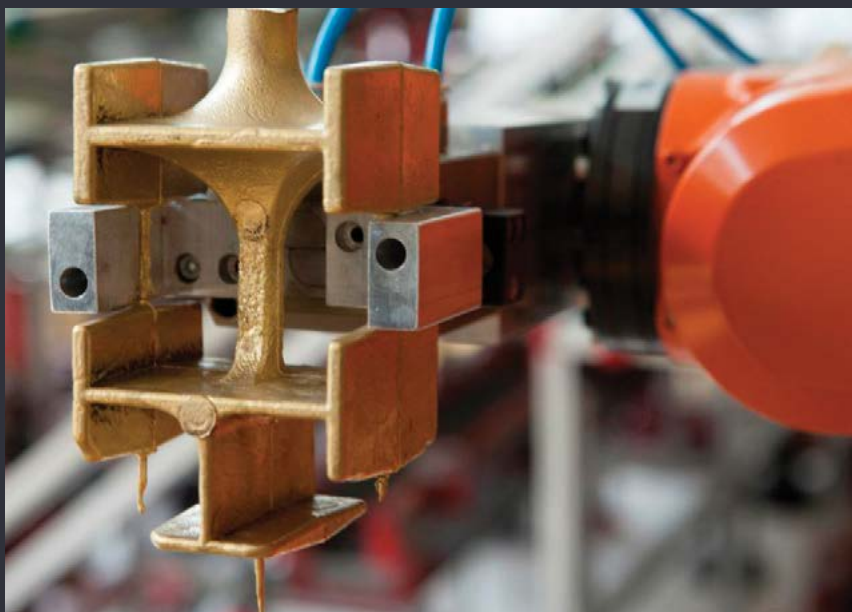
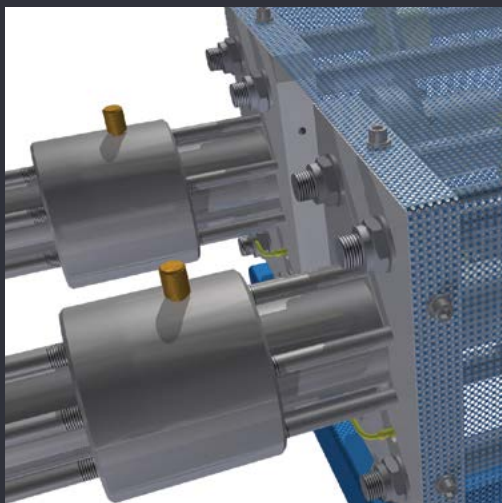




Inhalt

Impressum

Herausgeberin: Fachhochschule Nordwestschweiz FHNW,
Hochschule für Technik, Institut für Automation

Projektleitung und Redaktion: Rolf Isler, Jadwiga Gabrys
Layout: Ben Newton, digitworks.ch
Erscheinungsweise: jährlich
Auflage: 600 Exemplare

Inhalt

3 Editorial

Moderne Methoden der Regelungstechnik

4 Fehleranalyse für die Vektor-Regelung kompakter Antriebe

Bruno Stuber

7 Regelung der Gyroanlage M750

Pascal Zeugin

10 Silence is Golden – Aktive Schallauslöschung für Bürostühle

Daniel Treyer

Mechatronische Systeme

13 Energieeffiziente Strassenfrästechnologie durch Optimierung der Meissel-Fräsgut Interaktion

Jérôme Blum

16 Exzentergenerator zur Energiegewinnung aus der Bewegung von Schuhen

Hans Gysin

18 Hochdruckwasserstrahlschneiden mit energieeffizienten Hochdruckpumpen

Lukas Kurmann, Stefan Niederberger

22 Optimierung des Drahtsägeprozesses für die Waferproduktion

Daniel Treyer

Weitere Fachgebiete

26 Von der klassischen Automation zum Konzept Industrie 4.0

Max Edelmann

30 Messgerät zur automatisierten Oberflächen- und Strahlungswertemessung von Bohrkernen

Silvano Germann

34 Realisierung einer induktiven Backprozess-Anlage für die serienmässige Herstellung von Statorpaketen

Hans Gysin

36 Optimierung des Eigenverbrauchs in Gebäuden

David Zogg

40 Energieeffizientes Design von Strassenwalzen

Dominik Wiss

43 Beitrag zu den Herausforderungen des demografischen Wandels

Heinz Eichin und Max Edelmann

Nachwuchsförderung, Aus- und Weiterbildung

46 Automatisierte Gitterausrichtung für Röntgen-Interferometrie

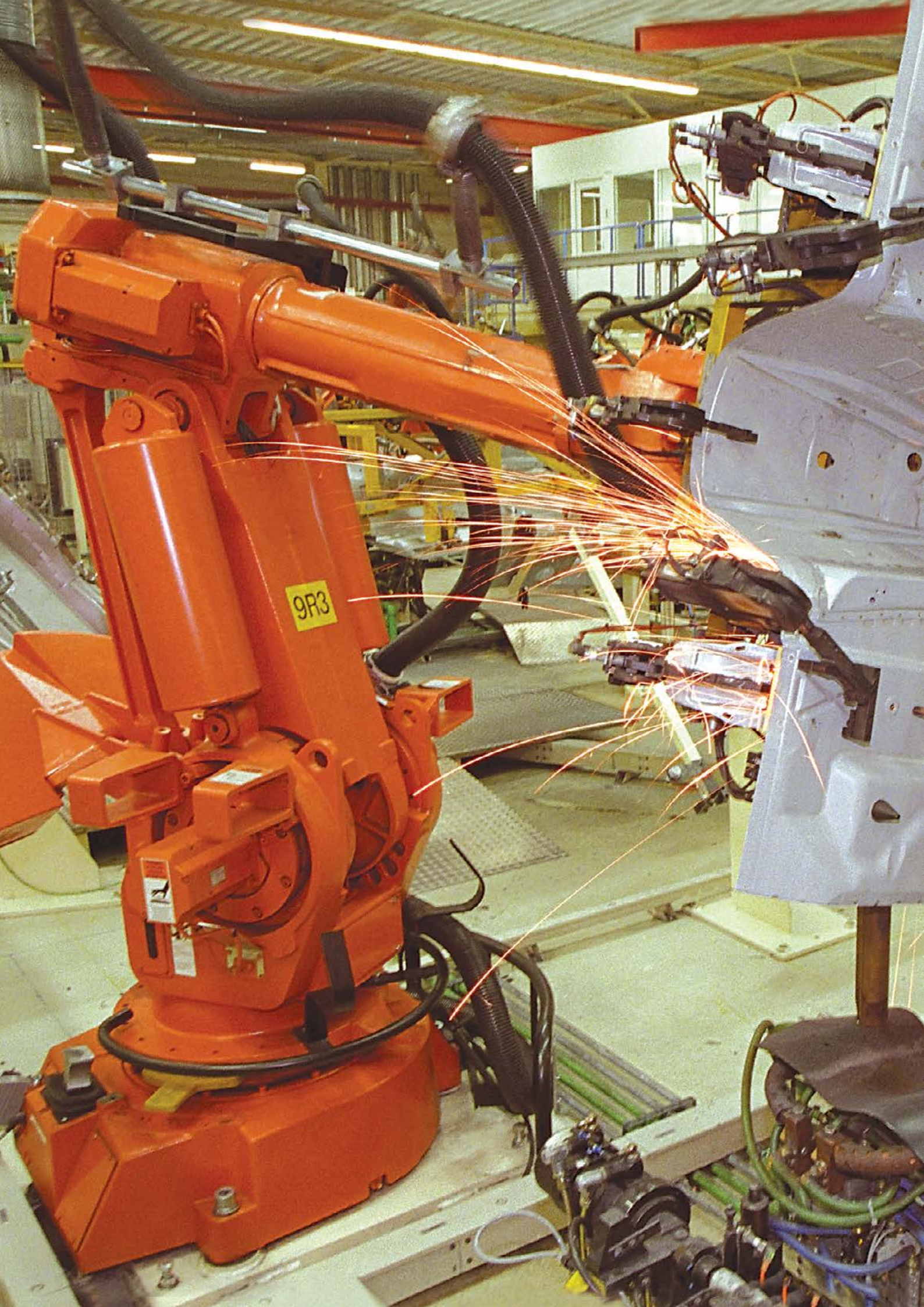
Stefan Hartmann

48 Mit Lego-Robotern die Begeisterung für Technik wecken

Jürg P. Keller und Jérôme Blum

50 Studierendenprojekte im Bachelor- und Master-Studium

53 Konferenzbeiträge und Preise



Editorial

Geschätzte Leserin, geschätzter Leser

Die Tätigkeiten im Institut für Automation FHNW widerspiegeln die Vielfalt der Aufgaben, in denen Methoden der Automatisierungstechnik zum Einsatz kommen. Wir freuen uns, Ihnen im vorliegenden Tätigkeitsbericht darüber berichten zu können. Die Bedeutung einer intelligenten Kombination von Mess- und Sensortechnik, Signalanalyse, Regelungs- und Steuerungstechnik zusammen mit Informatik und Management wurde in diesem Jahr durch das breit lancierte Thema Industrie 4.0 aufgezeigt. Im diesjährigen und auch in den früheren Tätigkeitsberichten ist klar ersichtlich, dass das Institut dazu wesentliche Kompetenzen in die Zusammenarbeit mit der Industrie einbringen kann.

In der Ausbildung durfte unser Institut den Unterricht in den Studiengängen Systemtechnik, Wirtschaftsingenieurwesen, Elektro- und Informationstechnik, Energie- und Umwelttechnik sowie Maschinenbau wahrnehmen. Im Herbst konnte im MAS Automation Management eine Klasse von 13 Studierenden ihr Studium starten. Aus der gerade abschliessenden Klasse dokumentiert ein Bericht in diesem Heft das Niveau einer erfolgreichen Master-Arbeit.

Wir wünschen Ihnen eine spannende Lektüre und freuen uns auf Ihre Kontaktaufnahme bei Automationsaufgaben aller Art. Gerne lösen wir gemeinsam mit Ihnen Ihre Problemstellungen und bilden dabei unsere Studierenden praxisnah aus!

Freundlichst

Roland Anderegg
Institutsleiter

Jürg Peter Keller
Stellvertretender Institutsleiter

Fehleranalyse für die Vektor-Regelung kompakter Antriebe

Die Vektorregelung beruht auf der genauen Kontrolle des Drehfeldes relativ zur Rotorposition. Dazu müssen verschiedene Größen in Echtzeit gemessen werden. Weitere Größen werden im Regelalgorithmus rechnerisch mit Hilfe der Motor-Parameter ermittelt. Soll die Regelung robust sein, müssen auch Unzulänglichkeiten der Messung, Toleranzen der Parameter und nichtlineare Effekte berücksichtigt werden. Ergänzend zur Entwicklung der Vektor-Regelung wird das Fehlverhalten untersucht.

Bruno Stuber



Abbildung 1: Synchronmotor. Links: Stator mit integrierter Elektronik. Rechts: Rotor mit Oberflächenmagneten

Kompakte Antriebe mit Regelung von Drehmoment, Drehzahl und Position werden als Synchronmotoren mit Permanentmagnet-Bestückung gefertigt, sogenannte PMSM (Permanent Magnet Synchronous Motor). Abbildung 1 zeigt einen offenen Antrieb für Batteriebetrieb im Leistungsbereich von etwa 3 kW.

Echtzeitmessungen für die Ermittlung der Zeigergrößen

Die Vektorregelung beruht darauf, dass die relative Winkelposition von Rotor und dem resultierenden Raumzeiger des Stroms in der Dreiphasenwicklung bekannt ist. In Echtzeit gemessen und erfasst werden somit der Rotorwinkel und die drei Phasenströme. Im mitdrehenden Koordinatensystem bestimmen der Winkel δ , wie in Abbildung 2 gezeigt, und der Betrag des Stromzeigers I_s das Drehmoment M nach der Beziehung:

$$M = \frac{3}{2} p [\Psi_F I_s \cos \delta + (L_d - L_q) I_s^2 \frac{1}{2} \sin 2\delta] \quad (1)$$

Die Formelbeziehung enthält im Weiteren die Anzahl Polpaare p , den magnetischen Fluss Ψ_F der Permanentmagnete (in d-Richtung), sowie die Motorparameter L_d und L_q .

Die Bestimmung des Stromzeigers erfordert die simultane Messung des Rotorwinkels und der drei Phasenströme i_a , i_b , i_c . Ist die Stromsumme 0, wie im Falle einer Sternschaltung, genügt im Prinzip die Messung zweier Ströme. Die Berechnung der Zeigerkomponenten i_d , i_q erfolgt sodann mit Hilfe der Clark- und Park-Transformation. Die simultane Messung der drei Größen stellt bereits eine Herausforderung dar:

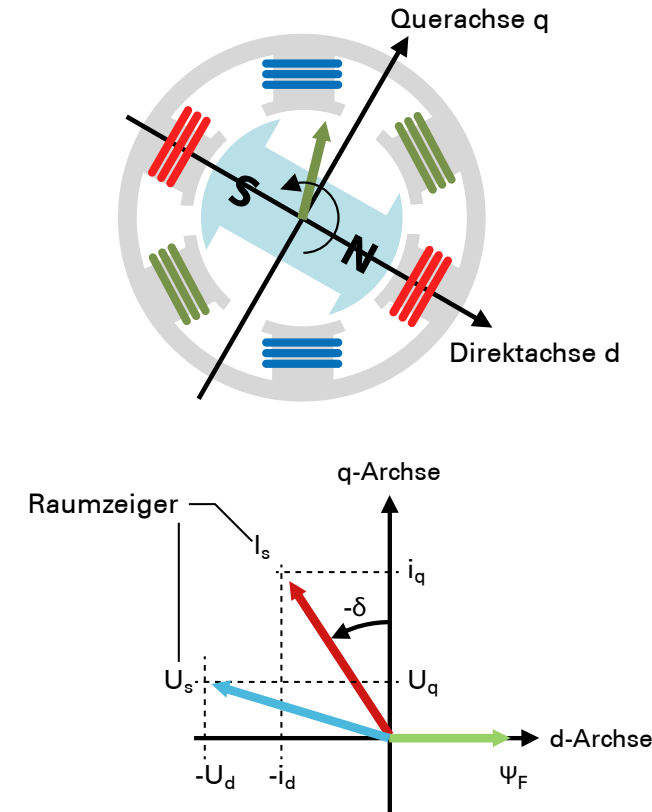


Abbildung 2: Das mitlaufende d-q-Koordinatensystem und die Raumzeiger I_s , U_s und Ψ_F

i) Stromwerte

Einfachere Prozessoren verfügen nur über 1 Analog-Digital-Wandler (ADC), die Ströme werden also effektiv sequentiell gemessen. Dies kann bestenfalls im Abstand der minimalen conversion time erfolgen. Um Übersprechen zwischen angrenzenden Messungen zu vermindern, wird in vielen Fällen empfohlen, eine Null-Messung einzufügen. Besser ausgebaute Prozessoren verfügen zumindest über zwei synchrone Halteglieder (sample & hold), d.h. die beiden Stromwerte werden simultan gehalten und anschließend sequentiell gewandelt.

ii) Winkelwerte

Zeitgleich mit den Strömen muss der Winkelwert erfasst werden. Winkelsensoren, die Analogsignale ausgeben (Rampensignale, Sinus-/Cosinus-Geber, Resolver), weisen eine gewisse Latenzzeit auf zwischen der internen Erfassung des Momentanwinkels und der Ausgabe des Werts, je nach Prinzip werden gar intern digital erfasste Größen mittels Digital-Analog-Wandler ausgegeben. Die Latenzzeiten sind dann oft variabel und vielfach finden sich keine brauchbaren Spezifikationen im Datenblatt.

Inkrementalgeber oder Absolut-Drehgeber basierend auf Binär-Pattern bieten Gewähr für Winkelwerte in Echtzeit, da die Signale direkt aus der Ablesung eines optischen oder magnetischen Musters erzeugt werden.

Bei Absolutgebern mit serielltem Interface stellt sich wieder die Frage, ob und wie der Zeitpunkt der Winkelerfassung getriggert werden kann. Auf keinen Fall zu empfehlen ist ein asynchrones Timing des Winkelgebers und des Reglers, da dann die Latenzzeit variabel ist und zyklisch pendelt.

Die Prozessoren verfügen für Drehgeber mit Quadratsignalen über entsprechende Schnittstellen und Zählmechanismen. Es ist sodann eine Frage der Software und der Interrupt-Mechanismen, wie weit Winkel- und Strommessung prozessor-intern zeitlich abgeglichen werden können.

Die Auswirkung von Messfehlern auf die Zeigerpositionen

Nebst Latenzzeiten im Messablauf kommen im Analogpfad der Strommessung weitere Effekte hinzu: Die Ströme werden oft über Shunt-Widerstände oder, galvanisch getrennt, über Hallensensoren gemessen, die Messsignale analog aufbereitet. Prinzipiell weisen die beiden Messkanäle also Offset- und Verstärkungsfehler auf, so dass während der Initialisierungsphase ein Abgleich nötig ist. Es verbleiben dann noch die Temperaturgänge. Weiter sind auch die Einschwingzeiten der Messkanäle zu überprüfen. Wie wirken sich diese Messfehler nun auf die Vektorregelung aus? Dazu betrachten wir die Zeigerbilder nach Abbildung 3 und 4.

Latenzzeit zwischen Winkel- und Strommessung

Die d-q-Ebene und der Stromzeiger verdrehen sich gegeneinander. Bei fixer Ebene kommt der Stromzeiger auf eine falsche Position zu liegen. Die Winkelverschiebung ist drehzahlabhängig. Ein Umgang in der d-q-Ebene entspricht einer Polteilung des Motors, also $360^\circ/p$. Für n [rpm] ergibt sich also die Winkelverschiebung:

$$\Delta \delta [^\circ] = p \cdot 360 \cdot \frac{n}{60} \cdot \Delta t \quad (2)$$

Für $p = 10$ und $n = 3000$ rpm ergibt dies beispielsweise eine Winkelverschiebung von $1,8^\circ$ pro 10 μ s.

Kritisch ist die Situation im Feldschwächungsbereich, da dann der Stromzeiger in Richtung negative d-Achse gestellt werden muss. Der Stellbereich für den zugehörigen Spannungszähler ist dann aber eingeschränkt: Das Gebiet innerhalb der drehzahlabhängigen Ellipse in Abbildung 3 zeigt den möglichen Stellbereich der Spannung.

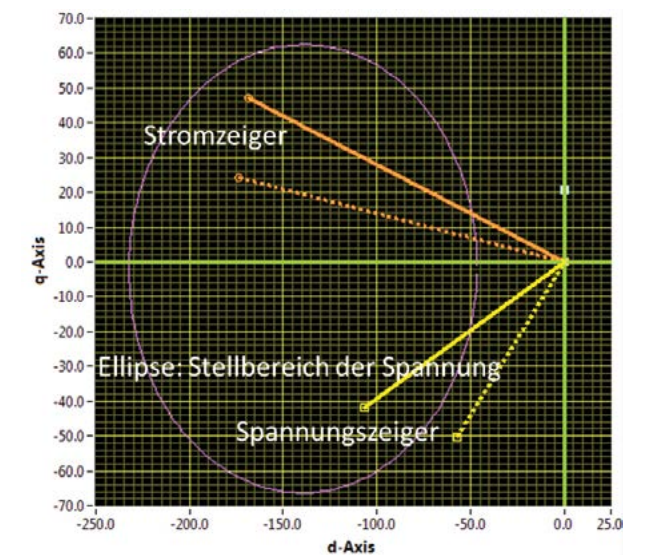


Abbildung 3: Stromzeiger (rot) und Spannungszähler (gelb) mit und ohne Latenzzeit-Fehler. Die Ellipse umfasst den möglichen Stellbereich des Spannungszählers.

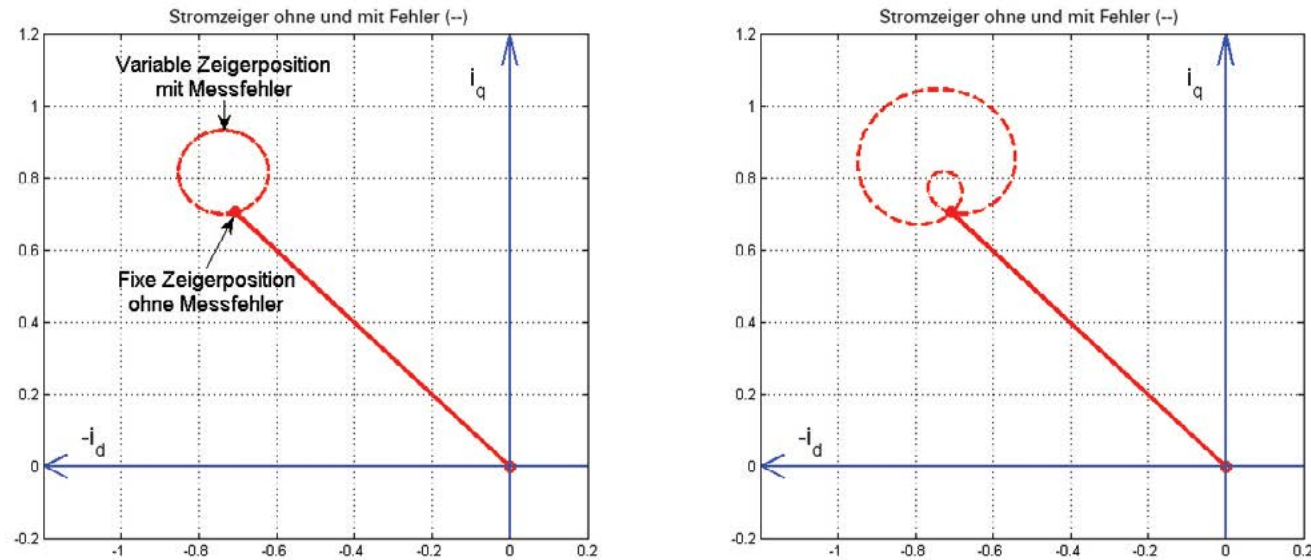


Abbildung 4: Stromzeigervariation bei Strommess-Fehlern: Links: ib mit 20% Verstärkungsfehler. Rechts: Zusätzlich 10% Offsetfehler

Positiv ist hingegen die Tatsache, dass die Latenzzeit in der Winkeltransformation (Park-Transformation) kompensiert werden kann, solange sie bekannt und konstant ist.

Strommessfehler

Die Wirkung eines Verstärkungs- und Offset-Fehlers im einen Strommess-Kanal führt dazu, dass die Spitze des Stromzeigers zyklisch rotiert, wie Abbildung 4 zeigt.

Formel (1) zur Berechnung des Drehmoments zeigt weitere Unzulänglichkeiten auf: Die Motor-Parameter Ψ_F , L_d und L_q können nur beschränkt genau bestimmt werden. Bei hohen Strömen sättigt zudem der Magnetkreis, der Fluss $\Psi = L \cdot i$ erhöht sich nicht mehr proportional zu i . Rechnerisch kann das durch eine Verminderung der L-Werte modelliert werden. Bei sinusförmiger Wicklungsspannung wird sich die Stromspitze bei Sättigung überhöhen und von der Sinusform abweichen, es treten also nichtlineare Effekte und damit Oberwellen auf.

Fazit für die Regelung

Die genannten Effekte tangieren in der klassischen Kaskadenregelung (Position $\rightarrow$ Drehzahl $\rightarrow$ Drehmoment) direkt die innerste Grösse, das Drehmoment, wie Formel (1) zeigt. Im Regelkreis ist jedoch der Spannungszeiger U_s die unmittelbare Stellgrösse, die im Reglerzyklus periodisch aktualisiert wird. Über die 3-Phasen-PWM-Einheit (PWM: Pulsweitenmodulation) wird damit die Wicklungsspannung an den drei Phasen erzeugt.

Zur Berechnung von U_s wird zudem der temperaturabhängige Wicklungswiderstand R_s und die momentane Winkelgeschwindigkeit ω benötigt. Ist der Stromzeiger I_s verdreht, wird auch U_s und damit der Stellwert verfälscht.

Im hohen Drehzahlbereich werden wegen der EMK auch hohe Spannungen benötigt, so dass die PWM-Aussteuerung an den Anschlag kommen kann. Der Regler gibt möglicherweise Stellwerte ausserhalb des möglichen Stellbereichs vor, wie aus Abbildung 3 ersichtlich ist.

Die genannten Effekte führen im schlechtesten Fall zum „Kippen der Regelung“. Wenn der Regler versucht, den falschen Stromzeiger zu korrigieren, kann es zu unerwarteten Bremsungen und gar zur Richtungsumkehr kommen. Die bisherigen Ausführungen zeigen exemplarisch, welche nichtidealen Effekte in der Realität auftreten: Parameter-Toleranzen, -Drift, -Sättigung, Nichtidealitäten im Messkanal, Begrenzungen und Latenzzeiten. Die robuste Regelung muss mit all diesen Effekten auskommen und in einen stabilen Betriebspunkt münden.

Das Projekt

Die Untersuchungen erfolgen im Rahmen eines von der KTI geförderten Projekts mit der Firma Micro-Motor AG in Therwil. Entwickelt werden kompakte Antriebsmotoren mit integrierter Elektronik für Batteriebetrieb im Leistungsbereich bis einige Kilowatt. Als Abschluss der Entwicklungsarbeiten an der Vektorregelung wird in einer Master-Arbeit ein Fehlermodell erarbeitet. Mit der Analyse der Unzulänglichkeiten, deren Modellierung und der Simulation dazu soll die Regelung zuverlässig und robust gemacht werden.

Projektteam

Prof. Bruno Stuber, Institut für Automation FHNW, bruno.stuber@fhnw.ch
Sebastian Elber, Bachelor of Science FHNW in Systemtechnik, Student Master of Science in Engineering MSE und wissenschaftlicher Assistent, sebastian.elber@fhnw.ch
Firma Micro-Motor AG, Therwil: Oliver Borngräber, Christoph Riehl, George Waltzer

Regelung der Gyroanlage M750

Ein Gyroskop ist ein schnell rotierender, symmetrischer Kreisel, der aus mehreren kardatischen Aufhängungen (Gimbals) besteht. Die aktive Drehung dieser Gimbals kann genutzt werden, um eine Änderung des Drehimpulses des Kreisels zu bewirken. Dieser Effekt wird zur Erzeugung von Drehmomenten genutzt, um die Lage einer Raumstation oder eines Satelliten im Weltall zu regeln. Die Raumstation ISS nutzt mehrere Gyroskope (Abbildung 1) zur Lagebestimmung im Weltraum und ist damit der wohl prominenteste Einsatzort dieser Systeme. Es liegt auf der Hand, dass die Orientierungsregelung solcher Systeme im Weltraum wegen den begrenzten Ressourcen fernab der Erde nicht mit Raketentriebwerken geschehen kann. Elektromotoren, die zum Betrieb von Gyroskopen verwendet werden, können hingegen ihre Energie aus der hochverfügbaren Sonnenenergie gewinnen. Die hochgradige Nichtlinearität dieser Anlagen erfordert die Entwicklung einer Methode, die das System global stabilisiert und optimal regeln kann. In einer Bachelor-Arbeit wurde dafür eine Lösung entwickelt.

Pascal Zeugin



Abbildung 1: Control Moment Gyroscope auf der ISS

Ausgangslage

Das System reagiert je nach Winkel der Gimbals (Zustand des Systems) zueinander sehr unterschiedlich, folglich war ein Modell für das Verständnis dieses kontraintuitiven Systemverhaltens und der Entwurf eines Reglers nötig. Der Reglerentwurf sollte zudem durch eine nichtlineare Simulation validiert werden können. Für den Reglerentwurf kamen zwei Prinzipien in Frage: Entweder ein global stabilisierender nichtlinearer Regler, oder ein linearer Regler für jeden Zu-

stand, was das fortlaufende Update des linearen Reglers entsprechend dem aktuellen Zustand bedeutet. Letzteres wurde gewählt, da für den global stabilisierenden Regler keine systematischen Entwurfsmethoden existieren. Diese Lösung setzt allerdings folgende Bedingungen voraus:

- Die Messung der Gimbalpositionen
- Schätzung nicht messbarer Zustände
- Linearisierung des Modells um diesen Zustand
- Berechnung einer aktualisierten Zustandsregelung

Mathematische Modellierung

Das Prinzipschema des Systems kann mit Abbildung 2 illustriert werden. Es setzt sich aus drei sich ineinander drehenden Gimbals (Körper B, C, D) und dem im innersten Gimbal drehenden Kreisel (Körper A) zusammen.

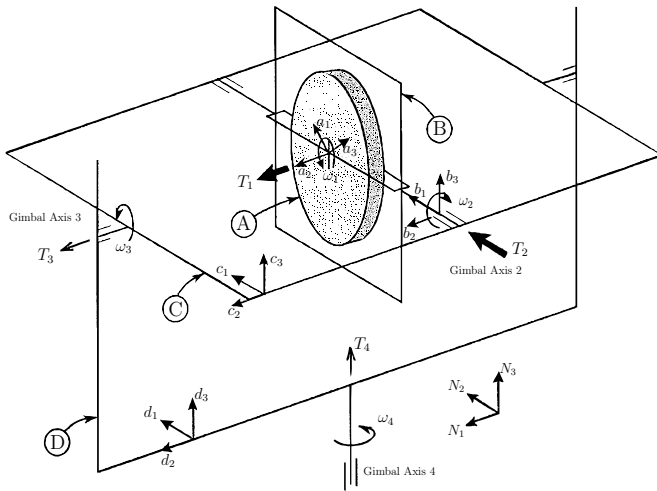


Abbildung 2: Prinzipschema

Die Drehgeschwindigkeit des Kreisels A und der Winkel des Gimbals B relativ zum Gimbal C können jeweils durch einen Elektromotor gesteuert werden. Zur Vereinfachung der Regelaufgabe können die Achsen 3 und 4 mit Bremsen blockiert werden. Die Achse 2 kann mit Hilfe einer sehr schnellen Winkelregelung ebenfalls blockiert werden. Die Herleitung der Bewegungsgleichungen geschieht dabei, abhängig von den momentanen Anfangspositionen und Konfigurationen der Bremsen, völlig automatisch per Euler-Lagrange (cf. Eq. 1) Formalismus.

$$\frac{d}{dt} \frac{\partial L}{\partial \dot{q}_i} - \frac{\partial L}{\partial q_i} = T_{q_i} \quad \text{Für } i = 1, \dots, 4 \quad (1)$$

Simulation

Für eine realitätsgetreue Simulation des nichtlinearen Systems wurde das Modell mit dem Lund-Grenoble (LuGre) Reibmodell erweitert. Bei diesem Modell werden die Kontaktstellen und Oberflächenunebenheiten als sich verbiegender Borsten modelliert (cf. Abb. 3). Diese Borsten verhalten sich wie Federn in einem genügend kleinen Bereich der

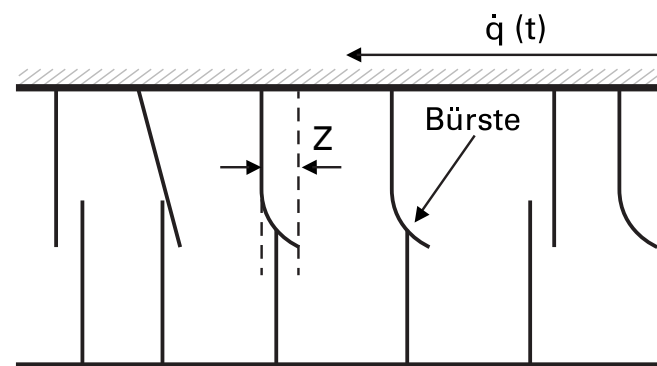


Abbildung 3: LuGre Reibungsmodell

Auslenkung z. Das dynamische Verhalten der Borstenbewegung lässt sich als nicht-lineare Differentialgleichung erster Ordnung modellieren.

Mit dem nichtlinearen Simulationsmodell konnte das extrem kontraintuitive Systemverhalten genau analysiert und validiert werden. Ebenfalls können damit entworfene Regler vor dem Feldtest nichtlinear simuliert werden. Dies ermöglicht die Analyse des transienten Verhaltens der Regel- und Steuergrößen für frei selektierbare Sollwerttrajektorien (Sprünge, Rampen, Schwingungen etc.). Ein zusätzlicher Nutzen liegt in der Erkennung von Unstimmigkeiten bei der Reglerdiskretisierung.

Mehrgrößenregelung

Für den Entwurf einer linearen Zustandsregelung müssen folgende Kriterien erfüllt sein:

1. Das aus Gl. 1 resultierende nichtlineare System der Form

$$\begin{aligned} E(\bar{x})\dot{\bar{x}} &= f(\bar{x}, u) \\ y &= h(\bar{x}, u) \end{aligned} \quad (2)$$

muss um einen Arbeitspunkt $(\bar{x}, \bar{u})$ linearisiert werden, i.e. in Form eines Zustandsraummodells vorliegen, was durch Anwendung der Taylor-Entwicklung (cf. Eq. 3) gelöst wurde.

$$\begin{aligned} E'\Delta\dot{x} &= A\Delta x + B\Delta u \\ \Delta y &= C\Delta x + D\Delta u \end{aligned} \quad (3)$$

2. Es müssen alle Zustandsvariablen der Regelstrecke durch die Steuergrößen beeinflusst werden können, das heisst, die Regelstrecke muss vollständig steuerbar sein. Dies ist bei den Zustandsraummodellen für die Anlage, unabhängig von der Konstellation der Gimbals, nicht gegeben. Die Lösung dafür ist, die nicht steuerbaren Teile des Systems durch eine Äquivalenztransformation zu finden und zu eliminieren, um dadurch eine minimale Realisierung des Systems zu erhalten.

Mithilfe von Zustandsraummethoden wie LQR und LQG/LTR kann das Regelproblem nun für fixe Anfangszustände und Auslenkungen in einem genügend kleinen Bereich x gelöst werden. All dies kann zur Demonstration von Mehrgrößenregelungen für Unterrichtszwecke genutzt werden.

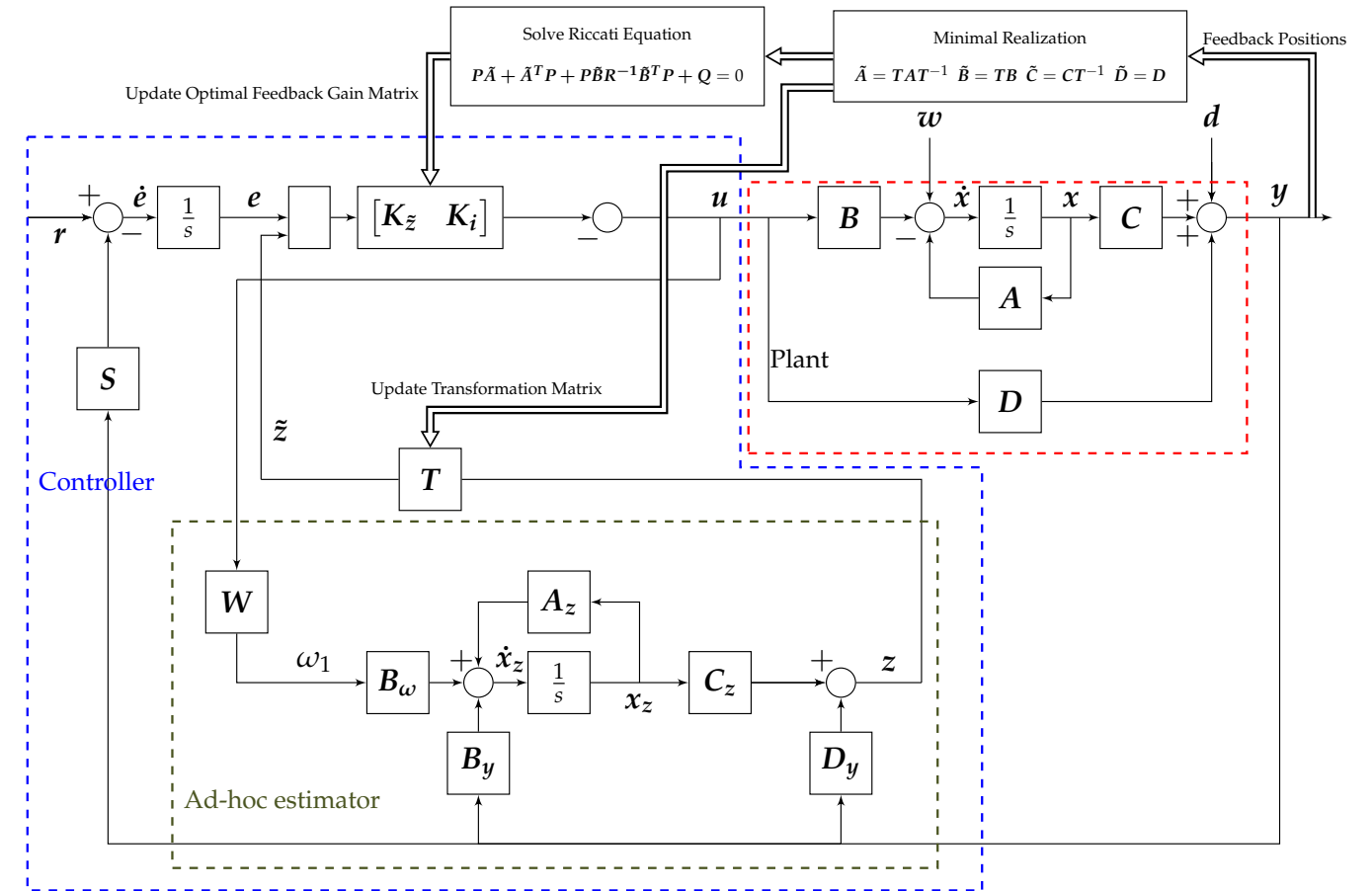
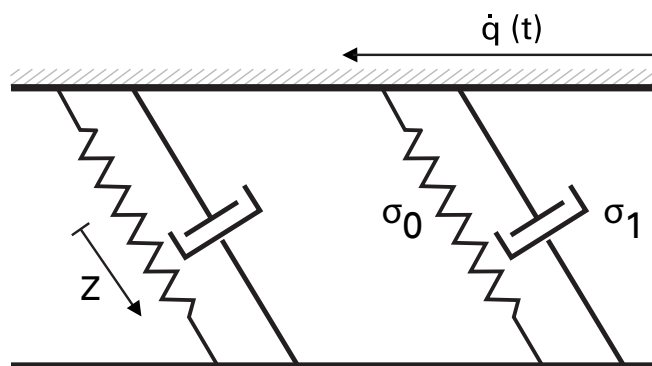


Abbildung 4: Adaptive Zustandsregelung

Adaptive lineare Regelung

Zur globalen Regelung des Systems wurde ein adaptiver, zeitweise linearer Regelalgorithmus entwickelt. Der Algorithmus basiert darauf, dass zu jedem Abtastzeitpunkt die aktuellen Zustände über einen einfachen Beobachter geschätzt werden, dazu automatisch ein neues Zustandsraummodell berechnet wird und daraus die optimale Zustandsrückführung K bestimmt wird. Die Regelgesetze sind folglich nicht konstant wie bei herkömmlichen Zustandsregelungen, sondern adaptiv (cf. Abb. 4).

Eine zusätzliche Schwierigkeit entsteht dadurch, dass die berechneten linearisierten Modelle nicht minimal sind. Der Beobachter aber ist nicht adaptiv und schätzt die physikalischen Zustände. Diese müssen dann in den Raum der Zustände der minimalen Realisierung transformiert werden, da dafür der Regler entworfen wurde. Dies impliziert sofort, dass auch die Transformationsmatrix T adaptiv sein muss. Zustandsregler und Beobachter sind dabei so konstruiert, dass sie nur ein einziges Mal für das Echtzeitsystem diskretisiert werden müssen, das heisst, es werden nur die adaptiven Elemente (K und T) im diskreten Regler aktualisiert, der Regler selbst bleibt jedoch immer derselbe. Dies ist essentiell, um eine der schnellen Dynamik entsprechende Abtastfrequenz zu realisieren. Müsste für jedes neue Zustandsraummodell ein neuer Regler und Beobachter entworfen und diskretisiert werden, wäre dies unmöglich.

Software

Die Modellbildung, nichtlineare Simulation, Reglerentwurf, Diskretisierung und Regelalgorithmus wurden mit LabVIEW in einem interaktiven Tool implementiert, getestet und validiert.

Projektteam

Prof. Dr. Jürg Peter Keller, juerg.keller1@fhnw.ch
Pascal Zeugin, Bachelor of Science FHNW in Systemtechnik, pascal.zeugin@students.fhnw.ch

Silence is Golden – Aktive Schallauslöschung für Bürostühle

Im Rahmen einer KTI-Machbarkeitsstudie zwischen der Firma Stoll Giroflex AG und dem Institut für Automation wurde die Realisierbarkeit einer aktiven Schallauslöschung für einen Bürostuhl untersucht. Die Bereiche Aktorik, Sensorik und Regelungstechnik wurden zuerst mit Hilfe von Simulationen getestet und anschliessend in Form eines Funktionsmusters umgesetzt. In Experimenten im schalltoten Raum konnte die Wirksamkeit dieses Konzepts belegt werden.

Daniel Treyer



Abbildung 1: Funktionsmuster des Bürostuhls mit aktiver Schallauslöschung

Die Firma Stoll Giroflex AG ist in der Schweiz der marktführende Hersteller qualitativ hochwertiger Bürositzmöbel. Das Unternehmen entwickelt und produziert seine Produkte in Koblenz (AG). Viele Bürostühle kommen heute in Grossraumbüros zum Einsatz, wobei der in solchen Räumen einwirkende Lärm die Leistungsfähigkeit sowie Gesundheit der dort arbeitenden Menschen beeinträchtigen kann. In diesem von der Kommission für Technologie und Innovation (KTI) geförderten Projekt sollten die akustischen Arbeitsbedingungen für die Benutzer der Bürostühle verbessert werden.

Das Hauptziel dieser Machbarkeitsstudie war der Nachweis der Machbarkeit einer kostengünstigen aktiven Schallauslöschung für einen Bürostuhl inklusive Aufbau

eines Funktionsmusters. Im Gegensatz zu rein passiver Schalldämpfung, bei der schalldämpfende Materialien zum Einsatz kommen (so z.B. in Lärmschutzwänden umgesetzt), bedeutet aktive Schallauslöschung, dass der eintreffende Störschall gemessen wird und anschliessend ein Lautsprecher einen sorgfältig erzeugten Gegenschall ausendet. Im optimalen Fall summieren sich Stör- und Gegenschall zu Null auf, wodurch es am Ohr des Benutzers zu einer destruktiven Interferenz und damit zur Schallauslöschung kommt.

Eine wichtige Anforderung des Firmenpartners war es, dass die gesamte Hard- und Software (Mess- und Regelungstechnik, Stromversorgung, etc.) in den Bürostuhl integriert sein muss, d.h. ohne im Raum installierte Geräte auskommen

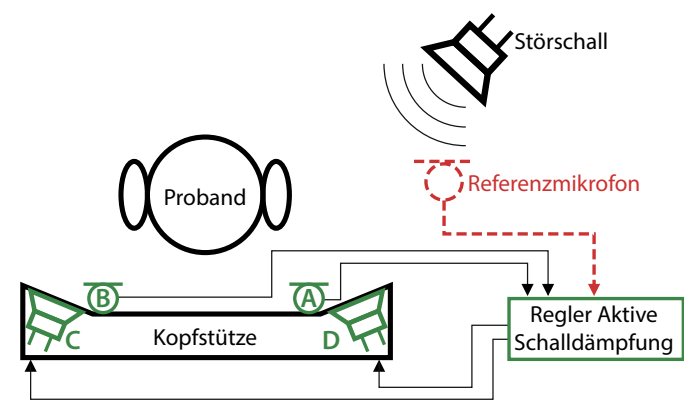


Abbildung 2: Skizze der aktiven Schallauslöschung ohne Referenzmikrofon mit Fehlermikrofonen (A,B) und Gegenschalllautsprechern (C,D)

muss. Zudem sollte das Funktionsmuster (siehe Abbildung 1) in der Lage sein, die in einem Büro üblicherweise auftretenden Schallarten auszulöschen.

Problemstellung

Aus diesen Zielen ergeben sich die folgenden wesentlichen Herausforderungen:

- Für eine optimale Schallauslöschung an beiden Ohren werden zwei Lautsprecher verwendet, die links und rechts in der Kopfstütze untergebracht sind. Die Auslöschung erfolgt also in Stereo. Hierdurch ist eine gegenseitige Beeinflussung der beiden Gegenschalllautsprecher möglich, was im Regelalgorithmus berücksichtigt werden muss.
- Der Schall soll in einem dreidimensionalen Umfeld ausgelöscht werden. Eine destruktive Interferenz an einem Ort kann allerdings zu einer konstruktiven Interferenz, also einem höheren Schallpegel, an einem anderen Ort führen. Der Ort der Schallauslöschung (d.h. die Ohren des Benutzers) ist nicht identisch mit dem Ort der Schallmessung (Mikrofon in der Kopfstütze). Die Position der Ohren variiert, bedingt durch die Körpergrösse des Benutzers und durch Kopf- und Körperbewegungen.
- Da in einer Büroumgebung eine Vielzahl unterschiedlicher Schallquellen existiert, soll die aktive Schallauslöschung in der Lage sein, unterschiedliche Arten von Schall (impulsartig, periodisch und breitbandig) zu dämpfen.



Abbildung 3: Einbau der Signalverarbeitung, Sensorik und Aktorik in der Kopfstütze des Funktionsmusters

- Die Bedingung, dass sämtliche für die aktive Schallauslöschung notwendigen Komponenten im Bürostuhl integriert sein müssen, wirkt erschwerend, weil bei gewissen räumlichen Anordnungen der Störschall am Ohr des Benutzers eintrifft, bevor er durch die Fehlermikrofone in der Kopfstütze gemessen wird. Ein zwischen der Störschallquelle und dem Ort der Schallauslöschung platziertes Referenzmikrofon wäre in der Lage, eine Vorwarnzeit für den Regelalgorithmus zu gewährleisten. Abb. 2 zeigt die eingesetzte Methodik, die ohne Einsatz eines externen Referenzmikrofons auskommt.

Modellbildung

Ein validiertes Simulationsmodell der akustischen Regelstrecke ermöglicht ein einfaches und schnelles Testen von verschiedenen Strukturen und Algorithmen in der Simulation, bevor diese mit einem grossen Zeitaufwand in einer Echtzeitumgebung umgesetzt werden. Der aktuelle Stand der Technik zur Modellierung von akustischen Übertragungsstrecken basiert auf der Identifikation von Übertragungsfunktionen. Dabei wird ein Lautsprecher mit einem Testsignal angeregt und das Mikrofonsignal gemessen. Auf Basis dieser beiden Signale kann eine zeitdiskrete Übertragungsfunktion identifiziert werden, die anschliessend für die Simulation der akustischen Umgebung verwendet wird. Von besonderem Interesse sind hierbei die Übertragungsfunktionen zwischen den Gegenschalllautsprechern und den Fehlermikrofonen sowie den Ohren des Benutzers.

Funktionsmuster und Modellvalidierung

Dieses Vorgehen bedingt, dass ein Funktionsmuster aufgebaut wird, an dem die notwendigen Messungen durchgeführt werden können. Die Abbildung 1 zeigt das Funktionsmuster an der Hochschule für Technik.

Das Funktionsmuster enthält zwei Gegenschalllautsprecher, zwei in der Kopfstütze integrierte Fehlermikrofone, ein Echtzeitsystem compactRIO von National Instruments zur schnellen Signalverarbeitung sowie ein Mikrofon, welches zu Validierungszwecken am Ohr des Benutzers platziert werden kann (siehe Abbildung 3).

Die beschriebene Kombination aus Modell und Funktionsmuster ermöglicht die schnelle Validierung der Modelle und der implementierten Algorithmen. Die aktive Schall-

auslöschung von verschiedenen Typen des Störschalls wird parallel in der Simulation und in einer realen Messung durchgeführt und die Resultate werden anschliessend verglichen.

Lösungsansätze

Eine zentrale Problemstellung ist, dass der Ort der Schallmessung in der Kopfstütze nicht mit dem Ort der Schallauslöschung am Ohr des Benutzers identisch ist. Der Schall am Ohr wird deshalb mit Hilfe eines Modells geschätzt; diese Methodik wird als virtuelles Mikrofon bezeichnet. Dazu wird experimentell ein Modell für die Übertragungsfunktion zwischen dem Fehlermikrofon und dem Ohr ermittelt. Mit Hilfe dieses Modells wird im Betrieb der Schall am Ohr geschätzt, ohne dass an diesem Ort eine Messung erforderlich ist. Der Regelalgorithmus löscht anschliessend diesen geschätzten Schall am Ohr aus.

Es ist einleuchtend, dass diese Übertragungsfunktion abhängig ist einerseits von der Ohrenposition und andererseits von der Richtung, in der der Störschall eintrifft. Da sich diese beiden Faktoren im Betrieb laufend ändern, müssen sie zunächst messtechnisch erfasst und anschliessend in der Regelung berücksichtigt werden.

Ergebnisse

Die Regelalgorithmen wurden auf einer Hardwareplattform von National Instruments implementiert, welche eine Kombination von Echtzeitbetriebssystem und Field Programmable Gate Array (FPGA) beinhaltet. Mit Hilfe des Funktionsmusters wurden für verschiedene Szenarien Schallauslöschungsversuche durchgeführt.

Für rein harmonische Störgeräusche konnten in der Messung Schalldämpfungen von grösser als 20 Dezibel (dB) erreicht werden, was für das menschliche Gehör eine starke Dämpfung des Schallpegels bedeutet. Für breitbandige und nichtstationäre Störgeräusche, wie sie in einer Büroumgebung oft vorkommen, beträgt die Schalldämpfung zwischen 2.5 und 5 dB. Weitere Simulationen und Messungen haben gezeigt, dass sich mit der Verwendung eines Referenzmikrofons ausserhalb des Bürostuhls eine verbesserte Schalldämpfung zwischen 3.5 und 6.5 dB realisieren lässt.

In dieser KTI-Machbarkeitsstudie wurde die grundsätzliche Machbarkeit einer aktiven Schallauslöschung für einen Bürostuhl gezeigt, wobei sich keinerlei Elemente ausserhalb des Bürostuhls befinden. Die in einem Büro üblichen Schallquellen können gedämpft werden, wobei die Kopfposition des Bürostuhlnutzers und die Richtung der Schallquelle erfasst werden.

Danksagung

Ein grosser Dank gilt der Kommission für Technologie und Innovation (KTI) für die finanzielle Förderung dieses Vorhabens sowie der Firma Stoll Giroflex AG für die fruchtbare Zusammenarbeit.

Umsetzungspartner Stoll Giroflex AG

Erwin Curiger, Leiter Neue Technologien

Projektteam FHNW

Daniel Treyer, Wissenschaftlicher Mitarbeiter,

daniel.treyer@fhnw.ch

Silvano Germann, Wissenschaftlicher Mitarbeiter,

silvano.germann@fhnw.ch

Sandro Wiedmer, Wissenschaftlicher Mitarbeiter,

sandro.wiedmer@fhnw.ch

Prof. Hans Gysin, Dozierender, hans.gysin@fhnw.ch

Prof. Dr. Sebastian Gaulocher, Projektleiter und Dozierender,

sebastian.gaulocher@fhnw.ch

Bachelor-Studierende im Studiengang Systemtechnik:

Mathias Siegenthaler, Melanie Brigger, Silvan Steiger

Energieeffiziente Strassenfrästechnologie durch Optimierung der Meissel-Fräsgut Interaktion

Das Ziel dieses KTI-Projektes ist die Analyse des Strassen-Fräsprozesses im Hinblick auf mögliche Effizienzverbesserungen. Das in einer ersten Projektphase erstellte Modell des Prozesses wurde zusammen mit dem Industriepartner auf einem Prüfstand erfolgreich validiert.

Jérôme Blum



Abbildung 1: Kaltfräse von Wirtgen®



Abbildung 2: Fräswalze

Einführung

Der Abtrag von Material jeglicher Art ist ein Prozess, der sehr häufig in den verschiedensten Ausführungen vorkommt. Dazu gehören spanende Verfahren wie das Drehen, Fräsen oder Schleifen in der Metallbearbeitung oder Holzbearbeitung. Sie finden sich auch beim Abbau von Rohstoffen, der untertags oder in Gruben stattfindet, beim Bauen von Tunneln oder im Ausbau von Strassen. Die Effizienz solcher Verfahren ist massgeblich davon abhängig, wie einfach sich das Material abtragen lässt. Nicht nur das Werkzeug spielt dabei eine wichtige Rolle, sondern auch, wie es bewegt wird. Aus diesem Grund findet man bei den verschiedenen Anwendungen für jeden Bereich spezielle Werkzeuge mit bestimmten Eigenschaften.

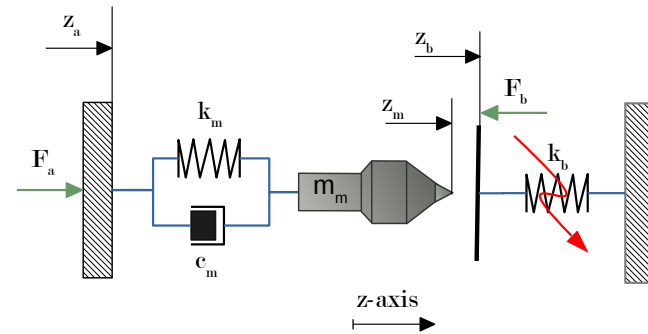


Abbildung 3: Vereinfachte Modellskizze der Meissel-Fräsgut Interaktion

$$m_m \ddot{z}_m + c_m (\dot{z}_m - \dot{z}_a) + k_m (z_m - z_a) + F_b = F_a$$

$$F_b = \begin{cases} k_b (z_b - z_m), & \text{falls } z_m > z_b \\ 0, & \text{sonst} \end{cases}$$

Für dieses Projekt interessiert der Prozess des Ausbaus von Strassen. Dazu bedarf es grosser und schwerer Maschinen, die über eine geraume Antriebsleistung verfügen. Die grösste Kaltfräse der Firma Wirtgen® wiegt über 40 Tonnen und besitzt zwei Verbrennungsmotoren mit einer Leistung von 1000 PS (Abbildung 1+2).

Modellierung des Prozesses

Die Ausgangslage für die Modellierung des Prozesses ist die Meissel-Fräsgut Interaktion. Bevor man sich mit der Kinematik der Fräswalze auseinandersetzt, muss klar sein, was beim Abtrag von Material mit einem Meissel passiert. Das modellierte Szenario beschreibt einen einzelnen Meissel, der auf ein Materialelement auftrifft. Die vereinfachte Modellierung dieses nichtlinearen Prozesses ist ein 1-Massen Schwingssystem mit unilateraler Bindung zwischen Meissel und Material. Zusätzlich muss das Materialelement abbrechen, sobald die Bruchkraft des Materials erreicht wird (durch roten Pfeil in Abbildung 3 dargestellt). Sobald das Materialelement ausbricht, wird das Materialelement, an dem der Meissel angreift, um einen konstanten Wert weitergeschoben.

Dieses Modell wurde mit unterschiedlichen Anregungsarten und Frequenzen simuliert und die Ergebnisse aufgezeichnet. Um die Simulationen miteinander zu vergleichen, wurde ein Aufwandskoeffizient definiert, der die durchschnittliche Meisselkraft im Bezug zur Bruchkraft misst. Der Koeffizient kann einen Wert zwischen 0 und 1 annehmen, wobei gilt: je tiefer desto besser.

Simulationsergebnisse

Die Ergebnisse der Simulationen zeigen auf, dass im Bereich der Maschinenresonanz die Effizienz am meisten gesteigert werden kann. Jedoch mit dem Nachteil, dass die Kraftspitzen am Meissel sehr gross werden, so dass sie zur Zerstörung des Meissels führen können. Daher ist es wichtig, den Prozess so zu regeln, dass die Kraftspitzen minimiert werden und dabei gleichzeitig der Aufwandskoeffizient in einem optimalen Bereich liegt.

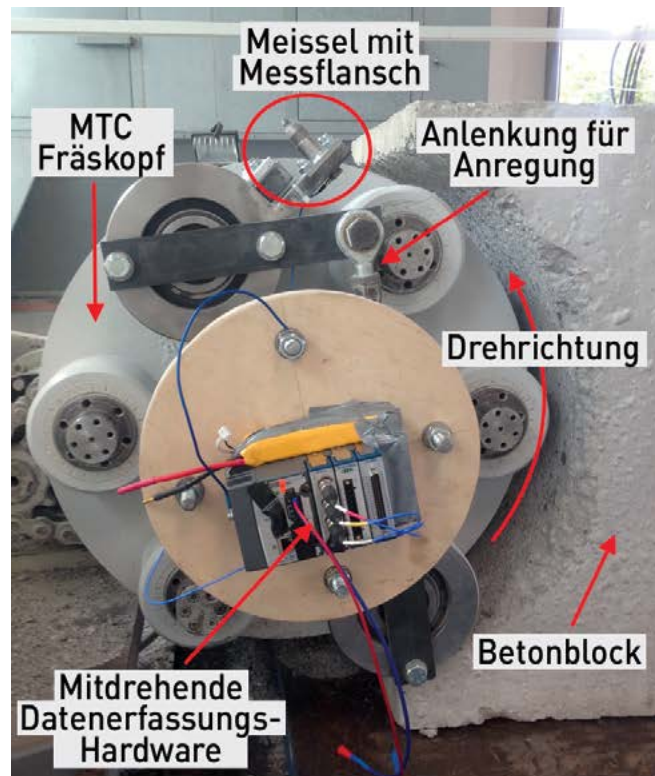


Abbildung 4: Aufbau des Validierungsversuchs mit Meissel, DMS und Datenerfassungshardware

Aufbau zur Validation des Simulationsmodells

Um das Simulationsmodell zu validieren, wurde ein Messaufbau entwickelt, der die aktuelle Meisselkraft über die Verformung eines Flansches mittels Dehnungsmessstreifen (DMS) misst. Die Auswertungselektronik für die DMS musste auf dem rotierenden Fräskopf befestigt werden (siehe Abbildung 4). Dieser Schritt wurde durch einen Studenten des Systemtechnik Studiengangs als Bachelor-Arbeit durchgeführt. Sie beinhaltete die Auswahl und Programmierung einer geeigneten Datenerfassungshardware, die nicht zu gross ist, über genügend Leistung verfügt und mit einem Akku gespeist werden kann. Zusätzlich musste es möglich sein, die erfassten Daten mit wenig Aufwand

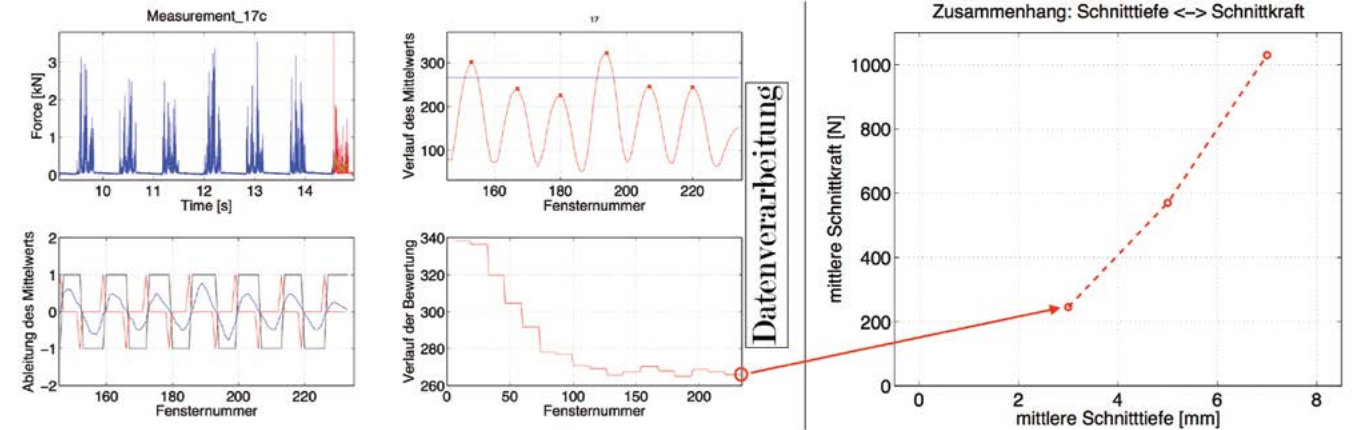


Abbildung 5: Datenverarbeitung und Messergebnisse

auf einen Computer zu übertragen, um die Auswertung vorzunehmen. In folgender Abbildung 3 ist das Messkonzept ersichtlich.

Die Experimente umfassten mehr als 80 verschiedene Messungen auf dem Prüfstand, wobei Schnittgeschwindigkeiten, Schnitttiefen und das zu bearbeitende Material variiert wurden.

Datenverarbeitung

Die aufgezeichneten Daten wurden einem speziell für diesen Zweck entwickelten Datenverarbeitungs-Algorithmus unterzogen (vgl. Abbildung 5 links). Der Algorithmus hat zum Ziel, eine Messung bestehend aus 18 Schnitten auf einen repräsentativen Wert zu reduzieren. Dazu wird ein mehrstufiges Mittelungsverfahren angewendet. Ein Teil davon ist auch eine automatische Maximalstellen-erkennung. Die Mittelung über die Maximalwerte ergibt eine durchschnittliche mittlere Schnittkraft für einen Versuchsparametersatz (Abbildung 5 rechts).

Schlussfolgerung

Die Auswertung über alle durchgeführten Versuche zeigt auf, dass die experimentell gemessene Schnittkraft stetig mit der Schnitttiefe zunimmt, wie von der Meissel-Fräskraft Modellierung vorausgesehen. Das Simulationsmodell verhält sich also richtig und kann somit als validiert bezeichnet werden.

Projektteam

Prof. Dr. Roland Anderegg, Leiter Institut für Automation FHNW, roland.anderegg@fhnw.ch

Jérôme Blum, Bachelor of Science FHNW in Systemtechnik, Student Master of Science in Engineering MSE und wissenschaftlicher Assistent, jerome.blum@fhnw.ch

Philip Hofer, Bachelor-Thesis im Studiengang Systemtechnik

Exzentergenerator zur Energiegewinnung aus der Bewegung von Schuhen

In einem KTI-Projekt wird ein elektromagnetischer Generator nach dem Prinzip des Energy-Harvesting für die Gewinnung von Energie aus der Bewegung des Schuhabsatzes beim Gehen entwickelt. Die Firma TRACKER AG kann damit ihre für Schuheinlagen entwickelten Tracking-Systeme (GPS/GSM) speisen. Das Einsatzgebiet ist in erster Linie die Ortung von verschwundenen, dementen Personen.

Hans Gysin



Abbildung 1 zeigt schematisch das 1. Funktionsmuster eines Exzentergenerators, der mit einem pendelnden Rotor (aussen) und einem Stator (innen) elektromagnetisch Energie aus Kippbewegungen und Linearbeschleunigungen erzeugt.

Konzeptphase

Nach umfangreichen und vielfältigen Überlegungen und Sichtung bestehender Generatoren in ähnlichen Anwendungen, fiel schon früh die Entscheidung auf einen elektromagnetischen Exzentergenerator (Pendelgenerator). Diese Art der Energiegewinnung kennen wir alle aus dem Bereich der automatischen Armbanduhren. Aus vielfältigen Bewegungen des Generators wird dabei aus einer Exzentrerschwingung Rotationsenergie gewonnen. Diese dient in der Armbanduhr dazu, eine Feder zu spannen. In unserm Projekt erzeugt sie als elektromechanischer Generator Strom.

Wie vorausgehende Berechnungen gezeigt haben, benötigen wir den grössten Teil der Bewegungsenergie als elektrische

Energie. Das unter der Bedingung, dass der Träger des Generators keine spürbare Behinderung erfährt. Mit dem grössten Teil ist ein Wirkungsgrad von gegen 90% oder höher gemeint. Diese Anforderung hat auch dazu geführt, dass bei der Evaluation Generatoren mit Piezoeffekt, Konstruktionen mit Gestängen und Biegungen oder Getrieben und sogar sämtliche Linearbewegungen ausgeschlossen wurden.

Der KTI-Forschungsantrag wurde durch diese Präzisierung zweifellos spezifischer, aber die Anforderungen an die Konstruktion und Auslegung des Exzentergenerators wurden in keiner Weise einfacher.

Das erste Funktionsmuster diente vor allem dem Entwurf

eines kraftfreien und hocheffizienten Magnetsystems. Weiter wurden Leiterplatten im Einsatz als Wicklungen untersucht und die optimalen Grenzen bezüglich Technik und Wirtschaftlichkeit ermittelt. Das gesamte Funktionsmuster ist der Einfachheit halber in ca. doppelter Grösse realisiert (10 cm Durchmesser). Dies ergibt zwangsläufig grosse Anforderungen an die Ermittlung der Wachstumsgesetze, die für die Abschätzung des definitiven Generators unabdingbar sind.

Stand des Projektes

Das Projekt ist noch in der Startphase, aber durch eine vorausgehende studentische Projektarbeit stand Ende 2015 bereits ein Funktionsmuster für grundlegende Versuche

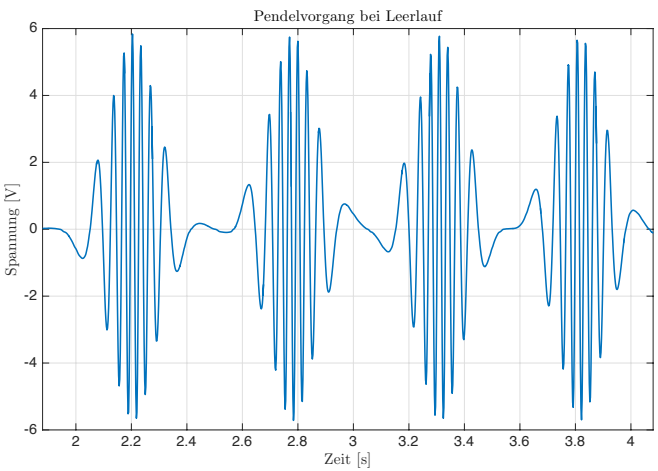


Abbildung 2 zeigt die Spannung, die ohne Belastung, also mit freiem Ausschwingen vom Generator erzeugt wird. Deutlich sind dabei die einzelnen Pendelbewegungen zu erkennen.

und Messungen zur Verfügung. Die Messungen haben dabei unsere Abschätzungen, Simulationen und Berechnungen bestätigt. Die aus Effizienzgründen angestrebte hohe induzierte Spannung forderte den erwarteten Tribut in Form von Innenwiderstand des Generators durch die hohen Windungszahlen. Mit diesem Funktionsmuster können noch Optimierungs-Anpassungen und Versuche in Richtung weniger Innenwiderstand und stärkere Magnetfelder im Spulenbereich durchgeführt werden.

Ausblick

Das Funktionsmuster zeigte schonungslos die Schwierigkeiten, die einer Effizienz im Bereich von 90 % und darüber im Wege stehen. Die hohe Windungszahl für das Erreichen brauchbarer Spannungen steht einem kleinen Innenwiderstand gegenüber. Eine hohe Geschwindigkeit bei der Pendelbewegung ist prinzipiell nicht einfach möglich.

Im weiteren Projektablauf werden wir mit neuen, erweiterten Pendelprinzipien grundlegend die Geschwindigkeit, die Flussdichte, die Windungszahl, den Innenwiderstand des Generators sowie die Ausnützung sämtlicher Bewegungsenergien in günstiger Richtung beeinflussen, bis wir die 90% Effizienzschwelle überschritten haben.

Industriepartner

Tracker AG: Lothar Halbgebauer (Projektleitung, Entwicklung, Produktbetreuung)

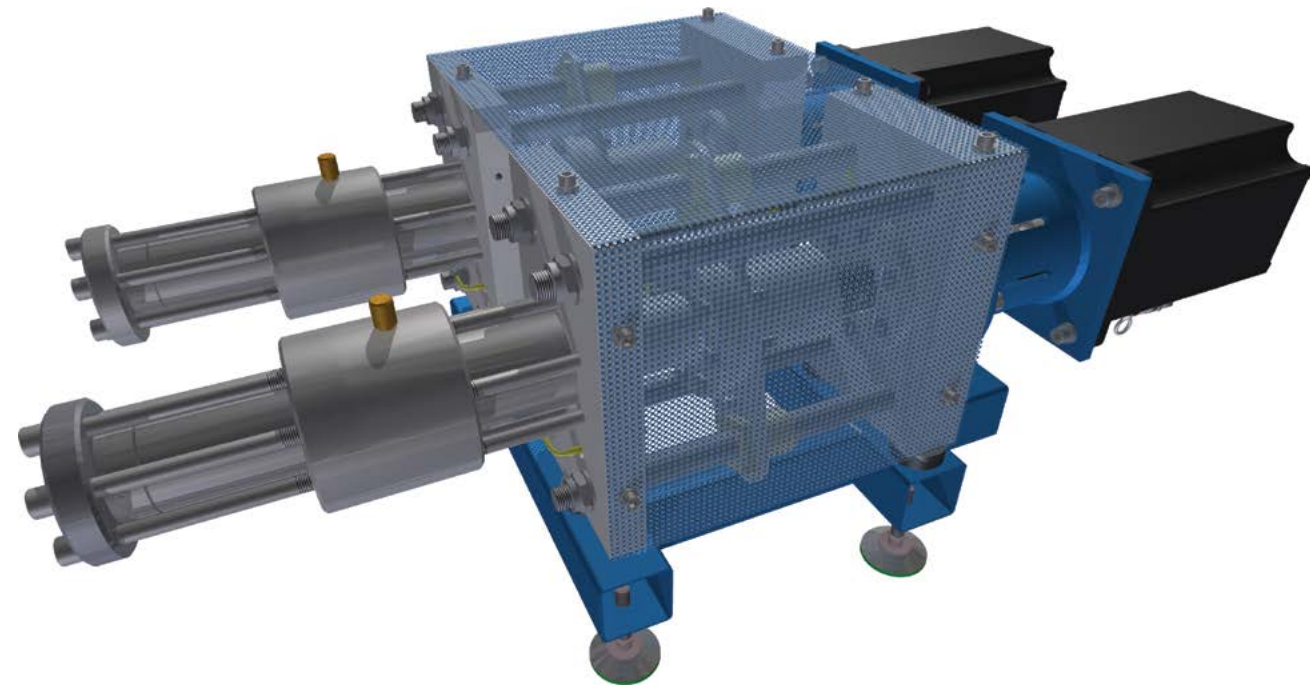
Projektteam

Patrick Read, Master-Student und wissenschaftlicher Assistent
Prof. Hans Gysin, hans.gysin@fhnw.ch, Advisor/Betreuer und Projektverantwortlicher FHNW

Hochdruckwasserstrahlschneiden mit energieeffizienten Hochdruckpumpen

Im Rahmen eines KTI-Projekts mit den Industriepartnern Jet Cut Power GmbH und Zaugg Maschinenfabrik AG wurde in den letzten zwei Jahren eine energieeffiziente Hochdruckpumpe mit Elektro-Direktantrieben entwickelt. In einem Folgeprojekt soll diese Pumpe für den Einsatz in vollautomatisierten Wasserstrahlnetzwerken weiter modularisiert werden.

Lukas Kurmann, Stefan Niederberger



Einleitung

Wasserstrahlschneidaggregate werden in vielen Industriezweigen eingesetzt. Diese werden bis heute ausschliesslich hydraulisch betrieben. Die Hochdruckherzeugung erfolgt dabei mit sogenannten Druckübersetzern. Auf der Mitteldruckseite drückt das Steuermedium Öl auf einen Kolben. Der Kolben bewegt einen Plunger auf der Hochdruckseite, der das Arbeitsmedium Wasser komprimiert (siehe Abbildung 1, links). Dabei werden Wasserdrücke von 2'000 bar bis 4'000 bar erzeugt. Im Schneidkopf wird das Wasser zu einem Hochdruckwasserstrahl gebündelt und gegebenenfalls wird ein Abrasiv beigelegt. Mit diesem hochenergetischen Wasserstrahl lassen sich beinahe alle Materialien schneiden.

Als erster Schritt wurde ein bestehendes Wasserstrahlhochdruckaggregat in einem Modell abgebildet. In einem

folgenden Schritt wurde das Simulationsmodell validiert, um anschliessend die Anforderungen an einen energieeffizienten Elektro-Direktantrieb zu definieren und ein geeignetes Steuerungs- und Regelungskonzept zu entwickeln. Die verwendeten Direktantriebe bestehen aus Lineareinheiten mit leistungsstarken Synchron-Servomotoren, die direkt mit den Plungern gekoppelt werden (siehe Abbildung 1, rechts). Dabei entfallen die bisher verwendeten Hilfsmedien Öl und Pneumatik komplett. Die Leistungsaufnahme der Antriebe wird durch eine energieoptimierte Bahnplanung minimiert und eine Druckregelung eliminiert. Der neue Direktantrieb baut somit auf dem bestehenden Konzept mit zwei phasenverschobenen betriebenen Plungern auf. Dies erlaubt einen kontinuierlichen Hochdruckwasserstrahl ohne zusätzliche Druckspeicher.

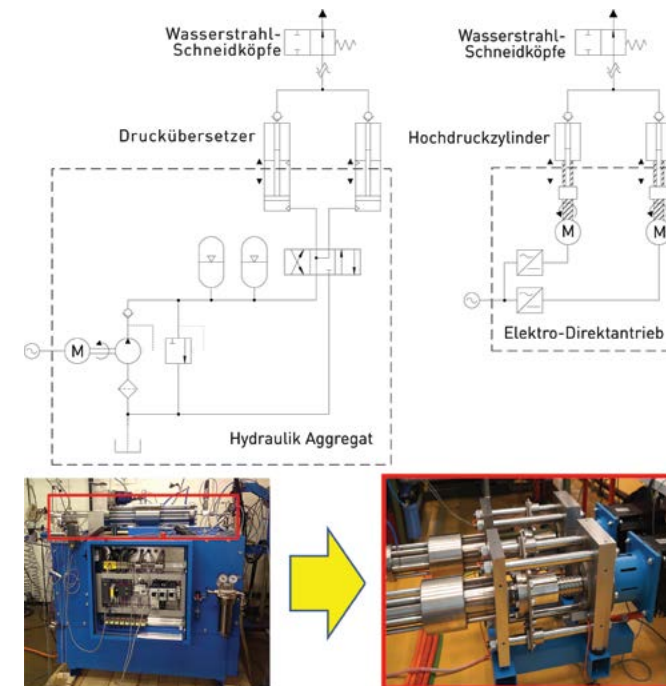


Abbildung 1: Links: Aufbau des ursprünglichen Pumpensystems mit öldruckhydraulischem Antrieb. Rechts: FHNW Prototyp der neuen energieeffizienten Pumpe mit geregelten Direktantrieben.

Die entwickelte Hochdruckpumpe erreicht bislang einen Druck von 2'500 bar. Erste Messungen zeigen eine Wirkungsgradsteigerung von über 10%. Im Folgeprojekt wird zunächst eine modularisierte Hochdruckpumpe für Drücke bis 4'000 bar entwickelt, um anschliessend Regelalgorithmen für den Pumpenbetrieb in hochdynamischer Prozessumgebung zu validieren.

Auszüge aus dem Forschungsauftrag

Durch die Modularisierung der energieeffizienten Hochdruckpumpe soll diese hinsichtlich Druck- und Volumenstrombedarf beliebig skalierbar in Wasserstrahlnetzwerken, wie in der Abbildung 2 dargestellt, eingesetzt werden können. Anhand des Leistungsbedarfes soll das Wasser-

strahlnetzwerk softwarebasiert mit einem Auslegetool optimal dimensioniert werden. Dabei werden die Hochdruckpumpen im Wasserstrahlnetzwerk koordiniert geregelt, um die vorhandenen Totzeiten zu minimieren. Diese gesamtheitliche Anlagenauslegung und Parametrisierung am Auslegetool soll einen energie- und ressourceneffizienten Pumpenbetrieb ermöglichen und folglich die Service-Intervallzeiten vergrössern. Als Basis für das Auslegetool dient ein Prozessabbild des gesamten Wasserstrahlnetzwerkes als Cyber-physisches System (CPS).

Ein weiteres Forschungsziel ist es zu prüfen, inwiefern ein gepulster Wasserstrahl mit periodisch veränderlichem Druck in der Lage ist, die industriellen Anforderungen an einen Wasserstrahlschnitt zu erfüllen, um die Effizienz möglicherweise noch weiter zu steigern. Das in der Abbildung 3 illustrierte Prinzip besteht darin, bei gleichbleibendem Maximaldruck (Schwingungsamplitude) den mittleren Druck in den Pumpen abzusenken. Dadurch wird gleichermassen die mittlere Leistungsaufnahme reduziert. Die effektive Schnittleistung ist durch den Maximaldruck bestimmt und bleibt somit erhalten. Dank den Elektro-Direktantrieben der effizienten Hochdruckpumpe können mit den Plungern nahezu beliebige Bewegungsmuster realisiert und auch solche neuartige Schneidverfahren untersucht werden.

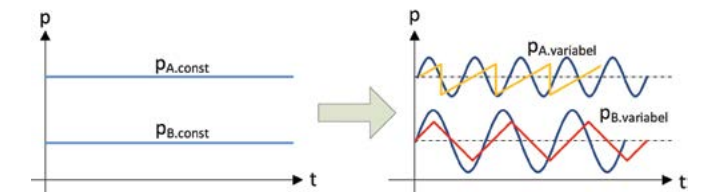


Abbildung 3: Prinzip des gepulsten Wasserstrahlschneidens: Anstelle eines möglichst konstanten Druckes (und damit Schnittkraft) wird der Schneiddruck periodisch variiert.

Validation der elektrisch angetriebenen Hochdruckpumpe

Die entwickelte Hochdruckpumpe wurde im Maschinenlabor der FHNW ausführlich getestet. Die wesentlichen Vorteile von

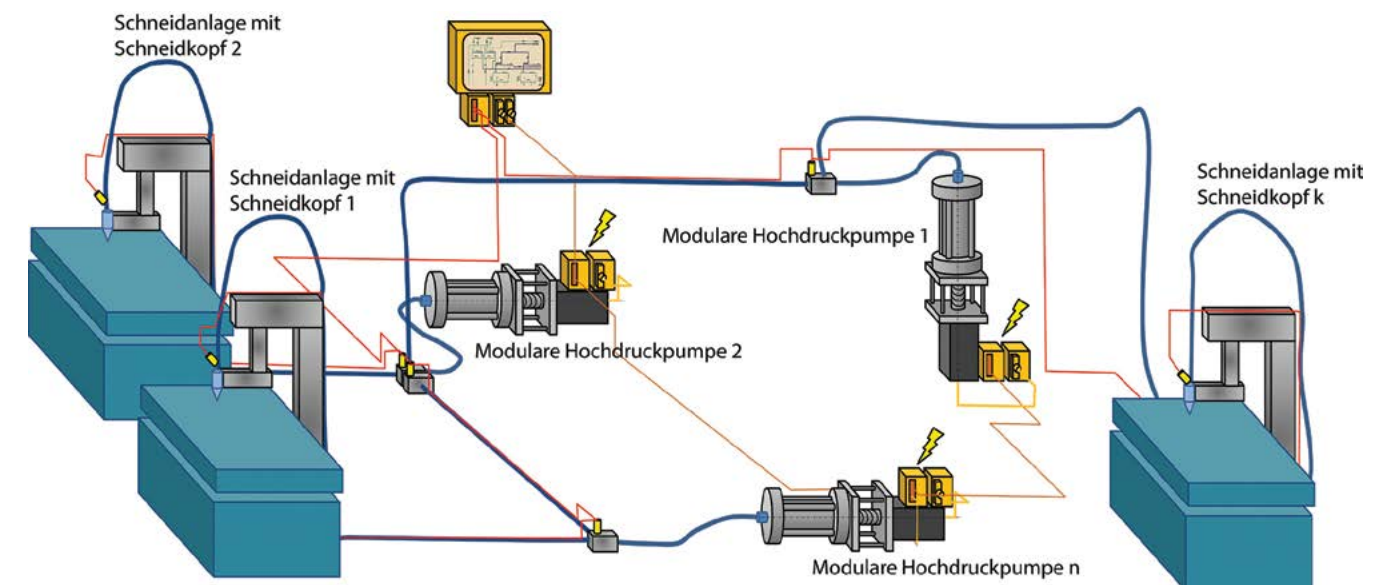


Abbildung 2: Aufbau energieeffizienter Wasserstrahlnetzwerke, die im Hinblick auf die gewünschten Schnittleistungen optimiert werden.

elektrisch angetriebenen Hochdruckaggregaten gegenüber herkömmlichen hydraulischen Systemen, sind der erreichbare Wirkungsgrad und die kompakte Bauform. Der Platzbedarf konnte um rund 70% gegenüber der ursprünglichen Bauform verringert werden. Das Gesamtsystem der entwickelten Hochdruckpumpe weist einen Wirkungsgrad von 60% auf (siehe Abbildung 5), was gegenüber herkömmlichen Aggregaten schon jetzt einer Steigerung von 10% bis 20% entspricht. Durch die detaillierten Messungen konnten die Designkriterien für eine weitere Wirkungsgradsteigerung abgeleitet werden.

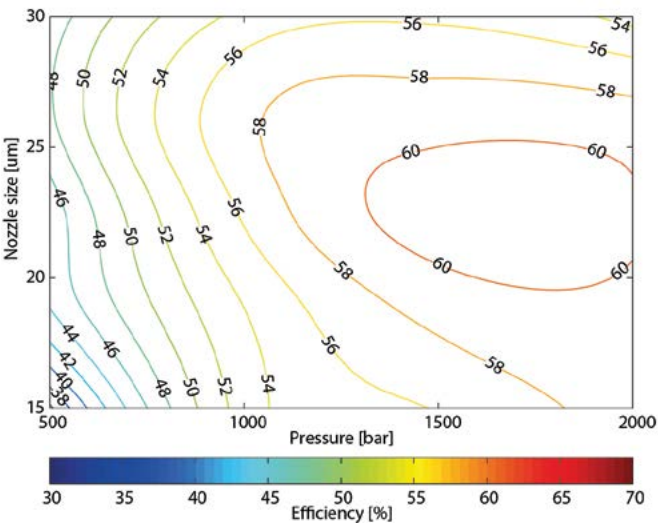


Abbildung 5: Wirkungsgradfeld der entwickelten Hochdruckpumpe mit Elektro-Direktantrieb in Abhängigkeit von Betriebsdruck und Düsendurchmesser.

Als weiteres Gütekriterium beim Wasserstrahlschneiden wurde die Welligkeit des Druckverlaufes untersucht. Bei gängigen Konzepten werden möglichst viele Plunger in einer Sinus-Bewegung parallelgeschaltet. Somit bleibt

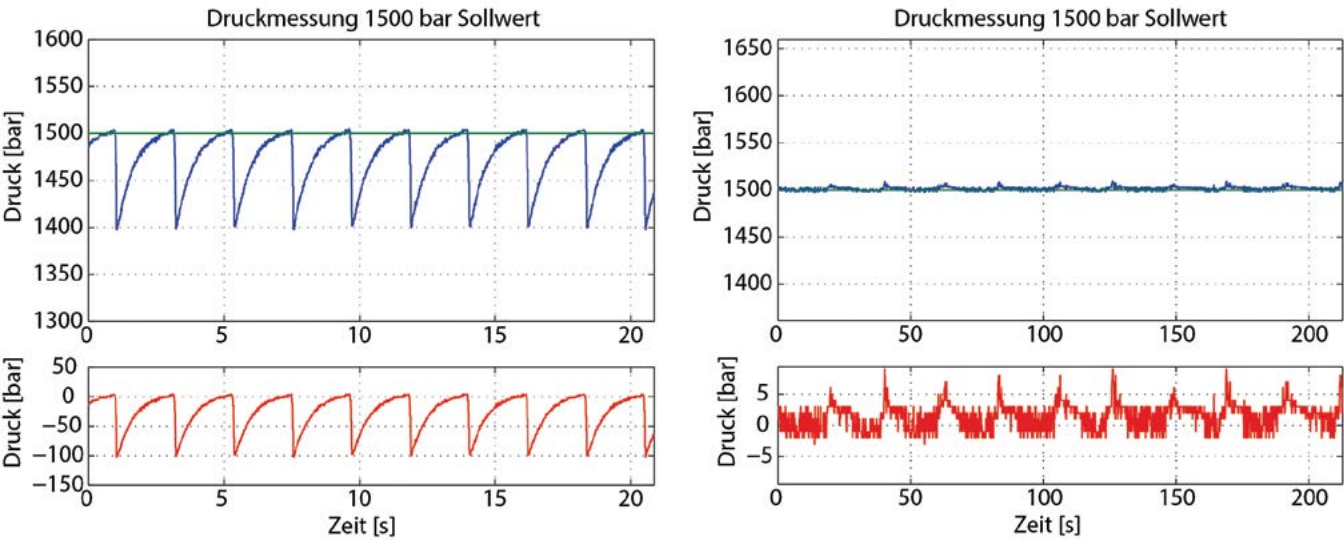


Abbildung 6: Druckverlauf der Hochdruckpumpe mit Elektro-Direktantrieb bei 1'500 bar. Links: Mit durch Bahnplanung synchronisierte Plunger. Rechts: Mit Bahnplanung und übergeordneter Druckregelung.

stets eine Oberwelle erhalten, welche in Druckspeichern geglättet wird. Um mit zwei phasenverschobenen Plungern einen möglichst konstanten Hochdruck zu erreichen, werden diese über eine optimierte Bahnplanung synchronisiert. Die Abbildung 6 zeigt die Druckschwankungen im Hochdruckteil der entwickelten Hochdruckpumpe. Anstelle eines schwankenden Betriebsdrucks zwischen 1'400 bar und 1'500 bar wird dieser durch eine Druckregelung konstant in einem Band von 10 bar um den eingestellten Sollwert gehalten. Dies ist nicht nur eine deutliche Verbesserung gegenüber dem ungeregelten System, sondern übertrifft die in früheren Arbeiten nachgewiesene Güte des Druckverlaufes einer hydraulisch betriebenen Hochdruckpumpe.

Ausblick

Die im Rahmen des abgeschlossenen KTI-Projektes erreichten Ziele bilden die Basis für die weiterführende Forschungstätigkeit in der Hochdruckwasserstrahlschneidtechnik, die durch reduzierten Medieneinsatz und nun Dank in Software gegossenen Regelalgorithmen und Bahnplanungstrajektorien äusserst flexibel und energieeffizient eingesetzt werden können.

Für die fruchtbare Zusammenarbeit möchte das Projektteam unseren Industriepartnern Jet Cut Power GmbH und Zaugg Maschinenfabrik AG und auch allen weiteren involvierten Firmen sowie den engagierten Studierenden der FHNW danken.

Projektteam

Lukas Kurmann, Master of Science EE und Doktorand, lukas.kurmann@fhnw.ch;
Stefan Niederberger, Master of Science in Engineering MSE und wissenschaftlicher Assistent, stefan.niederberger@fhnw.ch

Ihr nächster Karriereschritt: Weiterbildung für Fach- und Führungskräfte

Innovative und erfolgreiche Unternehmen sind auf die Kompetenz und das Engagement ihrer Mitarbeitenden angewiesen, gut ausgebildete Fachleute sind daher äusserst gesucht. Mit einer Weiterbildung erhöhen Sie Ihre Chancen auf dem Arbeitsmarkt ganz entscheidend.

Die berufsbegleitenden Weiterbildungsangebote der Hochschule für Technik FHNW richten sich an Projektleiterinnen und -leiter sowie an Führungskräfte mit einer technischen Grundausbildung.

Die Studiengänge sind modular aufgebaut und vermitteln neuestes Fachwissen und Managementkompetenzen. Sie können mit dem Diplom Master of Advanced Studies abgeschlossen werden und befähigen zur Übernahme von anspruchsvollen Führungs- und Projektaufgaben. Mit einer Weiterbildung an der Fachhochschule Nordwestschweiz sind Sie hervorragend gerüstet für den nächsten Karriereschritt in Ihrem Fachbereich.

MAS Automation Management - Für Führungspersonen in der Automationstechnik

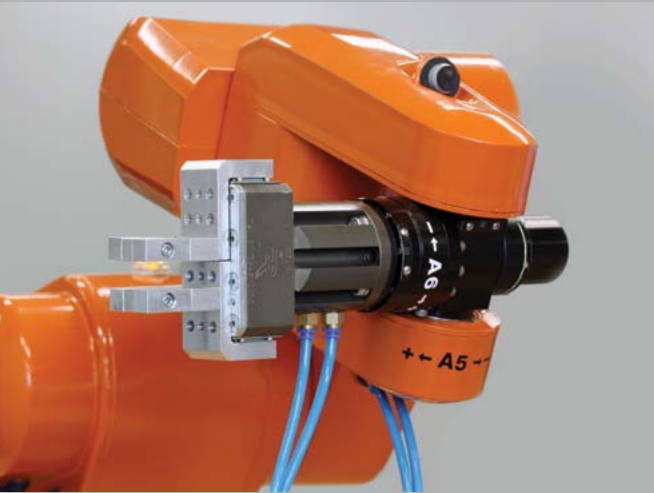
Der Master of Advanced Studies (MAS) Automation Management deckt die Bereiche Automatisierungstechnik, Projektmanagement, Planungsmethodik, Automationsinformatik und Projektierung ab. Nach Abschluss des Studiums sind die Teilnehmenden in der Lage, eine komplexe Anlage zu projektieren und sowohl kostenoptimal als auch termingerecht zu realisieren.

Die Module werden vom Institut für Automation und seinen Netzwerkpartnern angeboten. Sie besuchen die Module dort, wo das entsprechende Know-how und die Laborausrüstungen vorhanden sind. Durch die enge Zusammenarbeit mit der Industrie und anderen Hochschulen fliessen aktuelle Ergebnisse aus Forschung und Entwicklung in die Weiterbildung mit ein. Administrativ wird der Studiengang von der Hochschule für Technik FHNW geleitet.

Nächster Start: 11. September 2017

Weitere Angebote im Fachbereich Automation

Die Hochschule für Technik FHNW bietet verschiedene Veranstaltungen in Form von Kursen und Workshops an. Sie können bei uns massgeschneiderte Kurse in Auftrag geben. Nehmen Sie mit uns Kontakt auf – wir informieren Sie gerne.



Unser Weiterbildungsangebot umfasst die Fachgebiete

- Automation
- Digitales Bauen
- Elektronik
- Einkauf und Beschaffung
- Giessereitechnik
- Informatik
- Industrie 4.0
- Kunststofftechnik
- Logistik
- Management und Führung
- Optometrie

Infoabende

- 27. Juni und 24. August 2016: Windisch
 - 31. Oktober 2016: Basel
- jeweils um 18.15 Uhr

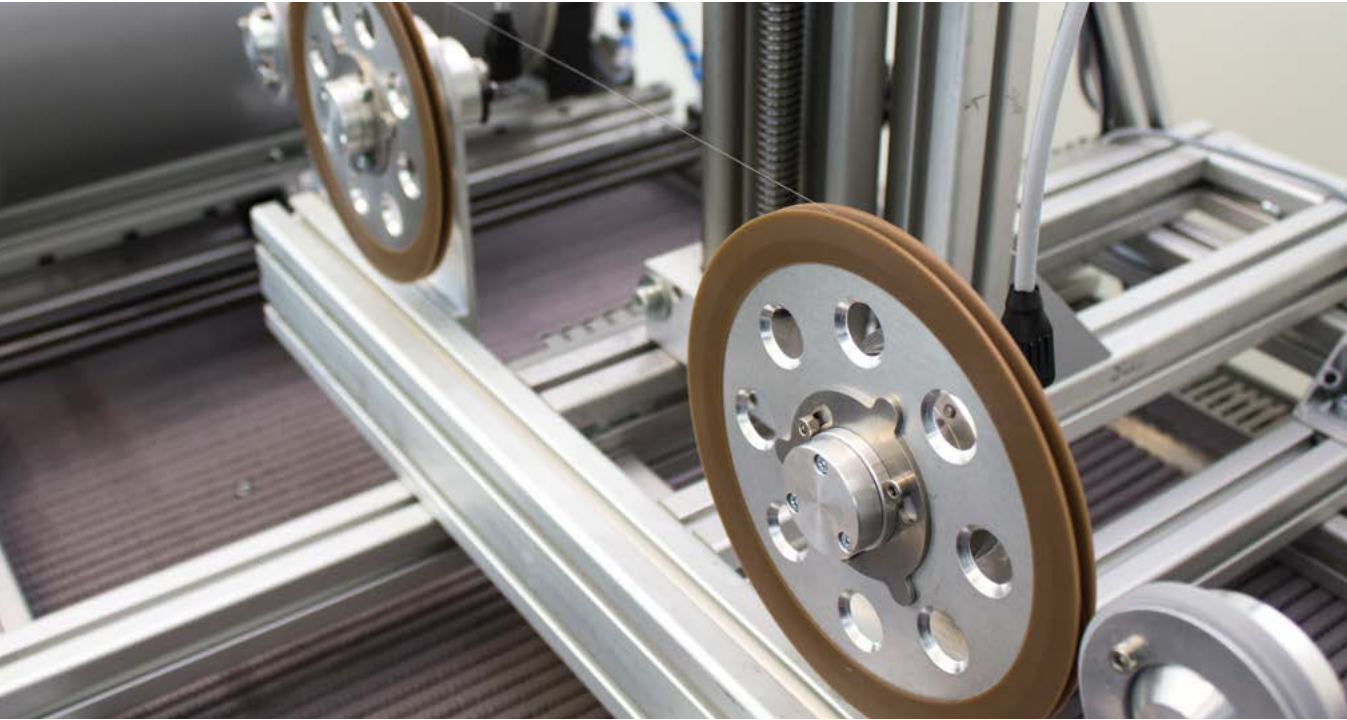
Informationen und Kontakt

Hochschule für Technik FHNW
T +41 56 202 99 55
weiterbildung.technik@fhnw.ch
www.fhnw.ch/wbt

Optimierung des Drahtsägeprozesses für die Waferproduktion

Das Drahtsägen zur Produktion von Wafern ist ein zentraler Prozess in der Herstellung von Solartechnologie. Im Rahmen dieses von der Kommission für Technologie und Innovation KTI geförderten Projektes werden Strategien entwickelt, welche die Optimierung der Waferproduktion ermöglichen. Dazu wird der Drahtsägeprozess modelliert und simuliert und das Modell mit Messdaten validiert.

Daniel Treyer



Die Meyer Burger AG ist eine Tochtergesellschaft der Meyer Burger Technology AG (SIX Swiss Exchange MBTN) und entwickelt am Standort des Technologie und Produktionecenter (TPC) in Thun Anlagen, Systeme und Lösungen zur Herstellung von hochwertigen Wafern und leistungsfähigen Modulen für die Solarindustrie. Am TPC-Standort in Thun sind rund 400 Mitarbeiter beschäftigt.

Der Prozess vom monokristallinen Siliziumrohling, dem sogenannten Ingot, bis zum fertigen Solarmodul umfasst viele und komplexe Herstellungsschritte. Die Prozesskette beinhaltet Fertigungs-, Handlings-, Automations- und Messlösungen. Meyer Burger bietet als einziges Unternehmen weltweit von Einzelmaschinen bis zu vollständigen Produktionssystemen alles aus einer Hand an.

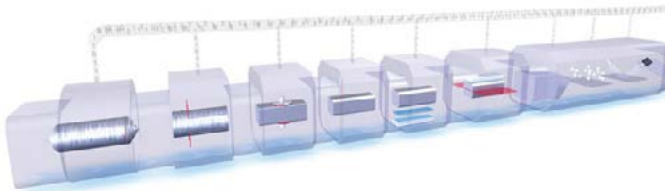


Abbildung 1: Prozesskette zur Produktion von Wafern

Kernkomponenten, welche zur Produktion der Module benötigt werden, sind die sogenannten kristallinen c-Si Wafer, Siliziumscheiben mit einer Dicke von 100 bis 200 Mikrometern. Der Prozess zur Herstellung der Wafer, dargestellt in Abbildung 1, kann wie folgt beschrieben werden: Zuerst wird ein runder monokristalliner Silizium-Ingot zu einem quasi rechteckigen Brick mit Fasen gesägt.



Abbildung 2: Meyer Burger Drahtsäge DW 288 (Quelle: Meyer Burger AG)

Dieser Brick wird danach auf einen Werkstückträger aufgebracht. Beim anschliessenden Drahtsägen wird der Brick in hauchdünne Wafer aufgesägt, bevor diese in einem nasschemischen Prozess gereinigt und anschliessend optisch ausgemessen und qualifiziert werden.

Der wesentliche Vorgang bei der Herstellung der Silizium-Wafer ist das Drahtsägen, auch Wafering genannt. Die Abbildung 3 stellt den Drahtsägeprozess schematisch dar. Über zwei Drahtführungsrollen wird spiralförmig ein Draht aufgespannt, so dass ein Drahtfeld entsteht. Der Draht mit einem Durchmesser von etwa 100 Mikrometern ist mit kleinsten Diamantkörnern besetzt. Anschliessend werden die Drahtführungsrollen in Bewegung versetzt, wodurch auf der einen Seite neuer Draht ins Drahtfeld ein- und auf der anderen Seite alter Draht austritt. Der auf der Vorschubeinheit montierte Brick wird durch das Drahtfeld bewegt, wobei der Diamantdraht den Brick in Wafer zersägt. Der Diamantdraht wird bei diesem Vorgang abgenutzt. Damit er seine maximale Schnittleistung erreichen kann, wird der

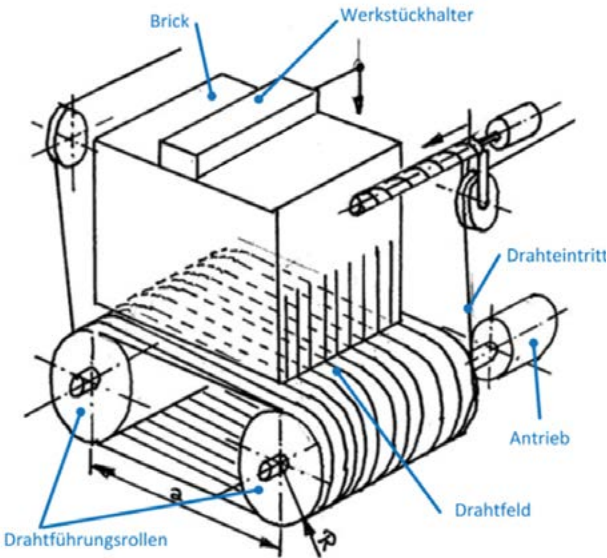


Abbildung 3: Schema Drahtsägeprozess

Draht im sogenannten Pilgrimbetrieb vorwärts und rückwärts durch das Drahtfeld bewegt, bis die Diamanten vollständig abgenutzt sind.

Die Abbildung 2 zeigt eine Drahtsäge DW 288 von Meyer Burger.

Projektziele

Der Produktionsprozess und die dabei entstehenden Wafer müssen einer Vielzahl von Qualitätskriterien genügen. Unter anderem bestehen enge Toleranzen für die Dickenstreuung und für die Verwölbung der Wafer. Ebenso sind die durch den Sägeprozess auf dem Wafer entstehenden Oberflächenstrukturen möglichst zu reduzieren. Bezüglich des Prozesses ist eine hohe Produktivität bei einer möglichst grossen Ausbeute gefragt.

Das Ergebnis des Drahtsägeprozesses ist durch eine Vielzahl von Parametern bestimmt. Die primären Einflussgrößen sind die Drahtgeschwindigkeit, die Vorschubgeschwindigkeit des Bricks, die Spezifikationen des Drahtes, das verwendete Kühl- und Schmiermittel sowie die Drahtspannung. Die Zusammenstellung eines Parametersatzes wird als Rezept bezeichnet.

In diesem von der KTI geförderten Projekt zwischen der Meyer Burger und dem Institut für Automation FHNW soll der Drahtsägeprozess weiter optimiert werden. Es wird ein Modell erstellt, das die wesentlichen beim Drahtsägen auftretenden Effekte beschreibt. Auf Basis des mit Messdaten validierten Modells werden Strategien zur Optimierung des Drahtsägeprozesses entwickelt.

Modellierung

Der Drahtsägeprozess wird durch eine Reihe von Eingangsgrößen beeinflusst. Demgegenüber besteht eine Anzahl von messbaren Ausgangsgrößen, welche zur Validierung des Modells verwendet werden können.

Das Simulationsmodell umfasst verschiedene Teilmodelle. Modelliert werden zum Beispiel die Draht- und Vorschubgeschwindigkeit. Das Modell wird in einer Simulationsumgebung implementiert. Die entstehenden Simulationsdaten werden mit Messdaten von realen Maschinen verglichen, so können die Parameter des Modells identifiziert und die Validierung durchgeführt werden.

Validierung und Prüfstand

Die für die Validierung verwendeten Messdaten müssen gewissen Anforderungen genügen. Um ein aussagekräftiges Modell zu erhalten, müssen alle Eingangsparameter in einem möglichst grossen Arbeitsbereich variiert werden. Da der Drahtsägeprozess von vielen Parametern bestimmt wird, entsteht eine grosse Anzahl von durchzuführenden Messungen. Weiter sollen alle diese Messungen unter identischen Bedingungen ausgeführt werden, zum Beispiel mit gleichem Draht und auf der gleichen Maschine. Die Realisierung einer geeigneten Messreihe ist also zeit- und kostenintensiv. Im weiteren bestimmt der Materialpreis des Siliziums den Aufwand.



Abbildung 4: Prüfstand Drahtsägen

Messdaten für die Validierung stehen einerseits von industriellen Drahtsägen von Meyer Burger zur Verfügung. Andererseits wird, um den oben beschriebenen Herausforderungen zu begegnen, am Institut für Automation ein Drahtsägen-Prüfstand entwickelt. Der Prüfstand wird in einer Reihe von Semester- und Bachelor-Arbeiten von Studierenden erstellt und laufend weiterentwickelt. Die Abbildung 4 zeigt den aktuellen Prüfstand. Erkennbar ist die vertikal angeordnete Vorschubachse, auf welcher das Werkstück angebracht wird. Ebenfalls sichtbar sind die liegend platzierten Speicherrollen, auf welchen der Draht aufgewickelt wird. Der Draht pendelt im Betrieb zwischen den beiden Speicherspulen hin und her. Damit der Draht stets gerade ins Schnittfeld einläuft, werden die Speicherspulen mittels einer Linearachse bewegt. Auf der unteren Ebene sind die Vorratsspule mit vielen Kilometern Draht und eine Vorrichtung zum Transfer des Drahtes von der Vorratsspule auf die Speicherspule angebracht. Die Abbildung 5 zeigt den schematischen Aufbau einer Drahtsäge von Meyer Burger als Vergleich.

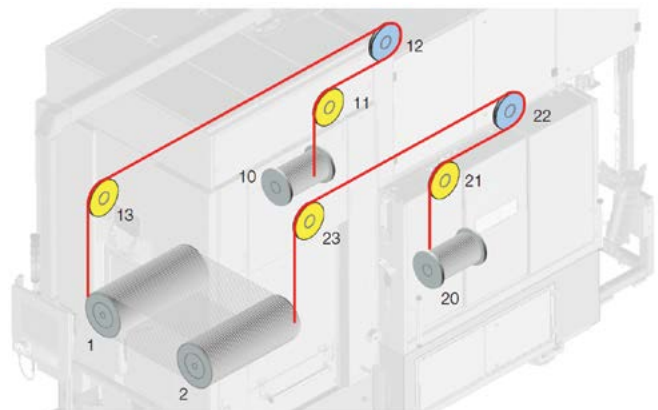


Abbildung 5: Aufbau Drahtsäge DW 288 (Quelle: Meyer Burger AG)

Gegenüber einer industriellen Drahtsäge wurden verschiedene Vereinfachungen vorgenommen. Es wird auf dem Prüfstand kein Drahtfeld mit mehreren parallelen Drähten aufgespannt, sondern es wird nur mit einem einzelnen Draht geschnitten. Weiter bewegt sich der Draht auf dem Prüfstand nur in einer Ebene, wogegen in einer realen Drahtsäge der Draht mehrfach umgelenkt wird.

Der Prüfstand ist mit einer Reihe von Sensoren ausgestattet, zum Beispiel zur Erfassung der Position der verschiedenen Achsen.

Die Ansteuerung des Prüfstandes erfolgt mittels eines compactRIO von National Instruments, die Steuerung wird in LabVIEW realisiert.

Ergebnisse und Ausblick

Im Rahmen dieses Projektes wurde ein Modell erstellt, das den Drahtsägeprozess innerhalb eines bestimmten Arbeitsbereiches beschreibt. Die bisherigen Arbeiten umfassen die Modellierung, die Implementierung des Modells sowie die Identifikation der Parameter des Modells. Das Modell wurde mit Messdaten validiert. Es ist Gegenstand der laufenden Arbeiten, auf Basis dieses Modells Vorschläge für die Optimierung des Drahtsägeprozesses zu generieren.

Das Projektteam dankt dem Umsetzungspartner Meyer Burger für die fruchtbare und vertrauensvolle Zusammenarbeit und der Kommission für Technologie und Innovation für die Förderung dieses Forschungsvorhabens.

Umsetzungspartner

Meyer Burger AG

Helge Rafael, Projektleiter

Projektteam

Prof. Dr. Sebastian Gaulocher, sebastian.gaulocher@fhnw.ch

Michael Lüthy, wissenschaftlicher Assistent,

michael.luethy@fhnw.ch

Stefan Niederberger, wissenschaftlicher Assistent,

stefan.niederberger@fhnw.ch

Jan Steger, wissenschaftlicher Assistent, jan.steger@fhnw.ch

Daniel Treyer, wissenschaftlicher Mitarbeiter,

daniel.treyer@fhnw.ch

Bachelor-Studierende im Studiengang Systemtechnik:

Dardan Bujupaj, Benjamin Graber, Roger Kalt,

Selina Scandella, Timon Schneider, Debora Schöni

Bachelor-Studierende im Studiengang Energie- und Umwelttechnik:

Kevin Hauenstein, Tobias Jakob, Oliver von Flüe

Studierendenprojekte – Ihre Aufgabenstellung wird durch unsere Studierenden gelöst

Für Unternehmen aus Industrie und Wirtschaft bieten Studierendenprojekte eine Chance, komplexe Problemstellungen ohne grösseren finanziellen Aufwand bearbeiten zu lassen. Die angehenden Ingenieurinnen und Ingenieure lösen die Aufgaben fachkundig, kreativ und zuverlässig. Sie werden dabei durch unsere Dozierenden und wissenschaftlichen Mitarbeitenden betreut.



Haben Sie konkrete Aufgabenstellungen aus Ihrem Unternehmen, die Sie umsetzen möchten? Für Fragen und Informationen stehen wir gerne zu Ihrer Verfügung.

Studierendenprojekte und Technologief Fragen
Markus Krack, Leiter FITT (Forschung, Innovation, Technologietransfer)
markus.krack@fhnw.ch, T + 41 56 202 78 79
www.fhnw.ch/technik/sp

Studierendenprojekte im Studiengang Systemtechnik (Automation)
Prof. Peter Zysset, Studiengangleiter Systemtechnik,
peter.zysset@fhnw.ch

Neue Mitarbeitende gewinnen

«Wir sind immer wieder von der erfrischenden Kreativität und vom Engagement begeistert, die über die Studierendenprojekte Eingang in unser Unternehmen finden. Gleichzeitig ist es für uns eine gute Sache, die Studierenden kennenzulernen und als neue Mitarbeitende zu gewinnen. Auf fachlicher und personeller Ebene lohnt sich für uns die Zusammenarbeit mit der Hochschule für Technik FHNW.»

Alois Huser, Geschäftsführer, Encontrol AG, Niederrohrdorf

Von der klassischen Automation zum Konzept Industrie 4.0

Seit 2013 erlebt der Begriff Industrie 4.0 einen rasanten Aufstieg. Was ist genau mit diesem Begriff gemeint? Die Grundzüge und Kernelemente dieser Revolution werden an einem aktuellen Beispiel der robotergestützten Armaturenschleiftechnik erläutert.

Max Edelmann

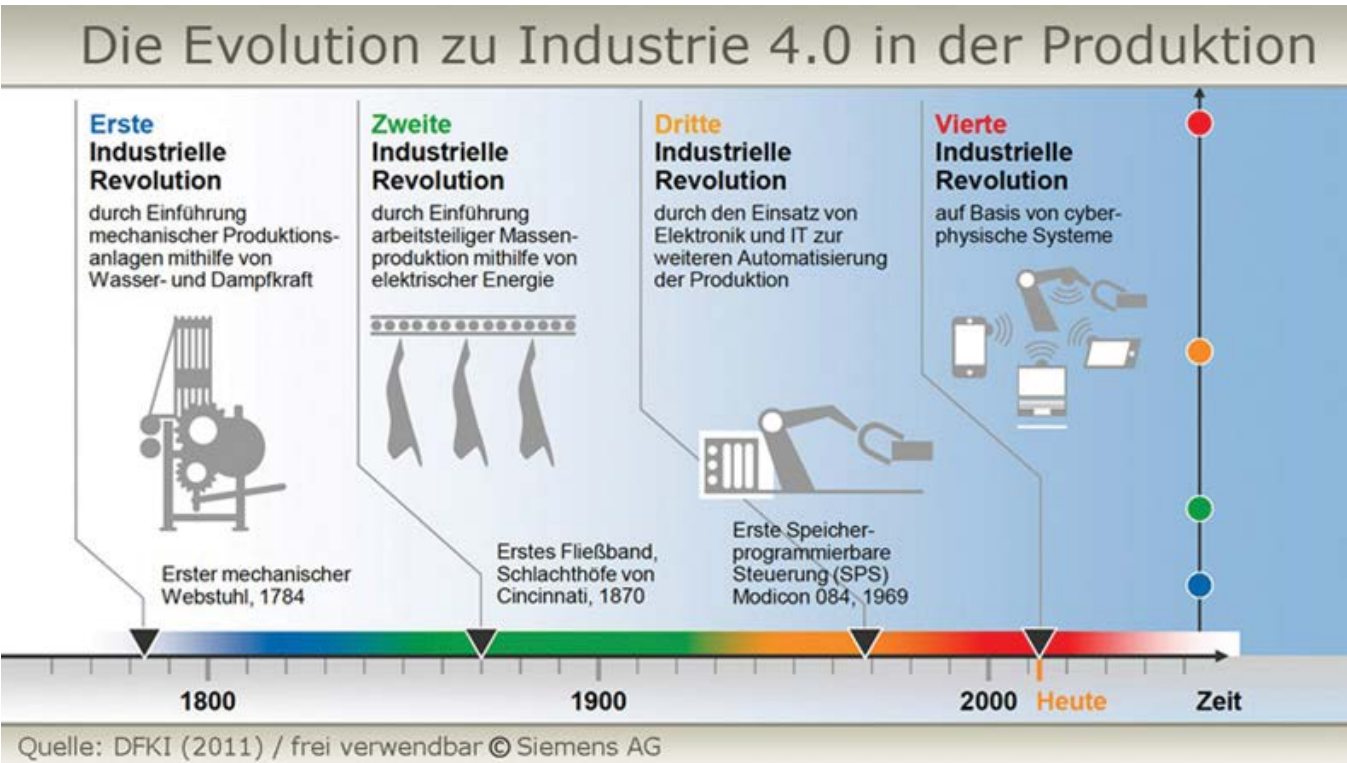


Abbildung 1: Die Evolution zu Industrie 4.0 in der Produktion. Die beherrschbare Systemkomplexität steigt überproportional.

Die Evolution zu Industrie 4.0 in der Produktion

Die Geschichte der industriellen Revolutionen ist in Abbildung 1 skizziert, gemeinhin ist die erste Revolution als Industrialisierungswelle durch Einsatz von Dampfmaschinen für Produktionszwecke bekannt.

Der zweite grosse Umbruch geht auf die Fließbandfertigung zurück und begründet die Massenproduktion in der industriellen Fertigung. Treibend war dabei vor allem der grossflächige Einsatz elektrischer Energie für Fertigungseinrichtungen wie Fließbänder.

Die dritte Revolution kann Ende der sechziger Jahre des letzten Jahrhunderts zugeordnet werden. Getrieben vom Einsatz computergestützter Steuerungen für einzelne Fer-

tigungsschritte bis hin zu ganzen Fertigungsanlagen hat Elektronik zu einem wesentlichen Produktivitätsanstieg geführt. Über Jahrzehnte sind kontinuierlich immer kompliziertere Fertigungsprozesse messbar und schlussendlich auch beherrschbar geworden.

Der vierte Umbruch kann durch eine breite Digitalisierung in der Produktion wahrgenommen werden. Seit wenigen Jahren ist es möglich einzelne, in sich geschlossene Automationssysteme in einem Netzwerk zu verbinden und über die strengen Grenzen und Ebenen einer klassisch, hierarchischen Automationskonzepts hinaus zu kommunizieren zu lassen. Ein eigentlich evolutionärer Vorgang, wie er durch die Internettechnologie für einen Grossteil der Menschen bereits vollzogen ist, wird auch für industrielle Maschinen

angestrebt. Dieser Wandel im industriellen Umfeld ist mit sehr starken Veränderungen in den bestehenden Strukturen und Geschäftsprozessen verbunden und kann deshalb als eigene industrielle Revolution angesehen werden. Insbesondere ein Aspekt sei hier hervorgehoben - eine individualisierte, hochflexible Produktion nach spezifischen Kundenwünschen. Wobei Kleinserien oder sogar Einzelstücke effizient mit den klassischen Massenproduktionsmitteln gefertigt werden sollen.

Der gesamte geschichtliche Wandel in der Industrie kann auch an Abbildung 2 erläutert werden. Die erste industrielle Revolution hat vor allem die Produktivität im Handwerk begünstigt, wobei eine grosse Produktvielfalt auf ein geringes Produktvolumen pro Variante fiel. Die zweite industrielle Revolution hat die Fließbandfertigung und die Arbeitsteilung hervorgebracht. Als Beispiel ist das Ford Model T zu nennen, ein Automobil, das in grossen Stückzahlen aber nur in einer Variante gefertigt wurde. Durch die dritte industrielle Revolution konnten die Produktvolumen weiter gesteigert werden. Auch die Produktvielfalt konnte im Laufe der Zeit durch automatisierte Fertigungen gesteigert werden. Seit diesem Jahrtausend zeichnet sich ein Wandel hin zu individuellen Produkten ab. Das heisst es entsteht eine massive Zunahme der Produktvielfalt bei gleichzeitiger Abnahme des Produktvolumens bis hin zum Einzelstück. Dabei sind besonders herausfordernde Preis- und Qualitätsanforderungen des Marktes vom Fertigungsunternehmen zu erfüllen. Diesen Herausforderungen wird wirksam durch neue technische, wissenschaftliche und betriebswirtschaftliche Konzepte begegnet. Lösungen entstehen unter dem neuen Label „Industrie 4.0“.

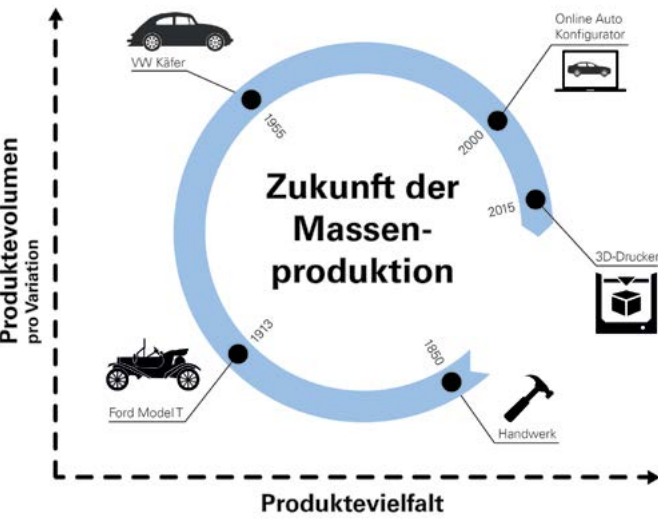


Abbildung 2: Zukunft der Massenproduktion [1]

Ein neues technisches Konzept wird unter dem Begriff cyber-physisches System (CPS) entwickelt. Eine vernetzte Automationslösung, die durch Kenntnis eines digitalen Produkt- oder Produktionsmodells in der Lage ist, höhere Systemkomplexität beherrschbar zu machen. So entstehen Produkte heute schon virtuell und können zukünftig laufend mit gemessenen Echtzeitdaten aus der Produkti-

on aktualisiert werden. Dadurch wird das digitale Modell dem realen Produkt entsprechen und diese Einheit ist in der Lage die weiteren automatischen Fertigungsprozesse optimal zu steuern. Ein solches Vorhaben benötigt tiefgreifendes technisches Verständnis zum gesamten automatisierten Fertigungsprozess, um über mehrere Fertigungsschritte hinweg einen geschlossenen Mess- und Regelkreis zu implementieren.

Beispiel der Armaturenfertigung

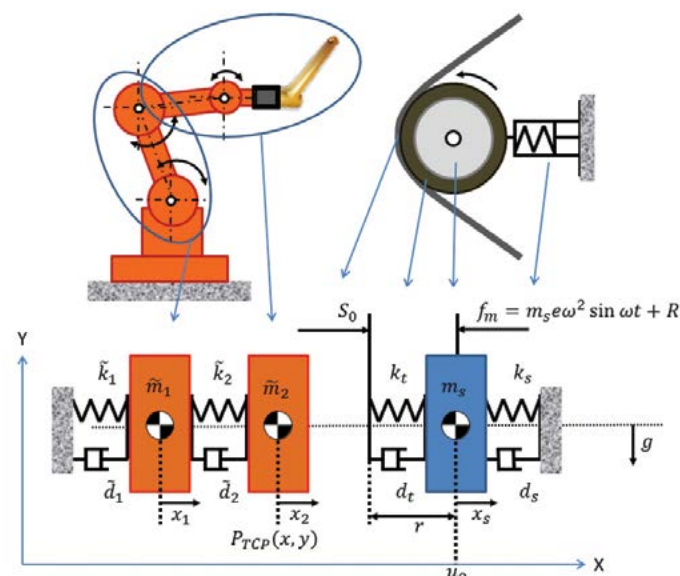
Ein Beispiel für die beschriebene Entwicklung ist die Armaturenfertigung: Armaturen müssen heute mehr sein als nur Wasserhähne. In einem schön gestalteten Bad oder einer durchgestylten Küche sind Designerarmaturen gefragt. Die erhöhten Ansprüche an die Form haben ihre Auswirkung auf die Produktionstechnik. Besonders beim Schleifen und Polieren der Designoberflächen mit dem Roboter zeigen sich sehr spezielle Herausforderungen.



Abbildung 3: KWC Roboterschleifzelle

Der Schleif- und Polierprozess bei der Herstellung von Armaturen für Küche und Bad ist eine zentrale Kernkompetenz der Firma Franke Water Systems AG KWC in Unterkulm. Ursprünglich war dies ein Handarbeitsschritt, der von erfahrenen Facharbeiterinnen und -arbeitern ausgeführt wurde. Heute hat der Industrieroboter (Abbildung 3) in diesen Fertigungsbereich Einzug gefunden. Die Armatur-Rohlinge werden an ein über eine Kontaktrolle geführtes Schleifband gepresst, um die gewünschte Oberflächenqualität der Designarmatur zu erhalten. Aufgrund geometrischer Schwankungen der Armatur-Rohlinge und wegen Prozessunsicherheiten ist es erforderlich, die programmierte Roboterbahn oder einzelne Fertigungsparameter kontinuierlich anzupassen. Nur so kann man den hohen Qualitätsanforderungen gerecht werden. Ein Grossteil des Prozess-Knowhows liegt dabei bei den Einrichtern und führt in der Praxis dazu, dass bei neu entwickelten Teilen ein langwieriger Iterationsprozess zwischen der Herstellbarkeit und dem Design eines Produkts besteht.

Im Rahmen eines Forschungsprojekts an der Hochschule für Technik FHNW wurde der Schleifprozess inklusive Roboterkinematik (Abbildung 4) modelliert und ein zusätz-



licher Aktor hinter der Schleifscheibe angebracht. Durch das dynamische Prozessmodell kann die hoch- und tief-frequente Dynamik des Schleifens geregelt werden. Diese Kraftregelung führt zu einem konstanten Abtrag am Werkstück und das digitale Modell ermöglicht die einfache Integration beispielsweise von Abweichungen aus dem Giessprozess.

Ziel ist es nun, den gesamten Fertigungsprozess vom Gießen bis zum Polieren zu verknüpfen (horizontale Integra-

tion) und die Fertigungs- und die Herstelldaten mit Hilfe eines zentralen, virtuellen Fertigungsmodells der Armatur zu steuern, regeln und überwachen. Dieser digitalisierte Fertigungsprozess soll zusätzlich vertikal integriert werden, um die Konstruktion und Planung neuer Armaturenformen auf Basis des digitalen Fertigungsprozessmodells durchzuführen (Abbildung 5), insbesondere die Formgebung und das Schleifen und Polieren der Freiformflächen. Die dabei erzeugten Prozessdaten werden die Bahnplanung für die Roboter des Freiformschleifprozesses automatisch generieren und als Sollwerte für die durchzuführenden Fertigungsprozesse aufbereiten.

Die geplante horizontale und vertikale Prozessintegration der Armaturenherstellung erlaubt es, eine Radikalinnovation sowohl im Design-, als auch im Herstellprozess zu initiieren. Die Vision der Industrie 4.0 ermöglicht es KWC, Armaturen softwaregestützt so zu entwickeln, dass ihre Fertigungsdaten direkt am PC erzeugt und in die Produktionsstrasse eingespeist werden. Die entworfenen Armaturenformen werden prozessintegriert auf ihre Herstellbarkeit hin überprüft. Der heutige, manuelle Einrichtprozess für Neuprodukte entfällt dadurch, bzw. wird digitalisiert. Durch die lückenlose Prozessüberwachung wird die Fertigungsqualität einer Armatur laufend mit Hilfe gemessener Prozessdaten in situ optimiert und das Resultat automatisch dokumentiert.

Neue Möglichkeiten, neue Chancen

Die Industrie 4.0 eröffnet die Etablierung von neuen Geschäftsbereichen. Sie erlaubt es, kundenspezifische indivi-

dualisierte Produkte mit Losgrösse 1 herzustellen. In der Automobilbranche kann so z.B. das eigene, gewünschte Auto im Online-Konfigurator zusammengestellt und direkt produziert werden. Die Produktionsstrassen können identisch ausgerüstet werden und greifen alle auf dieselben digitalen Modelle und Programmiersequenzen zurück. Dadurch kann ein wesentlich breiteres Spektrum von Produkten mit denselben Produktionsmitteln gefertigt werden. Cyber-physische Systeme verknüpfen also die virtuelle Produktentwicklung und Produktionsplanung mit der realen Welt der Fertigung. Als wichtiges Grundelement eines Industrie 4.0-fähigen Systems steht das validierte Modell des Prozesses. Ohne zusätzliches Wissen über den eigentlichen Prozess wird es nie möglich sein, diesen in

den übergeordneten Regelkreis zu integrieren. Der Ansatz der Industrie 4.0 ist auch eine Chance für KMUs: Die Technologie erlaubt kleine Stückzahlen oder sogar individuelle Einzelstückproduktion mit Mitteln der Massenproduktion.

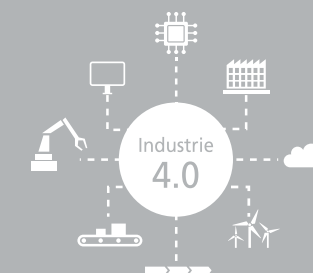
Projektteam

Prof. Dr. Roland Andereg, Leiter Institut für Automation
FHNW, roland.andereg@fhnw.ch
Max Edelmann, Master of Science in Engineering MSE,
wissenschaftlicher Assistent, max.edelmann@fhnw.ch

Referenzen

[1] nach Bauernhansl et al: Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik, Springer 2014

CAS Industrie 4.0: Grundlagen der industriellen Digitalisierung



Die Hochschule für Technik FHNW bietet neu den schweizweit einzigen Zertifikatskurs zum Thema «Industrie 4.0» an. Individualisierte Produkte, innovative Dienstleistungen, geringere Kosten: Industrie 4.0 macht neue Geschäftsmodelle möglich. Die Implementierung birgt auch Risiken: Datensicherheit, ungenügende Standardisierung der technischen Systeme oder veränderte Geschäftsprozesse.

In der Weiterbildung CAS Industrie 4.0 lernen Sie die Grundlagen der industriellen Digitalisierung kennen:

- **Neue Geschäftsmodelle:** Digitalisierung, Internet of Things (IoT) und technische oder künstliche Intelligenz schaffen die Voraussetzungen für neue Produkte und ersetzen bestehende Geschäftsmodelle.
- **Optimierung von Geschäftsprozessen:** Gestaltungsansätze für ein funktionierendes Zusammenwirken von Mensch, Technik und Organisation.
- **Automatisierung und Cyber-physische Systeme (CPS):** Merkmale und Ausprägung von CPS, Bedeutung der Modellbildung, Robotics und Assistenzsysteme, Standards, Schnittstellen und Interaktion
- **Dezentrales Computing:** Nutzungskonzepte von Cloud-Computing und spezifischen IT-Plattformen, Enterprise Resource Planning (ERP) und Manufacturing Execution Systeme (MES), Smart Data, Process-Mining, Business Analytics, IT-Sicherheit
- **Change to Digital:** Führungs- und Veränderungsprozesse für Organisationen und Mitarbeitende, Vorgehensmodelle als Orientierungshilfe bei der Umsetzung, rechtliche Aspekte

Zielpublikum: Angehende Projektleitende, Projektverantwortliche und Kadermitarbeitende aus Industrie, Wirtschaft und öffentlicher Verwaltung, die ihr Wissen über Industrie 4.0 vertiefen und ergänzen wollen.

Das CAS dauert vom 15. September - 17. November 2016 und beinhaltet 12 Kurstage.

Leitung und Beratung: Prof. Dieter Fischer, +41 56 202 70 53, dieter.fischer@fhnw.ch

www.fhnw.ch/technik/i40



Messgerät zur automatisierten Oberflächen- und Strahlungswertemessung von Bohrkernen

In einem Dienstleistungsprojekt wurde ein Gerät entwickelt, das Messungen an Bohrkernen automatisiert durchführt. Dies mit dem Ziel, reproduzierbare Messwerte zu erhalten und dank einem zuverlässigen Gerät einen hohen Durchsatz zu erreichen. Die Anlage lief in einem ersten Feldeinsatz mehrere Wochen ununterbrochen und lieferte wichtige Messresultate. Aufgrund dieser intensiven Anwendung konnten neue Anforderungen definiert werden.

Silvano Germann



Abbildung 1: Messgerät zur automatisierten Oberflächen- und Strahlungswertemessung von Bohrkernen

Ausgangslage

Die Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle (kurz Nagra) ist damit beauftragt, Projekte für eine sichere, dem Menschen und der Umwelt verpflichtete Entsorgung von radioaktiven Abfällen in der Schweiz zu erarbeiten. Unter Leitung des Bundesamts für Energie läuft ein Standortwahlverfahren in drei Etappen. Zurzeit beurteilen die Behörden die Vorschläge der Nagra für die in Etappe drei weiter zu untersuchenden geologischen Standortgebieten. Unter anderem sind für diese Standortgebiete erdwissenschaftliche Untersuchungen wie z.B. Sondierbohrungen (Kernbohrungen) notwendig. Dabei zermahlen Hohlkronen nur das Gestein am Rande des Bohrlochs. In der Mitte der Bohrkronen bleibt ein Bohrkern stehen. Der Bohrkern wird gelöst und an die Erdoberfläche hochgezogen, wo das Gestein genau untersucht werden kann. So entsteht ein direk-

ter Einblick in den geologischen Untergrund und dessen Aufbau. Ergänzend dazu werden verschiedene Bohrlochmessungen, sogenannte Logs, sowie weitere hydrogeologische und felsmechanische Tests ausgeführt.

Die anfallenden Bohrkern werden auf verschiedene Eigenschaften geprüft. Nebst vielen anderen Tests werden auch die natürliche radioaktive Strahlung (hier vor allem Kalium, Thorium, Uran) und die Oberflächenbeschaffenheit der Kerne erfasst. Die Nagra war bereits im Besitz eines entsprechenden Messgerätes zum Erfassen der natürlichen Strahlung. Auch bestand schon ein einfacher automatisierter Messaufbau, welcher jedoch vor allem bezüglich mechanischer Anforderungen und Steuersoftware den zukünftigen Anforderungen nicht zu genügen schien.

Dies war sodann auch die Ausgangslage für den Auftrag der Weiterentwicklung. Das Projekt wurde offen definiert, um sich gegenüber zukünftigen Anforderungen nicht einzuschränken. Die Anforderungen machten deutlich, dass ein möglichst flexibles Gerät gewünscht ist, das wenig Einschränkung für denkbare Erweiterungen bietet. Die Anforderungen an die mechanische Belastung (statisch) und deren Präzision waren ebenfalls nicht zu unterschätzen. Auch die Steuersoftware sollte verschiedene Abläufe beherrschen und Platz für spätere Erweiterungen bieten. Zeitkritisch war jedoch die Anbindung des Messgerätes für Werte im Bereich der natürlichen Strahlung. Ein geeigneter Gerätetreiber wurde beim tschechischen Gerätehersteller Georadis eigens für dieses Projekt angefertigt.

Die mechanische Konstruktion

Die Oberfläche der Bohrkern wird durch eine geeignete Apparatur fotografiert. Diese Apparatur haben wir mit unserem Gerät erweitert und erhalten so einen geeigneten Messtisch (Abbildung 1). Später wird sich dann herausstellen, dass ein weiterer Messtisch für Messungen auf der Bohrstelle nötig ist um Arbeitsabläufe zu optimieren. Ein weiteres Einsatzgebiet ist die direkte Anwendung an einem Aufschluss (direkte Montage am Gestein).

Die verschiedenen Messgeräte werden horizontal über den Bohrkern bewegt. Die Anforderungen an Geschwindigkeit sind gering, nicht jedoch jene an Präzision und statische Belastbarkeit. Dank dem Einsatz einer Lineareinheit mit Spindelantrieb erhielten wir eine geeignete Standardlösung (Hepco). An dessen Ausleger wurden einerseits eine Halterung der Distanzmesssensoren (Abbildung 2) und andererseits die Möglichkeit zum Anbringen verschiedener Messgeräte mittels Schnellverschluss entwickelt. Vorerst handelt es sich um das genannte Gerät zur Erfassung von natürlichen Strahlungswerten.

Die Distanzmessung wird benötigt um Brüche im Kern zu detektieren, den Start- bzw. Endpunkt der Messungen auszumachen und die Oberfläche präzise abzutasten. In Absprache mit der Nagra entschieden wir uns an dieser Stelle hochwertige Laserdistanzsensoren einzusetzen. Später wäre auch der Einsatz eines 2D Oberflächen-scanners (Profilers) denkbar. Da die Bohrkern-durchmesser variieren können, wurden verschiedene Halterungen konstruiert und gefertigt.

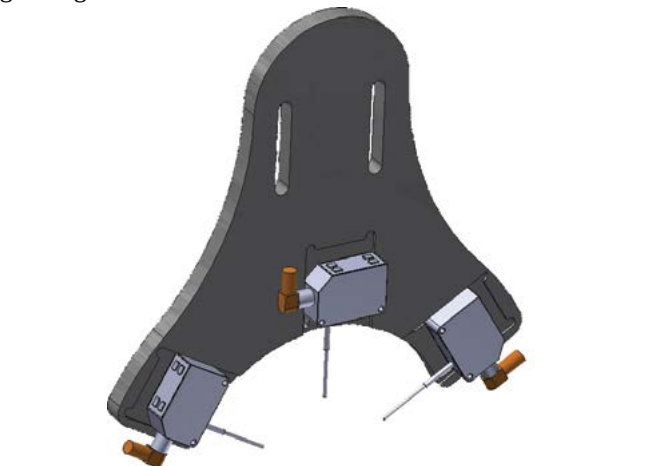


Abbildung 2: Konstruktion der Distanzsensoren Halterung

Für das Strahlungsmessgerät wurde ein Schnellverschluss entwickelt, welcher eine hohe mechanische Belastbarkeit bei geringem Spiel verfügt. Es lässt sich dank einer Handspindel präzise über dem Kern platzieren. Weitere mechanische Komponenten wurden ebenfalls in die Konstruktion aufgenommen (z.B. Schaltschrank, Stecker, Motorenabdeckung, Schleppkette, Signalleuchte).

Steuersoftware

Das Projekt wies einen ehrgeizigen Zeitplan auf, gewisse Hardwarekomponenten trafen spät ein und konnten erst kurzfristig in die Software eingebunden werden. Daher wurde ein modulares Konzept gewählt, mit welchem wir die Einzelkomponenten jeweils für sich testen und implementieren konnten. Die Zusammenführung aller Komponenten geschah dann in den letzten zwei Wochen vor Auslieferung.

Als Sprache verwendeten wir LabVIEW, es wird an unserem Institut im 2. Semester Systemtechnik unterrichtet. Spannend war unser (gelungenes) Vorhaben, es ausschliesslich mit den Elementen aus dem Unterricht zu implementieren. Es zeigt so auf, dass unser Unterricht alle nötigen Inhalte für die Umsetzung eines mittelgrossen Projektes vermittelt. Wo immer möglich, haben wir die Ereignisgesteuerte Programmierung gewählt (Event Case, Queue und Notifier), Daten in zugriffsgesicherten Variablen gespeichert (Functional Global) und die erwähnten Einzelkomponenten in geeigneten Strukturen (Producer/Consumer) in einer Oberfläche (Abbildung 3) zusammengeführt (Subpanel).

Eine Prüfvorgabe mit etlichen Parametern wird automatisch abgearbeitet und Messdaten, Daten von weiteren Sensoren (wie Meteodaten) und alle Systemvariablen werden gespeichert. Die Ablage erfolgt automatisch nach Bohrloch und Teufe (Tiefe der Bohrung).

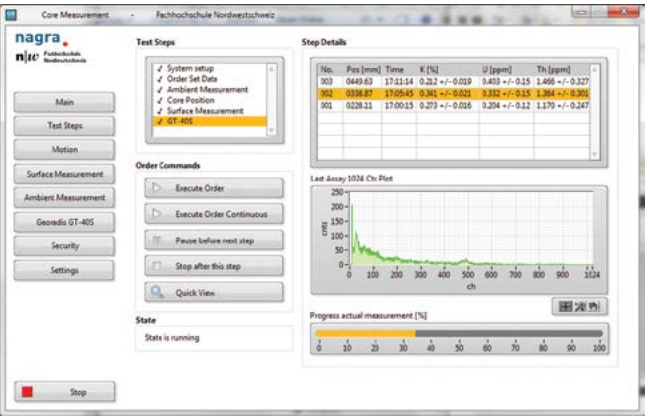


Abbildung 3: Benutzerinterface der Steuersoftware

Steuerschrank und Sicherheitskonzept

Die benötigten elektrischen Komponenten wurden in einem Steuerschrank zusammengebracht. Der Steuerschrank wird neben der Achse platziert.

Der Steuerschrank beinhaltet auch sicherheitstechnische Überlegungen. So gibt es eine Anzeigeleuchte und einen



Abbildung 4: Kernbohrung

Not-Aus Schalter. Risiken wurden erkannt und minimiert. Die Achse bewegt sich relativ langsam, die maximale Kraft ist stark begrenzt und heikle Stellen, welche zum Beispiel zu einer Scherung oder Quetschung führen könnten, wurden vermieden. Bewegliche Teile wurden speziell gekennzeichnet und eine Betriebsanleitung beschreibt den sicheren Betrieb des Gerätes. Dieses Vorgehen sieht die Maschinenverordnung (Maschinenrichtlinie) vor.

Erste Erfahrungen

Kaum war die Anlage betriebsbereit, wurde sie bereits in einem ersten Feldeinsatz (Abbildung 4) eingesetzt. Die ersten Erfahrungen waren sehr positiv, so lief die Anlage mehrere Wochen ununterbrochen und lieferte wichtige Messresultate. Aufgrund dieser intensiven Anwendung sind einige neue Anforderungen entstanden, welche entsprechend nachgeliefert wurden.

Projektteam

Silvano Germann, wissenschaftlicher Mitarbeiter und Projektleiter, silvano.germann@fhnw.ch
Alessandro Born, Fachspezialist, alessandro.born@fhnw.ch
Claudio Birrer, Master of Science in Engineering MSE und wissenschaftlicher Assistent
Ismael Beck, Bachelor-Thesis im Studiengang Systemtechnik

Mit dem Bachelor-Diplom zu neuen Karriereperspektiven

Die praxisorientierte Ingenieur-Ausbildung an der FHNW bereitet die Studierenden hervorragend auf den Berufseinstieg vor und eröffnet neue Karriereperspektiven. Dabei zeichnet sich ein neuer Studientrend ab: Immer mehr junge Frauen und Männer wählen das berufsbegleitende Studium – davon profitieren auch die Arbeitgeber.

Die Informatikerinnen und Informatiker sowie die Ingenieurinnen und Ingenieure der FHNW sind bei Unternehmen in Industrie und Wirtschaft äusserst gesucht.

Einblicke in die Unternehmenswelt

Die praxisorientierte Ausbildung an der FHNW ist ein Erfolgsmodell. Ab dem ersten Semester arbeiten die Studierenden an Projekten und lernen im Laufe der Ausbildung verschiedenste Unternehmen und Branchen kennen, eine ideale Vorbereitung auf ihren Berufseinstieg.

Neuer Studientrend – auch in klassischen Disziplinen

Nebst dem klassischen Vollzeitstudium entscheidet sich eine zunehmende Zahl von jungen Frauen und Männern für die berufsbegleitende Ausbildung.

Job und Studium kombinieren – unabhängig bleiben

Das Ausbildungskonzept ermöglicht inhaltlich und zeitlich eine individuelle Gestaltung des Studiums. Für viele Studierende ist die Ergänzung von Theorie und Praxis ideal. Sie bleiben finanziell unabhängig und können das Erlernte direkt in ihrem Unternehmen umsetzen.

Arbeitgeber profitieren gleich mehrfach

Die Arbeitgeber profitieren gleich mehrfach vom Bachelor-Studium ihrer Mitarbeitenden: Das Know-how bleibt dem Betrieb erhalten und im Rahmen von Studierendenprojekten können Aufgabenstellungen aus dem Unternehmen bearbeitet werden. Und fast immer sind berufsbegleitend Studierende nicht nur sehr belastbar, sondern hoch motivierte Mitarbeitende, die dem Unternehmen auch über den Studienabschluss hinaus erhalten bleiben.

Zentral studieren auf dem neuen Campus Brugg-Windisch

Mit Ausnahme der Optometrie (Olten) und Mechatronik trinational (Muttenz) werden die Bachelor-Studiengänge auf dem neuen Campus Brugg-Windisch FHNW, direkt neben dem Bahnhof SBB, durchgeführt. Die Studierenden profitieren vom anregenden Campus-Ambiente mit seiner modernsten Lernumgebung sowie von vielen sportlichen und kulturellen Angeboten.

www.fhnw.ch/technik/bachelor

Technik-Infotage in Brugg-Windisch

16. November 2016 und 3. März 2017: www.fhnw.ch/technik/infotage



Das Studium als Investition in die Zukunft

«Mit dem Studium an der FHNW erhalte ich ein breitgefächertes Wissen und kann mein Know-how spezifisch am Arbeitsplatz anwenden.»

André Renggli, Student berufsbegleitendes Studium, Bachelor of Science FHNW in Systemtechnik; Projektleiter, Chestonag Automation AG, Seengen



Mein Studium, meine Faszination

«Die Studienrichtung Systemtechnik wählte ich, weil mich Automation schon immer fasziniert hat. Die Ingenieurausbildung bot mir einen vertieften Einblick in dieses Gebiet und in verschiedene andere Technologien.»

Silvia Walti, Diplomandin Bachelor of Science FHNW in Systemtechnik mit Vertiefung Automation

Realisierung einer induktiven Backprozess-Anlage für die serienmässige Herstellung von Statorpaketen

In einem früheren KTI-Projekt wurde die Machbarkeit der induktiven Erwärmung von Statorpaketen zum Verkleben der Einzelbleche aufgezeigt. Im Nachfolgeprojekt wird eine funktionstüchtige Backprozess-Anlage zur Produktion von Statorpaketen entwickelt. Zum ganzen Backprozess gehören neben der induktiven Heizung auch das Stanzen der beschichteten Bleche sowie das Stapeln, Pressen und Abkühlen des Statorpakets nach dem Verbacken.

Hans Gysin



Abbildung 1 zeigt das Innere der Steuerung. Alle sechs Leistungshalbleiter sind im gleichen Gehäusotyp direkt auf den Kühlkörper geschraubt und die Halbleiter wiederum dienen als Träger der Steuerplatine.

Konzeptphase

Nachdem aus der vorausgegangenen Machbarkeitsstudie die verschiedenen Rahmenbedingungen zur Aufheizung und Verklebung von Statorblechpaketen hervorgegangen waren, konnte das Nachfolgeprojekt zur Realisierung einer Prototypenanlage gestartet werden. Stanz- und Pressabläufe sowie das gesamte Handling und auch die Kühlung der Statorpakete überliessen wir unserm Industriepartner SWD AG. Wir konzentrierten uns auf das serientaugliche Design der Induktions-Heizungssteuerung und auf die Berechnung und Auslegung der anwendungsspezifischen Heizspulen. Das serienmässige Design beinhaltet in die-

sem Falle das Berücksichtigen von Richtlinien und Normen der Elektro Magnetischen Verträglichkeit EMV und der Sicherheitstechnik und die Kommunikation mit der übergeordneten Maschinensteuerung. Weil in zukünftigen Maschinen üblicherweise mehrere dieser induktiven Heizungen parallel betrieben werden, wurde die Steuerung für den Anschluss an das 3-Phasennetz mit entsprechend hoher Leistung und Zwischenkreisspannung ausgelegt. Dies hatte z.B. zur Folge, dass konsequent mit 1'200 V Leistungshalbleitern gearbeitet wurde.

Die Resultate aus der Machbarkeitsstudie gaben die Vor-



Abbildung 2 zeigt die Einbau fertige Steuerung aus Kühlkörper und Alu-Haube. Das Metallgehäuse wurde vor allem auch aus EMV-Gründen gewählt. Kühlkörper und Haube sind vorschriftsgemäss von den Polleibern getrennt. Die gesamte interne Messung und Steuerung arbeitet auf Polleiterpotenzial.

gaben bezüglich Funktionen. Die Magnetisierungsrichtung zur Erzeugung möglichst hoher Wirbelströme ist bei isolierten Blechpaketen gegeben. Ebenfalls wurde wiederum die Frequenzvariabilität realisiert, um bei unterschiedlichen Materialien die Eindringtiefe in Abhängigkeit der Leistung zu verändern. Eine direkte Leistungssteuerung erlaubt die Kontrolle des gesamten Aufheizvorganges. Temperaturmessungen sowie Überwachungs- und Sicherheitsfunktionen sind an diesem Steuerungsmodul genauso integriert wie die serielle Schnittstelle zur übergeordneten Maschinensteuerung, die den gesamten Ablauf der Backanlage kontrolliert.

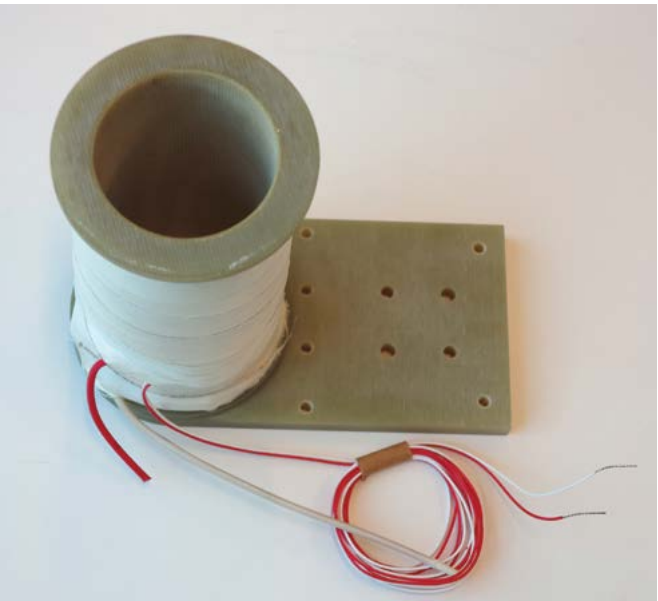


Abbildung 3 zeigt eine der Induktionsspulen der Prototypenanlage. Die Statorpakete als Stapel werden in die Spule unter Druck eingesetzt und induktiv auf die Klebetemperatur aufgeheizt. Die Spule ist bereits ergänzt mit Sicherheitseinrichtungen, Sensorik und Befestigungsplatten für das Handling.

Stand des Projektes

Das KTI-Projekt wird im Frühjahr 2016 abgeschlossen. Gegen Ende 2015 war der Aufbau der Prototypenanlage mit total acht induktiven Heizungen (Steuerung und Spule) im Gange. Mit einer Zykluszeit von wenigen Minuten pro Statorpaket können somit acht parallele Prozesse mit Stanzen, Stapeln, Pressen, induktivem Aufheizen, Verbacken, Abkühlen und mit dem gesamten Handling gefahren werden. Die Prototypenanlage wird nach der Installation bei SWD praktisch von Anfang an in die Serienfabrikation von Statorpaketen eingebunden.

Ausblick

Mit dieser Prototypenanlage wird einerseits fabriziert und andererseits müssen Kinderkrankheiten erkannt und behoben und die notwendigen Verbesserungen für die serienmässige Herstellung solcher Backanlagen realisiert werden. Gleichzeitig mit dem Abschluss des KTI-Projektes und der Inbetriebnahme der Prototypenanlage wird auch das gesamte Know-how von der FHNW zum Industriepartner SWD AG und seinen Zulieferern transferiert. SWD wird dadurch in der Lage sein, die notwendigen Anpassungen vorzunehmen und Tests und Messungen durchzuführen, um den Nachweis der Richtlinien- und Normenkonformität zur CE-Kennzeichnung zu erreichen.

Projektteam Industriepartner

- SWD AG Stator- und Rotortechnik Densbüren:
- Thomas Stäuble, CEO, Projektleitung
 - Thomas Weber, Entwicklungsleitung
 - Georg Senn, Entwicklung, Firmengründer

Projektteam Institut für Automation FHNW

Matthias Meier, Dozent, Firmware und Test/Messungen
Prof. Hans Gysin, hans.gysin@fhnw.ch, Projektverantwortlicher FHNW, Hardwaredesign und Herstellung

Optimierung des Eigenverbrauchs in Gebäuden

Besitzerinnen und Besitzer von Photovoltaikanlagen haben einen ökologischen und finanziellen Anreiz, den eigenen Strom selbst zu verbrauchen (Eigenverbrauchsregelung gemäss neuer Energieverordnung [1]). Als verschiebbare Lasten eignen sich Wärmepumpen, Warmwasserboiler, Elektromobile oder Haushaltgeräte. Im Rahmen des Projektes ‘Regelstrategien für die Optimierung des Eigenverbrauchs in Gebäuden’ des Bundesamtes für Energie [2] konnte gezeigt werden, dass durch regelungstechnische Massnahmen eine Verdoppelung des Eigenverbrauchs möglich ist. In ersten Testinstallationen zeigte sich reges Interesse auf dem Markt. Deshalb wurde ein Spin-Off gegründet und ein marktreifes Produkt entwickelt, das bereits in mehreren Gebäuden in Betrieb ist.

David Zogg



Abbildung 1: Gebäude mit Eigenverbrauchsmanager und Komponenten wie Photovoltaikanlage, Wärmepumpe, Brauchwarmwassererwärmer, Elektromobil (Plug-In-Hybrid) und Haushaltgeräten.

Die meisten Eigentümerinnen und Eigentümer einer kleinen Photovoltaikanlage auf dem eigenen Hausdach möchten den Strom ihrer Anlage selbst nutzen. Durch lokales Lastmanagement können die Geräte im Gebäude mit Sonnenenergie betrieben werden. Grössere Verbraucher wie Wärmepumpen, Brauchwarmwassererwärmer und Elektromobile (bzw. Plug-In-Hybride) lohnen sich klar (Abbildung 1). Wärmepumpen sind besonders interessant, da die thermische Energie in der Gebäudemasse gespeichert werden kann. Die vollständige Nutzung der Gebäudemasse als Speicher bedingt jedoch eine regelungstechnische Optimierung mit ständiger Überwachung der Raumtemperatur. Dies ist ein wesentliches Unterscheidungsmerkmal zu einfacheren Systemen auf dem Markt.

Ohne Eigenverbrauchsmanager sind Bezug und Einspeisung beliebig zeitlich verschoben (Abbildung 2 rot gestrichelt). Da der Strombezugspreis höher liegt als der Einspeisepreis, verliert die Betreiberin, der Betreiber bei verschobenem Betrieb Geld. Mit dem Eigenverbrauchsmanager wird der Verbrauch zeitlich auf die lokale Produktion abgestimmt (Abbildung 2 blau), womit die Betreiberin, der Betreiber im Beispiel 15 Rp/kWh spart. Den Überschuss kann sie, er zudem zu 10 Rp/kWh verkaufen. Über ein Jahr gerechnet können somit Kosten in der Grössenordnung von mehreren Hundert Schweizer Franken eingespart werden. Damit amortisiert sich der Eigenverbrauchsmanager bei heutigen Strompreisen bereits nach ca. 5 Jahren.

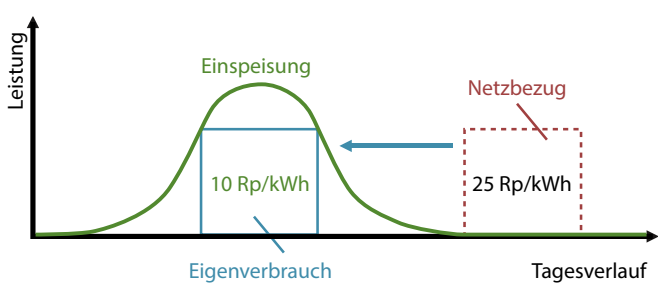


Abbildung 2: Situation ohne (rot) und mit (blau) Lastverschiebung. Beispiel: Netzbezugspreis 25 Rp/kWh, Einspeisepreis 10 Rp/kWh, resultierende Kosteneinsparung durch Eigenverbrauch 15 Rp/kWh.

Auch aus Sicht des Netzbetreibers hat der Eigenverbrauch klare Vorteile. Durch die lokale Abstimmung von Produktion und Verbrauch wird das Netz von Einspeise- und Bezugsspitzen entlastet.

Der Eigenverbrauchsmanager

Die komplette Software inkl. Benutzeroberfläche wurde mit LabVIEW entwickelt. Über die grafische Darstellung werden die momentane Produktion und der Verbrauch aller Komponenten visualisiert (Abbildung 3 links). Die Leistungsverläufe zeigen die zeitliche Abstimmung von Produktion und Verbrauch sowie die Netzbelastung (Abbildung 3 rechts).

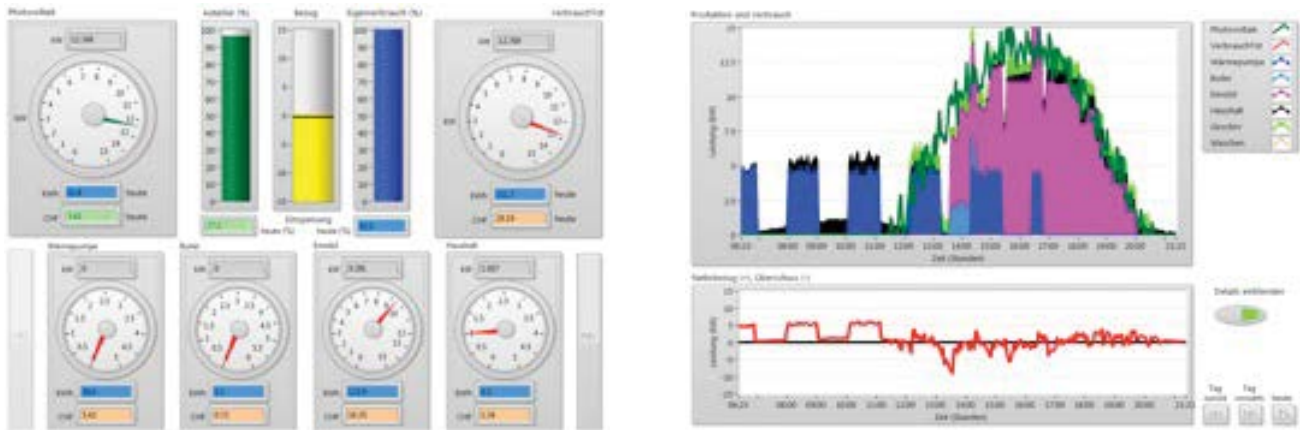


Abbildung 3: Bedienoberfläche mit momentaner Produktion und Verbrauch der einzelnen Komponenten (links) sowie den zeitlichen Leistungsverläufen (rechts).



Abbildung 4: Eigenverbrauchs-Optimierung für die Wärmepumpe (links) und das Elektromobil (rechts). Vorgabe des Raumtemperaturbereichs in °C (links) bzw. Eingabe der nächsten geplanten Fahrt mit dem Elektromobil (rechts). Adaptiv berechneter Schwellwert (grüne Linie) und Verlauf des Deckungsgrades (blaue Kurve).



Abbildung 5: Kosten-Optimierung für die Wärmepumpe (links) und den Waschvorgang (rechts). Vorgabe des Raumtemperaturbereichs in °C (links) bzw. Eingabe des Zeitpunktes, wann die Wäsche gewaschen sein soll (rechts). Adaptiv berechnete Preisschwelle (grüne Linie) und Verlauf des Preises (blaue Kurve).

wird eingeschaltet. Die Preisschwelle wird durch einen adaptiven Algorithmus vorgegeben.

Einfache Installation für Retrofit

Eine typische Installation ist in Abbildung 6 dargestellt. Da die Datenübertragung zwischen den Komponenten über EnOcean®-Funktechnologie erfolgt, müssen keine zusätzlichen Datenleitungen verlegt werden. Das System eignet sich also bestens zur Nachrüstung. Zudem ist der Standby-Verbrauch der EnOcean®-Komponenten äusserst gering, da sie nach dem Prinzip von Energy Harvesting aufgebaut sind.

Der Eigenverbrauchsmanager ist frei konfigurierbar. Die Anzahl Zähler und Aktuatoren können gemäss den Kundenwünschen festgelegt werden. Grössere Produzenten und Verbraucher werden mit einem Energie- bzw. Leistungsmesser versehen (blau). Bei den Verbrauchern wird zwi-

schen geschalteten und nicht geschalteten Komponenten unterschieden. Über moderne Schnittstellen wie MODBUS können Verbraucher auch variabel angesteuert werden.

Wesentlich ist die Visualisierung im Wohnzimmer. Damit wird das Geschehen im Gegensatz zu herkömmlichen Heizungsreglern erlebbar. Der Benutzer kann auch jederzeit eingreifen und hat sein System vollständig unter Kontrolle.

Gründung eines Spin-Off

Da im Rahmen von Testinstallationen ein reges Interesse auf dem Markt zu spüren war, wurde am 1. April 2015 der Spin-Off Zogg Energy Control gegründet. Im Laufe des Jahres 2015 wurden ca. 10 Installationen in Einfamilienhäusern realisiert. www.zogg-energy-control.ch.

Ausblick

Im Frühling 2016 wird der Eigenverbrauchsmanager 2.0 lanciert mit leistungsvariabler Ansteuerung von Komponenten über digitale Bussysteme, einer Web-Schnittstelle, integrierter Wetterprognose und vereinfachter Bedienung.

Zudem werden Installationspartner gesucht zur breiteren Abdeckung und Erhöhung der Stückzahlen. Mehrere Installationsfirmen und Elektrizitätswerke sind bereits interessiert, weitere Interessierte können sich gerne melden.

Projektteam

Prof. Dr. David Zogg, Projektleiter, david.zogg@fhnw.ch
Im Spin-Off sind James Trayler (ehemaliger Assistent am Institut für Automation) und Selina Scandella (Studentin des Studiengangs Systemtechnik) in Entwicklung und Support tätig.

Im Rahmen des BFE-Projektes waren Silvano Germann (wissenschaftlicher Mitarbeiter des Instituts für Automation), Aleksandar Dunjic (Institut für Automation), Michael Koller (Student des Studiengangs Systemtechnik), Jürgen Ragaller, Remo Waser, Lukas Voramwald und Andreas Leuppi (Studenten des Studiengangs Energie- und Umwelttechnik) involviert.

Referenzen

- [1] Neue Energieverordnung EnV 730.01 des Bundes, 1. April 2014
- [2] Prof. Dr. D. Zogg: Regelstrategien für die Optimierung des Eigenverbrauchs von Gebäuden, Bundesamt für Energie, 2013-2015
- [3] Prof. Dr. D. Zogg, Der Eigenverbrauchsmanager, HK Gebäudetechnik 3/15
- [4] Prof. Dr. D. Zogg, Der Eigenverbrauchsmanager, Optimierung des Eigenverbrauchs und der Kosten nach dem Prinzip einer lokalen Strombörse, ET Elektrotechnik 5/15

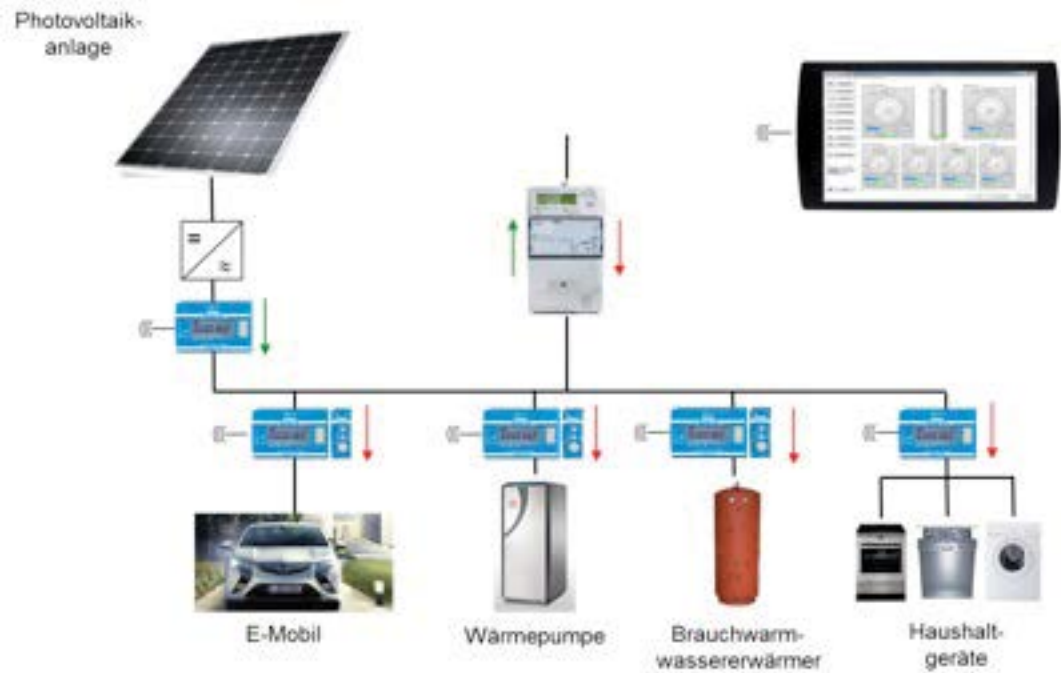


Abbildung 6: Typische Installation mit Energiezählern und Aktuatoren (blau), Datenübertragung per Funk. Geschaltete Verbraucher: Elektromobil, Wärmepumpe, Brauchwarmwassererwärmer. Hier nicht geschaltet: Haushaltsgeräte.

Energieeffizientes Design von Strassenwalzen

Im Rahmen des von der KTI mitfinanzierten Projektes ist es gelungen, einen neuartigen Maschinenaufbau für Strassenwalzen zu konzipieren. Damit wird die Verdichtungsleistung erhöht, ohne dabei während des gesamten Prozesses den Bodenkontakt zu verlieren, was zwingend notwendig für eine erfolgreiche Asphaltverdichtung ist. Die erstellten Simulationen werden nun mit einem Funktionsmuster des Projektpartners Ammann Schweiz AG validiert.

Dominik Wiss



Neuer Maschinenaufbau

Das Ziel dieses Projekts besteht darin, einen neuen Maschinenaufbau zu realisieren, der eine Reduzierung des Maschinengewichts bei gleicher Verdichtungsleistung erlaubt. Deshalb ist eine nichtlineare Dynamik auf der Maschine zu erzeugen, die während dem gesamten Prozess ständigen Bodenkontakt garantiert. Die Idee der hier vorgestellten Lösungsvariante beruht darauf, einen weiteren Freiheitsgrad in den vorhandenen Zweimassenschwinger einzubringen. Wird dieses Element richtig gefedert und geführt, können damit nichtlineare Bewegungen erzeugt werden. Nachfolgend sind die Simulationen, die Validierung und die Ergebnisse kurz erläutert.

Simulationen

Mithilfe von Matlab/Simulink wurden die Differentialgleichungen des Dreimassenschwingers untersucht. In einer ersten Phase wurde rudimentär geprüft, ob das gewünschte Verhalten mit dieser Konstruktion überhaupt zu erzeugen ist. Genauere Untersuchungen erfolgten in einer zweiten Phase. Durch Iteration verschiedener Maschinenwerte, wie beispielsweise Vibrationsfrequenz, Unwuchtmoment usw. wurden mögliche stabile Lösungsbereiche gesucht und aufgezeigt. Nichtlineare Systeme lassen sich nicht nach dem Superpositionsprinzip bestimmen respektive untersuchen, daher musste jede dieser Lösungen einzeln simuliert werden.

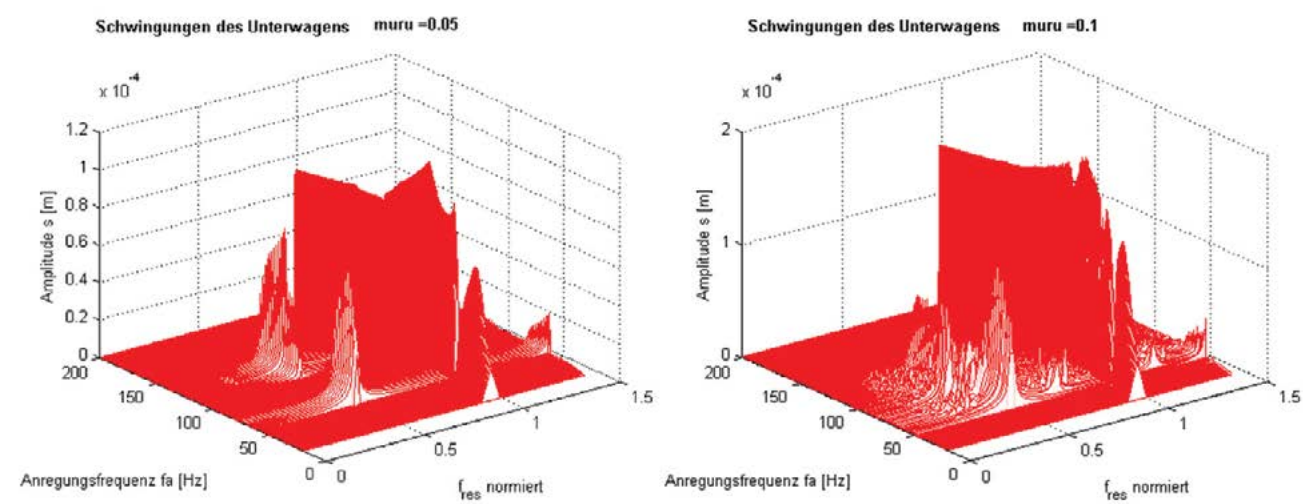


Abbildung 1: Wasserfalldiagramme von Simulationsdaten - links: stabile Bereiche, rechts: mehrheitlich chaotisches Verhalten

Die Simulationsresultate wurden in verschiedenen Diagrammen dargestellt. Als hilfreiches Instrument zeigte sich die Darstellung als Wasserfalldiagramm. In Abbildung 1 sind zwei dieser Diagramme abgebildet. Die Achse der Anregungsfrequenz und diejenige des Fourierspektrums der Bandage, die auf die Anregungsfrequenz normiert ist, bilden die Fläche des Diagramms. Rechtwinklig dazu ist die Amplitude der Bandage beschrieben. Links in Abbildung 1 zeigen sich stabile subharmonische Bereiche, im Bereich von 60 bis 80Hz und 110 bis 150Hz.

Subharmonische Bereiche enthalten Schwingungsperioden, die ein Vielfaches der angeregten Periode dauern und somit Frequenzanteile unter der Anregungsfrequenz aufweisen. Rechts in Abbildung 1, bei doppelter Unwuchtanregung, ist chaotisches Verhalten der Bandage ab rund 55Hz simuliert. Dies ist an den vielen einzelnen Frequenzspitzen pro Anregungsfrequenz erkennbar.

Für den Verdichtungsprozess interessant sind die stabilen Bereiche, denn da lässt sich die Maschine kontrollieren. Je mehr verschiedene Frequenzanteile auf der Bandage und somit am Boden gemessen werden, desto unterschiedlichere Korngrößen werden in Vibration gesetzt, was den Prozess positiv beeinflusst. Besonders interessant ist das Erreichen von subharmonischen Frequenzen, da diese meist starke Kräfte auf den Boden ausüben.

Validierung

Um die Simulationsresultate zu bestätigen und zu validieren, erstellte die Ammann Schweiz AG ein Funktionsmuster, abgeleitet von einer bestehenden Asphaltwalze. Dank des modularen Aufbaus können verschiedene Parametereinstellungen einfach getestet und ausgemessen werden. Beschleunigungssensoren werden an den interessierenden Massen befestigt, um durch zweifache Integration das Wegsignal zu ermitteln. Das Verhalten der umgebauten Maschine wurde auf verschieden harten Böden gemessen.

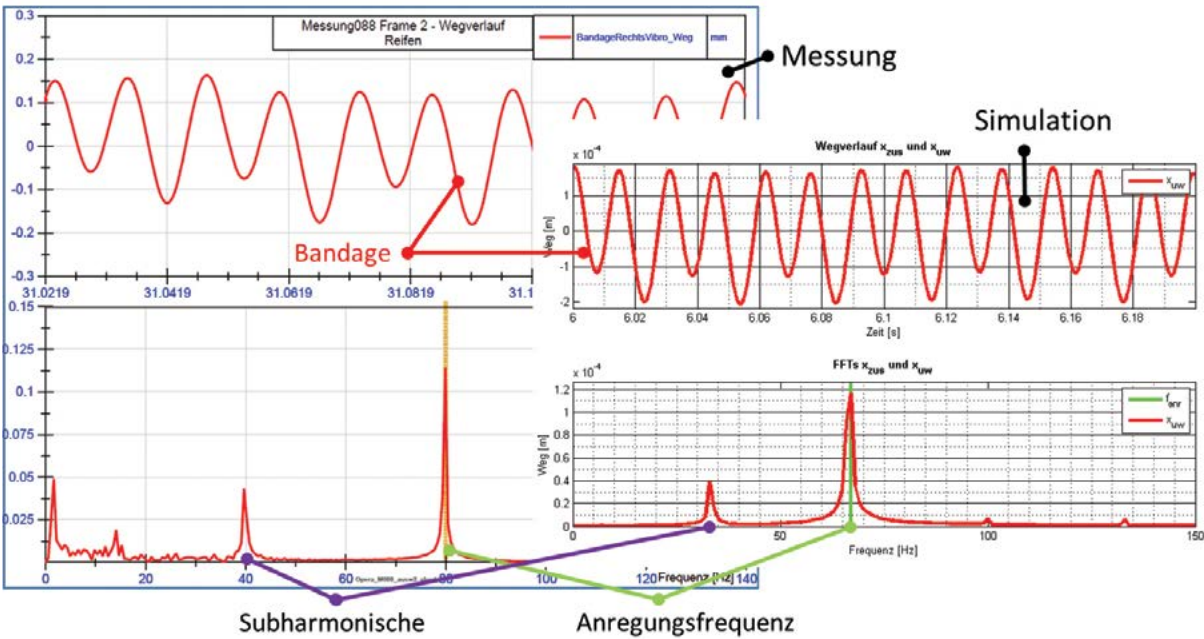


Abbildung 2: Amplitudenverläufe im Zeitbereich und Frequenzspektrum der Bandage auf weichem Untergrund, Messungen (links) und Simulationsdaten (rechts)

Erste Ergebnisse der Messungen ermöglichten den Vergleich mit den Simulationsdaten. Eine Gegenüberstellung der Mess- und Simulationsdaten mit kleiner Bodensteifigkeit (Messungen auf Reifen) ist in Abbildung 2 gezeigt. Links sind die gemessenen und rechts die simulierten Daten beschrieben. Die oberen Kurven zeigen jeweils den nichtlinearen Wegverlauf der Bandage, wobei unten das zugehörige Frequenzspektrum der FFT dargestellt ist. Bei diesem Ausschnitt enthalten die Signale harmonische wie auch subharmonische Frequenzanteile. Das Verhalten bei den realen Messungen und in den Simulationen ist vergleichbar, was auf eine erfolgreiche Validierung schliessen lässt. Das Funktionsmuster ist daher als Dreimassenschwinger beschreibbar.

Mit einem skalierten Funktionsmuster war es zudem möglich, dieses charakteristische Verhalten zu erzeugen, trotz nicht abgestimmten Parametern. Dies deutet auf eine gewisse Robustheit der Lösung hin.

Ergebnisse

Ein wichtiger Meilenstein wurde durch den experimentellen Nachweis der oben gezeigten Dynamik erreicht. Denn die Messungen bestätigen die Vorhersage, dass die Nichtlinearität der Boden-Maschineninteraktion ganz auf die Maschine transferiert werden kann. Dass Verdichtungswalzen auf weichem Boden das oben gezeigte nichtlineare Verhalten ohne Abheben erzeugen, wurde in dieser Form bisher noch nie nachgewiesen. Dabei wurde das Ziel des

kontinuierlichen Bodenkontaktes erfüllt. Zudem wurde auch der Bereich des nichtlinearen Verhaltens auf weiches Verdichtungsgut ausgeweitet.

Ausblick

Die Experimente zur Validierung der Simulation sind noch nicht abgeschlossen. Ziel der geplanten Experimente ist, die Verdichtungskraft zusätzlich zu steigern. Dabei wird ein erweitertes analytisches Modell helfen, die optimale Parameterauslegung zu finden. Unter anderem soll aus der mathematischen Analyse ein Regelalgorithmus entstehen, sowie das Messverfahren der Bodensteifigkeit für zukünftige Maschinen abgeleitet werden.

Projektteam

Prof. Dr. Roland Anderegg, Leiter Institut für Automation FHNW, roland.anderegg@fhnw.ch
Dominik Wiss, Bachelor of Science FHNW in Systemtechnik, Student Master of Science in Engineering MSE und wissenschaftlicher Assistent, dominik.wiss@fhnw.ch

Beitrag zu den Herausforderungen des demografischen Wandels

Die Schweiz weist eine der höchsten Lebenserwartungen der Welt auf. Während die Menschen immer älter werden, bleibt die Geburtenrate niedrig. Es sind komplexe Herausforderungen, denen durch Institutsbeiträge begegnet werden kann. Dabei handelt es sich um Beiträge im Rahmen der strategischen Initiative, aber auch der Ausbildung sowie Abschlussarbeiten und Forschungsprojekte.

Heinz Eichin und Max Edelmann

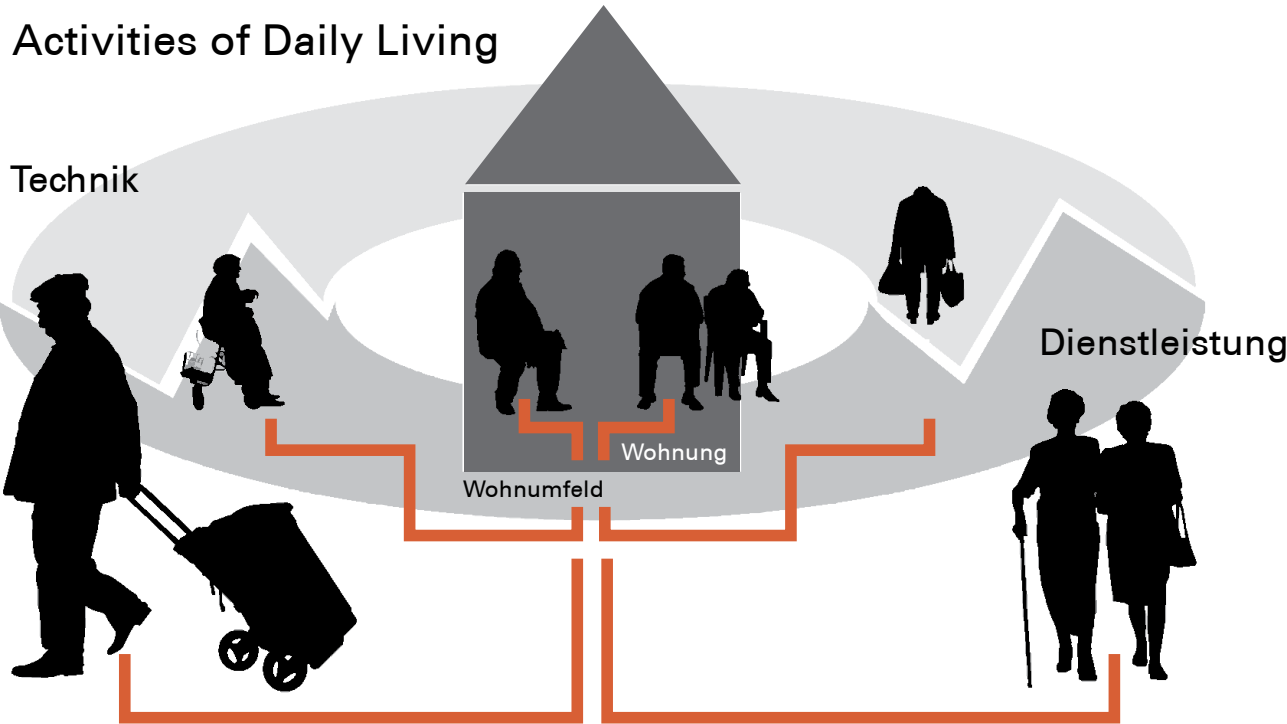


Abbildung 1 Projekt: Entwicklung ganzheitlicher Lösungsszenarien für selbstbestimmtes Wohnen im Alter - Potenziale von Technik und Dienstleistung

Mitarbeit in der Strategischen Initiative der FHNW ‘Alternde Gesellschaft’

Diese demografische Alterung wird zur Herausforderung für Individuum, Gemeinschaft und Gesellschaft. Einzelne Menschen sind in ihrer jeweiligen sozialen Umwelt ebenso betroffen wie das allgemeine Bildungs-, das soziale Sicherungs- oder das Wirtschaftssystem.

Hier setzt die Strategische Initiative „Alternde Gesellschaft“ der Fachhochschule Nordwestschweiz an. Ein Ergebnis der Arbeit wird ein Alters-Survey für die Trägerkantone der Nordwestschweiz Aargau, Basel-Landschaft,

Basel-Stadt und Solothurn sein. In einem Alters-Atlas sind der gesellschaftliche Altersstrukturwandel und die Lebenssituationen älterer Menschen visuell und interaktiv darzustellen. Daneben befassen sich weitere Arbeitsschwerpunkte mit dem Arbeitsmarkt und dem Produktivitätspotenzial älterer Menschen (Ageing Workforce), den Wohn- und Lebenssituationen älterer Menschen in ihren sozialen Netzwerken und Regionen (Ageing & Living in Place) und den Integrations- und Teilhabemöglichkeiten älterer Menschen im sozialen Wohlfahrtsstaat (Ageing, Health & Social Welfare).

Ziel ist es dabei, innovative Konzepte, Produkte und Serviceangebote zur Erhaltung beziehungsweise Verbesserung der Lebensqualität im Alter zu generieren.

Zur Erfüllung der unterschiedlichen Aufgaben sind jedem Arbeitsschwerpunkt interdisziplinäre Projekte gewidmet.

Forschungsprojekt zur Entwicklung ganzheitlicher Lösungsszenarien für selbstbestimmtes Wohnen im Alter: Potenziale von Technik und Dienstleistung

Im Arbeitsschwerpunkt Ageing & Living in Place konnte im Herbst 2015 das Forschungsprojekt zur Entwicklung ganzheitlicher Lösungsszenarien für selbstbestimmtes Wohnen im Alter gestartet werden. Im Fokus des Projekts steht eine Potentialanalyse von Technik und Dienstleistungen zur Lebensqualitätssteigerung einer alternenden Gesellschaft, wobei sowohl die Betroffenen, deren Angehörige aber auch mit der Pflege beauftragte weitere Personen berücksichtigt werden.

Das gesamte interdisziplinäre Projekt wird an vier Hochschulen der FHNW an unterschiedlichen Instituten gemeinsam bearbeitet: an der Hochschule für Technik FHNW vertreten durch das Institut für Produkt- und Produktionsengineering und das Institut für Automation; am Institut für Architektur der Hochschule für Architektur, Bau und Geomatik; am Institut Sozialplanung, Organisationaler Wandel und Stadtentwicklung der Hochschule für Soziale Arbeit und am Institut für Kooperationsforschung und -entwicklung der Hochschule für Angewandte Psychologie.

Durch dieses breite Projektteam der Fachhochschule Nordwestschweiz kann das Thema optimal bearbeitet werden.

Im soziotechnischen Zusammenhang des Projekts hat sich besonders der Begriff “Ambient Assisted Living” (AAL) etabliert. Unter diesem werden seit einigen Jahren Konzepte, Technologien und Dienstleistungen erforscht und entwickelt mit dem gemeinsamen Ziel, älteren bzw. hilfsbedürftigen Menschen bis ins hohe Alter ein selbstbestimmtes Leben zu ermöglichen. Dabei wird häufig versucht ein Leben im eigenen, vertrauten Wohnumfeld und den damit verbunde-

nen Erhalt der eigenen Lebensqualität zu ermöglichen. Wissenschaftliche Ergebnisse aus dem Bereich AAL adressieren somit ein breites Spektrum von unterschiedlichen Lebensbereichen einer Person, wie Gesundheit, Sicherheit, Komfort, Kommunikation, Haushalt und soziales Leben. Gleichzeitig wird AAL stark durch andere technologische Entwicklungen aus dem Bereich der Telekommunikation mitbestimmt und ist deshalb auch seit einigen Jahren als aktiver Forschungsbereich von neuen Ideen und Konzepten geprägt.

Für systematische Bedürfnisanalysen und zur Evaluation neuer Technologien und Dienstleistungen sowie deren Einfluss auf die Lebensqualität älterer Personen kann das aus dem Pflegebereich bekannte, konzeptionelle Modell der Alltagsaktivitäten (Activities of Daily Living, ADL) herangezogen werden. Dabei sind wichtige Alltagsaktivitäten mit einem direktem Bezug zur persönlich empfunden Lebensqualität kategorisiert worden und bieten eine universelle Richtlinie.

Im weiteren Projektverlauf werden neben dem aktuellen Stand der Technik im Bereich AAL gezielt Bedarfsanalysen mit Vertretern der alternden Gesellschaft, Anwendern, Angehörigen, Anbietern von Produkten und Dienstleistungen und relevanten Organisationen und Verbänden durchgeführt. Ein Mapping dieser Zwischenergebnisse bildet die Grundlage, um innovative Lösungsszenarien zur bestmöglichen Unterstützung von Alltagsaktivitäten zu entwickeln. Lösungen mit besonders viel Potential sollen in Workshops unter Einbezug aller relevanten Stakeholder gemeinsam mit Serviceanbietern und Produktherstellern abschliessend beurteilt werden. Innovative Lösungen mit einem hohen Marktpotential sollen über das Projekt hinaus zu Produkten und Dienstleistungen weiterentwickelt werden.

Langjährige Kooperation in der Elektrorollstuhlentwicklung mit einer aktuellen Abschlussarbeit

Elektrorollstühle erfordern einen präzisen Umgang mit dem Joystick und sind daher nicht einfach zu bedienen. Durch Unachtsamkeit, z.B. Ermüdung des Fahrers, können Beschädigungen am Rollstuhl, Rollstuhlsteuerungssystem oder an den Räumen entstehen. Um solchen Defekten zu begegnen ist in Studierendenprojekten des Systemtechnikstudiums ein Rollstuhl-Navigationssystem entwickelt worden.

Die letzte Bachelorthesis mit der Firma Curtis Instruments zu diesem Thema ist von Stefan Schaeffer bearbeitet worden. Seine Abschlussarbeit basiert auf einem bereits entwickelten Sensorkonzept, das auf der Hardware eines bestehenden Rollstuhls aufgebaut wurde. Sein Beitrag umfasste die Softwareentwicklung für den Mikroprozessor auf dem elektrischen Rollstuhl, damit dieser sich in geschlossenen Räumen selbst lokalisieren kann.

Dazu wird vorerst vorausgesetzt, dass der Rollstuhl bereits den Grundriss der Innenräume kennt und verwenden kann. Um diese Voraussetzung zu erfüllen ist ein weiteres Programm implementiert, welches beliebige Gebäudepläne einlesen kann und in eine für den Rollstuhl auswertbare Karte umwandelt.

Der Lokalisierungsalgorithmus wird in einer Simulationsumgebung entwickelt und getestet bevor dieser auf dem echten Rollstuhl geprüft werden kann. In der ersten technischen Lösung des Problems dreht sich der Rollstuhl auf der Stelle, wobei mit einem speziellen Algorithmus die aktuelle Position und Orientierung des Rollstuhls im Raum aus den Sensordaten berechnet wird. In abschliessenden Tests konnte die Funktion bewiesen und Leistungsfähigkeit der Lösung ermittelt werden.

Im weiteren Projektverlauf sind die automatisierten Navigationsaufgaben des Rollstuhls zu entwickeln.

Entwicklung technischer Assistenzsysteme in geförderten Forschungsprojekten mit der Industrie

Für den Einsatz im geriatrischen Bereich wird in einem Forschungsprojekt eine sich selbst versorgende Schuheinlage zur Ortung von Personen entwickelt. Als Anwendungsfall soll dementen Personen möglichst lange ein selbstbestimmtes Leben und Wohnen ermöglicht werden. Diesem Vorhaben steht in der Praxis häufig das Risiko entgegen, dass diese Personen „verloren gehen“ können. Es ist also eine Art technisch unterstützte Überwachung notwendig um diesem Risiko und den damit verbundenen Gefahren entgegenzuwirken.

Projektziel ist es, ohne jede externe Energieversorgung ein Ortungsgerät im Schuh zu betreiben um zu jeder Zeit eine Lokalisierung zu gewährleisten. Bisher sind technisch assistierende Schuheinlagen oder Smart-Schuhe an Batterien oder Akkus gebunden und dadurch im Einsatz stark eingeschränkt. Eine technische Lösung zur Gewährleistung der Unabhängigkeit von externen Energiequellen soll hier entwickelt werden.

Insbesondere im Aussenbereich sind energiehungrige GPS/GPRS-Technologien für die Ortung und automatische Meldung über den Zustand geriatrischer Patienten vorgesehen. Die Position und der Zustand des Trägers sollen, auf Wunsch auch automatisch, an Angehörige oder an das Pflegepersonal übertragen werden können.

Die notwendige Energiegewinnung ist Hauptbestandteil der Institutsarbeit im Projekt. Dabei muss die notwendige Energie im Wesentlichen aus der Bewegungsenergie des Trägers gewonnen werden können. Die technische Lösung zur Energiegewinnung soll im Rahmen eines KTI-Projekts mit der Firma Tracker.ch AG entwickelt werden.

Methodische Entwicklung technischer Assistenzsysteme im Systemtechnik-Studium

Alltägliche Aktivitäten im Bereich Pflege und Selbstpflege werden mit zunehmendem Alter erschwert, weil die Beweglichkeit und die Kraft des Körpers nachlassen. Besonders die selbstständige Körperpflege im Rückenbereich ist davon betroffen. Um zu diesem Problem eine technische Lösung zur Unterstützung der Rückenpflege anzubieten, wurde im Studiengang Systemtechnik ein Gruppenprojekt initiiert. Im ersten Studienjahr sind die Studierenden noch relativ unvoreingenommen und können dadurch besonders kreative Lösungen zu komplexen Problemstellungen

liefern. Die technisch anspruchsvolle Umsetzung eines erfolgsversprechenden Konzepts kann dann als Fallbeispiel im Rahmen des gesamten Studiums geschult werden. Im Ergebnis konnten die Studierenden verschiedene Funktionsmuster entwerfen, aufbauen und testen, um auch diesen Bereich des täglichen Lebens durch geeignete technische Massnahmen zu unterstützen.

Ihre Ansprechpartner am Institut für Automation
Prof. Heinz Eichin, Dozent, heinz.eichin@fhnw.ch
Max Edelmann, Master of Science in Engineering MSE, wissenschaftlicher Assistent, max.edelmann@fhnw.ch

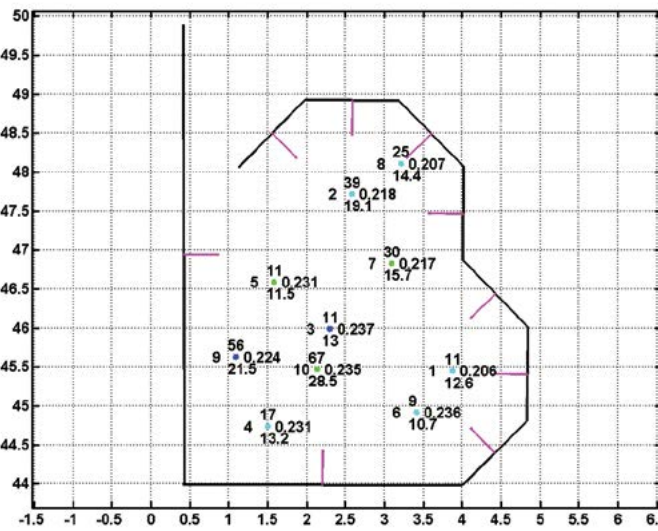


Abbildung 2 Rollstuhlnavigationssystem, hier abgebildet die selbstständige Lokalisierung in geschlossenen Räumen

Automatisierte Gitterausrichtung für Röntgen-Interferometrie

Die Materialanalyse ist heute eine unverzichtbare Komponente in Forschung und Entwicklung. Als bildgebende und zerstörungsfreie Prüfverfahren werden Phasenkontrastmessungen seit einigen Jahren mittels Gitterinterferometrie mit Röntgenstrahlung durchgeführt. Eine optimale Justierung der Anlage ist zeitaufwändig und braucht viel Expertenwissen. In der Master-Arbeit im Rahmen des Weiterbildungsstudiengangs MAS Automation Management wurde eine Methodik zur automatischen Gitterausrichtung entwickelt.

Stefan Hartmann

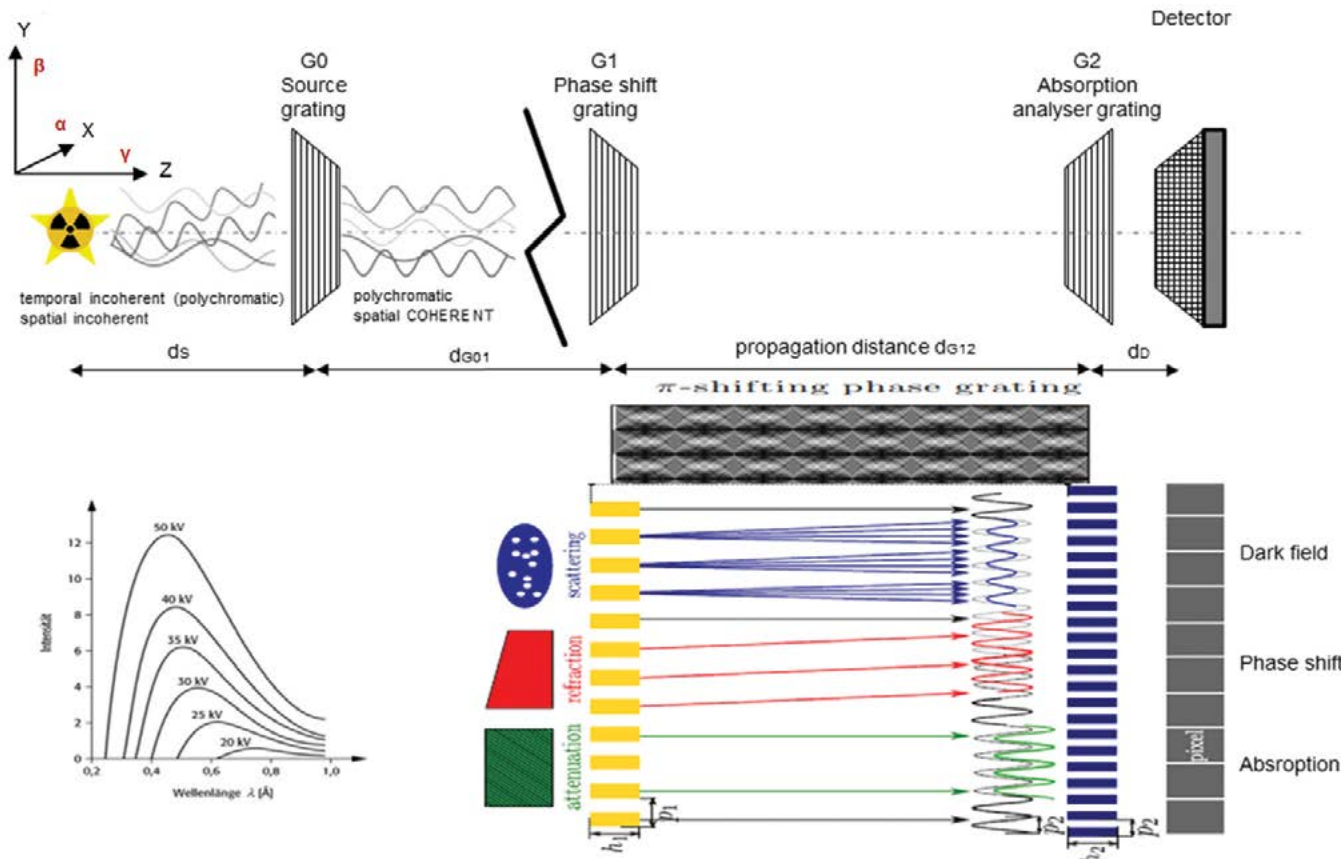


Abbildung 1 Prinzipschema eines Talbot-Interferometers

Phasenkontrastmessungen werden mittels Talbot-Lau-Röntgen-Interferometrie durchgeführt. Während bei der klassischen Röntgenanalyse die Reduktion der Intensität der Röntgenstrahlung durch die Probe abgebildet wird (Röntgenbild), analysiert man bei Phasenkontrastmessungen die unterschiedliche Verschiebung der Phase der Röntgenstrahlung. Um die Phasenverschiebung zu bestimmen, benutzt man den Talbot-Effekt. Dabei können bereits geringe Fehler in der Ausrichtung zwischen Phase-Shift-

und Analyser-Gitter zu massgebenden Verlusten der Visibilität führen. Diese Verluste äussern sich in Form von Moiré-Mustern. Die Ursachen der Moiré-Mustern wurden analysiert und geeigneten Analyse-Kriterien gegenübergestellt. Die Moiré-Muster können auf diese Weise verwendet werden, um die Orientierung von binären, planen 1D-Gittern gegeneinander auszurichten, die optimale Gitterdistanz zu ermitteln und so die Visibilität zu maximieren.

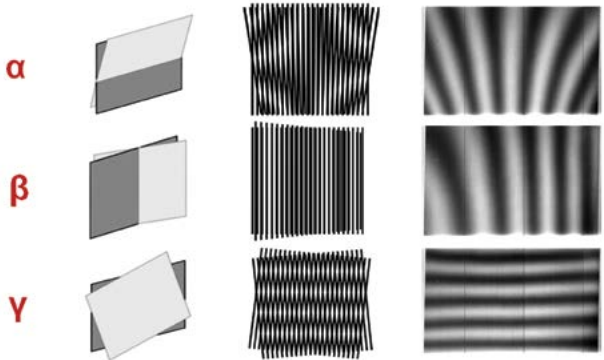


Abbildung 2: Beispiele von Moiré-Mustern durch ungenaue Ausrichtung der Gitter. Von links nach rechts: Winkelbezeichnungen, Gitterorientierung, Durchsicht in Strahlrichtung, reale Messdaten.

Einführung

In Abbildung 1 ist das Prinzip eines Talbot-Lau-Interferometers dargestellt. Harte, polychromatische Röntgen-Strahlung wird durch ein Gitter G0 in polychromatische, lateral kohärente Strahlung umgewandelt. Hinter dem Gitter G1 entsteht ein Interferenzmuster, wie in Abbildung 1 dargestellt. Da die Interferenzmuster für die Grösse der Detektorpixel zu fein sind, wird das Interferenzmuster durch das Gitter G2 abgetastet. Das Gitter G2 muss dazu dieselbe Periode aufweisen wie das Interferenzmuster. Durch den Vergrößerungseffekt kann dies mittels der Distanz zwischen G1 und G2 eingestellt werden. Ausserdem müssen die Gitter exakt aufeinander ausgerichtet sein. Die Strahlung nach Gitter G2 wird durch einen Detektor aufgenommen. Wird nun die Phase der Strahlung durch eine Probe vor G1 verschoben, so verändern sich das Interferenzmuster und folglich auch die Intensitäten auf dem Detektor. Ungenau ausgerichtete Gitter ergeben auf dem Detektor unterschiedliche Moiré-Muster. Einfache Beispiele zur Entstehung von Moiré-Mustern sind in Abbildung 2 dargestellt.

Zielsetzung

Die Ausrichtung der Gitter soll automatisiert werden. Dies soll zu einer zuverlässigen und reproduzierbaren Ausgangslage für Phasenkontrastmessungen führen. Sie soll ferner die Vorbereitungszeit minimieren und erlauben, dass auch weniger versierte Operatoren ohne Erfahrung zum Ausrichten der Gitter eigenständig Messungen durchführen können.

Systemanalyse

Aufgrund einer gründlichen Literaturrecherche konnte ein realistisches Simulationsmodell für die Erzeugung der Moiré-Muster erstellt werden. Dieses konnte anhand von Messungen validiert werden. Mit Hilfe des Modells konnten die wesentlichen Erkenntnisse gewonnen werden, wie die verschiedenen Muster aufgrund von Winkelfehlern zwischen den Gittern G1 und G2 entstehen. Es entstand eine Tabelle mit Wirkungszusammenhängen, die zeigte, nach welcher Methode die wesentlichen Parameter des Systems optimiert werden konnten. Nützlich war auch, dass auf die Erfahrung von geübten Fachleuten zurückgegriffen werden konnte. Viele neue gute Ideen waren aber nötig, um mittels digitaler Bildverarbeitung die gewünschten Merkmale der Moiré-Muster automatisch bestimmen zu können.

Resultat

Da aufgrund von Inbetriebnahme-Problemen die Anlage nicht termingerecht zur Validierung verwendet werden konnte, musste auf das Simulationsmodell zurückgegriffen werden. Es wurde eine LabVIEW-Applikation erstellt, anhand der der ganze Justierungsablauf basierend auf einer Bildauswertung der simulierten Moiré-Muster getestet werden konnte. Ein Beispiel daraus ist in Abbildung 3 dargestellt. Hier wird die für eine bestimmte Fehlauseinrichtung charakteristische Veränderung der Muster-Frequenz entlang einer Schnittlinie gezeigt. Mit Hilfe der ‚Multiscale Peak Detection‘ aus der Wavelet-Toolbox wurde anhand eines künstlich verrauschten Bildes die Frequenz in Funktion des Ortes bestimmt.

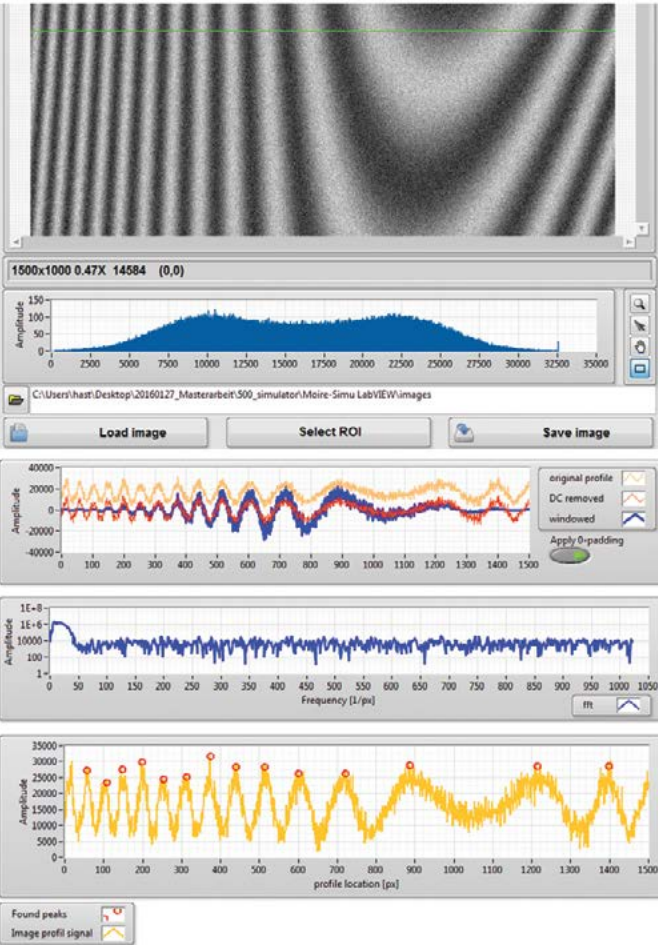


Abbildung 3: Bildanalyse eines Moiré-Musters

Ausblick

Die in der Simulation verifizierte Automatisierung der Gitterausrichtung wird als Nächstes an der realen Anlage getestet werden. Auch sollen die Resultate an einer Fachkonferenz vorgetragen werden.

MAS-Absolvent

Stefan Hartmann, Empa, Zentrum für Röntgenanalytik

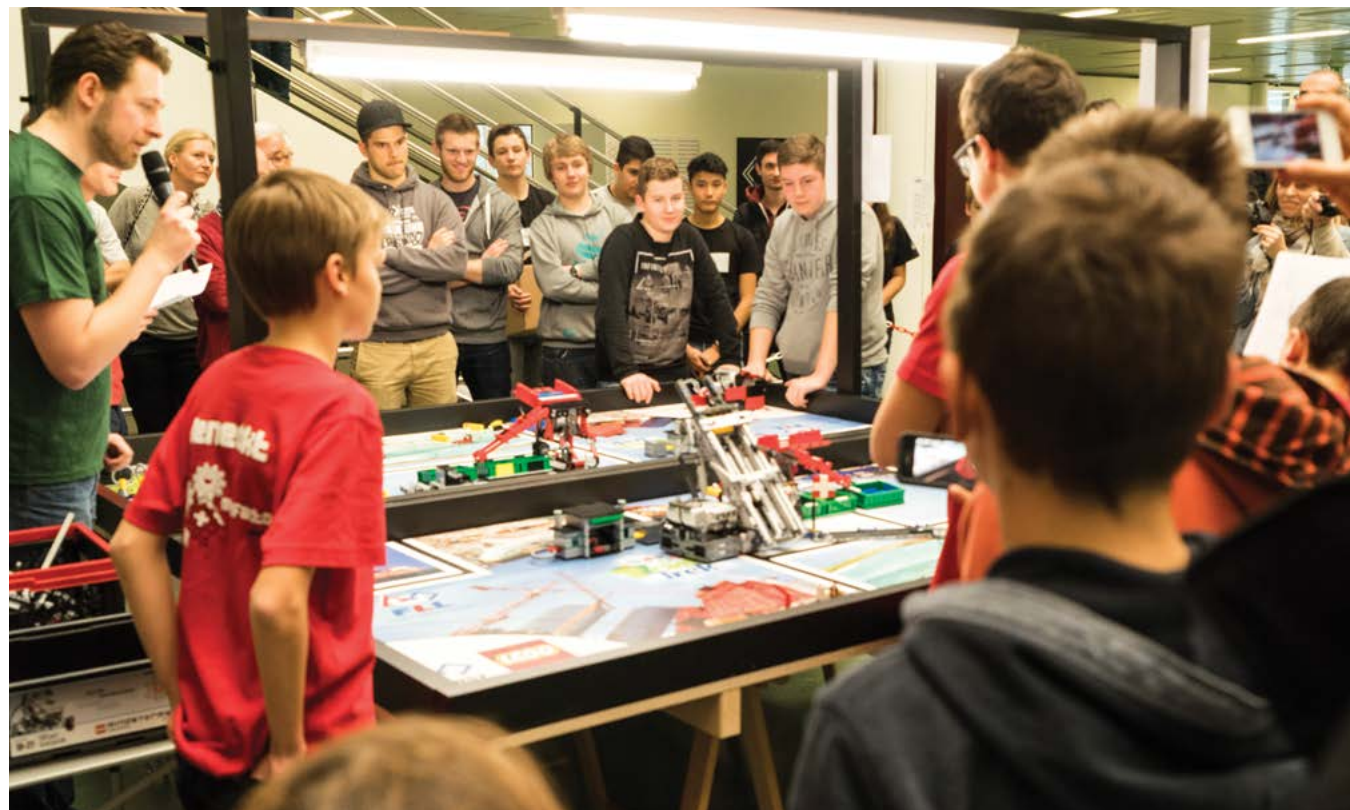
Betreuung

Dr. R. Kaufmann, Zentrum für Röntgenanalytik, Empa.
Prof. Dr. J.P. Keller, Institut für Automation FHNW

Mit Lego-Robotern die Begeisterung für Technik wecken

Schülerinnen und Schüler für MINT-Fächer zu begeistern, gehört zu den Herausforderungen von Lehrpersonen auf allen Stufen. Eine Möglichkeit, spielerisch mit Informatik und Technik in Kontakt zu kommen, ist die «FIRST LEGO League». Beim Robotik-Wettbewerb lernen Kinder und Jugendliche, gemeinsam im Team technische Aufgaben zu lösen.

Jürg P. Keller und Jérôme Blum



Jährlich treffen sich technisch begeisterte Jugendliche zum First-Lego-League-Wettbewerb an verschiedenen Orten in der Schweiz, seit 10 Jahren auch an der FHNW in Brugg-Windisch. Gruppen von 3-10 Jugendlichen im Alter von 10-16 Jahren zeigen, was sie im vergangenen Jahr für den Wettbewerb vorbereitet haben. Dazu bauen und programmieren sie einen Wettbewerbsroboter, der möglichst viele der im Voraus bekannten Aufgaben auf einem Spieltisch lösen kann. Zudem machen sie eine Forschungsarbeit, dieses Jahr zum Thema Abfallrecycling. Die Resultate der Arbeit werden am Wettbewerb in einer Präsentation vorgestellt. Erfreulicherweise sind immer mehr Teams aus Volksschulklassen dabei, welche die Robotik im Rahmen eines Faches, des Projektunterrichts oder in der speziellen Förderung kennen gelernt haben.

Speziell am Wettbewerb ist, dass eine Live-Challenge durchgeführt wird. Alle Gruppen bekommen den gleichen Roboter und ein Notebook mit einer Standardinstallation und müssen damit eine vorher unbekannte Aufgabe lösen. Die Aufgabe ist so gestaltet, dass Punkte mit Lösungen unterschiedlicher Komplexität gesammelt werden können. Insbesondere sollte mit der Aufgabe offensichtlich werden, ob die Jugendlichen in der Lage sind, einen Roboter so zu programmieren, dass er nicht einfach eine fest vorprogrammierte Sequenz abarbeitet, sondern flexibel, d.h. von Sensorwerten abhängig reagieren kann. Es ist offensichtlich, dass dies deutlich höhere Anforderungen an die Programmierung stellt. Die diesjährige Aufgabe war darum die Folgende: nach dem Start wurde dem



Roboter eine Farbe gezeigt (vor den Farbsensor). Der Roboter sollte die erkannte Farbe aussprechen (vorhandene Klangdatei abspielen) und dann ein Transportobjekt an einer vorgegebenen Position abstellen. Nach einer kurzen Rückfahrt musste das Transportobjekt wieder geholt werden und zu demjenigen Farbfleck gebracht werden, dessen Farbe dem Roboter beim Start gezeigt wurde. Zum Schluss sollte der Roboter wieder im Startbereich sein.

Für die Lösung der Teilaufgaben gab es Punkte. So musste das Team zunächst besprechen, mit welchen Teilaufgaben sie am meisten Punkte holen konnten und dies auch erfolgreich in der gegebenen Zeit schaffen würden. Danach ging ein Teil des Teams daran, den Roboter umzubauen oder zu erweitern, damit das Objekt transportiert und abgestellt werden konnte. Die anderen mussten den Roboter programmieren. Das Spektrum der Lösungen reichte von einfachen, Weg gesteuerten Fahrsequenzen, über Sensor gesteuerte Sequenzen (z.B. Halten bei schwarzer Linie) bis zu situationsabhängig richtig reagierenden Robotern (in diesem Fall, das Absetzen des Objekts auf dem richtigen Farbfleck). Das Letztere stellte die höchste Herausforderung und wurde nur von einem Team erfüllt.

Wieso eine Live-Challenge? Bei der Juryarbeit wird das Design und die Programmierung des Wettbewerbsroboters bewertet. Man möchte dabei nicht die Arbeit der meist erwachsenen Coaches beurteilen, sondern sehen, was die Jugendlichen selber können. Nach der Live-Challenge kann die Jury gut beurteilen, was der Coach und was das Team zum Wettbewerbsroboter beigetragen haben. Auch die Coaches, die aus der Ferne das Arbeiten ihres Teams genau beobachten, können für die Vorbereitung für das nächste Jahr nützliche Erfahrungen sammeln. Aber auch die Teams sind mit Freude dabei, das Gelingen einer Testfahrt ist weit herum zu hören.

Der Anlass wurde von Swisslos finanziell unterstützt.

Studierendenprojekte und Bachelor-Thesen

Die nachfolgenden Arbeiten wurden im Rahmen der Studiengänge Systemtechnik, Elektro- und Informationstechnik und Energie- und Umwelttechnik durch Dozierende und wissenschaftliche Mitarbeitende des Instituts für Automation der Hochschule für Technik FHNW betreut.

Themengebiet / Projektidee / Aufgabenstellung	Auftraggeber/Partner	Advisor	Studierende
Softwareemigration für Mikrofossilien-Abbildungsautomaten AMOR	Nat. Hist. Museum Basel	Gaulocher Sebastian	Oegerli Kevin
Betankung von Elektrofahrzeugen	Inrag AG	Eichin Heinz	Schuler Robert
Chilled Mirror Controller	MBW Calibration AG	Binggeli Daniel	Probst Patric
Regelung eines Laborreaktors für Scale-Up	F. Hoffmann-La Roche Ltd	Zogg David, Blum Jérôme	Schöni Debora
Regelungstechnische Eigenverbrauchsoptimierung an einem realen Gebäude	Bundesamt für Energie (BFE)	Zogg David, Germann Silvano, Trayler James	Scandella Selina
Simulationen zur Optimierung des lokalen Eigenverbrauchs von Photovoltaik-Wärmepumpenanlagen mit PolySun®	Bundesamt für Energie (BFE)	Zogg David, Trayler James	Leupi Andreas
Projekt Optical Control	ETA SA	Binggeli Daniel	Thi Hang-Pin
Mobiler Roboter zur Bombenbergung	RUAG Schweiz AG	Anderegg Roland	Umbricht Stefan
Praktische Validation einer dynamischen Baumaschine	Ammann Schweiz AG	Germann Silvano	Füglister Matthias
Dynamik von Baumaschinen zum Abtrag von Asphalt, Beton und ähnlichen Materialien	Ammann Schweiz AG	Germann Silvano	Hofer Philipp
Innovativer Ansatz für die automatisierte adaptive Belastung am Drehgestellprüfstand	Nencki AG	Anderegg Roland, Birrer Claudio	Simancas Alexis
Systemtechnische Analyse und Automation des Herstellungsprozesses von verzinn-ten und blanken Kupferlitz-ten	Huber + Suhner AG	Anderegg Roland	Hux Marc
Joysticktestanlage	Genge & Thoma AG	Keller Jürg P.	Hufenus Michael
Evaluation und Implementierung eines Panels zur automatischen Umlenkung des Sonnenlichtes	Solar X	Stuber Bruno	Birkhofer Jan
Werkzeugidentifikation für Beladeroboter	Erowa AG	Anderegg Roland, Edelman Max	Fleischmann Martina
Regelung der Kugelposition auf einer RPM-Taumelapparatur	FHNW, Institut für Automation	Keller Jürg P, Sekler Jörg	Glanzmann Mario
Optimale Bahnplanung und -regelung für Nanolithographie	SwissLitho AG	Sekler Jörg	Berta Marco
Video-based Feature-Tracking zur automatisierten Nahpositionierung von AFM-Rasterkraftmikroskopen	NANOSURF AG	Sekler Jörg	Stoll Daniel
Automatisierte Assemblierung und Transfer von Kohlenstoff-Nanotubes für neuartige Gassensoren	ETHZ - Dept. Maschinenbau	Sekler Jörg	Suter Matthias
Konzept und Prototyp eines EnOcean-Teststandes	FHNW, Institut für Automation	Eichin Heinz	Balmer Timon
Optimierung einer Hochdruckwasserstrahlschneid-Pumpe	Jet Cut Power GmbH und Zaugg Maschinenbau AG	Kurmann Lukas, Niederberger Stefan	Kramer Louis
Simulation von Drahtschwingung und Abtragsrate beim Drahtsägen	Meyer Burger	Gaulocher Sebastian, Treyer Daniel	Kalt Roger
Entwicklung einer Applikation zur automatisierten Erstellung einer Prozessvisualisierung	Spectraflow Analytics AG	Gaulocher Sebastian	Ruch Basil
Rollstuhlnavigationssystem	Curtis Instruments AG	Gaulocher Sebastian	Schaeffer Stefan
Realisierung eines Zugsimulators	ABB Schweiz AG	Gaulocher Sebastian	von Arx Cyrill
Flexible Lösung für kleines Probenlager	Brooks Automation AG	Gaulocher Sebastian	Read Patrick
Mess- und Analysesoftware für Schwingsiebe	Ammann Schweiz AG	Germann Silvano	Gämperle Diego

Themengebiet / Projektidee / Aufgabenstellung	Auftraggeber/Partner	Advisor	Studierende
Leistungs- und Temperaturregelung für Induktionsheizung auf TNX-Steuerung	Plustherm Point GmbH	Furrer Patrick	Burkard Lukas
Intelligente Lastoptimierung als Smart Grid Komponente	IDS Schweiz AG	Gysin Hans	Gugler Thomas
Synchronisation von CMOS-Kameras mittels FPGA	FHNW/ IA	Meier Matthias	Keller Reto, Vischer Sebastian
Pumpenanlage Maschinenkaverne	ALSTOM Renewable (Switzerland) Ltd.	Stuber Bruno	Hegi Pascal
Messstation für Lifetests von VCSEL auf TO-46 Header	II-VI Laserenterprise GmbH	Gaulocher Sebastian	Moser Thomas
Nichtlineare Regelung der Gyroanlage M750	FHNW, Institut für Automation	Keller Jürg P.	Zeugin Pascal
Automatisierung des Bienenwaben- und Gläserhandlings	Taracell AG	Birrer Claudio	Hubacher Christian
Automatisierung einer Chipmessung	TrueDyne Sensors AG	Keller Jürg P, Germann Silvano	Rohner Aaron
Automatisieren von Bohrkernmessungen	Nagra	Anderegg Roland, Germann Silvano	Beck Ismael
Elektrisches Haus	Stiftung Müsegg	Gysin Hans	Kammer Stefan
Bio Sample Heating/Cooling Stage zur Untersuchung biologischer Proben mittels AFM-Rasterkraftmikroskopien	NANOSURF AG	Sekler Jörg	Leder Lukas
Explosionsgeschütztes Instrument zur Bestimmung von Gasparametern	Mems AG	Ganzmann Peter	Krischker Florian
Regler-Tuning Assistent für Positionier-Systeme	Roche Diagnostics International AG	Furrer Patrick	Hüni Jonathan
Merkmale von Bewusstsein und Bewusstlosigkeit auf der Netzwerkebene des Gehirns	Technische Universität München Klinikum rechts der Isar	Steiner Marcel	Brigger Melanie
Schulungssystem: Pulsgenerator zur Simulation von elektrischen Teilentladungen	Alstom Power Thermal Services	Stuber Bruno, German Silvano	Steiger Silvan
Prädiktive Eigenverbrauchsoptimierung mit Wetterprognosen	Bundesamt für Energie (BFE)	Zogg David, Trayler James, Germann Silvano	Koller Michael
Smarte Kommunikations-Schnittstellen für Geräte in einem Energieverbund	Zogg Energy Control	Zogg David, Trayler James	Schneider Kaspar
Optimierung einer Hochdruckwasserstrahlschneid-Pumpe	Jet Cut Power GmbH	Kurmann Lukas	Quintero Manuel
Neue Automatisierungsgeneration für Druckverarbeitungssysteme	Müller Martini Druckverarbeitungssysteme AG	Anderegg Roland, Wiss Dominik	Hänseler Armon
Modellierung und Simulation einer energieeffizienten Magnetkupplungspumpe	CP Pumpen Systems	Stuber Bruno, Niederberger Stefan	John Jean-Paul
Automation eines mobilen Roboters für die Bombenbergung	RUAG Schweiz AG	Anderegg Roland	Eggenberger Florian
Optimierung einer Drahtsäge für Solarwafer und Durchführung von Versuchen	Meyer Burger AG	Gaulocher Sebastian, Treyer Daniel	Schneider Timon
Retrofit des BACnet-Prüfstandes am Institut IA	FHNW, Institut für Automation	Eichin Heinz	Leutwiler Nico
Cut-Off Regelung und Blendungsgeführte Storensteuerung für drehbares Lichtlabor	FHNW, Institut Energie am Bau	Eichin Heinz, Germann Silvano	Ostgen Lukas
Roboter zur Reinigung des Stallbodens	Landwirtschaftlicher Betrieb Kofel	Anderegg Roland	Kofel Simon
Weiterführung des Konzeptes EnOcean-Teststand zu kommerziell einsetzbarem Teststand	Vicos GmbH	Eichin Heinz	Balmer Timon

Konferenzbeitrag

Themengebiet / Projektidee / Aufgabenstellung	Auftraggeber/Partner	Advisor	Studierende
Optimierung eines Energy Harvester Systems	Camille Bauer Metrawatt AG	Kurmann Lukas	Begert Daniel
Software Migration mit Erweiterung für Datenbank und OPC-Interface	SpectraFlow Analytics Ltd	Gaulocher Sebastian	Saner Kevin
Signalübertragung in einem rotierenden Rohr	List AG	Keller Jürg P.	Weibel Andreas
Rollstuhlnavigationssystem	Curtis Instruments AG	Gaulocher Sebastian	Graf Mathias
Analyse und Weiterentwicklung der Temperaturregelung in einem Sintratec 3D-Drucker	Sintratec GmbH	Sekler Jörg	Schneidler Jan
Entwässerungssysteme mittels Hochleistungs-Vakuum-kompressoren	MAN DIESEL & TURBO SCHWEIZ AG	Sekler Jörg	Häfeli Daniel
Prozessoptimierung Jahreskalibrierung	Oerlikon Metco AG	Stuber Bruno	Mehles Claus
Optimierung Röntgenstrahlkonditionierungseinheit für Synchrotronstrahllinie	PSI	Blum Jérôme	Meier Nathalie
Zukunftssicher dank Smart Grid	ids Schweiz AG	Gysin Hans	Gugler Thomas

Vertiefungsprojekte 2015 der Master-Studierenden

Projektthema	Auftraggeber	Advisor	Studierende
Modellierung und Regelung einer neuartigen Technologie für den Strassenabbau	Ammann Schweiz AG	Anderegg Roland	Blum Jérôme
Effiziente Elektroantriebe	Micro-Motor AG	Stuber Bruno	Elber Sebastian
Zustandsbasierte Wartung von Wärmepumpen und Kälteanlagen	KWT Kälte- Wärmetechnik AG	Zogg David	Elmiger Andreas
Entwicklung eines Fussbewegungsgenerators	Tracker AG	Gysin Hans	Ernst Benjamin
Energie- und ressourceneffizientes Design für Verdichtungsgeräte im Strassenbau	Ammann Schweiz AG	Anderegg Roland	Wiss Dominik
Regelstrategien für die Optimierung des Eigenverbrauchs von Gebäuden	Bundesamt für Energie	Zogg David	Trayler James
Fehlerdiagnose durch Vibrationsanalyse in der verarbeitenden Industrie	LCA Automation	Zogg David	Ruch Basil
Leiterplatten-Stator für “Exzenter Generator”	Tracker AG	Gysin Hans	Read Patrick
Untersuchung und Messen von Modellabweichungen im Prozess Schleifen	Franke Water Systems AG, KWC	Anderegg Roland	Villinger Joachim
Untersuchung Fertigungsprozessbeschreibung über die gesamte Wertschöpfung zur Einführung neuer Designprodukte in die automatisierte Fertigung	Franke Water Systems AG, KWC	Anderegg Roland	Füglister Matthias
Effiziente Windenergienutzung mit modular aufgebauten Generator- und Umrichter- Einheiten	BFE Bundesamt für Energie	Schleuniger Pascal, Anderegg Roland	Sabatella Alessandro
Produktivitätssteigerung von Diamantdrahtsägen	Meyer Burger AG	Gaulocher Sebastian	Steger Jan
Modellbasierte Prozessoptimierung einer Drahtsäge	Meyer Burger AG	Gaulocher Sebastian	Lüthy Michael
Regelung eines Piezo-gesteuerten Positioniertisches zur nanolithographischen Oberflächenbearbeitung	SwissLitho AG	Sekler Jörg	Berta Marco
iKneader - Teilprojekt Energy Harvester	List AG	Keller Jürg P.	Umbricht Stefan
iKneader - Teilprojekt Kommunikation	List AG	Keller Jürg P.	Zeugin Pascal

Konferenz		Hochschule	Referate des Instituts für Automation
PowerMEMS 2015 The 15th international workshop on micro- and nanotechnology for power generation and energy conversion applications	1.-4.12.2015 Boston, USA	Northeastern University, MA, USA Massachusetts Institute of Technology, MA, USA	Kurmann L. Autoparametric Resonance Systems for Vibration-Based Energy Harvesters Journal of Physics: Conference Series 660 (2015) 011001 • doi:10.1088/1742-6596/660/1/011001 Ein neues Modell für einen kinetischen Energie-Vibrationsharvester wurde vorgestellt. Dabei wird im ersten Teil gezeigt, dass auch spezielle 1DoF Strukturen extreme Resonanzüberhöhungen aufweisen können. Im zweiten Teil wurde auf 2DoF Strukturen eingegangen, die sogenannte autoparametrische Resonanzen aufweisen.

Preise

Förderpreis 2015 der Schweizerischen Gesellschaft für Automatik (SGA)

1. Platz: Pascal Zeugin für die beste Bachelor-Arbeit in der Regelungstechnik mit dem Titel ‘Regelung der Gyroanlage M750’.



Für persönliche Auskünfte und Beratung stehen wir Ihnen gerne zur Verfügung:

Leiter Institut für Automation
Prof. Dr. Roland Anderegg
T +41 56 202 77 43, roland.anderegg@fhnw.ch

Sekretariat Institut für Automation
T +41 56 202 75 28, info.ia.technik@fhnw.ch

Weiterbildung MAS Automation Management
Studiengangleiter Prof. Dr. Jürg P. Keller
T +41 56 202 77 62, juerg.keller1@fhnw.ch
www.fhnw.ch/wbt/mas/am



Fachhochschule Nordwestschweiz FHNW
Hochschule für Technik
Institut für Automation
Klosterzelgstrasse 2
CH-5210 Windisch

www.fhnw.ch/technik/ia