

SGA – ASSPA – SSAC BULLETIN

Nr. 60 – Automatisches Testen von Regelkreisspezifikationen

Editorial

Sehr verehrte Mitglieder,

zum Jahresende können wir Ihnen nochmals ein Bulletin anbieten, das drei interessante Beiträge enthält. Zuallererst möchte ich den Beitrag von Herrn Barp von der Firma Esec erwähnen, der einen interessanten Einblick in das Quality Management von mechatronischen komplexen Anlagen mit hohen Präzisionsvorgaben gibt. Er zeigt wie moderne Softwaretools diese anspruchsvollen Kontrollaufgaben effizient unterstützen können.

Im zweiten Beitrag stellt unser neues Vorstandsmitglied David Dyntar das Studentenprojekt SunCar an der ETHZ vor. In diesem Projekt arbeiten interdisziplinäre Studententeams an der Realisierung eines Elektroautos. Der Fokus eines solchen Projektes ist projektorientiertes Lernen im Team.

Der dritte Beitrag ist der von Herrn Kirchhofer verfasste Bericht über den Besuch der Organisation sensors.ch am Autonomous Systems Lab (ASL) an der ETHZ. Verschiedene Roboterprojekte werden in einem interessanten Überblick mit den wichtigsten Eckdaten beschrieben. Solche Besuche von Laboratorien oder Firmen sind für die sensors.ch Mitglieder sicher von grossem Wert.

Es verbleibt mir nun noch zum Schluss allen Beteiligten, die zum Gelingen der Bulletins beigetragen haben, ganz herzlich zu danken.

Ich hoffe, dass wir Ihnen nächstes Jahr wiederum drei interessante Bulletins zur Verfügung stellen können und wünsche Ihnen zum Schluss alles Gute zum neuen Jahr.

Freundliche Grüsse Peter Gruber



Kontakt

Dr. Peter Gruber
 Rittmeyer AG
 Inwilerriedstr. 57
 6341 Baar

E-Mail: peter.gruber@rittmeyer.com

Internet: www.rittmeyer.com

HSLU Technik & Architektur
 Technikumstr. 21
 6048 Horw

E-Mail: peter.gruber@hslu.ch

Frohe Weihnachten

Der Vorstand und das Sekretariat wünschen allen Mitgliedern frohe Weihnachtstage und ein erfolgreiches glückliches 2012!

An dieser Stelle danken wir Ihnen für Ihre Treue zur SGA und würden uns über Ihre Wünsche und Anregungen an die SGA freuen.



Inhalt

Editorial	1
Quality Management Supported by Automated Monitoring of Closed-Loop Controller Performance	2
ETH-Studentenprojekt SunCar	10
Auszug aus den IFAC-News	17
Neues aus der SGA	17
sensors News	18

Quality Management Supported by Automated Monitoring of Closed-Loop Controller Performance



Abstract

Designing a new die bonder platform, with up to 50 closed-loop controlled axes, is a big task – for the whole company. From an engineering point of view, the main challenge is to guarantee a reliable and cost efficient design for all axes. Thorough and frequent performance measurement is a key factor to assure a consistent quality.

Automated testing and analyzing of all closed-loop controlled axes crucially accompanies the manufacturing and assembly processes of the prototype and series machines. It guarantees a constant quality, keeps warranty issues at a minimum, and helps to focus the engineering and operational efforts.

This report highlights Esec's approach to assure the machine's quality over all life time cycles; starting with the design phase and the prototype series up to the series production and the continuous improvement process. It is shown, that automated measurements and analyzes of axis performance – paired with closed-loop controller know-how – are the factors of success.

About Esec

Esec develops and manufactures *die bonders* for the semiconductor industry. Die bonding is one of the many process steps during the so called *semiconductor packaging*.

Of the entire semiconductor production process, the cost-intensive *front end* yields the wafers with the semiconductor chips, the *dies*.

Die bonding and *wire bonding* are process steps of the *back end*, i.e. the semiconductor packaging. Nowadays, Esec supplies only machines for the die bonding process step. Up to the year 2010, Esec was also a supplier of wire bonding equipment.

Kontakt

Mario Barp
Senior Mechatronics Expert
Esec Ltd.
Hinterbergstrasse 32
6330 Cham, Switzerland
Phone: +41 41 749 5435
Fax: +41 41 741 6484
<http://www.besi.com>

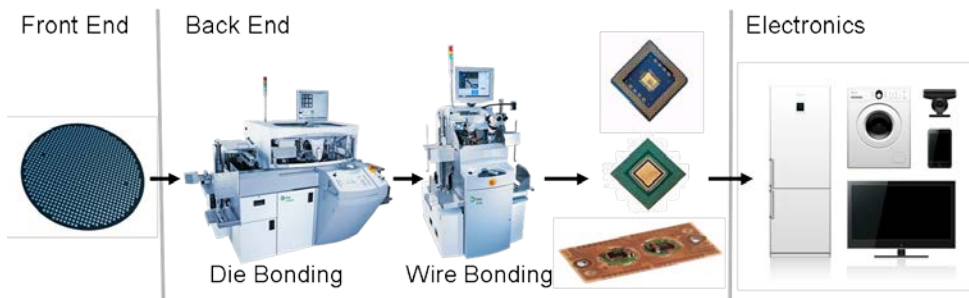


Figure 1: Connect the micro to the macro World

Figure 1 Connect the micro to the macro World – gives a rough overview where Esec's equipment is used in the semiconductor manufacturing process. Please note; there are many other packaging process steps which are not covered by Esec equipment.

Die Bonding Overview

Figure 2 gives a simplified overview of the die bonding process. Essentially, a *die* is picked from a semiconductor *wafer* and bonded with conductive *epoxy* to a *substrate*.

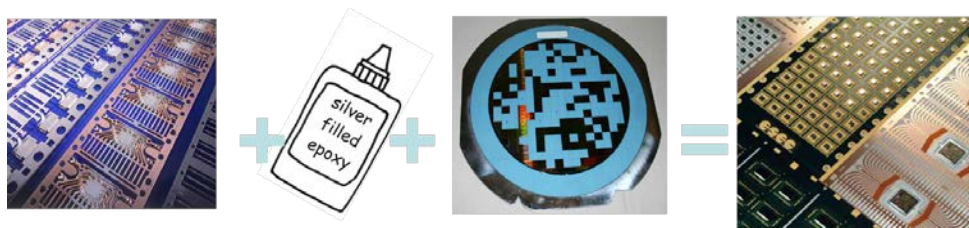
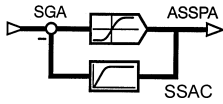


Figure 2: Die bonding



A die bonder comprises the following four major functionalities:

- *Load, transport, and position* a substrate. *Unload* the processed substrate.
- *Dispense* conductive epoxy onto the substrate.
- *Load and position* a semiconductor wafer.
- *Pick* a semiconductor die from the wafer and *place* it on the dispensed epoxy.

Obviously, a particular implementation of the listed functionalities has to be very flexible. A die bonder has to be able to process many different variations of substrates, epoxies, wafers, and dies.

Die Bonding Functionality Details

To implement the above mentioned functionalities, with appropriate flexibility, many freely programmable closed-loop controlled axes are required. Depending on the installed options, Esec's die bonders are equipped with 30 to 50 closed-loop controlled axes:

- A substrate can be either loaded from a stack (three axes) or from a magazine (three axes). Some die bonders have both – a stack and magazine loader – installed.
- Positioning the substrate is accomplished with nine to 13 axes, depending on the specific substrate type.
- Dispensing conductive epoxy onto the substrate requires four axes, including one vision axis.
- The wafers are supplied in cassettes. Loading a wafer from a cassette and properly preparing it for the die bonding process requires six axes.
- Esec's solution to pick a die from the wafer and bond it onto the substrate has between eight and eleven axes, including one vision axis. For a flip-chip process, three more axes will be needed.
- Finally, unloading the processed substrate into a magazine needs another four axes.

The installed options, and thus the number of axes, depend strongly on the product types the customer wants to assemble on a specific machine. Special customer needs may require additional modules (with five and more axes), which are not included in above compilation.

Also, not mentioned are some further closed-loop controllers, like the dispensing controller (to control the flow of the epoxy) and the pneumatic bond force controller.

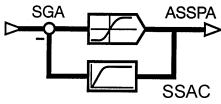
Contents and Organization of this Report

A few years ago, Esec had the need to develop a new generation of die bonders. Dimensioning of up to 50 closed-loop controlled axes, verifying the design, assuring specified performance, guaranteeing proper assembly, and shipping top quality machines is a huge engineering task.

Fortunately, in recent years the possibilities of monitoring and assessing closed-loop controller performance has become increasingly easier. A log record of any controller variable can be obtained with just a few mouse clicks. Thus, measuring, analyzing, and documenting the controller performance can easily be automated.

In this report Esec highlights the crucial contribution of closed-loop control knowledge during the machine's different life time cycles.

- **Design phase:** Ensure that the machine is engineered, i.e. it complies with the specifications. Support and guide the axis dimensioning process. Verify the design through comprehensive measurements.
- **Start of series production:** Prepare measurement procedures for the subcontractors to guarantee the delivery of top quality modules. Detect assembly and design issues early.
- **During series production:** Before shipment, automatically verify the performance of each axis on every machine. This effectively avoids premature failures, thus minimizing warranty issues.
- **Continuous improvement process:** Periodically monitor the axis performance to detect possible quality issues, early. Always know the performance (accuracy and speed) bottlenecks of the machine.



Machine Design Phase

Clearly, the base line is the target machine performance, i.e. *processed units per hour*.

Before the design of the axes was started, the process cycles of many different machine layouts were simulated. For each studied machine configuration a typical cycle time per axis was calculated. The question was then: Can the axis be designed to reach the required cycle time with «reasonable» accelerations and velocities? Based on many simulations, the most effective machine layout was chosen.

For the selected machine layout the required acceleration, velocity, and duty cycle per axis were derived. Target settling times and accuracies were defined, too. *As good as needed* (and not as good as possible) was the basic design principle.

Then, all axes were assigned to one of four performance categories: «very high», «high», «average», and «low». Each category constitutes a target frequency for the closed-loop bandwidth. At this point, the design specifications were complete. The axis design process was conducted according to the defined guidelines, [1].

Before any parts were released for manufacturing, the axis design was reviewed. Some of the points to be discussed were:

- Are the motor type, the motor size, and the gear ratio properly selected?
- Is the mechanical design stiff enough to guarantee the desired settling time? That is, are the eigen-frequencies high enough for the required closed-loop bandwidth?
- Is the torque margin high enough – considering worst-case part variations – to guarantee proper operation of the axis?

During the design process the various design parameters (motor constant, gear ratio, spindle pitch ...), mechanical properties (inertia, estimated friction ...), electrical properties (peak current, RMS current ...) were systematically collected. Based on the collected data and the particular performance category the closed-loop controller parameters were calculated by the pole placement method, [2]. Esec employs a computed torque controller, that is, depending on the desired acceleration and velocity an appropriate feed-forward torque is applied. The feed-forward parameters were calculated, too.

It was a requirement to have the commissioning time as short as possible. With the described process flow the engineers tried to meet this requirement.

Once the functional prototype of an axis was available, it could be commissioned within a very short time. After only two weeks, 30 axes were up and running. Of course, not all «high» performance axes met the requirements, yet. Though, all «medium» and «low» performance axes would meet the specifications basically from the first start-up. The most noteworthy point was: After two weeks, all axes could be operated such that the mechanical engineers could start with the design verification. Software engineers could start testing process sequences.

The design verification was closely accompanied by the control engineers. They verified maximum acceleration, maximum velocity, friction torque, torque margins, settling times, settling accuracy, and so on.

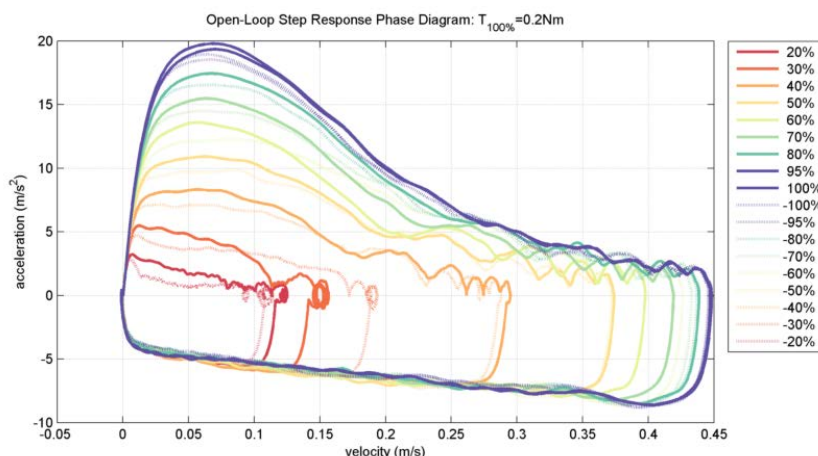


Figure 3:
Open-loop step response

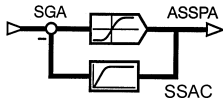


Figure 3, 4 and 5 show some measurement results:

With the measurement of the open-loop step response (Figure 3) the calculated maximum acceleration and maximum velocity are verified. That is, are the mass inertia, the motor torque constant, and the viscous friction within the expected range?

Figure 4 shows a measurement of the motor current consumption at a low, constant speed – over the whole travel range of the axis. It gives the engineer an impression of the system's Coulomb friction. Coulomb friction can be a serious issue on axes equipped with low-cost, self-locking spindles, if the torque margin is small.

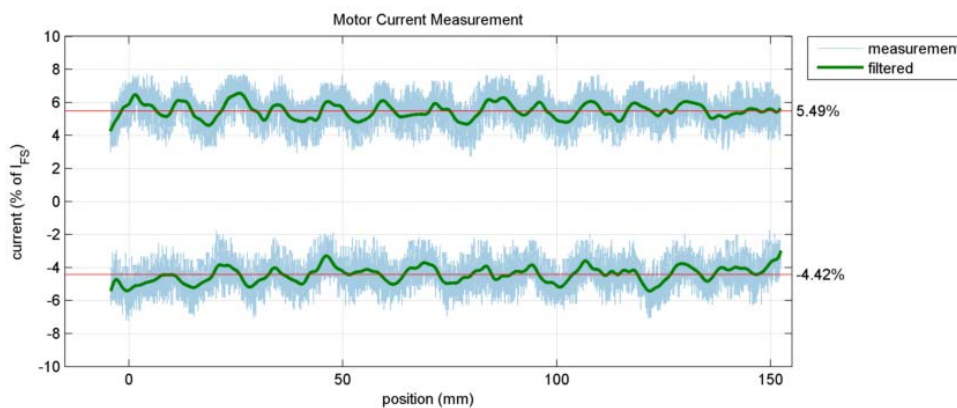


Figure 4: Motor current consumption at low, constant speed

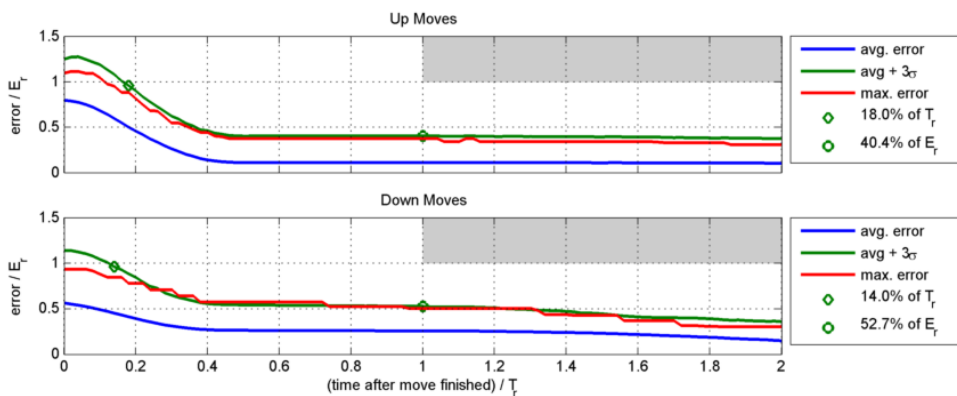
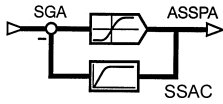


Figure 5: Performance of the settling behavior

Figure 5 shows a measurement of the settling behavior. That is, it shows how the controller error behaves over the time of the settling phase. Both, the controller error and the time are scaled with the earlier defined target time T_r and the accuracy E_r (error), respectively. The reader may notice that the plot contains three traces, namely «avg. error», «avg + 3σ », and «max. error». The motivation is the following: For all operating conditions, the budgeted settling performance has to be guaranteed; that is, independent of the move length or the move position. Thus, for each move direction (Esec calls them *up* and *down*) a certain number of moves (e.g. 200) are performed.

- Each move starts at a random position and has a random length. Obviously, the start positions and move lengths are chosen to be within a certain, process-related range.
- Once the move is finished, i.e. the commanded velocity is zero, the settling phase starts. This phase is statistically analyzed. For example, at each sampling instance – of the settling phase – the average error over all conducted moves is calculated. Thus Esec's reported settling behavior is a statistical value.
- This approach effectively hinders the control engineers to optimize the closed-loop controllers for a particular move distance. Since the specified machine performance has to be guaranteed for all possible operating conditions, the defined axis settling time has to be observed for all relevant move distances.



Eventually, the control engineers helped configuring endurance tests, which ran whenever possible. As a continuous monitoring process, every few weeks, the axis performance was re-measured, and compared against the original results. Not unexpected, the performance of a few axes started deteriorating prematurely. This performance monitoring allowed the engineers to detect and investigate design issues early. Problems could be solved, e.g. by re-design, before a large production lot was ordered.

Employing closed-loop control knowledge from the very beginning of the development process – a long time before the first machine is fully functional – increased the efficiency of the design process drastically. Necessary design improvements were identified and initiated early. Closed-loop control know-how was a crucially companion of the design principle «as good as needed», i.e. as cost efficient as possible.

Prototype Production

On «older» controller platforms, monitoring controller performance required a lot of (mostly) manual steps. Possibly even some auxiliary hardware had to be installed to do the desired monitoring. Automation of such tasks was usually not possible at all – or very costly.

In recent years the possibilities to monitor and assess closed-loop controller performance has become increasingly easier. A log record of any controller variable can be obtained with just a few mouse clicks. These mouse clicks can be automated and applied to every axis. Thus, a wealth of data is available, ready to be analyzed.

To test the machine's sub-modules Esec extensively employs automated measurements. During the initial phase of the prototype production it was crucial to check the proper assembly of the modules. Through systematic measurements a long list of problems was detected; for example misalignment between spindle and linear bearings, wrong belt tension, loose screws, and so on. However, at that stage of the project, the analysis of the measurement data was only partially automated. The most essential test was the visual inspection of the measured curves.

All sub-modules are assembled by subcontractors. The final assembly of the machines is done in-house. Esec wants to mount defect-free components, only. Thus, Esec equips the subcontractors with test infrastructure to automatically measure the subassemblies. These measurements effectively point out imperfections in the assembly process. The subcontractors learned very fast, where they had to improve their quality – which the critical assembly steps are. Today Esec's subcontractors only ship modules which passed the defined tests.

Not unexpected, during the prototype production some additional issues were detected, e.g. an axle which was not properly tolerated. Measuring the motor current showed – on some machines – strong variations along the travel range, see Figure 6. The variation was caused by an eccentric axle. Obviously, this eccentricity causes excessive contact pressure on the gear wheels. Premature failure would be the result, causing warranty claims. Even worse, searching for the root cause of this problem would bind a lot of valuable engineering resources.

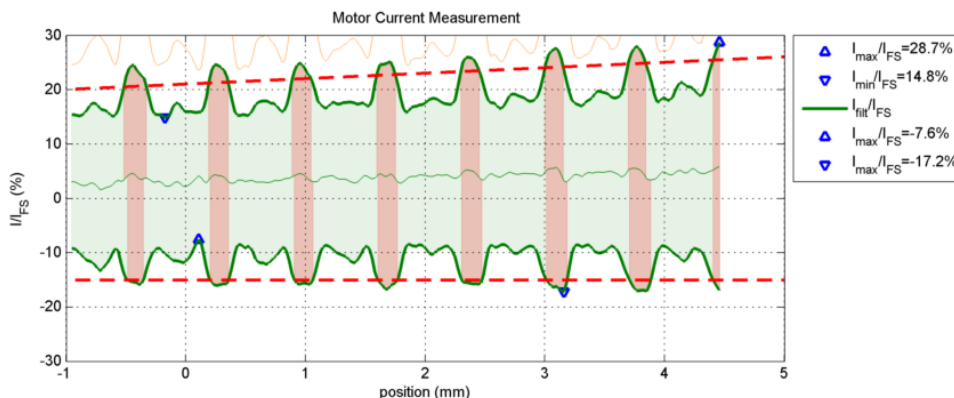
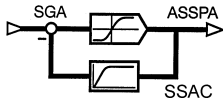


Figure 6:
Motor current consumption
with eccentric axle



Based on the prototype machines, the controller tunings had to be finalized. Esec's policy is to ship all machines with the same set of closed-loop parameters. For this purpose the settling behaviors of several machines were measured and an overview generated. Figure 7 shows an example of such an overview. Each spot in Figure 7 represents the settling behavior of one particular axis (across) on one particular machine (down). The size of the spot gives a quantitative indication about the settling behavior. Small green and red marks indicate that the specification was met respectively missed by a small margin. A large green spot indicates a comfortable fulfilment of the requirement. Missing the specification by a good margin is indicated with a large red spot.

Such overviews show, where improvements are necessary – where to focus the development effort. Typically, axes which fail to meet the specifications with a considerable rate require effort from the engineering department. Axes which fail sporadically, need attention from the manufacturing respectively assembly side.

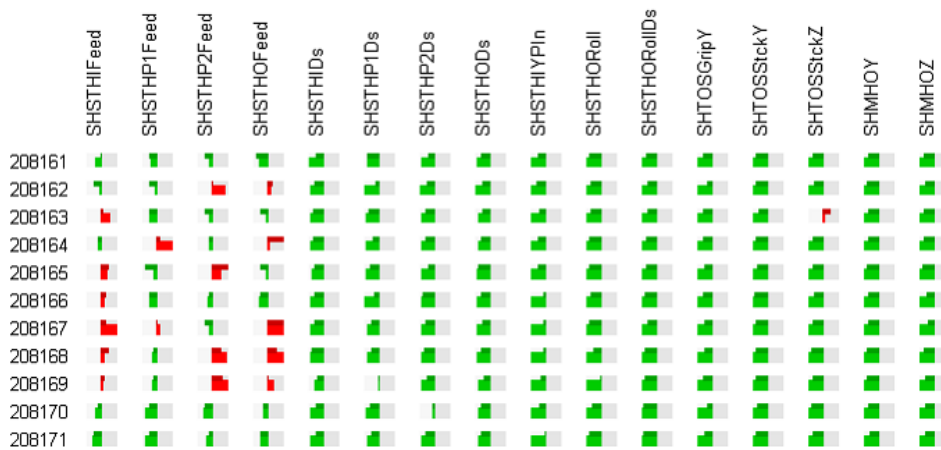


Figure 7: Overview of settling performance

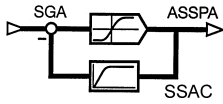
During commissioning and testing of the prototype series, closed-loop control knowledge helped focusing the development effort. With the closed-loop know-how the engineers efficiently identified further necessary design improvements. Specifically, the control engineers were responsible to identify the origin of bottlenecks. Are they due to the electronics power stage, the motor sizing, the drive train, or the stiffness of the mechanical design?

With the considerable assistance of closed-loop control know-how, the prototype machines had a constant, uniform quality, i.e. they all met the design specifications. Quality issues, frequently arising during the startup of a new production, were detected and corrected before the first «real» production lot was ordered.

Series Production

Esec's subcontractors only deliver subassemblies which passed the defined tests. However, the subcontractors do not have a machine base to mount the subassemblies on. Though, a solid machine base would be required to perform meaningful, dynamic tests at maximum acceleration and maximum speed. This is a relatively small compromise. Since with the defined testing procedures most of the assembly issues are detected early enough, essentially before a module is mounted on the machine base at the final assembly site.

Today, before a machine is shipped, the performances of all axes are measured – at full dynamics – and analyzed. Measuring and analyzing are fully automated. The whole procedure takes about one hour. That is, a whole machine can be completely tested during the lunch break. For convenient inspection of the results, a HTML report is generated. An overview tells the assembly technician right away which axes passed and which axes failed (Figure 8).



The result overview is linked with the measurement details. So, with just a mouse click the details of any axis measurement can be inspected. By inspecting the detailed analysis, an experienced assembly technician typically knows right away which corrective measures have to be initiated. The implemented measurement procedures help highlighting possible issues. Nonetheless, well trained assembly technicians are essential to draw appropriate conclusions and efficiently resolve the issues.

Results

Pick & Place	Dispenser	Die Carrier	Substrate Handler
✔ PPBAY	✔ DIEpxShY	✔ DCWHWTX	✔ SHTOSGripY
✔ PPBAPhi	✔ DIEpxWrX	✔ DCWHWTXshort	✔ SHTOSStckY
✔ PPBAX	✔ DIEpxWrY	✔ DCWHWTY	✔ SHTOSStckZ
✔ PPBAZ	✔ DIEpxWrZ	✔ DCWHWTYshort	✔ SHTOSStckZ
✔ PPBHTheta2bar		✔ DCWHExpZ	✔ SHSTHIYPIn
✔ PPBHTheta4bar		✔ DCWHExpRot	✔ SHMHIY
✘ PPBVI		✔ DCWHGripY	✔ SHMHIZ
			✔ SHMHIPIn
			✔ SHSTHIFeed
			✔ SHSTHP1Feed
			✘ SHSTHP2Feed
			✔ SHSTHOFeed
			✔ SHSTHIDs
			✔ SHSTHP1Ds
			✔ SHSTHP2Ds
			✔ SHSTHODs
			○ SHSTHP1DhMot
			○ SHSTHP2DhMot
			✔ SHSTHORoll
			✔ SHSTHORollDs
			✔ SHMHOY
			✔ SHMHOZ

Figure 8: Result overview

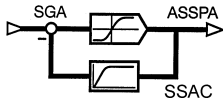
Basically, prior to the machine's shipment the same measurements and analyzes are conducted as for the prototype series: motor current consumption, settling performance, and maximum controller error. Since the subassemblies are fully tested by Esec's subcontractors, no axis should fail this pre-shipment test. Naturally, during the shipment of the subassemblies or the machine's final assembly, some things can go wrong, too. Pinched cables, machine covers touching axes, dusty linear bearings are only a few examples of detected quality issues which were resolved before shipment.

Testing of all axes (100%) is an invaluable contribution to keep warranty claims at a minimum. Quality issues are detected and solved in-house, before the customer puts the machine into service. Within only six months, Esec managed to ramp the new machine platform to full production.

Continuous Improvement Process

During the series production, time series analyzes of the measurement results are periodically conducted. This way, unreported modifications, which have an impact on the axis performance, can be detected. Needless to say, Esec also measures and assesses the impact of announced modifications.

Figure 9 shows, how a planned modification changed the settling behavior. One of Esec's motor suppliers announced a minor design change. A change of the settling performance was expected, however small enough to have a noticeable impact on the overall machine performance.



From the analysis of the time series one can tell, when the modification was phased-in – around machine index $k+240$. The impact on the performance was not alarming, indeed.

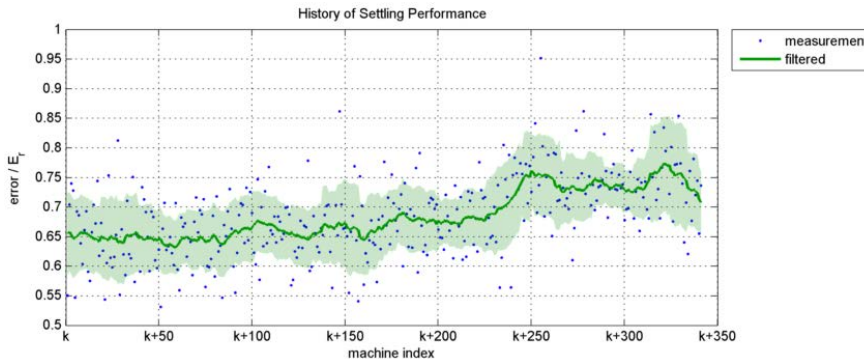


Figure 9: Time series of settling behavior

With the available measurements, detailed and up-to-date axis data can be retrieved, at any time. That is, if a new process feature or a general machine speed-up is required, the engineers know right away where the bottlenecks are. Basically, by the push of a button the following questions can be answered:

- What is the motor current margin regarding maximum current and duty cycle of each axis?
- To achieve the modified specifications, which axes need a redesign? Which axes allow a speed increase, without redesign?
- What is the achievable accuracy? That is, which axes limit the machine's accuracy?

With all this information readily available, engineering effort estimations are of high quality. The estimated efforts, to realize a new process feature or a general machine speed-up, are sound and reliable. The continuous improvement process is driven very efficiently towards the most reasonable solution.

Employing closed-loop controller know-how results in a permanently high machine quality, considerable time savings, and a more considerate usage of valuable engineering resources.

Conclusion

This report outlines the process of how Esec *engineered* a new machine platform. The main challenge was to design up to 50 axes, mostly simultaneously.

To assure a reliable and consistent design of all axes, an appropriate design process was defined. One key point was the design principle «as good as needed». The axes were categorized according to the specifications: accuracy, settling performance, and duty cycle.

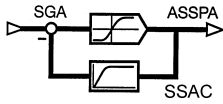
Very crucial was the involvement of closed-loop controller know-how, fully utilizing today's controller platform capabilities, the automated measurement of controller performance, and the extensive analysis of the measured data.

During the design of a die bonder the different engineering departments – mechanical, electronics, software, and process – have to cooperate very well. However, to check and verify the machine's specifications, closed-loop controller know-how is today the crucial link between the different engineering departments, helping to identify and resolve problems and bottlenecks, early.

With the implemented, automated measurements a lot of design and assembly questions were answered long before the first machine was installed at the customer's site. Esec never attempted to calculate the benefit of the implemented test procedures. However, since the launch of the new machine platform, there were hardly any quality or warranty issues. Thus, the author is convinced that the effort is well worth the benefit.

References

[1] Christian Saner, *A Design Guideline for Robust High Performance Axes*, Proceeding of the IEEE International Conference on Mechatronics, 2004. ICM '04.
[2] A.H. Glattfelder, W. Schaufelberger, *PID-Technik, Eine Einführung*, SGA LernModul Nr. 14/15, 1999.



ETH-Studentenprojekt SunCar Entwicklung und Realisierung eines Elektroautos



1 Einleitung

Elektromobilität ist ein wichtiges Element einer klimagerechten Energie- und Verkehrspolitik. Sie ermöglicht die beinahe CO₂-freie Fortbewegung, wenn Fahrzeuge mit Strom aus der Sonnenenergie oder anderen erneuerbaren Energiequellen geladen werden. Damit wird es in Zukunft möglich sein, unabhängig von fossilen Brennstoffen zu werden und auch in Zeiten knapperen und teureren Öls eine erschwingliche Mobilität zu gewährleisten [1].

Die Aussichten für Elektrofahrzeuge haben sich in der jüngeren Vergangenheit wesentlich verbessert. Unter anderem getrieben durch den Klimawandel, strengere CO₂- und weitere Emissionsvorschriften sowie den prognostizierten Trend zu steigenden Ölpreisen, hat ein Paradigmenwechsel stattgefunden. Erneuerbare Energiequellen, Umweltschutz und Energieeffizienz nehmen in der öffentlichen Wahrnehmung einen immer höheren Stellenwert ein. Dies ist eine Entwicklung, die direkten Einfluss auf die Gestaltung zukünftiger Fahrzeuggenerationen nimmt.

Die zunehmende Verknappung und Verteuerung natürlicher Ressourcen macht die Entwicklung und Realisierung innovativer batteriebetriebener Elektrofahrzeuge für den Strassenverkehr unabdingbar. Aufgrund der erheblichen Unterschiede dieser Fahrzeugkonzepte gegenüber gegenwärtigen, auf Verbrennungsmotoren basierenden Antrieben, ist die Umgestaltung und Neuentwicklung nahezu der gesamten Fahrzeugarchitektur notwendig.

Kontakt

Dr. David Dyntar
ETH Zürich

DavidDyntar@ethz.ch
www.sun-car.ch



Abb. 1 links:
SunCar anlässlich der European Fuel Cell Conference im KKL-Luzern

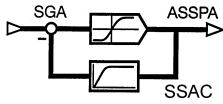
Abb. 2 rechts:
SunCar-Team 2011 vor dem Hauptgebäude der ETH-Zürich

Das Energy Science Center der ETH Zürich stellte sich die Aufgabe, die zukünftige Ausrichtung der Lehre und Forschung auf die grossen Herausforderungen im globalen Umfeld abzustimmen [2]. Damit die hohen gesellschaftlichen Erwartungen erfüllt und die immensen Aufgaben bewältigt werden können, ist die Forschung für ein nachhaltiges Energiesystem auf grundlegendes Wissen und neue Technologien angewiesen. Erforderlich dazu sind auch bedeutende interdisziplinäre Beiträge aus allen Bereichen der Ingenieurwissenschaften und die dazu notwendigen Ingenieurinnen und Ingenieure ohnehin. Abgekürzt lauten die energiestrategischen Ziele der ETH aus dem ESC-Bericht: Die zukünftige Energienutzung soll erneuerbar, effizient und elektrisch sein.

Die heutigen Autos mit Verbrennungsmotoren haben bekanntlich eine tiefe Effizienz, welche sich in Zukunft kaum wesentlich steigern lässt. Dazu verbrennen sie nicht erneuerbare Treibstoffe, welche wir für wichtigere Zwecke brauchen, als sie einfach zu verbrennen. Die modernen, auf elektrischen Komponenten basierenden Fahrzeug-Technologien erlauben jedoch Wirkungsgrade, die um Faktoren höher liegen. Dazu liefert uns die Sonne 10'000 mal mehr Energie als die Menschheit verbraucht.

Für die Erforschung und Anwendung der modernen Technologien werden zukünftig entsprechend ausgebildete Ingenieurinnen und Ingenieure gebraucht. Die Hochschulen reagieren bereits auf diese Entwicklung. Die ETH Zürich bietet unter anderem am IWF-Institut (Prof. Konrad Wegener) interessierten Studierenden mit den so genannten Fokusprojekten im dritten Studienjahr eine forschungsnahe, projektorientierte Ausbildung an.

Ein Fokusprojekt dient dem projektorientierten Lernen. Die in Teams arbeitenden Studierenden konzipieren, gestalten, berechnen und bauen gemeinsam ein Objekt. Im Fokusprojekt SunCar sind dies ein Elektroauto und eine Solartankstelle. Das erforderliche Wissen wird durch Selbststudium, Besuch von Lehrveranstaltungen oder durch Gespräche mit den Professoren, Betreuern und Industriepartnern erworben.



Erfahrene Coaches aus verschiedenen Instituten begleiten die Studierenden bei ihrer Arbeit. Ein besonderer Wert wird auf die Teamarbeit gelegt.

Im Projekt arbeiten Studierende aus den Bereichen Maschinenbau, Elektronik, Informatik und Wirtschaftsingenieurwissenschaften zusammen. Die instituts- und schulübergreifende Zusammenarbeit von angehenden Ingenieuren der ETH-Zürich und den Fachhochschulen NTB-Buchs, HSLU T&A Horw und NTB Burgdorf in einem interdisziplinären Team fördert die nötigen Fertigkeiten für die Entwicklung, Realisation und Vermarktung von innovativen Produkten und bereitet so die Studierenden praxisnah auf ihre spätere industrielle Laufbahn vor.

Im Folgenden wird die technische Realisation des *SunCars* kurz beschrieben. Zunächst wird auf den Bereich Antrieb-Chassis-Fahrwerk eingegangen, danach folgen Details zu Regelungstechnik und Elektronik, zum Range Extender und zum Thermomanagement.

2 Antrieb-Chassis-Fahrwerk

Das Team «Antrieb, Chassis, Fahrwerk» (ACF) besteht aus zwei kleineren Teams, dem Team Structure (ACF-S) und dem Team Mechatronik (ACF-M). Zusammen mit der gesamten *SunCar*-Mannschaft ist die ACF-Gruppe für die Anordnung der Komponenten im Auto zuständig. Die Anforderungen, die dem so genannten Packaging zugrunde liegen, kommen von mechanischer, sicherheits- und wartungstechnischer Seite.

Während sich das ACF-S-Team um den Einbau der Batterien kümmert, nehmen sich die ACF-M-Teammitglieder insbesondere der Befestigung der Motoreinheit an. Da beiden Teams für die Montage ihrer Teilbereiche die gleichen Befestigungspunkte am Chassis beanspruchen, ist ein Hand-in-Hand-Arbeiten der beiden Equipen unumgänglich.

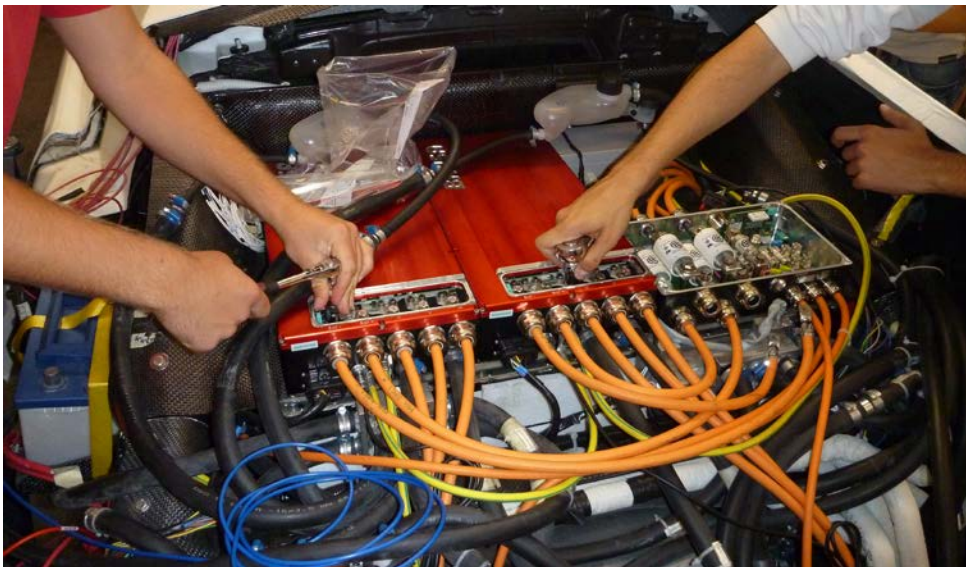


Abb. 3:
Arbeiten am Frequenz-
umrichter

Wegen einer einfacheren Strassenzulassung wurde entschieden das Originalchassis nicht zu verändern. Damit stellt die Konstruktion der Motorenaufhängung eine besondere Herausforderung für das Team dar. Ziel ist es, eine stabile, aber auch leichte Konstruktion zu bauen, die eventuell auch andere Komponenten tragen kann. Ausserdem muss darauf geachtet werden, dass alle empfindlichen Bauteile gut zugänglich sind, um eine schnelle Reparatur zu gewährleisten. Dies ist insbesondere in Bezug auf die Teilnahme an der Wave Rallye wichtig.

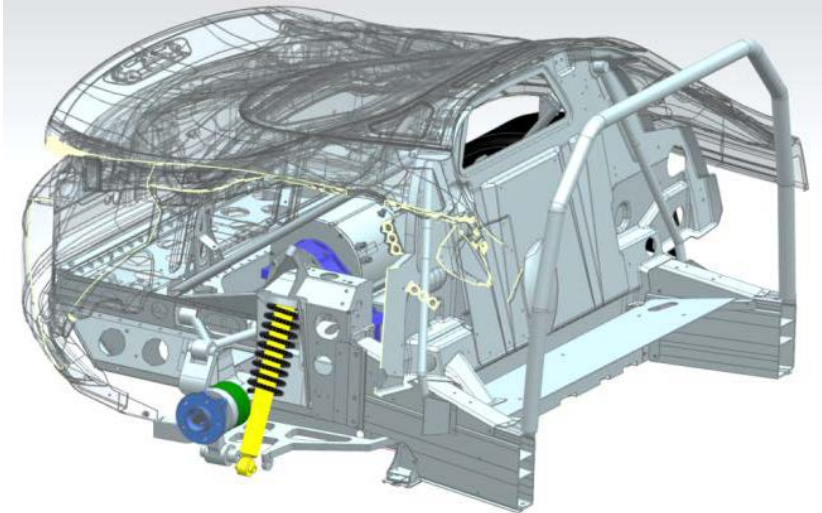
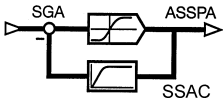


Abb. 4:
Schnittbild des Chassis
und der Karosserie

Die unter diesen Aspekten gewählte Lage des Antriebsstrangs stellt die Grundlage zur Konzipierung einer crashsicheren Aufhängung dar. Das Team ACF-M führt alle Festigkeitsberechnungen und Simulationen zu den unterschiedlichen Lastfällen durch. Anhand dieser Berechnungen werden dann alle CAD-Zeichnungen und eine exakte Dokumentation für die Fertigung und Montage aller Befestigungsteile des Antriebsstranges erstellt.

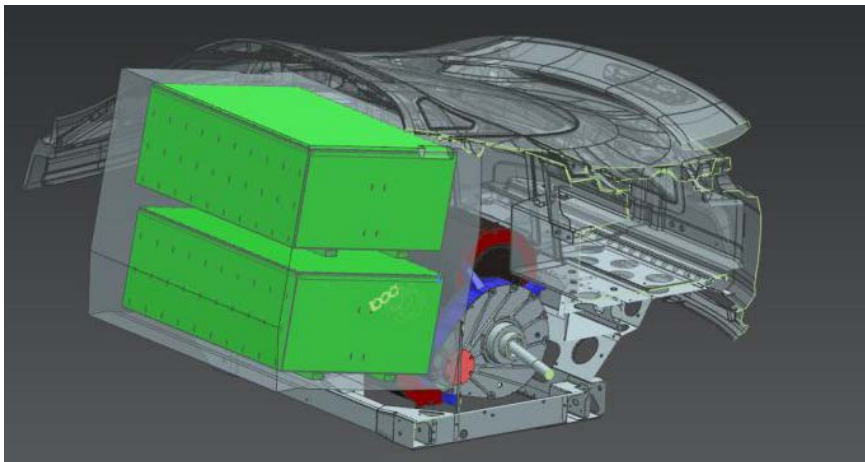
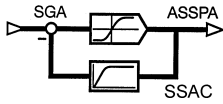


Abb. 5:
Position der Batterien im
Auto

Die Hauptaufgabe des Teams Structure Technologies liegt in der Herstellung einer crashsicheren Box für die Batterien des Fahrzeuges. Die Batterien müssen sowohl im Fahrbetrieb als auch in einem Crashfall in ihrer Position gehalten werden, damit die Sicherheit der Insassen zu jeder Zeit gewährleistet ist. Um weiterhin ein sportliches Fahren zu ermöglichen, ist das Gewicht so gering wie möglich zu halten, weshalb eine Box aus faserverstärktem Kunststoff entwickelt wird. Die Anforderungen an die Struktur werden einerseits durch Berechnungen mit FEM (Finite-Elemente-Methode) als auch mit Materialversuchen geprüft.

3 Antriebskomponenten

Elektromotoren: Für den Antrieb werden zwei Hochleistungs-Synchron-Motoren mit einem Wirkungsgrad von >95% eingesetzt, welche über ein Getriebe je ein Hinterrad antreiben. Die beiden Elektromotoren haben eine maximale Leistung von 250 kW. Das maximale Drehmoment von 500 Nm steht in einem Drehzahlbereich von 0-4'500 rpm zur Verfügung. Die Motoren haben eine maximale Drehzahl von 11'000 rpm. Die Antriebseinheit hat kein mechanisches Differential.



Diese Aufgabe der Drehmomentaufteilung (torque vectoring) übernimmt ein elektronisches Differential in der Vehicle Control Unit (VCU), welches dynamisch für eine optimale Stabilisierung des Autos in Echtzeit sorgt. An den beiden Rädern der Hinterachse stehen 3'000 Nm zur Verfügung. Eine Antischlupfregelung (ASR) unterdrückt ein unerwünschtes Durchdrehen der Räder auf einer glatten Fahrbahn. Ein ESP-System ist geplant. Die beiden Elektromotoren können das Auto in weniger als 5 Sekunden von 0 auf 100 km/h beschleunigen. Der erwartete durchschnittliche *battery to wheel* Verbrauch in Agglomerationsbetrieb ohne Range-Extender wird bei 16 kWh/100 km liegen, was etwa 1.5 l Diesel entspricht.

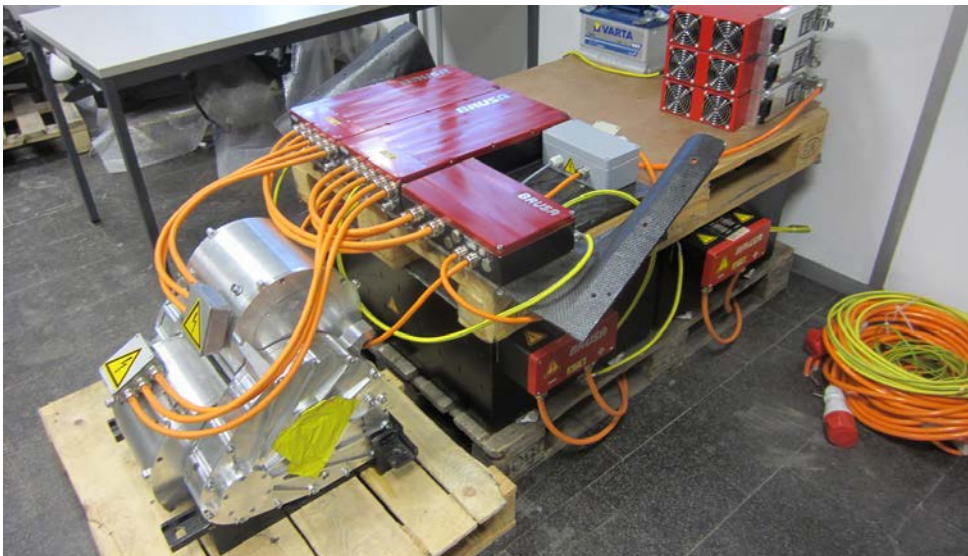


Abb. 6
SunCar-Antrieb mit Batterie
n und weiteren Komponenten
beim Testen.

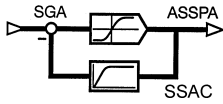
PDU: Die PDU (Power Distribution Unit) sorgt für eine übersichtliche und sichere Hochspannungs-Stromversorgung der verschiedenen Komponenten des Fahrzeuges. Alle Komponenten, die mit Hochspannung funktionieren, sind an die PDU angeschlossen.

Batterie: Die Hochspannungs-Stromversorgung stellen zwei Batterien vom Typ EVB1-400-40 sicher. In jeder der zwei Batterieboxen befinden sich 108 Li-Ionen-Zellen der Firma Kokam, welche in Serie geschaltet sind und eine Nennspannung von 400V haben. Dies ergibt eine nutzbare Gesamtkapazität von 32 kWh. Der maximale Entladestrom beträgt pro Batterie 400 A.

DC-DC Wandler: Da es in einem Elektroauto keinen Alternator gibt, der die 12 Volt Batterie laden könnte, wird dafür ein DC-DC-Wandler vom Typ BSC624 von der Firma BRUSA eingesetzt. Dieser wandelt die Spannung von 400 Volt auf 12 Volt. Gesteuert wird der BSC624 via CAN-Bus. Der DC-DC Wandler kann bidirektional betrieben werden.

Umrichter: Für die Ansteuerung der Synchron-Motoren wird je ein Umrichter vom Typ DMC-534 verwendet. Ein Umrichter wandelt 400 VDC Spannung, welche von den Batterien kommt, in einen steuerbaren Drei-Phasen-Wechselstrom um. Die internen Regler des Umrichters werden über den CAN-Bus angesteuert. Dabei kann zwischen zwei Arten der Ansteuerung gewählt werden. Entweder durch Vorgabe des Drehmoments oder durch Vorgabe der Drehzahl. In beiden Betriebsmodi wird per CAN-Bus nur ein Sollwert vorgegeben und die internen Regler versuchen dann diesem vorgegebenen Sollwert zu folgen, solange keine Limitierungen wie ein z.B. ein maximaler Strom, Drehzahl, Temperatur oder Fehler vorliegen.

Ladegerät: Für das Laden der Batterien sind im SunCar verschiedene Systeme vorgesehen. Einerseits kann aus dem Netz mit Wechselstrom einphasig (230 V) oder dreiphasig (400 V) geladen werden, andererseits kann mit Gleichstrom (400 V) eine Schnellaufladung erfolgen. Die Schnellaufladung erfolgt über einen ChAdeMO-Stecker mit 50 kW Ladeleistung (<http://de.wikipedia.org/wiki/CHAdEMO>). Eine Vollaufladung erfolgt in diesem Fall in etwas mehr als einer halbe Stunde. Die Lade- und Fahrstrategie kann vom Fahrer beeinflusst werden. Die Software der Bedienung sorgt aber dafür, dass der Fahrer unbeabsichtigt keine gefährlichen oder für die Batterien unerwünschten Betriebszustände wählen kann.



Ein wichtiger Teil neben der Konstruktion und Integration der mechanischen Komponenten ist die Auswahl, der Einbau und die Regelung der elektrischen Komponenten. Die wichtigste Aufgabe des ERT-Teams ist der Entwurf und Realisierung der Steuerung und Regelung aller elektrischen Komponenten, die ein sicheres Fahren erst ermöglichen.

Das Auto beinhaltet zwei elektronische Netze, ein 12 Volt Netz für die normalen elektrischen Komponenten eines Autos und für die Steuerungselektronik und ein 400 Volt Netz für die Elektromotoren und weitere Hochvoltkomponenten. Aus Sicherheitsgründen darf es keine direkte Verbindung zwischen den beiden Netzen geben. Ein DC-DC-Wandler mit einem Wirkungsgrad von 97% sorgt für eine galvanisch getrennte Wandlung von 400 Volt auf 12 Volt und somit für die Versorgung aller 12 V Komponenten und für die Ladung einer 12 Volt Li-Ionen-Autobatterie.

Es werden zwei starke Elektromotoren eingebaut, die je ein Hinterrad antreiben. Die beiden Motoren werden je durch einen Frequenzumrichter gespeist, der wiederum seine Energie von den beiden 400 Volt Batterien erhält. Die Motoren können auch als Generatoren verwendet werden, das heisst, sie können als Bremsen funktionieren. Diese Eigenschaft kann zur Rückgewinnung von Bremsenergie genutzt werden. Zum Laden der Batterien werden mehrere Möglichkeiten zur Verfügung stehen. So wird es möglich sein, an allen gängigen Steckdosen zu laden.

Die Vehicle Control Unit (VCU) ist für die Steuerung und Regelung des Fahrzeugs von essentieller Bedeutung. Die VCU ist ein Bordcomputer, der in Echtzeit die Interaktionen zwischen allen Komponenten steuert, regelt und überwacht. Das ERT-Team hat sich für eine TTC 200 der TTTech Automotive GmbH entschieden. Die Programmierung wird mit der multitaskingfähigen Programmiersprache *CodeSys* realisiert.



Abb. 7: Vehicle Control Unit TTC 200 ist das Herz der Steuerung und Regelung des SunCar.

5 Range Extender

Um die Reichweite des Autos auf bis zu 1'000 km zu vergrössern, wird beim *SunCar* ein so genannter *Range Extender* zum Einsatz kommen. Dieser besteht aus einem kleinen 325ccm-Verbrennungsmotor und einem direkt damit verbundenen 25 kW-Generator, welcher die Batterien auch während der Fahrt aufladen kann. Im Sinne des Gesamtkonzepts, mit dem Fokus auf erneuerbare Ressourcen, wird Bioethanol als Brennstoff für den Motor eingesetzt. Der *Range Extender* wird über einen Generator seriell mit dem elektrischen Antriebsstrang gekoppelt. Abhängig vom Betriebszustand kann die vom Generator erzeugte elektrische Energie entweder zum Laden der Batterien oder direkt für die Elektromotoren der Antriebsräder. Eine mechanische Verbindung zwischen dem *Range Extender* und den Antriebsrädern gibt es jedoch nicht.

Ein grosser Vorteil dieses Konzepts ist, dass der Verbrennungsmotor immer in seinem optimalen Betriebspunkt betrieben werden kann. Dadurch kann der Hauptnachteil des Hubkolbenmotors, nämlich dessen schlechter Wirkungsgrad bei verschiedenen Lastzuständen, minimiert werden. Natürlich wird im alltäglichen Kurzstreckenbetrieb mit ausgeschaltetem *Range Extender* gefahren werden, etwa beim Weg zur Arbeit oder in ein Einkaufszentrum. Weite Strecken werden mit Hilfe des *Range Extenders* ermöglicht. Auf lange Urlaubsfahrten oder auf den Besuch bei Bekannten auf dem Land muss deshalb nicht verzichtet werden.

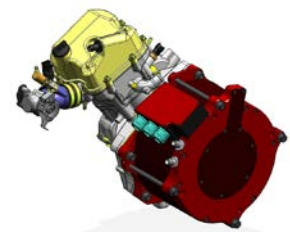
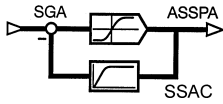


Abb. 8: Range Extender

6 Thermomanagement

Bei herkömmlichen Fahrzeugen mit einem Verbrennungsantrieb wird viel Wärme erzeugt, die zum Teil zum Heizen der Fahrzeugkabine verwendet wird. Bei Elektrofahrzeugen hingegen steht dem Thermokonzept wegen der grossen Energieeffizienz viel weniger Abwärme zur Verfügung. Besonders in Extremsituationen, wie zum Beispiel im Winter oder beim Staustehen, fällt die Wärmeproduktion unter ein kritisches Niveau, wodurch das Beheizen der Fahrzeugkabine mit herkömmlichen Konzepten nicht mehr gewährleistet wird. Hinzu kommen neue Aufgaben wie die Lebensdauer der temperaturempfindlichen Batterien durch gezieltes Klimatisieren sicherzustellen, oder die elektrischen Komponenten und den Range Extender vor Überhitzung zu schützen. Deshalb ist ein völlig neuer Ansatz im Umgang mit thermischer Energie notwendig. Während des Fokusprojekts *SunCar* wurde dazu ein Thermomanagement entwickelt und umgesetzt, das mit einer bidirektionalen Wärmepumpe die Abwärme des Antriebs geschickt nutzt oder gegebenenfalls an die Umwelt abgibt.



Die thermischen Anforderungen der Komponenten können so in den unterschiedlichen Fahrsituationen berücksichtigt werden und der Kreislauf wird während der Fahrt auf die effizienteste Betriebsvariante eingestellt.

6.1 Drei Kreisläufe nach Mass

Basis für die Entwicklung des Thermokonzepts bilden die Funktionsstruktur und die Umweltbedingungen der Region Luzern. Dazu wurden die Komponenten des Funktionsschemas unter thermodynamischen Gesichtspunkten in drei Kategorien aufgeteilt.

- Zu klimatisierende Komponenten (grün)
- Zu kühlende Komponenten (blau)
- Heisswasser Kreislauf (rot)

Die Betriebspunkte wurden so gewählt, dass die vorstellbaren Extrembedingungen im Mittelland mit der Steuerungslogik abgedeckt werden können. Neben den offensichtlichen Belastungsextremen wie einer Bergfahrt im Sommer oder Stadtfahrt im Winter stellt der Stand-by-Betrieb eine Herausforderung dar. Obwohl sich das Fahrzeug nicht bewegt, müssen die Lithium-Polymerzellen wegen der starken Temperaturempfindlichkeit zwischen 0-40°C gehalten werden. Da die Batterie gleichzeitig den grössten Kostenfaktor am Fahrzeug darstellt, muss eine grosse Lebensdauer unbedingt sichergestellt werden.

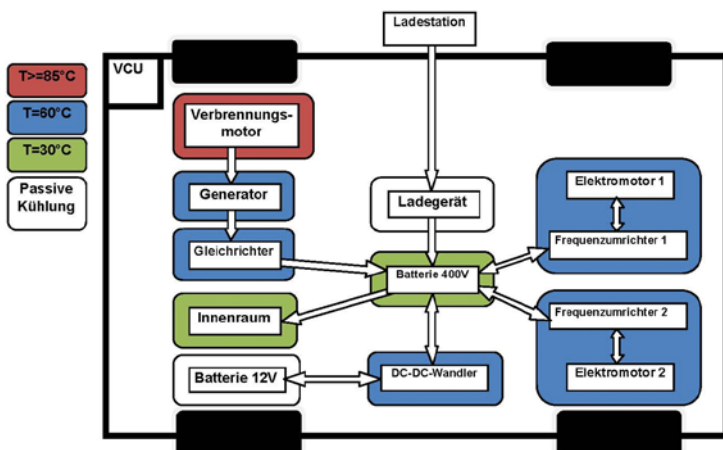


Abb. 9:
Funktionsschema
Thermomanagement

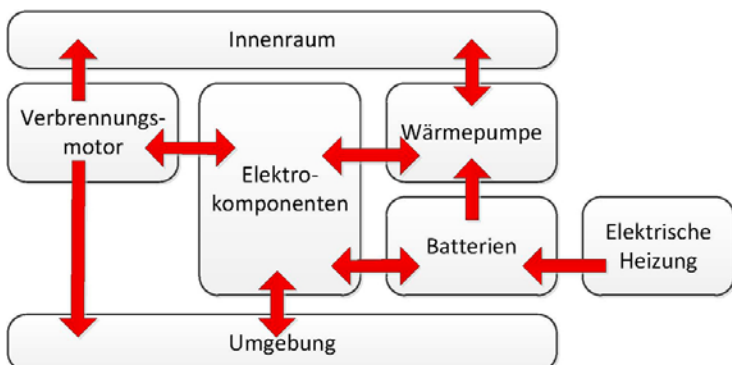
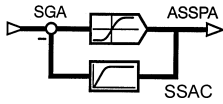
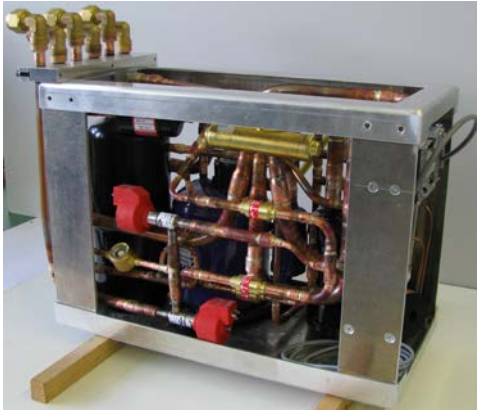


Abb. 10:
Energieflüsse
Thermomanagement

Die resultierenden Kreisläufe wurden mit dem Grundgedanken entwickelt, dass die vorhandene Wärme in den anderen Kreisläufen wieder verwendet wird. Als Schnittstellen zwischen den Wasser-Glykol-Kreisläufen bzw. der Wärmepumpe wurden Plattenwärmetauscher eingesetzt. Das Zusammenspiel der möglichen Energieflüsse ist in dargestellt, wobei jede Schnittstelle z.B. mit einem Bypass unterbrochen werden kann. Durch die Steuerlogik können wahlweise je nach Betriebsbedingung und dem gewählten Fahrprogramm des Fahrers die einzelnen Kopplungen geschlossen werden. So wird z.B. die elektrische Heizung nur im Extremfall Winter im Standby-Betrieb oder Stau eingesetzt.



6.2 Energieeffizienz durch Wärmepumpe

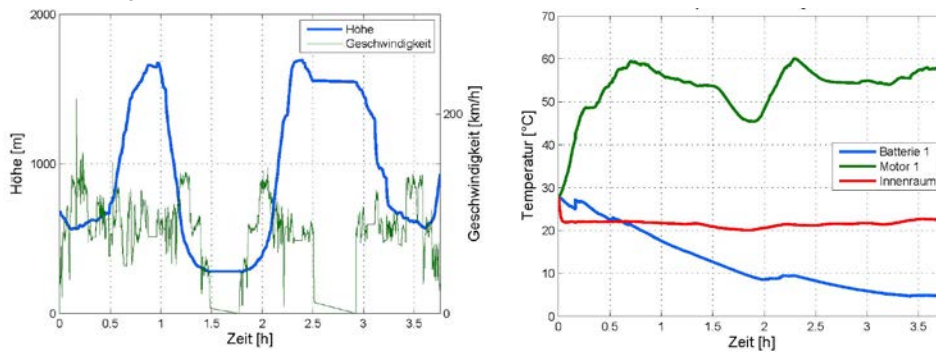


Die bidirektionale Wärmepumpe mit einer Baugröße von 420 x 200 x 300 mm³ und einer Heizleistung von 7 kW bildet das Herzstück des Thermokonzpts. Sie ist in der Lage, die Abwärme des Elektrokreislaufs aufzunehmen und damit den Innenraum und die Batterien zu beheizen. Umgekehrt können beim Kühlmodus wahlweise der Innenraum und die Batterien jeweils einzeln oder zusammen gekühlt werden. Um den Betriebszustand auch bei sich ändernden Umweltbedingungen stabil zu halten, wird die Drehzahl des Verdichters je nach Situation über den Sauggasdruck oder Hochdruck kontinuierlich geregelt.

Abb. 11:
Bidirektionale Wärmepumpe

6.3 Simulationen

Da zurzeit keine Messungen am Fahrzeug über die Funktionsweise der Kreisläufe gemacht werden können, wurde zur Standortbestimmung und Weiterentwicklung ein Simulationstool entwickelt. Hierzu wurden die Kühlkreisläufe hydraulisch und thermisch, inklusive bidirektionaler Wärmepumpe, parametrisiert und im aktuellen Zustand aufgebaut. Es ist dadurch möglich, Fahrprofile z.B. GPS-Daten, einzulesen und das Konzept zu simulieren. In ist dazu ein Beispiel von einer Fahrt im Hochsommer (ca. 30°C) von Seewis im Prättigau nach Bellinzona und zurück gezeigt. Es ist zu erkennen, dass in dieser Fahrsituation das Thermokonzpt ein Überhitzen der Komponenten verhindern kann und gleichzeitig Batterien und Innenraum gekühlt werden können.



a) Fahrprofil Seewis-Bellinzona-Seewis

b) Temperaturvergleich Ausgabe verschiedener Temperaturen

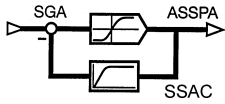
Abb. 12:
Simulationsfahrt
Seewis - Bellinzona

7 Ziel für das Jahr 2012

Das SunCar-Team will am WAVE-Rennen der Elektrofahrzeuge quer durch Europa teilnehmen. Dieses Rennen führt 2012 die Teilnehmer in 15 Tagen über eine Strecke von 3'000 km von Rom nach Stockholm. Täglich werden zwei Etappen mit einer Ladepause gefahren. Die Energie für diese Reise muss jedes Team aus erneuerbaren Quellen selber im eigenen Land erzeugen. Das SunCar-Team realisiert deswegen eine Solartankstelle. Bei der Entwicklung und Realisierung der Solartankstelle helfen Studierende der BFH-Burgdorf mit. Während der Reise durch viele europäische Länder werden am Ende jeder Tagesetappe öffentliche Veranstaltungen durchgeführt.

8 Quellen

- [1] Regierungsprogramm Elektromobilität (D). Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie, Bundesministerium für Bildung und Forschung (Hrsg.): Regierungsprogramm Elektromobilität, Publikationsversand der Bundesregierung, Rostock, 2011
- [2] Energy Science Center ETH Zürich (2008). Energiestrategie der ETH Zürich. S. 2. <http://www.esc.ethz.ch/publications/energy/energy/Energiestrategie.pdf> [27.11.2011]



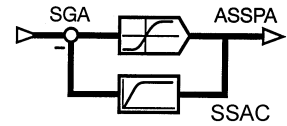
Auszug aus den IFAC-News

18th IFAC World Congress Milan, Italy, August 29 – September 3, 2011

Interessierte finden in den IFAC News Nr. 5 auf der Webseite der SGA einen Bericht über den 18th IFAC World Congress in Mailand.

Die nächsten Veranstaltungen:

- › 7th Conference on Mathematical Modelling MATHMOD 2012; 15.-17. Februar 2012, Wien, Österreich
- › 6th Intl. Conference, Interoperability for Enterprise Systems and Applications – I-ESA 12; 22.-23. Februar 2012; Valencia, Spanien
- › IFAC Conference Advances in PID Control; 28.-30. March 2012
Brescia, Italien
- › IFAC Conference Embedded Systems, Computational Intelligence and Telematics in Control – CESCIT; 3.-5. April 2012; Würzburg, Deutschland

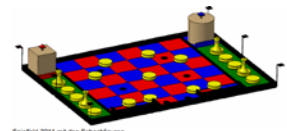


Neue Mitglieder

Im Sommer 2011 hat sich Herr Curdin Stäheli für eine Mitgliedschaft in der SGA entschlossen. Herzlich willkommen in der SGA!

Rapperswiler Studenten an den Roboter-WM 2011

Ein interdisziplinäres Projekt von A bis Z realisieren und termingerecht fertig stellen, die Feinheiten der Technik im Detail kennen lernen und ausloten, Teamarbeit unter realen Bedingungen üben, Sprachkenntnisse praktisch einsetzen, die eigene Lösung mit 300 anderen vergleichen und dann noch einer breiten Öffentlichkeit vorstellen – wo sonst ist das möglich? – ausser bei EUROBOT! Wie jedes Jahr seit 1998 fanden auch diesen Sommer wieder die Wettkämpfe EUROBOT für autonome Roboter statt und wie jedes Jahr waren auch wieder Teams von der HSR mit dabei! Lesen Sie mehr darüber im Bulletin Nr. 61



Spielefeld 2011 mit den Schwefelguren

Für 2012 besteht noch die Möglichkeit sich bei EUROBOT 2012 anzumelden.

<http://www.eurobot.org>

Messen

SENSOR+Test 2012

Die Messtechnik-Messe findet vom 22. bis 24. Mai 2012 wiederum im Messezentrum Nürnberg statt.

www.sensor-test.de

Impressum

Das Bulletin erscheint drei- bis viermal jährlich und wird den Mitgliedern per E-Mail zugestellt.

Es ist für PDF und Bildschirm optimiert. Die gedruckte Version erscheint daher nicht im doppelseitigen Layout.

Redaktion	SGA sensors.ch	Dr. Peter Gruber Peter Kirchhofer
Gestaltung	SGA Sekretariat Christl Vogel	
Auflage	150 Exemplare SGA + 150 Exemplare SVS	

Herausgeber

Schweizerische Gesellschaft für Automatik

Association Suisse pour l'Automatique

Swiss Society for Automatic Control

Adresse

SGA Sekretariat

Christl Vogel

Eggwilstr. 16a

CH.9552 Bronschhofen

Tel. +41 (0)71 911 84 16

Fax: +41 (0)71 911 84 49

sekretariat@sga-asspa.ch

Redaktionsschluss für Bulletin Nr. 61 – April 2012

Sensors.ch-Besuch 05. September 2011
Autonomous Systems Lab (ASL) an der ETHZ, Zürich

Das im ETHZ-Departement Maschinenbau und Verfahrenstechnik (D-MAVT) am Institut für Robotik und Intelligente Systeme (IRIS) angesiedelte Autonomous Systems Lab forscht unter der Leitung von Prof. R. Y. Siegwart im Bereich intelligenter Produkte und Systeme zum Einsatz bei autonomen mobilen Robotern. Der Fokus liegt beim mechatronischen Design und bei der Regelung solcher Systeme, welche in unbekannter und rasch sich verändernder, natürlicher Umgebung agieren sollen. Die Anwendung erstreckt sich u.a. auf Flugzeuge, Untersee- und Segelboote, Schiffe, Autos, Vehikel zur Erforschung oder Beobachtung von Landschaften, Gewässern oder Planeten und auf Pflege-Assistenten.

Zu Beginn wurde das Institut und dessen drei Forschungsschwerpunkte **Roboter-Design**, **Navigation** und **Autonome Fortbewegung** vom stellvertretenden Direktor Dr. Cédric Pradalier vorgestellt. Die verschiedenen hochgradig interdisziplinären Forschungsprojekte werden von jeweils 5 bis 10 ETH-, Uni- oder FH-Studierenden der Elektro- und der Maschinenteknik und weiterer Studienrichtungen durchgeführt.

Der Rundgang durch die Laboratorien führte uns verschiedene Projekte vor Augen.

Im **Lauf-Labor** werden Roboter entwickelt, mit dem Ziel «schnell, effizient und geschickt wie der Mensch». Der gezeigte vierbeinige «Roboter-Hund» aus dem **Projekt ALoF** (Autonomous Locomotion on Four legs) kann gehen, krabbeln und sich auf den Rücken drehen und wieder aufrichten. Ermöglicht wird dies durch visuelle und haptische Sensoren, welche dem Roboter Informationen über den Untergrund liefern. In der Länge und im Winkel federnde Gelenke dienen während der Bewegungen als Zwischenspeicher für die kinetische Energie. Der etwa 15 kg schwere, 56 cm lange Roboter kann seine Umgebung dank haptischer Interaktion aktiv untersuchen. Das System soll dereinst für Rettungseinsätze, als Prothese, zu Unterhaltungszwecken («Tiere» in Freizeitparks) oder für Militäreinsätze angewendet werden.

Das **EU-Projekt NIFTi** (Natural Human-Robot Interaction in Dynamic Environments) untersucht die Kooperation von Robotern und Menschen bei unterschiedlichen Rettungsaufgaben und die Anforderungen an ein solches Rettungssystem. NIFTi untersucht, wie der Roboter mit kognitiven menschlichen Fähigkeiten wie Wissenserwerb und Sprache arbeiten kann. Jedes Jahr evaluiert NIFTi seine Systeme in Zusammenarbeit mit verschiedenen Rettungsorganisationen. Rettungspersonal bildet ein Team mit NIFTi-Robotern, um realistische Aufgaben in wirklichkeitstreuem Trainingsgebieten durchzuführen. Ein spezielles Problem dabei ist die automatische Interpretation der vom autonom sich fortbewegenden Roboter aufgenommenen Bilder in einer komplexen Umgebung und deren Auswertung zwecks automatischer Kartierung, d.h. Erstellung einer Land- oder Lagekarte. Die Inspektion der Umgebung erfolgt mittels eines LASER-Scanners mit einem 10 Mal pro Sekunde rotierenden Spiegelprisma. Zum Blick nach oben oder nach unten wird dabei die Rotationsachse gegenüber der Senkrechten geneigt. Siehe auch Website www.nifti.eu.

Das **Autonomous Surface Vessel ASV** ist eine schwimmende autonome Sammel-Plattform für die Blüten der Cyano-Bakterien. Die Plattform ist dafür u.a. mit Sensoren für Chlorophyll und mit einem Tiefen-SONAR ausgerüstet und erlaubt die Erfassung sowohl der zeitlichen als auch räumlichen Dichte der Bakterien-Population, aber auch von Wassertemperatur, Lichtstärke, Sauerstoff und Nährstoffe.

Auch einen «alten Bekannten» von der EXPO 2002 trafen wir im ASL: den Tour-Guide **ROBOX**, ein interaktiver, hörender, sprechender, sehender und rollender Roboter mit einem der Situation angepassten Gesichtsausdruck. Sein im EU-Projekt **EUROPA** (European RObotic Pedestrian Assistant) weiter entwickelter Bruder wird im städtischen Umfeld und interaktiv (via Kamera, Gesichtsausdruck, Spracheingabe, Internet und Handy) komplexe Orientierungs-, Führungs-, Transport- und Lieferaufgaben wahrnehmen und sich dabei autonom im Fussgänger- und Strassenverkehr bewegen.

Kontakt:
Peter Kirchofer
Hochschule für Technik Zürich
8021 Zürich
Tel. +41 (0) 43 268 25 22
Fax +41 (0) 43 268 25 30
pkircho@hsz-l.ch





Im Robots-Lab trafen wir auf einen fahrenden Roboter **CRAB** mit 2 x 3 Rädern, welche an einem über parallele Streben verbundenen Doppel-Fahrgestell verbunden sind. Jedes Rad ist um die Senkrechte drehbar gelagert und verfügt über einen eigenen Antriebsmotor. Dieses Fahrwerk passt sich passiv an nahezu beliebig unebenes Terrain an und erlaubt Kehrtwendungen an Ort.

Quelle und weitere Bilder:
<http://www.asl.ethz.ch/robots/crab>

Mit solchen Fahrgestellen werden verschiedene Roboter versehen, z.B. zum Erkunden geologischer oder planetarer Oberflächen, zur automatisierten Minenräumung oder zum Aussähen von Blumensamen nach beliebig programmierbaren Mustern.

Ein **Schwarm-Display** besteht aus einer Vielzahl von roboterisierten, steuerbaren farbigen Leuchtpunkten. Diese Pixel können durch einen Computer mit angeschlossener Kamera für den Feedback ferngesteuert auf einer ebenen Fläche beliebige Koordinaten anfahren und in unterschiedlichen Farben leuchten. Dadurch können statische oder dynamisch bewegte Bilder erzeugt werden. Disney Research verwendet Schwarm-Displays zur Erforschung des menschlichen Wahrnehmungsvermögens und zur Optimierung graphischer Anzeigen. Die Roboter-Pixel werden durch die Fa. GCtronic hergestellt und vertrieben: www.gctronic.com.

Roboter-Traktionsmodule **MagneBike** dienen zur Inspektion und Vermessung des Inneren oder Äusseren von komplex geformten Gehäusen aus ferromagnetischen Materialien. Zum Bewegen sind die Module mit permanentmagnetischen Antriebsrädern von 60 mm Durchmesser ausgerüstet. So können auch «an der Decke» hängend dort Messungen vorgenommen werden. Als Sensoren tragen die Module Wirbelstrom-Sensoren oder elektronische Kameras.



In der mechanischen Werkstatt des ASL konnten wir den Testaufbau mit einem aufgeschnittenen Alstom-Turbolader und darin eingesetzten **MagneBikes** betrachten.

Quelle und weitere Bilder:
<http://www.asl.ethz.ch/research/asl/alstom>

Das **EU-Forschungsprojekt AIRobots** (Innovative Aerial Service Robots for remote inspections by contact) hat die Entwicklung von Flug-Robotern zum Ziel zwecks Unterstützung bei der unbemannten Inspektion von unbekanntem, u.U. stark verwinkelten Gebäuden und weitläufigen Infrastruktur-Einrichtungen, zur Proben-Aufnahme und zur ferngesteuerten Manipulation von Steuergeräten. Der AIRobot besteht aus einer flugfähigen Plattform mit z.B. 4 rotierenden Helikopter-Propellern und einem Autopiloten, d.h. einer Regelung für das autonome Fliegen und Navigieren um unbekannte Hindernisse. Der Operator braucht kein Pilot zu sein und kann sich ganz auf die Einsatzaufgabe konzentrieren. Die Plattform wird mit verschiedenen stromsparenden Sensoren (Kamera, IR-Kamera etc.) und Aktoren sowie der notwendigen Funktechnik inkl. GPS bestückt, um die jeweilige Aufgabe optimal zu lösen und dem Operator den erforderlichen visuellen und haptischen Feedback zu vermitteln.

Ziel beim durch die Europäische Raumfahrtbehörde in Auftrag gegebenen Projekt **Skysailor** waren die Machbarkeitsabklärung und die Realisierung eines solar-angetriebenen ultraleichten Mikro-Flugzeugs zur autonomen Exploration von Landschaften, u.a. auch auf dem Mars (!). Für Einsätze in der Nacht wird die Bordbatterie tags mit überschüssiger Solar-Energie geladen. Der Prototyp hat ein Gewicht von 2,4 kg und eine Flügelspannweite von 3,2 m. Die 216 Solarzellen liefern an einem Sommertag auf der Erde bis zu 90 W, wobei das Flugzeug nur 16 W verbraucht. So konnte der **Skysailor** im Jahr 2008 während mehr als 27 Stunden 874 km auf konstanter Höhe fliegen, ohne Ausnutzung von Aufwinden und ohne Absinken während der Nacht.

Im ASL-Projekt **senseSoar** werden die mit dem Skysailor gewonnen Erkenntnisse für den Design und den autonomen Betrieb von Klein-Solarflugzeugen ausgewertet. Mit Zusatzfunktionen wie Accelerometer, Magnetometer, Geschwindigkeits- und Höhenmesser sowie GPS Modul, Autopilot und Solarzellen für 140 W wiegt das Flugzeug nun 3,7 kg und erreicht eine Geschwindigkeit von 10 m/s.

Das im ASL akkumulierte know-how ermöglichte die Ausgründung der Firma **Skybotix**, welche führend ist in der Entwicklung von sicheren, autonom navigierenden und fernsteuerbaren Klein-Flugzeugen (Miniature Aerial Vehicles, MAV). Lieferbar sind zur Zeit der leicht handhabbare robuste Multikopter **Flybox** mit 0,8 kg Nutzlast und der kompakte koaxiale Helikopter **CoaX** zu Forschungszwecken und zum Einsatz in geschlossenen Räumen mit Beschleunigungs- und Druck-Sensor sowie Sonar für die Höhenmessung und IR-Sensor für die Abstandsmessung. Für ihre Innovationen erhielt **Skybotix** den De Vigier Preis 2011.

Auf der ASL-Instituts-Web-Site werden u.a. alle laufenden, abgeschlossenen sowie natürlich die im Bericht erwähnten Forschungsprojekte ausführlich vorgestellt, teilweise auch mit Filmen von den bewegten Roboterplattformen.

Instituts-Web-Site
www.asl.ethz.ch

Sensors.ch-Besuch 02. November 2011 Fa. BIKETEC, Huttwil (BE)

Die BIKETEC AG stellt das original Schweizer Elektrovelo FLYER her. Der Geschäftszweck der Firma ist Entwicklung, Herstellung und Vertrieb des FLYER und weiterer innovativer Produkte der effizienten Zweirad-Mobilität. Im Juli 2009 wurde das neue Werk in Huttwil in Betrieb genommen. Das Gebäude ist gemäss Minergie-Standard gebaut und verfügt über eine grosse Photovoltaik-Anlage zur Stromproduktion.

Kontakt:
Peter Kirchofer
Hochschule für Technik Zürich
8021 Zürich
Tel. +41 (0) 43 268 25 22
Fax +41 (0) 43 268 25 30
pkircho@hsz-t.ch

In der Schweiz stehen bei 350 Vermietstationen mehr als 1'800 Miet-FLYER bereit. Dazu bestehen auch noch mehr als 600 Stationen zum kostenlosen Wechsel der Akkumulatoren.

Alle FLYER-Modelle sind mit berührungslosen Drehmomentsensoren ausgestattet, welche jederzeit (realtime) die Kraft auf den Pedalen messen, so dass der FLYER entsprechend auf den Fahrer reagieren kann. So wird das Fahrrad sozusagen nicht mit dem Kopf, sondern mit den Füßen gesteuert. Die Besucher hatten die Gelegenheit, den FLYER selber auszutesten.

Firmen-Web-Site:
www.biketec.ch



Besuch Sensors.ch 27. Sept. 2011 FHNW- Hochschule für Technik, Brugg-Windisch

Die Hochschulen FHNW umfasst 9 Hochschulen von angewandter Psychologie bis zur Musik-Hochschule Basel, mit insgesamt ca. 11000 Studierenden und einem Aufwand von ca. CHF 376 Mio.

Prof. C. Dransfeld (Inst. für Kunststofftechnik) stellte uns die Studiengänge der Hochschule für Technik vor: Elektro- und Informationstechnik, Energie- und Umwelttechnik, Informatik/iCompetence, Maschinenbau, Mechatronik trinational, Optometrie, Systemtechnik, Wirtschaftsingenieurwesen und den Mastergang Engineering MSE.

Die Hochschule für Technik unterstützt KMU und ausgewählte Grossunternehmen im Innovationsprozess und hilft damit, den Arbeitsplatz CH zu sichern. Das Leitthema lautet: Energie- und Ressourceneffizient, Finanzierung generell projektgebunden!

Frau Dr. Agnes Richard stellt uns das Forschungsgebiet Aerosoltechnik IAST (Prof. H. Burtscher) mit Vortrag und Besuch im Labor vor. Es geht hier um Feldmesstechnik für Feinstaub mit Nanopartikel. In Bachelorarbeiten entstanden bereits funktionsfähige tragbare Funktionsmuster (mit GPS!) die nun an Spezialfirmen weiter gegeben werden können.

Prof. Gossweiler (Thermo- und Fluidengineering ITFE) berichtete von Versuchen mit Schneelanzen und Wasserstrahltechnik.

Prof. J. Sekler (Automation IA) zeigte die Simulation der Schwerelosigkeit auf der Erde mit einem selbstgebauten 3D-Manipulator, der über 20 Minuten integriert eine integrale (Erd-) Beschleunigung von nur 1mg erzeugt und damit ein kommerzielles US-Gerät von 100'000 CHF in den Schatten stellt!

Im Sensorlab von Prof. H. Burtscher befinden sich viele instruktive Sensor-Exponate in echter Industrie-Applikation, z.B. Durchflussmesser mit künstlich verschmutzten Flüssigkeiten!

Das Institut für Produkt- und Produktions- Engineering IPPE ist spezialisiert auf Simulation und Messung mechanischer Systeme, 3D-Laser Mikromaterial-Bearbeitung, 3D-Objekterfassung und Werkstoffwissenschaften und Bauteilprüfung. Herr Norman Hoffman zeigte die erfolgreiche Validation der Simulationen an Hochdrucksensoren im Motorenprüfstand, eine Zusammenarbeit mit Dr. Cavalloni der Firma Kistler.

Wir bedanken uns für die kompetente und informative Führung!

Der Rundgang für die 12 Besucher wurde mit einem reichhaltigen Network-Apéro abgeschlossen, vielen Dank!

Kontakt:
Dr. Peter A. Neukomm
Vizepräsident sensors.ch
Berner Fachhochschule
Quellgasse 21 • 2501 Biel

Tel. +41 (0)32 321 67 21
Fax +41 (0)32 321 65 00
pan.neukomm@bluewin.ch

Nächste Veranstaltungen

2012



iCAN 2012 Zweiter Internationaler Wettbewerb von Applikationen in der Nanomicro Technologie. Siehe Website

<http://www.ican-contest.ch> .

Anmeldeschluss war der 30. Nov. 2011. Der genaue Zeitpunkt für die Schweizerische Vorausscheidung zur Wettbewerbsteilnahme ist noch nicht festgelegt.



25./26. Jan. 2012

Ausstellung «Automation Schweiz 2012» Eulachhalle in Winterthur

24. Februar 2012

Besuch der Fa. Sonceboz SA, mechatronische Antriebssysteme und Schrittmotoren, in Sonceboz/BE

15. März 2012

ITG-Fachtagung «Not aus über Feldbus» an der HSR, Rapperswil, unter Mitwirkung von FAEL und sensors.ch

23. März 2012

Besuch der Fa. Innovative Sensor Technology (IST) AG, in Wattwil/SG

