Systems (IPL SmS):

In dieser Plattform treffen sich unter Leitung von Prof. Dr. Nico de Rooij von der EPFL Lausanne und dem CSEM in Neuchâtel Vertreter der Industrie, von Forschungsanstalten und Hochschulen welche sich mit Sensoren und Messtechnik befassen.

Functional Interfaces (IPL FI)

Die in dieser Plattform bearbeiteten Themen kreisen um Mikro-Reaktoren mit ihren im Vergleich zu ihrem Volumen grossen Oberflächen, wie sie in Fabrikationsprozessen der pharmazeutischen und chemischen Industrie angewendet werden.

Antimicrobial Surfaces (IPL AmS)

Im Jahr 2014 fokussierte sich diese Plattform auf Methoden für die physikalische Bearbeitung von Oberflächen zur Erzielung antimikrobieller Effekte und für die Beschichtung von Oberflächen zur chemisch- biologischen Funktionalisierung. Ein besonderer Workshop befasste sich mit der Analyse und Charakterisierung solcher Oberflächen.

Praxiszirkel Hard Coatings (IPL PZHC)

Industrielle Anwendungen betreffen die Beschichtung von Metallen, Keramik und Kunststoffen zwecks Erhöhung der Abriebfestigkeit, Korrosionsschutz, UV-Schutz und Einsatz bei hohen Temperaturen.

Im **Teil 3** des Anlasses, **dem eigentlichen Workshop 1 der IPL SmS**, wurden durch drei Vertreter aus Wissenschaft und Industrie verschiedene Trends im Gebiet der Sensorik präsentiert.

Die Entwicklung des Internet of Things bringt für die Industrie, besonders auch für Unternehmen im Bereich der Mikro-Elektro-Mechanischen Sensoren (MEMS) unerhörte Entwicklungs- und Wachstumsmöglichkeiten. Wegen immer weiteren Applikationen für die Logistik, bei Intelligenten Gebäuden, Smart Roads usw. werden bis zum Jahr 2020 weltweit etwa fünf Milliarden Internet-Knotenpunkte bestehen und 10 Billionen Sensoren aktiv sein. Dieser Bedarf wird zu einem wesentlichen Teil mit gedruckten Komponenten gedeckt werden.

Bei der Chemie-Firma BASF in Ludwigshafen sind heute über 440'000 Feldgeräte (Sensoren und Aktoren) in Betrieb. Der Bedarf an solchen Geräten steigt gegenwärtig jährlich um 6 bis 8 %. Bei den Sensoren geht der Trend hin zu vermehrtem Einsatz von biochemischen Sensoren, deren Funktion stark abhängig ist von chemisch aktivierten Oberflächen. Die extreme Miniaturisierung von biochemischen Sensoren und Coriolis-Durchflussmessern erlaubt es, diese in Silizium-Technologie und damit immer günstiger zu realisieren. Damit können in vermehrtem Umfang solche Sensoren für die Überwachung und die in-line-Analyse bei industriellen Fertigungsprozessen verwendet werden. Bei E+H wurde ein erster Prototyp eines solchen Sensors hergestellt. Photoelektronische Komponenten wie durchstimmbare Laser-Dioden erweisen sich neuerdings als Schlüssel für weitere Hilfsmittel zur Prozessanalyse, basierend auf spektroskopischen Messungen.

Die Firma erachtet die Eigenschaften «vertrauenswürdig», «sicheres Funktionieren mit wiederholbaren Messwerten» und «leicht einzubauen» als die wichtigsten Sensoreigenschaften, wesentlich bedeutsamer als «innovative Technologie». Für Baumer Electric ist aus wirtschaftlichen Gründen der Consumer-Bereich nicht interessant. Vielmehr werden Sensoren zuerst für den höchst anspruchsvollen Automotiv-Bereich entwickelt und anschliessend für den Einsatz im industriellen Bereich adaptiert.

Web-Site des Vereins «NTN Innovative Oberflächen»: www.innovativesurfaces.ch

Prof. Dr. de Rooij

EPFL Lausanne und dem
CSEM in Neuchâtel
(<http://samlab.epfl.ch/page-15459-en.html>)

Dr. U. Kaiser

Direktor Technologie bei
Endress+Hauser (E+H)
Reinach, BL
(www.endress.com)

J. Tiedeke

Entwicklungsleiter bei der
Baumer Group
(www.baumer.com)

Presse-Mitteilung des AMA Verbandes für Sensorik und Messtechnik e.V.

Der AMA Verband für Sensorik und Messtechnik veranstaltet in Nürnberg vom 19. bis 21. Mai 2015 die AMA Kongresse SENSOR und IRS². Vertreter aus Wissenschaft und Industrie präsentieren neue Forschungsergebnisse aus der Sensorik und Messtechnik, parallel dazu lädt die Fachmesse SENSOR+TEST 2015 die Teilnehmer zum Innovationsdialog ein.

Der Kongress SENSOR 2015, fachlich geleitet von den Professoren Reinhard Lerch (Universität Erlangen-Nürnberg) und Roland Werthschützky (TU Darmstadt), zeichnet sich in diesem Jahr durch ein breites Fachspektrum, von der NEMS/MEMS-Sensorik bis zu optischen Messsystemen, aus. Die Vorträge des Kongresses behandeln unter anderem neue Trends in der Gas-Sensorik, den Mikro- und Nanotechnologien für die Sensorik, den Einzug der Adaptiven Optik in die Messtechnik, neuartige Sensoren für die Medizintechnik sowie richtungsweisende Fortschritte in der Durchflussmesstechnik.

«Wir freuen uns zudem auf die spannenden Keynotes unserer Kollegen aus den Fachbereichen Adaptive Optik, Mikrowellentechnik, Strukturintegrierte Sensorik und Optische Nanosensorik», sagt Lerch zum diesjährigen Kongressprogramm. «Kongressbesucher dürfen zudem gespannt sein auf Vorträge zu neuen Trends und Entwicklungen aus den Bereichen Sensorprinzipien, Sensorentwurf, Sensormaterialien, neuartige Anwendungen in der Automobil- und Medizintechnik, der Gas-Sensorik sowie der Sensor-Selbstüberwachung. Sensor-Anwendungen für die Sicherheitstechnik und Smart Home ergänzen das Programm», weiss Werthschützky weiter zu berichten. Der Kongress sichert zudem eine enge Verzahnung von Forschungsergebnissen aus Instituten und deren industrielle Nutzung durch die parallel verlaufende Fachmesse SENSOR+TEST.

Die AMA Weiterbildung und der AMA Verband für Sensorik und Messtechnik veranstalten «Fokussierte Thementage» vom 19.-20. März 2015 in Nürnberg zum Thema Sensorik und Messtechnik für Antriebssysteme.



- Ein Schwerpunkt der zweitägigen Veranstaltung sind Hochverfügbarkeitsanlagen, die permanent hohen Belastungen ausgesetzt sind. Ausgehend vom komplexen Gesamtsystem werden die Bedeutung und die technischen Herausforderungen der Subsysteme und einzelnen Komponenten dargestellt. Das Spektrum des Einsatzes von Sensoren und Messtechnik in der Antriebstechnik ist sehr breit. Beispiele sind Zustandsüberwachung, Antriebssteuerung und -synchronisation, Gleichlauf- und Drehmomentregelung, Positionierung von Werkstücken, Energieoptimierung, Qualitätssicherung.
- Sensorik und Messtechnik gelten als Sinnesorgane einer Industrie 4.0, denn ohne sie blieben Produktionsanlagen taub und blind. Sensoren müssen immer schneller und präziser werden und Anforderungen mit integriertem Systemwissen erfüllen. Sie müssen die Kommunikationsfähigkeit erhöhen um unter anderem Bearbeitungsprozesse, Material- und Teileströme perfekt aufeinander abzustimmen. Daneben rücken Themen wie Simulation und Services immer mehr in den Vordergrund.
- Die Veranstaltung wendet sich insbesondere an Entwickler, Hersteller und Betreiber von Antriebssystemen und deren Komponentenzulieferern.

Die AMA Weiterbildung GmbH ist ein unabhängiger Qualifizierungsanbieter im Hochtechnologiebereich mit den Schwerpunkten Sensorik, Optische Technologien sowie Mikrosystemtechnologie. Neben Tagesseminaren bietet der Verband regelmässig fokussierte Thementage zu aktuellen Themen an. Das Ziel: Hochwertige Seminare, insbesondere für mittelständische Unternehmen, zur gezielten Unterstützung des Wissenstransfers zwischen Forschung und Industriepraxis. Die AMA Weiterbildung GmbH ist eine Tochter des AMA Verbandes für Sensorik und Messtechnik e.V.

Die SENSOR+TEST in Nürnberg ist die perfekte und internationale Technologie-Plattform für den Innovationsdialog zwischen Anbietern und Anwendern von Sensorik, Mess- und Prüftechnik. Als modernste und vollständigste Leistungs- und Innovationsschau bietet sie das weltweit umfassendste Angebot an Mess-, Prüf- und Überwachungslösungen für alle Industriebranchen. Intensive Fachgespräche stehen hier im Vordergrund.

Weiterbildung beim AMA-Verband: <http://www.ama-weiterbildung.de/>

Verbands-Website: <http://www.ama-sensorik.de/>

Website zur Konferenz: <http://www.ama-science.org/ama-conferences/ama-conferences-from-19-21-may-2015/>

Kommende Veranstaltungen

28. April 2015 Fa. Caran d'Ache, Thônex-Genève



02. Juni 2015 sensors.ch – Generalversammlung 2015 bei der Fa. Meyer Burger AG in Thun, BE.

Im Anschluss an die GV kann die Fa. Meyer Burger AG besucht werden.

