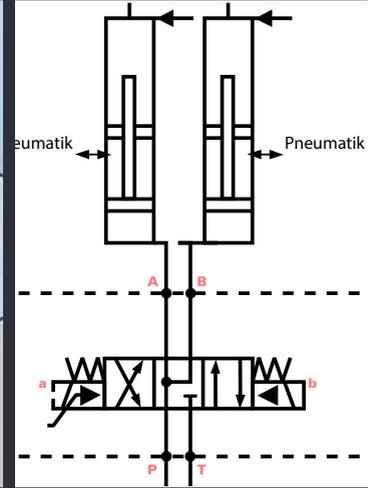
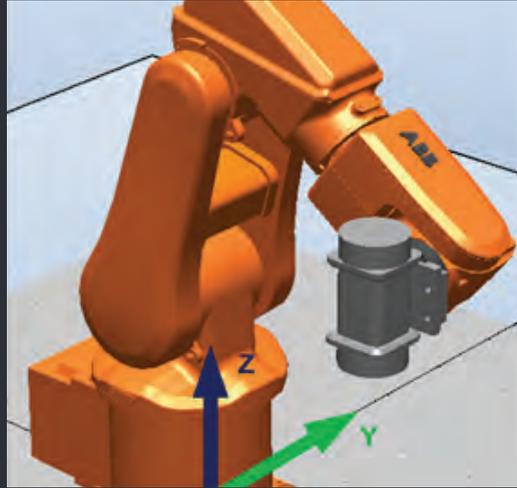


Institut für Automation

Tätigkeitsbericht 2012
www.fhnw.ch/technik/ia



Impressum

Herausgeber:

Fachhochschule Nordwestschweiz FHNW
Hochschule für Technik
Institut für Automation
Steinackerstrasse 5
CH-5210 Windisch
www.fhnw.ch/technik/ia

Kontakt:

Silvia Rüegger
info.ia.technik@fhnw.ch
Tel +41 56 202 75 28
Fax +41 56 462 46 15

Redaktion:

Rolf Isler
Beratung: Annette Lüthy-Altherr
Layout: Ben Newton
Erscheinungsweise: jährlich
Druck: xline AG, Brugg
Auflage: 500 Expl.

Inhalt

Editorial	4
Spektralanalyse auf höchstem Leistungsniveau	5
Prof. Bruno Stuber; Daniel Treyer; Dino Zardet; Michael Roth	
Adaptivregler für die Gebäudeautomation	7
Prof. Niklaus Degunda	
Prädiktiver Regler für die Gebäudeautomation	9
Prof. Niklaus Degunda; Markus Ruesch	
Performancestudie von Hochvakuum-Anlagen	12
Prof. Jörg Sekler; André Schwarb	
System Control Lab für die Integration und Automatisierung erneuerbarer Energien im Gebäudebereich	15
Prof. Dr. David Zogg; Prof. Dr. Thomas Afjei	
MonoTracer	18
Prof. Dr. David Zogg; Claudio Birrer; Thomas Dreier	
Energie- und ressourceneffizienter Strassenbau	20
Prof. Dr. Roland Anderegg	
Hochdruckwasserstrahlschneiden	24
Lukas Kurmann; Stefan Niederberger	
Arduino gesteuerte Portalfräsmaschine	28
Lukas Kurmann, Sebastian Stapfer	
Modellierung des robotergestützten Schleifprozesses von Armaturen	31
Max Edelmann	
Intelligente Drehgestellprüfstandstechnik	33
Claudio Birrer	
Optimale Mischung von Mehlen	35
Prof. Dr. Jürg P. Keller	
First™ Lego® League - Nachwuchsförderung in der FHNW	36
Prof. Dr. Jürg P. Keller; Daniel Treyer	

Editorial

Geschätzte Leserin, geschätzter Leser

Wir freuen uns, Ihnen im vorliegenden Tätigkeitsbericht aus Unterricht und Projekten des vergangenen Jahres berichten zu können. Auf den folgenden Seiten finden Sie einen Querschnitt über die Tätigkeit des Instituts für Automation.

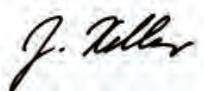
Die Automation liefert mit ihren systemtheoretischen Grundlagen und der Automatisierungstechnik einen zentralen Beitrag zur Lösung verschiedener aktueller Probleme im Bereich der effizienten Nutzung von Energien und materiellen Ressourcen. Die universelle Anwendbarkeit ihrer Methoden zeigt sich im grossen Spektrum der Projekte des Instituts. Der Bogen unserer praktischen Anwendungen spannt sich von energieeffizienter Gebäudeautomation, insbesondere dem Einsatz von Wärmepumpen über die intelligente Mischung von Mehlen, das Erkennen von Linien für Heimwerkeranwendungen bis zur Regelung von Motorradlenkungen oder der praktischen Simulation von Weltraumbedingungen in einem Labor. Die angewandte Forschung erlaubt es uns, Innovationen gemeinsam mit Industriepartnern zu entwickeln und damit insbesondere unsere Masterstudierenden praxisorientiert zu hervorragenden Fachleuten auszubilden.

Neben den Industrieprojekten finden Sie nachstehend ausgewählte, durch das Institut organisierte Veranstaltungen wie zum Beispiel die First Lego League, welche den Ingenieurwachstum mit grossem Erfolg ansprechen.

Im Rahmen der Ausbildung durfte das Institut für Automation den Unterricht in den Studiengängen Systemtechnik, Wirtschaftsingenieurwesen, Elektro- und Informationstechnik und im Studiengang Energie- und Umwelttechnik wahrnehmen. Das bewährte Weiterbildungsangebot MAS Automationsmanagement ist im vergangenen Jahr mit 16 Studierenden gestartet.

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

Freundlichst



J. P. Keller



R. Anderegg

Spektralanalyse auf höchstem Leistungsniveau

In der digitalen Signalverarbeitung ist die Spektralanalyse mittels FFT (Fast Fourier Transform) allgegenwärtig. Aber wie rechnet man alle 4 Mikrosekunden eine 32'768-Punkt FFT, die eine viertel Million Multiplikationen erfordert oder pro Sekunde gerechnet 60 Milliarden Multiplikationen? Diese Anforderungen stellen sich in der Atmosphärenphysik, der Radioastronomie und ähnlich gelagerten Anwendungsgebieten, wo Signale mit Bandbreiten von mehreren Gigahertz in Echtzeit spektral analysiert werden. Die geforderte Rechenleistung kann kompakt und in kleinen Serien nur in sogenannten FPGA (Field Programmable Gate Arrays) erbracht werden.

Prof. Bruno Stuber; Daniel Treyer, BSc Systemtechnik; Dino Zardet (IME), BSc Elektro- und Informationstechnik; Michael Roth (IME), BSc Engineering | bruno.stuber@fhnw.ch;

Spektrometer für Forschungszwecke

In den erwähnten Anwendungsgebieten werden Signale aus der Atmosphäre oder dem Weltall empfangen und digitalisiert, so dass Datenströme bis zu 8 Gigasamples pro Sekunde resultieren. In einem kontinuierlichen Prozess werden die Signale spektral analysiert, wobei das Leistungsspektrum (Betragsquadrat des Spektrums) fortlaufend akkumuliert wird. Durch diesen Mittelungsprozess gelingt es, die tief im Rauschen verborgenen Nutzsignale zu extrahieren.

Die Signalverarbeitung des Datenstroms erfolgt, indem die Hardware in Form einer Pipeline «ausgewalzt» wird, d.h. die Daten durchlaufen eine Kette von Verarbeitungseinheiten, von der AD-Wandlung über die FFT bis zur Akkumulation des Spektrums, entsprechend dem Blockschaltbild, Abbildung 1. Innerhalb des FPGA laufen alle Rechenoperationen, Zwischenspeicherungen und Umsortierungen synchron mit einer Taktrate bis zu 250 MHz. In regelmäßigen Abständen werden die akkumulierten Daten zum Host-Rechner transferiert.

Im aktuellen Projekt kann die Signalverarbeitung wahlweise 1-kanalig oder 2-kanalig erfolgen, selektierbar «on the fly» (d.h. Umstellen während des Betriebs). Wahlweise hat man also beispielsweise 1x8 GS/s oder 2x4 GS/s. Die 2-kanalige Variante eröffnet eine neue Palette von Funktionen: So ist es möglich, nebst den individuellen Leistungsspektren, auch die Summe und die Differenz der Spektren zu rechnen, was für die Separation der sogenannten Seitenbänder (Trennung des oberen und unteren Seitenbandes) benötigt wird. Weiter kann das Kreuzleistungsspektrum PXY berechnet werden. Die 1-kanalige Variante ermöglicht zudem die Akkumulation des Real- und Imaginärteils des Spektrums, beispielsweise für genaue Phasenmessungen.

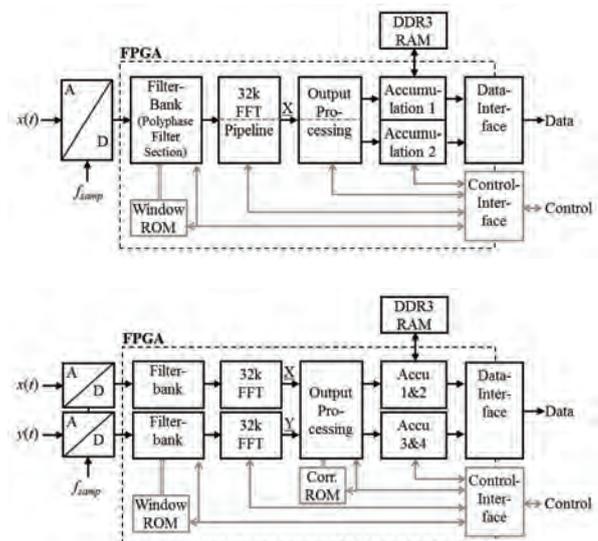


Abbildung 1: Blockschaltbild Spektrometer 1-kanalig und 2-kanalig

Von der konventionellen FFT zur Filterbank

Wer bereits mit der FFT vertraut ist, weiss, dass die Anwendung eines «Fensters» (Window), mit dem der Signalausschnitt gewichtet wird, in der Praxis unumgänglich ist. Der Leakage Effekt verbreitert ansonsten das FFT-Spektrum einer harmonischen Schwingung erheblich. Es resultiert eine schlechte Auflösung des Spektrums. Selbst mit einem Fenster wird das Spektrum verbreitert dargestellt, wenn die Frequenz nicht exakt auf dem berechneten Raster liegt. Dieser Effekt ist in Abbildung 3 im unteren Teil dargestellt: Links eine Harmonische mit Frequenz zwischen dem Raster, rechts eine Harmonische mit Frequenz exakt auf dem Raster. Eine Verbesserung kann nur erzielt werden, wenn die FFT zu einer **digitalen Filterbank** erweitert wird! Das Prinzip dieser Erweiterung ist in Abbildung 2 dargestellt: Anstelle eines einzelnen Signalausschnitts für die FFT wird der Rahmen auf beispielsweise 4 Ausschnitte (Frames) erweitert und es wird ein

ebenso breites Fenster angelegt. Die 4 gewichteten Signalteile werden nun addiert, sodann der FFT zugeführt. Diese Vorverarbeitung wird in Form eines parallelen FIR-Filters realisiert, in der Fachsprache heisst das Verfahren WOLA (Weighted Overlap Add). Indem das Signalfenster erweitert wird, wird das Spektrum «geschärft». Der Effekt ist im Spektrum in Abbildung 3 (oben) deutlich sichtbar: Jede Harmonische wird mit einer nahezu idealen Bandfilter-Charakteristik abgebildet.

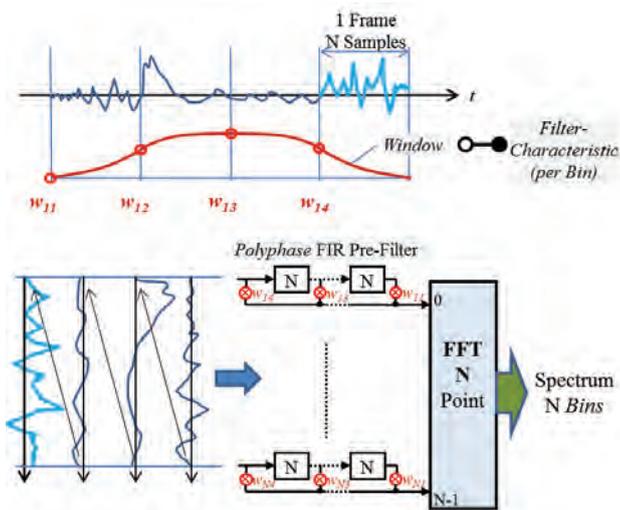


Abbildung 2: Erweiterung der FFT zur Filterbank

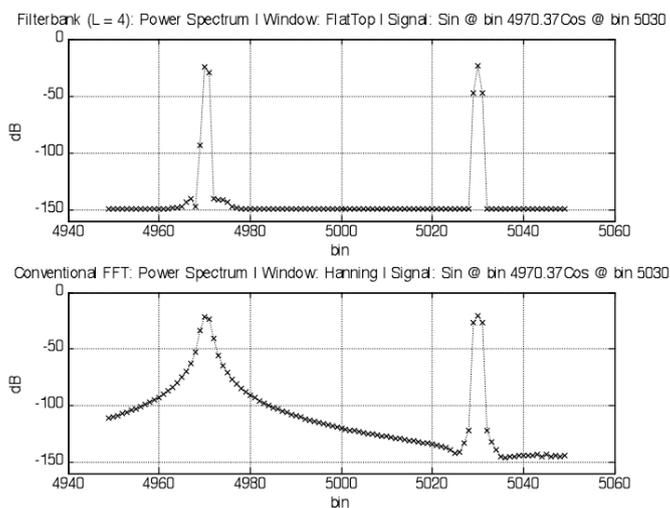


Abbildung 3: Spektrum zweier Harmonischer. Oben: Filterbank. Unten: Konventionelle FFT mit Hanning-Fenster, mit deutlichem Leakage-Effekt

FPGA als Drehscheibe der Signalverarbeitung

Moderne FPGA werden mit den fortschrittlichsten Halbleitertechnologien gefertigt, marktführend sind die beiden Firmen Xilinx und Altera. FPGAs werden in Familien angeboten, von kleineren Chips bis zu extrem grossen und leistungsfähigen Bausteinen. FPGA bestehen aus einer regulären Anordnung von programmierbaren Logikzellen, Multiplizierern (meist 25 x 18 Bit), RAM-Blöcken und speziellen IO-Funktionseinheiten. Die grösseren Varianten enthalten zusätzlich 1 oder mehrere konfigurierba-

re Prozessor-Kerne. Spezielle «DSP-Slices» ermöglichen die effiziente Umsetzung von Multiplikationen, Additionen und Subtraktionen in Verbindung mit Zusatz-Funktionen wie Rundungen, Sättigung der Resultatwerte etc. Die «Programmierung» der FPGA erfolgt über die Beschreibungs-Sprache VHDL. Der Code beschreibt sowohl die Funktion einer Einheit, wie auch die angedachte Struktur (sequentiell versus parallel). Mit Hilfe von Makro-Generatoren können Funktionsblöcke automatisch generiert werden. Der grösstmögliche Datendurchsatz kann allerdings nur erreicht werden, wenn die einzelnen Operationen in Hardware-optimale Schritte aufgelöst und in VHDL entsprechend beschrieben werden, so dass die Synthese die optimale Logik-Struktur generiert. Alle Rechnungen im FPGA erfolgen primär in Fixed-Point-Arithmetik (fixe Kommastelle), meist auf einem Niveau von etwa 16 bis 24 Bit Wortbreite. Additionen und Multiplikationen vergrössern die Wortbreite, d.h. ein wesentlicher Teil des Entwurfs besteht darin, für jede Sequenz von Rechenoperationen die optimalen Wortbreiten festzulegen in Verbindung mit den entsprechenden Kürzungen (truncation) und Rundungsoperationen.

Die Projektpartner

Die Filterbank-Applikation wird im Rahmen eines KTI-Projekts an der FHNW entwickelt. Forschungspartner/Anwender sind das Institut für Angewandte Physik der Universität Bern und das Institute for Astronomy der ETH Zürich. Industriepartner und Hersteller der Digitizer Produktlinie ist die Firma Agilent in Genf. Das Institut für Automation (IA) und das Institut für Mikroelektronik (IME) der FHNW teilen sich die Aufgaben wie folgt:

IA:

- Entwurf und Detailausarbeitung aller Algorithmen;
- Numerische Optimierung der Fixed-Point Arithmetik;
- Matlab Rechen-Modell der ganzen Signalverarbeitungskette;

IME:

- Optimierung der FPGA-/Hardware-Strukturen auf Geschwindigkeit;
- VHDL Implementierung aller Funktionseinheiten inkl. Synthese, Place & Route;
- Verifikation aller Stufen mit Hilfe des Matlab-Rechenmodells.

Adaptivregler für die Gebäudeautomation

Bei der Inbetriebsetzung von Anlagen bleibt oft wenig Zeit, um die Regler optimal einzustellen. Kommt dazu, dass in der Gebäudetechnik übers Jahr starke Laständerungen auftreten und die Regelstrecken ihren Charakter ändern können. Will man ein optimales Regelverhalten beibehalten, müssen die Reglerparameter adaptiert werden.

In zwei BachelorThesen wurden zwei Adaptivregler entwickelt und getestet.

Prof. Niklaus Degunda | niklaus.degunda@fhnw.ch

Self Tuning Regulator (STR)

STR sind eine seit längerer Zeit bekannte Klasse von Adaptivreglern. In der Gebäudeautomation wurden solche Regler für Regelstrecken mit S-förmigen Sprungantworten entwickelt und eingesetzt. Sie verwenden ein Streckenmodell aus Totzeit und Verzögerungsglied erster Ordnung. Die Totzeit wird dabei meist als Parameter eingegeben und nicht identifiziert. Um einen anhaltend stabilen Betrieb zu garantieren, sind zusätzliche Überwachungsfunktionen unabdingbar. So ist z.B. darauf zu achten, dass die Parameter der Regelstrecke nur dann identifiziert werden, wenn eine genügende Anregung stattfindet. In Abbildung 1 ist ein Blockdiagramm eines STR dargestellt.

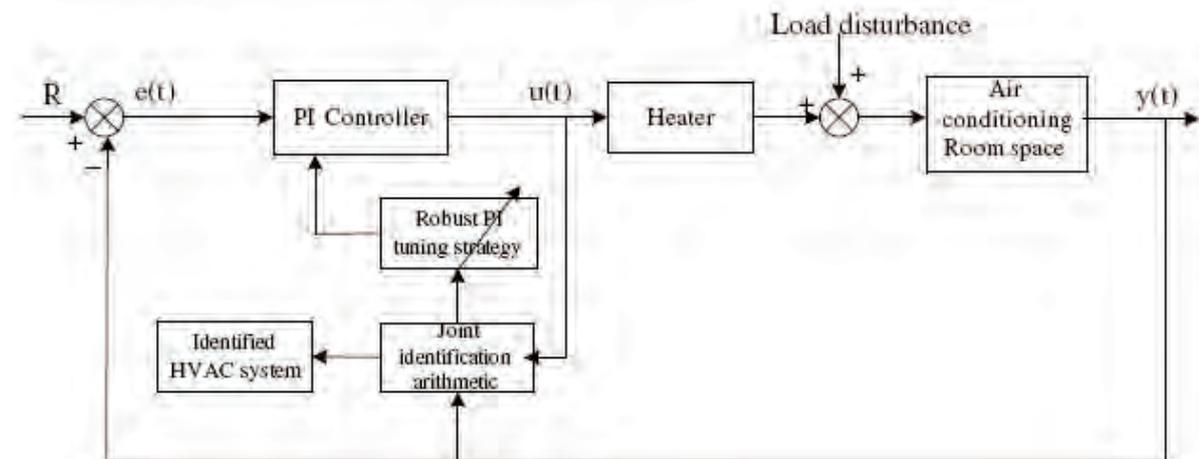


Abbildung 1: Blockdiagramm des STR

Im Rahmen einer ersten Bachelor Thesis [1] wurde ein STR entwickelt, der auch die Totzeit schätzt. Er wurde in Simulationen untersucht, auf einer speicherprogrammierten Steuerung (SPS) implementiert und an einer Lüftungsanlage getestet. Es zeigte sich, dass der Regler grundsätzlich funktioniert, aber die Robustheit durch zusätzliche Massnahmen noch verbessert werden muss. Abbildung 2 zeigt das Regelverhalten in der Simulation.

Für die Entwicklung des Algorithmus wurde basierend auf Messdaten ein Modell der Testanlage (Lüftung) entwickelt, das die Veränderung der Regelstreckenparameter in Funktion des Arbeitspunktes berücksichtigt. Es besteht aus einer Serieschaltung von Totzeit und PT1 mit Parametern als Funktionen der Stellgrösse.

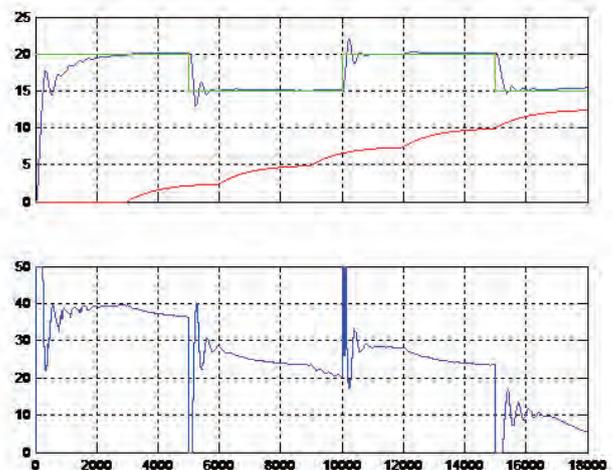


Abbildung 2: Zulufttemperaturregelung mit STR (Simulation). Oben Sollwert (grün), Istwert (blau), Aussentemperatur (rot, Störgrösse), unten Stellgrösse

Simple Adaptive Control (SAC)

SAC gehört zu den Adaptivreglern mit Referenzmodell (model reference adaptive control, MRAC). SAC zeichnet sich durch eine einfache Struktur (Abb. 3) und wenige Einstellparameter aus. Die Regelstrecke muss strikt positiv reell (SPR) oder fast strikt positiv reell (almost strictly positive real, ASPR) sein. Vereinfacht ausgedrückt bedeutet das, dass die Phase für alle Frequenzen grösser als -90° sein soll. Das erfordert für Regelstrecken mit Totzeit zusätzliche Massnahmen.

Auch dieser Regler wurde in Simulationen untersucht (Abb. 4) und auf einer Anlage getestet [2].

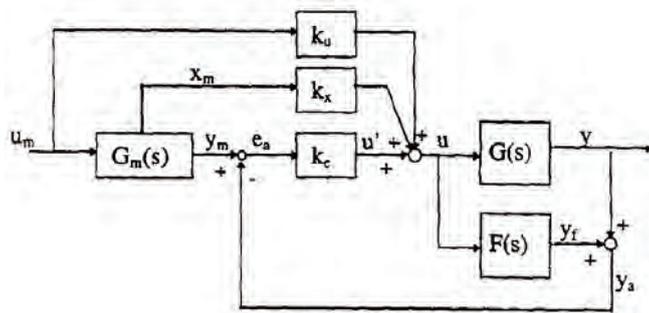


Abbildung 3: Struktur des SAC. $G(s)$ ist die Regelstrecke, $G_m(s)$ das Referenzmodell und $F(s)$ eine zusätzliche Steuerung zur Erfüllung der Stabilitätsbedingung (ASPR). Die Verstärkungen k_u , k_x und k_e werden adaptiert

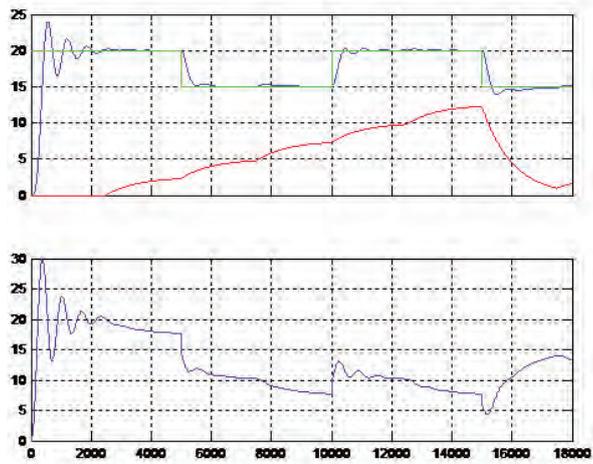


Abbildung 4: Zulufttemperaturregelung mit SAC (Simulation). Oben Sollwert (grün), Istwert (blau), Aussentemperatur (rot, Störgrösse), unten Stellgrösse

Fazit

Sowohl der STR als auch der SAC eignen sich nach ersten Tests als Zulufttemperaturregler. Umfangreichere Feldtests sind noch ausstehend und sollten in einer weiteren Bachelor Thesis nachgeholt werden.

Referenzen

- [1] Sergius Gamow, BSc Systemtechnik; Arbeit BT Nr. 4200-S
- [2] Raphael Henninger, BSc Systemtechnik; Arbeit BT Nr. 4319-S

Prädiktiver Regler für die Gebäudeautomation

In der Gebäudeautomation verspricht man sich einiges von prädiktiven Reglern, die unter Verwendung von Modellen vorausschauend die optimalen Stellgrößenverläufe berechnen.

In einer BachelorThesis [1] wurde im Auftrag und in Zusammenarbeit mit der Fr. Sauter AG ein modellbasierter prädiktiver Regler entworfen und in Simulationen systematisch untersucht. Im Vergleich mit einem optimal eingestellten PID-Regler konnten bezüglich Energieeinsparung und Qualität der Sollwertfolge bei einer Raumtemperaturregelung mit Warmwasserheizung keine nennenswerten Vorteile festgestellt werden.

Prof. Niklaus Degunda; Markus Ruesch, BSc Systemtechnik | niklaus.degunda@fhnw.ch

Raummodelle

In der vorbereitenden Projektarbeit P5 wurden 4 Raummodelle zur Gebäudesimulation in Matlab/Simulink erstellt. Zwei Modelle wurden gemäss der Norm EN-15255, eines mit dem CARNOT-Blockset des Solarinstituts Jülich und eines nach Wehrli [2] gebildet. Die Modelle wurden anhand von vier Testfällen aus VDI 6007 validiert. Die Testfälle dienen der Beurteilung des thermischen Verhaltens der Räume bei internen konvektiven und internen radiativen Lasten.

Model Predictive Control (MPC)

Unter den fortgeschrittenen Regelungsverfahren gehört die modellbasierte prädiktive Regelung (model predictive control, MPC) zu den am häufigsten in der Industrie eingesetzten Verfahren. Besonders in der erdölverarbeitenden Industrie und in der Chemieindustrie haben sich MPC in der praktischen Anwendung bewährt. Im Raffineriesektor gehört der Einsatz von MPC-Verfahren inzwischen zum Stand der Technik. Die Grundlagen zur modellbasierten prädiktiven Regelung wurden in den späten 1970er-Jahren erarbeitet und sind seither stetig erweitert worden.

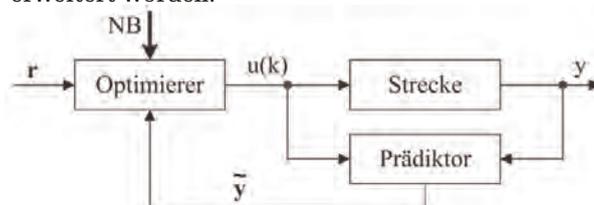


Abbildung 1: Struktur modellbasierter prädiktiver Regelungen

Abbildung 1 zeigt die Struktur modellbasierter prädiktiver Regelungen. Parallel zur Regelstrecke läuft ein Prozessmodell (Prädiktor), mit welchem jeweils die zukünftigen Regelgrößen berechnet werden. Diese zukünftigen Regelgrößen werden einer Op-

timierung zugeführt, in welche auch der Sollwert r und die Nebenbedingungen NB einfließen. In dieser Optimierung werden die zukünftigen (optimalen) Steuergrößen berechnet, wobei jeweils nur der erste Wert auf die Regelstrecke ausgegeben wird.

Regelstrecke

Als Regelstrecke wurde eine Raumtemperaturregelung gewählt, wobei die Raumtemperatur lediglich erwärmt werden kann. Die Erwärmung erfolgt über eine Warmwasserheizung mit einem Heizkörper im Raum. Es wird davon ausgegangen, dass die Vorlauftemperatur auf den Heizkörper konstant gehalten wird. Die abgegebene Wärmeleistung des Heizkörpers wird über ein Ventil gesteuert, welches den zugeführten Massenstrom beeinflusst.

Als Testraum wird der Typraum L nach VDI 6020 verwendet. Es handelt sich dabei um einen Raum in leichter Bauart. Für die Simulation des Heizkörpers wird ein erprobtes Modell aus dem Carnot-Blockset verwendet. Für die Ermittlung der Parameter wurde ein Heizkörper HH126 der Firma Zehnder aus-
gesucht.

Aus den Simulationen für verschiedene Betriebsfälle (Szenarien) wurden die Parameter gemäss folgender Tabelle ermittelt.

		Szenario 1	Szenario 2	Szenario 3	Szenario 4	Szenario 5
Streckenverstärkung	K_S	11.65	15.87	12.81	6.67	26.15
Zeitkonstante	$\tau_{63\%}$	16.98h	17.86h	19.66h	16.59h	18.44h
Zeitkonstante	$\tau_{95\%}$	101.42h	104.25h	109.90h	100.28h	106.14h
Verzugszeit	t_u	264s	238s	320s	240s	244s
Ausgleichszeit	t_g	8571s	10892s	14150s	9220s	13321s
Verhältnis	$\frac{t_g}{t_u}$	0.0308	0.0219	0.0226	0.0260	0.0183

Testsequenzen

Zur Beurteilung des Führungsverhaltens wurde ein Sollwertprofil festgelegt, welches drei Temperaturen unterscheidet: 18°C für einen reduzierten Betrieb nachts, 20°C für einen normalen Betrieb tagsüber und 21°C für einen Komfort-Betrieb am Abend. Die Testsequenz läuft über drei Tage, während deren sich die einzelnen Tagesprofile wiederholen (Abb. 4).

Zur Beurteilung des Störverhaltens wurden zwei Witterungssequenzen ausgewählt. Die Sequenzen stammen aus realen Messdaten einer Wetterstation in Basel-Binningen. Für die Beurteilung des Regelverhaltens nahe an den Auslegungsbedingungen wurde eine Sequenz aus dem Winter 2000 ausgewählt. Und zur Beurteilung des Regelverhaltens in Übergangszeiten, in denen die Heizgrenze teilweise überschritten wird, wurde eine Sequenz aus dem Jahr 2002 ausgewählt. In den Simulationen wird nur die Aussentemperatur verwendet.

MPC mit der Matlab-Toolbox

Mit der Model Predictive Control Toolbox lassen sich MPC-Regelungen in Matlab/Simulink erstellen und simulieren. Als interne Modelle können lineare Modelle, die mit der Control System Toolbox oder der System Identification Toolbox erstellt wurden, verwendet werden.

Abbildung 2 zeigt die Struktur der MPC-Regelung. Der Regler weist total vier Eingänge auf: zwei gemessene Störgrößen (Aussentemperatur und Temperatur der Nachbarräume), ein Sollwert und eine Zustandsgröße der Regelstrecke (Raumtemperatur). Die gemessenen Störgrößen können, wenn diese zum vornherein bekannt sind, in die Prädiktion einfließen, was in diesem Fall mit der Aussentemperatur und der Temperatur der Nachbarräume gemacht wird. Ebenfalls wird der Sollwert in der Prädiktion berücksichtigt, da zukünftige Sollwerte bekannt sind. Die gemessene Raumtemperatur wird im Abstand einer Zykluszeit aktualisiert, worauf eine neue Prädiktion und Optimierung starten kann. Auf Eingängen und Ausgängen können Beschränkungen gesetzt werden. Diese wurden beim Reglerausgang auf 0 als kleinstmögliche Ventilöffnung und 1 als grösstmögliche Ventilöffnung gesetzt.

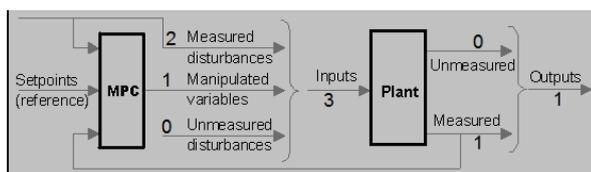


Abbildung 2: Struktur der mit der Matlab-MPC-Toolbox erstellten Regelung

Die Abbildung 4 zeigt einen Vergleich der MPC-Regelung mit einer PI-Regelung. Die MPC-Regelung versteht sich mit Model/Plant-Mismatch, das heisst das Modell stimmt nicht genau mit der Regelstrecke überein. Gut ersichtlich ist das vorausschauende Verhalten des MPC beim Sollwertsprung.

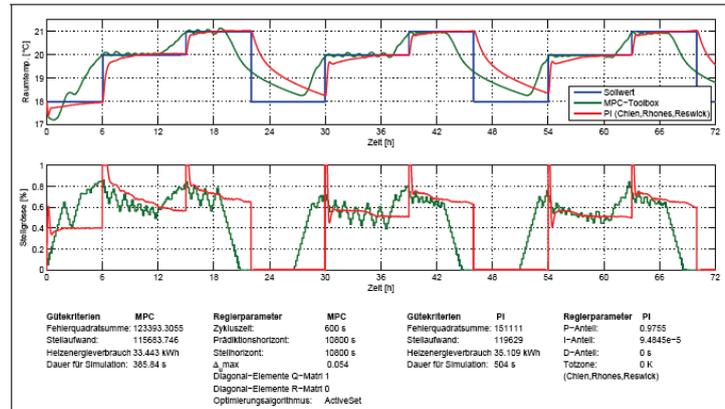


Abbildung 4: Vergleich MPC-Regler Toolbox mit PI-Regler (Sollwertprofil)

MPC selbstprogrammiert

In Zusammenarbeit mit dem Auftraggeber wurde zusätzlich ein eigener MPC-Regler in Matlab/ Simulink entwickelt.

Es wurden die zwei Verfahren Single-Shooting und Multiple-Shooting zur Lösung des MPC-Problems umgesetzt. In den Resultaten unterscheiden sich die beiden Verfahren nur geringfügig. Deshalb wurde im Verlauf der Arbeit hauptsächlich mit dem Single-Shooting-Verfahren gearbeitet.

In der folgenden Tabelle werden die Gütekriterien für die Regelung mit dem Single-Shooting-Verfahren mit der PI-Regelung verglichen. Bezüglich Regelgüte, die anhand der Fehlerquadratsumme beurteilt werden kann, schneidet die MPC-Regelung einzig beim Übergangsprofil deutlich schlechter ab. Dies lässt sich mit der bleibenden Regelabweichung begründen, die der Regler wegen Model/Plant-Mismatch aufweist. Es gibt Möglichkeiten, wie die bleibende Regelabweichung minimiert werden kann. Bezüglich Stellaufwand und Heizenergieverbrauch ist die MPC-Regelung vergleichbar mit der PI-Regelung.

	Fehlerquadratsumme [%]		Stellaufwand [%]		Heizenergie [%]		Rechenzeit [%]	
	PI	MPC	PI	MPC	PI	MPC	PI	MPC
Sollwertprofil	100	61.62	100	97.20	100	94.36	100	107.14
Winterprofil	100	34.86	100	100.50	100	100.76	100	106.67
Übergangsprofil	100	895.92	100	104.28	100	111.60	100	73.68

Fazit und Ausblick

Mit der gewählten Regelstrecke kamen die Vorzüge einer MPC-Regelung wenig zur Geltung. Eine PI-Regelung scheint mit dieser Art von Regelstrecke gut zurechtzukommen. Es fragt sich, ob dies an den vorgenommenen Vereinfachungen liegt. So wurden z.B. interne Lasten nicht berücksichtigt. Interessant zu untersuchen wäre sicherlich auch, wie sich die Regelung bei solaren Wärmege winnen verhält. Diese werden relativ schnell in einer Erhöhung der Raumtemperatur wirksam und falls es gelingt, solche schnellen Änderungen vorauszusagen, könnte dies einen Vorteil für die MPC-Regelung darstellen. Grundsätzlich müsste überlegt werden, ob andere Regelstrecken für eine MPC-Regelung nicht besser geeignet wären. In der Gebäudeautomation gibt es folgende Bereiche, in denen eine MPC-Regelung Vorteile bringen könnte.

1. Modellbasierte prädiktive Regler werden in der Verfahrenstechnik meistens als Mehrgrößenregler eingesetzt. Dies scheint dort Vorteile zu bringen, denn sonst wäre der betriebene Aufwand für solch komplexe Regelungen wohl kaum zu rechtfertigen. Auf die Gebäudetechnik übertragen könnte dies bedeuten, dass eine Mehrgrößenregelung, in der z.B. das Klima mit Temperatur, Feuchte und Licht geregelt wird, Vorteile bringen könnte. Als Klimaregler könnte z.B. eine hx-Bereichsregelung realisiert werden, in der unter minimalem Energieaufwand ein bestimmter Bereich im hx-Diagramm geregelt wird.

2. Das Speichermanagement von Kalt- oder Warmwasserspeichern könnte auch ein interessanter Bereich für eine MPC-Regelung sein. Anhand von Wettervorhersagen könnte ein MPC-Regler den optimalen Energie-Einsatz gewährleisten, indem er beurteilen kann, ob es nun nötig ist, den Speicher zu laden oder ob es reicht, wenn der Speicher später mit solarthermischer Energie geladen werden kann.

3. Die modellbasierte prädiktive Regelung kann im Gegensatz zur klassischen PID-Regelung gut mit Totzeiten in der Regelstrecke umgehen. Daher wäre es nahe liegend zu untersuchen, ob bei Regelstrecken mit Totzeiten mit einer MPC-Regelung Vorteile erzielt werden können. Als typische Strecke mit Totzeit in der Gebäudetechnik könnte z.B. eine Fernheizung, welche lange Transportverzögerungen aufweisen kann, genannt werden.

Literaturverzeichnis

- [1] Markus Ruesch, BSc Systemtechnik; Arbeit BT Nr. 4298-S
- [2] P. Wehrli: Systematische Gebäudeplanung mit Hilfe mathematischer Modelle des Wärmehaushaltes, Landis & Gyr-Mitteilungen 26 (1979)

Performancestudie von Hochvakuum-Anlagen

Für das Design und die Simulation der Performance von Vakuumanlagen existieren spezialisierte Software-Tools sowohl kommerzieller Anbieter wie auch von universitären Forschungsstellen. Anhand zweier praktischer Beispiele wurden in einer Thesis an der FHNW der Nutzen sowie die Grenzen solcher Tools aufgezeigt; zudem wurde die Zweckmässigkeit bei der Umsetzung von Vakuum-Simulationen mittels einem allgemeinen Simulationsprogramm wie SIMULINK geprüft. Dabei hat die vorliegende Studie (Bachelor Thesis 4325-S im 2012) einmal mehr die Nützlichkeit eines Studienganges mit einem interdisziplinären Curriculum wie jenem des SG Systemtechnik zur Behandlung solcher naturwissenschaftlich-technisch anspruchsvollen Problemstellungen aufgezeigt.

Prof. Jörg Sekler; André Schwarb, BSc Systemtechnik | joerg.sekler@fhnw.ch

Simulation vakuumtechnischer Anlagen

Die Auslegung und Optimierung grösserer Vakuuminstallationen erfordert ein beträchtliches Know-How. Vielen Benutzern solcher Anlagen fehlt (öfters als Doktoranden) die notwendige Erfahrung für die korrekte Auswahl der funktionell bestgeeigneten Komponenten sowie den heiklen Zusammenbau der meist komplizierten und teuren Versuchsaufbauten [1]. Sie sind daher oft alleinig auf die technischen Angaben in Katalogen und Datenblättern sowie die Erfahrung und Beratungsqualität von Komponentenanbietern angewiesen.

Spezialisierte Vakuum-Simulationstools könnten für kostengünstige, rasche Vorabklärungen beim Konzeptdesign eine komplementäre und nützliche Hilfestellung bieten. Diese Tools sind leider oft gar nicht bekannt. Die Auswahlkriterien für das optimale Werkzeug hängen zudem stark von der Aufgabenstellung ab. Einfachere Probleme sind relativ gut mittels kommerziellen Programmen simulierbar, mit einer nur kurzen Einarbeitungszeit wie vorliegende Studie mittels VACTRAN [2] zeigte. Leider musste die geplante Erprobung eines weiteren professionellen Programms VACSIM infolge fehlender Anpassung an heutige Betriebssysteme abgebrochen werden. Dessen Vertrieb wurde mittlerweile vom Hersteller eingestellt. Die wenigen gefundenen Shareware-Programme und Hilfslösungen aus universitären Kreisen konnten aus Zeitgründen nicht mitevaluiert werden. Allerdings bleibt der Vorbehalt bestehen, dass diese Simulationstools für solche Zwecke meist zu einfach oder aber zu wenig gut dokumentiert und gewartet sind und daher die Einarbeitungszeit für anspruchsvolle Vorhaben beträchtlich sein kann, sich also deren Einsatz – ausser für profunde Vakuumkenner – vom Aufwand her kaum lohnt.

Aufgabenstellung und Vorgehen

In der Abteilung für Weltraumphysik (WP) der Universität Bern sowie im Labor für Teilchenphysik (LTP-PIF) des Paul-Scherrer Institutes in Würenlingen/Villigen befinden sich u.a. zwei unterschiedliche, neue Vakuumsysteme (Abb. 1) im Aufbau, welche zur Kalibration von Messgeräten für Weltraummissionen vorgesehen sind. Beide untersuchten Anlagen

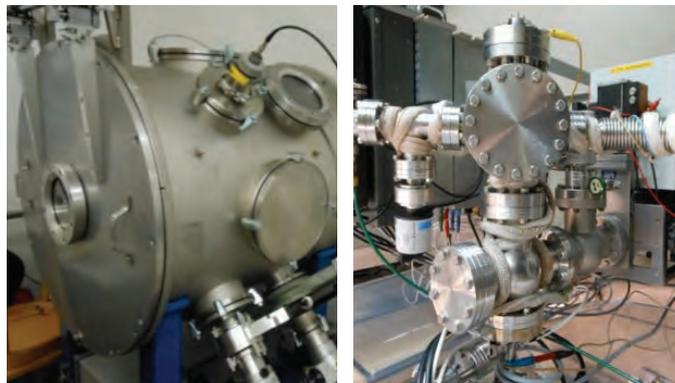


Abbildung 1: Vakuumkammer am PSI (RADEM-Testkammer, links) und an der UNI-Bern (Ionenquelle, rechts)

unterscheiden sich sowohl in der Bauart als auch in den Anforderungen fundamental:

- in der 350 Liter Vakuumkammer am PSI soll mittels schwachradioaktiver Isotope die Funktionstüchtigkeit von SREM (Space Radiation Environment Monitoring) -Detektoren durch deren Beschuss mit energiereichen Protonen (1-10 MeV) überprüft werden können; diese Prüfkammer ist insbesondere auch zur Konzeption und Qualifizierung des RADEM-Instrumentes auf der zukünftigen Jupitermission LAPLACE vorgesehen.

Wogegen ..

- ein neuer Testaufbau an der UNI-Bern, mit zwei durch einen Leitwiderstand verbundenen kleinen Rezipienten von je ca. 2 Liter, eine neuartige Quelle für die Erzeugung und Leitung niederenergetischer Ionen (<20 eV) zur Charakterisierung

der ROSINA-Instrumente auf der aktuellen Rosetta-Kometenmission zur Verfügung stellen soll.

So steht bei der Anlage am PSI die benötigte Abpumpzeit für das Erreichen eines Kammerdruckes von bescheidenen 10^{-1} mbar (ohne Restgas-Monitoring) im Vordergrund. Beim untersuchten Testaufbau an der Universität Bern ist hingegen das Erreichen eines sauberen Hochvakuums von $<10^{-6}$ mbar im Quellvolumen und $>10^{-3}$ mbar im Gasvolumen das entscheidende Kriterium, wobei die Abpumpzeit (auch aufgrund der geringen Volumina der beiden verbundenen Kammern) eher unkritisch ist. Zum Vergleich der Leistung und Bedienbarkeit von Simulations-Tools konnten mit Hilfe der beiden praxis-bezogenen Aufbauten sowohl die notwendigen Modellinputs erzeugt wie danach auch die Mess- und Simulationsdaten verglichen werden. Aufgrund der erzielten Ergebnisse konnten für beide Anlagen geeignete Massnahmen zur Konzeptverbesserung erarbeitet werden, um Kosten bei der weiteren Designauslegung einzusparen wie zukünftig auch die Betriebs-Performance zu steigern.

Basierend auf den realen Anlagenparametern wurden die beiden Vakuum-Systeme vorerst mithilfe der Software-Tools VACSIM-MULTI wie auch VACTRAN (Abb. 2) modelliert; allerdings musste leider die Benutzung des ersteren Tools infolge technischer Probleme frühzeitig abgebrochen werden. Die damit generierten Simulationsdaten konnten mit den Messdaten verglichen und bewertet werden. Aufgrund der speziellen Bauweise mit zwei durch einen Leitwiderstand verbundenen Volumina konnte die Anlage der Universität Bern nur eingeschränkt mit VACTRAN simuliert werden. Als Alternative wurde deshalb mit Hilfe des (bereits aus dem Unterricht bekannten) SIMULINK-Programms ein eigenes Modell entwickelt (Abb. 3), welches auch für andere Vakuum-Systeme flexibel eingesetzt werden könnte. Dessen Modell basiert auf der allgemeinen Gasgleichung und berechnet den Kammerdruck von Vakuumsystemen aufgrund der Bilanz von „pV-Durchflüssen« (engl. throughput). Dieses ist zurzeit allerdings noch mit einer Einschränkung behaftet, da Leitwerte nur für molekulare Strömungen berücksichtigt werden.

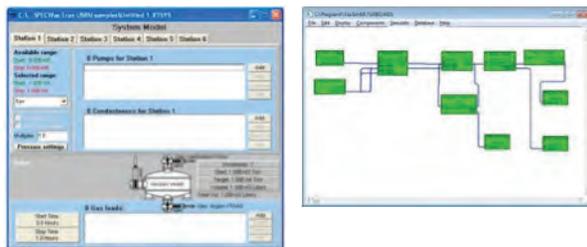


Abbildung 2: Simulationsmodell mit VACTRAN für ein Vakuum-Volumen

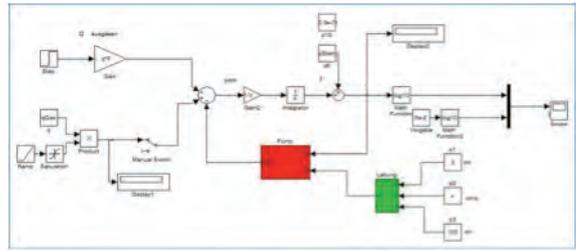


Abbildung 3: Vereinfachtes SIMULINK-Modell für dasselbe Vakuum-Volumen

Ergebnisse der vakuumtechnischen Simulationen

Folgende Resultate konnten mit den beiden Auftraggebern anlässlich der Bachelor Thesis-Präsentation/Schlussverteidigung besprochen werden [3]:

- Anlage am PSI: Wie erwartet ist die Verwendung der bisherigen Vor- und Turbomolekularpumpen für ein relativ grosses Kammervolumen inadäquat. Der Beizug einer zweiten gleich grossen Pumpeneinheit (gemäss Foto in Abb. 1 links) löst nur bedingt die gefundenen Konzeptschwächen. Wie die Auswertung zeigt (Abb. 4), könnten die Evakuationszeit wie auch lokale Druckinstabilitäten infolge Ausgasens eingebauter Komponenten durch Ersetzen der vorhandenen Drehschieberpumpe

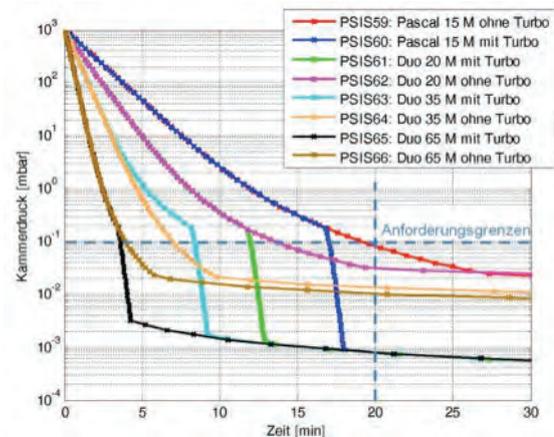


Abbildung 4: Simulationsergebnisse für die FV-Anlage am PSI

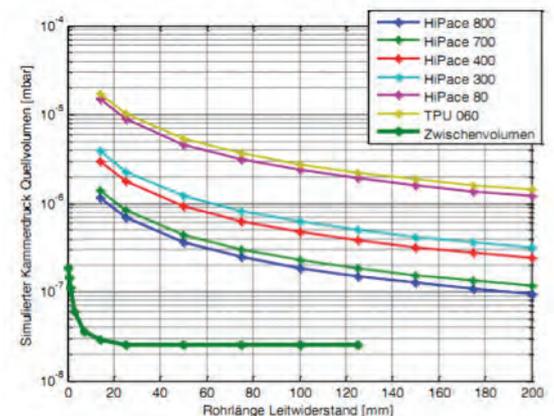


Abbildung 5: Simulationsergebnisse für die UHV-Anlage der Universität Bern

massgeblich beeinflusst werden. Ein notwendiger Austausch der kostspieligeren Turbopumpe(n) wäre dann hinfällig, abhängig von der Wahl einer leistungsstärkeren Vorpumpe (z.B. durch eine ölfreie, doppelstufige Membranpumpe) könnte wegen der niedrigen Anforderungen an den Enddruck eventuell auch gänzlich auf diese verzichtet werden;

- Anlage der UNI-Bern: Dank dem unvorhergesehenen Workaround mittels SIMULINK konnte auch für die wesentlich aufwändigere Simulation zweier gekoppelter Vakuumkammern (Abb. 1 rechts), was bei VACTRAN leider nicht vorgesehen ist, ein überraschendes Fazit gefunden werden. Ein Erreichen der Spezifikationen durch Optimierung des bestehenden Aufbaus konnte durch die Simulation nicht zweifelsfrei belegt werden; jedoch konnte eindeutig aufgezeigt werden, dass eine Erweiterung der Anlage mit einem „Zwischenvolumen“ die offensichtlich erfolversprechendere Variante darstellt (Abb. 5). Erst durch den Einbau einer zusätzlichen Druckausgleichkammer können also die unterschiedlichen Drücke (10^{-3} mbar bzw. 10^{-6} mbar) erreicht werden.

Eine Publikation der ausführlicheren Analyse und Begründung der Ergebnisse soll demnächst in einer vakuumtechnischen Fachzeitschrift zusammen mit den Auftraggebern veröffentlicht werden.

Schlussfolgerungen

Die vorliegende Studie wurde in einer auf nur ein Semester verkürzten Bachelor Thesis erarbeitet. Dass bei Benutzung eines gut dokumentierten und gewarteten kommerziellen Tools nutzbringende Ergebnisse bereits nach kurzer Einarbeitungszeit erzielbar sind, konnte (trotz Erschwernissen durch eine partielle Berufstätigkeit des Diplomanden) bewiesen werden. Es konnte aufgezeigt werden, dass

– zumindest bei nicht allzu komplexen Aufgaben mit mehreren Volumina wie jener Aufgabenstellung der UNI-Bern – eine vorgängige Variantenstudie mittels spezialisierten Vakuumsimulationstools zweckmässig ist, kommerzielle Tools aber leider auch gewisse Schwächen haben. Ebenso wurde gezeigt, dass für speziellere Probleme valable Alternativen sogar mit allgemeinen, nicht auf die Vakuumphysik spezialisierten Simulationsprogrammen, wie z.B. SIMULINK, bestehen. Das Marktpotential zur Verbesserung (und/oder Ergänzung mit einer speziellen Toolbox) eines bereits erhältlichen Simulationstools scheint zumindest vorzuliegen.

Eine Weiterführung der Arbeiten in einer weiteren Bachelor- oder Master-Thesis ist vorgesehen, sofern denn erneut ein auch naturwissenschaftlich-mathematisch talentierter Studierender begeistert werden kann. Aufgrund der interessanten Fragestellung und der erzielten Ergebnisse konnten diese vom Betreuer vorliegender Bachelor Thesis nämlich auch kurz im Vorstand der Schweiz. Vakuumgesellschaft (www.swissvacuum.org) vorgestellt werden. Dieser hat sich anlässlich der GV2012 das grosse Interesse am Thema von einer Mehrheit der Mitglieder bestätigen lassen und wird zukünftig nun einen Spezialpreis für solch exzellente Diplomarbeiten mit vakuumtechnischen Themen an (Fach-)Hochschulen ausschreiben.

Literaturverzeichnis

- [1] Holkeboer D. et al: Vacuum Technology and Space Simulation; American Institute of Physics (AVS Classics in Vacuum Science & Technology), 1997
- [2] User Guide for VACSIM MULTI: "High & Ultra-high Vacuum System Design and Simulation"; Technology Sources Ltd., 2011
- [3] A. Schwarb: „Performance-Verbesserung von Hochvakuum-Anlagen mittels Vakuum-Simulationstools“; Bericht & Poster zu Bachelor-Thesis DA 4325-S, 2012

System Control Lab für die Integration und Automatisierung erneuerbarer Energien im Gebäudebereich

Im Rahmen einer strategischen Initiative FHNW wurde in Zusammenarbeit mit dem Institut für Energie am Bau in Muttenz ein Prüfstand zum dynamischen Testen von Wärmepumpen, neuartigen Solarkollektoren, Speichersystemen und Gebäudeautomationskomponenten erstellt.

Prof. Dr. David Zogg, david.zogg@fhnw.ch (Institut für Automation, Windisch)

Prof. Dr. Thomas Afjei, thomas.afjei@fhnw.ch (Institut Energie am Bau, Muttenz)

Ausgangslage

Mithilfe des System Control Labs (SCL) kann das dynamische Zusammenwirken von verschiedenen Komponenten wie Wärmepumpen mit neuartigen Wärmequellen, Solarthermie oder Speichersystemen im kontrollierten Umfeld untersucht werden. Man hat so den Vorteil, verschiedene Systemkombinationen und Einstellungen unter exakt den gleichen Bedingungen miteinander vergleichen zu können. In einem realen Gebäude ist diese Reproduzierbarkeit aufgrund veränderlichem Benutzerverhalten und von Jahr zu Jahr variierender Umgebungsbedingungen nicht gegeben.

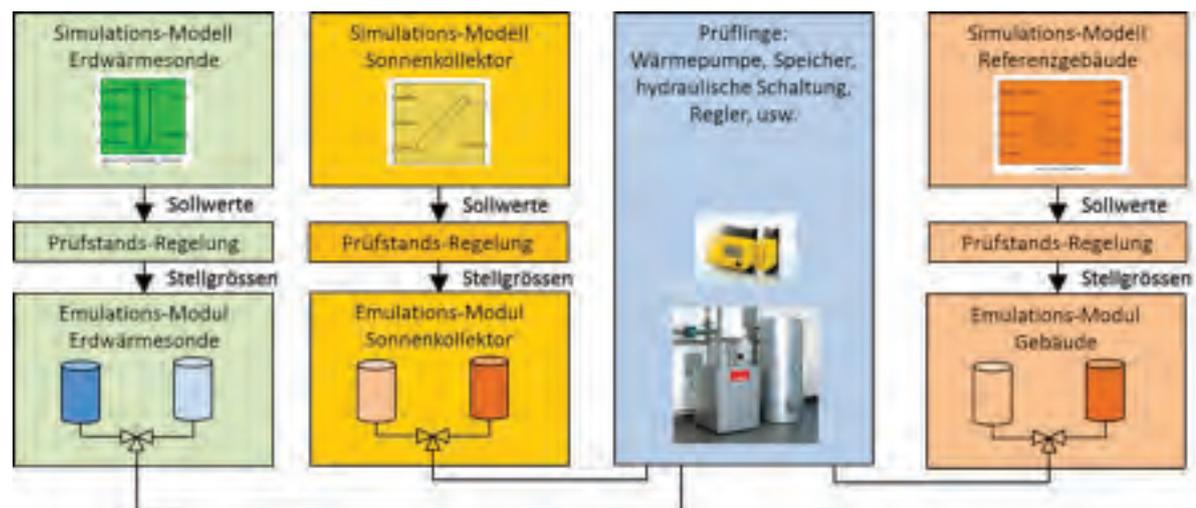


Abbildung 1: Schema des dynamischen Prüfstandes. Hinter jeder virtuellen Komponente steht ein Simulationsmodell mit zugehörigem Emulationsmodul. Die Prüflinge können gemäss Wunsch des Herstellers eingebaut werden (hier Beispiele)

Virtuelle Komponenten und Emulation

Im SCL wird die Reproduzierbarkeit durch virtuelle, simulierbare Komponenten ermöglicht. Dazu gehören Energiequellen sowie Lasten. Das Verhalten von Erdwärmesonden, Solarkollektoren und Häusern mit verschiedenen Wärmeverteilungssystemen wird durch validierte Referenz-Modelle simuliert. Anhand dieser Modelle können die real vorhandenen Prüflinge wie Wärmepumpen, Speichersysteme, verschiedene hydraulische Schaltungen sowie Regelstrategien systematisch untersucht werden. Der Vorteil dieses Verfahrens liegt in der grossen Flexibilität. So besteht zum Beispiel die Möglichkeit, Jahresverläufe mit Wetterdaten stark beschleunigt ablaufen zu lassen oder verschiedene Typen bzw. Dimensionierungen von Solarkollektoren auf einfache Weise zu testen. Es können z.B. neuartige Systeme wie

Hybridkollektoren oder Kombinationen von Solarkollektoren mit regenerativen Erdwärmesonden untersucht werden.

Hinter jeder virtuellen Komponente steht ein Emulationsmodul, das im Wesentlichen aus zwei Speichertanks auf unterschiedlichen Temperaturniveaus besteht (Abbildung 1). Mit relativ kleinen Tankvolumina und einem schnellen Mischventil dazwischen können beliebige Zeitkonstanten gefahren werden. Im Gegensatz zu konventionellen Prüfständen mit grossen Tanks werden hier die Temperaturniveaus der kleinen Tanks dynamisch gefahren, womit das zeitliche Verhalten realitätsgetreu abgebildet werden kann. Die Prüflinge können hersteller-spezifisch gewählt und verschaltet werden.

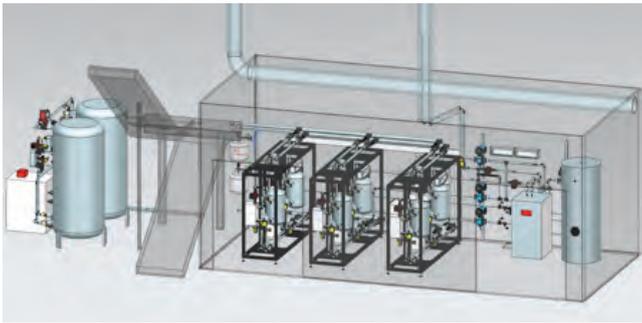


Abbildung 2: Gesamt-Ansicht im CAD. In der Bildmitte sind die Emulationsmodule angeordnet, rechts die Prüflinge, links das Medienaufbereitungs-System mit externer Wärmepumpe

Die Emulations-Software sowie regeltechnische Umsetzung am Prüfstand wurde im Rahmen einer Bachelor-Arbeit ausgeführt. Zur Implementierung wurde die Simulationsumgebung MATLAB/Simulink[®] zusammen mit dem Echtzeitsystem xPC Target und der CARNOT-Toolbox[®] für thermodynamische Gebäudesimulationen verwendet. Die Kommunikation mit der Anlage erfolgt über einen CAN-Bus.

Interessante Plattform für Industrie, Forschung und Lehre

Durch die hohe Flexibilität des modularen Aufbaus entsteht für die Industrie eine interessante Plattform, um neue Komponenten und Konfigurationen unter realen, reproduzierbaren Bedingungen zu testen. Die FHNW führt im SCL bereits Forschungsprojekte zusammen mit Industriepartnern durch, gefördert durch die Kommission für Technologie und Innovation (KTI) und das Bundesamt für Energie (BFE). Damit werden aktuelle Probleme der Energieeffizienz in Gebäuden angegangen, welche in Ergebnisse und Produkte für den Markt einfließen. Daneben stellt das SCL auch eine ideale Plattform für Studierende der FHNW dar, um Lerninhalte praxisnah zu erleben.



Abbildung 3: Aufbau im Labor

Leistungsbereich	bis 16 kW thermisch
Fördermengen	bis 6000 Liter/h
Temperaturbereiche:	
Erdwärmesonde	-10 ... 10 °C
Solar-Kollektor	30 ... 95 °C
Heizsystem	35 ... 55 °C
Warmwasser	20 ... 65 °C (höhere Temperaturen in Vorbereitung)
Echtzeit-Simulation	MATLAB / Simulink / xPC Target
Visualisierung und Steuerung	LabVIEW
Bus-Systeme	Prüfstand: CAN Einbindung Komponenten: BACnet, LON, weitere (in Vorbereitung)
Messgrößen	Temperaturen, Drücke, Durchflüsse, Leistungen (ca. 150 Signale) kalibriert und protokolliert, erweiterbar
Emulationsmodule	Aktuell 3 Module (erweiterbar): Erdwärmesonde, Sonnenkollektor, Gebäude
Hersteller-Komponenten (Prüflinge)	Beispiele (austauschbar): Wärmepumpen, Sonnenkollektoren, Fotovoltaik, Speicher, integrierte Systeme, beliebige hydraulische Schaltungen, Steuerungen, Komponenten der Gebäudeautomation



MAS Automation Management Gut ausgebildete Leistungsträger für die Automation!

Der Weiterbildungsstudiengang MAS Automation Management wird von einem Netzwerk von Fachhochschulen und der ETH angeboten und von der Fachhochschule Nordwestschweiz geleitet (Durchführung seit 1998).

Unterrichtsort

Campus Brugg/Windisch sowie an den Standorten unserer Partner. Der erfolgreiche Abschluss berechtigt zum Tragen des eidgenössisch anerkannten Titels «Master of Advanced Studies» MAS FHNW in Automation Management.

Dauer

4 Semester

Start des nächsten Studiengangs mit freien Plätzen: Herbst 2013

Infoabende 2013

- Mo, 24. Juni 2013
- Mi, 28. August 2013
- Mo, 4. November 2013 (Basel)

jeweils von 18.15 bis ca. 20.00 Uhr in 5210 Windisch, Klosterzelgstrasse 2

Anmeldung und weitere Auskünfte

T +41 56 462 46 76

weiterbildung.technik@fhnw.ch

www.masam.ch

www.masam.ch

MonoTracer

Im Rahmen eines Studierendenprojektes werden die fahrdynamischen Eigenschaften des energieeffizienten, einspurigen Fahrzeuges „MonoTracer“ der Firma Peraves AG untersucht.

Prof. Dr. David Zogg; Claudio Birrer, Bsc Systemtechnik; Thomas Dreier | david.zogg@fhnw.ch

Ausgangslage

Der MonoTracer ist ein innovatives Einspurfahrzeug („Zweirad“) mit einer geschlossenen Kabine, welches die systeminhärente Effizienz des Zweiradkonzeptes mit dem Komfort und dem Insassenschutz eines Automobils kombiniert. Der MonoTracer E ist die rein Batterie-elektrisch betriebene Variante, welche auf einen sehr tiefen Verbrauch von nur 0.7 Liter Benzin-äquivalent (7 kWh) auf 100 km kommt.



Abbildung 1: E-Tracer bei maximaler Schräglage

Im Rahmen dieses Projektes werden die Einflüsse der Geometrie auf die Fahrdynamik untersucht. Dazu wird ein Mehrkörper-Simulationsmodell im Tool SIMPACK® aufgebaut, in welchem die wesentlichen Elemente des MonoTracers sowie der nicht-lineare Kontakt zur Fahrbahn modelliert werden. Damit soll der Kunde ein Tool haben, mit welchem auch zukünftige Fahrzeugentwicklungen zielgerichtet durchgeführt werden können.

Fahrdynamik von Zweiradfahrzeugen

Bei Zweiradfahrzeugen hat die Kreiselwirkung des gelenkten Vorderrades einen wesentlichen Einfluss auf die Fahrdynamik. Wird ein Kreisel mit gegebenem Drehimpuls rotiert, führt er aufgrund des Kreiselmomentes eine Kippbewegung senkrecht dazu aus. Insbesondere bei hohen Geschwindigkeiten sind folgende Effekte dominant:

- Bei Kurvenfahrt bewirkt ein kleiner Lenkimpuls ein Kippen des Fahrzeuges und damit das Einleiten der Kurve.
- Der Kreisel stabilisiert sich selber. Bei einem Kippen des Fahrzeuges dreht der Lenker in die gleiche Richtung und stabilisiert das Fahrzeug.

Modellierung des Kontaktes zwischen Rad und Fahrbahn

Der Kraftschlussbeiwert μ_{res} zwischen Rad (Pneu) und Fahrbahn ist abhängig vom auftretenden Schlupf am Rad (Abbildung 4 links). Bei trockener Fahrbahn liegt das Maximum μ_{max} höher als bei nasser Fahrbahn oder Schnee/Eis. Veränderungen des Fahrbahnzustandes haben also einen wesentlichen Einfluss auf das Reibungsverhalten. Bei einem Strassenfahrzeug mit Pneu tritt nicht nur ein Schlupf in Bewegungsrichtung auf, sondern auch senkrecht dazu. Die resultierende Reibungskraft F_{res} bewegt sich auf einem Kreis, dem sogenannten Kamm'schen Kreis (Abbildung 4 rechts). Bei tangential und radial unterschiedlichen Reibungseigenschaften verformt sich der Kreis zu einer Ellipse.

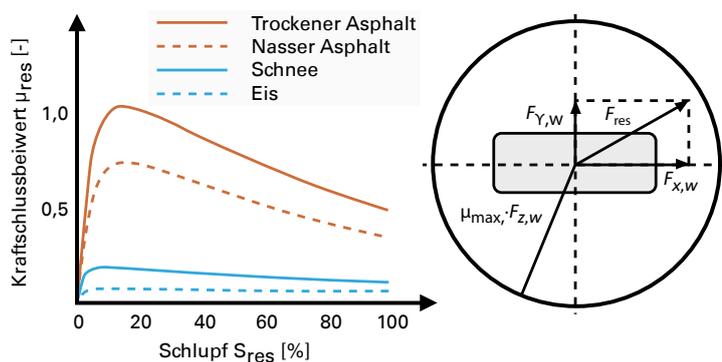


Abbildung 4: Kraftschlussbeiwert μ_{res} in Funktion des Schlupfes bei verschiedenen Fahrbahnverhältnissen (links), Kamm'scher Kreis (rechts)

Quelle: R. Isermann, Fahrdynamikregelung, Vieweg 2006

Aufbau des Modells in SIMPACK®

Simpack bietet die Möglichkeit, auch nichtlineare Mehrkörpersysteme zu modellieren und nutzt verschiedene Ansätze, um den Rad-Boden Kontakt zu simulieren. Durch ein einfaches Grundmodell aus Massenpunkten und Feder-Dämpfer Elementen werden die fundamentalen Eigenschaften des Monotracers simuliert. Dabei bleibt das Modell vollständig parametrisierbar und kann ohne größeren Aufwand der aktuellen Situation angepasst werden. Abbildung 5 zeigt den schematischen Aufbau des Fahrzeugs und die verschiedenen Krafterelemente zwischen den Körpern. Die Freiheitsgrade bezüglich der Bezugssysteme werden jedem Element manuell zugewiesen.

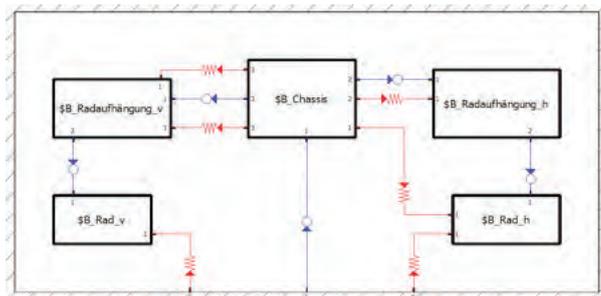


Abbildung 5: Ersatzmodell mit Feder-/Dämpferelementen und Definition der Geometrie

Das Modell aus Simpack wird nun in Simulink eingebunden, um die Fahrt des Monotracer zu regeln. So wird es möglich, mit dem Monotracer einem vorgegebenen Track entlang zu fahren und dabei die Kräfte und die Beschleunigungen am Modell zu analysieren. Mit diesen Daten können kritische Geschwindigkeiten und dynamische Effekte aufgezeigt werden, welche die Optimierung bestehender und die Entwicklung zukünftiger Fahrzeuge unterstützt.

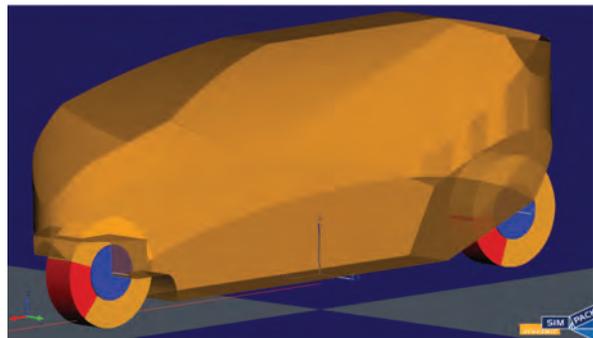


Abbildung 6: Mehrkörper-Simulationsmodell in SIMPACK

Energie- und ressourceneffizienter Strassenbau

Im Zentrum stehen hier dynamische Bodenverdichtungsgeräte, welche die erzeugten Kräfte über eine stark nichtlineare Schnittstelle von der Maschine auf den Boden übertragen müssen. Je höher die erzeugte Dynamik, umso geringer das notwendige Maschinengewicht und umso ressourcen- und energieeffizienter sind die Geräte. Mit steigender Dynamik wächst aber auch die Tendenz nichtlinearer Effekte wie z. B. einer chaotischen Dynamik. Gesteigerte Leistungsfähigkeit erfordert eine aktive Regelung der Baumaschindynamik.

Prof. Dr. Roland Andereggi | roland.andereggi@fhnw.ch

Strassenbau – dynamische Bodenverdichtung

Im Strassen- und Erdbau werden Böden und Asphaltbeläge mit Hilfe tonnenschwerer Verdichtungsgeräte, Strassenwalzen, Walzenzüge oder auch Vibrationsplatten verdichtet.

Im Verdichtungswerkzeug, dem Walzenrad, auch Bandage genannt, oder der Grundplatte einer Vibrationsplatte werden mit Hilfe rotierender Unwuchten Schwingungen erzeugt, welche die statische Verdichtungswirkung der jeweiligen Maschine unterstützen, vgl. Abbildung 1.



Abbildung 1: Beispiele von Verdichtungsmaschinen, links ein Walzenzug, rechts eine Vibrationsplatte, daneben das Zweimassenschwingermodell für einen Walzenzug

Die Wirkung eines Verdichtungsgerätes ist umso grösser, je höher die Summe aus statischem Gewicht und dynamischer Bodenkraft wird. Dementsprechend wird eine Maschine umso kleiner, je höher ihre dynamische Wirkung ist und umgekehrt.

Die Herausforderung besteht darin, die im schwingenden Teil der Maschine erzeugte dynamische Energie stabil in den Boden einzuleiten. Da Maschine und Boden über eine so genannte einseitige Bindung miteinander verknüpft sind, entstehen mit zunehmender Systemdynamik stark nichtlineare und chaotische Schwingungen, welche mit Hilfe der Methoden der Mess- und Regelungstechnik in situ überwacht und geregelt werden müssen.

Grundlagen der Effizienzsteigerung: Modellierung des Schwingungssystems

Das nichtlineare Schwingungssystem eines Verdichtungsgerätes samt Boden kann mit Hilfe dreier Freiheitsgrade x_2 , x_1 und x_s beschrieben werden, wobei beim Kontakt von Maschine und Boden $x_1 = x_s$ wird,

vgl. Abbildung 2. Zwei Massen, jene der erregten Bandage m_d (bzw. Unterwagen bei Vibrationsplatten) und jene Masse des aktiven, also mitschwingenden Chassis m_f (bzw. Oberwagen bei der Vibrationsplatte) sind involviert. Das Chassis stützt sich über eine Steifigkeit k_2 auf der Bandage ab und agiert als nichtlinearer Tilger, bzw. autoparametrisch erregte Masse. Der Boden als Unterlage hat die Steifigkeit k_1 und die Dämpfung d_1 , der Dämpfungsgrad liegt im Schnitt bei rund 30%. Die Bodensteifigkeiten variieren zwischen 20 und 100 MN/m in Abhängigkeit der Verdichtung und des Bodenmaterials. Die Bandage wird durch eine rotierende Unwucht erregt, die starke Nichtlinearität des Freiheitsgrades x_1 kommt durch den unilateralen Kontakt zwischen Maschine und Boden zustande.

Die Betriebszustände werden im Allgemeinen als Funktion der Resonanzfrequenzverhältnisse der einzelnen Freiheitsgrade angegeben.

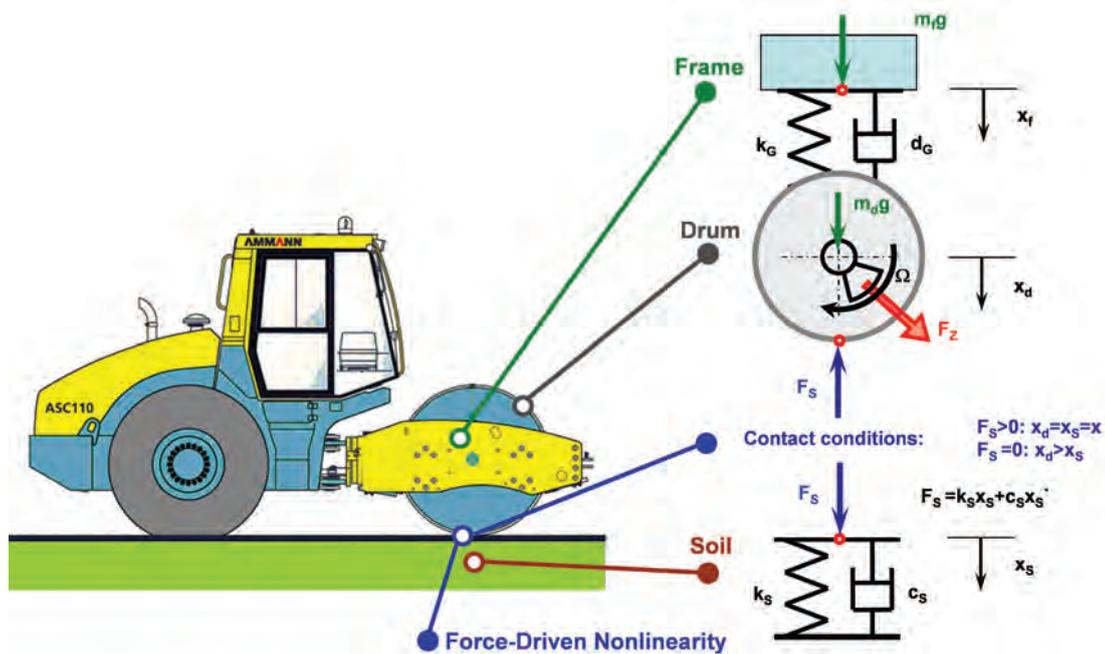


Abbildung 2: Modellierung eines dynamischen Bodenverdichters mit Hilfe diskreter mechanischer Elemente

Für das Chassis (Masse m_f , Freiheitsgrad x_1 , Steifigkeit k_1) und die Bandage (Masse m_d , Freiheitsgrad x_d , Steifigkeit k_d) kann man die nichtlinearen, gekoppelten Resonanzkurven in Funktion der Nichtlinearität der Bandagenschwingung analytisch angeben, vgl. Abb. 3.

Die Nichtlinearität ist definiert als prozentualer Anteil der Zeit $\%t_{\text{loss of contact}}$ ohne Kontakt zwischen Bandage und Boden der Schwingungsperiode $T=1/f$ der Unwuchterregung. Für 0% liegt ein rein lineares System vor, 100% würde einer reinen Flugbewegung ohne Kontakt zur Unterlage entsprechen. Sehr gut zu erkennen ist die unterlineare Charakteristik des Schwingungssystems: je grösser der Grad der Nichtlinearität, umso tiefer die resultierende, zeitlich gemittelte Resonanzfrequenz, vgl. Abbildung 3.

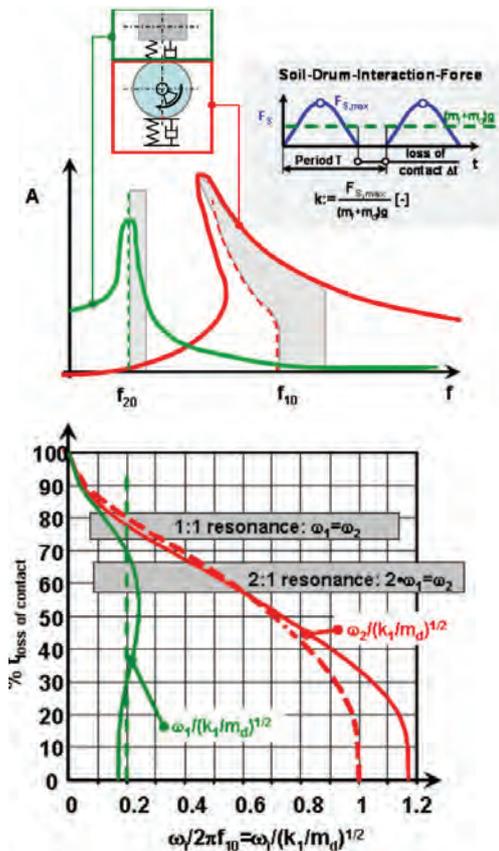


Abbildung 3: Resonanzkurven der beiden Freiheitsgrade des Modells der Abb. 2 und zugehörige Resonanzfrequenzen in Funktion der Nichtlinearität der Dynamik

Um die Funktion der gekoppelten, linearen Zusatzmasse m_r , d. h. die Funktion des „Tilgers“ x_2 zu verstehen und seine stabilisierende Wirkung nutzen zu können, muss das obenstehende, nichtlineare Schwingungssystem auf seine Hauptachsen transformiert und die entstehenden, nichtlinearen Gleichungen analysiert werden. Die Hauptachsentransformation führt auf die lineare Entkopplung der Freiheitsgrade x_1 und x_2 , wobei die entstehenden Hauptachsen miteinander nichtlinear gekoppelt sind. Die nachstehenden Resultate wurden mit Hilfe einer Störungsrechnung gefunden und werden zusammengefasst rekapituliert. Die Abbildung 4 zeigt anhand der Frequenzspektren von Chassis und Bandage die möglichen Schwingungsformen auf.

Die beiden Hauptachsenschwingungen η_1 und η_2 entsprechen in erster Näherung den Freiheitsgraden x_2 und x_1 . Dementsprechend können in erster Näherung die ursprünglichen Freiheitsgrade zur Erklärung der dynamischen Eigenschaften des linear entkoppelten Schwingungssystems weiter verwendet werden. Der Freiheitsgrad x_1 , bzw. η_2 weist die starke Nichtlinearität auf und kann sich chaotisch verhalten. Der Freiheitsgrad x_2 , bzw. η_1 ist schwach nichtlinear, wobei die nichtlineare Kopplung in erster Näherung einer auto-

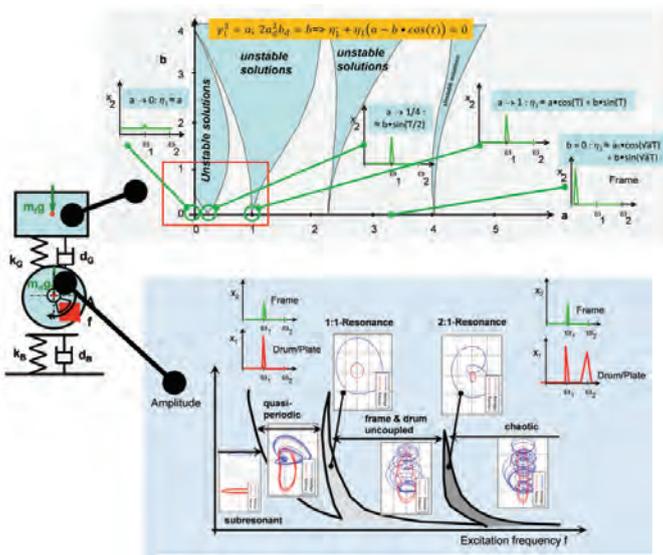


Abbildung 4: Übersicht über die Schwingungszustände der Freiheitsgrade der schwingenden Bandage und des Chassis

parametrischen Erregung durch den Freiheitsgrad x_1 entspricht. Der Grad dieser autoparametrischen Kopplung wird mit dem Faktor b in Funktion des Grades der Nichtlinearität ($\%_{\text{loss of contact}}$) erfasst. Ab einem Anteil von rund 50% der kontaktfreien Phase an der Schwingungsperiode T wird b genügend gross, damit der Freiheitsgrad x_2 , bzw. η_1 als parametererregtes System schwingt. Es ist also eine minimale Nichtlinearität nötig, um eine autoparametrische Resonanz nutzen zu können. Die autoparametrische Schwingung kann nur einige Formen aufweisen: eine 1:1-Resonanz zur anregenden Schwingung, eine 2:1-Resonanz oder aber, dies entspricht dem Verlust jeglicher Synchronisation zwischen den beiden Freiheitsgraden, die freie Schwingung des Chassis. Für den Grenzfall einer im Verhältnis zur Bodensteifigkeit sehr geringen Steifigkeit der Chassisfederung ($k_2 \ll k_1$) verhält sich x_2 , bzw. η_1 als statische Grösse; dies entspricht der Dynamik heutiger Grossmaschinen mit einem sehr geringen dynamischen Energie-transfer zwischen Bandage und Boden!

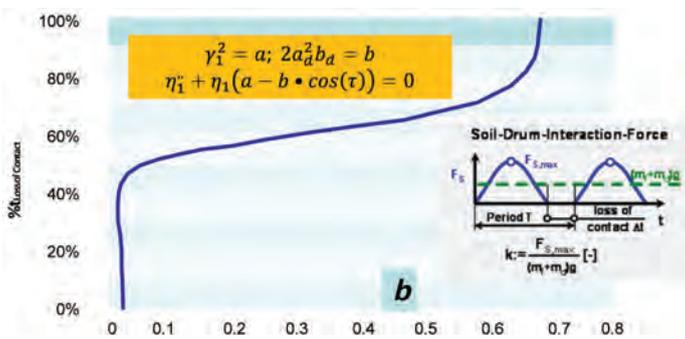


Abbildung 5: Zusammenhang zwischen dem Grad der Nichtlinearität der Maschinendynamik und dem Kopplungskoeffizienten zwischen Bandage und Chassis

Der Oberwagen wird durch die nichtlineare Kopplung mit dem Unterwagen autoparametrisch erregt, der Zusammenhang zwischen der Nichtlinearität des Unterwagens und der Parametererregung b kann gemäss Abbildung 5 angegeben werden.

Der Freiheitsgrad η_1 entspricht dabei dem auf Hauptachsen transformierten Freiheitsgrad des Tilgers x_2 und kann diesem ungefähr gleich gesetzt werden, $x_1 \approx x_2$.

Überblick über die auftretenden, stabilen Synchronisationszustände der beiden, miteinander interagierenden Freiheitsgrade η_1 und η_2 gibt die Abbildung 6.

Man beachte die drei möglichen Schwingungszustände des autoparametrisch erregten Freiheitsgrades x_2 , bzw. η_1 . Die harmonische und die subharmonische Schwingung entsprechen der 1:1-, bzw. 2:1-Resonanz des Gesamtsystems und damit den möglichen Synchronisationszuständen. Zwischen diesen Zuständen schwingen die beiden Freiheitsgrade quasi entkoppelt, das Chassis, bzw. der Tilger schwingt mit seiner natürlichen Resonanzfrequenz. Für sehr kleine Kopplungssteifigkeiten reagiert das Chassis stationär, die Schwingungen verschwinden. Dieser Spezialfall umschreibt die dynamische Auslegung aller heutigen Grossgeräte in der Verdichtungstechnik.

Fazit

Die im Rahmen dieses KTI-Projekts entwickelte Theorie der autoparametrischen Resonanz umfasst alle heutigen Bauformen dynamischer Boden- und Asphaltverdichtungsgeräte, es existiert damit eine „general theory of vibrating compaction machines“. Die Abbildung 6 zeigt die Klassifikation der auftretenden Dynamik.

Simulationsergebnisse: nichtlineare Dynamik und ein Blick ins Chaos

Mit Hilfe des Simulationspaktes Matlab/Simulink wurde das stark nichtlineare Systeme mit seinen zwei Freiheitsgraden für verschiedene Bodenarten (das heisst Steifigkeiten und Dämpfungsgrade) simuliert. Die graphische Darstellung der Simulationsergebnisse zeigt eine typische Eigenschaft chaotischer

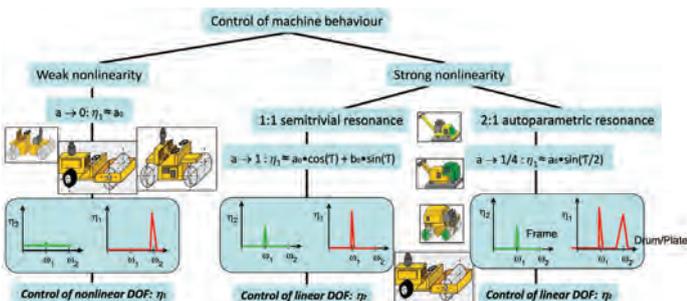


Abbildung 6: Klassifikation der mit Hilfe eines nichtlinearen Schwingungssystems mit zwei Freiheitsgraden zu erzeugenden Formen der Dynamik

dynamischer Systeme auf: es bilden sich übergeordnete Strukturen, es tritt Emergenz auf. „rot“: Schwingung Unterwagenmasse m_d , „grün“: Oberwagen-schwingungen, Masse m_r .

Gekennzeichnet sind die Zonen der 1:1- und der 2:1-Resonanz. In diesen Betriebsbereichen ist der Leistungstransfer optimal und es kann während des Verdichtungsprozesses die Bodensteifigkeit k_B als Mass für die erreichte Verdichtung gemessen werden. Die entsprechenden Zonen finden sich im Frequenzspektrum der Abb. 7.

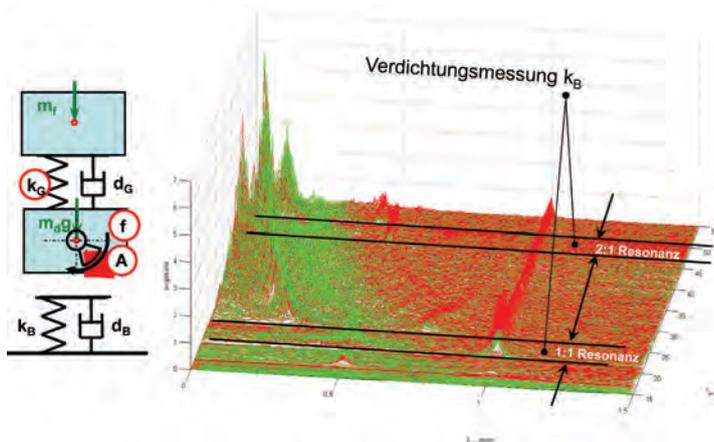


Abbildung 7: Dynamisches Verhalten von Oberwagen, bzw. Chassis und Verdichtungswerkzeug mit Erreger in Funktion der Anregungsfrequenz

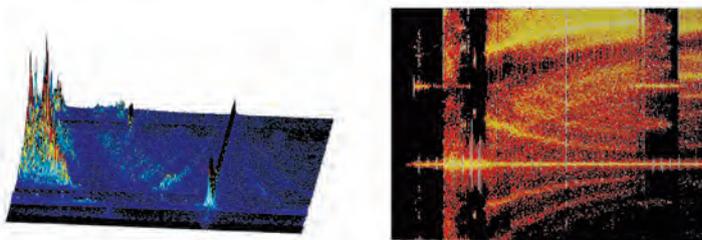


Abbildung 8: Darstellungsformen des Bildes 2. Das chaotische Verhalten des betrachteten Systems führt auf eine übergeordnete Form der Selbstorganisation

Obenstehend sind weitere, alternative Darstellungen des Simulationsergebnisses wiedergegeben. Die Figur auf der rechten Seite der Abbildung 8 zeigt das Frequenzspektrum von Ober- und Unterwagen einer Vibrationsplatte von oben. Die stark nichtlineare und teilweise chaotische Dynamik zeigt emergentes Verhalten: die fast-periodischen und chaotischen Betriebszustände zwischen den beiden Resonanz-, bzw. Synchronisationszonen sehen wie die Bugwellen eines Schiffes in einer Strömung aus. Ein solches Verhalten ist typisch für stark nichtlineare Systeme.

Technische Umsetzung der Grundlagen

Dem Wirtschaftspartner ist es gelungen, eine bestehende Verdichtungsplatte deutlich zu optimieren dank der im Projekt entwickelten Simulation der Dynamik. Das verbesserte Gerät weist eine um 30% höhere Geschwindigkeit auf bei gleichmässiger Verdichtung als das Vorgängermodell. Die für den Bediener lästige Handarmvibration ist zugleich um 20% vermindert (Abb. 9.)

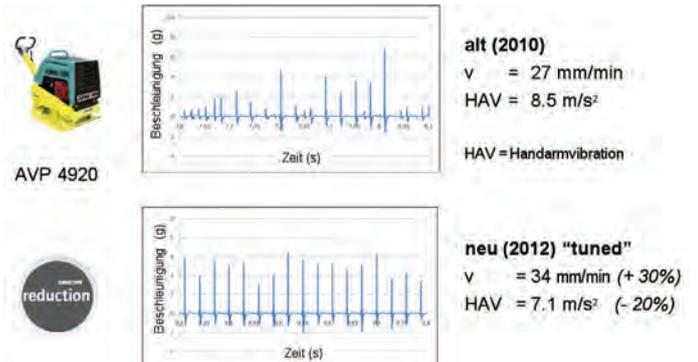


Abbildung 9: Gesteigerte Leistung einer Vibrationsplatte mit Hilfe der im Rahmen des Projektes entwickelten Simulationssoftware

Welche Methode schliesslich sich in der Praxis durchsetzen wird, bleibt derzeit offen. In jedem Fall haben aber die theoretischen Betrachtungen und die praktischen Messungen gezeigt, dass Baumaschinen ein hohes Optimierungspotential besitzen!

Hochdruckwasserstrahlschneiden

Dieser Artikel, welcher einen Einblick in das gleichnamige KTI Projekt gibt, beschreibt die Modellierung eines Hochdruckwasserstrahlschneidaggregates. Das Ziel besteht darin, durch geeignete Modellierung das Verhalten der bisherigen Technologie zu modellieren, um in einem weiteren Schritt mit einer neuen Technologie die Energieeffizienz des Gerätes zu steigern.

Lukas Kurmann, MSc EE; Stefan Niederberger, BSc Systemtechnik | lukas.kurmann@fhnw.ch

Wasserstrahlschneidaggregate werden heute in vielen Industriezweigen eingesetzt. Die heutigen Wasserstrahlschneidaggregate werden hydraulisch gesteuert, über eine Druckübersetzerpumpe, welche einen Ausgangsdruck erzeugt zwischen 3'000 - 4'000 bar. Dieser Hochdruckwasserstrahl wird in einer feinen Rubin-, Saphir- oder Diamantdüse gebündelt. Mit diesem hochenergetischen Wasserstrahl lassen sich beinahe alle Materialien schneiden. Solche Wasserstrahlschneidaggregate werden oft zur Herstellung zweidimensionaler Schnittkonturen in verschiedensten Materialien (und in sehr unterschiedlichen Branchen) eingesetzt, von der Lebensmittelindustrie bis in den Maschinenbau.

Dieses Projekt wird unter der Leitung unseres Industriepartners Zaugg Maschinenbau AG mit Jet Cut Power GmbH und Saphirwerk AG bearbeitet. Mit Hilfe klassischer Bondgrafen und numerischen Werkzeugen wurde ein Modell des bestehenden Wasserstrahlhochdruckaggregats abgebildet, um so grundlegende Eigenschaften des Systems zu analysieren. In einem weiteren Schritt wird das bestehende System validiert, um die Gültigkeit des generierten theoretischen Modells zu prüfen – und allenfalls anzupassen.



Abbildung 1: Hochdruckwasserstrahlschneidaggregat im Prüfstand bei Jet Cut GmbH mit Sensorik zur Modellvalidation

Im Laufe des weiteren Projektes sollen die Erkenntnisse dazu verwendet werden, um einen Elektromotor-Direktantrieb einsetzen zu können. Das erklärte Ziel dabei ist, ein möglichst energieeffizientes Wasserstrahlschneidaggregat zu entwickeln.

Im Rahmen dieses Industrieprojektes, das von der KTI unterstützt wird, hat das Institut für Automation die Forschungsaufgabe, einen Elektro-Direktantrieb eines solchen Wasserstrahlschneidaggregates zu konzipieren und zu validieren. Dabei wurde in einer ersten Phase ein theoretisches Modell der Verhaltensweise von solchen Wasserstrahlschneidaggregaten entwickelt, um nun in einer zweiten Phase mit dem gefundenen Modell das neue Elektroantriebskonzept umzusetzen. Dieses Projekt, welches Mitte 2012 gestartet wurde, ist auf 2 Jahre ausgelegt. In diesem Bericht werden einige gewonnene (und zur Veröffentlichung freigegebene) Erkenntnisse wiedergegeben.

Ausgangslage und Zielsetzungen

Der neue Elektroantrieb soll auf dem bestehenden hydraulischen Konzept der Druckübersetzung mit zwei phasenverschoben betriebenen Kolbenstangen aufbauen. Der Aufbau der Druckübersetzer wird vorerst als gegeben betrachtet und die Eigenschaften der bestehenden Technologie sollen beibehalten werden. Der erzeugte Wasserstrahl hat bezüglich Druck (bis 4000 bar) und Volumenstrom (bis 5 l/min) denselben Verlauf vorzuweisen. Dies bedeutet, dass der Druckabfall und die Druckspitzen beim neuen Aggregat nicht grösser ausfallen sollten.

Systembeschreibung des bestehenden Systems

Bei der bestehenden Anlage werden zwei Druckübersetzer durch ein Mitteldruck-Hydrauliksystem betrieben. Im Mitteldruckteil fördert eine Axialkolbenpumpe einen konstanten Volumenstrom. Ein 4/3-Wegeventil steuert die beiden Druckübersetzer. Die Druckübersetzer bilden das Herzstück der Anlage. Ein Endschalter, je Druckübersetzer, meldet der Steuerung, wann ein Zylinder ausgefahren ist. Dies steuert entsprechend das Wegeventil. Ein Vorteil des

bestehenden Systems ist, dass der Regelaufwand minimal gehalten wird. Der eigentliche Zustand der Anlage ist durch die Bauweise bestimmt.

Die schematische Darstellung des Mitteldruckteils zeigt die Ansteuerung der beiden Druckübersetzer. Druckschwankungen auf der Hochdruckseite werden über diese auf die Mitteldruckseite übertragen. In erster Näherung kann der Druckübersetzer als ein Proportionalverstärker betrachtet werden.

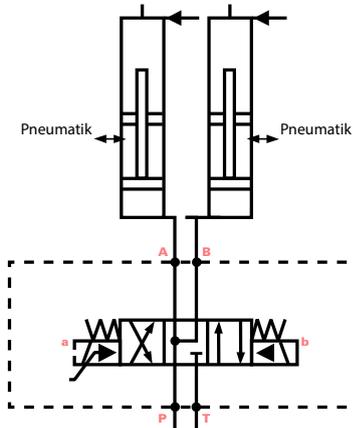


Abbildung 2: Ausschnitt aus dem Mitteldrucksystem mit den beiden Druckübersetzern und deren Steuerung über das 4/3-Wegeventil

maximal zulässigen Druckes wird Luft über ein Druckreduzierventil abgeblasen. Der Druck wirkt beim Ausfahren des Zylinders entgegen der Bewegungsrichtung und beim Einfahren mit der Bewegungsrichtung. Dies gewährleistet, dass der Kolben bis zum nächsten Zyklus mit Sicherheit wieder in der Anfangsposition ist.

Modell der bestehenden Anlage

Das Hochdruckaggregat ist als hydromechanische Einheit zu betrachten. Für deren Berechnung werden Grundlagen der Hydrodynamik aus dem Gebiet der Fluidmechanik eingesetzt. Dabei bildet die vereinfachte Bernoulli-Gleichung, bei konstanter Betriebstemperatur und vernachlässigter Hydrostatik, ein wichtiger Ansatz. Durch die Bilanzierung der Volumenströme und der Kräfte werden die benötigten Differentialgleichungen aufgestellt, um das dynamische Verhalten der Druckerzeugung nachzubilden. Diese Art der Modellierung führt zu einem physikalischen Modell.

Im Gegensatz zur Strömungslehre wird nicht das Verhalten der Fluide im Detail untersucht, sondern anhand der Zustandsgrößen die Gesamtdynamik simuliert. Für die Modellierung wurden zunächst die zur Hochdruckerzeugung relevanten Bauteile des bestehenden Aggregats identifiziert. Diese Bauteile werden als Variation von Verbindungsknoten, durch die Volumenströme fließen, und Volumenkörpern, welche unter Druck stehen (Zustand), betrachtet. So ist ein 4/3-Wegeventil als ein Widerstandsnetzwerk modelliert, welches die unterschiedlichen Knoten verbindet - oder ein Druckübersetzer ist aus mehreren, mechanisch gekoppelten, Volumenkörpern aufgebaut.

Die Knoten verbinden die Körper untereinander. Somit ist der vom ersten Körper abfließende Volumenstrom gleich dem vom zweiten Körper zu-

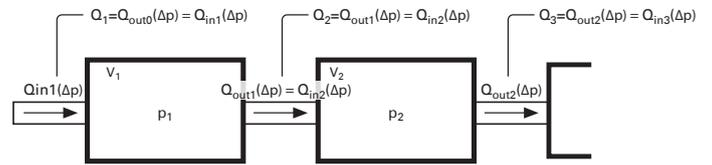


Abbildung 3: Modellvorstellung für die Modellierung des dynamischen Verhaltens hydromechanischer Einheiten

fließenden Volumenstrom. Die Differenz zwischen zu- und abfließendem Volumenstrom eines Körpers resultiert, über die Kompressibilität des Fluides, in einem Druck. Weiter entsteht ein gerichteter Volumenstrom zwischen den Potentialunterschieden der durch Knoten verbundenen Volumenkörper.

$$p_1 = \frac{1}{C_1} \int (Q_1 - Q_2) dt; \quad p_2 = \frac{1}{C_2} \int (Q_2 - Q_3) dt; \quad \dots$$

$$Q_1 = G_1 \cdot \sqrt{(p_0 - p_1)}; \quad Q_2 = G_2 \cdot \sqrt{(p_1 - p_2)}; \quad \dots$$

Diese beiden Gleichungen verdeutlichen die Wechselwirkung zwischen Druck und Volumenstrom. Das durch Bilanzierung resultierte Gleichungssystem wird analog in einer Simulationssoftware abgebildet.

Die nichtlinearen Gleichungssysteme des Modells werden numerisch berechnet. Das verwendete numerische Verfahren ist für steife Systeme optimiert,

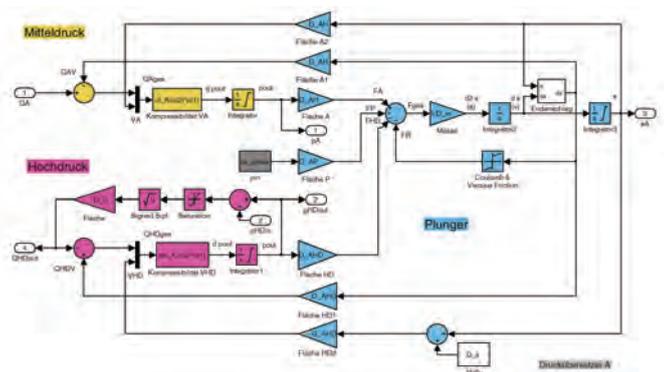


Abbildung 4: Teilmodell eines Druckübersetzers als Bindeglied zwischen Mitteldruck- und Hochdrucksystem zur numerischen Simulation

damit die Simulation zuverlässig und mit genügender Genauigkeit arbeitet. Dies ist nötig, da in der Fluidodynamik Zeitkonstanten in der Größenordnung von Millisekunden auftreten, jedoch ist der zu untersuchende Prozesszyklus mit mehreren Sekunden getaktet.

Anhand Herstellerangaben und durch die Zusammenarbeit mit Jet Cut Power GmbH wurden die meisten der benötigten Parameter und Kennlinien bestimmt. Einige wenige Parameter stammen aus Schätzungen anhand Formelwerken. Um diese Unsicherheiten zu eliminieren, wurden detaillierte Messungen an einem bestehenden Hochdruckaggregat durchgeführt.

Eine erste Auswertung zeigt, dass die gemessene Dynamik, sprich das Einschwingverhalten des erzeugten Hochdrucks, von der Trägheit der Hydraulikpumpe abhängt. Beim Schaltvorgang des 4/3-Wegeventils ändert sich die Last an der Pumpe. Diese muss ihr Schöpfermögen steigern, um einen Druckabfall zu vermeiden, was nur bedingt gelingt. Messungen zeigen, dass das simulierte Schaltverhalten die grundlegenden Eigenschaften der Realität abbildet.

Modell des bestehenden Antriebs und Alternativantrieb

Durch das Ersetzen des hydraulischen Zwischenkreises mit einem Elektro-Direktantrieb entfallen das typische Schaltverhalten und die resultierende Pumpendynamik. Der Druckaufbau ist, durch die Regelung der Direktantriebe, deterministischer zu verwirklichen. Gleichzeitig entfällt aber die Dämpfung des hydraulischen Zwischenkreises, somit wirken jegliche Störungen ungehemmt auf den Elektro-Direktantrieb. Weiter ist der Zusammenhang zwischen Eingangs- und Ausgangsgrösse nicht mehr klar ersichtlich.

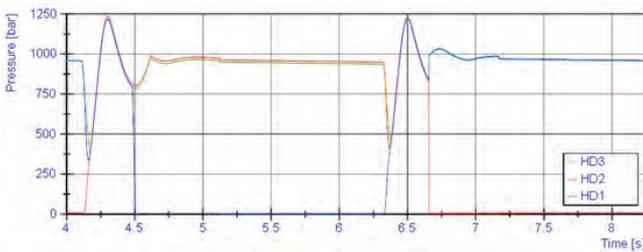
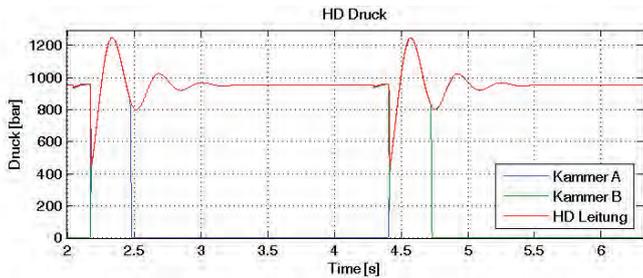


Abbildung 5: Erste Simulation (oben) und Messung (unten) des Hochdrucksystems nach erster Parametrisierung anhand Herstellerangaben

Bei einem Elektro-Direktantrieb wird die Kraft direkt an der Kolbenstange (wird auch oft Plunger genannt) angreifen. Somit ist als Eingangssignal die Kolbenstangenbewegung zu betrachten und als Ausgangssignal ist der gewünschte Hochdruck zu erreichen. Für die Regelung ist die Plungergeschwindigkeit oder der erzeugte Hochdruck zu verwenden. Die

Hochdruckmessung ist, falls möglich, zu vermeiden, da die benötigte Sensorik kostspielig und träge ist.

Um über die Plungergeschwindigkeit den erzeugten Hochdruck zu ermitteln, ist das dynamische Verhalten des Hochdrucksystems zu verstehen. Durch die beiden Druckübersetzer erhält das System zwei Eingangsgrößen, die über die Rückschlagventile untereinander gekoppelt sind und auf eine gemeinsame Ausgangsgrösse einwirken.

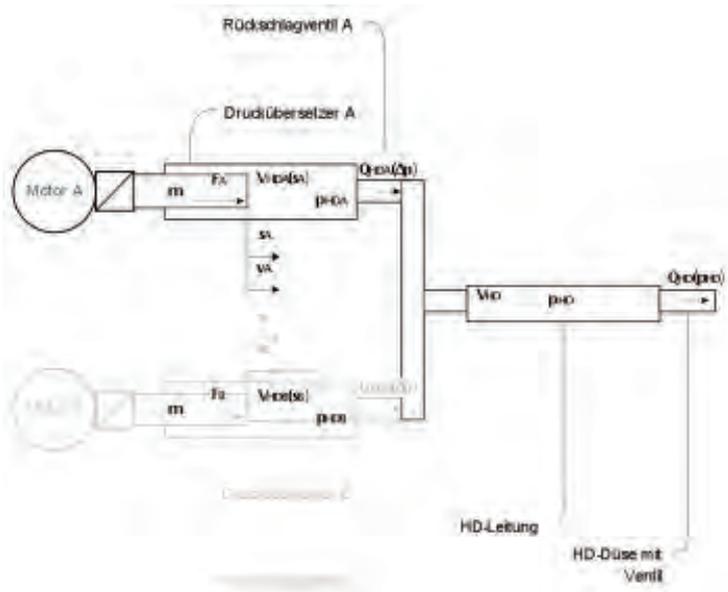


Abbildung 6: Schematische Zusammenhänge der Hydromechanik im Hochdruckteil mit Elektro-Direktantrieben

Diese Gesamtdynamik lässt sich, ausserhalb des Schaltzeitpunktes der beiden Rückschlagventile, stark reduzieren und schliesslich am gewünschten Arbeitspunkt linearisieren. Zur Problemlösung werden zwei Fälle genauer betrachtet. Zum einen die Druckerzeugung bei geschlossenem Rückschlagventil und zum anderen die Druckerhaltung bei geöffnetem Rückschlagventil.

$$\begin{aligned} \frac{d}{dt} s_A &= v_A \\ \frac{d}{dt} v_A &= -\frac{A}{m} \cdot p_{HDA} + \frac{1}{m} \cdot F_A \\ \frac{d}{dt} p_{HDA} &= \frac{K_{was.}}{A \cdot (s_{max} - s_A)} \cdot (A \cdot v_A - G_A(p_{HDA}, p_{HD}, F_{Fed.A}) \cdot \sqrt{p_{HDA} - p_{HD}}) \\ \frac{d}{dt} p_{HD} &= \frac{K_{was.}}{V_{Lei}} \cdot (G_A(p_{HDA}, p_{HD}, F_{Fed.A}) \cdot \sqrt{p_{HDA} - p_{HD}} - G_{Düse}(A_{Düse}) \cdot \sqrt{p_{HD}}) \end{aligned}$$

Abbildung 7: Reduzierte Darstellung des Hochdrucksystems in Form eines gekoppelten Gleichungssystems zur Linearisierung im interessierenden Arbeitspunkt mittels partieller Ableitung

Um den linearisierten Arbeitspunkt laufen die Trajektorien zu einem asymptotisch stabilen Knotenpunkt hin, sprich die Eigenwerte des linearisierten Systems sind, bis zu einem gewissen Druckniveau, negativ reell. Dies ist die Voraussetzung, dass bei einer konstanten Plungergeschwindigkeit asymp-

totisch der gewünschte Hochdruck erreicht wird. Weiter ist es möglich, über die Kompression des Fluids, vor dem Öffnen des Rückschlagventils, den gewünschten Hochdruck aufzubauen um den Druckabfall beim Schalten zu minimieren. Dieses Timing ist eine Herausforderung und wird mit einer, der Antriebsregelung übergeordneten, Steuerung realisiert.

Zur Evaluation der Regelkonzepte wurde das validierte Modell des bestehenden Hochdruckaggregats mit DC-Direktantrieben erweitert. Erste Simulationen zeigen, dass die Linearisierung den gewünschten Erfolg bringt.

Damit der Druck bei konstanter Geschwindigkeit auch konstant bleibt, ist vorauszusetzen, dass der Verbrauch sich nicht ändert. Diese Voraussetzung ist jedoch nicht gegeben, da bei unterschiedlichen Schneidaufgaben entsprechend andere Schneidköpfe eingesetzt werden. Zudem wird der Schneidstrahl, beim eigentlichen Schneiden von Konturen, andauernd gänzlich unterbrochen und selbst mehrere Maschinen können über dasselbe Hochdruckaggregat versorgt werden. Folglich ist mit einer dynamischen Laständerung zu rechnen.

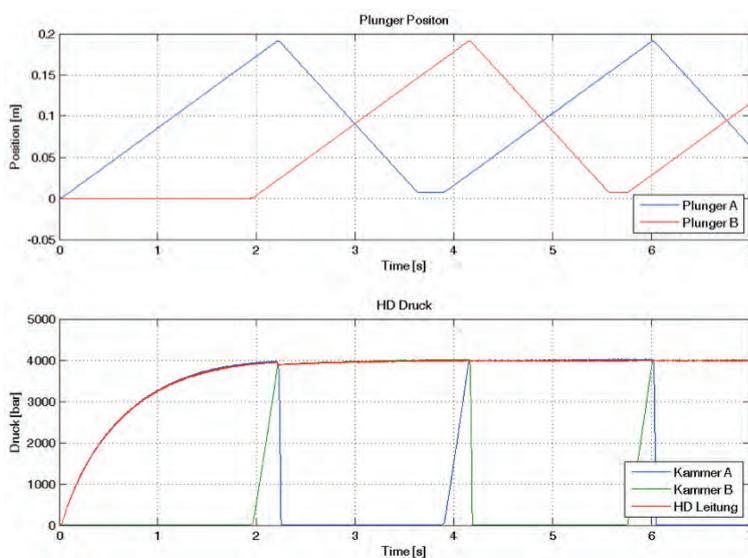


Abbildung 8: Druckerzeugung (Simulation) durch geschwindigkeitsgeregelten Elektro-Direktantrieb bei konstanter Last (oben: Plungerposition/unten: Hochdrucksystem)

Um dieser Dynamik gerecht zu werden, müssen die Leitwerte oder die Volumenströme der Schneidköpfe vollumfänglich bekannt sein. Diese Information ist auch in einer Kraftmessung, als Alternative zur Hochdruckmessung, enthalten.

Selbst aus den Systemgrößen der eingesetzten Elektro-Antriebe kann Aufschluss über das aufgebrachte Moment erbracht werden. Dies liefert den Ansatz für weitere intelligente Regelungskonzepte, die auf Beobachterstrukturen des kompletten Hochdruckaggregats sowie Methoden der Robotik, reduziert auf die eindimensionale Bewegung, aufbauen.

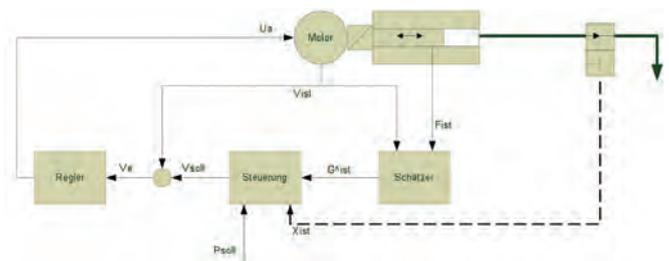


Abbildung 9: Minimales Steuer- / Regelkonzept für einen Druckerzeuger mittels Lastschätzung und Druckregelung über die Plungergeschwindigkeit

Fazit

Neben gezeigten theoretischen Resultaten (vorhergehendes Kapitel, speziell Abbildung 7 und Abbildung 8) wurden ausführliche Druckmessungen an dem bestehenden Hochdruckaggregat vorgenommen. Es zeigte sich, dass bei verschiedensten Arbeitspunkten die Simulationen sehr gut mit den gemessenen Drücken übereinstimmen.

In der jetzigen Phase des Projektes wird das Simulationsmodell des Hochdruckaggregats weiter verfeinert, um die qualitativen Aussagen des Modells noch genauer auf die gewonnenen Erkenntnisse der Druckmessungen aus dem Prüfstand in Übereinstimmung zu bringen.

Aus den gewonnenen Kenntnissen resultieren wichtige Anforderungen an die Regelgüte sowie an die Auslegung des Elektro-Direktantriebs und die benötigte Messtechnik. Im Wasserlabor der FHNW wird ein Hochdruckaggregat mit dem evaluierten Elektro-Direktantrieb ausgestattet. Die Regelstrategien, welche am validierten Modell die definierten Gütekriterien erfüllen, werden schliesslich am umgebauten Hochdruckaggregat implementiert und verfeinert.

Arduino gesteuerte Portalfräsmaschine

In diesem Projekt, welches als MAS Projekt geführt wurde, konnte eine Portalfräsmaschinensteuerung mit einer Minimal HW und SW Lösung realisiert werden. Das Ziel dabei war es zu prüfen, inwieweit sich eine solche Minimallösung eignet, um ein rapid prototyping Konzept umzusetzen.

Lukas Kurmann, MSc EE; Sebastian Stapfer | lukas.kurmann@fhnw.ch

Hintergrund und Einleitung

Um für Studierendenprojekte im Mechatronik Labor Muttenz (Studiengang Mechatronik Trinational) Leiterplattenprototypen herzustellen, mussten diese bisher entweder extern gefertigt werden (z.B. PCB-Pool) oder selber in aufwendiger Handarbeit belichtet und mit giftigen Chemikalien entwickelt und geätzt werden.

Die Problematik der extern gefertigten Prototypen ist, dass selbst bei Expresslieferung mindestens 1 Tag (eher 3) gewartet werden muss, bis der erste Prototyp getestet werden kann. Dazu kommen der hohe Preis für Expresslieferung und die eigentlich nicht benötigte professionelle Qualität des Prototyps.

Bei selber geätzten Prototypen kann der Vorgang zwar beschleunigt werden. Es braucht aber immer noch eine zusätzliche Betreuung und eine hohe Bearbeitungszeit (Belichten, Entwickeln, Ätzen, Reinigen, Bohren). Ausserdem ist der Umgang mit den Chemikalien nicht ganz unproblematisch, ganz abgesehen von deren Entsorgung.

Zum Fräsen von Platinen wäre zwar eine Graviermaschine vorhanden, diese funktioniert allerdings nicht mehr und es ist keine Dokumentation vorhanden.

Ausgangslage und Zielsetzungen

Der Auftrag der Thesis wurde so formuliert, dass eine Maschine entwickelt werden soll, welche aus Fräsdaten der Layoutsoftware Target3001 [1] mittels Isolationsfräsen und Bohren einen Leiterplattenprototypen herstellt. Dazu soll eine mechanische Konstruktion (Fräsroboter) evaluiert und eingekauft werden. Die Steuerelektronik soll mit modernen Komponenten entwickelt, gefertigt und programmiert werden. Der Fräsroboter soll nach Abschluss dieser Arbeit zur Prototypenherstellung eingesetzt werden und muss demnach den Sicherheitsbestimmungen entsprechen und es muss ein Benutzerhandbuch erstellt werden. Die Maschine soll ausserdem modular aufgebaut werden, um Erweiterungen in zukünftigen Arbeiten zu ermöglichen.

Evaluation und Erläuterung des bestehenden Systems

Die Evaluation der Portalfräsmaschine musste zuerst angegangen werden. Portalfräsmaschinen zum Fräsen von Leiterplatten sind heute übliche Werkzeuge. Folgende Systeme wurden dabei evaluiert:

Nachdem die Nutzwertanalyse abgeschlossen wurde, setzte sich das Modell ICP 4030 XYZ von imes-icore [2] durch. Es zeichnet sich einerseits

Hersteller	Eigenschaften	
BZT (www.bzt-cnc.de) PF-750P	Grösse Arbeitsraum (X/Y/Z): 410 x 550 x 110 mm Achsenausführung: Kugelrollspindeln Steuerung: 3 Schrittmotoren ohne Endstufen und Controller	
CNC-Step (www.cnc-step.de) High-Z S-720	Grösse Arbeitsraum (X/Y/Z): 720 x 420 x 110 mm Achsenausführung: Trapezspindeln Steuerung: 4 Schrittmotoren ohne Endstufen und Controller	
ISEL (www.imes-icore.de) ICP 4030	Grösse Arbeitsraum (X/Y/Z): 400 x 300 x 140 mm Achsenausführung: Kugelumlaufspindeln Steuerung: Step-Controller mit 4 Endstufen und Netzteil Schnittstelle: RS232	

Tabelle 1: Übersicht evaluierte Fräsmaschinen

durch eine hohe mechanische Präzision und andererseits speziell durch seine Robustheit aus.

System mit neuer SW und HW

Die Abbildung 1 zeigt die Portalfräsmaschine von aussen.

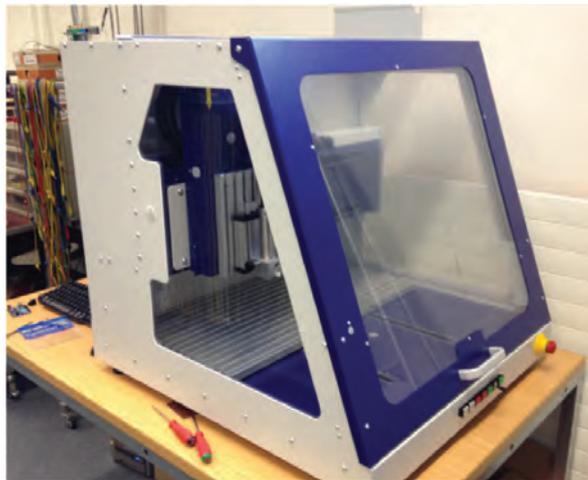


Abbildung 1: Portalfräsmaschine ICP 4030 XYZ im Mechatronik Labor

Diese Portalfräsmaschine hat auch eine eigene Steuerung integriert. Die Programmierung dieser war allerdings nicht sehr geeignet. Es wurden Wege gesucht, diese Steuerung zu umgehen und eine eigene moderne und minimale SW und HW Lösung zu finden. Als erste Idee wurde versucht, die Schrittmotoren direkt anzusteuern. Entsprechende Überlegungen (inklusive layouts!) wurden auch schon angedacht. Aus primär zeitlichen Gründen wurde auf eine solche Lösung verzichtet. Da diese Portalfräsmaschine auch über eine serielle Schnittstelle (EIA232) programmiert werden kann, konnte im Wintersemester 2012-2013 mit Hilfe von Studenten das Funktionieren dieses Verfahren verifiziert werden.

TBD:

- (1) Beschreibung der Arduino Plattform (HW)
- (2) Beschreibung der SW (nur kurz!)

Zur Realisierung wurden folgende Hardwareplattformen des Arduinoprojektes [3] gewählt:

Arduino Mega 2560 Rev 3	Hauptprozessor: AVR ATmega2560 8bit uC mit 16MHz Clock Speed, 248 KB Flash, 8 KB SRAM Hilfsprozessor (Programmierung über USB): ATmega16U2 8bit uC mit Bootloader des Arduinoprojektes
-------------------------	--

Ethernet Shield	Ethernet Controller W5100, RJ45 Stecker, micro-SD Kartenslot
-----------------	--

Zur Kommunikation mit der CNC und dem Benutzer wurde ein eigenes PCB (Arduinoshield) entwickelt, welches RS232 und ein Nokia 5110 LCD angesteuert.

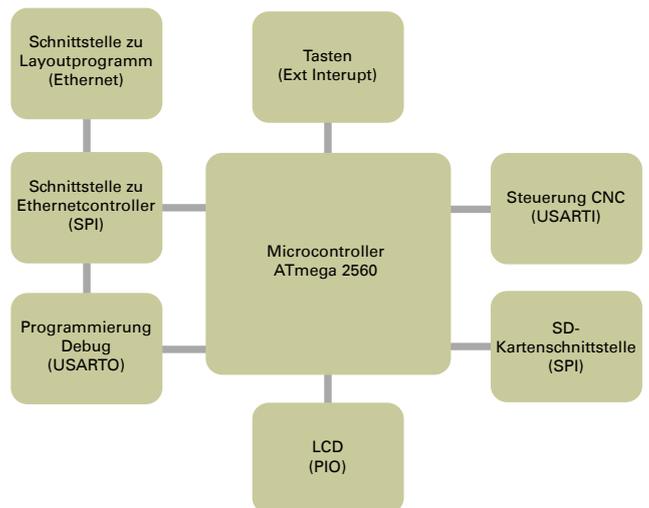


Abbildung 2: Übersicht Hardwareaufbau

Als Entwicklungsumgebung wurde nicht die Arduino IDE sondern Visual Studio 2012 mit dem Visual Micro Plugin gewählt.

Die Software besteht aus einer Zustandsmaschine, welche dem Benutzer einen Webserver zum Heraufladen der CNC-Daten und eine lokale Bedienung über Tasten und LCD zur Verfügung stellt. Ausserdem steuert sie den Ablauf des Fräsvorganges. Zur Kommunikation mit der CNC wurde eine eigene C++ Klasse erstellt. Die SD-Karte dient als Speicher für die HTML-Seiten (Webserver) und die Fräsdaten (CNC-Code).

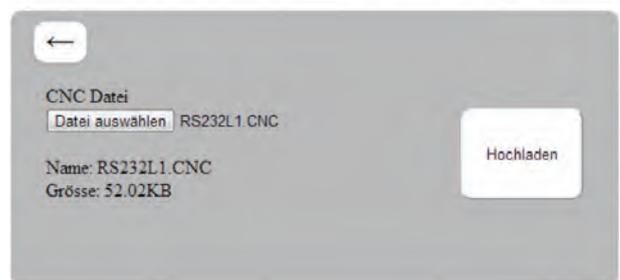


Abbildung 3: Webserver Formular zum Hochladen der Daten

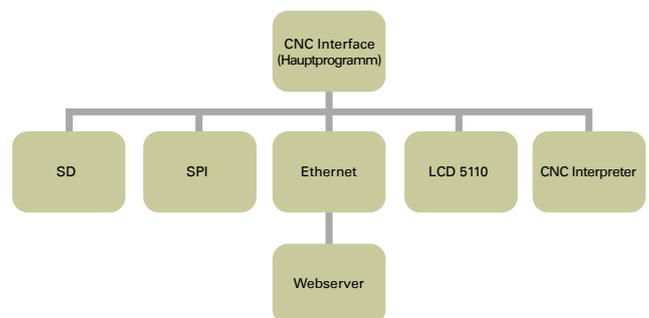


Abbildung 4: Übersicht der verwendeten Klassen

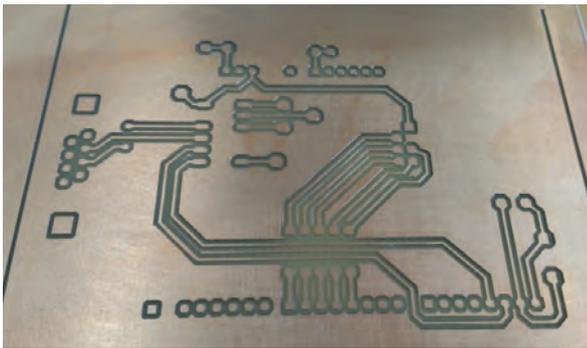


Abbildung 5: Fertig gefrästes PCB

Literaturverzeichnis

- [1] Elektronik CAD SW des Ing. Büro Friedrich, siehe auch www.ibfriedrich.com; Abgerufen am 20.01.2013
- [2] www.imes-icore.de; abgerufen am 20.01.2013
- [3] Arduino Open Source Hardwareplattform, siehe auch <http://www.arduino.cc/> Abgerufen am 31.01.2013

Ergebnisse und Ausblick

Es konnte gezeigt werden, dass ein rapid prototyping mit der Arduino Plattform möglich ist.

Auch eignet sich diese Plattform hervorragend für weitere Projekte. Eine Erweiterung der bestehenden Anlage wäre zum Beispiel ein 3D Plotter, welche beliebige 3D Konturen fräsen könnte. Dies würde sich hervorragend eignen, das Labor für Mechatronik in Muttenz auch für mechanische rapid prototyping Projekte weiterzuentwickeln.

n | w

Fachhochschule Nordwestschweiz
Hochschule für Technik



Weiterbildung, die sich lohnt!

Master MAS und CAS Lehrgänge in

- Automation Management
- Business Engineering Management BEM
- Internationales Logistik-Management ILM
- Software Engineering
- Kunststofftechnik
- Mikroelektronik
- Optometrie
- Giessereitechnik
- Digitales Bauen

Infoabende in Brugg-Windisch (ab 18.15 Uhr):
Mittwoch, 23. Januar, 24. Juni und 28. August 2013

T +41 56 462 46 76; weiterbildung.technik@fhnw.ch

www.fhnw.ch/wbt

Modellierung des robotergestützten Schleifprozesses von Armaturen

Der Schweizer Armaturenhersteller KWC entwickelt in Zusammenarbeit mit dem Institut für Automation Spezialwissen auf dem Gebiet des automatischen Bandschleifens von komplexen Freiformgeometrien mit Industrierobotern. Die Kooperation wird von der KTI (Kommission für Technologie und Innovation) unterstützt und zeichnet sich durch Innovationspotenzial direkt im Fertigungsprozess aus.

Max Edlmann, BSc Systemtechnik | max.edlmann@fhnw.ch

Hintergrund

Die Firma KWC AG, im aargauischen Unterkulm, ist ein führendes Unternehmen für die Entwicklung und Herstellung von Sanitärarmaturen für Küche und Bad. KWC zeichnet sich durch eine hohe Fertigungstiefe am eigenen Standort aus. Die Fertigungsmethoden sind deshalb wichtige Kernkompetenzen der Firma.

Bei der Armaturenherstellung spielt der Schleif- und Polierprozess eine Schlüsselrolle, da bei diesem Arbeitsschritt zum einen die korrekten Aussenabmessungen einer Armatur erreicht werden und zum anderen die Oberfläche höchsten Ansprüchen genügen muss.

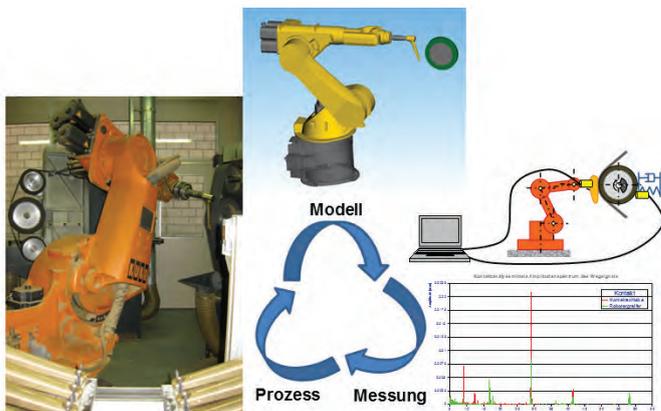


Abbildung 1: Iterativer Entwicklungsprozess im Projekt

Modellierung des Schleifprozesses

Zu Beginn werden die Projektgrundlagen zur Modellbildung aufgebaut. Dazu wird der derzeitige Stand in Forschung und Technik beim robotergestützten Bandschleifen anhand von wissenschaftlichen Recherchen und geeigneten Messungen auf der Schleifanlage bei KWC analysiert.

Mit den theoretischen Grundlagen aus dem Fachgebiet der technischen Mechanik lassen sich Gleichungen zur Kinematik, Kinetik und Dynamik formulieren und eine analytische Beschreibung des Prozesses in mathematischen Formeln dar-

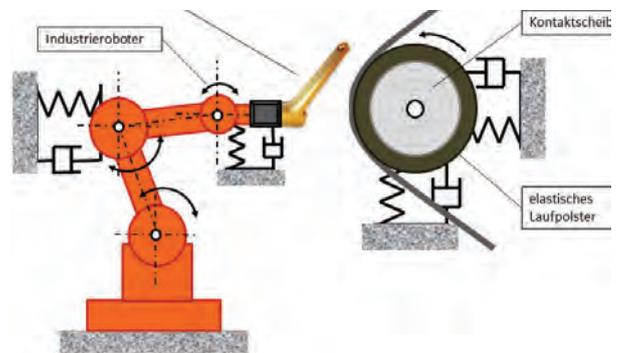


Abbildung 2: Schematisches Modell des Schleifprozesses

stellen. Der Prozess wird als Mehrkörpersystem mit mehreren Freiheitsgraden betrachtet und mit verschiedenen veränderlichen Parametern modelliert. Die physikalisch-technischen Systeme werden mittels numerischer Simulationsmethoden berechnet und erlauben nach einer Validation, den Schleifprozess neu zu designen.

Weiter soll im Projektverlauf eine Mehrkörpersystem-Simulationssoftware eingesetzt werden, um die internen dynamischen Prozessgrößen zu simulieren und den Schleifprozess dreidimensional zu visualisieren.

Die Validation des entwickelten Prozessmodells kann mit gezielten Kraft-, Beschleunigungs- und Positionsmessungen der einzelnen Schleifprozess-Subsysteme durchgeführt werden.

Momentaner Projektstatus

Im Rahmen einer Bachelor-Thesis sind die dynamischen Eigenschaften von Industrierobotern untersucht worden. Ziel dabei ist es, die positionsbedingte Nachgiebigkeit des Roboters in der Fertigungszelle zu bestimmen. Testmessungen zum Identifizieren der relevanten dynamischen Systemeigenschaften eines kleinen 6-Achs-Industrieroboters im Labor zeigen frequenzabhängige Nachgiebigkeiten, die für den Prozess relevant sein können. Der untersuchte Roboter zeigt eine Resonanz im Bereich von 42 Hz und 21 Hz, bezogen auf die X-Komponente des Koordinatensystems.

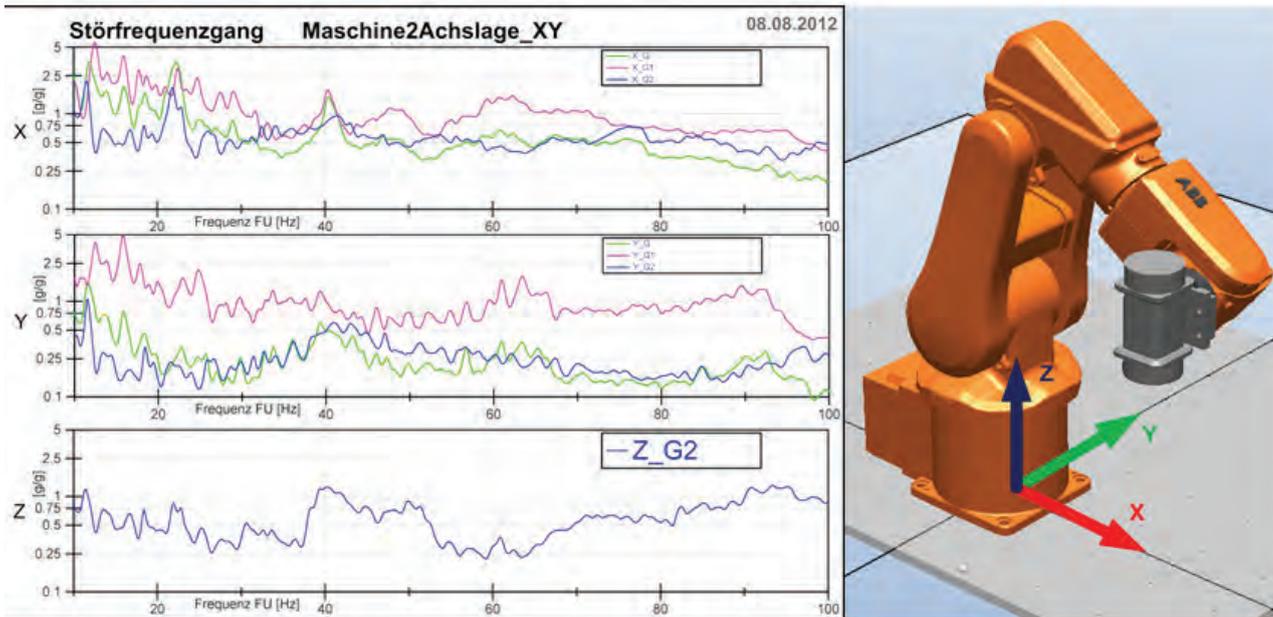


Abbildung 3: Roboteridentifikation (dynamische Eigenschaften) [1]

Im Herbstsemester sind Validationsmessungen zum Verifizieren des erarbeiteten Prozessmodells durchgeführt worden. Die Ergebnisse sind im derzeitigen Projektstatus noch nicht zur Veröffentlichung bestimmt.

Weiteres Vorgehen

Nach 40% Fortschritt im Projekt ist im weiteren Verlauf das gesamte Prozessmodell zu validieren, um anschliessend den Schleifprozess mit hoher Genauigkeit beschreiben zu können.

Ziel der Forschungsk Kooperation von KWC und dem Institut für Automation ist es, eine Lösungsstrategie zur Verbesserung des automatischen, roboter-gestützten Bandschleifens von Sanitärarmaturen zu entwickeln. Nach Design, Konstruktion und Bau eines Funktionsmusters kann die Leistungsfähigkeit auf dem Gebiet des automatisierten Schleifens evaluiert werden.

Literaturverzeichnis

[1] Andreas Lüthi, Bachelor Thesis FS12



Fachhochschule Nordwestschweiz
Hochschule für Technik



Sie interessieren sich für:

- Industrielle Automatisierung,
- Robotik,
- Gebäudeautomation,
- Mess- und Diagnosesysteme,
- Sensorik und Aktorik,
- Reduktion Energieverbrauch,
- Mikrosystemtechnik, ...

Ihr Werdegang dazu:

- Berufsbegleitendes Ingenieurstudium in Systemtechnik (Automation)
Freitag tagsüber, Samstagmorgen, Dienstag- und Donnerstagabend
- Vollzeitliches Ingenieurstudium im Systemtechnik (Automation)

Eintritt mit:

- Berufsmatura,
- Techniker HF,
- Aufnahmeprüfung,
- Gymnasium, ...

Weitere Informationen:

- Informationsabende an der Hochschule für Technik in Windisch, von 19.00 bis 21.00 Uhr
 - o Donnerstag, 16. Mai 2013 und 6. Juni 2013
 - o Mittwoch, 26. Juni 2013 und 21. August 2013
 - o Weitere siehe web

www.fhnw.ch/technik/bachelor/st

Intelligente Drehgestellprüfstandstechnik

Die derzeit weltweit stark wachsenden Transportleistungen und Höchstgeschwindigkeiten des schienengebundenen Verkehrs führen zu stark erhöhten Bedürfnissen bezüglich der Mess- und Prüftechnik von Eisenbahnfahrzeugen, insbesondere deren Drehgestellen (Fahrwerken). Neben den bisher geprüften statischen Eigenschaften sollen neu auch dynamische Kennwerte ermittelt werden. Das heutige, aufwändige Einstellen der Prüfstände auf jedes einzelne Rad soll entfallen und eine automatische Prüfung die rasche und prozesssichere Kontrolle der Eigenschaften der Drehgestelle ermöglichen.

Claudio Birrer, BSc Systemtechnik | claudio.birrer@fhnw.ch

Ausgangslage und Zielsetzung

Das nichtlineare System Rad / Schiene sorgt für die Lastübertragung des Fahrzeugs auf die Schiene, die Vermeidung von grossen seitlichen Abweichungen und die Antriebs- sowie die Bremsfunktion. Die konischen Räder garantieren dabei eine gewisse Selbststabilisierung bei Störungen, zentrieren die Radachse und erzeugen somit einen Sinuslauf der Radsätze im Gleis. Beim Erreichen einer kritischen Geschwindigkeit schaukelt sich der Sinuslauf immer höher auf und wird nur noch gewaltsam durch den Spurkranz begrenzt. Um Beschädigungen und Verschleiss zu vermeiden sowie sichere Führung, Laufruhe und Komfort zu garantieren, muss der Sinuslauf durch optimal eingestellte Drehgestelle minimiert werden.



Abbildung 1: Prüfstand der Firma Nencki

Die Drehgestellprüfung dient zur Simulation des belasteten Zustandes vor dem Einbau in das Fahrzeug. Die Aufstandskräfte der einzelnen Räder werden über Lastmesszellen oder Schwingsaitensensoren gemessen. Die aktuelle statische Belastung durch die Hydraulik deckt ungleiche Verteilungen der Radlasten auf und lässt auf Steifigkeitsunter-

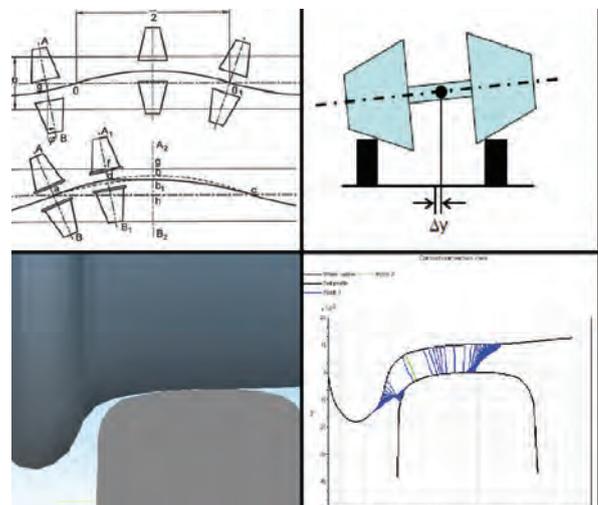


Abbildung 2: Sinuslauf und Einfluss des Radprofils

schiede in der Primärfederung schliessen. Durch den Einbau von Distanzscheiben zur Vorspannung der einzelnen Federn wird diese Abweichung ausgeglichen. Die Prüfung setzt eine perfekte Lage des Drehgestells auf dem Prüfstand voraus, welche durch die Geometrie des Rad-Schiene Kontakts aber kein Normalfall ist. Denn wird das Drehgestell auf den Prüfstand gerollt, gibt es bereits durch den Sinuslauf Querverschiebungen und Drehungen um die Radsatz-Hochachse. Diese geometrischen Abweichungen resultieren durch die Konizität der Räder in ungleich verteilten Aufstandskräften, welche wiederum auf ungleiche Primärfedersteifigkeiten schliessen lassen. Prüfstandshersteller unternehmen einen grossen und zeitintensiven Aufwand, um das Drehgestell mittels komplizierter Aktorik perfekt auszurichten.

Die Zielsetzung besteht darin, mittels einer dynamischen Anregung zusätzliche Informationen zu gewinnen und somit eine Unterscheidung von geometrischen Lagefehlern zu Steifigkeitsabweichungen festzustellen. Das Vorhaben mit der Firma Nencki AG in Langenthal wird im Rahmen eines durch die

Kommission für Technologie und Innovation KTI in Bern geförderten Projekts durchgeführt.

Vorgehensweise

Zu Beginn muss die Dynamik von Drehgestell und Prüfstand aufgezeigt werden. Durch die Zerlegung des Systems in einen Mehrmassenschwinger inklusive der Zwangsbedingungen am Rad-Schiene Kontakt kann ein analytisches Modell mit Hilfe von Impuls- und Drallsatz aufgestellt werden. Ein zweiter Ansatz besteht darin, die Modellierung mit Hilfe einer Mehrkörpersimulationssoftware, welche effiziente Tools zur Implementierung des Rad-Schiene Kontakts beinhaltet.

Die Validation dieser beiden Grundmodelle wird direkt am Prüfstand beim Hersteller durchgeführt. Verschiedene Messungen mit Beschleunigungssensoren und Lastmesszellen liefern die Antwortfunktionen der angeregten Teilsysteme auf die Anregung. Die Übertragungsfunktionen der Modelle können anschliessend mit den Resultaten verglichen werden.

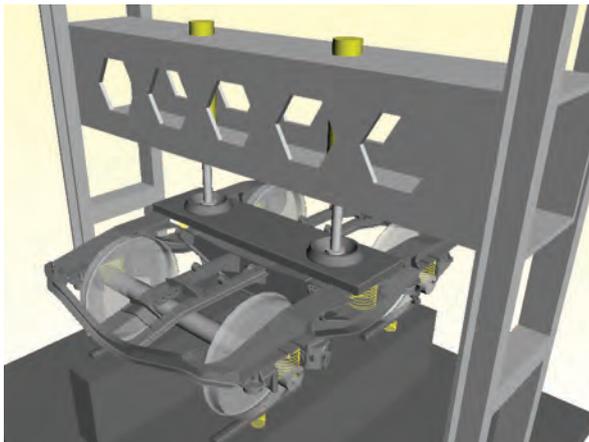


Abbildung 3: Simulation eines Drehgestellprüfstands

Ergebnisse

Durch die Simulation der Dynamik können mit einem neuen Ansatz die Feder- und Dämpfereigenschaften direkt gerechnet, und diese von Lage- und Geometriefehlern unterschieden werden. Dies führt zu einer Steigerung der Messgeschwindigkeit, da aufwändige Einrichtprozesse entfallen und der Prüfling trotz Sinuslauf direkt auf den Prüfstand gerollt werden kann. Das Simulationsmodell bietet hier eine solide Grundlage für die folgenden Erweiterungen am Prüfstand und zeitintensive Änderungen können problemlos simuliert werden.

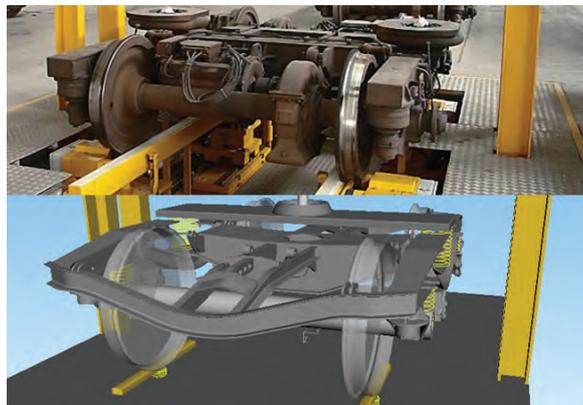


Abbildung 4: Gegenüberstellung von Prüfstand und Simulationsmodell

Optimale Mischung von Mehlen

Müllereibetriebe werden vermehrt mit der Aufgabe konfrontiert, Produkte in verschiedenen genau definierten Qualitäten herzustellen. Dies bedingt, dass die Produktionsparameter fortlaufend optimiert werden. Da die Mischung von Mehlen die Einhaltung von Randbedingungen über mehrere Inhaltsstoffe erfordert, ist dies nicht mehr einfach nach dem Gefühl des Obermüllers optimal zu lösen. Das im vorangehenden Jahresbericht beschriebene Tool zur interaktiven Optimierung wurde so erweitert, dass es auch für ältere Mühlen mit nicht regelbaren Schiebern angewendet werden kann.

Prof. Dr. Jürg P. Keller | juerg.keller1@fhnw.ch

Beschreibung

In einer Getreidemühle entstehen in verschiedenen Trennstufen bis 70 oder mehr Fraktionen unterschiedlicher Zusammensetzungen. Proteingehalt, Aschegehalt, Gluten, Feuchte und auch die Farbe des Mehls charakterisieren die verschiedenen Fraktionen. Der Obermüller muss daraus 4-6 Endprodukte erzeugen, die einen möglichst hohen Verkaufswert haben.

Das daraus resultierende Optimierungsproblem wird dadurch charakterisiert, dass viele Entscheidungsvariablen bestehen (Zuordnung der Fraktionen zu den Produkten) und dass es nicht einfach ist, ein ‚globales‘ Optimierungskriterium a priori festzulegen, sondern dass der Obermüller oft ein schrittweises Vorgehen zur Spezifikation der Produkte wählt. Um diese Arbeitsschritte zu vereinfachen, wurde ein interaktives Tool erstellt, das im letztjährigen Bericht beschrieben wurde. Da es sich nun gezeigt hat, dass in vielen Produktionsanlagen nicht die Möglichkeit besteht, die verschiedenen Fraktionen zu beliebigen Produkten zusammen zu führen und dass Stoffströme meist nicht aufgeteilt werden können, musste das Tool so erweitert werden, dass diese Randbedingungen in der Optimierung berücksichtigt werden können. In der erweiterten Version hat der Anwender nun die Möglichkeit, festzulegen, welche Fraktionen auf Grund der Leitungskonfiguration für ein Produkt überhaupt in Frage kommen. Zur Bestimmung einer Lösung ohne Aufteilung von Fraktionen, d.h. mit geschalteten Produktströmen, resultiert ein ‚mixed-integer‘-Optimierungsproblem. Ausgehend von der optimalen Lösung mit Fraktionsaufteilung (LP-Optimierung) wird mittels der ‚Branch and Bound‘-Methode eine Menge möglicher Lösungen berechnet, die möglichst nahe am theoretischen LP-Optimum liegen. Der Anwender hat nun die Möglichkeit, aus der Menge der beinahe optimalen, geschalteten Lösungen, die für ihn beste auszuwählen.

Die Abbildung 1 zeigt das Benutzerinterface zur Auswahl der Lösung. Der Anwender sieht links die Beschaltung der Produktströme und kann dort in der untersten Zeile die gewünschte Konfiguration auswählen. Die Liste kann sehr umfangreich sein. Um dies einzuschränken, kann er rechts den in Frage kommenden Durchflussbereich einschränken und so die Anzahl zu untersuchenden Lösungen einschränken. Rechts wird dem Benutzer angezeigt, zu welcher Produktzusammensetzung im Vergleich zum Optimum die Lösungen führen. Die links gemachte Wahl wird durch rote Punkte hervorgehoben. Industrielle Anwendbarkeit und Nutzen werden zur Zeit bei Kunden geprüft.

Die ‚Branch and Bound‘-Methode wurde in LabVIEW realisiert und basiert auf dem optimierten LP-Algorithmus für Mischprobleme. Die Berechnung der Lösungen ist noch genügend schnell, so dass ein interaktives Arbeiten mit der Software problemlos möglich ist.

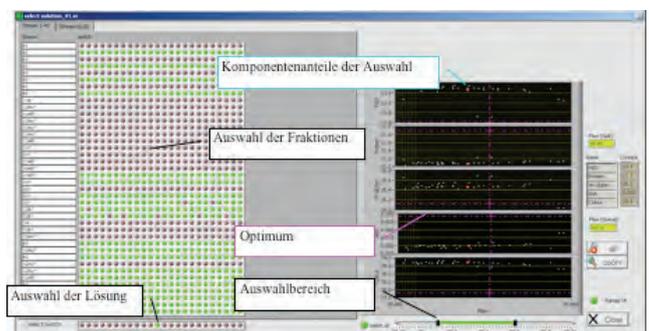


Abbildung 1: Auswahl der ‚geschalteten‘ Lösung

First™ Lego® League - Nachwuchsförderung in der FHNW

FIRST™ LEGO® League ist ein Förderprogramm, das Kinder und Jugendliche im Alter zwischen 10 und 16 Jahren in einer sportlichen Atmosphäre an Wissenschaft und Technologie heranführen möchte. Beim Wettbewerb 2012 „Senior Solutions“ beschäftigten sich die Kinder und Jugendliche mit der Problematik, wie mit Hilfe von technischen oder organisatorischen Hilfsmitteln das Leben für die ältere Generation vereinfacht werden kann.

Prof. Dr. Jürg P. Keller; Daniel Treyer, BSc Systemtechnik | juerg.keller1@fhnw.ch

Nach wie vor erfreuen sich die FLL-Wettbewerbe einer steigenden Beliebtheit. Im zentraleuropäischen Bereich fanden 2012 insgesamt 58 Regionalwettbewerbe mit mehr als 4500 Schülern statt. In der Schweiz gibt es 5 Regionalwettbewerbe mit insgesamt 62 Teams, d.h. etwa 500 Schülerinnen und Schüler beschäftigen sich während fast einem halben Jahr intensiv mit der Robotik und mit dem Forschungsthema (Senior solutions). In Windisch an der Fachhochschule Nordwestschweiz wurden durch Mitarbeiter des Instituts für Automation ein Regionalwettbewerb und der europäische Semi-Final der Region (Südwest) organisiert. Die Gewinner-teams des FLL Semi-Finals werden im Januar 2013 zum zentraleuropäischen Finale reisen und haben dort die Möglichkeit, sich für das World Festival in den USA oder die (Open European Championship) zu qualifizieren.

Der regionale FLL-Wettbewerb bestand aus drei Teilen. Im vorbereiteten praktischen Teil galt es, dass alle Teams aus Sensoren, Motoren und LEGO Bauteilen einen eigenständig agierenden Roboter bauen, der knifflige Aufgaben auf einem Spielfeld lösen muss. Zusätzlich wurde in diesem Jahr eine (Open challenge) durchgeführt.

Die Open Challenge

Die Teams müssen eine einfachere, ihnen vorangehend unbekannt Aufgabe ohne fremde Hilfe, d.h. ohne Coach innerhalb von 45 Minuten lösen. Nun kann sehr klar erkannt werden, was das Team selber kann und was der Coach zur Lösung der Robotikaufgabe beigetragen hat. Im Gegensatz zu den eher künstlichen Übungen zur Bewertung des Teamworks sieht man bei der Arbeit unter Zeitdruck sehr klar, wie das Team funktioniert. Die Resultate beim (Open Challenge) korrelierten verschiedentlich nicht mit dem Teamgeist, was die Jury teilweise frustrierte. Offensichtlich war der negative Einfluss von störenden Teammitgliedern die Ursache dafür. Eine



Abb. 1: Team im Einsatz

Verlagerung des Wettbewerbsschwergewichts hin zu einer (Open Challenge) hätte viele Vorteile. Einerseits würde der Aufwand für die Vorbereitung für die Teams drastisch reduziert, andererseits würden beim Wettbewerb die Eigenleistungen des Teams verstärkt bewertet. Sehr erfreulich war das sehr positive Feedback der Teams auf die (Open Challenge). Verschiedenen Teams waren enttäuscht, dass diese am Semi-Final nicht durchgeführt werden konnte.

Die Forschungsaufgabe

Im mehr theoretischen Teil müssen die Teams eine Forschungsaufgabe bearbeiten und ihre Resultate in einer Präsentation vortragen. Konkret musste in diesem Jahr untersucht werden, wie älteren Leuten mit technischen Einrichtungen das Leben vereinfacht werden kann. In den Themen der Forschungsarbeiten konnten zwei Themenbereiche erkannt werden, zu denen viele der Arbeiten gemacht wurden: Hilfen zum Umgang mit technischen Geräten und Hilfsmittel zur Steigerung der Mobilität. GPS-Funktionen für ältere Menschen nützlich machen, Billettautomaten mit Seniorenmodus, moderne Gehhilfen oder seniorengerechte Betriebssystemoberflächen sind dazu einige Beispiele.

Das Robot-Game

Die diesjährigen Aufgaben waren wieder beträchtlich anspruchsvoller als die letztjährigen. Beim Roboterwettbewerb war darum eine sehr grosse Spanne im Niveau der Lösungen zu erkennen. So konnte das Siegerteam «Mindfactory» fast alle Aufgaben lösen, während bei anderen Teams der deutlich geringere Vorbereitungsaufwand offensichtlich war. Leider machen die technischen Fortschritte im Bereich der Programmierung eine faire Überprüfung der Spielregeln immer schwieriger. So ist es z.B. nicht erlaubt, eigene Blöcke in unerlaubten Tools zu erstellen. Gerade bei schnellen Regelaufgaben kann dies aber beträchtliche Vorteile bringen. Dies insbesondere, weil gewisse Funktionen in der Standard-Software sehr schlecht gelöst wurden, so z.B. das synchronisierte Anfahren zweier Motoren. Dies ist natürlich für das Geradeausfahren entscheidend wichtig. Ist der Coach in der Lage, auf einer Hardware-nahen Ebene dies besser zu lösen, hat dieses Team einen entscheidenden Vorteil. Für die Jury ist es aber kaum zu überprüfen, ob solche Änderungen vorgenommen wurden. Hier besteht dringender Handlungsbedarf.

Das Umfeld

Obwohl die FLL-Wettbewerbe immer mehr Teams anziehen, werden die finanziellen Unterstützer immer rarer. Von einem Dutzend Anfragen für Sponsoring wurde lediglich ein einziger positiv, einer negativ und die anderen überhaupt nicht beantwortet.



Abb 2: Roboterwettkampf

tet. Auch unsere Dachorganisation für Zentraleuropa, die Hands-on-Technology leidet unter starkem Rückgang der Sponsorengelder und kann so die Regionalpartner deutlich weniger unterstützen. Für die Wettbewerbe in der Schweiz wäre ein Betrag von 20'000 Franken ausreichend, damit die jährlichen Unkosten aller Regionalwettbewerbe damit gedeckt werden könnten. Dieser Betrag wäre gut investiertes Geld in die Förderung der Jugend hinsichtlich ihrem Interesse für technische Berufe und marginal klein im Vergleich zu den Unterstützungsbeiträgen, die zur Kulturförderung geleistet werden oder in Organisationen zur MINT-Förderung administrativ verbraucht werden. Immerhin sind wir froh, dass uns die Migros aus ihren Kulturprozenten regelmässig unterstützt. Ohne die ehrenamtliche Mithilfe vieler Fans wäre ein solcher Wettbewerb nicht durchführbar und finanzierbar.

n|w Fachhochschule Nordwestschweiz
Hochschule für Technik

Studierendenprojekte – Ihre Aufgabenstellung wird durch unsere Studierende gelöst

Für Unternehmen und Organisationen bieten Studierendenprojekte eine Chance, komplexe Problemstellungen ohne grösseren finanziellen Aufwand bearbeiten zu lassen. Die angehenden Ingenieurinnen und Ingenieure lösen die Aufgaben kreativ, fachkundig und zuverlässig. Sie werden dabei durch Dozierende und wissenschaftliche Mitarbeitende betreut.

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

Markus C. Krack
Leiter FITT (Forschung-, Innovation- und Technologietransfer)
markus.krack@fhnw.ch, T +41 56 202 78 79

Studierendenprojekte und Bachelor Theses

Nachfolgende Arbeiten wurden im Rahmen der Studiengänge Systemtechnik (S) sowie Elektro- und Informationstechnik (EIT) durch Dozierende und wissenschaftliche Mitarbeitende des Institutes für Automation und weitere Institute betreut.

Proj. Nr.	Titel der Arbeit	Projektart; Betreuer	Studierende
Studierendenprojekte 1.- 5. Semester 2012			
4291-S	Anpassung RFID-System zur Registrierung passierender Fische in Aufstiegshilfen	Verwaltung; Binggeli Daniel	Elber Sebastian Wiss Dominik
4292-S	Steuerung für Dosiergerät	Industrie; Binggeli Daniel	Helbling Simon Weber Philipp
4295-S	Energieeffiziente Gebäuderegulung SmartHome	Industrie; Zogg David	Trayler James
4299-S	Katzenlift (Lift mit Sensoren für Hauskatzen in Mehrfamilienhäusern); Weiterführung	Industrie; Schorpp Richard	Meier Benjamin Makhzan Mohammad
4305-S	Konzeption und Simulation Food Service Roboterzelle	Industrie; Anderegg Roland	Vögeli Thomas Villiger Patrick
4307-S	Innovative Prüfstandtechnik für Eisenbahndrehgestelle	Industrie; Anderegg Roland	Dreier Thomas Blum Jérôme
4310-S	Retrofit einer Thermoformanlage	Industrie; Hauswirth Karl	Sekulic Marco
4311-S	Steuerung für Minergie-Modul Sonnenschutz	Industrie; Degunda Niklaus	Enst Benjamin Hugi Dominik
4315-S	Digitalstromwelt und Gebäudeautomation	Industrie; Degunda Niklaus	Freudemann Reto Schraner Marco
4320-EIT	Machbarkeitsstudie nachführbare, intelligente LED Beleuchtung	Uni Basel; Eisenecker Jean	Chalçon Mark Schneider Eric
4322-EIT	Ausbau eines Roboters zur Herstellung von mikro- und nanostrukturierten Oberflächen	CSEM; Eisenecker Jean	Calatayud Yohan
4327-S	Klimatests mit automat. Wärmeprüfschrank	Industrie; Sekler Jörg	Gautschi Daniel
4328-S	Aktorik/Mechanik-Nachrüstsatz für niederflurtauglichen Elektrorollstuhl	Industrie; Kobler Stefan	Erni Marco
4335-S	Benutzerverhalten & Energieverbrauch	Industrie; Degunda Niklaus	Carritiello Mario
4337-S	Industrialisierung Fenster- und Storenreinigungsroboter	Industrie; Keller Jürg, Kobler Stefan, Rüfenacht Daniel	Hofer Tobias
4341-S	Innovative Ideen zur Ökologie von Haushaltapparaten und ihrer Anwendung	FHNW mit FEA; Zogg David	Elmiger Andreas Surbach Marco
4342-S	Verbesserung von Materialprüfsystem im PSI-Hotlabor	PSI; Sekler Jörg	Rebac Tomislav Schmidt Marcus
4345-S	Strommessung auf Hochpotenzial an einem kompakten Ionenbeschleuniger	PSI; Stuber Bruno	Bissels Wilhelm-Martin
4347-S	Darwin 21	Industrie; Kobler Stefan	3 Gruppen à 8 Studierende
4353-EIT	Boardcomputer zum Nachrüsten für Kraftfahrzeuge	FHNW, IA; Gysin Hans	Schalla Philippe
4365-S	Grundlagen und Recherche mobile Roboteraktoren	Industrie; Anderegg Roland	Limberger Raffael Reinhardt Tobias
4368-S	Sportsimulator entwickeln	FHNW, IA; Zogg David	Elmiger Andreas Surbach Marco
4371-S	Steuerung & Messdatenerfassung Gaskreislauf	PSI; Stuber Bruno	Bissels Wilhelm-Martin
4372-S	SmartHome Demonstrator	Industrie; Zogg David	Keel Manuel Trayler James
4373-S	Konzept Stützfahwerk und Simulationen für MonoTracer Fahrzeug	Industrie; Zogg David	Bösch Philipp
Bachelor Theses / Diplomarbeiten 2012 inkl. vorgängiger Studierendenprojekte 5. Semester			
4231-S	Nanoskopische Oberflächenanalyse optometrischer Komponenten mittels AFM	FHNW, IO; Sekler Jörg	Breitenstein Martin
4288-S	Aktiviertes Fräsen im Bergbau	Industrie; Kurmann Lukas	Wyss Dominik
4293-S	Regelung Wärmepumpenprüfstand - Umsetzung	FHNW, IA; Zogg David	Jurt Dominic
4297-S	Beobachter für Schafantrieb von Bandwebmaschinen	Industrie; Zogg David	Küng Florian
4298-S	Validierung verschiedener Raummodelle für die Gebäudesimulation und Entwurf eines modellbasierten prädiktiven Reglers	Industrie; Degunda Niklaus	Ruesch Markus

4303-S	Real Time Widerstandsermittlung am DC-Motor mittels Modulation	Industrie; Keller Jürg Peter	Keller Oliver
4306-S	Roboter gestützter Sandstrahlprozess in der Medizinaltechnik	Industrie; Anderegg Roland	Kalt Simon
4308-S	Dynamisches Verhalten eines Schleif-Roboters	Industrie; Edelmann Max	Lüthi Andreas
4309-S	Elektroengineering und Softwareentwicklung einer 3-Achsen-CNC Multifunktionsanlage	Industrie; Burkhard Gregor	Gloor Marcel
4317-S	Modellerweiterung des Schwingungssystems mittels frequenz- und amplitudenunabhängiger Anregung	Industrie; Edelmann Max	Engeler Matthias
4318-S	Automation der Produktion von Solarstorenlamellen	Industrie; Anderegg Roland	Würmli Daniel
4319-S	Adaptivregler für die Gebäudeautomation	Industrie; Degunda Niklaus	Henninger Raffael
4323-S	Stanzprozessdiagnose mit Vibrationsanalyse	Industrie; Hauswirth Karl	Hänggi Andreas
4325-S	Performance-Optimierung von UHV-Anlagen mittels Vakuum-Simulationstools	Industrie; Sekler Jörg	Schwarb André
4326-S	Ergänzung eines automatisierten Dispensertisches mit miniaturisierten Fluidik-Drückdüsen	FHNW, SG S; Sekler Jörg	Mösch Andy
4332-S	High Resolution Mobile Binocular Eye Tracker	FHNW, IO; Nouri Taoufik	Fleischmann David
4333-S	Elektronischer Wasserzähler mit Energy Harvesting	Industrie; Gysin Hans	Schneider Livio
4338-S	DaNI-Roboter für Unterricht	FHNW, IA; Keller Jürg Peter	Hänni Matthias
4339-S	Next Generation Quadcopter	FHNW, IA; Kurmann Lukas	Reimann Rafael
4340-S	Traktionsregelung für Lokomotiven	Industrie; Hauswirth Karl	Montani Michael-Leo
4343-S	LabView Programmierung eines Laser-Transfer-System	PSI; Keller Jürg Peter	Gysel Fridolin
4344-S	Analysegerät für den Betrieb von Lackieranlagen	Industrie; Hauswirth Karl	Niggli Beat
4349-S	Optische Inspektion von Glasprodukten	Industrie; Eisenecker Jean	Renggli Marco
4350-S	Mobile Automation eines autonomen Traktors	FHNW, IA; Anderegg Roland	Schatzmann Daniel
4351-S	Steuerung Zeilenwagen	Industrie; Hauswirth Karl	Eichelberger Lothar
4352-EIT	Durchflussmessung	Industrie; Ganzmann Peter & Meier Matthias	Merkert Sven
4354-EIT	Android-basiertes Home Automation System	FHNW, IA; Meier Matthias	Baumann Stefan Keller Benjamin
4356-EIT	Optimierung Indoor Tracking System	Industrie; Meier Matthias	Moser Manuel
4359-EIT	High Speed USB-Scope	FHNW, IA; Meier Matthias	Gärtner Florian Schneider Julian
4360-S	Integration von neuen Reglerentwurf-funktionen in Octave	FHNW, IA; Keller Jürg Peter & Buchmann Hans	Reichlin Lukas
4374-S	Ansteuerung Labor-Wasserturm mit LabVIEW	FHNW, IA; Zogg David	Rodler Andreas
4375-EIT	Stresstest eines 2,5D Barcodes	Industrie; Eisenecker Jean	Cancarevic Igor Nissinen Toni
4376-EIT	Wireless Mikrodatenlogger für Botanik	Uni BS; Eisenecker Jean	Bänninger Simon Bilgerig Guy
4437-S	Rechnende Grafikkarten 2	FHNW, IME; Buchmann Hans	Hofer Tobias
4438-S	Roboter automation in der Fertigung	Industrie; Anderegg Roland	Küng Florian

Master of Science in Engineering (MSE)

Laufende/abgeschlossene Vertiefungsprojekte für Masterstudierende

Betreuer	Studierende	Beschreibung	Projekt
HS 2011			
Anderegg	Birrer Claudio	Adaptive, geregelte Gummidämpferelemente für Verdichtungsmaschinen	P7a
Anderegg	Edelmann Max	Automation des Einrichtprozesses eines Schleifautomaten	P7
Keller	Wiedmer Sandro	Nichtlineare Schwingungen beim aktivierten Fräsen	P9
Stuber	Treyer Daniel	High Speed FFT Algorithmen in FPGA	P8a
FS 2012			
Anderegg	Niederberger Stefan	Modellierung und Validation eines Hydraulikantriebes	P7a
Anderegg	Birrer Claudio	Modellierung und Validation eines Drehgestellprüfstands	P7b
Anderegg	Edelmann Max	Prozessmodellentwicklung des roboter gestützten Schleifens von Armaturen	P8a
Stuber	Treyer Daniel	High Resolution FFT Algorithms in FPGA	P8b



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

Leiter Institut für Automation

Prof. Dr. Roland Andereg

T +41 56 202 77 43, roland.andereg@fhnw.ch

Sekretariat Institut für Automation

T +41 56 202 75 28, info.ia.technik@fhnw.ch

Weiterbildung MAS Automation Management

Studiengangleiter Prof. Dr. P. Jürg 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
Steinackerstrasse 5
CH-5210 Windisch

www.fhnw.ch/technik/ia