

FORSCHUNGS- REPORT [ws 2014/15]

The background of the entire page is a deep blue color. Overlaid on this background is a complex, abstract pattern of white and light blue lines. These lines represent a circuit board or a network of connections, with various shapes like rectangles, circles, and zig-zags. Some of these lines are thicker and more prominent, while others are thinner and more delicate. There are also several small, bright white dots scattered throughout the pattern, which could represent solder points or data nodes. The overall effect is a high-tech, futuristic aesthetic.

■ ■ ■ für die Elektrotechnik in Baden-Württemberg

ISSN 2199-4889

Sie sehen all
Ihre Möglichkeiten?

Wir auch.

**Balluff sucht inspirierende Teamplayer,
die viel bewegen wollen.**



BALLUFF

sensors worldwide

Als Spezialist für die industrielle Automation vereint Balluff die Tradition eines Familienunternehmens mit der Weltläufigkeit des Global Players. Innovative Technik, Kundenorientierung und ein weltweites Qualitätsversprechen sind die Basis für ein erfolgreiches Wirtschaften bei Balluff. Dafür engagieren sich 2750 Mitarbeiter an 61 Standorten weltweit. Für den stetigen Ausbau unserer Produktentwicklung und unseres Produktmanagements suchen wir die besten

Hochschulabsolventen m | w

Sie haben Ihr Studium der Elektronik, Elektrotechnik, Nachrichtentechnik, Mikroelektronik, Optoelektronik, Informatik oder der Wirtschaftswissenschaften erfolgreich abgeschlossen und suchen interessante Perspektiven. Neben ausgezeichnetem Fachwissen verfügen Sie über soziale Kompetenz und gute Englischkenntnisse. Sie wollen selbstständig arbeiten und sich auch in internationalen Teams engagieren. Dann sollten Sie zum Erfolg eines modernen, globalen Unternehmens beitragen und sich bei uns bewerben.

Wir freuen uns auf Ihre Online-Bewerbung unter www.balluff.de/karriere.
Bewerbungen per E-Mail oder Post sind uns ebenfalls willkommen.

Haben Sie Fragen? Frau Freyberg beantwortet Ihnen diese gern. Tel. 07158 173-602

Balluff GmbH, Personalabteilung
Schurwaldstraße 9, 73765 Neuhausen a.d.F., personal@balluff.de



FORSCHUNGS- REPORT [ws 2014/15]

■ ■ ■ für die Elektrotechnik in Baden-Württemberg

ISSN 2199-4889

INHALTSVERZEICHNIS

3 Elektrotechnik an der Hochschule Aalen

7 PERTURMED – Ein aktiv steuerbares Trainingsgerät für den Einsatz in der Rehabilitation zur Verletzungs- und Sturzprophylaxe

14 Photovoltaik im Elektrofahrzeug

18 STARK STIHL –
Ein Familienunternehmen mit
großem Freiraum für Innovationen

19 Von der Energie- und Antriebstechnik
bis hin zur Fahrzeugelektronik und zu
Funkkommunikationssystemen

24 euro engineering AG

25 Das Labor „Embedded Systems und
Kommunikationselektronik“ auf dem
Weg zum Internet der Dinge

29 Radartechnik im Miniaturformat

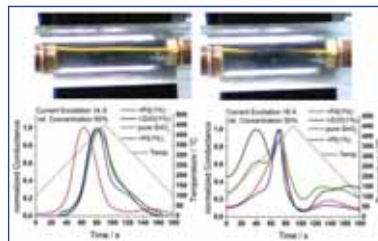
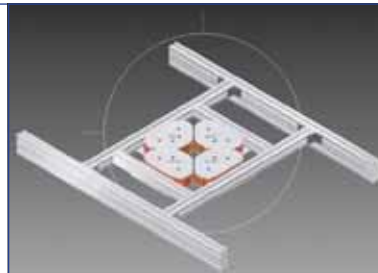
32 Forschung an Elektrozweirädern

34 engineering people.
supporting experts.

35 Elektromobilität am Fachbereich
Elektrotechnik und Informationstechnik
der Universität Stuttgart

39 In neuem Licht besehen –
Das Lichttechnische Institut des
Karlsruher Instituts für Technologie

42 Optimale Netzintegration
erneuerbarer Energien



45 EARN – European Automation
Resource Network

48 Elektrotechnik an der
Hochschule Furtwangen studieren

48 Forschungsgebiet Mikrosystemtechnik
im Forschungsschwerpunkt
Smart Systems

52 Non-Intrusive Load Monitoring

53 Thermozyklisch betriebene
Metalloxidgassensorarrays
zur Brandfrüherkennung

55 Energieeffizienter Betrieb
von Asynchronmaschinen –
Methoden und Potential

58 Siliziumrichter

63 Antriebsstrang
eines Elektro-Radladers

68 Simulation und Test in der
Automatisierung quasi en passant?

71 Arbeitsmarkt Ingenieurwesen
in der Mechatronik, Energie-
und Elektrotechnik

74 Industrie 4.0 an der
Hochschule Pforzheim

77 „MagDiff“ – Eine neue Möglichkeit zur
Untersuchung von Magnetwerkstoffen

80 Elektroautos effizient induktiv laden

Elektrotechnik an der Hochschule Aalen

Wenn man die Entwicklung in der Elektrotechnik in den letzten 30 Jahren betrachtet, entsteht schnell der Eindruck, dass Innovationen beinahe so schnell aus dem Boden sprießen wie elektrische Schaltungen Strom übertragen. Handys, Computer, eBooks, Autos, Kaffeemaschinen sind nur wenige alltägliche Beispiele, die sich technisch im Vergleich zum 20. Jahrhundert revolutionär weiterentwickeln. Neue Geräte für die Energiegewinnung und -übertragung, und industrielle Maschinen, erweitern dieses Produktspektrum noch einmal gewaltig. Getragen wird dieser rasante Fortschritt unter anderem durch die vielen Elektrotechnikingenieure – wissbegierige Köpfe, die sich in der Forschung und Entwicklung das Ziel setzen, Maschinen immer effizienter und effektiver zu betreiben.

Elektrotechnik an der Hochschule Aalen

Der Studiengang Elektrotechnik folgt dieser positiven Grundeinstellung gegenüber innovativen elektrotechnischen Entwicklungen. Die Professoren integrieren den aktuellen Forschungs- und Diskussionsstand kontinuierlich in ihre Lehrveranstaltungen und das Curriculum. „Wir lehren an der Hochschule Aalen die Entwicklung von Technologien, die unser heutiges Alltagsleben prägen“, betont Prof. Dr. Günter Müller die Linie des Studiengangs. In den frühen 1990er Jahren wurde die Technische Informatik als Studienschwerpunkt eingeführt. 1997 kam der Studienschwerpunkt Medien- und Kommunikationstechnik dazu; und aktuelle Entwicklungen in der Industrie haben dazu geführt, dass die Industrieelektronik in Industrie- und Fahrzeugelektronik umgebaut wurde. 2012 kam die bisher letzte Studiengangerweiterung – ermöglicht durch eine Stiftungsprofessur – hinzu: die Erneuerbaren Energien.

„Dies alles ist natürlich nur möglich, wenn die Grundlagenausbildung im Studiengang fest verankert ist, und die Studierenden sich ein sehr gutes Wissen in Fächern wie Mathematik, Physik und Elektrotechnik erarbeiten können“, betont die Studiendekanin Prof. Dr. Martina Hofmann. Deswegen konzentrieren sich die Lehrveranstaltungen der ersten Semester vor allem auf diese Themen. Schwerpunktfächer werden überwiegend im Hauptstudium – ab dem 4. Semester – behandelt.

Ein praxisorientiertes Studium

Im praktischen Studiensemester schnuppern die Studierenden dann die erste Praxisluft in der Industrie. Aber auch die Lehre an der Hochschule Aalen zeichnet sich durch eine hohe Praxisorientierung aus. Schon im Grundstudium haben die Studierenden die Möglichkeit unter fachlicher Anleitung Bauelemente kennenzulernen, elektrische Schaltungen zu bauen und mit Messgeräten umzugehen. Die teilweise völlig neu eingerichteten Laborräume bieten mit ihren elektrotechnischen Anlagen eine gute Arbeits- und Lernumgebung für das anwendungsorientierte Studium. Diese Studienbedingungen bewerteten die Studierenden der Elektrotechnik 2012 mit einer 1,8 im CHE Ranking.

Studierende reifen im Rahmen dieses Studienprogramms zu wertvollen Nachwuchskräften für die Industrie heran. Der Abschluss Bachelor of

Engineering der Elektrotechnik ermöglicht den Absolventen das Übernehmen von anspruchsvollen Aufgaben in den verschiedensten Unternehmen und Branchen. Sie können einer gut bezahlten Tätigkeit in einem Berufsfeld mit hoher Innovationskraft nachgehen. Prof. Müller bekräftigt: „Die Firmen kommen zu uns und fragen fast händeringend nach Absolventen unseres Studiengangs.“

Konsekutives Masterprogramm

Absolventen der Elektrotechnik, die jedoch eine Laufbahn in der Forschung und Entwicklung einschlagen möchten, können sich – gemeinsam mit Kommilitonen, die u.a. aus der Informatik und Mechatronik kommen – im Masterstudiengang „Computer Controlled Systems“ mit ihrem Fachwissen auf den Bereich der „eingebetteten Systeme“ spezialisieren; eine Schlüsseltechnologie mit enormem Entwicklungspotential für viele Branchen – allen voran die Automobilindustrie. Masterstudierende, die aus dem Bereich der Elektrotechnik kommen, haben in diesem Studienprogramm die Möglichkeit ihre Informatikkenntnisse auszubauen und mit ihrem Vorwissen aus der Elektrotechnik zu verknüpfen. In mehreren Projektarbeiten, stellen sie ihr Können unter Beweis.

Forschungsschwerpunkte der Aalener Elektrotechnik

Zu den Laboren der Elektrotechnik zählen unter anderen das Labor für Erneuerbare Energien und das Labor für elektrische Antriebstechnik und Leistungselektronik. Das Forschungsklima an der Hochschule Aalen ist sehr gut, zählt sie doch zu den forschungsstärksten Hochschulen für angewandte Wissenschaften in Baden-Württemberg. Es stehen jährlich Drittmittel in Höhe von ca. 5 Mio Euro zur Verfügung. Die Forschungsaktivitäten konzentrieren sich neben der elektrischen Antriebstechnik und Leistungselektronik auch auf die Bereiche Materialwissenschaften und Gießereitechnik – eine Atmosphäre, in der auch immer wieder Ideen für interdisziplinäre Forschungsprojekte heranreifen.

Erneuerbare Energien aus Sicht der Elektrotechnik

Erneuerbare Energien stehen nicht nur für moderne Technologien, die unser heutiges Alltagsleben prägen sondern werden auch die Lebensqualität zukünftiger Generationen wesentlich bestimmen. Nach derzeitigem Wissensstand kann der enorme Energiebedarf in den Industriestaaten langfristig nur durch technische Nutzung von Sonne, Wind und Wasserkraft sowie Biogas gedeckt werden. An dieser Stelle schaltet sich die Aalener Elektrotechnik ein.

Aktuell sind die Mitarbeiter des Labors für Erneuerbare Energien in ein Pilotprojekt in der Gemeinde Rainau (Ostalbkreis) involviert. Die Gemeinde Rainau hat sich den größtmöglichen Einsatz von erneuerbaren Energien zum Ziel gesetzt. Im Rahmen des „Smart Village“-Projektes wird der generelle Einsatz von erneuerbaren Energien und die Netzein-

bindung einer autarken Gemeinde untersucht und optimiert. Dabei sollen alle Energieformen erzeugt und optimal genutzt werden. So soll beispielsweise der überschüssige Strom aus Photovoltaik und Windkraft mit Hilfe einer Elektrolyse und einer Biogasanlage in Gas umgewandelt und zwischengespeichert werden.

Ein weiteres durch den BMWi gefördertes ZIM Projekt „EMAKO Biogas“ des Studienganges Elektrotechnik in Kooperation mit dem Studiengang Chemie der Hochschule Aalen und zwei mittelständischen Firmen, ist die Erforschung einer Hybridbiogasanlage. In erster Linie wird der Einsatz von Klärschlamm und Bioreststoffen in Biogasanlagen erforscht, weiterentwickelt und Komponenten der herkömmlichen Biogas- und Kläranlagen an den Einsatz dieser Reststoffe angepasst. Des Weiteren wird in diesem Projekt die Aufbereitung von Biogas auf Erdgasqualität durch verschiedene Verfahren untersucht. Langfristig ist in diesem Rahmen eine Hybridbiogasanlage als Reallabor geplant.

Das Labor für Erneuerbare Energien – Die Techniken der Energiewende zum Anfassen

Dank des neu eingerichteten Labors für Erneuerbare Energien kann die Hochschule Aalen den Studenten anschauliche Einblicke in den Bereichen Windkraft, Energieübertragungsnetz, Photovoltaik, Pumpspeicherkraftwerken, Elektromobilität und Smart Grid bieten. An den Labormodulen können die Energieingenieure von morgen optimal ausgebildet werden und das Zusammenspiel von Energieaufkommen, Einspeisung ins Netz, den Energieverbrauch und die Energiegewinnungsarten nachvollziehen und verinnerlichen.

Jede Energiegewinnungsart hat im Labor für Erneuerbare Energien einen eigenen Arbeitsplatz mit einer allein dafür konzipierten Lernsoftware. Am Arbeitsplatz Windkraft wird eine Windkraftanlage von den einzelnen Komponenten bis hin zur Netzeinspeisung den Studierenden näher ge-

bracht. Am Stand Photovoltaik wird die Funktionsweise der Solarmodule von der Pieke auf erklärt und Fallbeispiele zu verschiedenen Einstrahlungsszenarien durchgeführt. Auch das Pumpspeicherkraftwerk wird von den einzelnen Komponenten bis hin zum Gesamtsystem beschrieben und Studierende können Versuche zu verschiedenen Speicher- und Verbrauchsanwendungsfällen durchführen. Eine Zusammenführung aller Komponenten über ein intelligentes Energieübertragungsnetz rundet die Versuche optimal und in einer einzigartigen Lernumgebung ab. An einer speziell dafür erstellten Warte können verschiedene Einspeisungs- und Verbrauchssituationen der einzelnen Komponenten simuliert und dargestellt werden. So wird gewährleistet, dass die Studierenden sich auf die spätere Arbeitssituationen einstellen können.

Ein zusätzlicher Bestandteil des Labors ist der Arbeitsplatz zum Thema Hybrid- und Elektrofahrzeuge. Hier wird ein direkter Bogen zum Maschinenbau geschlagen. „Fahrzeug- und Verkehrstechnik passt in meinen Augen sehr gut zu den Erneuerbaren Energien. Dabei geht es um Nutzung von erneuerbaren Energien und Energiesparen durch innovative Verkehrsmittel“, kommentiert Prof. Martina Hofmann – Leiterin des Labors für Erneuerbare Energien – die Eingliederung dieses Moduls in das Lehrsystem. Am Laborarbeitsplatz steht vor allem die Sensibilisierung auf Hochvoltssysteme im Vordergrund. In herkömmlichen Benzin- und Dieselfahrzeugen stellte die bisherige Elektrik im Fahrzeug keine Gefährdung dar, da der direkte Kontakt mit dem 12 Volt Spannungssystem nicht lebensgefährlich ist. In Hybrid- und E-Fahrzeugen wird die Versorgungsspannung für den Antriebsstrang auf eine höhere Spannungsebene angehoben, um den Energieverlust so klein wie möglich zu halten. Die veränderte Spannungslage im Hochvoltssystem verlangt deswegen eine Sensibilisierung der Fachkräfte. An dem Arbeitsplatz Hybrid- und Elektrofahrzeuge, können Studierende an originalgetreu simulierten Komponenten experimentieren, Messungen vornehmen, Übungsaufgaben bearbeiten und alle wichtigen Vorsichtsmaßnahmen verinnerlichen, die für den Berufsalltag am Hochvoltssystem wichtig sind.

Labor für elektrische Antriebstechnik und Leistungselektronik

In der Antriebstechnik stehen der Entwurf von elektrischen Maschinen sowie die hochdynamische Regelung von Antrieben im Vordergrund. Das Labor für Antriebstechnik und Leistungselektronik der Hochschule Aalen verfügt über Simulationswerkzeuge, die erforderlich sind, um leistungselektronische Schaltungen realitätsnah zu simulieren. Diese Ausrüstung ermöglicht es, entwickelten Steuer- und Regelalgorithmen direkt auf die Zielhardware zu übertragen. Darüber hinaus verfügt die Hochschule über die erforderliche Ausrüstung, um leistungselektronische Schaltungen bis 50 kVA labortechnisch in Betrieb zu nehmen. Sowohl in der Antriebstechnik als auch in der Leistungselektronik werden durch die Verwendung neuartiger Steuer- und Regelalgorithmen der Wirkungsgrad und die Energieeffizienz der jeweiligen Anwendung optimiert. Damit wird ein Beitrag zum ökonomischen Einsatz von Primärenergie geleistet.

Die Mitarbeiter des Labors für Leistungselektronik bearbeiten Forschungsvorhaben, die sich mit Netzeinspeisung (PV-Wechselrichter), Blindleistungskompensation sowie der netzfreundlichen Leistungsentnahme beschäftigen. Aktuell werden neue Steuer- und Regelalgorithmen für ein aktives Filter erforscht. Des Weiteren beschäftigt sich die

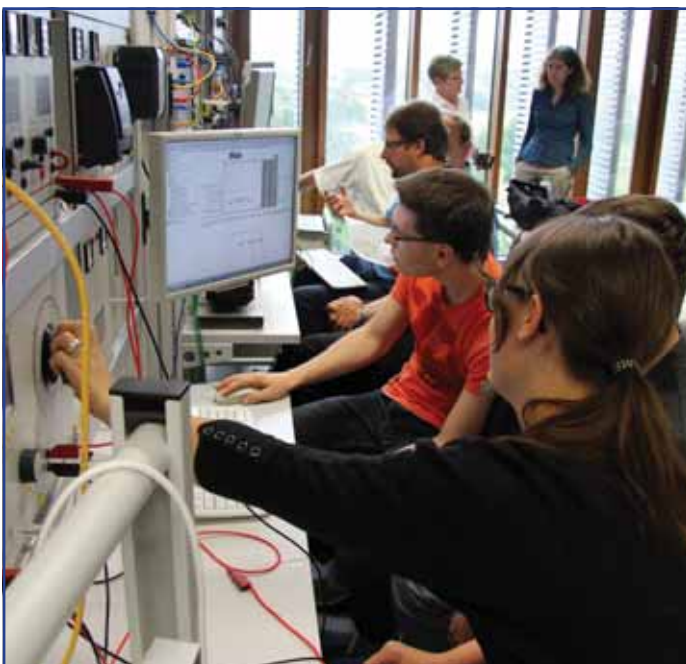


Abbildung 1: Mitarbeiter und Studierende des Labors für Erneuerbare Energien an den Labormodulen für Erneuerbare Energien

Arbeitsgruppe aktuell mit Simulationen und der Inbetriebnahme der netzseitigen Hardware eines Batteriespeichers.



Abbildung 2: Prof. Steinhart mit Studierenden im Labor

Teilprojekte der Forschung werden im Rahmen von Projekt-, Bachelor- und Masterarbeiten von Studierenden bearbeitet. Diese werden so gezielt an das wissenschaftliche Arbeiten herangeführt und können ihren Beitrag zu erfolgreichen Forschungsprojekten leisten. „Es war mir immer ein besonderes Anliegen, insbesondere bei Studierenden das Interesse für mein Fach zu wecken“, sagt Prof. Dr. Heinrich Steinhart – Leiter des Labors für elektrische Antriebe und Leistungselektronik – über sich. Und wo gelingt das besser als im Labor, wo mit der Forschung das Herz der Elektrotechnik schlägt?

Forschungsbeispiel aus dem Labor für elektrische Antriebstechnik und Leistungselektronik: "Netzrückwirkungsfreies Zuschalten von Kondensatoren zur Blindleistungskompensation"

Als Beispiel für die Forschungsaktivitäten an der Fakultät Elektronik- und Informatik der Hochschule Aalen werden im Nachfolgenden Auszüge aus einer Veröffentlichung vorgestellt, die in der Zeitschrift „etz – elektrotechnik & automation“, Ausgabe 4/2014, abgedruckt wurde. Das Projekt wurde vom Labor für elektrische Antriebstechnik und Leistungselektronik gemeinsam mit der Firma Schäfer, Achern, bearbeitet und vom BMWi über das Förderprogramm ZIM gefördert.

Einleitung

Die Installation von Blindleistungskompensationsanlagen in Industriernetzen erfolgt meist auf der Niederspannungsebene. Die Schalthandlungen des Blindleistungskompensators (Abbildung 3) verursachen schwach gedämpfte Einschwingvorgänge, welche empfindliche Verbraucher in der Funktionsweise beeinträchtigen können. Durch das nachfolgend beschriebene Zuschaltverfahren können die Einschwingvorgänge vermieden und damit die Netzqualität verbessert werden. Das neue Verfahren ermöglicht es, eine hochdynamische Kompensation mit häufigen Schalthandlungen des Blindleistungskompensators zu realisieren.

Die meisten industriellen Verbraucher, wie beispielsweise elektrische Antriebe, wirken ohmsch-induktiv. Diese beziehen induktive Blindleis-



Junge Talente und versierte Experten (m/w) gesucht!

Die **AMK Gruppe** zählt zu den führenden Herstellern innovativer elektrischer Antriebs- und Steuerungstechnik. Weltweit sind rund 900 Mitarbeiter verantwortlich für Komponenten, Lösungen und Services in der Automobilindustrie und im Maschinen- und Anlagenbau.

Ob Servomotoren, intelligente Servoumrichter, Steuerungen für den Maschinenbau oder E-Powertrain Lösungen für die Automobilindustrie – die Innovationen aus Kirchheim/Teck sorgen für Fortschritte in zahlreichen Branchen.

Unsere Mitarbeiter bringen mit ihrer professionellen Leidenschaft Bewegung in Maschinen, Anlagen und Automobile unserer Kunden. **Tag für Tag.**

Wir bieten hochinteressante innovative Tätigkeitsfelder mit Perspektive. **Bewerben Sie sich!**



AMK
www.amk-antriebe.de

tung aus dem Netz, welche die Übertragungseinrichtungen, wie z. B. Leitungen und Transformatoren, zusätzlich zur Wirkleistung belastet. [...]

Neben den nötigen Schutzeinrichtungen (Sicherungen, etc.) besteht eine Kompensationsanlage (Abbildung 3) im einfachsten Fall aus Kondensatoren und Schaltern, über welche die Kondensatoren auf das Netz aufgeschaltet werden können.

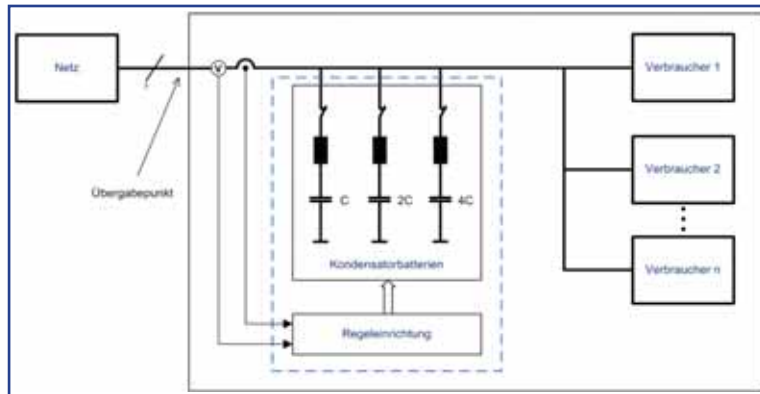


Abbildung 3: Beispielhafter Aufbau einer Kompensationsanlage

Mögliche Schaltgeräte und Zuschaltverfahren

Die Zuschaltung der Kondensatoren kann über mechanische oder elektronische Schalter erfolgen. [...] Durch Verwendung elektronischer Schalter (i.d.R. Thyristoren) lassen sich die Kondensatoren zu einem genau definierten Zeitpunkt zuschalten. Dieser wird so gewählt, dass die Kondensatorspannung genau der Netzspannung entspricht. Dadurch lässt sich der hohe Einschaltstrom vermeiden, allerdings treten auch hier einschwingende Vorgänge auf (Abbildung 4, oben: Zuschalten ungeladener Kondensatoren).

Werden die Kondensatoren auf den Scheitelwert der Kondensatorspannung geladen und erfolgt die Zuschaltung der Kondensatoren zum Zeitpunkt des Scheitelwerts der Netzspannung, so ergeben sich keine einschwingenden Vorgänge mehr, da der Kondensatorstrom zu diesem Zeitpunkt ohnehin seinen natürlichen Nulldurchgang besitzt und sich somit nach dem Zuschalten die Schaltung sofort in einem stationären, eingeschwungenen Betriebszustand befindet (Abbildung 4, unten).

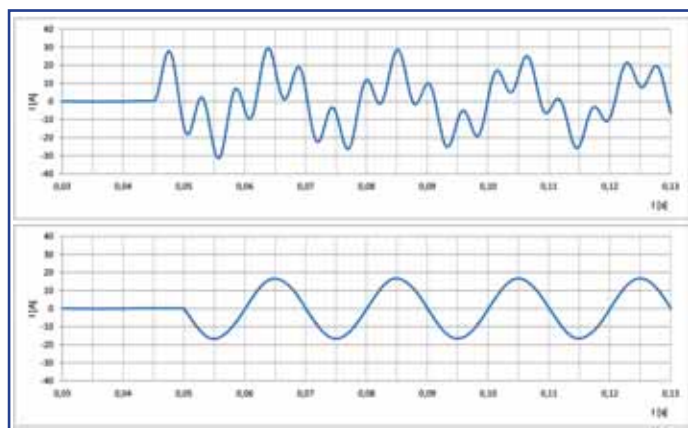


Abbildung 4: Vergleich der Zuschaltverfahren: Ströme einer Phase beim Zuschalten der Kompensationskondensatoren ans Netz

Hochdynamische Kompensation

Vor allem der Blindleistungsbedarf von Verbrauchern wie Schweißgeräten oder Pressen stellt einen hohen Anspruch an die Dynamik der Kompensation, da hier für die Dauer weniger Netzperioden bis einiger Sekunden hohe Blindströme auftreten.

Durch die hohe Anzahl an Schalthandlungen wäre das Netz aufgrund der daraus resultierenden Rückwirkungen der herkömmlichen Zuschaltverfahren mit Verzerrungsleistung belastet.

Abhängig von den verwendeten Algorithmen zur Leistungsbeurteilung kann die auf einem Mikrocontroller oder einem digitalen Signalprozessor implementierte Blindleistungsregelung innerhalb einer Netzperiode reagieren und bedarfsgerecht Kondensatoren ans Netz schalten. Durch das hier beschriebene Zuschaltverfahren ist es möglich, den Blindleistungsbedarf ohne einschwingende Vorgänge und damit ohne Netzzrückwirkungen zu kompensieren. Es entstehen keine Beeinträchtigungen empfindlicher Verbraucher.

Danksagung

Die oben genannten Forschungsvorhaben werden vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi) gefördert.

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Autoren

Prof. Dr.-Ing. Heinrich Steinhart
Heinrich.Steinhart@htw-aalen.de

M. Sc. Swen Bosch
Swen.Bosch@htw-aalen.de

B. Eng. Julia Stelzenmüller
Julia.Stelzenmüller@htw-aalen.de

M. A. Susanne Reuter
Susanne.Reuter@htw-aalen.de

Hochschule Aalen - Technik und Wirtschaft

Fakultät Elektronik und Informationstechnik
Labor für elektrische Antriebstechnik und Leistungselektronik
Anton-Huber-Str. 25, 73430 Aalen

Tel.: +49 (0) 7361 / 576-4233

PERTURMED –

Ein aktiv steuerbares Trainingsgerät für den Einsatz in der Rehabilitation und zur Verletzungs- und Sturzprophylaxe

Kurzfassung

Der vorliegende Beitrag behandelt eine innovative Idee zur Umsetzung eines Interventionsprogrammes mit dem Inhalt eines reaktiven Gleichgewichtstrainings. Zum Einsatz kommt hierbei ein aktiv ansteuerbares Trainingsgerät, das mittels Perturbation (vorhergesehene oder unvorhergesehene Auslenkungen) einer schwingenden Plattform Störreize appliziert. Diese Störreize bringen die Menschen, welche auf dieser Plattform stehen, aus dem Gleichgewicht und lösen dadurch posturale Ausgleichsreaktionen aus. Mit einem solchen Gerät können demnach Situationen, welche zu Stürzen führen, realitätsnah simuliert und die dafür nötigen Ausgleichsreaktionen unter kontrollierten Trainingsbedingungen provoziert werden.

1. Motivation

Der demographische Wandel in Mitteleuropa zeichnet sich durch die voranschreitende Überalterung der Gesellschaft aus. Aufgrund der stetig zunehmenden Zahl älterer Menschen rechnet man zukünftig mit einem deutlichen Anstieg der Gesundheitsausgaben. In Deutschland hat sich laut Altenbericht 2001 in der Zeit von 1900 bis 1998 der Anteil der über Sechzigjährigen von 4,4% auf 18,4% erhöht und wird in den nächsten Jahrzehnten auf 37% ansteigen (Freiberger, 2007).

Ganz allgemein gehen mit dem Alter Einbußen der Leistungsfähigkeit einher, welche neben der Sinneswahrnehmung auch den Bewegungsapparat betreffen. Altersbedingte Kraftreduktionen, zunehmende Gleichgewichts- und Orientierungsprobleme sowie koordinative Beeinträchtigungen beim Gehen und Stehen zeugen von einer progressiven Abnahme der neuromuskulären Leistungsfunktionen im Alter (Granacher, 2006). Im Genaueren führt der Alterungsprozess zu einem Verlust der Maximal- und Explosivkraft und zu einer veränderten Modulation des Reflexverhaltens beim älteren Menschen. Die altersbedingte Veränderung der Reflexaktivität ist vor allem bedingt durch eine Desensibilisierung der Muskelspindeln, welche wiederum zu einer progressiven Abnahme der sensorischen Nervenbahnen sowie der sensorischen Nervenzellen selbst führt (Granacher, 2006). Der Vorgang des Alterns ist demnach durch strukturelle Degenerationen innerhalb des neuromuskulären Systems gekennzeichnet, welche zu einer Reduktion der neuromuskulären Leistung beitragen. Dies wiederum hat nicht zuletzt Defizite in der Gleichgewichtskontrolle, im Sinne von langsameren und reduziert ausfallenden posturalen Reaktionen auf unvorhergesehene Perturbationen, zur Folge (Tang, 1998) und verursacht somit ein drastisch erhöhtes Sturzrisiko bei älteren Menschen (Granacher, 2006).

Um einer durch die aufwändige Altenpflege verursachten Überforderung des öffentlichen Gesundheitssystems entgegenzuwirken, gewinnen Prä-

ventions- und Rehabilitationsprogramme zunehmend an Wichtigkeit. Die gesellschaftliche und gesundheitsökonomische Vision solcher Interventionen ist die nachhaltige Stärkung der Autonomie älterer Menschen, der Erhalt ihrer Gesundheit und Selbständigkeit und in Folge dessen eine Verbesserung ihrer Lebensqualität (Granacher, 2003). Konkret werden alte Menschen in diesen Interventionen systematisch in Trainingsprogramme eingebunden. Diese Trainingsprogramme zielen darauf ab, die motorische Kompetenz sowie die Koordination und Kraftfähigkeit alter Menschen zu verbessern und somit die Mobilität bis ins hohe Alter zu erhalten. Gerade den bereits genannten degenerativen Alterungsprozessen des neuromuskulären Systems soll gezielt entgegengewirkt werden. Innerhalb des mannigfaltigen Angebots an Präventions- und Rehabilitationsprogrammen kommt dem Gleichgewichtstraining laut Rieser (2007) besondere Bedeutung zu.

2. Gleichgewichtstraining

2.1 Im Allgemeinen

Die dynamische und statische Gleichgewichtskontrolle ist von entscheidender Bedeutung bei der Vermeidung von Stürzen (Taubе, 2007). Durch empirische Studien ist ausgesprochen gut dokumentiert, dass Menschen mit einer guten Gleichgewichtsfähigkeit seltener stürzen im Vergleich zu Menschen mit einer schlechten Gleichgewichtsfähigkeit (Zech, 2010). Eine Störung des posturalen Gleichgewichts kann vor allem durch die altersbedingte Abnahme der sensomotorischen Leistungsfähigkeit verursacht sein. Gerade im Zusammenhang mit Stürzen besagen Studien, dass die Aufrechterhaltung der posturalen Kontrolle und somit die Verhinderung eines Sturzes durch eine effiziente neuromuskuläre Ansteuerung im Allgemeinen und die unwillkürlich rasche reflektorische Muskelaktivierung im Speziellen gekennzeichnet ist (Granacher, 2006; Karlsson, 2013). Insbesondere für den alten Menschen besteht also das Ziel, die Gleichgewichtskontrolle zu verbessern.

Gleichgewichtstraining spricht selektiv die Gleichgewichtsfähigkeit an. Das heißt, durch Gleichgewichtstraining werden diejenigen motorischen und neuromuskulären Parameter trainiert, welche dazu beitragen, den Körper im Gleichgewicht zu halten oder die Balance nach unvermittelten Störreizen wiederzuerlangen. In der Trainingspraxis behilft sich das Gleichgewichtstraining schlicht instabiler Unterlagen zur Erzeugung eines „instabilen Gleichgewichts“ (Taubе, 2008). Zum Einsatz kommen Kippbretter, Matten oder Therapiekreisel. All diese Trainingsgeräte haben gemein, dass der Trainierende kurzzeitig sein Gleichgewicht verliert und es wieder erlangen muss, um stabil stehen zu können (Taubе, 2006). In vergangenen Studien, in welchen der therapeutische Nutzen von Gleichgewichtstraining unter sturz- und verletzungspräventiven Gesichtspunkten untersucht wurde, konnte gezeigt werden, dass ein Gleichgewichtstraining die funktionelle Leistungsfähigkeit in Bezug auf

die Gleichgewichtskontrolle verbessert. Dies bedeutet, dass der posturale Schwankweg nach einer Trainingsintervention deutlich reduziert ist, was wiederum zu einer verbesserten Standstabilität führt (Hoffmann, 1995; Heitkamp, 2000). Weiterhin haben empirische Studien gezeigt, dass ein Gleichgewichtstraining neben der posturalen Kontrolle auch die neuro-muskuläre Ansteuerung verbessert (Zech, 2010). Dieser Effekt zeigt sich in einer deutlich ausgeprägten Steigerung der Kraftfähigkeit (Heitkamp, 2001; Bruhn, 2004; Gruber, 2004; Taube, 2007). Demzufolge beeinflusst Gleichgewichtstraining neben der Maximalkraft auch die Kraftanstiegsrate positiv. Letzere beschreibt die erzielte Kraft pro Zeit und ist vor allem bei plötzlichen Ausgleichsreaktionen von wesentlicher Bedeutung (Bruhn, 2006; Granacher, 2006; Gruber, 2007). Mittlerweile ist belegt, dass ein Gleichgewichtstraining durch die verbesserte neuromuskuläre Ansteuerung einen gelenkstabilisierenden Effekt in der unteren Extremität erzielt, und somit zu einer verbesserten Gelenkkontrolle führt. In der Literatur wird diskutiert, dass diese funktionellen und neuromuskulären Anpassungen an Gleichgewichtstraining vor allem auf Veränderungen im zentralen Nervensystem (ZNS) zurückzuführen sind (Taube, 2008). Die verbesserten posturalen Fähigkeiten stehen demnach mit den spezifischen Anpassungen der neuromuskulären Kontrollmechanismen in Zusammenhang.

Auf der Basis dieser Erkenntnisse kann das Gleichgewichtstraining nicht nur zur Nachbehandlung von Sportverletzungen eingesetzt, sondern auch als präventive Maßnahme zur Vermeidung von Verletzungen der unteren Extremitäten oder zur Senkung des Sturzrisikos bei Älteren genutzt werden. In Bezug auf die Sturzprophylaxe sollen die positiven Effekte des Gleichgewichtstrainings den schon angesprochenen altersbedingten Veränderungen im neuromuskulären System, die ein erhöhtes Sturzrisiko zur Folge haben, entgegenwirken und eine gute Gleichgewichtskontrolle wiederherstellen. Durch eine solche Trainingsmaßnahme im Alter können nicht nur die Kraftfähigkeit und die funktionelle Reflexaktivität verbessert, sondern auch einen Beitrag zur Reduktion der Sturzgefahr geleistet werden (Rogers, 2003; Granacher, 2006).

2.2 Sonderform Perturbationstraining

Das Perturbationstraining ist eine Sonderform des Gleichgewichtstrainings und basiert auf der Idee des reaktiven Balancierens. Dem perturbationsbasierten Gleichgewichtstraining liegt insbesondere die Spezifität des Belastungsreizes zu Grunde (Mansfield, 2007). Der Trainierende wird durch mechanische Auslenkung der Unterstützungsfläche zunächst aus dem Gleichgewicht gebracht. Trotz des destabilisierenden Moments durch die Perturbation soll die Körperstellung beibehalten und das entstandene Ungleichgewicht durch Muskelkontraktion ausgeglichen werden. Diese Reize stellen hohe Anforderungen an das sensomotorische System. Die unvorhersehbaren, in alle Richtungen wirkenden Perturbationen schaffen somit realitätsnahe Bedingungen zur Simulation von Stürzen (Bieryla, 2011). Dadurch werden die Gleichgewichtskontrolle sowie die mobilitäts- und funktionalitätserhaltenden Komponenten des alten Menschen auf sehr realistische Weise gefordert und gefördert. Die Reaktionen auf ein plötzliches Hindernis, wie etwa das abrupte Abfangen, werden selektiv angesprochen und trainiert. In der Literatur ist ausgesprochen gut dokumentiert, dass die neuromuskuläre Ansteuerung und motorische Kontrolle in Folge von Perturbationstraining verbessert sind (Mansfield, 2010). Insbesondere spezifische koordinative Fertigkeiten, welche das Ausbalancieren nach

einem Stolpern simulieren, können mit Hilfe des Perturbationstrainings adäquat geschult werden (Mansfield, 2007). Die Untersuchungen von Obuchi (2004) und Bieryla (2011) belegen den positiven Einfluss des reaktiven Balancierens im Hinblick auf dessen Einsatz in der Sturzprävention bei Älteren. Nach der Trainingsintervention zeigten die älteren Probanden eine schnellere und verbesserte neuromuskuläre Reaktion auf den jeweiligen Störreiz (Obuchi, 2004) sowie eine gesteigerte Reaktionsfähigkeit und Verbesserung der Bewegungskoordination (Bieryla, 2011). Die Ergebnisse zeigen auf, dass auch das sensomotorische System des alten Menschen über ausreichend Plastizität verfügt und mit einem adäquaten Trainingsreiz die posturale Leistungsfähigkeit verbessert werden kann. Es wird davon ausgegangen, dass Perturbationstraining zielgerichtet spezifische Aspekte der Gleichgewichtswiederherstellung anspricht, welche nach einer Stoppersituation zur Wiedererlangung des Gleichgewichts von Nöten und vor allem bei Älteren beeinträchtigt sind (Mansfield, 2007). Aufgrund dieser Eigenschaften ist das Perturbationstraining eine Trainingsintervention, welche gezielt spezifische, schnelle posturale Reaktionen hervorruft und somit annähernd die natürliche Variabilität der Gleichgewichts- und Bewegungsanforderungen simuliert (Crevecoeur, 2012). Aufgrund der genannten Aspekte wird dem Perturbationstraining in der internationalen Fachliteratur bedeutende Relevanz in Bezug auf Sturzprävention im Alter zugesprochen.

3. Technische Umsetzung

3.1 Anforderungen an das Gerät

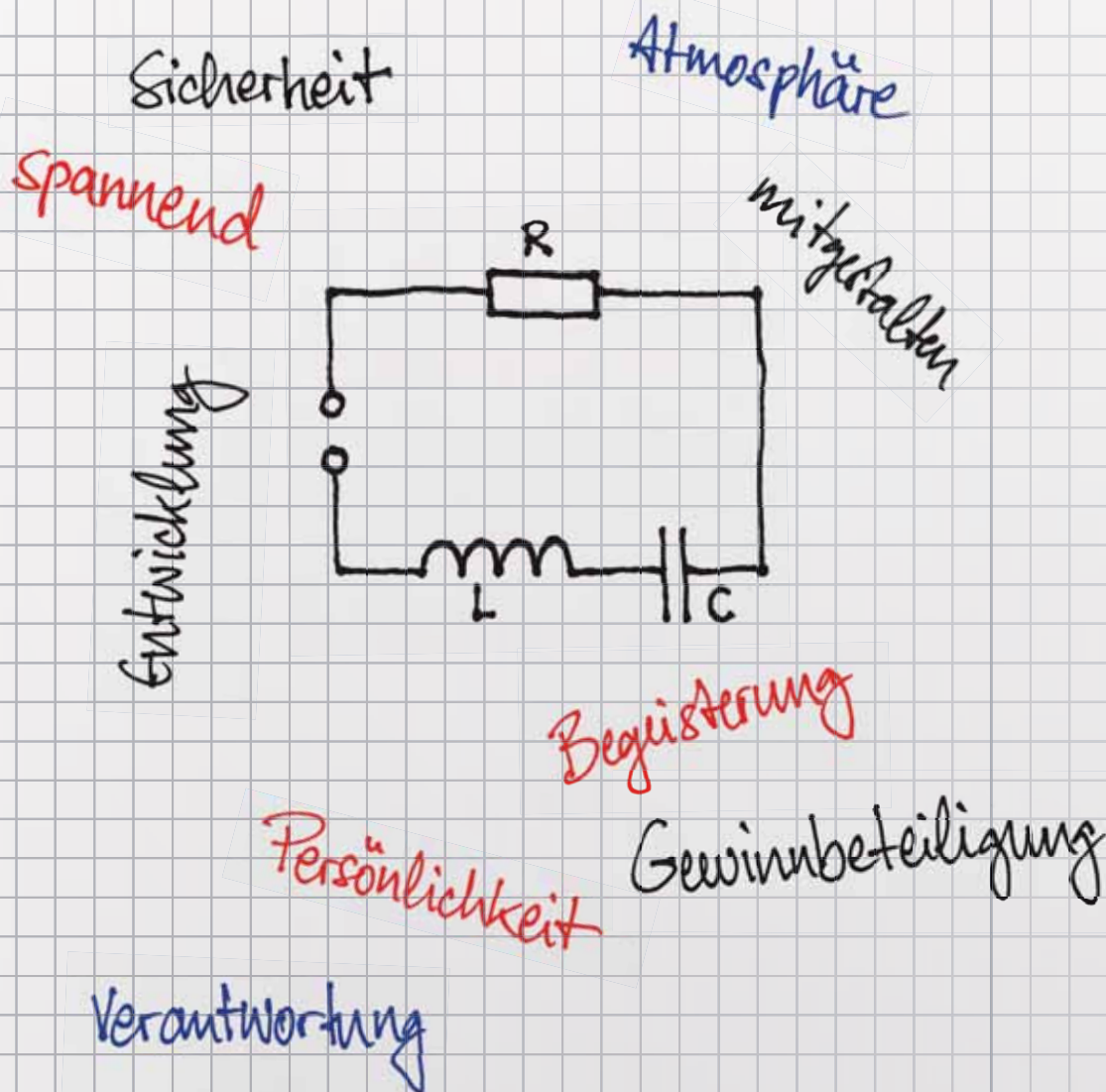
Das Trainingskonzept sieht die Entwicklung eines aktiv steuerbaren Trainingsgeräts vor, das mittels Perturbation Störreize appliziert, welche die Versuchsperson aus dem Gleichgewicht bringen und dadurch posturale Ausgleichsreaktionen auslösen. Das Trainingsgerät soll stufenweise einstellbar sein und neben moderater Störreizapplikation (durch schwache und langsame Auslenkung) auch starke Störreize (durch schnelle und große Auslenkung) realisieren können. Das zielgerichtete Training mit dem genannten Gerät verspricht gemäß internationaler Fachstudien optimale Anpassungserscheinungen im Bereich der statischen und dynamischen Gleichgewichtsfähigkeit sowie der motorischen Kontrolle (Obuchi, 2004; Mansfield, 2007; Bieryla, 2011; van Ootghem, 2009; van Ootghem, 2010). Das Basiswerk des Perturbeds ist das Posturomed (Abb. 1).

Das Posturomed ist ein von der Firma Haider Bioswing gefertigtes Therapie- und Trainingsgerät. Es besteht aus einer oszillierenden Platte, die mittels Dämpfungselementen an einem Rahmen aufgehängt ist. Diese Konstruktion erlaubt der Platte das freie Schwingen in alle Richtungen der horizontalen Ebene. Das Training auf dem Posturomed unterstützt die Stabilisierung der vertikalen Körperposition des Menschen (Müller, 2004). Geringste Abweichungen des Gleichgewichts führen zu einer Bewe-



Abbildung 1: Posturomed von Haider Bioswing – eine an acht Stahlseilen aufgehängte Plattform. Bild: Haider Bioswing

Wie stellst du dir die Zukunft vor?



Automotive – Sicherheitstechnik – Telekommunikation
Automatisierungstechnik – Energietechnik

VALUE
Consulting

Stuttgart – München – Überlingen

www.valyue.de

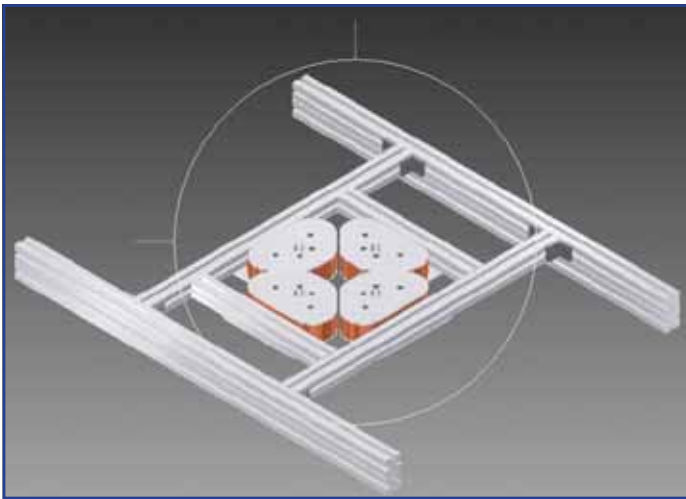


Abbildung 2: Konstruktion und Anordnung der Spulen



Abbildung 3: Aufbau des Spulenantriebs

gungsreaktion der Standfläche, sodass der Trainierende verstärkt neuromuskulär beansprucht wird und arbeiten muss, um den Körper im Gleichgewicht zu halten (Dohm-Acker, 2008).

Aus der physiotherapeutischen Praxis heraus entstand die Idee, derartige Trainingsgeräte auch von außen, für den Probanden unvorhersehbar und spontan ausulenken um durch gezielte Perturbation den Trainingsreiz zu verändern und dadurch den Trainingserfolg zu verstärken. Daher wurde im Rahmen dieses Projektes ein aktiv steuerbares Trainingsgerät zum reaktiven Gleichgewichtstraining entwickelt.

3.2 Konzeption des Geräts

Das Gerät ist so konstruiert, dass es in der horizontalen Ebene beliebig und für den Probanden oder Patienten zeitlich und räumlich unvorhersehbar ausgelenkt werden kann. Aus technischer Sicht sollte das oben beschriebene Perturbationstraining mit einem Trainingsgerät realisiert werden, das folgende Eigenschaften erfüllen musste:

- Maximale Beschleunigung $1G \approx 9,81 \text{ m/s}^2$
- benötigte Kraft zur Auslenkung ca. 1000 N
- Plattform in ausgelenkter Position halten (150 N)
- Auslenkung $\pm 50 \text{ mm}$ aus der mittigen Neutralposition in alle Richtungen der Horizontalen

- Auslenkung möglichst lautlos
- möglichst wenig Dämpfung der schwingenden Platte, d.h. wenig Gewicht durch Antriebseinheit
- mechanisch entkoppelt um freies, ungedämpftes Schwingen zu realisieren
- Spannungsversorgung 230V, geringe Stromaufnahme

Die Aufgabe im Projekt bestand zusätzlich darin, das vorhandene Trainingsgerät so zu modifizieren, dass ohne große konstruktive Änderungen des Basisgeräts Posturomed ein Aktivmodul nachgerüstet werden kann. Dies konnte durch ein elektromagnetisches Antriebssystem aus 4 Spulen und einem Permanentmagnet erreicht werden.

Am bisherigen passiven Posturomed wird lediglich ein Permanentmagnet auf der Unterseite zentral angebracht. Das bedeutet eine nur geringe Gewichtszunahme und damit keine mechanische Kopplung oder Dämpfung durch die Antriebseinheit, d.h. das Gerät kann wie bisher auch als passives System eingesetzt werden. Die freischwingende, mechanisch entkoppelte Trittplatte lässt weiterhin die Bewegungen in der horizontalen Ebene für die eigentliche sogenannte erste Koordinationsaufgabe des Probanden, den eigenen Körper in Ruhelage zu bringen, zu.

In dem feststehenden Teil des Geräts wird die Antriebseinheit mit 4 Spulen und optimierter Jochführung integriert. Damit sind die größeren Gewichte in dem statischen Teil des Geräts verbaut und behindern das Bewegungsausmaß der Trittplatte nicht (Abb. 2 und 3).

Die 4 Spulen sind kommerziell erhältlich, was hinsichtlich Verwertung und Vermarktung des Trainingsgeräts wesentlich ist (Technische Daten: 1200 Wicklungen, $0,85 \text{ mm}^2$ Kupferdraht, Widerstand $7,7 \text{ Ohm}$). Die Spulen sind jeweils in Längs- und Querrichtung gekoppelt, um einen möglichst geringen Stromfluss zu erreichen und damit eine Erwärmung und gegebenenfalls Überhitzung der Spulen im Dauerbetrieb zu reduzieren. Für die diagonale Auslenkung können alle 4 Spulen mit einem Stromfluss beaufschlagt werden. Je nach Stromrichtung sind damit beliebige horizontale Auslenkungen möglich. Der zugehörige Permanentmagnet hat eine Zugkraft von 400 kg bei Abmessungen von $80 \text{ mm} \times 80 \text{ mm} \times 20 \text{ mm}$.

Das gewählte Antriebssystem ermöglicht eine aktive Auslenkung der Trittplatte aus der Ruhelage, mit einstellbaren Beschleunigungen und frei wählbarer Richtung in der horizontalen Ebene. Damit wird eine zweite Koordinationsaufgabe für den Patienten realisiert, den Körper auch aus zufällig erwirkten Störungen zurück in die Gleichgewichtslage zu bringen und diese zu halten (Abb. 4 und 5).

Die Ansteuerung des Perturmeds erfolgt durch eine eigenentwickelte Elektronikleiterplatte (Abb. 6) zur Ansteuerung der jeweiligen Spulen und Mikrocontroller-Schaltung zur Programmierung verschiedener Benutzermodi. Im Prototypengerät ist noch eine einfache Tasterschaltung für die implementierten Programme realisiert. In der ersten Optimierung der Leiterplatte wurde bereits ein kleines LCD-Display zur Benutzerführung und Parametrisierung vorgesehen. Im späteren Gerät soll das externe Bedienteil für Therapeuten und Trainer als Touchdisplay ausgeführt werden, wo dann Richtung und Beschleunigung der aktiv erwirkten Auslenkung der Trittplatte intuitiv eingestellt und für den Patienten unvorhergesehen bewirkt werden kann.

4. Studie zur Validierung des Trainingsgeräts

Ziel der Untersuchung war es, die Tauglichkeit, Einsetzbarkeit und den Nutzen des Perturmeds in einem Querschnittsvergleich zu überprüfen. Mittels dieser Untersuchung sollte festgestellt werden, ob der Perturmed unterschiedliche Schwierigkeitsstufen abbilden kann, die in Abhängigkeit von der posturalen und neuromuskulären Reaktion beschreibbar sind. Ferner sollte untersucht werden, ob sich der Effekt von Perturbationsamplitude, -geschwindigkeit und -richtung voneinander abgrenzen und im Hinblick auf die Beanspruchung unterschiedlicher Muskelgruppen und Reflexphasen differenzieren lässt.

Insgesamt nahmen 20 freiwillige Probanden an dieser Studie teil. Die Teilnehmer waren körperlich gesunde Sportstudenten an der Universität Freiburg (6 Frauen und 14 Männer, Alter 27 ± 3 Jahre, Gewicht 73 ± 12 kg, Größe 178 ± 9 cm) mit keinerlei neurologischen Vorerkrankungen oder Verletzungen der unteren Extremität. Das Experiment wurde von der Ethikkommission der Universität Freiburg positiv bevotet und entsprechend der Richtlinien der „Declaration of Helsinki“ durchgeführt. Je 10 Probanden trainierten auf dem Perturmed, eine Vergleichsgruppe auf konventionellen Therapiegeräten.

Die optimale Lösung zur Realisation dieser Zielsetzung bietet eine 4x4 Matrix mit 4 Schwierigkeitsstufen (in Abbildung 7 in der Vertikalen – mit Beginner / Advanced / Advanced Plus / Professional dargestellt) und jeweils vier verschiedenen Modi (in der Horizontalen dargestellt). Es werden dabei jeweils die Parameter Richtung/Pause/Pulsbreite/Randomisierung der Perturbation variiert (Abb. 7). Das vorhandene Spektrum bildet alle Schwierigkeitsstufen von moderat bis sehr schwer ab und bietet somit neben Anfängern auch Fortgeschrittenen adäquate Trainingsmöglichkeiten.

5. Ergebnis der Studie

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass Perturbationstraining zum reaktiven Balancieren aus gesellschaftspolitischer Sicht vor allem im Hinblick auf dessen Einsatz in der Verletzungsprophylaxe beim alten Menschen von Bedeutung ist. Darüber hinaus verspricht diese neuartige Trainingsform einen wesentlichen Beitrag in der Rehabilitation und Prävention von Verletzungen leisten zu können. Alle drei Anwendungsgebiete stehen augenblicklich im öffentlichen Diskurs um gesundheitspolitische Fragen zur Kostenminimierung bei der Pflege im Alter und der Vorbeugung von Verletzungen sowie der Rehabilitation verunglückter Menschen.

Die technischen Spezifikationen des Perturmeds - dem neu entwickelten Trainingsgerät zum reaktiven Balancieren - sind insbesondere durch das elektromagnetische Antriebssystem bestimmt, das neben der in Amplitude und Geschwindigkeit beliebig einstellbaren Auslenkung in der horizontalen Ebene den Vorteil eines geringen Zusatzgewichts mit sich bringt. Dadurch kann die Trittplatte des Perturmeds wie bisher frei schwingen und das Gerät folglich auch unter bisherigen Bedingungen zum Einsatz kommen. Ferner verfügt der Perturmed über vier Schwierigkeitsstufen mit je vier frei einstellbaren Varianten. Diese Softwarelösung gewährleistet, dass sowohl moderate als auch fortgeschrittene Formen des Trainings auf dem Trainingsgerät durchgeführt werden können.

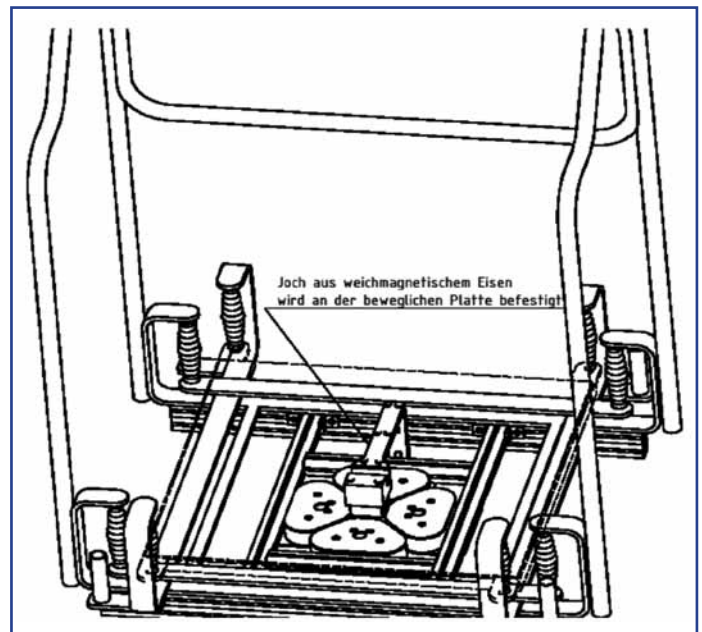


Abbildung 4: Konstruktion des Gesamtgeräts auf Basis des früheren Posturomed



Abbildung 5: Aufbau des Prototypengeräts

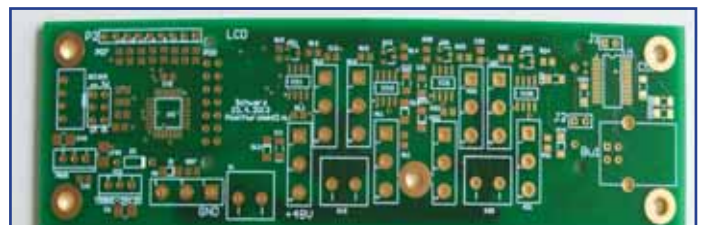


Abbildung 6: Leiterplatte zur Steuerung

Die erste Untersuchung zur Tauglichkeit und Anwendbarkeit des Perturmeds zeigt, dass mit dem Trainingsgerät unterschiedliche Schwierigkeitsstufen des reaktiven Balancierens abgebildet werden können. Posturale und neuromuskuläre Reaktionen können mittels Perturbationsamplitude, -geschwindigkeit und -richtung dosiert und somit an den Trainingsstatus des Trainierenden angepasst werden.

A (Beginner)	Schwierigkeitslevel	1	2	3	4
	Richtung	anterior/ posterior (vor/ zurück)	anterior/ posterior	mediolateral (rechts/ links)	mediolateral
	Reihenfolge der Richtung	nicht randomisiert (gleichbleibende Reihenfolge)	nicht randomisiert	nicht randomisiert	nicht randomisiert
	Pulsbreite der Rechtecksignale	100ms	275ms	100ms	275ms
	Zeit vom Beginn des 1. Signals bis zu Beginn des 2. Signals	3-4s	3-4s	3-4s	3-4s
B (Advanced)	Schwierigkeitslevel	5	6	7	8
	Richtung	anterior/ posterior & mediolateral	anterior/ posterior & mediolateral	anterior/ posterior & mediolateral & Diagonale	anterior/ posterior & mediolateral & Diagonale
	Reihenfolge der Richtung	nicht randomisiert (gleichbleibende Reihenfolge)	nicht randomisiert	nicht randomisiert	nicht randomisiert
	Pulsbreite der Rechtecksignale	100ms	275ms	100ms	275ms
	Zeit vom Beginn des 1. Signals bis zu Beginn des 2. Signals	3-4s	3-4s	3-4s	3-4s
C (Advanced Plus)	Schwierigkeitslevel	9	10	11	12
	Richtung	anterior/ posterior & mediolateral	anterior/ posterior & mediolateral	anterior/ posterior & mediolateral & Diagonale	anterior/ posterior & mediolateral & Diagonale
	Reihenfolge der Richtung	randomisiert (zufällig)	randomisiert	randomisiert	randomisiert
	Pulsbreite der Rechtecksignale	100ms	275ms	100ms	275ms
	Zeit vom Beginn des 1. Signals bis zu Beginn des 2. Signals	1-2s	1-2s	1-2s	1-2s
D (Professional)	Schwierigkeitslevel	13	14	15	16
	Richtung	anterior/ posterior & mediolateral	anterior/ posterior & mediolateral	anterior/ posterior & mediolateral & Diagonale	anterior/ posterior & mediolateral & Diagonale
	Reihenfolge der Richtung	nicht randomisiert (gleichbleibende Reihenfolge)	randomisiert	randomisiert	randomisiert
	Pulsbreite der Rechtecksignale	1500ms	1500ms	1500ms	randomisiert: 275ms & 1500ms
	Zeit vom Beginn des 1. Signals bis zu Beginn des 2. Signals	2s	2s	2s	2s

Abbildung 7: 4x4 Matrix für die Realisierung der Trainingsmodi – 16 verschiedene Trainingsprogramme decken das Anforderungsprofil im Hinblick auf ein geübtes und ungeübtes Trainings Klientel ab.

Literaturverzeichnis

- [1] Bieryla, K. A., & Madigan, M. L. (2011). Proof of concept for perturbation-based balance training in older adults at a high risk for falls. Archives of physical medicine and rehabilitation, 92(5), 841–843.
- [2] Bruhn, S., Kullmann, N., & Gollhofer, A. (2004). The effects of a sensorimotor training and a strength training on postural stabilisation, maximum isometric contraction and jump performance. International journal of sports medicine, 25(1), 56–60.
- [3] Bruhn, S., Kullmann, N., & Gollhofer, A. (2006). Combinatory effects of high-intensity-strength training and sensorimotor training on muscle strength. International journal of sports medicine, 27(5), 401–406.
- [4] Chmielewski, T. L., Hurd, W. J., Rudolph, K. S., Axe, M. J., & Snyder-Mackler, L. (2005). Perturbation training improves knee kinematics and reduces muscle co-contraction after complete unilateral anterior cruciate ligament rupture. Physical therapy, 85(8), 740-9; discussion 750-4.
- [5] Crevecoeur, F., Kurtzer, I., & Scott, S. H. (2012). Fast corrective responses are evoked by perturbations approaching the natural variability of posture and movement tasks. Journal of neurophysiology, 107(10), 2821–2832.
- [6] Dohm-Acker, M., Spitzenpfeil, P., & Hartmann, U. (2008). Auswirkung propriozeptiver Trainingsgeräte auf beteiligte Muskulatur im Einbeinstand [Effect of proprioceptive training tools for the muscles in stance stability]. Sportverletzung Sportschaden : Organ der Gesellschaft für Orthopädisch-Traumatologische Sportmedizin, 22(1), 52–57.
- [7] Fitzgerald, G. K., Axe, M. J., & Snyder-Mackler, L. (2000). The efficacy of perturbation training in nonoperative anterior cruciate ligament rehabilitation programs for physical active individuals. Physical therapy, 80(2), 128–140.
- [8] Fitzgerald, G. K., Childs, J. D., Ridge, T. M., & Irrgang, J. J. (2002). Agility and perturbation training for a physically active individual with knee osteoarthritis. Physical therapy, 82(4), 372–382.
- [9] Freiburger, E., Menz, H. B., Abu-Omar, K., & Rutten, A. (2007). Preventing falls in physically active community-dwelling older people: a comparison of two intervention techniques. Gerontology, 53(5), 298–305.
- [10] Gage, W. H., Frank, J. S., Prentice, S. D., & Stevenson, P. (2008). Postural responses following a rotational support surface perturbation, following knee joint replacement: frontal plane rotations. Gait & posture, 27(2), 286–293.
- [11] Gollhofer, A., & Rapp, W. (1993). Recovery of stretch reflex responses following mechanical stimulation. European journal of applied physiology and occupational physiology, 66(5), 415–420.
- [12] Granacher, U. (2003). Neuromuskuläre Leistungsfähigkeit im Alter (> 60 Jahre) - Auswirkungen von Kraft- und sensomotorischem Training, Universität Freiburg; Wirtschafts- und Verhaltenswissenschaftliche Fakultät. Institut für Sport und Sportwissenschaft.
- [13] Granacher, U., Gollhofer, A., & Strass, D. (2006). Training induced adaptations in characteristics of postural reflexes in elderly men. Gait & posture, 24(4), 459–466.
- [14] Granacher, U., Bridenbaugh, S. A., Muehlbauer, T., Wehrle, A., &

- Kressig, R. W. (2011). Age-related effects on postural control under multi-task conditions. *Gerontology*, 57(3), 247–255.
- ^[15] Gruber, M., & Gollhofer, A. (2004). Impact of sensorimotor training on the rate of force development and neural activation. *European journal of applied physiology*, 92(1-2), 98–105.
- ^[16] Heitkamp, H. C., Horstmann, T., Mayer, F., Weller, J., & Dickhuth, H. H. (2001). Gain in strength and muscular balance after balance training. *International journal of sports medicine*, 22(4), 285–290.
- ^[17] Heitkamp, H. C., Horstmann, T., & Schalinski, H. (2000). In-line skating: injuries and prevention. *The Journal of sports medicine and physical fitness*, 40(3), 247–253.
- ^[18] Hoffman, M., & Payne, V. G. (1995). The effects of proprioceptive ankle disk training on healthy subjects. *The Journal of orthopaedic and sports physical therapy*, 21(2), 90–93.
- ^[19] Hurd, W. J., Chmielewski, T. L., & Snyder-Mackler, L. (2006). Perturbation-enhanced neuromuscular training alters muscle activity in female athletes. *Knee surgery, sports traumatology, arthroscopy : official journal of the ESSKA*, 14(1), 60–69.
- ^[20] Icks, A., Becker, C., & Kunstmann, W. (2005). Sturzprävention bei Senioren: Eine interdisziplinäre Aufgabe. *Deutsches Ärzteblatt*, 102(31-32), A-2150.
- ^[21] Karlsson, M. K., Vonschewelow, T., Karlsson, C., Cöster, M., & Rosengen, B. E. (2013). Prevention of falls in the elderly: A review. *Osteoporosis International*, 24 (3), 747–76.
- ^[22] Mansfield, A., Peters, A. L., Liu, B. A., & Maki, B. E. (2007). A perturbation-based balance training program for older adults: study protocol for a randomised controlled trial. *BMC geriatrics*, 7, 12.
- ^[23] Mansfield, A., Peters, A. L., Liu, B. A., & Maki, B. E. (2010). Effect of a perturbation-based balance training program on compensatory stepping and grasping reactions in older adults: a randomized controlled trial. *Physical therapy*, 90(4), 476–491.
- ^[24] Müller, O., Günther, M., Krauss, I., & Horstmann, T. (2004). Physikalische Charakterisierung des Therapiegerätes Posturomed als Messgerät--Vorstellung eines Verfahrens zur Quantifizierung des Balancevermögens [Physical characterization of the therapeutic device Posturomed as a measuring device--presentation of a procedure to characterize balancing ability]. *Biomedizinische Technik. Biomedical engineering*, 49(3), 56–60.
- ^[25] Obuchi, S., Kojima, M., Shiba, Y., Shimada, H., & Suzuki, T. (2004). [A randomized controlled trial of a treadmill training with the perturbation to improve the balance performance in the community dwelling elderly subjects]. *Nihon Ronen Igakkai zasshi. Japanese journal of geriatrics*, 41(3), 321–327.
- ^[26] Pezzullo, D. J., & Fadale, P. (2010). Current controversies in rehabilitation after anterior cruciate ligament reconstruction. *Sports medicine and arthroscopy review*, 18(1), 43–47.
- ^[27] Rieser, S. (2007). Sturzprävention - Krafttraining mit 85. *Deutsches Ärzteblatt* 2007, 104.
- ^[28] Rogers, M. W., & Mille, M.-L. (2003). Lateral stability and falls in older people. *Exercise and sport sciences reviews*, 31(4), 182–187.
- ^[29] Tang, P. F., Woollacott, M. H., & Chong, R. K. (1998). Control of reactive balance adjustments in perturbed human walking: roles of proximal and distal postural muscle activity. *Experimental brain research. Experimentelle Hirnforschung. Expérimentation cérébrale*, 119(2), 141–152.
- ^[30] Taube, W., Gruber, M., Beck, S., Faist, M., Gollhofer, A., & Schubert, M. (2007). Cortical and spinal adaptations induced by balance training: correlation between stance stability and corticospinal activation. *Acta physiologica (Oxford, England)*, 189(4), 347–358.
- ^[31] Taube, W., Gruber, M., & Gollhofer, A. (2008). Spinal and supraspinal adaptations associated with balance training and their functional relevance. *Acta physiologica (Oxford, England)*, 193(2), 101–116.
- ^[32] Taube, W., Kullmann, N., Leukel, C., Kurz, O., Amtage, F., & Gollhofer, A. (2007). Differential reflex adaptations following sensorimotor and strength training in young elite athletes. *International journal of sports medicine*, 28(12), 999–1005.
- ^[33] Taube, W., Schubert, M., Gruber, M., Beck, S., Faist, M., & Gollhofer, A. (2006). Direct corticospinal pathways contribute to neuromuscular control of perturbed stance. *Journal of applied physiology (Bethesda, Md. : 1985)*, 101(2), 420–429.
- ^[34] Van Ooteghem, K., Frank, J. S., Allard, F., Buchanan, J. J., Oates, A. R., & Horak, F. B. (2008). Compensatory postural adaptations during continuous, variable amplitude perturbations reveal generalized rather than sequence-specific learning. *Experimental Brain Research*, 187(4), 603 – 611.
- ^[35] Van Ooteghem, K., Frank, J.S., Allard, F. & Horak, F.B. (2010). Aging does not affect generalized postural motor learning in response to variable amplitude oscillations of the support surface. *Exp Brain Res* 204, 505–514.
- ^[36] Zech, A., Hübscher, M., Vogt, L., Banzer, W., Hänsel, F., & Pfeifer, K. (2010). Balance training for neuromuscular control and performance enhancement: a systematic review. *Journal of athletic training*, 45(4), 392–403.

Autoren

Prof. Dr. Harald Töpfer¹, Dmitrij Kujat¹,
Ralf Colin¹, Prof. Dr. Thomas Stocker¹,
Dr. Ramona Ritzmann², Kathrin Freyler², Prof. Dr. Albert Gollhofer²,
Uli Brüderlin³,
Eduard Haider⁴

Hochschule Esslingen¹
Institut für Angewandte Forschung
73037 Göppingen
ralf.colin@hs-esslingen.de

Albert-Ludwigs-Universität Freiburg²
79117 Freiburg
ramona.ritzmann@sport.uni-freiburg.de

ReHa-Zentrum Brüderlin³
73035 Göppingen,
info@bruederlin.de

Haider Bioswing GmbH⁴
95704 Pullenreuth
eh@e-haider.de

Fossile Brennstoffe sind in ihrer Verfügbarkeit begrenzt. Diese Thematik ist nicht neu und wird bereits seit vielen Jahren publiziert. Vielleicht ist dies auch der Grund, weshalb ihre Bedeutung im täglichen Leben für uns kaum mehr wahrnehmbar ist. Unabhängig der täglichen Wahrnehmung schreitet der überaus schnelle Abbau dieser Rohstoffe ungebrochen voran. Hieraus entstehende Folgen wie z. B. der Klimawandel mit daraus einhergehenden dramatischen Naturkatastrophen. Diese Naturphänomene kommen immer häufiger vor und reichen bis in unsere Breitengrade. Abgesehen von den daraus resultierenden Konsequenzen für die Umwelt spiegelt sich dieser Umstand auch finanziell wieder. Rückversicherungen legen bereits heute ein großes Polster für Schadensfälle aus Naturkatastrophen an. Nicht nur in der Öffentlichkeit sondern auch im privaten Bereich sind Veränderungen erkennbar. So steigen die Kosten fossiler Brennstoffe wie z.B. Öl und Holz kontinuierlich an, und es gibt keine Anzeichen, dass sich dieser Trend umkehrt oder abschwächt. Zudem muss berücksichtigt werden, dass eine nicht ausreichende Versorgung mit diesen Materialien einen direkten Einfluss auf unser tägliches Leben hat. Dies kann im Sommer eine Klimaanlage betreffen, welche aufgrund von Energiemangel abgeschaltet werden muss, oder eine Einkaufsfahrt, welche dann zu Fuß realisiert wird.

Bei einer nüchternen Betrachtung der Verfügbarkeit fossiler Energieträger und ihrer Verknappung erlangt die Photovoltaik eine immer stärkere Bedeutung. Sie ist vielleicht die Technik der Zukunft, da sie direkt aus der Sonnenenergie nutzbare elektrische Energie erzeugt. Ihr Verbreitungsgrad inklusive der dazu notwendigen Investitionen spricht für sich. Gleichwohl ist die elektrische Energie noch immer schwer speicherbar, weshalb die Sonnenenergie häufig viele Umwege gehen muss, bis diese am Ende ihrem eigentlichen Zwecke zugeführt werden kann. Hierbei entstehen viele unnötige Verluste, welche einen Teil der ursprünglich zur Verfügung stehenden Energie „vernichten“. Derzeit kann in einer ersten Näherung von einem Wirkungsgrad von weniger als 15%, ausgehend von der Sonnenleistung auf der Erdoberfläche, bis zur finalen Anwendung, ausgegangen werden.

Um diesem Trend entgegen zu wirken sind Alternativen notwendig. Eine bis dato nicht vorhandene kommerzielle verfügbare Form der Energienutzung ist die direkte Verwendung der Sonnenenergie für den Antrieb mobiler Anwendungen, wie z.B. Elektro- oder Hybridfahrzeuge. Dieser Umstand ist besonders tragisch, da ausgerechnet diese Anwendung bzw. diese spezifische Form der Fortbewegung das Potential besitzt, ausschließlich durch erneuerbare Energien betrieben zu werden. Derzeit werden Akkumulatoren (Batterien) im Fahrzeug verbaut, welche zuerst geladen werden, damit sie während der Fahrt die notwendige elektrische Leistung bereitstellen können. Natürlich ist auch dieser Vorgang mit Verlusten behaftet.

Ein neuartiger Ansatz der Energiewandlung wurde an der Hochschule Esslingen im Institut für Nachhaltige Energietechnik und Mobilität (INEM) am Standort Göppingen durch den Wissenschaftler Prof. Neuburger entwickelt. Hierbei werden Solarzellen (Photovoltaik) direkt in ein



Abbildung 1

Fahrzeug im Dach integriert (Abbildung 1). Führt das Fahrzeug während des Tages, so kann die eingestrahelte Sonnenleistung in elektrische Leistung gewandelt werden. Dieser Vorgang ist nicht neu, wenngleich er bis dato so gut wie überhaupt nicht in der Realität umgesetzt wird. Der Grund hierfür sind häufig die Kosten. Um diesen Umstand zu verstehen, muss der Aufbau des elektrischen Antriebsstranges eines Elektrofahrzeuges etwas genauer betrachtet werden. In Abbildung 2 ist dieser dargestellt, bestehend aus einer Batterie (a), einem Antriebsinverter oder Wechselrichter (b) sowie einer elektrischen Maschine (c). Normalerweise besteht die Aufgabe der Batterie, Energie zu speichern. Soll sich das Elektrofahrzeug fortbewegen, so liefert die Batterie die notwendige Leistung. Die beim Bremsen frei werdende Energie kann im umgekehrt auch wieder in der Batterie gespeichert werden.

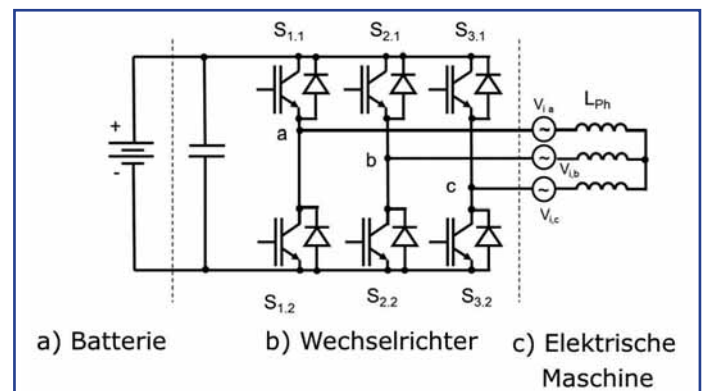


Abbildung 2

Die Batterie kann je nach Ladezustand eine in ihrem absoluten Wert variierende Gleichspannung liefern. Für den Antrieb in Elektrofahrzeugen werden typischerweise Wechselspannungsmotoren (c), also Motoren mit alternierenden Spannungen eingesetzt. Die Spannungs- als auch Stromformen auf den einzelnen Anschlüssen der elektrischen Maschine sehen daher idealerweise sinusförmig entsprechend Abbildung 3 aus, wobei sowohl der Strom als auch die Spannung jedes einzelnen Anschlusses zeitlich zueinander einen Versatz haben. Um das Elektrofahrzeug anzutreiben, muss die Höhe und die Frequenz der Spannung an den Anschlüssen eingestellt werden. Diese Aufgabe übernimmt der Inverter (b). Seine Aufgabe besteht darin, aus der Gleichspannung der Batterie eine Wechselspannung zu generieren. Gleiches gilt auch für den Strom.

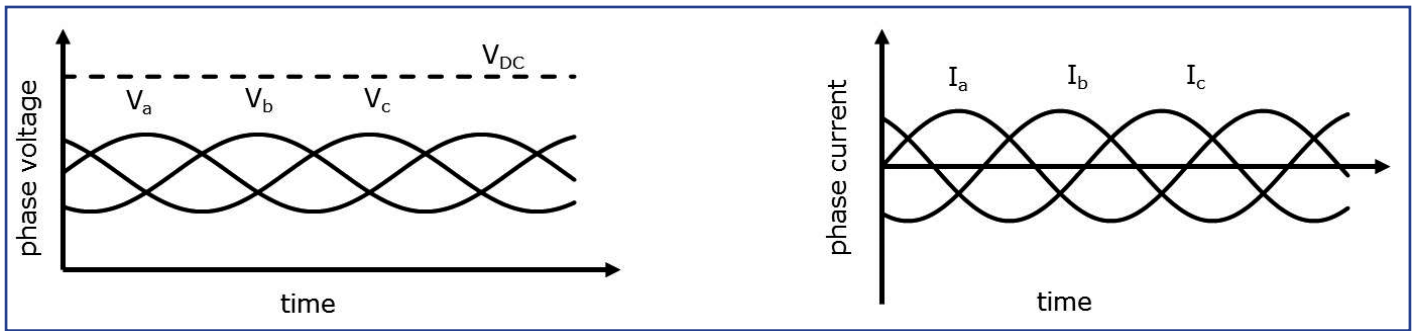


Abbildung 3

Zuletzt wird die mechanische Kraft mit Hilfe der elektrischen Maschine (c) auf die Straße gebracht. Die elektrische Maschine wandelt mit Hilfe der Lorentzkraft die elektrische Leistung in mechanische um. Daraus kann ein Antriebsmoment generiert werden. Eine mechanische Antriebskraft kann aus diesem Moment mit Hilfe der Reifen auf die Asphaltoberfläche übertragen werden.

Bestehende Konzepte

In einem ersten Ansatz wird für den Fall der direkten Energiewandlung aus der Photovoltaik (PV) in elektrische Energie für eine mobile Anwendung wie folgt vorgegangen. Die in das Fahrzeug integrierten Solarzellen stellen von der Sonne generierte elektrische Leistung zur Verfügung. Da die Spannung der PV bzw. der einzelnen Zellen unter anderem von der Sonnenintensität abhängen und die Spannung meistens nicht gleich groß ist wie die Batteriespannung, müssen beide Spannungen aneinan-

der angeglichen werden. Dies kann mit Hilfe eines Spannungswandlers (DC/DC-Wandler) realisiert werden, welcher die Photovoltaik mit der Batterie des Fahrzeuges verbindet. Nun ist es möglich, die vorhandene PV-Leistung zu entnehmen und dem Antriebsstrang zur Verfügung zu stellen. Es ist somit möglich, die Sonnenleistung für den Antrieb zu verwenden. Für diesen Fall wird die notwendige elektrische Leistung nicht mehr von der Batterie sondern durch den Spannungswandler bereitgestellt. Ist mehr Sonnenleistung verfügbar als dies für den Antrieb notwendig ist, so wird die überschüssige Leistung automatisch in die Batterie gespeichert (Laden). Benötigt umgekehrt der Antrieb aufgrund des Fahrerwunsches mehr Leistung als die Sonne liefern kann, so wird die Differenz zwischen Sonnenleistung und gewünschter Antriebsleistung von der Batterie geliefert. Dieses Konzept ist nicht neu und wurde z.B. an einem Hybridfahrzeug bereits realisiert^[1]. In dieser Anordnung wurden geringste Verbrauchswerte erzielt.

Gemeinsam Energie neu entdecken >

Erneuerbare Energien. Energieeffizienz. Innovative Technik. Möchten Sie die Energiewende mitgestalten? Dann sind Sie bei uns richtig! Als eines der größten Energieversorgungsunternehmen in Deutschland und Europa arbeiten wir gemeinsam mit unseren rund 20.000 Mitarbeitern an der Energie der Zukunft. Studierenden mit technischem Hintergrund bieten wir vielfältige Perspektiven und Freiraum für eigene Ideen. Wachsen Sie mit technischen Herausforderungen und innovativen Projekten.

Ob Praktikum, Abschlussarbeit oder Werkstudententätigkeit – seien Sie dabei und arbeiten Sie gemeinsam mit uns an der Energie der Zukunft!

Entdecken Sie Ihre Chancen bei der EnBW unter www.enbw.com/karriere



Neues Konzept

In dem neu entwickelten Verfahren ist der DC/DC-Wandler nicht mehr als eigenständiges Bauteil vorhanden. Entsprechend Abbildung 4 wird die Sonnenleistung mit Hilfe der Photovoltaik direkt über die elektrische Maschine in den Antriebsstrang eingespeist (d). Dafür muss die Anschlussklemme der Photovoltaik an einen elektrischen Punkt V_{ST} in der Maschine, dem sogenannten Sternpunkt, angeschlossen werden. In dieser Konstellation hat die elektrische Maschine eine Doppelfunktion. Sie generiert für den Antrieb des Fahrzeugs das mechanische Moment entsprechend seiner klassischen Aufgabenverteilung im Antriebsstrang. Zusätzlich übernimmt sie die Aufgabe der Energiewandlung der, von der Sonne zusammen mit der PV generierten elektrischen Leistung, auf

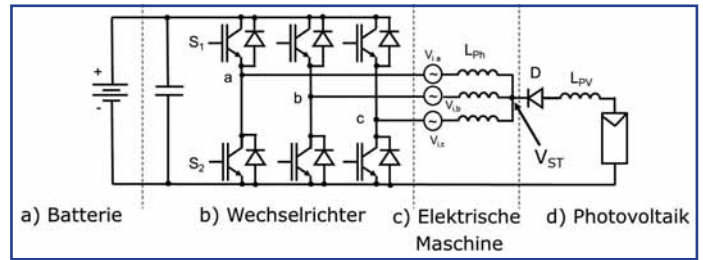


Abbildung 4

das gewünschte Spannungsniveau der Batterie. Somit kann je nach Bedarf entweder ein mechanisches Moment generiert werden oder Energie zum Laden der Batterie bereitgestellt werden. Da die elektrische

Maschine keine eigene „Intelligenz“ besitzt, muss der Wandlungsvorgang von außen gesteuert werden. Diese Aufgabe übernimmt der Inverter (b), welcher in seinem Aufbau unverändert bleibt. Lediglich sein Computerprogramm (Software) wird erweitert. Durch eine geeignete Ansteuerung der Schalter im Inverter können beide Funktionen parallel und unabhängig voneinander realisiert werden. Ein wesentlicher Vorteil dieses Konzeptes ist es, dass die elektrisch gewandelte Sonnenleistung überhaupt nicht mehr auf die Spannung des Zwischenkreises gewandelt werden muss, sofern sie gleich für den Antrieb verwendet werden kann. Möglich ist dies, da für die Energiewandlung die elektrische Maschine verwendet wird, welche gleichzeitig die mechanische Antriebsleistung generiert. Dadurch kann eine „direkte“ und effiziente Energieumsetzung realisiert werden.

Dieser neuartige Ansatz birgt eine Vielzahl an Freiheitsgraden. Ein elektrisch oder auch hybrid angetriebenes Fahrzeug kann bei ausreichender Sonnenleistung theoretisch auch schon ohne Batterie fahren. Natürlich ist der Antrieb ohne den Energiespeicher Batterie direkt von der Sonne abhängig und im Falle einer auftretenden Bewölkung würde sich die Endgeschwindigkeit sofort reduzieren. Gleiches kann bei einer Tunneldurchfahrt sowie bei einer Fahrt bei Nacht auftreten bzw. diese Zustände wären gänzlich unmöglich. Folglich ist der Energiespeicher, wenngleich auch in einer etwas geringeren Größe, auch zukünftig nicht ersetzbar. Er kann aber wesentlich kleiner ausgeführt werden, was Gewicht, den Verbrauch und Kosten spart.



Wir bringen bei Ihrer Karriere den Stein ins Rollen.

KARRIERECHANCEN

JAHRE TRADITION



MITARBEITER WIRTGEN-GROUP

NIEDERLASSUNGEN UND HÄNDLER WELTWEIT

Kleemann GmbH, Telefon: +49 (0)7161 206-0
personal@kleemann.info, www.kleemann.info



ROAD AND MINERAL TECHNOLOGIES

Abgesehen von der eigentlichen Aufgabe, das Fahrzeug zu bewegen, muss dieses auch zyklisch mit elektrischer Energie versorgt bzw. geladen werden. Mit dem neuen Ansatz ist es nun möglich, den Speicher zu laden, sobald mehr Sonnenleistung als für den Antriebe benötigt, vorhanden ist. Dieser Fall tritt sehr häufig auf, z.B. beim Warten an der Ampel oder auf dem Parkplatz beim Einkaufen. Dieser mobile Ladevorgang reduziert die Anforderungen für die ansonsten notwendigen Investitionen an eine Ladeinfrastruktur. So ist es möglich, morgens zur Arbeit zu fahren und das Fahrzeug während des Tages durch die Sonne wieder vollzuladen. Dadurch erhöht sich sowohl die Reichweite des Fahrzeuges und es sind weniger teure Ladestationen auf den Parkplätzen notwendig. Natürlich spiegelt sich dies auch in einer finanziellen Betrachtung positiv wieder. Bis heute wird für privat verwendete Sonne als Fortbewegungsmittel keinerlei Steuer erhoben.

Dieser neuartige Ansatz zeigt auf, dass auch zukünftig im Bereich der elektrischen Antriebe viel Potential steckt. Dieser Ansatz bringt die elektrische Fortbewegung wieder ein Stück der täglichen Realität näher.

Autoren

Prof. Dr.-Ing. Dipl.-Ing. Martin Neuburger
Prof. Dr.-Ing. Dipl.-Ing. Jürgen Haag

Hochschule Esslingen
University of Applied Sciences
Robert-Bosch-Straße 1
73037 Göppingen

Tel.: +49 (0) 7161 / 679 - 1263
Fax: +49 (0) 7161 / 679 - 281263
E-Mail: Martin.Neuburger@hs-esslingen.de
www.hs-esslingen.de

Literaturverzeichnis

^[1] E. J. Simburger, J. Simburger, G. Johanson, M. Ganall, "PV Prius," IEEE 4th World conference on Photovoltaic Energy Conversion, Conference Record, vol 2, pp. 2404-2406, May 7-12, 2006.

100 Jahre 1914-2014
Standort Esslingen

Hochschule Esslingen
 University of Applied Sciences

Müller & Bleher | Ingenieurbüro für Elektrotechnik

Wir sind ein erfolgreiches Ingenieurbüro für elektrotechnische Gebäudeausrüstung. Mit ca. 90 Ingenieuren/innen und Technikern planen wir anspruchsvolle und komplexe Stromversorgungsanlagen, Beleuchtungs- und Fördertechnik sowie die elektro- und informationstechnische Gebäudeausrüstung von Kliniken, Industrie-, Forschungs- und Verwaltungsgebäuden.

LEISTUNGSUMFANG

- Beratung
- Planung
- Objektüberwachung
- Fachtechnisches Controlling
- Erstellung von Studien und Gutachten
- Bewertung der Gebäudetechnik

KERNKOMPETENZEN

- Stromversorgungsanlagen und -netze
- Schutz- und Netzleittechnik
- Netzuntersuchungen und -berechnungen
- Kommunikations- und Medientechnik
- Lichttechnik, Lichtgestaltung
- Fördertechnik



Internet: www.mueller-bleher.de | E-Mail: kontakt@mueller-bleher.de

Filderstadt | Radolfzell | Berlin | München | Darmstadt



STARK STIHL - Ein Familienunternehmen mit großem Freiraum für Innovationen

Die technische Spitzenstellung unserer Produkte in Verbindung mit globalem Denken sowie konsequent umweltbewusstem Handeln haben die Marke STIHL zu dem gemacht, was sie heute ist:

International präsent

Die STIHL Gruppe entwickelt, fertigt und vertreibt motorbetriebene Geräte für die Forstwirtschaft und Landschaftspflege sowie die Bauwirtschaft. Die Produkte werden grundsätzlich über den servicegebenden Fachhandel vertrieben – mit 34 eigenen Vertriebsgesellschaften, mehr als 120 Importeuren und rund 40.000 Fachhändlern in über 160 Ländern. STIHL ist seit 1971 die meistverkaufte Motorsägenmarke weltweit. Das Unternehmen wurde 1926 gegründet und hat seinen Stammsitz in Waiblingen bei Stuttgart.

Technisch führend

Innovationen sind die Grundlage des Unternehmenserfolges. Schon der Firmengründer Andreas Stihl war ständig auf der Suche nach innovativen Lösungen in der Produktentwicklung. Über 500 Ingenieurinnen und Ingenieure arbeiten heute am Stammsitz an technischen Lösungen für moderne Motorsägen und -geräte.

Am Menschen orientiert

STIHL investiert in seine Mitarbeiter/-innen: Mit umfangreichen Aus- und Weiterbildungsmaßnahmen, hervorragenden Sozialleistungen und einer Beteiligung am Unternehmenskapital. Kurze Entscheidungswege und teamorientierte Arbeitsstrukturen prägen den Arbeitsstil im Hause STIHL.

Durch gezielte Förderung können Sie sehr früh Verantwortung übernehmen. Die Chance selbst zu gestalten sowie Freiraum für eigene Ideen sind die Hauptmerkmale von Karrieren bei STIHL. Internationale Zusammenarbeit und die Möglichkeit für Einsätze im Ausland bringen zusätzliche Attraktivität.

Mit dem ersten Schritt wird – je nach Eignung – in der Fach- oder Linienlaufbahn begonnen. Besonders wichtig dabei: STIHL besetzt die allermeisten seiner Führungspositionen mit Nachwuchskräften aus den eigenen Reihen.

Der berufliche Aufstieg ist leistungsabhängig und auch über Bereichsgrenzen hinweg möglich. Die Perspektiven werden mit einer »Standortbestimmung« zwischen Vorgesetztem und Mitarbeiter regelmäßig erörtert. Außerdem besteht ein vielfältiges externes und internes (STIHL eigenes Bildungszentrum) Weiterbildungsangebot.



Was wir suchen

Wir suchen Studierende und Absolvent/-innen der Studienrichtungen Elektrotechnik, Fahrzeugtechnik, Feinwerktechnik, Informatik, Luft- und Raumfahrttechnik, Maschinenbau und wirtschaftliche Zweige.

ANDREAS STIHL AG & Co. KG
Andreas-Stihl-Straße 4
71336 Waiblingen
Deutschland
Telefon: +49 7151 26-2489
<http://www.stihl.de>



Von der Energie- und Antriebstechnik bis hin zur Fahrzeugelektronik und zu Funkkommunikationssystemen –

Forschungsbereiche an der Hochschule Ulm auf dem Gebiet der elektromagnetischen Verträglichkeit (EMV)

Die stetig steigenden Ansprüche an Bedienbarkeit und Bedienkomfort, Verfügbarkeit, Konfigurierbarkeit und Vernetzung sowie insbesondere an die Sicherheit technischer Produkte, Anlagen und Systeme können nur durch einen entsprechend wachsenden Einsatz vielfältiger und komplexer elektronischer Systeme in diesen technischen Produkten erfüllt werden.

Durch die sich hieraus ergebenden Faktoren einer stetig zunehmenden Packungsdichte elektronischer Schaltungen, stetig steigender Taktraten, einer Tendenz zur möglichst umfassenden Vernetzung, häufig bereits mittels Funktechnologie, sowie dem Einsatz von schnell getakteten Schaltungen der Leistungselektronik, um eine möglichst hohe Energieeffizienz zu erzielen, führen zu sich fortwährend und rasch erhöhenden Anforderungen an die ungestörte Koexistenz von elektronischen Schaltungen und Systemen. Entsprechend dynamisch verlief die Entwicklung des Gebiets der elektromagnetischen Verträglichkeit (EMV), das im Laufe der letzten 25 Jahre zu einer zentralen Aufgabe in der Entwicklung elektrotechnischer Produkte wurde.

Seit Mitte der 1990er Jahre stellt der Themenbereich der elektromagnetischen Verträglichkeit einen Schwerpunkt in der Lehre und der angewandten Forschung an der Fakultät für Elektrotechnik und Informationstechnik der Hochschule Ulm dar, von Beginn an charakterisiert durch eine breite inhaltliche Abdeckung des Themenbereichs. In enger Zusammenarbeit des Instituts für Kommunikationstechnik, des Instituts für Energie und Antriebstechnik sowie des Instituts für angewandte Naturwissenschaften werden klassische, aus dem Themengebiet der Hochfrequenztechnik abgeleitete Fragestellungen der EMV von Systemen der Informations- und Kommunikationstechnik ebenso behandelt wie die EMV von leistungselektronischen Systemen und elektrischen Maschinen sowie die Schirmdämpfungseigenschaften von speziell ausgerüsteten, leitfähigen Kunststoffen und Untersuchungen zur EMVU.

Zentrale Elemente der Lehre auf dem Gebiet der elektromagnetischen Verträglichkeit sind dabei Vorlesungen mit besonderem Gewicht auf begleitenden Laborübungen sowie eine große Zahl an Studien- und Abschlussarbeiten, welche am EMV-Prüfstand durchgeführt werden. Zusätzlich gewährleisten zahlreiche Industriekooperationen zu aktuellen Forschungsthemen auf dem Gebiet der EMV die Aktualität der Lehre für dieses sich nach wie vor rasch weiterentwickelnde Gebiet. Da die elektromagnetische Verträglichkeit einen Themenbereich mit besonders ausgeprägtem Praxisbezug darstellt, ist es in der Lehre zwingend notwendig, mit Geräten zu arbeiten, deren Leistungsklasse den aktuell in der Praxis relevanten Fragestellungen entspricht.

Am EMV Labor der Hochschule Ulm, das über eine Absorberkammer verfügt, können hierzu fast alle gängigen Messverfahren zur Bestimmung der HF-Störemission (Funkstörspannung, Funkstörfeldstärke,

Funkstörleistung), zur Charakterisierung von Netzüberschwingungen und Flicker sowie zur Bestimmung der Störfestigkeit (z.B. gegenüber gestrahlter und leitungsgebundener HF-Einkopplung, gegenüber schnellen und langsamen transienten Störungen wie Burst, Surge und Netzvariationen oder gegenüber elektrostatischer Entladung) normgerecht durchgeführt werden. Neben den Normen für Industrie- und Hausnetze sowie für Produkte im industriellen und im Consumer-Bereich, werden insbesondere auch die Bereiche der Normen für Anwendungen im Kraftfahrzeug sowie der Normen für Funkkommunikationssysteme abgedeckt.

Eine besondere Bedeutung für eine an den Aufgaben des industriellen Entwicklungsprozesses ausgerichtete Lehre kommt so genannten Pre-Compliance Messungen zu, im Rahmen derer EMV Probleme sehr gut analysiert werden können. Hierfür stehen im EMV-Labor eine große Auswahl an Messaufnehmern, die Methoden der (Echtzeit-)Spektrum- und der Netzwerkanalyse sowie Zeitbereichsmesstechnik für HF-Signale zur Verfügung.

Der Themenbereich EMV ist ein wichtiger Bestandteil der Vertiefung im Bachelorstudiengang „Elektrotechnik“ sowie im Masterstudiengang „Elektrische Energiesysteme und Elektromobilität“ der Fakultät für Elektrotechnik und Informationstechnik. Dabei ist die EMV als Problemstellung auf Systemebene für fast alle elektrotechnischen Systeme oder Teilsysteme relevant, und somit ein typisches „Querschnittsthema“. Diesem Umstand wird in der Lehre Rechnung getragen, indem Teilaspekte der EMV in einer Vielzahl von Vorlesungen, darunter bereits eine Vorlesung des Grundstudiums, thematisiert werden. Diese verschiedenen Aspekte der EMV werden schließlich in der zentralen Vorlesung „Elektromagnetische Verträglichkeit“ für das Bachelorstudium zusammengefasst und in umfassenden Laborübungen vertieft. Im Masterstudium besteht die Möglichkeit einer weiteren Vertiefung in der Vorlesung „EMV von Systemen“.

Dabei ist es von besonderer Wichtigkeit, dass die verschiedenen Aspekte der elektromagnetischen Verträglichkeit von den Studierenden als eine Einheit erkannt werden. Es gilt zu verstehen, dass sehr häufig nur eine gemeinsame Betrachtung aller relevanten Gesichtspunkte zu einem ordnungsgemäß funktionierenden Produkt führen wird. Hierbei sind insbesondere die Themenbereiche des EMV gerechten Designs und des Entwurfs störungssicherer Schaltungen, die messtechnischen Aspekte der Störemissionsprüfung und der Störfestigkeitsprüfung sowie – durch die große Bedeutung von schnellen Bussystemen mit symmetrischer Übertragung – auch der Punkt der so genannten Signalintegrität zu nennen. Klassische Bereiche der Hochfrequenztechnik müssen mit Systemaspekten, Konzepten für den Schaltungsentwurf und Elementen der analogen sowie der digitalen Nachrichtenübertragungstechnik verbunden werden.

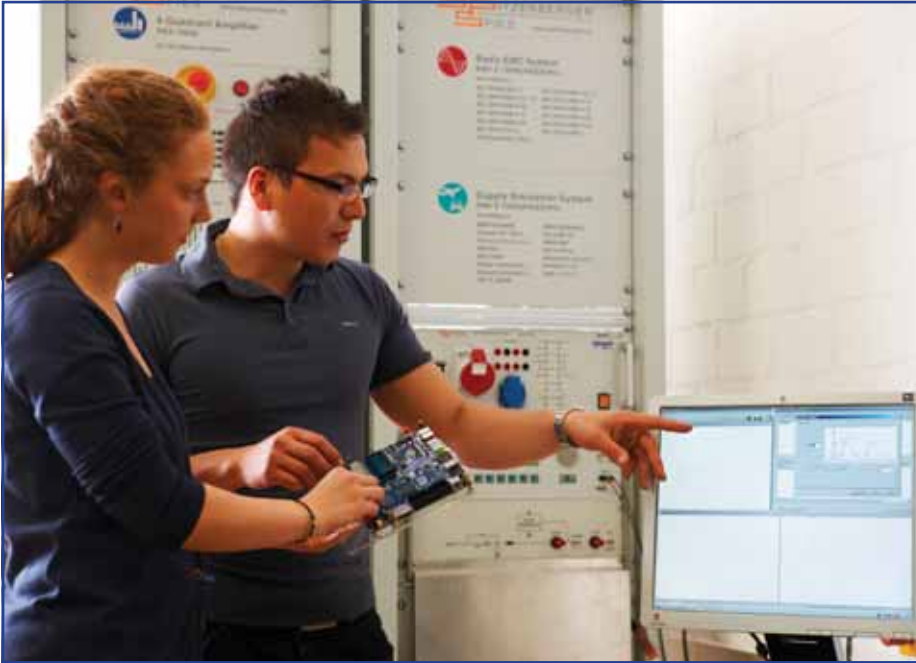


Abbildung 1: Einsatz in der Lehre: Testsystem zur Prüfung elektronischer Systeme im Kraftfahrzeug gegenüber transienten Störungen

In der Lehre lässt sich eine solche, vom Gesamtsystem in seiner elektrischen Umgebung ausgehende Herangehensweise insbesondere im Rahmen von konkreten Fallstudien vermitteln. Durch intensive Arbeit am EMV-Prüfstand wird den Studierenden die Möglichkeit geboten, komplexe Fragestellungen der elektromagnetischen Verträglichkeit in eigenständigen Ingenieurprojekten umfassend zu lösen, und damit eine ausgezeichnete berufliche Zusatzqualifikation auf dem ebenso komplexen wie bedeutenden Gebiet der EMV zu erlangen.

Beispielhaft für die vielfältigen Forschungsarbeiten auf dem Gebiet der elektromagnetischen Verträglichkeit an der Hochschule Ulm werden hier die EMV von Bus-Systemen im Kraftfahrzeug, die sich aufgrund des Einsatzes elektrischer Antriebe im Kraftfahrzeug ergebenden, neuartigen transienten Störungen und die notwendige Weiterentwicklung von Testmöglichkeiten zur Störfestigkeitsprüfung sowie die Weiterentwicklung der Normung für sensible elektronische Anlagen der Automobilindustrie mit erhöhten EMV-Anforderungen kurz vorgestellt.

Aufgrund der zunehmenden Bedeutung elektrischer Datenübertragungssysteme im Kraftfahrzeug – sowohl für den Komfort als auch für die Sicherheit der Reisenden – und den damit einhergehenden, stark steigenden Datenraten bei gleichzeitig erhöhter Packungsdichte elektro-

nischer Geräte, spielen die EMV-Eigenschaften der eingesetzten Bus-Systeme eine immer wichtigere Rolle. Insbesondere für schnellere Bus-Systeme sind hierbei die EMV-Aspekte der Störaussendung, der Störfestigkeit und der Signalintegrität als gleichberechtigt anzusehen. Unter dem Aspekt der Kosteneinsparung – ohne die Aspekte der Sicherheit negativ zu beeinflussen – ist die Verwendung ungeschirmter Kabel und möglichst einfacher EMV-Filterbeschaltungen anzustreben, was die EMV-Anforderungen an die Bus-Systeme zusätzlich verschärft. Die Themenstellungen, die hierbei am Institut für Kommunikationstechnik in industriellen Forschungsprojekten bearbeitet werden, reichend von grundlegenden Studien zur Vorbereitung des Einsatzes neuer Kommunikationssysteme im Kraftfahrzeug wie z.B. Ethernet^[1], bis hin zu sehr spezialisierten Fragestellungen, wie dem Einfluss von Verkabelung und EMV-Filterschaltungen auf die Modenkonversion in differentiellen Bus-Systemen und damit auf deren Störaussendung^[2].

Ein weiterer Forschungsschwerpunkt im Bereich der EMV von Kraftfahrzeugen ist der Einfluss von elektrischen Antrieben im Fahrzeug im Hinblick auf deren zu erwartende Störemission sowie im Hinblick auf sich zusätzlich ergebende Anforderungen an die Störfestigkeit von Kommunikationssystemen im Fahrzeug. Die auftretenden transienten Störungen stellen eine neue Klasse von Störungen im Kraftfahrzeug dar und können im Wesentlichen auf den Betrieb von Umrichtern im Hochvoltssystem des Elektroantriebs bzw. auf Entladungen im Antriebssystem zurückgeführt werden. Die Kopplung dieser Gleichtaktstörungen auf den Leitungen des Hochvolt-Bordnetzes erfolgt insbesondere über parasitäre Massepfade (Abbildung 3).

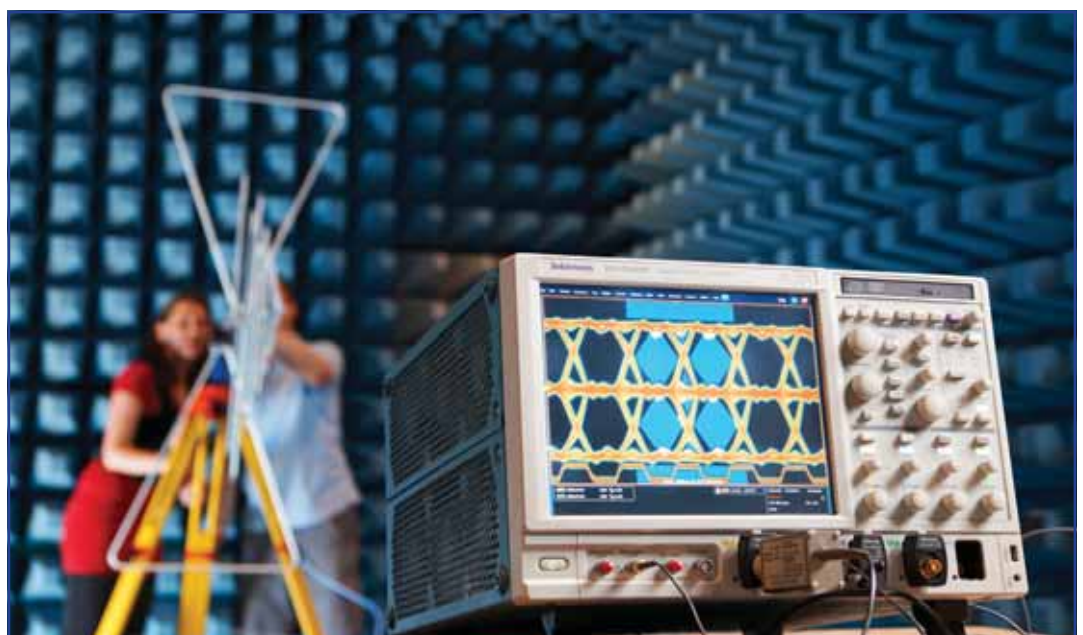


Abbildung 2: Messung der Signalintegrität eines 100BASE-TX Ethernet-Systems vor Beginn der Funkstörfeldstärkemessung

INGENIEUR SPIEGEL

Das Fachmagazin für die Luftfahrt

INGENIEUR SPIEGEL
in Zusammenarbeit mit
HANSE-AEROSPACE™

Luftfahrt
ILA

Fachmagazin für Ingenieure
Ausgabe März | 2014




Public Verlagsgesellschaft
und Anzeigenagentur mbH
Mainzer Str. 31 • 55411 Bingen

Telefon: ++49(0)67 21/49512-0
e-mail: info@publicverlag.com
Internet: www.publicverlag.com

Studium beendet? Auf die Plätze, fertig - Ulm!



Die clevere Alternative für Ihren Karrierestart:
Auf unserer Internetseite finden Sie interessante und attraktive
Jobs für Ihre Zukunft in der Innovationsregion Ulm:
www.innovationsregion-ulm.de



Innovationsregion Ulm
Olgastraße 101, D - 89073 Ulm
Tel.: 0731/173-121, Fax: 0731/173-291
info@innovationsregion-ulm.de
www.facebook.com/InnovationsregionUlm
www.twitter.com/RegionUlm
www.youtube.com/innoregionulm



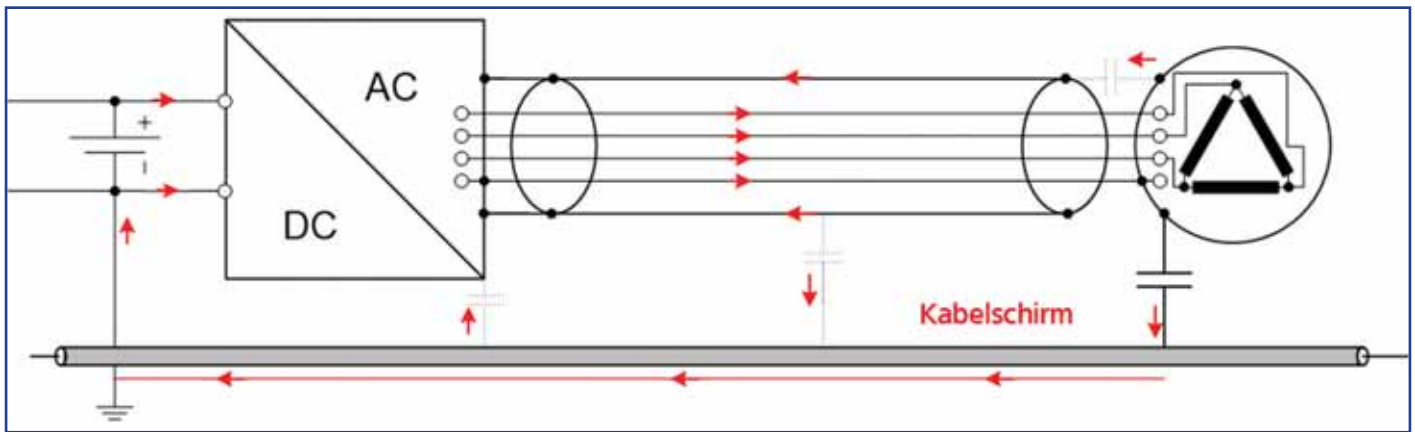


Abbildung 3: Schematische Darstellung der Koppelung von im Hochvolt-Bordnetz von Kraftfahrzeugen auftretende Gleichtaktstörungen über parasitäre Massepfade

Im Rahmen der Zusammenarbeit des Instituts für Kommunikationstechnik (Störfestigkeit und Störemission der Steuerelektronik und der Bussysteme) und des Instituts für Energie- und Antriebstechnik (Elektrische Maschinen und Leistungselektronik) ist die Möglichkeit geschaffen worden, ein komplettes elektrisches Antriebssystem für Kraftfahrzeuge bei Versorgung über eine störungsarme 400V DC-Quelle in der Absorberkammer des EMV-Prüfstandes zu testen. Diese messtechnischen Möglichkeiten wurden insbesondere im Rahmen von Untersuchungen zur Entstörung von Hybrid-Antrieben erfolgreich eingesetzt.

Im Rahmen eines durch das Zentrale Innovationsprogramm Mittelstand (ZIM) geförderten Projektes wurde mit den Partnerfirmen Spitzenberger & Spies GmbH & Co. KG und HILO-TEST GmbH ein Transiententester („Kfz-Puls-Tester“) für elektronische Systeme in Kraftfahrzeugen mit Elektrotraktion entwickelt, um die durch den Umrichterbetrieb hervorgerufenen und von den gängigen Pulsformen und Prüfpegeln für das Kfz-Bordnetz nicht erfassten Störungen für die Störfestigkeitsprüfung

nachzubilden. Insbesondere waren deutlich höhere Prüfpegel, ein angepasster Frequenzbereich sowie die Möglichkeit, elektronische Komponenten, die am Hochvolt-Netz des elektrischen Antriebs selbst betrieben werden, zu testen, durch den neuen Puls-Tester zu realisieren.

Aufgabe der Hochschule Ulm im Rahmen des Projektes war unter anderem eine ausführliche Charakterisierung der zu erwartenden transienten Störungen. Hierzu wurde eine repräsentative Labornachbildung des elektrischen Antriebsstranges entwickelt, mittels derer die auftretenden Störungen und insbesondere deren Überkoppeln auf Bus-Systeme im Kraftfahrzeug detailliert untersucht werden konnten (Abbildung 4).

Die an der Hochschule Ulm durchgeführten Untersuchungen zeigten, dass die Einhüllende der zu erwartenden Störungen unter Berücksichtigung der verschiedenen zum Einsatz kommenden Technologiefamilien für die Leistungshalbleiter, sich durch Modifikation der transienten Pulse entsprechend der Normen ISO 7637 bzw. EN61000-4-4 sehr gut abbilden lassen (Abbildung 5) [3].

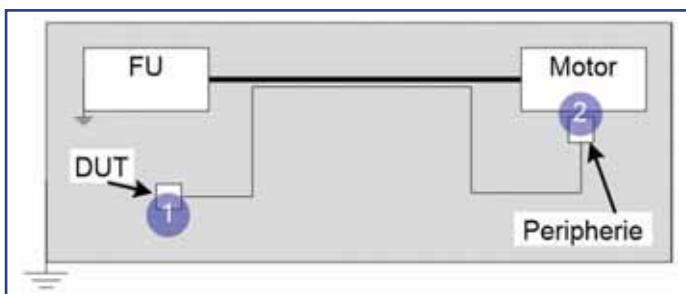


Abbildung 4: Repräsentative Labornachbildung zur Charakterisierung der im Antriebsstrang eines Kraftfahrzeugs mit Elektrotraktion auftretenden Störungen und deren Überkopplung auf benachbarte Bus-Systeme im Kraftfahrzeug (oben: realer Aufbau, unten: Prinzipschaltbild)

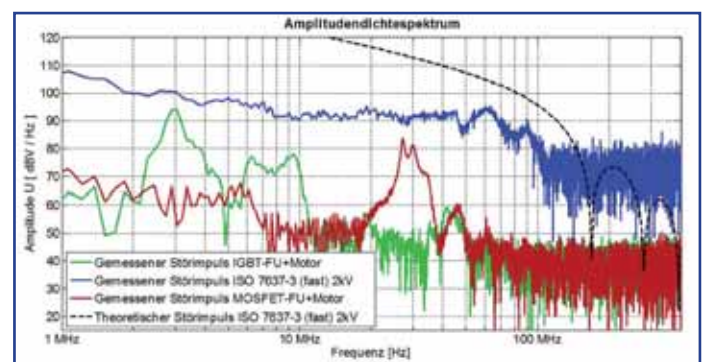


Abbildung 5: Nachbildung schneller, transienter Störungen in Kraftfahrzeugen mit Elektrotraktion mittels einer modifizierten Variante des Norm-Störpulses gemäß ISO 7637-3

Die erhöhten EMV-Anforderungen für elektrische und elektronische Anlagen der Automobilindustrie (z.B. Prüfstände für elektrische Motoren oder Verbrennungsmotoren) werden zu Teilen nicht ausreichend durch die Vorschriften der EMV-Richtlinie abgebildet. Hierzu wurde unter maßgeblicher Beteiligung von Prof. Kolb, Hochschule Ulm, in einem ZVEI-Arbeitskreis ein EMV-Schnittstellenpapier erstellt (EMV-Integrationsleitfaden – EMV-ILA), um die Möglichkeit zu schaffen, zwischen

den einzelnen Vertragsparteien für die Erstellung von Anlagen der Automobilindustrie erhöhte EMV-Anforderungen auf einheitlicher Basis und insbesondere in über den gesamten interessierenden Frequenzbereich konsistenter Form zu vereinbaren^[4].

Neben der Forschungskooperation insbesondere mit großen Automobilherstellern und Automobilzulieferern, besteht eine große Anzahl an Forschungs- und Entwicklungskooperationen mit kleinen und mittleren Unternehmen der Region Ulm auf verschiedensten Gebiet der EMV.

Schließlich werden die Forschungsarbeiten der Hochschule auf dem Gebiet der elektromagnetischen Verträglichkeit durch besonders entwicklungsnahe Kooperationen mit Partnern aus der Industrie ergänzt, die am Steinbeis Transferzentrum „Fertigungsautomatisierung und EMV“ und am Steinbeis Transferzentrum „EKHO – Elektromagnetische Verträglichkeit, Kommunikationssysteme und Hochfrequenztechnik“ durchgeführten werden.

Autoren

Prof. Dipl.-Ing. Ludwig Kolb

Prof. Dr. Roland Münzner

Dipl.-Ing. (FH) Peter Daunke

Dipl.-Ing. (FH) Stefan Fuchs

B.Eng. Michael Jordan

Hochschule Ulm

Fakultät für Elektrotechnik

Institut für Energie- und Antriebstechnik

Institut für Kommunikationstechnik

Eberhard-Finckh-Straße 11

89075 Ulm

Tel.: +49 (0) 731 / 5028337

E-Mail: muenzner@hs-ulm.de

E-Mail: kolb@hs-ulm.de

www.hs-ulm.de

Literaturverzeichnis

- ^[1] R. Münzner, S. Fuchs, S. Buntz, H. Leier, Vorstudie zur EMV-Performance von Ethernet als Bus-System im Kraftfahrzeug, Forschungsbericht (Forschungsbericht der Hochschule Ulm), 2009
- ^[2] M. Spägle, F. Wagner, S. Buntz, H. Leier, S. Lindenmeier, L. Reiter, R. Münzner, Radiated Emission of automotive communication bus systems caused by mode-conversion of common-mode chokes and in-line-connectors, EMC Europe 2013
- ^[3] A. Hänle, R. Münzner, L. Kolb, S. Fuchs, P. Daunke, Analyse und Nachbildung von EMV-Störungen in Kfz mit Elektrotraktion, EMV 2012 Düsseldorf, 2012
- ^[4] L. Kolb, Elektromagnetische Verträglichkeit von Anlagen, SPS/ICP/ Drives 2011 Nürnberg, 2011



www.hella-gutmann.com



Zur Verstärkung unseres Teams suchen wir ein

Research Scientist m/w - Embedded Systems

(im Automotive Entwicklungsumfeld)

Ihr Einsatzbereich:

Hella Gutmann bietet Ihnen viele Vorzüge: Faszinierende Produkte und spannende Aufgaben im Markt der Automobiltechnik, das innovative Umfeld eines weltweiten Technologieführers, die Sicherheiten eines traditionsreichen mittelständischen Unternehmens und ein einzigartiges familiäres Arbeitsklima.

Ihre Aufgaben:

- Produktvorentwicklung
- Neue Technologien erforschen und mittels Proof-of-Concept die Machbarkeit analysieren
- Auswahl und Festlegung von Hardwareplattformen sowie Erstellung, Test und Validierung von Software
- Hardwarenahe Systemprogrammierung auf Linux-Basis
- Übergabedokumentation an Softwareentwicklungsteam

Ihr Profil:

- Erfolgreich absolviertes Hochschulstudium der Fachrichtung Elektrotechnik, Informationstechnik oder Informatik mit Vertiefungsrichtung Softwareentwicklung
- Sehr gute Kenntnisse im Umgang mit Linux/Unix basierten (Embedded-) Systemen wünschenswert bis hin zur Kernelmodul – Entwicklung
- Sehr gute Kenntnisse in der Embedded Software-Entwicklung in C und Mikrocontroller Betriebssystemen
- Mit den Bussystemen CAN, LIN, MOST oder Flexray hatten Sie bereits Berührungspunkte
- Präsentationssichere und Verhandlungssichere Deutsch- und Englischkenntnisse
- Große Lernbereitschaft
- Hohe Motivation zur Einarbeitung in neue und innovative Themen
- Ausgeprägtes Interesse, technologische Fortschritte zu erzielen
- Teamfähigkeit, Analytisches Denkvermögen und Planerische Fähigkeiten setzen wir voraus

Wir freuen uns auf Ihre aussagefähige Bewerbung via Email, unter Angabe Ihrer Gehaltsvorstellung sowie dem nächstmöglichen Eintrittstermin an:

Hella Gutmann Solutions GmbH

Personalabteilung, Am Krebsbach 2, 79241 Ihringen

E-Mail: personal@hella-gutmann.com

euro engineering AG

Unternehmensprofil

Die euro engineering AG gehört zu den Top Ten der Engineering-Dienstleister in Deutschland. Das 1994 gegründete Unternehmen beschäftigt derzeit rund 2.000 Mitarbeiter in 40 Niederlassungen bundesweit. Seit Oktober 2012 ist die Marke „euro engineering“ mit 13 Standorten und rund 800 Mitarbeitern in Frankreich präsent. Seit November 2012 firmieren außerdem drei Standorte mit insgesamt 50 Mitarbeitern in Italien unter „euro engineering“.

2014 erhielt die euro engineering AG zum siebten Mal in Folge das Gütesiegel „Top Arbeitgeber für Ingenieure“ des Top Employers Institute. Zudem bietet das Unternehmen mit dem „euro engineering CAMPUS“ Jungingenieuren und Technikern ein einzigartiges Einstiegsprogramm in die Branche. Der „euro engineering Sales CAMPUS“ macht Absolventen, Young Professionals und Quereinsteiger fit für den Job des Account Managers.

In der aktuellen Lünendonk-Liste der führenden Anbieter von Technologie-Beratung und Engineering Services in Deutschland wird die euro engineering AG in den Top Ten geführt.

Von der Forschung bis zur vollständigen Projektabwicklung deckt das Unternehmen das gesamte Leistungsspektrum des Engineering ab. Kernbranchen sind Automotive, Maschinen- und Anlagenbau, Feinwerk- und Elektrotechnik, Bauwesen und Medizintechnik.

Spezialwissen bündelt die euro engineering AG in den Fachbereichen Automation & Robotik, Bahntechnik, Chemieanlagenbau und Nutzfahrzeuge.

Vorstand

- Peter Blersch (CEO)
- Stefan Konrad (COO)
- Thomas Rinne (CFO)

Leistungsbereiche

- Maschinenbau
- Anlagenbau
- Automotive
- Bauwesen
- Verfahrenstechnik
- Feinwerktechnik
- Elektrotechnik
- Medizintechnik
- Hard- und Softwareentwicklung

Fachbereiche

- Automation & Robotik
- Bahntechnik
- Chemieanlagenbau
- Nutzfahrzeuge

Kompetenzen

- Konzeption / Design
- Konstruktion CAD / CAE
- Entwicklung
- Versuch
- Berechnung
- Projektmanagement
- Qualitätsmanagement
- Dokumentation

euro engineering AG
www.ee-ag.com



ENTWICKELN SIE MIT UNS DIE ZUKUNFT. UND IHRE KARRIERE.

Als führender Engineering-Dienstleister bieten wir Ihnen als Bachelor- oder Masterabsolvent (m/w) bundesweit in allen Ingenieurberufen den Karrierestart nach Maß und **exzellente Perspektiven im Bereich Elektrotechnik**.

Entscheidende Vorteile für Sie:

- // Sicherheit im großen Unternehmen – Branchenunabhängigkeit, Konjunkturunabhängigkeit
- // Vielfältige Karrieremöglichkeiten
- // Individuelle Weiterbildung – Fachliche Schulungen, Persönlichkeitsentwicklung
- // Marktgerechtes Gehalt und attraktive Sozialleistungen

Sie wollen im Team der euro engineering AG die Zukunft mitgestalten?

Dann bewerben Sie sich! **Der schnellste Weg zu uns: www.ee-ag.com/karriere**

Kontaktieren Sie uns gerne:

Karlsruhe // karlsruhe@ee-ag.com
Mannheim // mannheim@ee-ag.com
Stuttgart // stuttgart@ee-ag.com
Ulm // ulm@ee-ag.com
www.ee-ag.com



20 Jahre **euro engineering**
creating future

Das Labor „Embedded Systems und Kommunikations-elektronik“ auf dem Weg zum Internet der Dinge

Einleitung

Internet-basierte Vernetzung von Geräten und Anlagen (Internet of Things, IoT), cyberphysische Systeme (CPS), Sensor-Aktor-Netzwerke (SANs), Wireless Personal Area Networks (WPAN) und Wireless Local Area Networks (WLAN), allgegenwärtige, eingebettete Systemsteuerungen (Ubiquitous Computing), verteilte Intelligenz zur Umgebungsüberwachung (Ambient Intelligence), Kommunikation zwischen Maschinen und Anlagen (Machine-to-Machine-(M2M)-Communication) oder zwischen Fahrzeugen (Car-to-Car- und Car-to-X-Communication), Smart-Metering, Smart Grid, Telematik, Telecare, Telehealth Viele Schlagworte prägen seit Jahren die Diskussion rund um das Internet.

Im Labor „Embedded Systems und Kommunikationselektronik“ der Hochschule Offenburg werden unter der Leitung von Prof. Dr. Sikora praxisorientierte technische Lösungen für solche vernetzte Anwendungen erarbeitet. Hierbei werden insbesondere Kommunikationsplattformen und -lösungen entwickelt, die in Form von modularen und anpassbaren Einheiten wiederverwendbar sind. Auch die Zusammenarbeit mit dem Steinbeis-Transferzentrum Embedded Design und Networking und der ausgegründeten STACKFORCE GmbH spielen bei der praxisorientierten Ausrichtung eine wichtige Rolle, wobei sich die Aktivitäten an der Hochschule mit den grundsätzlichen Architekturen und Lösungen beschäftigen und Alternativen evaluieren.

Plattformen

Im Folgenden werden die zentralen Themenfelder erläutert und an Hand von Beispielen anschaulich gemacht. Bearbeitet werden diese von dem in Abb. 1 gezeigten Team, das mittlerweile aus acht Vollzeitmitarbeitern und typischerweise etwa zehn studentischen Mitarbeitern besteht und meist mit Partnern aus der mittelständischen Industrie, aber fallweise auch mit Großkonzernen kooperiert:

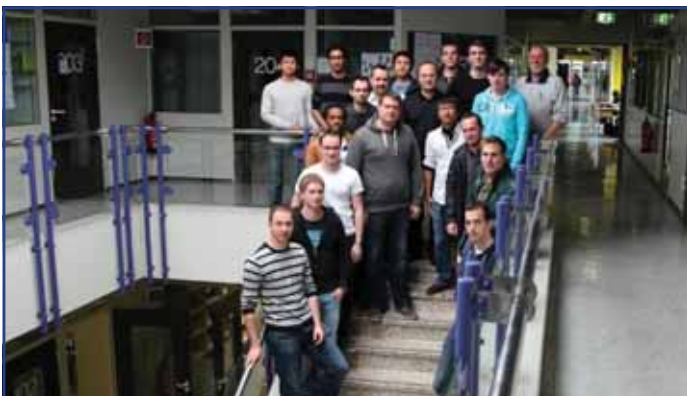


Abb. 1: Das Team des Labors „Embedded Systems und Kommunikationselektronik“ an der Hochschule Offenburg unter Leitung von Prof. Sikora.

- Ein immer größerer Teil der heutigen Funktionalität in Embedded Systemen wird über Software erreicht. Dies gilt nicht mehr nur für die höheren, anwendungsbezogenen Schichten, sondern auch für die Basisfunktionalität der Kommunikation, z.B. im Sinne des Software Defined Radio (SDR). Dabei nimmt die Komplexität dieser Systemsoftware, die als so genannte Firmware in die Geräte geladen wird, rapide zu. Umso mehr müssen die Verfahren des ingenieurmäßigen, systematischen Entwurfs von Software, im Allgemeinen auch als Software Engineering bezeichnet, auch für Embedded Systeme eingesetzt werden. Die Entwurfsprozesse, beginnend mit einer Anforderungsanalyse, basieren auf einer modellbasierten Beschreibung des Systemverhaltens und beinhalten die systematische Umsetzung und die Verifikation der Funktionen bis hin zu Pflege über die fortschreitenden Entwicklungsstände hinweg.



Abb. 2: Themenfelder des Labors „Embedded Systeme und Kommunikationselektronik“ an der Hochschule Offenburg.

Trotz der immer größer werdenden Bedeutung der Softwarebestandteile erscheint es weiterhin sinnvoll, wohl definierte und repetitive Anwendungen in Hardware auszulagern. Dann spielt der so genannte gekoppelte Entwurf, das Hardware-Software-Co-Design eine Rolle, um zum einen eine möglichst optimale Partitionierung des Systems zu erreichen und um zum anderen den Ablauf von Hardware- und Softwareentwurf und -verifikation sinnvoll koppeln zu können. Aufgaben, die im Kommunikationsumfeld häufig in Hardware ausgelagert werden sind kryptographische Algorithmen, wie sie zur Verschlüsselung, Identifizierung und Authentifizierung zum Einsatz kommen. Hierbei werden in verschiedenen Projekten sowohl eigen entwickelte Hardware-Beschleuniger als auch so genannte Trusted Platform Module (TPM) von Drittherstellern eingesetzt. Die breitbandige Kommunikation ist ein weiteres Beispiel. So wurde beispielsweise auf einer FPGA-Plattform eine Kommunikationseinheit entwickelt, die für eine hochbitratige Sensoranwendung die praktisch wahlfreie Zusammenstellung der Sensordaten über drei Gigabit-Ethernet-Schnittstellen und mehrere CAN-Interfaces erlaubt.

- Im Zuge der immer leistungsfähiger und kostengünstiger werdenden Hardwareplattformen wird auch der Einsatz von Betriebssystemen immer sinnvoller. Dabei spielen in zunehmendem Maße nicht mehr nur die herkömmlichen, für Embedded Systeme entwickelten Betriebssysteme eine Rolle, sondern immer mehr auch Linux als Open Source

Betriebssystem, das bereits viele Module und Funktionen integriert. In vielen Fällen muss aber eine Optimierung für den Einsatz in den Zielplattformen und -anwendungen erfolgen. Dies kann neben den reinen funktionalen Elementen vor allem auch die Energiecharakteristik betreffen. So sind ohne weitere Optimierung die Startup-Zeiten des Betriebssystems oft unakzeptabel. Entsprechend wird für ein Internet-Gateway, das im Normalfall ausgeschaltet und nur auf Anforderung aktiviert wird, diese Startup-Zeit in Abhängigkeit von den Hardware-Gegebenheiten und den für die Anwendung benötigten Modulen optimiert. Oder aber die Rechenleistung und die dabei entstehende Verlustwärme muss angepasst werden. So konzentriert sich eines der gegenwärtigen Projekte mit der Adaption des Linux-Schedulers, der die Prozessverwaltung übernimmt, so dass ein thermisch geführtes Lastmanagement erlaubt wird.

- Der Entwicklungsablauf für verteilte Kommunikationssysteme bedingt auch einen parallelen Entwurf der gekoppelten Instanzen. Hierzu bieten sich Simulationsplattformen für eine frühe Phase der Protokollentwicklung und -verifikation an. Es wurden bereits mehrere komplexe Projekte unter Nutzung der Simulationsplattformen OPNET und NS-3 durchgeführt, die sich mit Protokollen wie Wireless M-Bus, IEEE802.11p und Subsysteme, sowie mit Wireless HART beschäftigten. Hierbei wurde – neben den Gewinnung von Simulationsergebnissen – wesentlich auf die Portierbarkeit und die Einsetzbarkeit der erstellten Software-Module in realen Systemen geachtet.

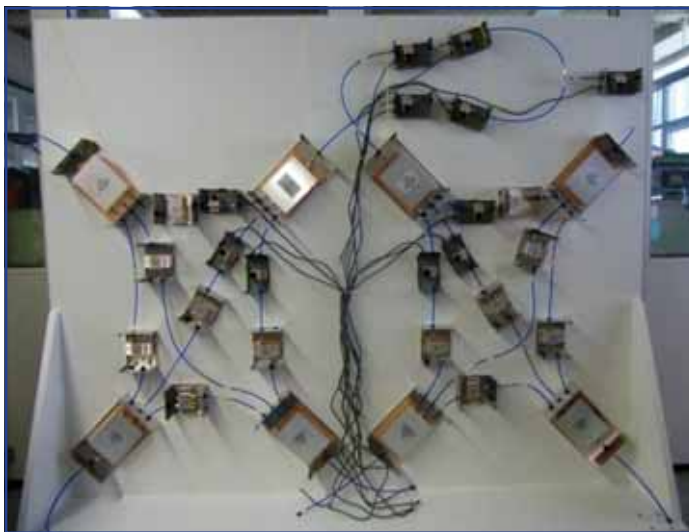


Abb. 3: Automatisierter Emulator zum Test von verteilten funkbasierten Systemen, der auf eigenen Plänen im Labor selbst entwickelt und programmiert wurde.

Netzwerktechnik

Wesentliche Entwicklungsrichtungen der Embedded Systeme, für die neue und dedizierte Protokollimplementierungen sinnvoll erscheinen, ergeben sich im Zusammenhang von jungen Protokollen, bei denen Erweiterungs- und Optimierungspotenzial besteht. Hierbei sind insbesondere zu nennen:

- Das Internet Protokoll IPV6, dass auch auf Embedded Systemen und insbesondere in Kombination mit IEEE802.15.4 implementiert werden kann. Diese Kombination ist auch als 6LoWPAN bekannt.

Die Entwicklung, Portierung und Adaption von 6LoWPAN ist derzeit Gegenstand von zwei übergreifenden Industrieprojekten. In diesem Zusammenhang spielt auch die Entwicklung von zugehörigen Anwendungsprofilen und -protokollen eine wesentliche Rolle.

- Das Wireless M-Bus Protokoll nach EN13757, an dessen Spezifikation das Team von Prof. Sikora weiterhin mitarbeitet. Die Implementierung von Erweiterungsmodi „p“ und „q“ für die Nutzung in verteilten energieautarken Systemen war Gegenstand eines im vergangenen Jahr abgeschlossenen Projekts, das von der EU gefördert wurde. Abb. 4 zeigt einen Eindruck von den Feldtests, die im irischen Meath Hill nördlich von Dublin durchgeführt wurden.



Abb. 4: Feldtests im Rahmen des von der Europäischen Union finanzierten F&E-Projekts WiMBex, in dem funkbasierte energieautarke Verbrauchszähler entwickelt und getestet wurden.

Darüber hinaus werden gegenwärtig mehrere Projekte durchgeführt, die das Funktionsspektrum neuer Transceiver in Bezug auf die Leistungsfähigkeit der Hardware und der Konfigurierbarkeit durch die Software untersuchen.

- Die Implementierung von Sicherheitsprotokollen, wie das Transport Layer Security (TLS)-Protokoll in der aktuellen Version TLS1.2, das auf verschiedene lokale Transportprotokolle abgebildet werden kann und für das die oben erwähnten Hardwarebeschleuniger eine wichtige Rolle spielen. Diese Optimierung ist Gegenstand von zwei im Rahmen des ZIM-KF-Programms geförderten Projekte für Anwendungen im Smart Metering und im Automotive Umfeld.

Auch wurde soeben ein Projekt abgeschlossen, bei dem in Zusammenarbeit mit der Open Metering System (OMS) Gruppe, die Referenzimplementierung für die vom Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik (BSI) referenzierte Lösung der abgesicherten Primärkommunikation umgesetzt wurde.

Prof. Sikora und sein Team engagieren sich für angepasste und zielgerichtete Sicherheitslösungen auch in den Standardisierungsprozessen, um den Boden für herstellerunabhängige Lösungen zu bereiten. Neben der aktiven Unterstützung der OMS Gruppe vertritt Prof. Si-



**INGENIEUR
SPIEGEL**

Bahntechnik

InnoTrans Berlin 23.-26. Sept. 2014
Internationale Fachmesse für Verkehrstechnik

Schiffbautechnik

SMM Hamburg 09.-12. Sept. 2014
International maritime trade fair

Fachmagazin für Ingenieure

Ausgabe 2 | 2014

INGENIEUR SPIEGEL

Das Fachmagazin für Ingenieure





Public Verlagsgesellschaft
und Anzeigenagentur mbH
Mainzer Str. 31 • 55411 Bingen

Telefon: ++49(0)67 21/49512-0
e-mail: info@publicverlag.com
Internet: www.publicverlag.com



beginnt mit mir bei DEKRA.

Experten (m/w) gesucht.

Mit Sicherheit Karriere machen. Wir suchen stets erfahrene Persönlichkeiten, die bei uns als Prüflingenieur oder Sachverständiger einsteigen möchten. DEKRA ist eine internationale Expertenorganisation und steht als verlässlicher Partner im automobilen und industriellen Bereich für abwechslungsreiche und zukunftssichere Arbeitsplätze in der Region.

Mehr Informationen zum Thema Karriere bei DEKRA:

www.dekra.de/karriere

www.facebook.com/DEKRAkarriere

Automotive

Industrial

Personnel



DEKRA
Alles im grünen Bereich.

kora auch mit der M2M-Alliance einen weiteren Industrieverband im Umfeld der Machine-to-Machine-Kommunikation in den Standardisierungsprozessen des Bundeswirtschaftsministeriums und des von ihm beauftragten BSI.

Darüber hinaus wird die technische Entwicklung aber auch durch die Entwicklung neuer Protokolle und Anwendungen vorangetrieben. Hierbei sind neben fallweise optimierten Protokollen vor allem erweiterte Anwendungen von Interesse, wie die Lokalisierung unter Nutzung von Funkkommunikation. Hier war das Team von Prof. Sikora u.a. an der größten Bundesinitiative für kooperative Fahrerassistenzsysteme (Ko-FAS) beteiligt und hat dort gemeinsam mit den Partnern ein Lokalisierungssystem für den Fußgängerschutz in Hardware und Software entwickelt.

■ Autor ■ ■ ■

*Prof. Dr.-Ing. Axel Sikora, Dipl.-Ing. Dipl. Wirt.-Ing.
Professur für Embedded Systems und Kommunikationselektronik*

*Hochschule Offenburg
Badstraße 24
D-77652 Offenburg*

*Tel.: +49 (0) 781 / 205-416
Fax +49 (0) 781 / 205-45416
axel.sikora@hs-offenburg.de
www.hs-offenburg.de*



HEINZMANN – 'Antrieb' für Ihre Karriere

300 engagierte, versierte Mitarbeiter entwickeln und produzieren bei HEINZMANN modernste Lösungen der Regelungs- und Antriebstechnik. Eine unabhängige, gewachsene Struktur und der strategische Fokus auf Zukunftstechnologien schaffen die Rahmenbedingungen für ein Höchstmaß an Qualität und Innovation.

Setzen Sie Ihre Talente bei uns zielgerichtet und zukunftsweisend ein! Wir suchen ständig Studenten/-innen der Ingenieurwissenschaften für unsere Hauptniederlassung in Schönau im Schwarzwald für:

- ✓ **Praktika**
- ✓ **Bachelorarbeiten**
- ✓ **Masterarbeiten**

*Informieren und bewerben Sie sich online unter
www.heinzmann.com/karriere*

Heinzmann GmbH & Co. KG
Am Haselbach 1
D-79677 Schönau
Tel. +49 (0)7673 8208 - 313
Frau Birgit Steiger
www.heinzmann.com



Qualität, Wirtschaftlichkeit und Zuverlässigkeit

HEINZMANN entwickelt und produziert Komponenten für das Motor- und Turbinenmanagement. Das international tätige Unternehmen beliefert zahlreiche namhafte Kunden der Verbrennungsmotoren- und der Antriebstechnikindustrie.

Zu den Kernprodukten des Systemanbieters zählen Lösungen für Common Rail Technologie, Drehzahlregelung, Gemischregelung, Generatormanagement und Management von Motoremissionen und Sicherheitssysteme für Verbrennungsmotoren.

Ein zweiter Schwerpunkt sind in der Industrie eingesetzte elektrische Antriebe wie z. B. Scheibenläufermotoren oder Radantriebe, sowie Antriebssätze für Elektro-leichtfahrzeuge.

HEINZMANN ist Technologieführer für Hybridantriebe in Industrieanwendungen und mobilen Arbeitsmaschinen.

Das 1897 gegründete Unternehmen ist heute mit einer Reihe von Tochterfirmen, Niederlassungen und Vertretungen weltweit präsent.

www.heinzmann.com

Radartechnik im Miniaturformat

Karlsruher Institut für Technologie (KIT) – Institut für Hochfrequenztechnik und Elektronik (IHE)

Einsatzmöglichkeiten von miniaturisierten Radarsystemen

Die Radartechnik ist einer der Forschungsschwerpunkte am Institut für Hochfrequenztechnik und Elektronik. Während die traditionellen Anwendungen in der Militärtechnik, Luftraumüberwachung und Geschwindigkeitsmessungen liegen, werden Radar-Systeme immer mehr als Sensoren im industriellen Umfeld der Automatisierungstechnik zur Abstandsbestimmung, Füllstandsmessung, Materialprüfung oder als Bewegungsmelder eingesetzt. Im Automotive Bereich erhält die Radartechnik zurzeit vor allem in Form von Fahrassistenzsystemen Einzug, aber auch im medizinischen Bereich sind die berührungslose Überwachung des Pulses und der Atmung von Lebewesen sowie die Vitalkontrolle von Personen in Bereichen, in denen Kameras aus Gründen der Privatsphäre nicht erlaubt sind, mittels Radartechnik vorstellbar. Des Weiteren existieren auch im Konsumer-Bereich zahlreiche Anwendungen, die auf dem Prinzip der Radarsensorik basieren. Dabei zeigt sich zurzeit eine steigende Nachfrage im Bereich der Haushaltsroboter (z.B. Staubsauger, Staubwischer, Rasenmäher), aber auch Spielzeuge, wie ferngesteuerte Helikopter oder Flugzeuge könnten mit einer Low-Cost Radarsensorik zur Kollisionsdetektion ausgestattet werden. Der Vorteil gegenüber optischen oder laserbasierten Systemen ist am Beispiel eines Katastrophenschutz-Szenarios mittels ferngesteuerten Aufklärungsrobotern zu veranschaulichen. Während optische Systeme sehr empfindlich auf Luftverschmutzungen, Sonneneinstrahlung oder Nebel reagieren, sind Radarsysteme weitestgehend robust gegen äußere Umgebungseinflüsse.

Viele der gegebenen Anwendungsmöglichkeiten benötigen einen kleinen Formfaktor des Gesamtsystems um praktikabel eingesetzt werden zu können. In den letzten Jahren wurde durch immer höhere Grenzfrequenzen von Halbleitertechnologien die Realisierung eines kompletten Radarsystems auf einer Chipfläche von ca. $2 \times 2 \text{ mm}^2$ möglich. Durch die hohen Frequenzen skalieren alle Baugruppen einer Hochfrequenzschaltung, v.a. aber die Antennen, welche quasi als Augen des Sensor-Systems angesehen werden können.

Arten von Radarsystemen

Am IHE werden hauptsächlich monostatische Radare eingesetzt, d.h. der Sender und Empfänger befindet sich räumlich am gleichen Ort und nutzt die Korrelation von Sende- und Empfangssignal aus. Ein Radarsystem kann auf unterschiedliche Weisen als Sensor eingesetzt werden. Sogenannte Continuous Wave (CW) Radare werden hauptsächlich zur Geschwindigkeitsmessung eingesetzt. Hierbei wird kontinuierlich eine elektromagnetische Welle mit konstanter Frequenz abgestrahlt, welche an Objekten aus der Umgebung reflektiert wird. Wenn sich diese Objekte bewegen tritt eine Dopplerfrequenz auf, welche proportional zur Geschwindigkeit des bewegten Objektes ist. Eine weitere Möglichkeit ist

der Pulsbetrieb eines CW Radars, hierbei werden Pulse ausgesendet die an Objekten reflektiert werden und schließlich vom Empfänger detektiert werden. Hierbei wird die Laufzeit des gesendeten und empfangenen Signals berechnet, welche wiederum proportional zum Abstand ist.

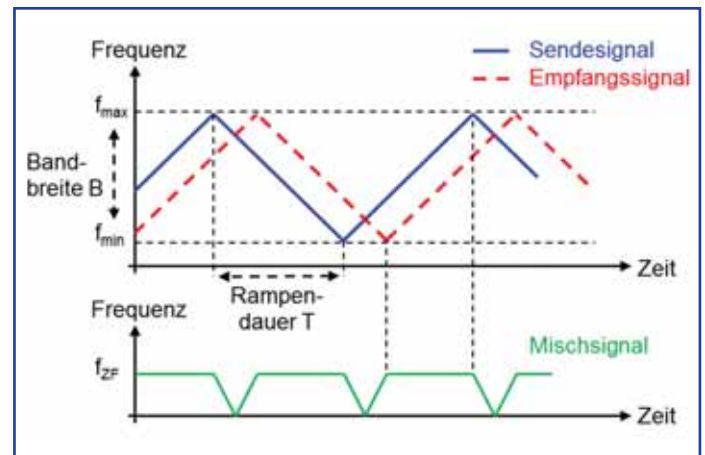


Abbildung 1: Funktionsprinzip FMCW-Radar.

Ein Verfahren, welches heutzutage zur hochgenauen Abstandsmessung verwendet wird, ist das Frequency Modulated Continuous Wave (FMCW) Verfahren. Hierbei wird im Sender die Frequenz in einem definierten Intervall möglichst linear geändert. Während die abgestrahlte Welle an Objekten reflektiert wird, läuft die Frequenz im Sender weiter. Die reflektierte Welle des Messobjektes wird im Empfänger nun direkt mit der derzeitigen Sendefrequenz gemischt, als Resultat bekommt man hierbei die Differenzfrequenz, welche wiederum direkt proportional zum Abstand des Messobjektes ist. Mit diesem Verfahren lassen sich sehr hohe Genauigkeiten erreichen. Zusätzlich kann auch mit diesem Verfahren eine Geschwindigkeitsmessung vorgenommen werden.

Millimeterwellen-Radar-Systeme zur Abstands- und Geschwindigkeitsmessung

Das IHE hat im Rahmen zahlreicher Forschungsprojekte mit Partnern wie BOSCH, IHP microelectronics, Silicon Radar, Fraunhofer FHR, InnoSenT, Schnaithmann und Novotechnik verschiedene Radarsysteme mitentwickelt und messtechnisch evaluiert. Ein im EU-Forschungsprojekt SUCCESS (<http://www.success-project.eu/>) entworfenes Millimeterwellen Radar bei einer Trägerfrequenz von 122 GHz ist in Abbildung 2 zu sehen. Dieses Frequenzband mit einer Bandbreite von 1 GHz bedarf keiner besonderen Genehmigung, da es sich um ein ISM (Industrial, Scientific and Medical) Band handelt. Der Fokus innerhalb dieses Projekts lag hierbei auf der Realisierung eines sehr kompakten Radar-Frontends ($8 \times 8 \text{ mm}^2$, inklusive Radarkomponenten und Antennen) in einem Low-Cost Gehäuse um auch oben erwähnte Konsumer-Märkte bedienen zu können.

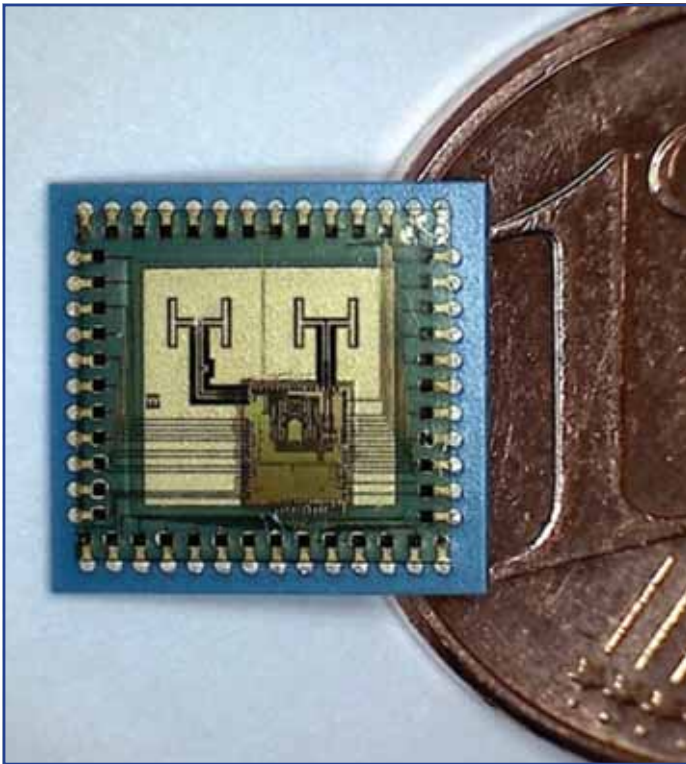


Abbildung 2: Radar-Frontend in einem 8x8 mm² QFN Gehäuse.

Der Halbleiterchip innerhalb des QFN-Gehäuses in Abbildung 2 beinhaltet hierbei alle relevanten Hochfrequenzbaugruppen, dadurch müssen keine hochfrequenten Signale durch das verwendete QFN-Gehäuse geschleift werden. Die Antennen werden mit kleinen Goldkugeln ($< 50 \mu\text{m}$) mit den Antennen verbunden, welche sich auf einer sehr dünnen ($14 \mu\text{m}$) Kunststoffolie befinden. Auf dieser Folie ist zusätzlich die Umverdrahtungsstruktur vom Halbleiterchip zum QFN Gehäuse untergebracht.

Dieses Radar-Frontend kann auf Standard Platinen (PCBs) wie in Abbildung 3 zu sehen gelötet werden, wo dann die Auswertung der für die Abstands- oder Geschwindigkeitsmessung zuständigen Signale stattfindet. Dazu ist es möglich einen spannungsgesteuerten Oszillator mit Hilfe einer PLL im CW-Modus oder im FMCW-Modus zu betreiben. Die Spannungsversorgung dieses Prototypen Radars erfolgt über einen Standard-USB Anschluss, die Auswertung der digital gewandelten Basisbandsignale, welche je nach Operationsmodi proportional zu Abstand oder Geschwindigkeit sind, erfolgt hierbei auf einem PC.

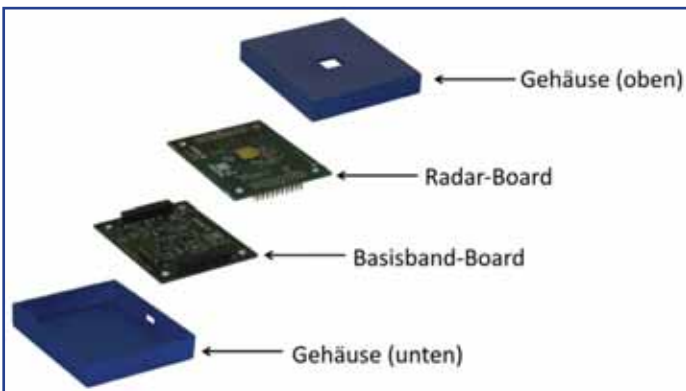


Abbildung 3: 122 GHz Millimeterwellen-Radar-System.

In der Automatisierungstechnik werden Radare zur hochgenauen Abstandsmessung oder Füllstandsmessung benötigt, oftmals auch als Ersatz für optische Systeme. Ein großes Forschungsgebiet am IHE ist dabei die Evaluierung von Millimeterwellen-Radarsystemen hinsichtlich ihrer Genauigkeit. Um den Genauigkeitsbereich zu erhöhen wird zusätzlich zur Frequenzschätzung, welche den Abstand liefert, auch noch die Phase des komplexen Basisbandsignals ausgewertet, womit die erreichbare Genauigkeit drastisch erhöht werden kann. Für eine Abstandsdetektion im einstelligen Mikrometer-Bereich gibt es eine Vielzahl von Einflussfaktoren, bspw. die Erzeugung einer möglichst ideal linearen Frequenzrampe, die IQ-Mischung ins Basisband, die Auswerteelektronik (Verstärkung, Filterung, AD-Wandlung) der Basisbandsignale sowie die verwendete Algorithmik für die digitalisierten Basisbandsignale.

Verschiedene Untersuchungen sowohl mit unterschiedlicher Elektronik, unterschiedlichen Radarsystemen und verschiedenen algorithmischen Verfahren zur Frequenz- und Phasenschätzung haben gezeigt, dass eine Genauigkeit von unter einem Mikrometer bei gleichzeitiger Miniaturisierung eines Radar-Systems erreicht werden kann. In Tabelle 1 sind die am IHE untersuchten Radarsysteme aufgelistet.

Radar	FMCW Bandbreite	erreichte Genauigkeit	Phasen-auswertung	Betriebs-frequenz
D-Band 122 GHz FMCW (SUCCESS)	1,6 GHz	$< 1 \text{ mm}$	nein	122.5 GHz
D-Band 122 GHz CW (SUCCESS)		$< 0.02 \text{ m/s}$ @ 5 m/s		122.5 GHz
K-Band Radar (InnoSenT)	1,0 GHz	$< 5 \mu\text{m}$ (Hohlleiter)	ja	24 GHz
V-Band Radar (InnoSenT)	0,5 GHz	$< 16 \mu\text{m}$	ja	61 GHz
Radar (FHR) Algorithmik (IHE)	26,5 GHz	$< 1 \mu\text{m}$	ja	80 GHz

Tabelle 1: Am IHE untersuchte und teilweise entwickelte Radarsysteme.

Millimeterwellen-Radarsysteme mit Richtungsauflösung

In den oben genannten Anwendungsgebieten wird i.d.R. von Umgebungen mit nur einem Messziel ausgegangen. Möchte man auch noch eine Winkelauflösung in Azimut und Elevation erreichen können Mehrantennensysteme eingesetzt werden. Dies ist zum Beispiel bei einer Rundumüberwachung hilfreich. Hierbei wird ein Radarchip benötigt, welcher mehrere Sende- und Empfangskanäle besitzt, die jeweils an ein entsprechendes Antennenelement angeschlossen sind. Wird nun jeder Kanal einzeln ausgewertet, ergibt sich für die einzelnen Antennenelement je nach Position des Messobjektes eine unterschiedliche Laufzeit der ausgesendeten elektromagnetischen Welle. Dies äußert sich in einer unterschiedlichen Phase der einzelnen Basisbandsignale, wodurch nun anhand der Geometrie des Antennenarrays der Winkel des Messobjekts zum Radar-System aufgelöst werden kann. Bei Mehrantennensystemen fehlt allerdings oftmals der Aspekt der Miniaturisierung. Deshalb ist es möglich mit Hilfe von frequenzselektiven Antennen und hoher Bandbreite eine Richtungsauflösung zu erreichen. Hierzu wird ebenfalls das FMCW Prinzip verwendet, allerdings in Verbindung mit einer speziellen Antenne, welche eine frequenzabhängige Hauptstrahlrichtung aufweist.

Literaturverzeichnis

- ^[1] S. Ayhan, S. Scherr, P. Pahl, T. Kayser, M. Pauli, and T. Zwick, "High-Accuracy Range Detection Radar Sensor for Hydraulic Cylinders," *Sensors Journal*, IEEE, vol. 14, pp. 734-746, Mar. 2014.
- ^[2] S. Ayhan, J. Bauer, A. Gerdes, S. Grimske, T. Heinze, D. Kern, C. Müller, and J. Pollmann, „Effektiv auf kleinstem Raum,“ in *maschine+werkzeug*, Carl-Hanser Verlag, München, Feb. 2013.
- ^[3] B. Goettel, M. Pauli, H. Gulan, M. Girma, J. Hasch and T. Zwick, "Miniaturized 122 GHz Short Range Radar Sensor with Antenna-in-Package (AiP) and Dielectric Lens", *Antennas and Propagation (EuCAP)*, 2014 8th European Conference on, 2014.
- ^[4] N. Pohl, T. Jaschke, S. Scherr, S. Ayhan, M. Pauli, T. Zwick, and T. Musch, "Radar measurements with micrometer accuracy and nanometer stability using an ultra-wideband 80 GHz radar system," in *Wireless Sensors and Sensor Networks (WiSNet)*, 2013 IEEE Topical Conference on, pp. 31-33, Jan., 2013.
- ^[5] C. Rusch, S. Beer, P. Pahl, and T. Zwick, "Multilayer holographic antenna with beam scanning in two dimensions at W-band," in 2013 7th European Conference on Antennas and Propagation (EuCAP), Gothenburg, Sweden, Apr. 2013.
- ^[6] S. Scherr, S. Ayhan, M. Pauli, and T. Zwick, "Accuracy limits of a K-band FMCW radar with phase evaluation," in *Radar Conference (EuRAD)*, 2012 9th European, pp. 246-249, Oct., 2012.

- ^[7] M. Pauli, S. Ayhan, S. Scherr, C. Rusch, and T. Zwick, "Range Detection with Micrometer Precision Using a High Accuracy FMCW Radar System," Invited Paper, in 9th International Multi-Conference on Systems, Signals and Devices (SSD), Chemnitz, Germany, Mar. 2012.

Autoren

Benjamin Göttel

Dr. Mario Pauli

Prof. Dr. Thomas Zwick

*Karlsruher Institut für Technologie (KIT)**

Institut für Hochfrequenztechnik und Elektronik (IHE)

Kaiserstrasse 12, 76131 Karlsruhe

Tel.: +49 (0) 721 / 608-42522

Fax: +49 (0) 721 / 608-45027

E-Mail: info@ihe.kit.edu

www.ihe.kit.edu/

**KIT – Universität des Landes Baden-Württemberg und*

nationales Großforschungszentrum in der Helmholtz-Gemeinschaft

NEUER JOB GEFÄLLIG?



JOBBÖRSE

Jetzt informieren:

www.jobboerse.arbeitsagentur.de

JOBBÖRSE



Bundesagentur für Arbeit

Forschung an Elektrozeirädern

Noch sind Elektrofahrzeuge die Ausnahme auf deutschen Straßen – im Gegensatz beispielsweise zu Innenstadträumen in China. Lediglich Fahrräder mit elektrischer Antriebsunterstützung haben inzwischen auch in Deutschland eine größere Verbreitung gefunden. Nach wie vor ist jedoch die breite Erfahrung im alltäglichen Einsatz von elektrisch betriebenen Fahrzeugen relativ gering. An der Hochschule Reutlingen steht eine Flotte von 10 Elektrozeirädern, bestehend aus 5 Elektrofahrern (Pedelecs) und 5 Elektrorollern (E-Scooter) zur Verfügung. Hiermit werden mehrere Ziele verfolgt: Zum einen soll jedes Mitglied der Hochschule die Möglichkeit haben, Elektrofahrzeuge auszuprobieren und erste Erfahrungen zu sammeln. Andererseits stellen die Fahrzeuge eine Plattform für Forschungs- und Entwicklungsarbeiten dar. So ist ein Internet-basiertes Reservierungs- und Flottenmanagementsystem entstanden, das auch statistische Auswertungen zulässt. Eine weitere Entwicklung befasst sich mit genauen Reichweitenvorhersagesystemen, mit dem Ziel, die bislang recht ungenaue Batterie-Ladestandsanzeige zu verbessern oder zu ersetzen.

Elektromobilität „erfahrbar“ machen

Abbildungen 1 und 2 zeigen die Fahrzeugtypen, die jedem Mitglied der Hochschule Reutlingen zur Ausleihe zur Verfügung stehen und die gleichzeitig Basis für eigene Entwicklungen und Forschungsarbeiten bilden. Die nachfolgende Tabelle gibt eine Übersicht über die wichtigsten Fahrzeugdaten.



Abb. 1: Elektrozeiräder des Projekts

Internet-basiertes Reservierungs- und Flottenverwaltungssystem

Das entwickelte Flottenverwaltungssystem gibt Nutzern einen Überblick über Zustand und Verfügbarkeit der Fahrzeuge und erlaubt deren Reservierung von jedem Rechnerarbeitsplatz der Hochschule aus. Die Ausleihe erfolgt tageweise oder in Ausnahmefällen auch mehrtägig. Hierzu ist vorab aus rechtlichen und versicherungstechnischen Gründen eine einmalige Registrierung des Nutzers notwendig, die mit der Unterzeich-



Abb. 2: Elektroroller im Test

nung einer Nutzungsvereinbarung und der Vergabe eines Passwortes verbunden ist. Kosten für die Ausleihe fallen nicht an. Die Übergabe und Rückgabe der Fahrzeuge erfolgt manuell. Erstmalige (und gewillte wiederholte) Nutzer werden anhand eines ausführlichen Fragebogens gebeten, Erfahrungen während der Nutzung, Testdaten usw. zur Verfügung zu stellen.

Daten der Elektrozeiräder (nach Herstellerangaben)

	GUF GECO2	Centurion Electric Fire
Typ	Electric scooter	Electric bike/ Pedelec
Motorleistung [W]	2500	250
Batteriespannung [V]	48	36
Batteriekapazität [Ah]	45 (Bleibatterie) 34.5 (Li-Ionen-Akkumulator)	8
Ladezeit [h]	6	1.5 (Schnellladung) 8 (Normalladung)
Höchstgeschwindigkeit [km/h]	45	Elektrische Fahrunterstützung bis 25
Max. Reichweite [km]	60	145
Gewicht [kg]	130 (Blei-Akkumulator) 85 (Li-Ionen-Akkumulator)	22
Preisregion inkl. MwSt [EUR]	~2300 (mit Blei-Akkumulator) ~4100 (mit Li-Ionen-Akkumulator)	~2200
Führerscheinklasse	EU Klasse M	---

Auswertung von Testdaten und Nutzererfahrungen

Die von Nutzern rückgemeldeten Testdaten und Informationen werden erfasst und anonym nach mehreren Gesichtspunkten ausgewertet und statistisch aufbereitet. Hieraus lassen sich Schlüsse ableiten beispielsweise zur Akzeptanz, zur Witterungsabhängigkeit, zur Zuverlässigkeit der Fahrzeuge, zu Erfahrungen im alltäglichen Verkehr, zum Ladeverhalten usw., die wiederum für einen potenziellen Masseneinsatz von Elektrofahrzeugen wertvoll sind. Auch das zeitliche Verhalten unterschiedlicher Batterietypen lässt sich erforschen sowie der Vergleich von Datenblattangaben und real erreichten Werten, insbesondere hinsichtlich der Reichweitenangaben, ist von erheblichem Interesse.

Entwicklung eines Systems zur genauen Ladezustandsbestimmung und Reichweitenprognose

Die Gefahr des „Liegenbleibens“ aufgrund entladener Batterie wird bei reinen Elektrofahrzeugen, so auch bereits bei den vorhandenen Elektroscootern, die manuell kaum mehr zu bewegen sind, vom Fahrer als durchaus real empfunden. Weiterhin zeigt die Erfahrung, dass die Reichweite, basierend auf einem bestimmten Ladestand der Akkumulatoren stark von Verkehrsbedingungen und vom Höhenprofil der Fahrstrecke abhängt. Hinzu kommt, dass die Ladezustandsanzeige der Scooter (siehe Abb. 3) nur in sehr groben Stufen erfolgt, die Anzeige beruht auf der Batteriespannung als (relativ ungenauem) Indikator der Ladung. So ist auch festzustellen, dass bei Hochlast, beispielsweise bedingt durch Bergfahrten, die Batteriespannung deutlich zurückgeht, danach jedoch wiederum höher ist. Ebenfalls unberücksichtigt bleibt eine mögliche Rekuperation von Energie während anschließender Verzögerungsphasen oder Talfahrten. Die Folge ist, dass die Ladezustandsanzeige als erheblich ungenau und unbefriedigend empfunden wird und daher „vorsichtshalber“ die Fahrzeuge üblicherweise nur auf Strecken weit unterhalb der theoretisch angegebenen Reichweite betrieben werden. Hier kann nun durch ein genaueres System zur Ermittlung des Ladestandes der Batterie und zur Vorausbestimmung der (Rest-) Reichweite eine erhebliche Verbesserung erzielt werden.



Abb. 3: Ladezustandsanzeige Elektroscooter

In einem ersten Schritt wurde ein Datenerfassungsmodul entwickelt und in einen E-Scooter eingebaut, das es erlaubt, den Energiefluss von und zur Batterie direkt zu erfassen und zu speichern, dies erfolgt durch integrierende Messung von Spannung und Strom an der Batterieleitung in beiden Energieflussrichtungen.

Eine wesentlich genauere Reichweitenprognose kann nun durch mehrere Verfahren erzielt werden.

Verfahren 1 (entwickelt): Während einer Testfahrt wird ein GPS-Modul mitgeführt, das auch die Aufnahme des Höhenprofils ermöglicht. Gleichzeitig wird der Energiefluss von und zur Batterie aufgezeichnet. Abb. 4 zeigt den Verlauf der gemessenen Größen während einer solchen Fahrt. Am Ende der Fahrt ist somit der Energiebedarf für die Teststrecke mit hinreichender Genauigkeit ermittelt. Der Energiebedarf wird nun mit der in der Batterie gespeicherten Energie verglichen (Speicherwirkungsgrade können berücksichtigt werden), wodurch sich eine wesentlich genauere Prognose der verbleibenden Restreichweite bezogen auf einmal abgefahrene Teststrecken berechnen lässt.

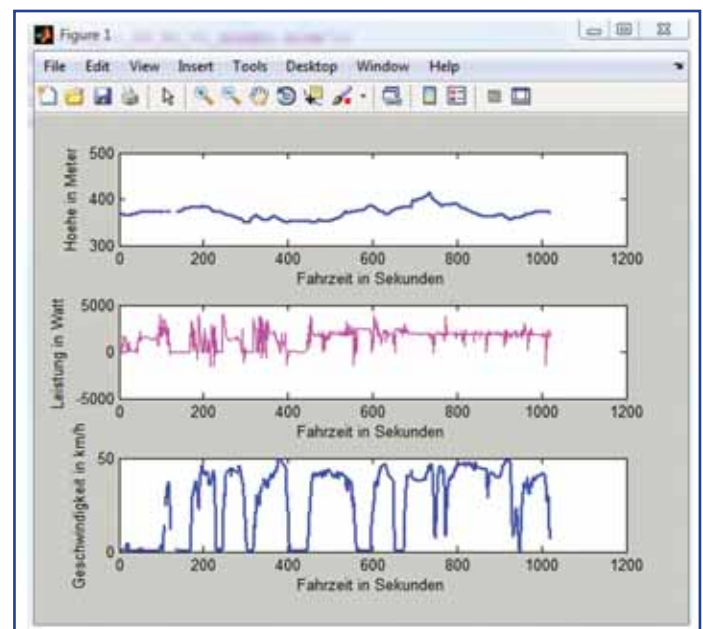


Abb. 4: Während einer Testfahrt aufgezeichnete Fahrzeug- und Fahrdaten eines E-Scooters

Erweiterte Verfahren (teilweise implementiert bzw. noch zu implementieren): Aufgrund von digital verfügbarem Kartenmaterial einschließlich Höheninformation wird eine Fahrstrecke geplant und ausgewählt. Dabei wird grob ermittelt, durch welche Verkehrswegesituationen die Strecke führt, um Erfahrungswerte für zu erwartende Beschleunigungs- und Verzögerungsvorgänge heranziehen zu können. Sodann wird aus bekannten physikalischen Größen (Masse Fahrzeug und Fahrer, Lageenergie, Luftwiderstand, Reibwiderstand, Energiebilanz des Fahrzeugs bei Beschleunigungs-/Verzögerungsvorgängen) der zu erwartende Energiebedarf berechnet und mit der verfügbaren gespeicherten Energie verglichen und damit die zu erwartende Reichweite ermittelt.

Eine abgewandelte Form des erweiterten Verfahrens ist ebenfalls von Interesse und noch zu untersuchen. Aufgrund von Testfahrten werden

Fahrstrecken in typische Segmente zerlegt (horizontale Streckenabschnitte, Berg-/Talstreckenabschnitte mit bestimmten Neigungen, Beschleunigungs- und Verzögerungsvorgänge) und aus den aufgezeichneten Daten (vgl. Abb. 4) der jeweils zugehörige Energiefluss empirisch ermittelt. Mit Hilfe des digitalen Kartenmaterials wird eine geplante Fahrstrecke in typische Segmente zerlegt und aus den empirisch ermittelten Energieflüssen der Energiebedarf ermittelt und somit die Reichweite berechnet.

Danksagung

Das Projekt wird gefördert vom kommunalen Energieversorger Fair-Energie Reutlingen und von Robert Bosch GmbH

Autor

*Prof. Dr.-Ing. Prof. e.h. Gerhard Gruhler
Vizepräsident (Forschung)*

*Hochschule Reutlingen
Reutlingen Research Institute (RRI)
Alteburgstr. 150, 72762 Reutlingen*

Tel.: +49 (0) 7121 / 271-7048

*E-Mail: Gerhard.Gruhler@reutlingen-university.de
www.reutlingen-university.de*

engineering people. supporting experts.

Als innovativer Entwicklungsdienstleister unterstützt engineering people technische Unternehmen in vielfältigen Denk- und Realisierungsprozessen – von der Idee über Entwicklung, Konstruktion, Applikation, Testing bis hin zu Serienreife und Dokumentation/CE. Zahlreiche Technologieunternehmen und Fachleute setzen auf die Kompetenz von engineering people - u. a. aus Maschinen- und Anlagenbau, Fahrzeug- und Elektrotechnik, Medizin- und Energietechnik sowie Luft- und Raumfahrt.

Kunden und Team profitieren von Leistung, Wertschätzung und hoher Professionalität. Mittlerweile ist die Ingenieurgesellschaft bundesweit mit 330 Fachleuten an zehn Standorten präsent. In Baden-Württemberg sind es Ulm, Stuttgart, Mannheim und Friedrichshafen.

„Trotz des Wachstums sind wir ein familiäres Unternehmen geblieben“, so Geschäftsführer Winfried Keppler. „Und bieten mit unserem Bildungskatalog die Chance, Kompetenzen und Schlüsselqualifikationen gezielt zu entwickeln.“ Profis nutzen das Angebot ebenso wie Young Professionals und Berufseinsteiger. Manchen dient es als Sprungbrett – andere bleiben über viele Jahre.

www.engineering-people.de



*Winfried Keppler,
Geschäftsführer ep.*



Entwickler?



Vordenker?



Teamplayer?

Verbinden Sie Ihre Stärken mit den Impulsen unserer innovativen Ingenieurgesellschaft! Fragen? ep Ulm: 0731 20790-132. ep Stuttgart: 0711 806093-232. ep Mannheim: 0621 178228-712. ep Friedrichshafen: 07541 38870-167.

engineering people. supporting experts.



Elektromobilität am Fachbereich Elektrotechnik und Informationstechnik der Universität Stuttgart

Bereits seit dem Jahre 1882, als auf Anregung von Werner von Siemens mit dem Aufbau von Lehrstühlen der Elektrotechnik begonnen wurde, findet an der Universität Stuttgart (damals „Technische Hochschule Stuttgart“) Lehre und Forschung im Bereich Elektrotechnik statt^[1].

Im heutigen Fachbereich Elektrotechnik und Informationstechnik forschen und lehren 175 Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler, davon 18 Professorinnen und Professoren, und decken die ganze Breite der Elektrotechnik und Informationstechnik ab. Folgende 15 Institute gehören zum Fachbereich:

- Institut für Automatisierungs- und Softwaretechnik
- Institut für Elektrische Energiewandlung
- Institut für Elektrische und Optische Nachrichtentechnik
- Institut für Energieübertragung und Hochspannungstechnik
- Institut für Großflächige Mikroelektronik
- Institut für Halbleitertechnik
- Institut für Hochfrequenztechnik
- Institut für Kommunikationsnetze und Rechnersysteme
- Institut für Leistungselektronik und Elektrische Antriebe
- Institut für Nachrichtenübertragung
- Institut für Photovoltaik
- Institut für Robuste Leistungshalbleitersysteme
- Institut für Signalverarbeitung und Systemtheorie
- Institut für Theorie der Elektrotechnik
- Institut für Nano- und Mikroelektronische Systeme

Lehre im Fachbereich Elektrotechnik und Informationstechnik

Die ca. 1100 Studentinnen und Studenten in den Studiengängen der Elektrotechnik und Informationstechnik werden nach der Vermittlung von Grundkenntnissen und Fähigkeiten Zug um Zug in die Suche nach neuen Problemlösungen einbezogen und so zu Universitäts-Ingenieuren mit hoher Fach- und Führungskompetenz ausgebildet. Sie studieren in einem der folgenden Studiengänge^[2]:

• Bachelor Elektrotechnik und Informationstechnik



- Sechsstemestriger, grundständiger Studiengang
- Sieben Studienschwerpunkte stehen zur Auswahl

• Master Elektrotechnik und Informationstechnik



- Viersemestriger, forschungsnaher Studiengang
- Drei Studienschwerpunkte stehen zur Auswahl

• Master Nachhaltige Elektrische Energieversorgung



- Viersemestriger, forschungsnaher Studiengang

• Master Elektromobilität



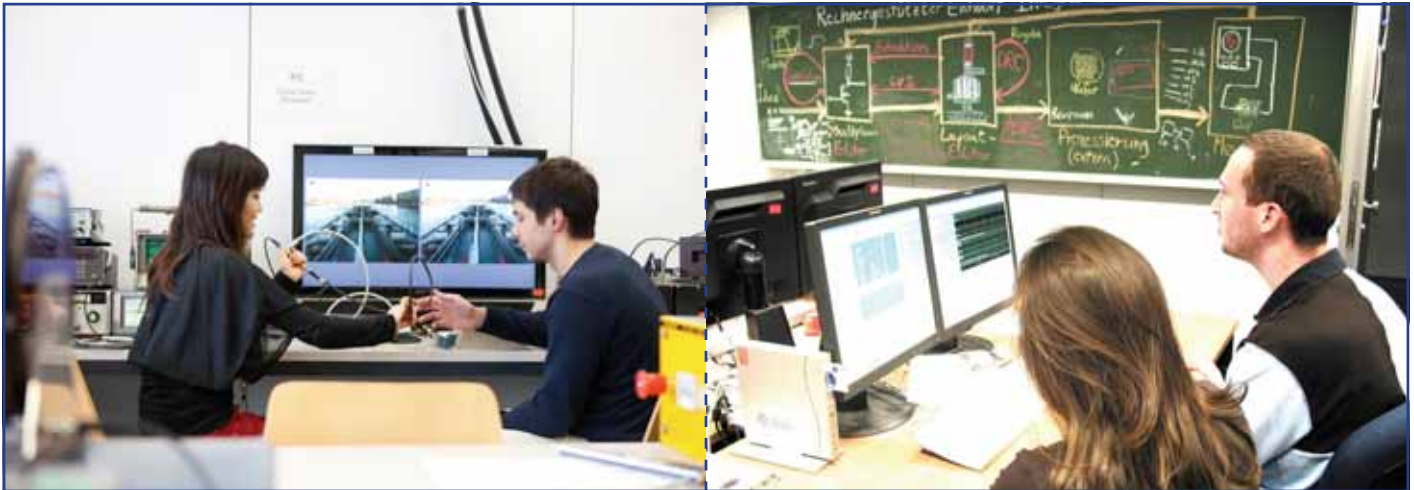
- Viersemestriger, forschungsnaher Studiengang
- Drei Studienschwerpunkte stehen zur Auswahl

• Master Information Technology



- Englischsprachiger, forschungsnaher Studiengang mit ca. 80%-igem Anteil an ausländischen Studentinnen und Studenten

Für erfolgreiche und interessierte Studentinnen und Studenten besteht nach dem Abschluss ihres Master-Studiums die Möglichkeit der wissenschaftlichen Weiterqualifikation zum Dr.-Ing. an einem der Institute des Fachbereiches Elektrotechnik und Informationstechnik, an anderen Instituten der Universität Stuttgart oder an einer anderen Universität.



Studierende in Labors des Fachbereiches

StudKart – Wie aus einer spontanen Idee eine hochinnovative Lern- und Forschungsplattform für die Elektromobilität entstand ^{[1], [3]}.

Als ein Beispiel für erfolgreiche Lehre kann das erfolgreiche Projekt StudKart genannt werden.



Die **Elektromobilität** ist ein zentraler Forschungsschwerpunkt am Institut für Elektrische Energiewandlung (IEW). Zwei Themen stehen dabei

aktuell im Fokus: *Elektromotor* und *induktives Laden*^[1]. Die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler des IEW erforschen und optimieren zum einen die Konstruktion von Elektromotoren mit sehr hohen Drehmomentdichten und zum anderen den Aufbau von positionstoleranten, induktiven Ladestationen für die elektrischen Energiespeicher (Akkumulatoren) in Fahrzeugen. Ziel ist die Entwicklung von hocheffizienten Komponenten für Elektromobilität der Zukunft.

Zahlreiche Studierende unterschiedlicher Fachrichtungen arbeiten zusammen mit den Forschern des IEW an diesen zukunftsweisenden Themen.



StudKart-Team mit Prototyp II des StudKart

Dabei entstand ein faszinierendes studentisches Projekt: das **StudKart-Projekt**. Der Elektro-Go-Kart soll mit zwei bürstenlosen Gleichstrommaschinen als Achsantriebe fahren und induktiv aufgeladen werden.

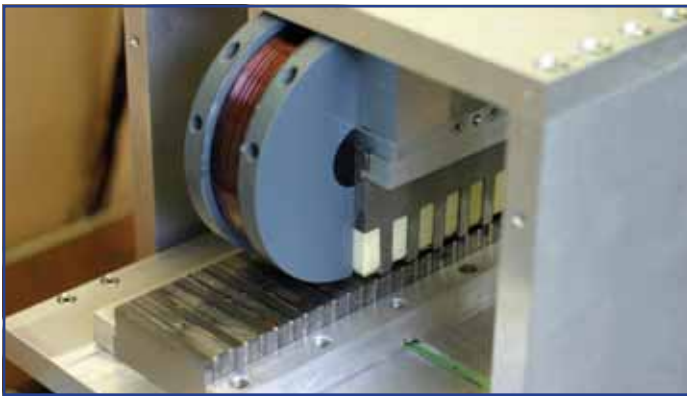
Forschung im Fachbereich Elektrotechnik und Informationstechnik

Die Institute der Elektrotechnik und Informationstechnik sind stark forschungsorientiert. Die Forschungsmittel kommen vom Land Baden-Württemberg, aus europäischen und nationalen Forschungsprogrammen sowie aus Kooperationen mit Industrieunternehmen. Drittmittel werden jährlich im Umfang von ca. sechs Millionen Euro (Stand 2013) eingeworben, sodass mehr als die Hälfte des wissenschaftlichen Personals aus solchen Drittmitteln finanziert werden kann.

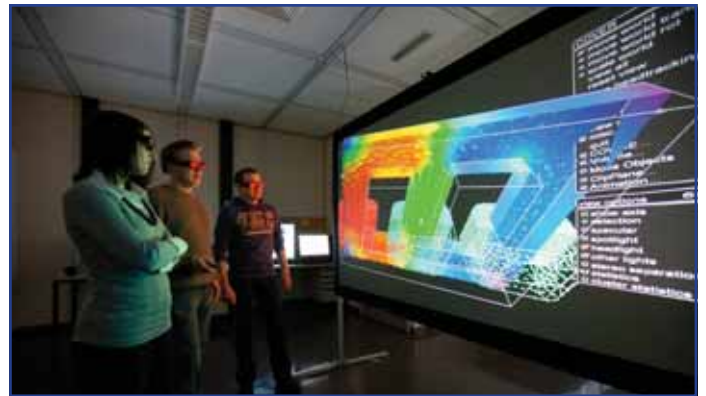
Forschungsschwerpunkte im Fachbereich Elektrotechnik und Informationstechnik sind derzeit ^[4]:

Nano-, opto- und leistungselektronische Systeme aus einerseits neuartigen, nanostrukturierten Halbleitermaterialien und photonischen Bauelementen für die ubiquitäre Vernetzung sowie andererseits aus robusten leistungselektronischen Komponenten für die Umgestaltung der Energieversorgung hin zu einer nachhaltigen elektrischen Energieversorgung und Mobilität.

Kommunikation und Mobilität sind Schlüsselfaktoren der modernen Gesellschaft. Der Fachbereich Elektrotechnik und Informationstechnik besitzt eine hohe Kompetenz in technischen Systemen und Technologien



Lineare Transversalflussmaschine



3-D-Visualisierung von magnetischen Feldlinien durch numerische Feldberechnung auf Hochleistungsrechnern

EHEIM

Jetzt bewerben
karriere@eheim.de

Ansprechpartner
EHEIM Verwaltungs GmbH
Frau Monika Reithmeier
Plochinger Straße 54
73779 Deizisau

Weitere Informationen erhalten Sie
unter www.karriere.eheim.com



Wir sind ein mittelständisches Familienunternehmen mit Sitz in Deizisau bei Stuttgart und Tochtergesellschaften in den Sparten Heimtier, Aviation und Objektbau.



Im Zentrum steht die Heimtiersparte mit Standorten in Europa und Asien. Mit der Marke EHEIM zählen wir zu den führenden Anbietern im Heimtier-Markt und sind als Erfinder des Aquarien-Saugfilters weltweit die Nummer eins im Bereich Aquarienfilter. Unsere Angebote reichen von Aquarien, Aquarientechnik und Filtersystemen bis hin zu Fischfutter und Pflegeprodukten. Zusätzlich bieten wir Ladenbau für den Zoofachhandel.

In der Sparte Aviation betreiben wir die Business-Chartergesellschaft SFD Stuttgarter Flugdienst und das Werft- und Wartungszentrum CAT Contact Air Technik in Saarbrücken.



Unsere Objektbau-Tochter ist intek mit zwei Standorten in Deutschland. Diese plant, fertigt und montiert Innenausbausysteme und Objekteinrichtungen, insbesondere System-Trennwände und -Schränke für die Innenraumgestaltung.

für die Signalverarbeitung, die Kommunikations- und Übertragungstechnik und die Hochfrequenztechnik. Die Verfügbarkeit solcher Systeme ist eine Grundvoraussetzung für Beherrschung von Telematikaspekten der Elektromobilität und für die Steuerung der Smart Grids im Rahmen der nachhaltigen elektrischen Energieversorgung.

Die Notwendigkeit der Nutzung **Erneuerbarer Energien und eines intelligenten Energiemanagements** wird vor dem Hintergrund des fortschreitenden Klimawandels und der absehbaren Erschöpfung konventioneller fossiler Energieträger nicht mehr in Frage gestellt. Die ständige Optimierung von Photovoltaiksystemen, robusten Leistungshalbleitersystemen und dem Zusammenspiel von Energieübertragungsnetzen mit Kommunikationssystemen (Smart Grids) ist unerlässlich für eine zukunftsfähige, zuverlässige Energieversorgung in Europa und wird im Fachbereich Elektrotechnik und Informationstechnik über Institutsgrenzen hinweg durchgeführt.

Die Entwicklung von **zuverlässigen, autonomen und fehlertoleranten Systemen** für beispielsweise den Automobilbereich, die Medizintechnik, die dezentrale Energieversorgung, usw. erfordert ein hohes Maß an Kompetenz über die gesamte Breite der Elektrotechnik und Informationstechnik hinweg. Automatisierungs- und Softwaretechnik, Sensor- und Displaytechnik, Signalverarbeitung, Informationsübertragungs- und -verarbeitungstechnik; in diesen Bereichen nimmt der Fachbereich Elektrotechnik und Informationstechnik der Universität Stuttgart jeweils eine Spitzenstellung ein.

Auf allen diesen Gebieten forschen die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler des Fachbereiches Elektrotechnik und Informationstechnik in interdisziplinärer Kooperation mit Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern von anderen Fachbereichen wie der Informatik, der Physik, der Mathematik und des Maschinenbaus.

Quellenangaben

- ^[1] Institut für Wissenschaftliche Veröffentlichungen; ingenieur wissenschaften Deutschland – Elektro- + Informationstechnik, Beitrag des Fachbereiches Elektrotechnik und Informationstechnik; Stuttgart, Sommersemester 2014.
- ^[2] Fachbereich Elektrotechnik und Informationstechnik; Studiengangs-Flyer für die Studiengänge ETIT (B.Sc. und M.Sc.), NEE (M.Sc.) und EMOB (M.Sc.); 2013.
- ^[3] Parspour, Nejila; Interne Dokumentation zu StudKart; Stuttgart 2014.
- ^[4] Universität Stuttgart; SEPUS 2013 – 2017, Struktur- und Entwicklungsplan der Universität Stuttgart, Band 2, Beitrag des Fachbereiches Elektrotechnik und Informationstechnik in der Fakultät 5; Stuttgart 2014.

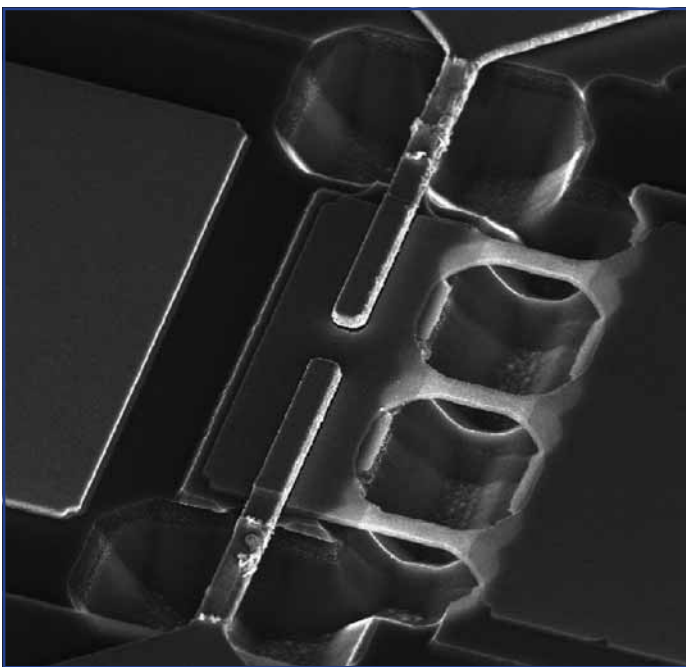
■ Autor ■ ■ ■

Prof. Dr.-Ing. Nejila Parspour

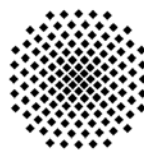
*Institut für Elektrische Energiewandlung
Universität Stuttgart
info@iew.uni-stuttgart.de.*

*Fachbereich Elektrotechnik und Informationstechnik
Fakultät 5, Universität Stuttgart
info@ei.uni-stuttgart.de.*

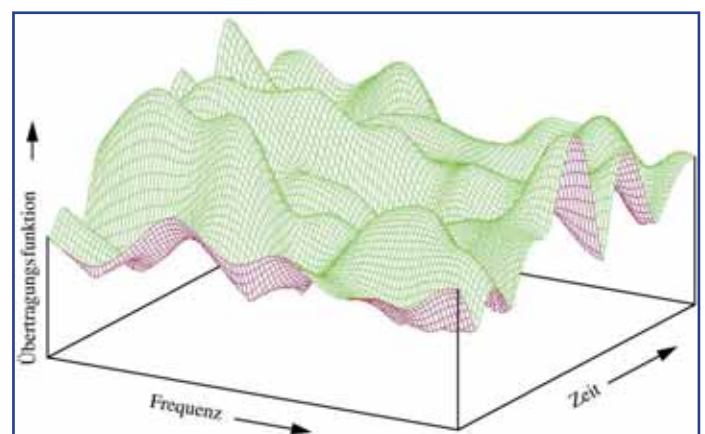
*Pfaffenwaldring 47, 70569 Stuttgart
Tel.: +49 (0) 711 / 685-67819
Fax: +49 (0) 711 / 685-67837*



Sehr schneller Silizium-Germanium-Hetero-Bipolartransistor, aufgenommen mit einem Elektronenstrahlmikroskop



Universität Stuttgart



Zeitvariantes Spektrum eines Mobilfunk-Übertragungskanal

In neuem Licht besehen – Das Lichttechnische Institut des Karlsruher Instituts für Technologie

Stellen Sie sich für einen Augenblick vor, wie unsere heutige Welt aussähe ohne künstliches Licht! Es wird Ihnen schwer fallen, denn Licht im Dienste des Menschen hat die Welt mindestens in den letzten 100 Jahren völlig verändert, sei es in der Beleuchtung oder dem Einsatz von Licht als Werkzeug in Wissenschaft und Technik. Der Gedanke Licht für den Menschen effizient und gewinnbringend zu erzeugen, sowie zu nutzen steht seit mehr als 90 Jahren im Vordergrund der Forschungsarbeiten des Lichttechnischen Instituts Karlsruhe (LTI), welches – als eines der ersten Lichttechnischen Institute weltweit – 1922 gegründet wurde. Die Forschungsschwerpunkte reichen von der optischen Messtechnik über die Biophotonik bis zu Anwendungen in der industriellen UV Technik und der automobilen Licht- und Displaytechnik. Beispielhaft möchten wir Ihnen einige unserer Forschungsthemen im Folgenden nahe bringen.

Licht in der Nacht

Eine der großen Leistungen des Menschen – nicht nur im übertragenen Sinne – ist es die Nacht zu erhellen. Mit Hilfe verschiedenster Lichtquellen und mit einer Vielzahl optischer Systeme ist es heute möglich Licht situativ nutzbar zu machen. Diese künstliche Beleuchtung und deren Wirkung auf den Menschen ist das Thema der Lichttechnik.

Das Forschungsgebiet der Lichttechnik beschäftigt sich umfassend mit der Lichterzeugung, Lichtsteuerung und Lichtlenkung, sowie der Lichtwahrnehmung. Im Zentrum der Lichttechnik steht der Mensch. Die lichttechnischen Größen wie Lichtstärke oder Farbe beschreiben die menschliche Wahrnehmung der sichtbaren Wellenlängen des Spektrums elektromagnetischer Strahlung. Damit fußt unser Forschungsgebiet zum Einen in der Elektrotechnik und der Physik, zum Anderen in der Physiologie des Menschen. Verbunden werden diese beiden Säulen durch die Photometrie oder Lichtmesstechnik (Abbildung 1).

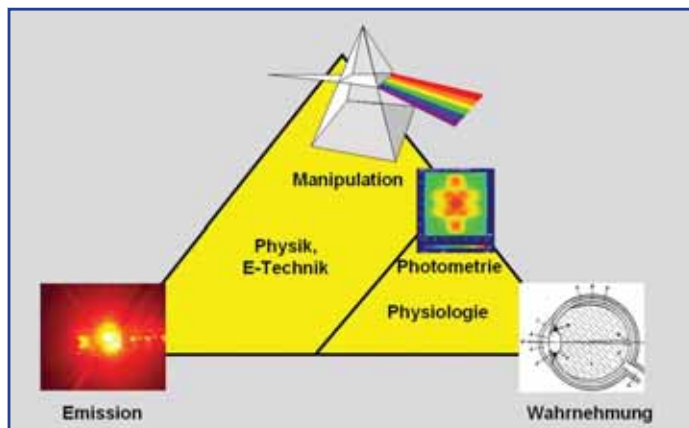


Abbildung 1: Das Dreieck der Lichttechnik zwischen Physiologie und Physik/Elektrotechnik

Lichtquellen und Optiksysteme

Wie vor etwa einhundert Jahren die elektrische Glühlampe, stehen in heutiger Zeit neuartige Lichtquellen bereit die Beleuchtungstechnik zu revolutionieren. Die rasante Entwicklung der Licht emittierenden Dioden – kurz LED genannt – eröffnet Jahr für Jahr neue Anwendungsgebiete in der allgemeinen und automobilen Lichttechnik. Inzwischen finden auch erstmals Laserlichtquellen im Automobil Einsatz. Auch hier ist das LTI wichtiger Partner der Grundlagen- und angewandten Forschung.

Die stürmische Entwicklung von organischen Leuchtdioden und -Lasern, sogenannten OLEDs (Abbildung 2), zeigt, dass auch diese Lichtquellenart in der Zukunft eine wichtige Rolle spielen wird. Die Forschung an OLEDs stellt daher einen weiteren wichtigen Schwerpunkt am LTI dar.



Abbildung 2: Organische Halbleiterlaser

Um das Licht gezielt zu nutzen bedarf es der Lichtlenkung und -Steuerung. Dies geschieht mit Hilfe optischer Systeme, wie sie beispielsweise als Spiegel oder Linse seit dem Altertum verwendet werden. Auch wenn die grundlegenden physikalischen Prinzipien seit langem bekannt sind, haben sich durch die Verbesserung von Berechnungsmethoden, Material und Herstellungstechnik gänzlich neue Möglichkeiten eröffnet das Licht einzufangen und dorthin zu lenken, wo es benötigt wird.

Wir entwickeln am LTI neue Methoden für die lichttechnische Entwicklung, Konzepte für neuartige Optiksyste, wie beispielsweise Lichtleitern, testen und bewerten Optikkonzepte – auch im Auftrag unserer Kunden aus der Industrie.

Lichtmesstechnik

Die Photometrie misst und bewertet Licht und seine Wahrnehmung durch den Menschen. Am LTI messen wir alle lichttechnischen Größen, Farbe, Spektrum und räumlich Lichtverteilungen von der Lichtquelle bis zur Leuchte. Weiterhin beschäftigen wir uns mit den Grundlagen der Messtechnik um eine kontinuierliche Verbesserung der Messmethoden und –Möglichkeiten zu garantieren und Licht noch besser auf die menschlichen Bedürfnisse anzupassen. Lichtmesstechnik ist unerlässlich bei der Entwicklung neuer Lampen und Leuchten für die Allgemeinbeleuchtung.

Die umfangreichen Messeinrichtungen bis hin zu einem Drehspiegel-Goniometer stehen nicht nur den Forschungsprojekten des LTI zur Verfügung. Innovative Unternehmen nutzen den Service des LTI im Rahmen von Mess- und Entwicklungsaufträgen.

Automobile Lichttechnik: Sehen und gesehen werden

Ohne optische Technologien im Kraftfahrzeug wäre der Verkehr in seiner heutigen Form nicht möglich. In der Nacht erlauben Scheinwerfer zu sehen, was auf der Straße geschieht. Die Signalfunktionen sorgen dafür, dass die Fahrzeuge und deren Reaktionen von den anderen Verkehrsteilnehmern gesehen werden (Abbildung 3). Die Innenraumbeleuchtung, von funktional bis ambient, unterstützt den Fahrer bei seinen Aufgaben durch Beleuchtung und Anzeigefunktionen.



Abbildung 3: Nur durch künstliches Licht ist der nächtliche Straßenverkehr möglich.

Das Forschungsgebiet der optischen Technologien im Automobil umfasst alle Formen von Licht und Beleuchtung rund um das Kraftfahrzeug. Demnach befinden sich alle lichttechnischen Themen für Scheinwerfer, Signalfunktionen und Innenraumbeleuchtung im Fokus der Forschungstätigkeiten. Die Arbeitsgebiete unterteilen sich in Technologiethemen und Themenstellungen, bei denen die Interaktion dieser Technologien mit dem Menschen im Mittelpunkt steht. Diese physiologischen und psychophysikalischen (sowie auch ästhetischen) Aspekte der Lichtwirkung und Wechselwirkung sind dabei eng mit technologischen Themen verbunden.

Im Zentrum unserer Arbeit steht die Interaktion von Mensch und Maschine. Diese ist insbesondere bei nächtlicher Fahrt in kritischer Weise auf „gutes Licht“ angewiesen. Aber was ist gutes Licht? Diese Frage versuchen wir in unseren Forschungsschwerpunkten zu beantworten.

Insbesondere die rasante Entwicklung der LED als Halbleiterlichtquelle wird die Lichttechnik nachhaltig beeinflussen. Während LEDs für Signalfunktionen und Innenleuchten schon seit einigen Jahren etabliert sind, steht in den nächsten Jahren eine vermehrte Umsetzung für Scheinwerferapplikationen an. Unter dieser Prämisse erforschen wir die Eigenschaften der Lichtquelle selbst, deren optisches und thermisches Verhalten innerhalb der Lichtsysteme und die Wirkung des Lichtes auf den Menschen und dessen Wahrnehmung.

Beispielsweise haben wir mit dem Versuchsscheinwerfer „PROPIX“ (Abbildung 4) eine Möglichkeit geschaffen beliebige Lichtverteilungen dynamisch im Straßenverkehr zu testen. Mittels lichtstarker DLP Projektoren können wir beliebige gemessene oder berechnete Lichtverteilungen in den Straßenraum projizieren und während Versuchsfahrten auch dynamisch an den Straßenverkehr anpassen. Damit können wir nicht nur unterschiedliche Scheinwerferbilder in der Praxis vergleichen, sondern auch adaptive Lichtverteilungen entwickeln und testen.



Abbildung 4: Forschungsscheinwerfer PROPIX

Die Sensorik der Fahrzeuge ergänzt und unterstützt auch bei der Lichtsteuerung die Sinne des Menschen. Adaptive Scheinwerfer werden die Sicht im nächtlichen Verkehr verbessern und in Zukunft die Sicherheit im Straßenverkehr weiter steigern. Hier fokussiert sich die Fragestellung auf die entsprechende Sensorik zur Steuerung und die Fusion der notwendigen Sensoren zu einem „Fahrzeugsinnessystem“.

Im Kraftfahrzeug findet zwischen Fahrer und Fahrzeug eine ständige Interaktion statt. Der Fahrer wird im einfachsten Falle über Messinstrumente über den Fahrzustand informiert. Bei nächtlicher Fahrt verstärkt sich die Notwendigkeit einer solchen Interaktion. Hier stellt sich nun die Frage, inwieweit der Fahrer aktiv einbezogen werden muss und inwieweit automatische Systeme, beispielsweise die Steuerung von Lichtsystemen, den Fahrer entlasten. Weiterhin ergibt sich die Fragestellung, wie die notwendige Information dargeboten wird. Kurz gesagt: wie viel Information ist sinnvoll und wie viel belastend, was sollte automatisiert den Fahrer unterstützen und wie kann der Fahrer auf sicherheitsrelevante Geschehnisse hingewiesen werden.

Lasertechnik

In der Herstellung von mikrostrukturierten organischen Halbleiterbauelementen erzeugen die Verknüpfung von Grundlagenforschung und Dienstleistungen in unserem Institut Synergien. Im Rahmen von Forschungsprojekten werden neuartige oberflächenemittierende photonische Kristall Laser in reiner Kunststofftechnologie hergestellt und zu einer im sichtbaren Spektralbereich durchstimmbaren Laserlichtquelle ausgebaut. Zukünftige Anwendungen im Bereich im Bereich Lab-on-chip sind für diese Lasertechnologie besonders interessant.

Nanotechnologie

Im Reinraum (Abbildung 5) und den Optiklaboren des LTI fertigen und charakterisieren wir neuartige optoelektronische Komponenten. Dazu werden neben Dünnschichttechniken und klassischen Lithographieverfahren verschiedene nanotechnologische Verfahren entwickelt und untersucht.

Solarzellen

Statt Energie in Licht kann Licht auch in Energie umgewandelt werden. Die Solarenergie rückt in letzter Zeit immer mehr in den Fokus regenerativer Energien. Das LTI hat seit einiger Zeit einen Schwerpunkt in diesem Bereich aufgebaut. Hierbei werden insbesondere Forschungsarbeiten auf dem Gebiet der Dünnschichtphotovoltaik durchgeführt. Hierbei kommen neben anorganischen- auch organische Halbleiter zum Einsatz, welche sich durch kostengünstige Verfahren auf großen Flächen abscheiden lassen und damit perspektivisch einen Kostenvorteil gegenüber Silizium Solarzellen aufweisen.



Abbildung 5: Reinraum am Lichttechnischen Institut



Autor



Prof. Dr. rer. nat. Cornelius Neumann

Karlsruher Institut für Technologie (KIT)

Lichttechnisches Institut

Engesser Str. 13, 76131 Karlsruhe

Tel.: +49 (0) 721 / 608-46052

Fax: +49 (0) 721 / 608-42590

E-Mail: cornelius.neumann@kit.edu

www.lti.kit.edu

Optimale Netzintegration erneuerbarer Energien

Der Fortschritt der Energiewende in Deutschland wird maßgeblich durch den Ausbau der erneuerbaren Energien bestimmt. Bereits heutzutage beträgt der Anteil aller erneuerbarer Energien am Bruttostromverbrauch in Deutschland 25%¹. Nach den Plänen der Bundesregierung soll dieser Anteil bis zum Jahr 2020 auf 35% und bis zum Jahr 2030 auf 50% steigen². Erreicht werden soll dies vor allem durch einen stetigen Ausbau der Photovoltaik und die Erschließung von Onshore- und Offshore-Windpotentialen. Die Integration dieser neuen fluktuierenden Erzeuger in das bestehende Stromnetz ist eine gewaltige Herausforderung hinsichtlich Gewährleistung einer stabilen und sicheren Energieversorgung. Dabei verursachen die jeweiligen Erzeugungstechnologien unterschiedliche Probleme für den Netzbetrieb. Während bei den vorwiegend im Norden Deutschlands installierten Windkraftanlagen die Übertragungskapazitäten im Transportnetz eine technische Grenze darstellen, sind bei überwiegend im Niederspannungsnetz installierten Erzeugern wie Photovoltaikanlagen mögliche Spannungsbandverletzungen ein Problem.

Als Lösung kommt neben dem Bau neuer oder der Verstärkung bestehender Leitungen auch der Einsatz von neuen und intelligenten Technologien sowie Betriebsführungsalgorithmen in Frage. Eine optimale Koordination dieser zusätzlichen Optionen bietet die Chance, die bestehenden Netzressourcen besser ausnutzen zu können und somit die Kosten der Energiewende gegenüber einem konservativen Netzausbau signifikant zu verringern. Dabei können sowohl bei der Netzplanung als auch beim Netzbetrieb diese neuen Freiheitsgrade zur Flexibilisierung eingesetzt werden.

In der Gruppe Netzintegration Erneuerbarer Energien am Institut für Energieübertragung und Hochspannungstechnik der Universität Stuttgart werden dazu in diversen Projekten Techniken und Methoden erforscht, diese neuen Optionen optimal zu nutzen und somit die Integration von erneuerbaren Energien zu unterstützen.

Integration von HGÜ-Strecken

Die fortschreitende Installation neuer Windenergieanlagen fern der eigentlichen Lastzentren führt dazu, dass das Übertragungsnetz wesentlich mehr Leistung transportieren muss und damit stärker beansprucht wird. Dies kann zu Engpässen im Übertragungsnetz führen, was eventuell sogar das Herunterregeln von Windenergieanlagen nötig macht, um die Überlastung der Betriebsmittel zu vermeiden. Um dennoch möglichst viel Energie aus Windparks nutzen zu können, wird der Transport der Leistung aus dem Norden Deutschlands in den Süden über neue Hochspannungsgleichstrom-(HGÜ)-Übertragungsstrecken geplant.

Ein entscheidender Vorteil dieser Technologie ist, dass die Übertragung über weite Strecken verlustärmer ist als die herkömmliche Drehstromübertragung. Zudem kann die zu übertragene Wirk- und Blindleistung

exakt gesteuert werden. Dies bringt den Nutzen, dass die Leistungsflüsse arbiträr und unabhängig voneinander vorgegeben werden können.

Die Forschung in diesem Gebiet beschäftigt sich unter anderem mit der Bestimmung der optimalen Sollwerte, um die HGÜ möglichst effizient zu betreiben. So können z.B. diese Sollwerte direkt an die Windprognose gekoppelt werden. Die zu übertragene Leistung wird in diesem Fall durch einen Fahrplan vorgegeben, wobei ein gewisser Prozentsatz der Leistung vorgehalten und abhängig von der aktuellen Windeinspeisung eingestellt wird. So wird bei starkem Wind und einer hohen Einspeisung automatisch mehr Energie durch HGÜ transportiert.

Demnach kann durch die Kopplung an die Windprognose die Entlastung der Drehstromleitungen als Zielgröße für den optimalen Betrieb angesetzt werden, sodass die gesamte Windenergie genutzt werden kann und nicht heruntergeregt werden muss. Gleichzeitig können über die ursprüngliche Sollwertvorgabe weitere Größen optimiert werden. So kann das Netz möglichst verlustarm betrieben oder die Stabilität des AC-Netzes verbessert werden. Die Überlastung des Drehstromnetzes wird vermieden und die Integration der fern der Verbrauchszentren im Süden liegenden Windenergieanlagen wird ermöglicht.

Optimierte Netzplanung mit probabilistischen Ansätzen

Da die erneuerbaren Energien volatile und teilweise wetterabhängige Erzeugungsanlagen sind, steigt mit deren Ausbau die installierte Leistung an nicht regelbaren Kraftwerken. Deren Erzeugungsleistung lässt sich lediglich prognostizieren und hängt von der Verfügbarkeit des jeweiligen Energieträgers ab. Für die elektrischen Netze bedeutet dies, dass sie auf jede mögliche Erzeugungsleistung aus regenerativen Energiequellen in Kombination mit jeglichen Lastsituationen dimensioniert werden müssen. Diese Anforderung ist mit den heutigen Planungsrichtlinien nicht mehr umsetzbar, da diese auf definierten Szenarien beruhen, welche mit einer hohen Anzahl an volatilen Erzeugungsanlagen nicht mehr gebildet werden können. Die Universität Stuttgart erforscht hier probabilistische Ansätze, die das volatile Verhalten der erneuerbaren Energien berücksichtigen. Diese Ansätze bieten den Vorteil, dass die elektrischen Energienetze nicht mehr auf einen Extremfall dimensioniert werden, sondern für diese Betrachtung jegliche Betriebsfälle berücksichtigt werden. Mithilfe des verwendeten probabilistischen Ansatzes wird die Auftrittswahrscheinlichkeit jedes Betriebsfalls und der daraus resultierenden Auslastung des elektrischen Netzes berechnet.

Die Ergebnisse zeigen, dass die angenommenen Szenarien der heutigen Planungsgrundsätze nur mit einer sehr geringen Wahrscheinlichkeit auftreten und die einzelnen Leitungen im Mittel schwächer ausgelastet sind. Mit den heute gültigen Planungsgrundsätzen würden die elektrischen Netze, bei einem stetigen Ausbau der erneuerbaren Energien,

¹ Erneuerbare Energien im Jahr 2013, BMWi, Februar 2014, <http://www.bmwi.de/BMWi/Redaktion/PDF/A/agee-stat-bericht-ee-2013,property=pdf,bereich=bmwi2012,sprache=de,rwb=true.pdf>

² Erster Monitoring-Bericht „Energie der Zukunft“, BMWi, Dezember 2012,

<http://www.bmwi.de/BMWi/Redaktion/PDF/Publikationen/erster-monitoring-bericht-energie-der-zukunft-kurzfassung,property=pdf,bereich=bmwi2012,sprache=de,rwb=true.pdf>

überdimensioniert werden. Deshalb ist eines der Hauptziele dieser Forschung eine neue Planungsrichtlinie, besonders für die Verteilnetze, zu definieren, mit denen eine ökonomisch sinnvolle Netzplanung mit einer hohen Anzahl dezentraler Erzeugungsanlagen möglich wird.

Aufgrund des volatilen Verhaltens der erneuerbaren Energien wird zukünftig von einer Flexibilisierung der Erzeugungsleistung ausgegangen. Dies kann sowohl Wirk- oder Blindleistungsmanagement der Erzeugungsanlagen als auch elektrische Speicher beispielsweise für Photovoltaikanlagen beinhalten. Ein Einsatz derartiger Maßnahmen verändert den durch die erneuerbaren Energien notwendigen Netzausbau erheblich und ist in Verbindung mit einer geeigneten Planungsmethode für die elektrischen Netze von großer Bedeutung.

Beobachtbarkeit der Verteilnetze

Die Kenntnis des aktuellen Netzzustands ist der Schlüssel für eine dynamische Steuerung und die Kontrolle des aktiven Netzbetriebs. Durch den immer größer werdenden Anteil an dezentralen Erzeugungseinheiten in den Niederspannungsnetzen wird diese Aufgabe zunehmend komplexer.

Wo es möglich ist, werden heutzutage Lastflussberechnungen zur Netzanalyse und Bestimmung des aktuellen Netzzustandes verwendet. Für Echtzeituntersuchungen im Verteilnetz sind diese jedoch nicht geeignet, weil präzise Last- und Erzeugungsdaten für jeden Netzknoten als Eingangsgröße benötigt werden. Die dafür notwendige Messinfrastruktur stellt aktuell keine wirtschaftlich sinnvolle Lösung dar. Eine weitere verlässliche und präzise, dafür jedoch wesentlich kostengünstigere Alternative

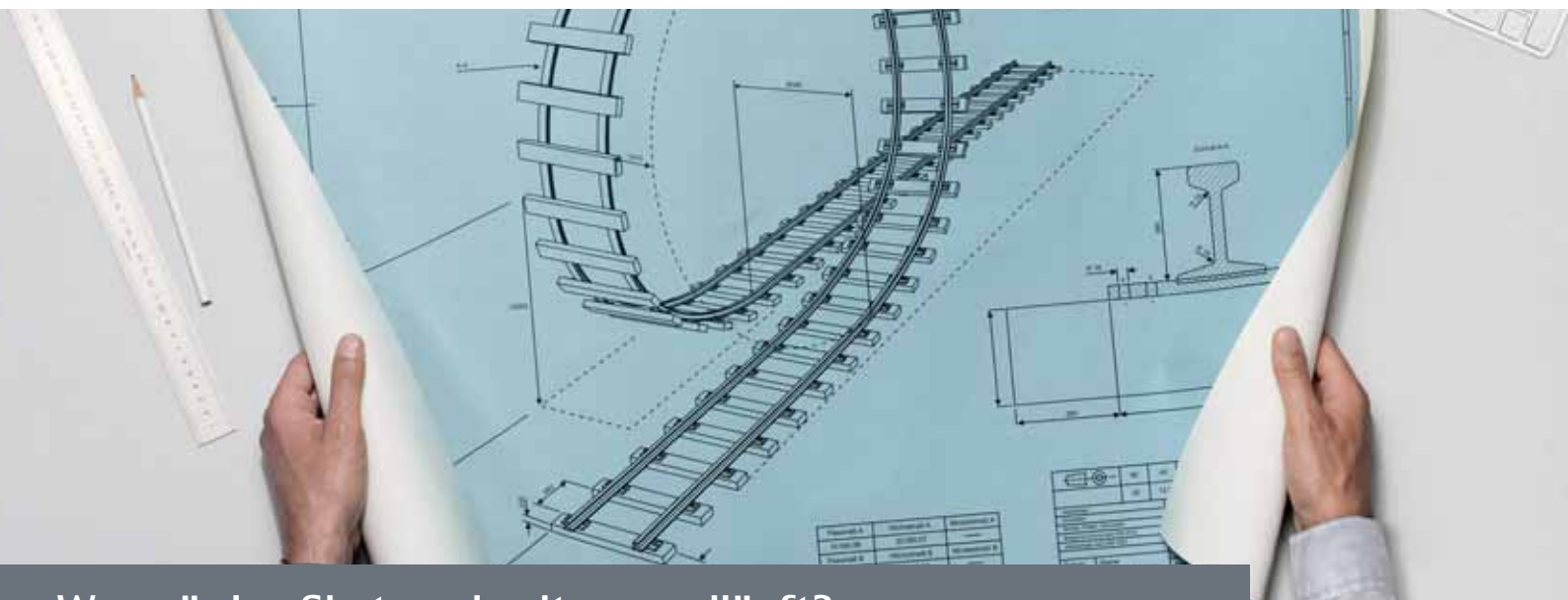
für Verteilnetze ist die Zustandsschätzung. Sie hat die Fähigkeit, den Netzzustand auf Basis verschiedener Messdaten mit unterschiedlicher Genauigkeit zu ermitteln und zusätzlich Fehler bei der Messung und in der Netzwerktopologie zu identifizieren.

Mit der Markteinführung von Smart Metern, die als eine der entscheidenden Faktoren für zukünftige Netze betrachtet werden, sollten in Zukunft genügend Messdaten (U , I , P und Q) an jedem Verbraucherknoten im Verteilnetz verfügbar sein. Zur Schaffung der größtmöglichen Beobachtbarkeit ist einerseits eine bestmögliche und kostenoptimale Platzierung dieser Echtzeitmessungen sowie die Entwicklung von Algorithmen für die Zustandsschätzung, die an die jeweiligen Gegebenheiten des Verteilnetzes angepasst sind, erforderlich.

Der Schwerpunkt dieser Forschung liegt auf der Entwicklung und Analyse von einer Zustandsschätzungsumgebung, die an die Gegebenheiten der unterschiedlichen Verteilnetze angepasst ist und berücksichtigt Aspekte wie z.B. Asymmetrien sowie Auslastung des Neutralleiters.

Netzdienlicher Einsatz thermischer Anlagen in Verteilnetzen

Gelingt es, die von volatilen Erzeugern wie Photovoltaikanlagen generierte elektrische Leistung zumindest teilweise direkt am Ort ihres Entstehens zu verbrauchen, kann ein Teil der Netzengpässe ohne Netzausbau behoben werden. Der Verbrauch muss hierzu jedoch zeitlich der Erzeugung folgen, was eine grundsätzliche zeitliche Verschiebbarkeit des elektrischen Verbrauchs voraussetzt. Eine vielversprechende



Was würden Sie tun, damit es rundläuft?

Gut, man muss nicht jeden Gedanken auch in die Tat umsetzen. Doch wir lieben ungewohnte Perspektiven. Deshalb brauchen wir Kolleginnen und Kollegen, die weiter denken – ob im Fahrdienst oder im Service, ob im kaufmännischen oder im technischen Bereich. Kolleginnen und Kollegen, die einfach auch mal anders denken, eigenständig arbeiten wollen und über den Tellerrand schauen. Kurzum: Menschen, die ihre Freiräume mit Sinnvollem ausfüllen möchten. Willkommen bei der SSB: www.ssb-ag.de/karriere



Weiter denken. Weiter kommen.

SSB

Möglichkeit stellt in dieser Hinsicht die elektrische Wärmebereitstellung dar. So können beispielsweise Warmwasserspeicher mit Hilfe von Wärmepumpen gezielt zu Zeiten einer hohen regenerativen Einspeisung erwärmt und der Wärmebedarf der Haushalte dennoch zuverlässig gedeckt werden. Durch den Wärmespeicher können Wärmeerzeugung und -verbrauch bis zu einigen Stunden zeitlich entkoppelt werden. Eine Herausforderung stellen hierbei die saisonal unterschiedlich erzeugten bzw. verbrauchten Energiemengen aus beispielsweise einerseits Photovoltaik und andererseits dem Wärmebedarf für Raumwärme bzw. Warmwasser dar. Abbildung 1 verdeutlicht den Zusammenhang..

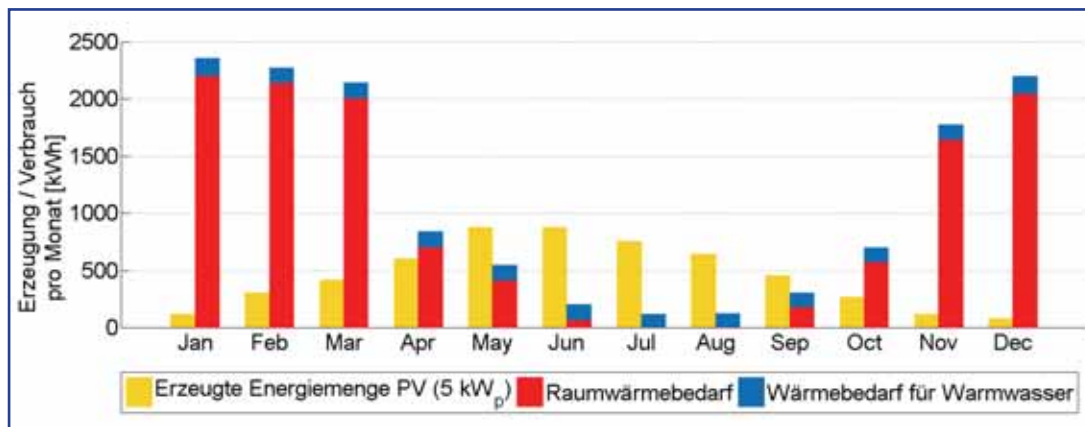


Abbildung 1: Beispielhafte Darstellung der verschiedenen erzeugten bzw. verbrauchten Energiemengen aus PV-Erzeugung (5 kW_p, bei 1100 Volllaststunden) und dem Raum- bzw. Warmwasserwärmebedarf für ein typisches Einfamilienhaus. Quelle: eigene Berechnungen und energymap.info

Um die Auswirkungen eines derartigen Betriebs von elektrischen Wärmeerzeugern auf elektrische Verteilnetze näher untersuchen zu können, wurde am IEH ein Simulationsmodell entwickelt, welches die elektrische mit einer thermischen Simulation koppelt. Hiermit kann basierend auf verschiedenen thermischen Eingangsparametern der zur Deckung der Wärmenachfrage nötige Betrieb der Wärmeerzeuger bestimmt werden. Da die berücksichtigte Wärmeerzeugung elektrisch erfolgt, entsteht hierdurch eine unmittelbare Rückwirkung auf das elektrische Verteilnetz. Diese wird innerhalb des elektrischen Simulationsmodells simultan unter Berücksichtigung der übrigen elektrischen Erzeuger und Verbraucher bestimmt. Die elektrisch-thermische Kopplung ermöglicht es, den Betrieb der Wärmeerzeuger neben den thermischen Parametern zusätzlich durch elektrische Größen zu beeinflussen. Untersuchungsgegenstand innerhalb dieses Forschungsschwerpunktes ist allgemein, inwiefern elektrische Wärmeerzeuger zu einem netzdienlichen Verhalten in der Lage sind und den potentiell hieraus entstehenden Nutzen für elektrische Verteilnetze näher zu bestimmen.

Effiziente Lastflussrechnung in Niederspannungsnetzen

Die Berechnung der Spannungen in Niederspannungsnetzen setzt eine komplexe Lastflussrechnung voraus, bei der viele Vereinfachungen, die im Übertragungsnetz anwendbar sind, nicht mehr gelten. Außerdem macht die schiere Anzahl an Niederspannungsnetzen und die heterogene Struktur eine Berechnung sehr aufwändig. In umfassenden Simulationen des deutschen Stromnetzes werden dabei die Verteilnetze meist als aggregierte Lasten dargestellt und die unterliegende Komplexität

ignoriert. Falls, zum Beispiel für Optimierungsaufgaben, doch eine große Anzahl an Niederspannungsnetzen simuliert werden muss, erfordert dies meist schnelle, teure Rechner oder großen Zeitaufwand.

In einem grundlegenden Forschungsprojekt werden daher am IEH Verfahren erforscht, die Lastflussrechnung zu beschleunigen. Dabei wird beispielsweise mit den Methoden der künstlichen Intelligenz versucht, zeitliche Abschnitte der Berechnung durch Clustering automatisiert zusammenzufassen, um so die wiederholte Berechnung immer gleicher Abschnitte zu vermeiden. Ein weiterer Ansatz ist es, die standardmäßig

angewandte Newton-Raphson-Iteration für Lastflussrechnung auf die speziellen Anforderungen der Berechnung von Niederspannungsnetzen mit geregelten Elementen anzupassen.

Es ist auch möglich, die Komplexität der Lastflussrechnung und der unterliegenden Modelle zu reduzieren, um eventuell auf Kosten der Genauigkeit eine Beschleunigung der Berechnung zu erreichen. Das Ziel dabei ist immer, eine Möglichkeit zu bieten, die Komplexität, die durch die

zunehmende Verbreitung von Photovoltaik- und weiteren Anlagen im Niederspannungsnetz entstanden ist, darzustellen und für umfassende Netzsimulationen in vertretbarer Rechenzeit nutzbar zu machen.

Autoren

M.Sc. Ahmad Abdel-Majeed

Dipl.-Wi.-Ing. Marc Brunner

Dipl.-Ing. Katharina Frey

Dipl.-Ing. Christoph Kattmann

M.Sc. Pascal Wiest

Prof. Dr.-Ing. Krzysztof Rudion

Netzintegration Erneuerbarer Energien

Institut für Energieübertragung und Hochspannungstechnik

Universität Stuttgart

Pfaffenwaldring 47

70569 Stuttgart

Tel.: +49 (0) 711 / 685 67880

<http://www.ieh.uni-stuttgart.de>

EARN – European Automation Resource Network

Das Projekt EARN wurde im Herbst 2011 unter Beteiligung der Hochschulen JAMK University of Applied Sciences in Jyväskylä / Finnland, VSB – Technical University of Ostrava / Tschechische Republik, Fachhochschule Vorarlberg / Österreich (FHV) und der Hochschule Esslingen, Standort Göppingen (HE) ins Leben gerufen. Finanziert wird es durch das Erasmus Programm der EU. Es verfolgt mehrere Ziele:

Zum einen soll untersucht werden, welche empirischen Erkenntnisse aus den Bereichen Forschung & Entwicklung (F&E) für die Partner-Hochschulen von Nutzen sein könnten und wie diese bereitgestellt werden können – Stichwort Best Practices. Eine weitere Zielsetzung besteht in der Erarbeitung von Prozessen, die der Bereitstellung von Dienstleistungen und Laboren sowohl für Unternehmen als auch für Hochschulen dienlich sind. In einem Arbeitspaket unseres Teilprojektes sollte zunächst untersucht werden, wie die Integration von Studierenden in F&E Projekten bei den Partner-Hochschulen gegenwärtig stattfindet. Anschließend wurden die erfassten Strukturen und Prozesse nach Optimierungspotential untersucht und Vorschläge unterbreitet.

Ein weiteres Arbeitspaket diente der Analyse und der Verbesserung des Bereichs Innovationsförderung. Auch hier wurden im Rahmen von Umfragen die gegenwärtigen Vorgehensweisen an den Partner-Hochschulen erfasst und analysiert. Die Thematik Innovationsförderung umfasst den Umgang mit Innovationen und Erfindungen auf Seiten der Studierenden und der Mitarbeiter. Konkret heißt das, es sollen Prozesse bereitgestellt werden, die Studierende und Mitarbeiter auf dem Weg von einer innovativen Idee zu einem Produkt oder zur Gründung eines Unternehmens begleiten und unterstützen. Ziel ist daher die Verbesserung der gegebenen Strukturen und die Steigerung der Motivation durch klare Unterstützungsleistungen seitens der Hochschulen.

Das EARN Netzwerk und die EARN Pyramide

Die Automatisierung schreitet in mehreren Bereichen immer mehr voran. Dieser Fortschritt erfordert ein ständiges Lernen und Umdenken. Daher können sowohl Hochschulen als auch Unternehmen von einem Netzwerk, das den Austausch fordert und fördert, profitieren. Bereits zu Beginn des Projekts wurde die Notwendigkeit der engeren Verknüpfung der Bereiche Ausbildung, Forschung und Entwicklung, Innovation und Dienstleistungen (Services) erkannt. EARN möchte ein solches Netzwerk sein und der engeren Verknüpfung der genannten Bereiche dienen. Bild 1 illustriert diesen Sachverhalt in der im Projekt entwickelten „EARN Pyramide“.

Die Strukturen und Prozesse innerhalb von Hochschulen bzw. innerhalb von Fakultäten sind häufig gewachsener Natur und daher uneinheitlich und von Hochschule zu Hochschule verschieden. Mit EARN wurde eine Plattform erarbeitet, die zum einen der Vereinheitlichung dieser Prozesse und Strukturen dienen soll und zum anderen eine hochschulübergreifende Plattform für die Vernetzung von Hochschulen und Unternehmen bereitstellt.

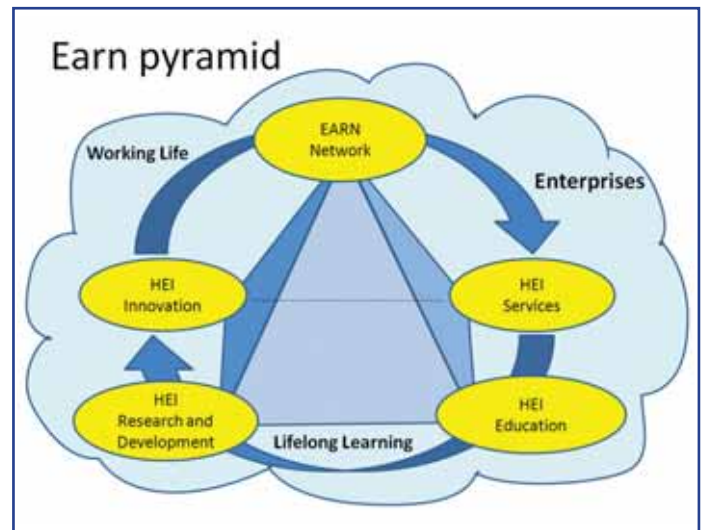


Bild 1: EARN Pyramide

Integration von Studierenden in die Forschung und Entwicklung (F&E)

Alle involvierten Partner-Hochschulen betreiben in unterschiedlichem Umfang Forschung und Entwicklung, auch die Studierenden partizipieren in unterschiedlichem Umfang an F&E-Aktivitäten. Durch schriftliche Befragungen wurden die gegenwärtigen Situationen an den Partner-Hochschulen erfasst. Ein gegenüberstellender Vergleich zeigt neben den unterschiedlichen Ausprägungen der Integration von Studierenden in F&E-Aktivitäten auch mögliche Verbesserungen bzw. vorhandenes Potential für die Erhöhung der Studierendenzahl im Bereich F&E. Die Untersuchung hat gezeigt, dass die Unterschiede recht groß sind. Beispielsweise ist das in Deutschland übliche Praxissemester (an Fachhochschulen bzw. Hochschulen für angewandte Wissenschaften) bei den Partner-Hochschulen weitestgehend unbekannt. Die VSB in Tschechien beispielsweise empfiehlt ihren Studierenden ein zwei- bis vierwöchiges Praktikum in einem Unternehmen während der vorlesungsfreien Zeit. Die JAMK in Finnland hingegen erkennt ein solches Praktikum bei sehr guten Studierenden in Form von Credits an. An der FHV in Österreich nutzen die Studierenden das Praxissemester für die Erarbeitung der Bachelor-/Master-Arbeit. Ein obligatorisches interdisziplinäres Praxisprojekt im 6. Semester wie an der Fakultät Mechatronik der HE ist bei keiner der Partner-Hochschulen gegeben. Die Studierenden müssen zwar auch dort Praxisprojekte durchführen, jedoch sind nicht zwingend (bzw. selten) Unternehmen involviert. Im Rahmen der Ergebnisse dieser Untersuchung wurde eine Lehrplanergänzung für die Durchführung von obligatorischen Praxisprojekten nach dem Vorbild der Fakultät ME der HE erarbeitet. An zwei Partner-Hochschulen wurde die Lehrplanänderung für das SS14 durchgeführt und somit die bereitgestellte Lehrplanergänzung getestet. Des Weiteren wurden die Stärken und Schwächen der jeweiligen Vorgehensweisen ausgearbeitet und den Partnern zur Verfügung gestellt.

Dienstleistungen: Know-how, Equipment und Labore

Ein Aspekt, der an vielen Hochschulen eine nicht zu unterschätzende Rolle spielt, ist die Bereitstellung von Know-how im Rahmen von Beratungen und Dienstleistungen in den Bereichen Labor und technisches Equipment. Gerade kleine und mittelständische Unternehmen (KMU) der Branche Automatisierungstechnik verfügen oft nicht über die personelle oder finanzielle Ausstattung, für jeden Spezialbereich Equipment und Personal bereitstellen zu können. Für die betroffenen Unternehmen ist es ein ungünstiges Unterfangen, da Wettbewerbsvorteile verloren gehen oder nicht aufgebaut werden können, wenn z. B. im Fall von innovativen Ideen nicht zeitnah die Umsetzung forciert wird. Hochschulen verfügen neben den Studierenden über hochqualifiziertes Personal und, je nach Fachbereich und Vertiefung, verschiedenes hochmodernes technisches Equipment und entsprechende Labore. Ziel dieser Untersuchung war es, die gegebenen Prozesse und Strukturen der involvierten Fakultäten der Partner-Hochschulen zu untersuchen und zu vergleichen. Für die Bereitstellung der Dienstleistungen wurde Prozesse erarbeitet und allen Partnern bereitgestellt. Die Ergebnisse umfassen Vorschläge für ein methodisches und strukturiertes Vorgehen bei der Bereitstellung von Dienstleistungen. Der gesamte Arbeitsablauf wurde berücksichtigt, so dass der Dienstleistungsbereich effizient und qualitativ umgesetzt werden kann. Da die Implementierung der Vorschläge von verschiedenen externen Faktoren abhängt und diese häufig nicht fakul-

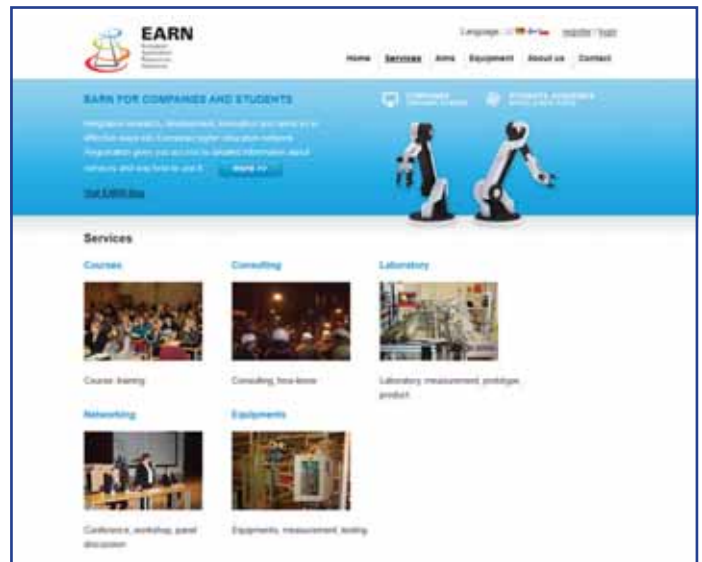


Bild 2: EARN-Homepage mit Service-Angeboten

tätsintern entschieden werden können, handelt es sich in erster Linie um nicht-obligatorische Vorschläge. Die Partner-Hochschulen werden versuchen, ihre Dienstleistungsbereiche entsprechend der Vorschläge zu optimieren. Bei der Erarbeitung des Ablaufplans wurden Meinungen und Wünsche von Unternehmen im Rahmen von Befragungen berücksichtigt.



WIR VERBINDEN

TECHNIK &

Menschen

















Public

Verlagsgesellschaft und
Anzeigenagentur mbH

Mainzer Str. 31
55411 Bingen

Tel. 06721 – 49512-0
info@publicverlag.com

Innovationen, Erfindungen und deren Vermarktung

Häufig stehen Studierende und Hochschul-Mitarbeiter vor dem Problem, dass sie innovative Ideen haben und nicht genau wissen, wie die Idee geschützt, in ein Produkt umgesetzt und das Produkt ggf. gewinnbringend vermarktet werden kann. Es ist sehr zeitraubend sich in die verschiedenen Themenfelder einzuarbeiten. Daher bieten Hochschulen schon jetzt verschiedene Unterstützungsleistungen in diesem Bereich an. Im Rahmen dieses Projekts wurden die verschiedenen Vorgehensweisen der beteiligten Hochschulen genauer unter die Lupe genommen. Der klassische Verlauf einer Innovation von der Idee bis zum vermarkteten Produkt ist in Bild 3 dargestellt. Als Ergebnis der hier angestellten Untersuchungen hat sich gezeigt, dass nicht immer ein klar definierter Pfad, wie in Bild 3 dargestellt, gegeben ist, um von einer Idee bzw. einer Innovation zu einem Produkt zu gelangen. Vielmehr zeigen die Ergebnisse, dass mehrere mögliche Pfade beschritten werden können um zum gewünschten Ergebnis zu kommen. Die Pfade sind dabei nicht eindeutig,

d. h. manche Pfade schneiden sich und andere verlaufen gänzlich ohne Schnittmenge. Bild 4 zeigt die Ergebnisse der Untersuchung in grafischer Form. Oben links im Bild ist der Beginn in Form einer „Rührschüssel“ und verschiedenen „Zutaten“ dargestellt. Die Rührschüssel symbolisiert dabei die Prozesse bzw. die Entwicklung, die die Zutaten Idee, Fähigkeiten, Finanzen, etc. durchlaufen müssen um zu einem Produkt zu werden. Das für die Vermarktung fertige Produkt ist unten rechts im Bild in Form eines „Donuts“ dargestellt. Es ist zu erkennen, dass es sich nicht wie im klassischen Modell um eine einpfadige Prozesskette handelt, sondern vielmehr um ein Netzwerk. Diese Erkenntnis ist von enormer Bedeutung, da sie ermöglicht, die bestehenden Prozesse in Bezug auf Unterstützungsleistungen im Bereich Innovation und deren Vermarktung detaillierter zu untersuchen, zu bewerten und zu optimieren.



Bild 3: Klassische Innovationskette



Bild 4: Im Projekt entwickelte Innovationsmatrix/-landkarte

Autoren

Dipl.-Math. (FH) Elvir Büyükbayrak,
Projektmitarbeiter EARN, IAF Göppingen

Dipl.-Ing. Ralf Colin,
Forschungsreferent, IAF Göppingen

Prof. Dr.-Ing. Wolf-Dieter Lehner,
Fakultät Mechatronik & Elektrotechnik,
Labor Automatisierungstechnik, Projektleiter,
Hochschule Esslingen

Hochschule Esslingen
Institut für Angewandte Forschung (IAF)
Robert-Bosch-Str. 1
73037 Göppingen

Tel.: +49 (0) 7161 / 679-1165
Fax: +49 (0) 7161 / 679-2165
E-Mail: Ralf.Colin@hs-esslingen.de
www.earnproject.eu

Elektrotechnik an der Hochschule Furtwangen studieren



Die Hochschule Furtwangen (HFU) ist eine staatliche Hochschule in Baden-Württemberg und bietet an den drei Standorten Furtwangen, Villingen-Schwenningen und Tuttlingen in den Bereichen Informatik, Technik, Wirtschaft, Medien und Gesundheit über 50 Studiengänge an. Rund 6.000 Studierende sind in den Bachelor- und Masterstudiengängen eingeschrieben. Die HFU verfügt über ein Netzwerk von 140 internationalen Partnerhochschulen und hat ein ausgeprägtes Forschungsprofil.

In Rankings erreichen die Fakultäten regelmäßig Spitzenwerte; ebenso haben die Bibliotheken in den jüngsten Vergleichen top Platzierungen erzielt. Die Hochschule ist zudem als eine der ersten in Deutschland systemakkreditiert.

Traditionell stark ist die Hochschule Furtwangen im Bereich Ingenieurwissenschaften aufgestellt. Im Bereich Elektrotechnik und angrenzenden Gebieten kann aus einer Vielzahl von Studienmöglichkeiten gewählt werden. Die Bandbreite an allen drei Standorten reicht vom Bachelorstudiengang „Elektronik und Technische Informatik“ bis zum Master „Mechatronische Systeme“. Unter der Bezeichnung „Studium Plus“ wird ein besonders Studienmodell angeboten. So können der Facharbeiter- und der Bachelorabschluss in Elektrotechnik in nur viereinhalb Jahren kombiniert erworben werden.

Eine Aufstellung aller Studienfächer, die die HFU im Bereich Ingenieurwissenschaften anbietet, finden Sie auf dieser Website:

<http://www.hs-furtwangen.de/studiengaenge/interessensbereich/ingenieurwissenschaften.html>

*Hochschule Furtwangen
Robert-Gerwig-Platz 1
78120 Furtwangen*

www.hs-furtwangen.de



Forschungsgebiet Mikrosystemtechnik im Forschungsschwerpunkt Smart Systems

Mikrosystemtechnik – Anwendungsszenarien

Die Mikrosystemtechnik liefert intelligente miniaturisierte Lösungen, bei denen elektronische und nichtelektronische Funktionen systemtechnisch



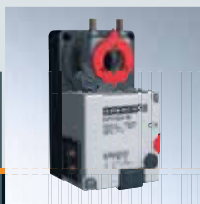
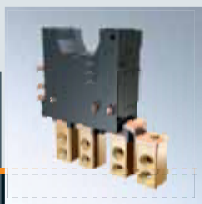
Arbeiten im Technologielabor für Mikro- und Nanosysteme der Hochschule Furtwangen.

integriert werden. Ein wichtiges Anwendungsfeld sind dabei Sensoren, wie sie heute in großer Zahl in jedem Kraftfahrzeug zu finden sind, um die gestiegenen Sicherheits- und Umwelanforderungen zu erfüllen: z.B. Beschleunigungssensoren für den Airbag, Drehratensensoren für die elektronische Fahrzeugstabilisierung (ESP) oder Drucksensoren im Motormanagement. In den letzten Jahren haben Mikrosysteme auch zunehmend Eingang im Konsumerbereich gefunden, da wesentliche Merkmale von mikrosystemtechnischen Lösungen der geringe Preis (bei hohen Stückzahlen), die geringe Baugröße und der geringe Energieverbrauch (beides wichtig für mobile Anwendungen) sind. So findet man auch in einem modernen Smartphone zahlreiche Mikrosysteme (Mikrofon, RF-Komponenten, elektronischer Kompass, Drucksensor, Beschleunigungssensor, mikrooptisches Projektionssystem...).

Auch zu den aktuellen Handlungsfeldern „Industrie 4.0“ (Lösungen für cyber-physische Systeme) und „Individualisierte Medizin“ (Unterstützung der molekularbiologischen Diagnoseansätze durch entsprechende Sensorik) liefert die Mikrosystemtechnik wichtige Beiträge. Gerade in Baden-Württemberg hat die Mikrosystemtechnik einen hohen wissenschaftlichen und wirtschaftlichen Rang, was sich u.a. an der Etablierung des Spitzenclusters „MicroTec-Südwest“ zeigt.

Jetzt schnell schalten.

Gruner steht für flexible Lösungen rund um Relais, Magnete und Stellantriebe. Dabei kommen die innovativen Produkte nicht von ungefähr. Durch unsere hohe Fertigungstiefe bieten wir jungen Talenten optimale Ausbildungs-, Studien- sowie berufliche Einstiegs-möglichkeiten. Immer in einem modernen Arbeitsumfeld. Wir sind der Antrieb für Deine Entwicklung! Lerne uns kennen: www.gruner.de



GRUNER AG

Bürglestraße 15-17 · D-78564 Wehingen
Tel. +49 7426 948-0 · Fax +49 7426 948-200
www.gruner.de · personal@gruner.de

GRUNER



Schalten und Bewegen

BURGERGRUPPE

Qualität seit 1956

GEMEINSAM...



Feintechnik



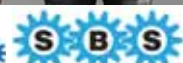
Antriebstechnik



Spritztechnik



Nepron



Mechatronics

Ist es der **START** in die Ausbildung, das Studi-um oder ist es **ZEIT** für eine neue berufliche **HERAUSFORDERUNG**?

Dann **FREUEN** wir uns schon jetzt über Ihre Bewerbung.

Falls gerade kein passendes Stellenangebot für Sie dabei ist sind auch **INITIATIV** Bewerbun-gen sehr willkommen!



Hermann-Burger-Str. 31
78136 Schonach
Tel.: 07722/867-140

www.burger-gruppe.com

Mikrosystemtechnik an der Hochschule Furtwangen

Mikrosystemtechnik ist an der Hochschule Furtwangen seit vielen Jahren in Forschung und Lehre etabliert. In der Lehre vermitteln insbesondere die beiden Masterstudiengänge Smart Systems und Mikromedizin mikrosystemtechnisches Wissen. Die Mikrosystemtechnik ist auch eines der bedeutungsvollsten Forschungsgebiete der Hochschule. So werden in der Arbeitsgruppe von Prof. Dr. Ulrich Mescheder zahlreiche Projekte zur Mikrosystemtechnik bearbeitet, viele auch im Rahmen von Promotionen, die in enger Kooperation mit der Universität Freiburg (IM-TEK; u.a. gemeinsames Promotionskolleg GenMik) durchgeführt werden. Für Lehre und Forschung kann das Technologielabor für Mikro- und Nanosysteme genutzt werden, einer in dieser Form an Hochschulen für Angewandte Wissenschaften in Baden-Württemberg einzigartigen Einrichtung (Reinraum mit Möglichkeiten zur prototypischen Realisierung von Mikrosystemen).

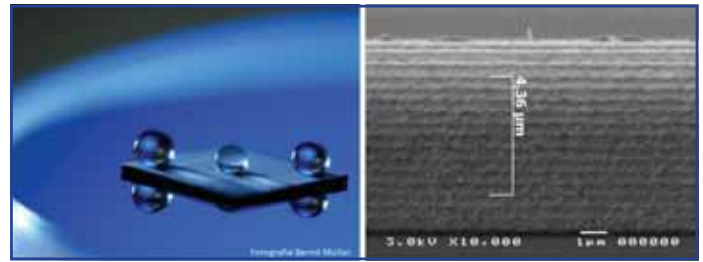
Projektbeispiele aus der Mikrosystemtechnik

Die Arbeitsgruppe Mikrosystemtechnik beschäftigt sich mit Konzepten von neuartigen miniaturisierten Sensoren und Aktoren sowie mit mikro- und nanotechnologischen Verfahren zu deren Herstellung. Hierbei werden moderne Simulationsverfahren und komplexe Fertigungsverfahren kombiniert, um neue Lösungen zu industriellen Anwendungen zu erschaffen. Laufende Projekte:

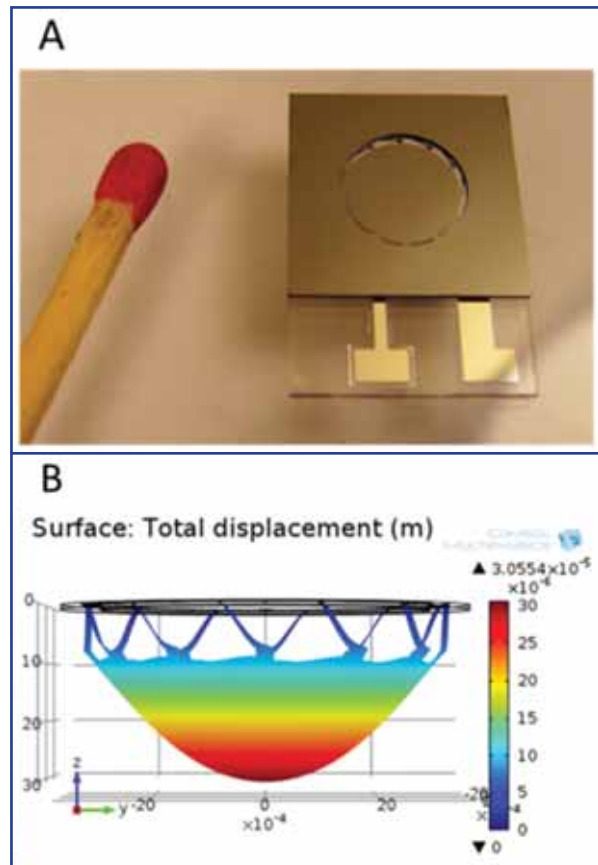
- Optischer Biosensor
- Hochpegelmikrophon zur Messung von Impulslärm
- Aktiv fokussierender Membranspiegel
- Mikro- und Nanofiltration
- kapazitiver Energy Harvester
- Taktile Displaysysteme
- Si-Micromolds (3D)
- Laserbearbeitung
- Oberflächenbearbeitung mit SOI-Technologie
- Nanotechnologie (poröses Si: Selbstorganisation)
- Nanobonding
- Electrochemical Processing
- Nanoenergy



Im Technologielabor für Mikro- und Nanosysteme der HFU hergestellter optischer Biosensor: Messgerät zur Analyse von flüssigen und gasförmigen Substanzen.



Superhydrophobe Oberfläche mittels Nanostrukturierung des Siliziums (links). SEM-Aufnahme eines Biosensorchips aus nanoporösem Silizium für die Analyse von Flüssigkeiten und Gasen (rechts).

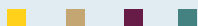


A: Elektrostatisch auslenkbarer Membranspiegel zur schnellen Fokussierung.
B: FEM-Simulation einer parabolischen Auslenkung des Membranspiegels.

■ Autor ■ ■ ■

Prof. Dr. Ulrich Mescheder
Fakultät Mechanical and Medical Engineering
Prorektor für Forschung und Entwicklung, Technologietransfer
Leiter Institut für Angewandte Forschung
Campus Furtwangen, Raum B 1.10

Tel.: +49 (0) 7723 / 920-2232
Fax: +49 (0) 7723 / 920-2633
E-Mail: mes@hs-furtwangen.de



hechinger

Die Helmut Hechinger GmbH & Co. KG ist ein innovatives und eigenständiges Familienunternehmen, das erfolgreich in der Zulieferindustrie tätig ist. Unsere Kernkompetenzen liegen in der Entwicklung, Konstruktion und Serienfertigung von kundenspezifischen Magnetsystemen sowie mechatronischen und elektronischen Baugruppen. Um weiterhin als geschätzter Partner unserer Kunden agieren zu können, bauen wir auch in Zukunft auf eine umfassende Ausbildung und kontinuierliche Weiterbildung. Ferner bieten wir hochinteressante Positionen in den unterschiedlichsten Bereichen.



FÜR SIE DER RICHTIGE PARTNER

Helmut Hechinger GmbH & Co. KG
Junkersstraße 4
78056 Villingen-Schwenningen
Tel. +49 (0) 7720 988-0
www.hechinger.de



Sehen, was drin steckt mit KARL STORZ Endoskope



Generation
Education

Perspektive im internationalen Umfeld!

Wir sind ein international führender Hersteller von hochwertigen Spezialprodukten der Medizintechnik. An unserem Hauptsitz in Tuttlingen sowie in mehreren Produktionsstätten, Vertriebs- und Servicegesellschaften beschäftigen wir weltweit in 39 Ländern mehr als 6.400 Mitarbeiter.

Zeigen Sie uns, was in Ihnen steckt!

Wir bieten kontinuierlich spannende Themen für Praktika und Abschlussarbeiten sowie interessante Stellen für Hochschulabsolventen (m/w) an.

Detaillierte Informationen zu Praktika und Abschlussarbeiten sowie zu allen offenen Stellen finden Sie unter www.karlstorz.com

Bitte senden Sie Ihre Bewerbungsunterlagen unter Angabe der jeweiligen Kennziffer an unsere Personalabteilung. Haben Sie noch Fragen? Dann steht Ihnen Herr Patrick Dury gerne auch telefonisch zur Verfügung.

KARL STORZ GmbH & Co. KG
Personalabteilung
Mittelstr. 8 • 78532 Tuttlingen
Telefon: 07461 708-8297
Bitte bewerben Sie sich bevorzugt online.

STORZ
KARL STORZ — ENDOSKOPE
THE DIAMOND STANDARD

www.karlstorz.com

Non-Intrusive Load Monitoring

Der Energiesektor und insbesondere der Bereich der elektrischen Energie erleben derzeit einen nie gekannten Umbruch. Neben der dezentralen Erzeugung aus regenerativen Quellen wird das Verbrauchsverhalten eine wichtige Rolle für eine sichere und nachhaltige Versorgung mit Energie spielen. Eine grundlegende Voraussetzung ist die Schaffung hoher Transparenz in Bezug auf die Energieströme, um von einem unspezifischen Gesamtenergieverbrauch zu einem diversifizierten Energieverbrauch jedes einzelnen Geräts zu gelangen. Durch das Non-Intrusive Load Monitoring (NILM) wird der gesamte elektrische Energieverbrauch am Smart Meter, d.h. ohne Eingriff in die weitere Elektroinstallation, analysiert und der Einzelverbrauch jedes angeschlossenen Geräts ermittelt. Die Aufschlüsselung des Energieverbrauchs auf einzelne Geräte erlaubt es damit den Nutzern erstmalig, ein Bewusstsein zu entwickeln, wie viel Energie welches Gerät unter Alltagsbedingungen tatsächlich verbraucht.

Anwendungsszenarien

Durch das NILM erhält der Kunde eine Aufschlüsselung des Verbrauchs und der Nutzungsdauer jedes einzelnen Geräts. Private und industrielle Kunden können dadurch erkennen, welche Kosten die Geräte verursachen und wie lange welche Geräte täglich genutzt werden. Dies ist insbesondere im industriellen Umfeld interessant um Vergleiche zwischen Geräten, Abteilungen und Filialen durchzuführen und ein effektives Controlling aufzubauen.

Eine weitere interessante Nutzungsperspektive ist im Bereich des Smart Grid. Durch das NILM ist eine deutlich präzisere Analyse und Prädiktion von Leistungsbedarf, Leistungsfaktor und Oberwellen möglich. Dies sind wichtige Informationen für eine effiziente, dem Bedarf angepasste Regelung der Lastflüsse im Netz.

Die Daten, die mittels NILM gewonnen werden, sind in einer Vielzahl weiterer Gebiete interessante Informationsquellen. Beispielsweise wird

NILM im Bereich Ambient Assisted Living (AAL) eingesetzt, um nichtinvasive Diagnosen zu stellen.

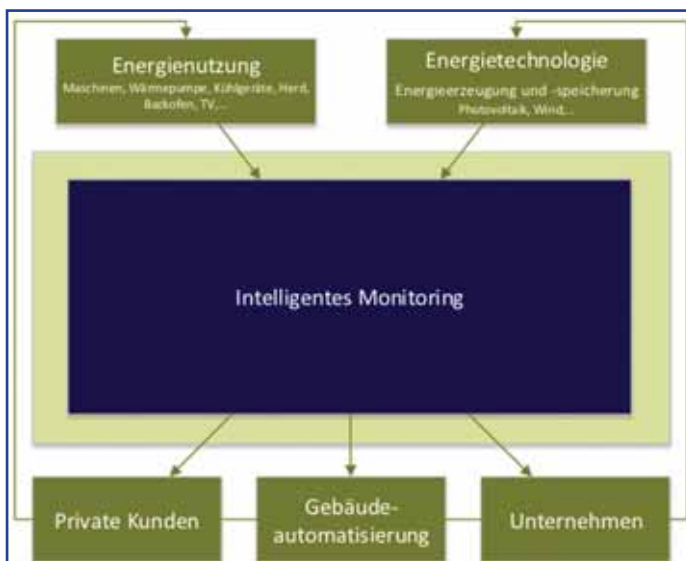
Problemstellung

NILM kann als Problem der Mustererkennung verstanden werden. Aus einer Messgröße, dem Gesamtverbrauch, sollen n Einzelgrößen, die einzelnen Verbräuche, extrahiert werden. Man spricht dabei von der Disaggregation. Dabei macht man sich zu Nutze, dass jedes Gerät eine eindeutige Signatur in seiner Leistungsaufnahme hinterlässt. Damit deckt NILM zwei wesentliche Bereiche ab: 1. Extraktion und Klassifikation von Signaturen (Mustererkennung) und 2. Analyse und Bereitstellung von Trainingsdaten für die Generalisierung von Signaturen.

NILM an der Hochschule Furtwangen

Die Signal Processing Research Group (ReSP) unter Leitung von Prof. Dr. Benyoucef erforscht im Rahmen mehrerer Forschungsprojekte das ganze Feld des NILM, d.h. Datenerhebung, Methoden zur Signalkonditionierung, Feature Extraction, Klassifikation sowie das gesamte Ensemble aus Echtzeitalgorithmen, Messtechnik und Zählerhardware. Die Gruppe verfügt über einen umfangreichen Bestand an speziell konstruierter Messtechnik sowie einen breiten Datensatz von Haus- und Gerätemessungen. Dies ermöglicht es, Algorithmen für die unterschiedlichsten Szenarien zu entwickeln. Daraus wurde ein vielseitiges Softwareframework geschaffen, das beispielsweise Geräteidentifikationsalgorithmen auf Basis künstlicher neuronaler Netze sowie Algorithmen zur Erkennung von Lastanomalien für AAL-Anwendungen enthält.

NILM wird auch in Zukunft Forschungsthema der ReSP-Gruppe sein. Es werden regelmäßig Stellen zur Promotion in einer internationalen Zusammenarbeit mit der Universität de Haute Alsace in Frankreich angeboten. Des Weiteren besteht für interessierte Studierende die Möglichkeit, Thesarbeiten für Master- und Bachelorstudiengänge in einem forschungsorientierten Umfeld zu bearbeiten.



Autor

Prof. Dr. Dirk Benyoucef
Fakultät Mechanical and Medical Engineering
Studiendekan Elektronik & Technische Informatik (Bachelor)

Campus Furtwangen, Raum B 2.05

Tel.: +49 (0) 7723 / 920-2342
E-Mail: bed@hs-furtwangen.de

Thermozyklisch betriebene Metalloxidgassensorarrays zur Brandfrüherkennung

Einführung

Metalloxidgassensoren sind chemoresistive Sensoren, deren Leitwert sehr empfindlich auf Änderungen der umgebenden Gasatmosphäre reagiert. Wegen ihrer hohen Sensitivität bei vergleichsweise geringen Kosten finden sie klassische Anwendungen in der Luftgüteüberwachung, Lüftungssteuerung von Tiefgaragen oder Leckagedetektion. Aufgrund ihrer geringen Selektivität sind jedoch die möglichen Anwendungsfelder stark eingeschränkt. Um diesen Nachteil auszugleichen, werden am Institut für Sensorik und Informationssysteme (ISIS) zwei Lösungsansätze verfolgt. Anstatt wie bisher üblich den Sensor bei einer fixen Betriebstemperatur (ca. 350°C) zu betreiben, wird die Temperatur zyklisch zwischen festgelegten Temperaturgrenzen in einem Dreieckprofil variiert. Durch simultanes Aufzeichnen des Leitwerts über einen Zyklus ergibt sich ein sogenanntes Leitwert-Zeit-Profil (LZP), das in spezifischen Merkmalen die vorliegende Gasatmosphäre abbildet^[1]. Da diese Merkmalsausbildung von der verwendeten sensitiven Schicht abhängt, lässt sich durch die Kombination mehrerer, unterschiedlicher Schichten zu einem Sensorarray die Menge an gewonnen Informationen erhöhen. Die Interdigitalelektroden zur Bestimmung der Leitwerte werden in Dünnschichttechnik (PVD) metallisiert, anschließend werden in Dickschichttechnik die sensitiven Schichten (Abb. 1 a) aufgebracht. Zur Charakterisierung des Arrays stehen diverse Untersuchungen zur Verfügung: thermische Analyse mittels IR-Mikroskop (b), Schichtdickenbestimmung mittels konfokaler Mikroskopie (c) und Elektronenmikroskopaufnahmen zur Mikrostrukturbestimmung (in Kooperation mit dem Institut für Funktionale Grenzflächen des KIT (Campus Nord)).

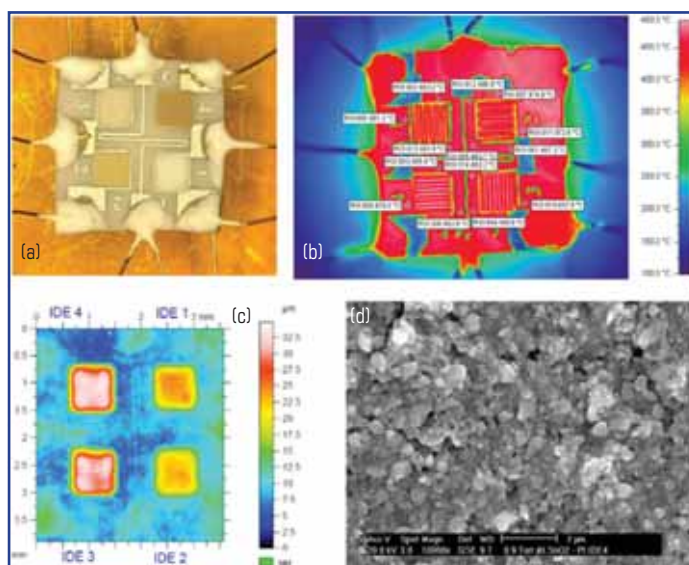


Abb. 1 a) Sensorarray b) Falschfarben Darstellung mit IR Kamera, c) Konfokalmikroskopieaufnahme zur Schichtdickenbestimmung d) SEM-Aufnahme einer Sensorschicht

Applikationen

Aufgrund der spezifischen Profilierung der LZP durch die thermozyklische Betriebsweise eines Sensorarrays eignen sich die Sensoren beispielsweise zur Brandfrüherkennung. Klassische Branderkennungssysteme nutzen oft z.B. Lufttrübungssensorik um Rauch zu detektieren. Typischerweise entsteht Rauch jedoch erst bei einem offenen Feuer. Schwelbrände oder Kabelbrände in der Entstehungsphase könnten also, bei Detektion der entstehenden Gase, bereits in einem früheren Stadium erkannt werden, bevor es zu Rauchbildung kommt. Im aktuellen Forschungsprojekt wird die Reaktion des Sensorarrays auf diese indikativen Gase von Kabelbränden im frühen Stadium untersucht, um charakteristische LZP Strukturen zu finden, mit denen die sichere Detektion unabhängig von Störeinflüssen möglich ist. Zu diesem Zweck wurde ein Messaufbau geschaffen, der es erlaubt, Kabelproben definiert zu überhitzen oder mit elektrischen Strömen zu überlasten und die entstehenden Emissionen auf die Sensoren zu leiten^[2].

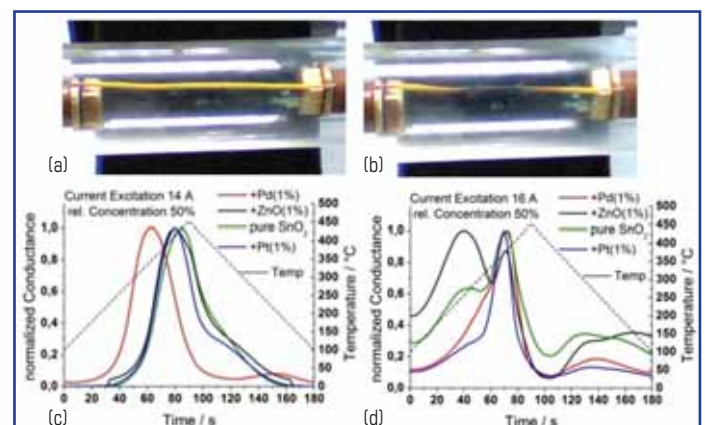


Abb. 2 Kabelprobe bei a) 14 A und b) 16 A elektrischer Strombelastung sowie die jeweils gemessenen LZP nach Beaufschlagung mit den entweichenden Pyrolysegasen.

Zwei LZP-Aufnahmen des Sensorarrays aus einem Überlastungsexperiment sind in Abb. 2 zu sehen. Diese zeigt eine Kabelprobe (PVC-Isolation, zugelassen für max. 2A) bei Belastung mit elektrischen Strömen von 14 A (a) und 16 A (b). Während bei 14 A ein leichtes Verfärben beobachtet werden kann, kommt es bei 16 A bereits zu starker Degeneration der Polymerschicht. Vergleicht man diese Beobachtungen mit den zugehörigen Sensorsignalen, zeigen sich die in Abb. 2 (c) und (d) zu sehenden LZP. Hier wurde der Leitwert zur besseren Vergleichbarkeit der Schichtmaterialien normiert, um den Blick auf die Profilform zu lenken. Beide Szenarien führen zu einem deutlichen Anstieg der Sensorsignale, jedoch unterscheiden sich die beobachteten Profile stark. Es ist zu erwarten, dass beim Erhitzen des Kabels zuerst vorhandene leicht flüchtige Stoffe (z.B. Weichmacher) entweichen, bevor es zu einer Zersetzung

des Polymers kommt. Diese Unterschiede schlagen sich deutlich in unterschiedlichen Profilformen der LZP nieder. Durch Kalibrieren kann ein Sensorsystem zur Detektion dieser Pyrolysegase ertüchtigt werden, um frühzeitig eine sichere Erfassung von Kabelüberlastungen z.B. in Kabelschränken zu alarmieren. Zur Analyse derartiger Sensorsignale wurden in Kooperation mit dem Institut für Angewandte Informatik (IAI) des KIT (Campus Nord) die zugehörigen numerischen Algorithmen^[3] entwickelt, die neben der Gasidentifikation auch eine quantitative Analyse erlauben.

Aussicht

Vorläufige Pyrolyseversuche ergaben eine gute Sensitivität der ausgewählten Sensorschichten auf Emissionen von überlasteten und überhitzten Litzen. In weiteren Experimenten muss nun die optimale Sensorschichtenkombination für die gewählte Anwendung gefunden werden, die nicht nur gute Sensitivitäten und eindeutige Profilformen, sondern auch robuste Ergebnisse bei Störeinflüssen liefert. Auch soll untersucht werden, wie sich komplexere Kabelmaterialien wie z.B. mehrlagige Kabelisolationen unter den beschriebenen Bedingungen verhalten. In einem BMBF-Förderprojekt im Verbund mit dem IAI und zwei Unternehmen wird bereits an einer Multisensorplattform gearbeitet, die gegen projektende erste Tests in Schaltschränken oder ähnlichen Umgebungen außerhalb des Labors erlauben soll.

Zusammenfassung

Diese Arbeit beschreibt ein Metalloxidgassensorarraysystem zur Detektion von Emissionen aus überhitzten Isolationsmaterialien, die z.B. in Schaltschränken zum Einsatz kommen. Das Sensorelement besteht aus vier sensitiven Schichten unterschiedlicher Zusammensetzung auf einem thermozyklisch geheizten Chip. Die gemessenen Leitwertprofile dienen der Identifikation der Gasatmosphäre, trennbar von Störeinflüssen. Zur experimentellen Simulation der Pyrolysegase wurde ein Aufbau geschaffen mit dem Kabel definiert überhitzt bzw. überlastet werden können. Die gemessenen Leitwertzeitprofile sind bereits bei geringen

Konzentrationen gut geeignet für eine Detektion und Identifikation der Pyrolysegase bevor eine Verfärbung der Isolationsmaterialien zu beobachten ist. Die Sensorsignale wurden mit dem Ziel der Pyrolysegasidentifikation und Konzentrationsbestimmung numerisch analysiert und die vorläufigen Ergebnisse sind vielversprechend.

Literatur

- ^[1] K. Frank, V. Magapu, V. Schindler (†), H. Kohler, H.B. Keller, R. Seifert; Chemical analysis with tin oxide gas sensors: choice of additives, method of operation and analysis of numeric signal, 7th East Asian Conference on Chemical Sensors, Dec. 3-5, 2007, Singapore, SENSOR LETTERS 6 (2008) 908-911.
- ^[2] J. Knoblauch, N. Illyaskutty, and H. Kohler, "Early Detection of Fires in Electrical Installations by Thermally Modulated SnO₂/Additive-Multi Sensor Arrays", eingereicht bei Sensors and Actuators B, 2014
- ^[3] R. Seifert, H. B. Keller, K. Frank, H. Kohler; ProSens – an Efficient Mathematical Procedure for Calibration and Evaluation of Tin Oxide Gas Sensor Data, Sensor Letters, Vol. 9/1, 7-10, 2011

Autoren

Jens Knoblauch
Navas Illyaskutty
Heinz Kohler

Fakultät Elektro- und Informationstechnik
Hochschule Karlsruhe - Technik und Wirtschaft
Moltkestr. 30, 76133 Karlsruhe

Tel.: +49 (0) 721 / 925-1282
E-Mail: heinz.kohler@hs-karlsruhe.de

Impressum

Verlag und Herausgeber

Public Verlagsgesellschaft
und Anzeigenagentur mbH
Mainzer Str. 31
55411 Bingen
Tel. 06721 – 49512-0
info@publicverlag.com
www.publicverlag.com

Redaktion

Martina Laloi

Druck

VMK Druckerei GmbH
Faberstraße 17
67590 Monsheim
www.vmk-druckerei.de

Haftungsausschluss

Alle Beiträge in diesem Magazin wurden von den Autoren mit größter Sorgfalt recherchiert. Trotzdem sind Fehler nicht auszuschließen. Die Public Verlagsgesellschaft und Anzeigenagentur mbH weist daher darauf hin, dass sie keine Haftung für Folgen, die auf fehlerhafte oder falsche Angaben zurückgehen, übernehmen kann. Artikel, die mit dem Namen des Verfassers gekennzeichnet sind, geben nicht unbedingt die Meinung der Redaktion wieder.

Urheberrecht

Die Rechte an Bild und Text liegen bei den jeweiligen Autoren.

Energieeffizienter Betrieb von Asynchronmaschinen – Methoden und Potential

Einleitung

Vor dem Hintergrund der Diskussion um die Energiewende gewinnt die Frage nach einem effizienten Einsatz elektrischer Energie zunehmend an Bedeutung. Dies betrifft insbesondere die im industriellen Umfeld weit verbreiteten Asynchronmaschinen, die als robuste und kostengünstige Antriebe geschätzt werden.

Ein Nachteil der Asynchronmaschinen ist deren vergleichsweise schlechter Wirkungsgrad im Teillastbereich. Um diesen Nachteil auszugleichen, wurden in den vergangenen Jahren zahlreiche Verfahren entwickelt, mit denen der Wirkungsgrad der Maschine durch eine intelligente Betriebsführung verbessert wird. Das Ziel dieses Beitrags ist es, anhand von zwei Maschinen unterschiedlicher Baugröße das Potential zur Energieeinsparung darzustellen, um dem Anwender einen Hinweis auf den Nutzen solcher Verfahren zu geben.

Dazu werden im folgenden Abschnitt kurz einige Grundlagen zu Verfahren zur energieeffizienten Betriebsführung dargestellt. Daran anschließend wird anhand von Messungen das Potential zur Energieeinsparung ermittelt und diskutiert. Die Ergebnisse werden im letzten Abschnitt zusammengefasst.

Energieeffiziente Betriebsführung

In der Abbildung 1 ist die anhand der Motorparameter berechnete Verlustleistung einer Asynchronmaschine mit einer Nennleistung von 370W als Kurvenschar in Abhängigkeit des Magnetisierungsstroms I_{1d} , d.h. derjenigen Komponente des Statorstromzeigers, mit der das Ro-

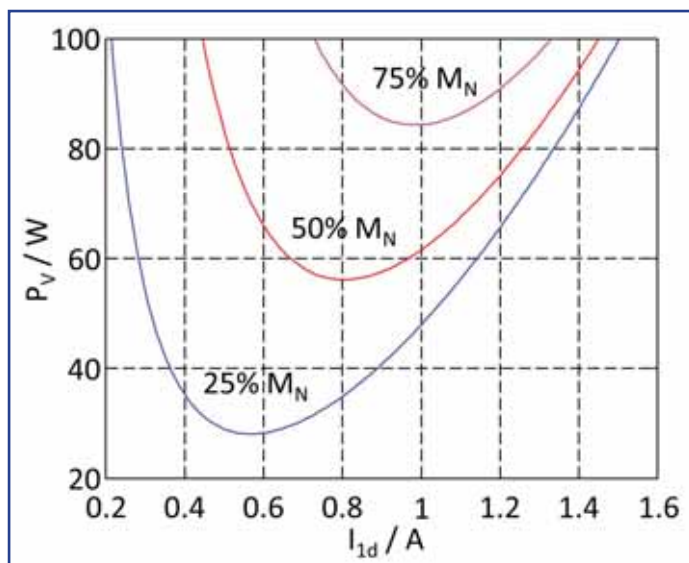


Abbildung 1: Verlustleistung und Magnetisierungsstrom

tormagnetfeld aufgebaut wird, für 25%, 50% und 75% des Motornennmoments in dem jeweils entsprechenden stationären Betriebspunkt der Maschine dargestellt.

Aus der Abbildung wird deutlich, dass für jeden der drei Betriebspunkte ein optimaler Wert für den Magnetisierungsstrom I_{1d} existiert, bei dem die Verlustleistung P_v minimal wird. Die Verwendung des Magnetisierungsstroms als Stellgröße zur Reduzierung der Verlustleistung ist für feldorientierte Verfahren gut geeignet.

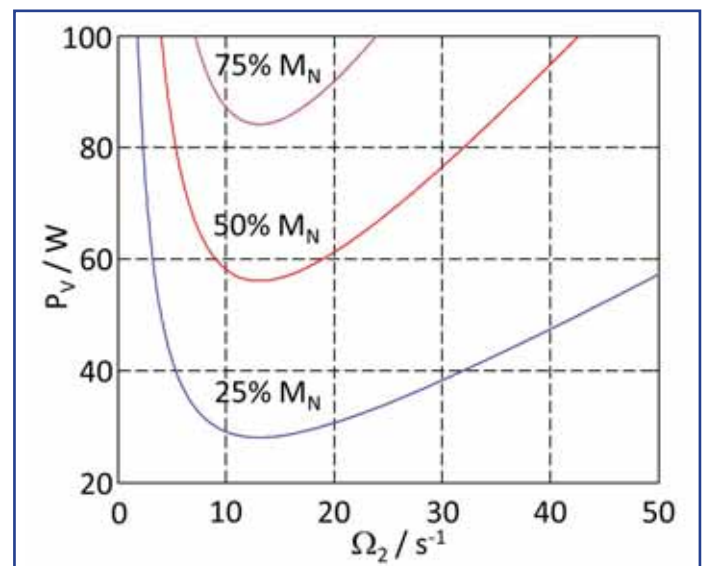


Abbildung 2: Verlustleistung und Schlupffrequenz

Als Stellgröße zur Reduzierung der Verluste bei den einfacheren U/f-Verfahren bieten sich andere Prozessgrößen wie z.B. die Schlupffrequenz Ω_2 an. Der Zusammenhang zwischen der Schlupffrequenz und der Verlustleistung wird für eine Asynchronmaschine mit der Nennleistung von 370W in der Abbildung 2 veranschaulicht.

Dieses Verhalten ist Ausgangspunkt der im Folgenden kurz diskutierten Verfahren zur energieeffizienten Betriebsführung.

Ziel dieser Verfahren ist es, in einem durch ein Drehmoment und eine Drehzahl vorgegebenen stationären Betriebspunkt die Prozessgrößen so einzustellen, dass ein Minimum an Verlusten erreicht wird.

Bei den in der Abbildung 3 prinzipiell dargestellten parameterbasierten Verfahren werden die jeweiligen Prozessgrößen direkt anhand des Arbeitspunktes und der gegebenen Motorparameter berechnet. Der Vorteil dieser Vorgehensweise ist, dass der neue Betriebspunkt unverzüglich eingestellt werden kann. Nachteilig ist die Abhängigkeit des Optimierungsergebnisses von den Motorparametern.

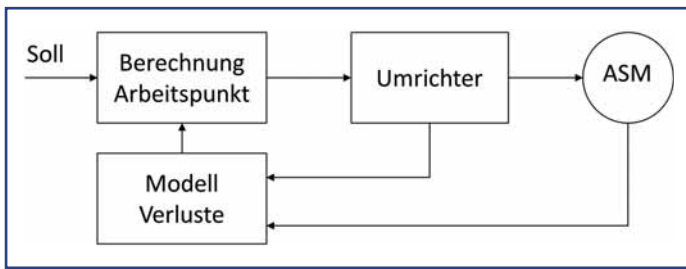


Abbildung 3: Parameterbasierte Verfahren

Bei den prinzipiell in der Abbildung 4 dargestellten Suchverfahren wird eine andere Vorgehensweise gewählt. Ausgehend von einem stationären Betriebspunkt wird eine der Prozessgrößen mit einem Suchverfahren so verändert, dass die gemessene vom Motor aufgenommene elektrische Leistung minimiert wird.

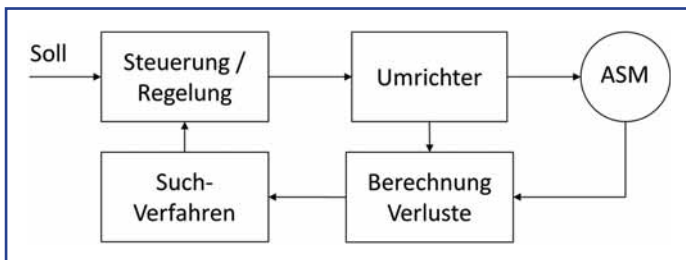


Abbildung 4: Suchverfahren

Der Vorteil dieser Vorgehensweise liegt in deren Parameterunabhängigkeit. Der Nachteil solcher Verfahren ist insbesondere die langsame Konvergenz.

Für beide Verfahrensklassen wurden bisher zahlreiche Methoden entwickelt, die sich in der Art der verwendeten Prozessgrößen, der Optimierungs- und Suchverfahren, der Berücksichtigung der einzelnen Verlustmechanismen oder des Umgangs mit Parameteränderungen unterscheiden. Ein Überblick über diese Verfahren wird in ^[1] und ^[2] gegeben.

Für die Minimierung der Verluste bei dynamischen Übergängen, wie Sie z.B. in Servoanwendungen stattfinden, existieren nur wenige Methoden, wie die auf einer online durchgeführten numerischen Optimierung basierende Methode aus ^[3] oder ein modellprädiktives Verfahren aus ^[4]. Der vorliegende Beitrag beschränkt sich auf die Reduktion der Verluste in stationären Betriebspunkten und zeigt das Potential dieser Verfahren für zwei Motoren unterschiedlicher Baugröße und unterschiedliche Belastungszustände.

Potential zur Energieeinsparung

Im vorliegenden Abschnitt wird das Potential zur Energieeinsparung für zwei Motoren mit einer Nennleistung von 370W bzw. 4kW an dem in der Abbildung 5 dargestellten Prüfstand aus dem Labor für Elektrische Antriebstechnik untersucht.

In beiden Fällen wird die Einsparung aufgrund einer energieeffizienten Betriebsführung im stationären Zustand mit unterschiedlichen Lastmomenten analysiert. Dabei wird für jeden betrachteten Lastpunkt die Ver-

lustleistung mit und ohne energieeffiziente Betriebsführung verglichen und daraus die eingesparte Verlustleistung bestimmt.



Abbildung 5: Antriebsprüfstand

Für die Durchführung der Messungen werden beide Motoren mit dem Steuerverfahren U/f mit einer Leerlaufdrehzahl von 1000min^{-1} betrieben. Die Schlupfkompensation ist aktiv um sicherzustellen, dass die Drehzahl und somit die abgegebene mechanische Leistung auch bei Belastung unverändert bleibt.

Ebenso ist die IxR-Kompensation des Statorwiderstands aktiviert. Die optimale Schlupfkreisfrequenz für ein Minimum an Verlusten wird über die Steigung der U/f-Kennlinie eingestellt.

Die Verlustleistung wird hier aus der Differenz der Wirkleistung an den Klemmen des Motors und der an der Welle abgegebenen mechanischen Leistung bestimmt. Die so ermittelte Verlustleistung enthält daher zwar auch die mechanischen Verluste, da diese jedoch im Wesentlichen von der Drehzahl abhängig sind, wird aus den Messdaten die Energieeinsparung aufgrund der Betriebsführung deutlich.

Die Abbildung 6 zeigt für die betrachteten Asynchronmaschinen die Verlustleistung im Optimum als blauen und die durch die energieeffiziente Betriebsführung eingesparte Verlustleistung als roten Balken jeweils bezogen auf die Nennleistung des Motors für 25%, 50% und 75% des Motornennmoments. Die Messungen zeigen, dass erwartungsgemäß die Verluste mit steigender Belastung zunehmen. Ebenso wird deutlich, dass insbesondere im unteren Teillastbereich erhebliche Einsparungen möglich sind. Mit steigendem Drehmoment nimmt das Einsparpotential ab.

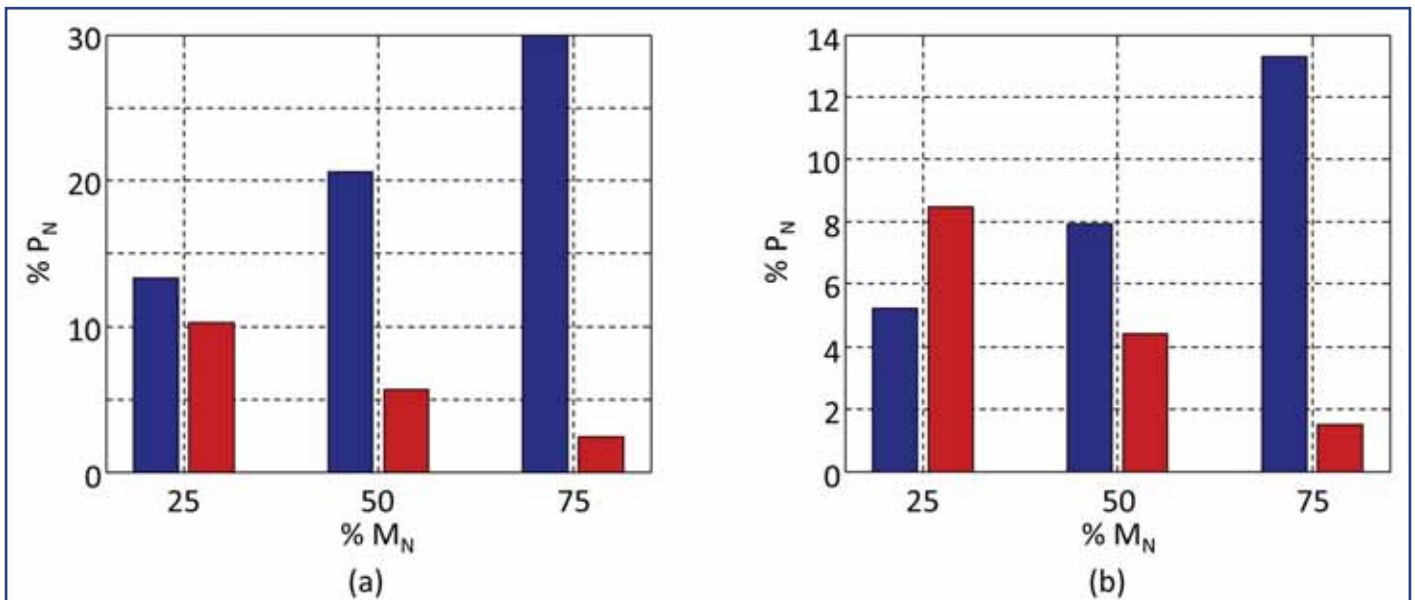


Abbildung 6: Verlustleistung und Einsparpotential für eine Asynchronmaschine mit der Nennleistung von 370W (a) und 4kW (b)

Zusammenfassung

Der vorliegende Beitrag stellte die beiden Verfahrensklassen parameterbasierte Verfahren und Suchverfahren für eine energieeffiziente Betriebsführung von Asynchronmaschinen im stationären Zustand kurz vor und zeigte das Potential zur Reduktion der Verlustleistung in stationären Arbeitspunkten für zwei Motoren unterschiedlicher Baugröße. Dabei wurde deutlich, dass insbesondere im unteren Teillastbereich eine erhebliche Verringerung der Verlustleistung erzielt werden kann.

Literaturverzeichnis

- ^[1] Flemming Abrahamsen: Energy Optimal Control of Induction Motor Drives. Dissertation, Institute of Energy Technology, Aalborg University, 2000.
- ^[2] Gernot Schullerus: Methoden zur energieeffizienten Betriebsführung von Asynchronmaschinen - Ein Überblick. In Tagungsband Antriebssysteme 2013, Seiten 34-39, Nürtingen, 2013.
- ^[3] Jean-Francois Stumper, Alexander Döttinger und Ralph Kennel: Loss Minimization of Induction Machines in Dynamic Operation. IEEE Transactions on Energy Conversion, Bd. 28, Nr. 3, Seiten 726-735, 2013.
- ^[4] Gernot Schullerus: Modellprädiktive dynamisch energieeffiziente Betriebsführung einer Asynchronmaschine. Erscheint in Tagungsband SPS/IPC/DRIVES 2014, Nürnberg, 2014.

■ **Autor** ■ ■ ■

Prof. Dr.-Ing. Gernot Schullerus
Forschungsgruppe Energie- und Ressourceneffizienz
Fakultät Technik

Hochschule Reutlingen
Alteburgstraße 150
D-72762 Reutlingen

Tel.: +49 (0) 7121 / 271-7045

Siliziumrichter

Bei einem Antriebssystem, bestehend aus einem Umrichter mitsamt Motor und der Antriebsaufgabe, können zwischen 30 % bis 60 % der erforderlichen Energie eingespart werden^[1].

Hierbei stellt die Anwendung drehzahlveränderlicher Antriebe eine wesentliche Möglichkeit zur Energieeinsparung dar. Gerade in industriellen Prozessen oder Hausgeräten, in denen elektrische Antriebe aufgrund des zugehörigen Lastkollektivs hauptsächlich im Teillastbereich betrieben werden, bieten sich durch den Umrichterbetrieb erhebliche energetische Einsparpotentiale. Die höheren Anschaffungskosten für einen geregelten Antrieb im Vergleich zu einem unregelmäßigen Antrieb amortisieren sich meist aufgrund der Betriebskostensenkung innerhalb des Produktlebenszyklus.

Ein wesentlicher Hinderungsgrund für den vielfältigen Einsatz von Umrichtern ist jedoch der erforderliche Bauraum und Installationsaufwand.

Die Bauraumproblematik könnte teilweise dadurch gelöst werden, indem die Umrichter derart miniaturisiert werden, dass sie in den ohnehin vorhandenen Klemmenkasten eines Standardmotors eingebaut werden können, wie in Abbildung 1 gezeigt.

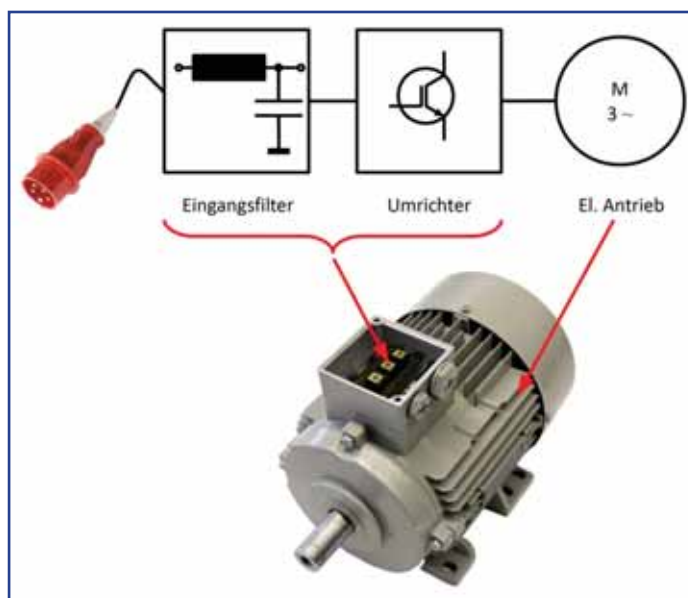


Abbildung 1: Fotomontage zur Idee, den Umrichter im Motorgehäuse zu integrieren.

Neben der Kühlung der Halbleiterbauelemente und der Zwischenkreis-kapazität (bei den derzeit marktüblichen Umrichtern) spielen die zur Dämpfung der elektromagnetischen Störungen eingesetzten Eingangs-

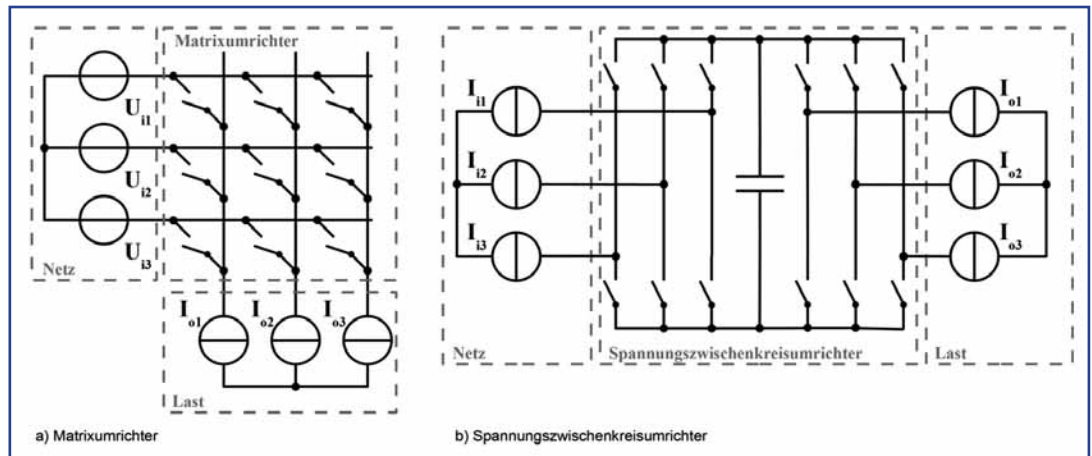


Abbildung 2: Schaltschema eines Matrixumrichters (links im Bild) und eines marktüblichen Spannungszwischenkreisumrichters (rechts im Bild).

filter eine entscheidende Rolle bei der erforderlichen Baugröße der Umrichter.

Durch neue Halbleitermaterialien wie Siliziumcarbid und Galliumnitrid kann in den kommenden Jahren eine Reduktion des Kühlaufwandes erwartet werden, weshalb eine Bauraumreduktion abzusehen ist.

Zur Einsparung des Zwischenkreiskondensators existiert eine andersartige Umrichtertopologie, welche gänzlich ohne Zwischenkreiskondensator auskommt: Der Matrixumrichter (siehe Abbildung 2).

Somit wird beim Matrixumrichter bereits an dieser Stelle Bauraum eingespart und überdies wäre für den Matrixumrichter eine full-in-silicon Lösung, bei welcher der Umrichter vollständig in einem Chip realisiert wird, prinzipiell machbar. Allerdings war bisher ungeklärt, ob der nicht vorhandene Zwischenkreiskondensator beim Matrixumrichter dann zu einem größeren Bauvolumen bei den Eingangsfiltern führt.

Zur Untersuchung der Integrationsfähigkeit beider Umrichtertopologien wurde an der Reinhold-Würth-Hochschule der Hochschule Heilbronn in Kooperation mit der Technischen Universität Ilmenau und dem Fraunhofer-Institut für Integrierte Systeme und Bauelementetechnologie IISB in Erlangen ein Forschungsprojekt gestartet, dessen Finanzierung von der Reinhold-Würth-Stiftung übernommen wurde. Die Kooperation zielt darauf ab, die zukunfts-fähigen Umrichtertopologien bezüglich der Systemintegrierbarkeit für strategische Entscheidungen zu identifizieren und erste Funktionsmuster bereitzustellen. Der derzeitige Forschungsschwerpunkt liegt aus den oben genannten Gründen auf den benötigten Eingangsfiltern und deren Bauvolumen.

Berechnung der Netzurückwirkungen

Die einphasigen Netzurückwirkungen des Matrixumrichters lassen sich im Frequenzbereich anhand Doppelfourierreihen beschreiben. Für den Matrixumrichter ergibt sich eine Ersatzstromquelle mit dem Stromverlauf^[2]:

$$I_{SR}(\omega) = \sum_{k=1}^3 \hat{i} \cdot e^{\pm j\varphi_k} \cdot \left\{ \sum_{m=-\infty}^{\infty} \sum_{n=-\infty}^{\infty} c_{k1,mn} \cdot \delta(\omega \mp \omega_L + m \cdot \omega_c + n \cdot \omega_0) \right\}$$

Hierbei sind die $c_{k1,mn}$ die Fourierkoeffizienten der Reihe, wobei die Harmonischen in Spektralgruppen um die Pulsfrequenz ω_c im Abstand der Lastfrequenz ω_L und der Summe der Netzfrequenz und Lastfrequenz $\omega_0 = \omega_N + \omega_L$ angeordnet sind.

$$U_{SR}(\omega) = \sum_{k=1}^3 \frac{U_{DC}}{2} \cdot \left\{ \sum_{m=-\infty}^{\infty} \sum_{n=-\infty}^{\infty} \tilde{c}_{k*,mn} \cdot \delta(\omega + m \cdot \omega_c + n \cdot \omega_N) \right\}$$

$$\text{mit } \tilde{c}_{k*,mn} = \begin{cases} \frac{2}{3}(c_{k1,mn} - c_{k2,mn}); & \forall k = 1 \\ -\frac{1}{3}(c_{k1,mn} - c_{k2,mn}); & \forall k \in \mathbb{N}^* \setminus \{1\} \end{cases}$$

Die beschriebenen mathematischen Zusammenhänge sind in Abbildung 3 und Abbildung 4 verdeutlicht. In den Abbildungen sind die einphasigen Netzurückwirkungen jeweils des Matrixumrichters und des Spannungswischenkreisumrichters für eine Ausgangsscheinleistung von $S_0 = 3$ kVA in Abhängigkeit des Modulationsgrades dargestellt. Der Modulationsgrad ist eine auf die maximal erreichbare Ausgangsspannung normierte Größe. Aus Gründen der Darstellung wurde bei den Abbildungen eine Pulsfrequenz von $f_c = 2$ kHz verwandt.

In beiden Diagrammen ist zu erkennen, dass die Grundschiwingung bei der Netzfrequenz $f_N = 50$ Hz proportional zum Modulationsgrad ist. Allerdings gilt dies nicht bei den Spektrallinien innerhalb der Spektralgruppen, welche jeweils um die Vielfachen der Pulsfrequenz f_c platziert sind. Die betrachteten Schwingungen nehmen ihre maximale Amplitude zwar abhängig vom Modulationsgrad ein, jedoch kann keine einheitliche Gesetzmäßigkeit definiert werden.

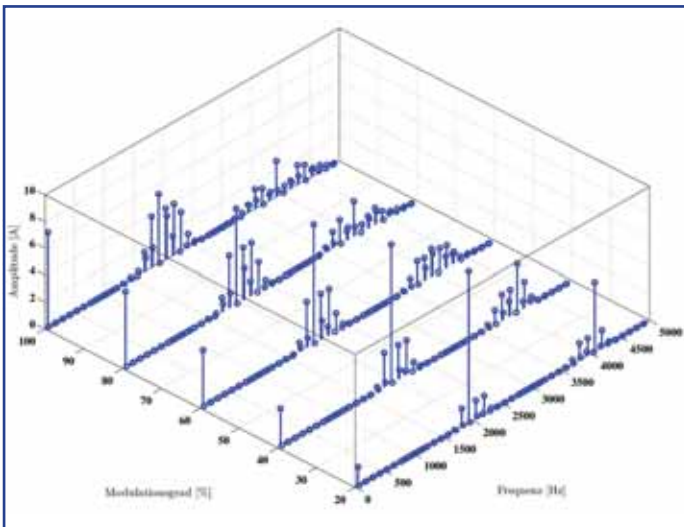


Abbildung 3: Errechnete Netzurückwirkungen des Matrixumrichters^[2], welche durch die Ersatzstromquelle eingepreßt werden.

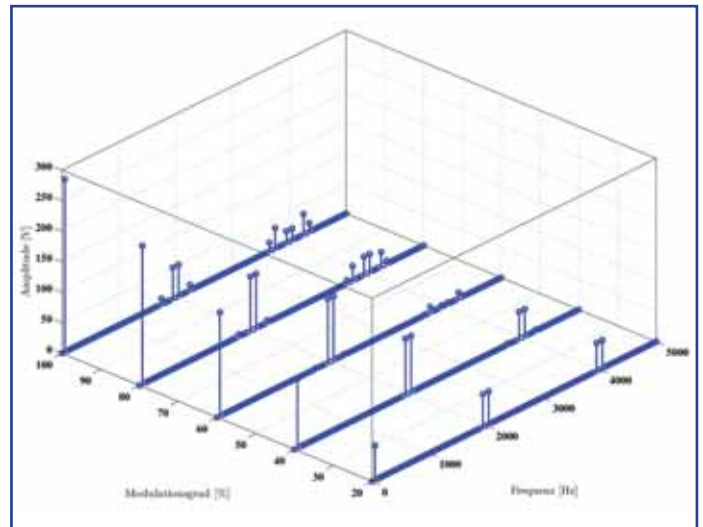


Abbildung 4: Errechnete Netzurückwirkungen des Spannungswischenkreisumrichters^[2], welche durch die Ersatzspannungsquelle eingepreßt werden.

Insofern müssen alle erdenklichen Modulationsgrade, welche bei beiden Umrichtern auftreten, für die Betrachtung der benötigten Eingangsfilter herangezogen werden. Hierzu wird ein Pseudo-Amplitudenspektrum gebildet, welches alle maximal auftretenden Amplituden jeder Schwingung enthält.

Bauvolumen der Eingangsfilter

Mittels der Pseudo-Amplitudenspektren ist es möglich, die Filterauslegung durchzuführen. In Abbildung 5 sind die verwendbaren Filterstrukturen für spannungs- und stromeinprägende Umrichter dargestellt. Während beim spannungseinprägenden Umrichter, in unserem Beispiel der Spannungswischenkreisumrichter, eine Induktivität auf der rechten Seite des Filters abschließt, so ist beim stromeinprägenden Umrichter, im vorliegenden Fall der Matrixumrichter, eine Kapazität vorzusehen. Diese stromrichterseitigen Reaktanzen werden anhand der Transistorbelastungen ausgelegt.

Die nachfolgenden v Filterzweitore, bestehend aus jeweils einer Kapazität und einer Induktivität, werden bezüglich ihrer Grenzfrequenz so ausgelegt, dass die vorgegebenen Störgrenzwerte eingehalten werden.

Wird die Pulsfrequenz von 3 kHz bis 30 MHz variiert, so ergibt sich das theoretische Bauvolumen der Eingangsfilter beider betrachteter Umrichter nach Abbildung 6.

Im Frequenzbereich nach dem heutigen Stand der Technik mit Pulsfrequenzen $f_c = 20$ kHz wird beim Matrixumrichter mit den betrachteten

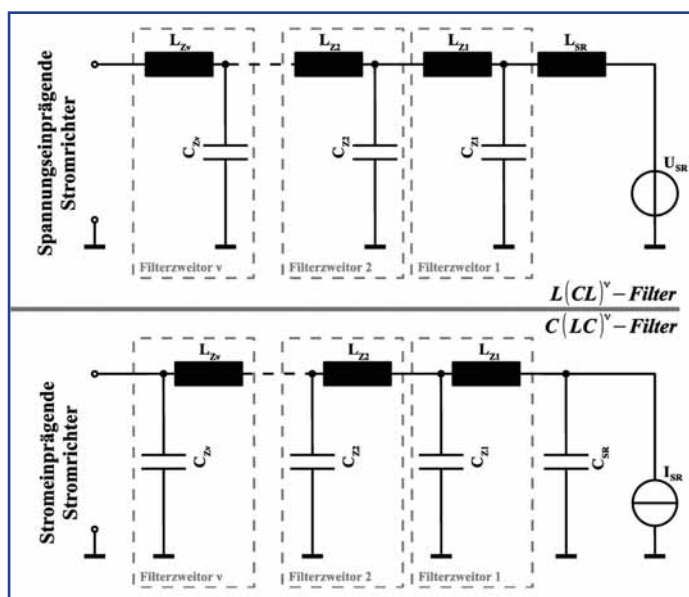


Abbildung 5: Mögliche Filterstrukturen für spannungseinprägende Stromrichter (z.B. Spannungswischenkreisumrichter) und stromeinprägende Stromrichter (z.B. Matrixumrichter)^[2].

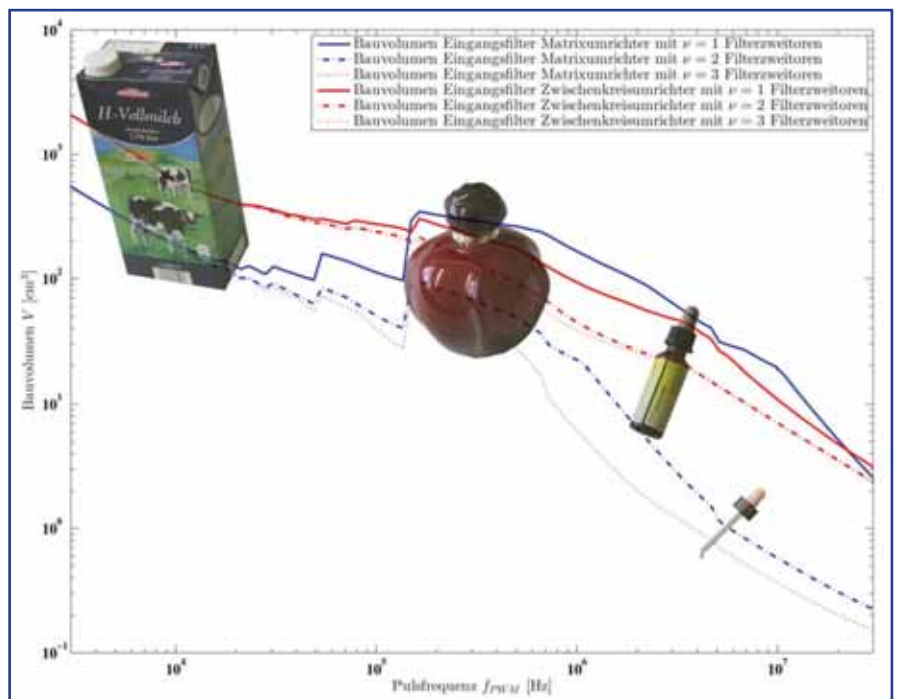


Abbildung 6: Bauraum für die Eingangsfilter von Spannungswischenkreis- und Matrixumrichter bei verschiedener Anzahl Filterzweitoren. Zur Verdeutlichung der Bauraumverhältnisse wurden entsprechende Behältnisse über die Grafik gelegt (Milchpackung (1 l), Parfümflasche (100 ml), Medizinflasche (10 ml) und Pipette (1 ml)), welche jeweils denselben Rauminhalt der Eingangsfilter aufweisen.

Leistungsdaten gegenüber dem Spannungswischenkreisumrichter ein deutlich kleineres Eingangsfilter genügen. So benötigt das Filter des Spannungswischenkreisumrichters bei einer Pulsfrequenz von $f_c = 6$ kHz ungefähr 1 l an Bauraum (äquivalent zum Rauminhalt einer Milchtüte), während das Filter des Matrixumrichters mit lediglich 270 ml nicht einmal ein Drittel des Bauraums bedarf. In diesem Pulsfrequenzbereich spielt die Anzahl der Filterzweitore keine nennenswerte Rolle.

Unter der Annahme, dass mit den neuartigen Halbleitermaterialien zukünftig sehr hoch getaktete Leistungselektroniken realisierbar sind und mehrstufige Filter möglicherweise direkt im Chip integriert werden können, ließe sich das Filterbauvolumen bei einer Pulsfrequenz von $f_c = 3,5$ MHz auf 1 ml (Inhalt einer Pipette) schrumpfen. Das Filterbauvolumen des Spannungswischenkreisumrichters würde hierbei ca. 20 mal größer sein.

Lösungsansatz

Da offensichtlich für sehr hohe Pulsfrequenzen die Eingangsfilter des Matrixumrichters für eine hohe Anzahl Filterzweitore kleiner als die des Spannungswischenkreisumrichters sind, liegt es nahe, die angestrebte full-in-silicon Lösung (welche prinzipiell aufgrund des fehlenden Zwischenkreiskondensators beim Matrixumrichter realisierbar ist) weiterzuverfolgen.

Zu diesem Zweck wurden erste Versuche, die Eingangsfilter ebenfalls gänzlich in Silizium zu integrieren, unternommen (siehe Abbildung 7), deren elektrisches Verhalten im weiteren Forschungsverlauf noch detailliert zu untersuchen ist.

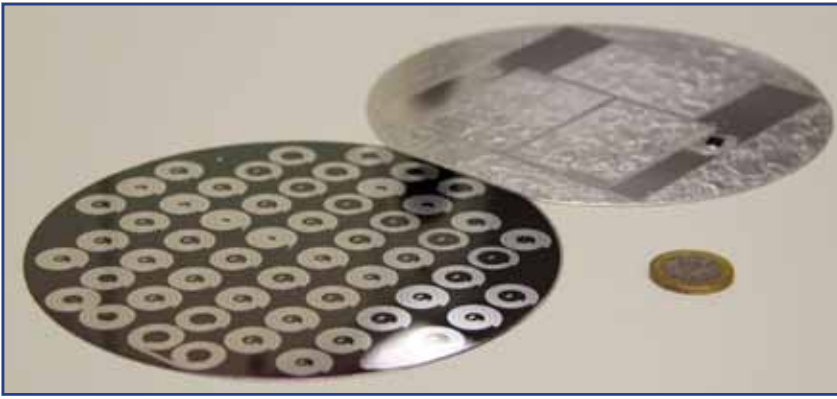


Abbildung 7: Silizium-Wafer mit integrierten Eingangfilter für stromeinprägende Störer.

den angestrebten, hochfrequenten Pulsfrequenzbereich weiterer Untersuchungen bezüglich der Entwärmung der Leistungselektronik, der gestrahlten Störungen sowie der technologieabhängigen parasitären Effekte um eine fundierte Antwort auf die erzielbare Integrationsdichte von Umrichtern geben zu können.

Fazit

Wie gezeigt wurde, weist der Matrixumrichter in puncto Eingangsfilterbauvolumen erhebliches Potential auf. Wird eine sehr hohe Integrationsdichte bei gleichzeitiger Verfügbarkeit hochentwickelter Leistungshalbleiter angestrebt, so eignet sich im diskutierten Leistungsbereich das Konzept des Matrixumrichters bezüglich den benötigten Eingangsfilterbauvolumen in besonderem Maße. Allerdings bedarf es gerade für

Literatur

- ^[1] VDE: VDE0530-30 - Drehende elektrische Maschinen - Teil 30: Wirkungsgrad-Klassifizierung von Drehstrommotoren mit Käfigläufern, ausgenommen polumschaltbare Motoren, VDE Verlag GmbH (2009)
- ^[2] Schramm, Andreas: Analyse der Netzurückwirkungen und Eingangsfilter gepulster leistungselektronischer Umrichter, Dissertation TU Ilmenau (2013)

Autoren

Prof. Dr.-Ing. Andreas Schramm, DHBW Mosbach
 Prof. Dr.-Ing. Hermann Lanfer, Hochschule Heilbronn,
 Campus Künzelsau
 Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Jürgen Petzoldt, TU Ilmenau
 Dr.-Ing. Uwe Rädcl, TU Ilmenau
 Dr.-Ing. Tobias Erlbacher, IISB Erlangen
 Dr.-Ing. Holger Schwarzmann, IISB Erlangen

Duale Hochschule Baden Württemberg Mosbach
 Studiengang Mechatronik
 Lohrtalweg 10, 74821 Mosbach

Tel. : +49 (0) 6261 / 939-438
 E-mail: schramm@dhw-mosbach.de
www.dhw-mosbach.de

CHANCES of SUCCESS

0 %... I WON'T

10 %... I CAN'T

20 %... I DON'T KNOW HOW

30 %... I WISH I COULD

40 %... I WANT TO

50 %... I THINK I MIGHT

60 %... I MIGHT

70 %... I THINK I CAN

80 %... I CAN

90 %... I AM

100 %... I DID



Antriebsstrang eines Elektro-Radladers



Im Zuge der Forschung im Bereich der Elektromobilität, wird der Einsatz elektrischer Fahrtriebe zunehmend auch in Nischenanwendungen untersucht, in denen bisher der Dieselmotor nicht wegzudenken war. Im Rahmen eines Forschungsprojektes an der Hochschule Konstanz wurde ein Mini-Radlader auf elektrische Antriebe umgerüstet. Im Rahmen dieser Veröffentlichung wird der Aufbau des elektrischen Antriebsstrangs und des Fahrzeugbussystems vorgestellt.

Einleitung

Insbesondere in städtischen Gebieten beeinträchtigt Lärm die Lebensqualität der dort lebenden Menschen und stellt eine wesentliche Ursache von stressbedingten Erkrankungen dar. Wegen der erhöhten Geräuschemissionen werden Baustellen von den betroffenen Anwohnern als besondere Belastung empfunden.

Wie die meisten Baumaschinen, werden Radlader heute durchgängig von Dieselmotoren angetrieben, die die lokale Umgebung mit Abgasen und einem hohen Schallpegel belasten. Im Rahmen des Forschungsvorhabens „Emissionsarmer Elektro-Radlader“, gefördert durch das BMBF, sollte der Dieselmotor eines kommerziellen Mini-Radladers durch dezentrale elektrische Antriebe ersetzt werden. Dies betrifft die Fahrtriebe sowie die Antriebe für die Lenkung und die Pumpe der Arbeitshydraulik, mit dem Ziel, Potenziale zur Energieeinsparung und Emissionsminderung zu identifizieren und neue Anwendungsgebiete, wie z.B.

in geschlossenen Räumen oder im Umfeld von besonders lärmsensiblen Einrichtungen zu erschließen^[1].

Elektrischer Fahrtrieb

Elektrische Einzelradantriebe bieten Vorteile gegenüber hydrostatischen Antrieben. Dazu zählen vor allem der höhere Wirkungsgrad, die Wartungsarmut sowie die gute Steuer- und Regelbarkeit, die es ermöglicht, eine intelligente Antriebs-Schlupf Regelung zu realisieren und die Lenkung durch eine gezielte Drehmomentverteilung zu unterstützen. Zu den wesentlichen Nachteilen eines Elektroantriebs gehören die, im Vergleich zur Hydraulik, niedrigere Leistungsdichte und der erhebliche Aufwand für die Ansteuerung und Regelung der verwendeten Drehstromantriebe. Die Anforderungen an die Fahrtriebe des Elektro-Radladers, die auf den Eigenschaften des hydrostatischen Antriebs basieren, sind in Tabelle 1 zusammengefasst.

Maximale Fahrgeschwindigkeit $v_{\max}$	12-20 km/h
Maximale Steigfähigkeit q	50%

Tabelle 1 Anforderungen an die Fahrtriebe des Elektro-Radladers

Für die kleinste Maximalgeschwindigkeit ergibt sich unter Berücksichtigung der Getriebeübersetzung und dem dynamischen Radhalbmesser die mindestens erforderliche Nenndrehzahl des elektrischen Antriebs. Danach wurde die Maximaldrehzahl auf den nächsthöheren marktüblichen Wert von $n_{A,\max} = 4500 \text{ min}^{-1}$ festgelegt.

Die Kraft, die auf das Fahrzeug wirkt, setzt sich aus mehreren Anteilen, wie z.B. der Hangabtriebskraft, der Rollreibung und der Kraft für die Beschleunigung zusammen, die in Form eines Drehmoments von den Fahrtrieben aufgebracht werden müssen.

$$F_H = m_{Fz} \cdot g \cdot \sin(\arctan(q)) = 2250 \text{ kg} \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot \sin(\arctan(0,5)) = 9873 \text{ N}$$

$$F_R = m_{Fz} \cdot g \cdot f_R \cdot \cos(\arctan(q)) = 2250 \text{ kg} \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 0,045 \cdot \cos(\arctan(0,5)) = 888 \text{ N}$$

$$F_B = m_{Fz} \cdot a = 2250 \text{ kg} \cdot 0,5 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 1125 \text{ N}$$

$$F_{Fz} = F_H + F_R + F_B = 9873 \text{ N} + 888 \text{ N} + 1125 \text{ N} = 11886 \text{ N}$$

Wegen der günstigen Dynamik, der tiefen Schwerpunktlage und der erhöhten Standsicherheit wurde das bewährte Prinzip der Radnabenantriebe bei der Umrüstung auf elektrische Fahrtriebe beibehalten. Damit konnte der Umfang der Änderungen am Fahrzeugrahmen klein gehalten werden und das erforderliche Antriebsmoment teilt sich näherungsweise gleichmäßig auf die einzelnen Antriebe auf.

$$M_A = \frac{F_{Fz} \cdot r_{dyn}}{4 \cdot i_G} = \frac{11886 \text{ N} \cdot 0,36 \text{ m}}{4 \cdot 45} = 23,8 \text{ Nm}$$

Die neu konstruierten Radnabenantriebe, die aus einem elektrischen Antrieb, einem zweistufigen Planetengetriebe und der Feststellbremse bestehen, sind in Abbildung 1 dargestellt. Als elektrische Antriebe kommen permanent erregte Synchronmotoren in Scheibenläufer-Bauart zum Einsatz, die einen hohen Wirkungsgrad besitzen und ihr Nennmoment von 24,2 Nm bereits im Stillstand aufbringen können.

Der Entwurf und die Auslegung der Bremsanlage basieren auf der DIN EN ISO 3450 Erdbaumaschinen - Anforderungen und Prüfungen für Bremssysteme^[3]. Die Funktion der Betriebsbremsanlage wird von den elektrischen Antrieben übernommen, die in diesem Fall im Rekuperationsbetrieb arbeiten und die kinetische Energie des Fahrzeugs teilweise in die Batterie zurückspeisen. Eine Hilfsbremsanlage kompensiert den eventuellen Ausfall der Betriebsbremsanlage und gewährleistet das sichere Anhalten der Baumaschine.

Die maximale Fahrzeuggeschwindigkeit von unter 20 km/h erlaubt die Verwendung von Federkraftbremsen mit einem fest eingestellten Bremsmoment. Bei entsprechender Dimensionierung können sie gleichzeitig die Funktion der Feststellanlage übernehmen, die das sichere Abstellen des Fahrzeuges gewährleistet. Die vorteilhafte Anordnung der Bremsanlage vor dem Getriebe erlaubt eine kleinere Dimensionierung der Bremsen, wodurch die Antriebseinheit insgesamt leichter und kompakter ausfällt.

Systemstruktur der Fahrtriebe

Jeder der vier Radnabenantriebe wird von einem eigenen Umrichter mit elektrischer Leistung versorgt, überwacht und in seiner Drehzahl geregelt. Ein Resolver in jedem Antrieb liefert die Information zur Kommutierung, aus der im Umrichter die aktuelle Motordrehzahl ermittelt wird. Die Umrichter beziehen ihre elektrische Leistung direkt aus einem LiFeYPO₄ – Akkumulator mit 72V und 300Ah, dem zentralen Energiespeicher des Fahrzeugs. Gesteuert durch den Master-Umrichter und einen Not-Aus-Schalter unterbricht ein Schütz im Notfall den Stromfluss.

Die Bremse, die sich an jedem Antrieb befindet, wird über einen eigenen Leistungssteller mittels Pulsweitenmodulation angesteuert. Ein DC/DC-Wandler stellt dafür und für die übrigen 12V-Komponenten, die aus dem Serienfahrzeug übernommen wurden, die Betriebsspannung bereit. Zudem versorgt er die Wasserpumpe sowie die Ventilatoren für die Kühler im Öl- und Wasserkreislauf^[1]. Für eine gute Störunterdrückung auf der Betriebsspannung sorgen separate DC/DC-Wandler, die die Versorgung für die Steuergeräte und die Sensoren bereitstellen.

Der Wheel-Controller stellt die zentrale Steuerungskomponente für die Fahrtriebe mit ihren Bremsen dar. Er erhält die Vorgaben des Fahrers über das Fahr- und das Bremspedal, deren analoge Ausgangsspannung mit Hilfe von A/D-Wandlern eingelesen werden sowie über den Lenkradwinkelsensor, einen in die Lenksäule integrierten, berührungslos arbeitenden Drehgeber. Zusätzlich erfasst der Wheel-Controller über den auf dem Halleffekt basierenden Drehgeber den Lenkwinkel von jedem Rad. Aus diesen Informationen erzeugt er die Stellsignale für die Bremsen und die individuellen Drehzahlsollwerte für jeden Antrieb, die er über einen CAN-Bus an die einzelnen Umrichter schickt. Abbildung 2 gibt einen Überblick über die Systemstruktur der Fahrtriebe am Beispiel einer Antriebseinheit.

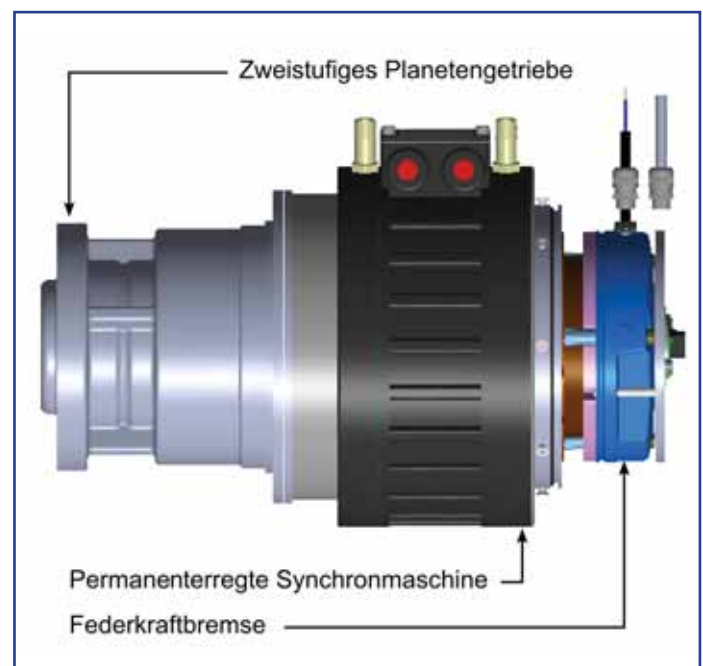


Abbildung 1: Fahrtrieb des Elektro-Radladers

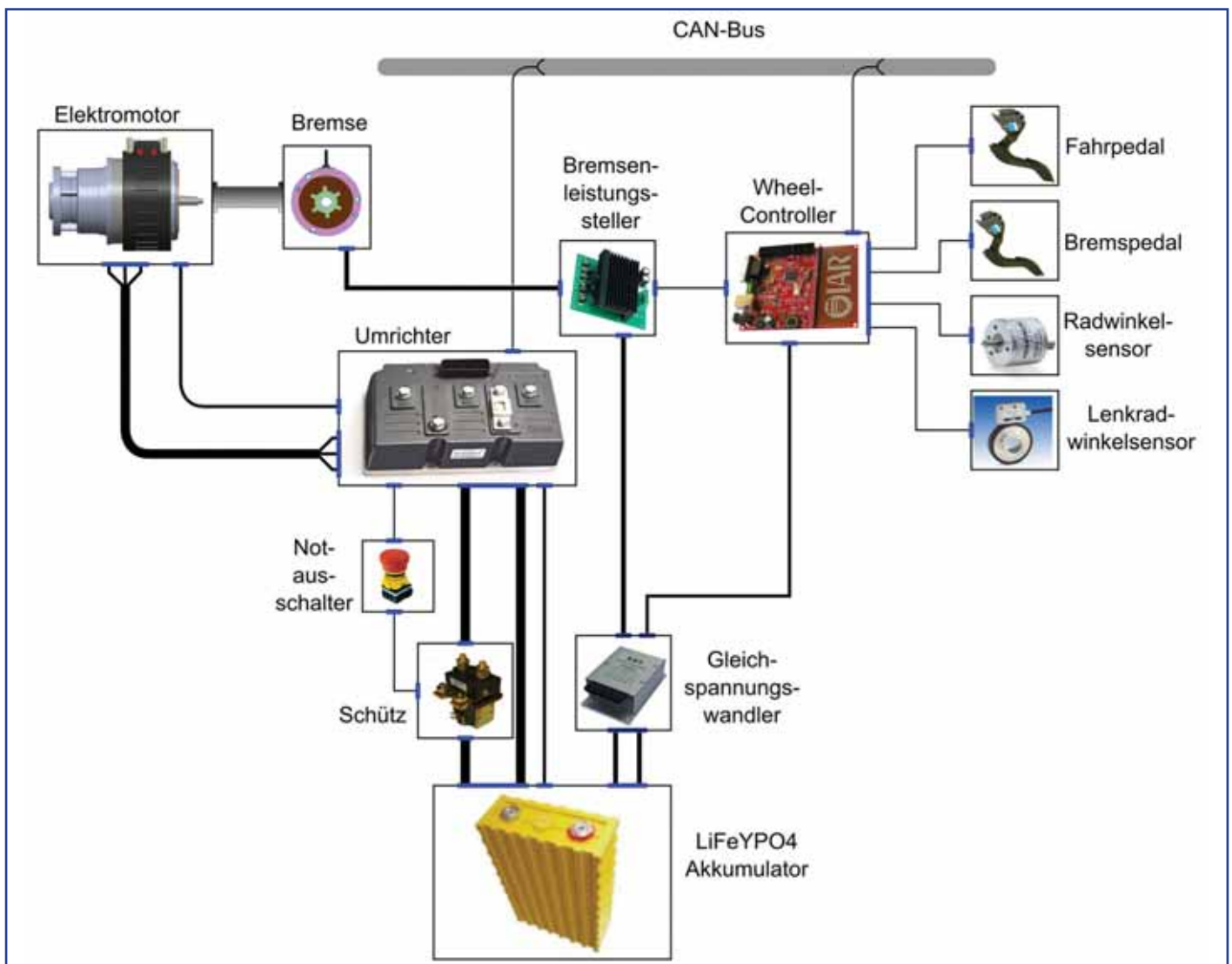


Abbildung 2: Elektrischer Antriebsstrang des Radladers mit Peripherie

Kommunikation und Fahrzeugbussystem

Die Steuerungs- und Regelungsaufgaben sind im Elektro-Radlader auf die drei Steuergeräte Wheel-Controller, Hydro-Controller und Vehicle-Controller aufgeteilt. Diese Steuergeräte basieren auf einem ARM Cortex-M3 Prozessor mit 72MHz und 128kB Programmspeicher. Abbildung 3 zeigt die Systemübersicht mit den Steuergeräten, den Kommunikationswegen und der Peripherie.

Das Temperaturmanagement und die Kommunikation zu den beiden anderen Steuergeräten ist die Aufgabe des Vehicle-Controllers. Er liest das Signal des Drucksensors im Wasserkreislauf sowie die Signale der Temperatursensoren im Öl- und Wasserkreislauf mit Hilfe von A/D-Wandlern ein. Die Temperaturregler im Vehicle-Controller erzeugen daraus Stellgrößen für die Pumpe im Wasserkreislauf sowie die Lüfter am Öl- und Wasserkühler. Um den Energieverbrauch klein zu halten, werden die Pumpe und die Lüfter mit einer pulswidenmodulierten Spannung angesteuert, die eine stufenlose Drehzahlverstellung erlaubt.

Im Elektro-Radlader befinden sich zwei CAN-Bus Systeme. Die Aufteilung der Bussysteme entsprechend ihrer funktionalen Anwendung hat

den Vorteil, dass sie unabhängig voneinander konfiguriert werden können und im Fall einer Störung nicht die komplette Kommunikation unterbrochen ist. Der Vehicle-Controller fungiert als Gateway zwischen dem Wheel-CAN Bus und dem Hydro-CAN Bus. Er ist einerseits als Kommunikationsknoten an den Wheel-CAN Bus angeschlossen. Da die verwendete Rechnerkarte aber nur über einen CAN-Bus Anschluss verfügt, kommuniziert der Vehicle-Controller über einen I²C-Bus mit dem Hydro-Controller und stellt so die Verbindung zwischen den beiden Steuergeräten her.

Der Wheel-CAN Bus wird für die Kommunikation zwischen dem Wheel-Controller und den elektrischen Antrieben auf der Basis des CANopen-Standards verwendet. Dabei empfängt jeder Umrichter vom Wheel-Controller zyklisch individuelle Drehzahlsollwerte in Form eines PDOs. Die Umrichter antworten mit jeweils zwei PDOs, die Informationen über die Motordrehzahl und den momentbildenden Strom enthalten.

Bei einer synchronen Datenübertragung sollte das CANopen-Netzwerk nicht mehr als 80% ausgelastet sein^[4]. Die übertragenen CAN-Botschaften besitzen maximal eine Länge von 130 Bit. Um insgesamt 12 PDOs innerhalb einer Zykluszeit von 20ms zu übertragen, wurde eine

Baudrate von 125kBit/s gewählt. Die resultierende Bausauslastung beträgt damit maximal 63% und liegt deutlich unter dem zulässigen Höchstwert. So ist eine ausreichende Echtzeitfähigkeit des Wheel-CAN Bussystems gewährleistet, die es erlaubt, die Antriebsschlupf-Regelung und die bedarfsorientierte Ansteuerung des Antriebes der Arbeitshydraulik unter der Verwendung von Bussignalen zu realisieren.

Zusätzlich zum zyklischen Datenaustausch mit den Fahrantrieben erlaubt der Wheel-CAN Bus die Kommunikation mit dem Batteriemanagementsystem, das die einzelnen Zellen des Akkus überwacht und Informationen über den aktuellen Ladezustand liefert. Ein CAN/WLAN-Adapter bietet die Möglichkeit, die Botschaften außerhalb des Fahrzeugs zu visualisieren und aufzuzeichnen. Bei Bedarf ist es auch möglich, auf diesem Weg die Steuerungs- und Reglerparameter zu ändern. Die externe Kommunikation des Fahrzeugs über WLAN hat sich bei der praktischen Erprobung und der Optimierung des Fahrverhaltens als sehr hilfreich herausgestellt.

Im Hinblick auf eine möglichst lange Arbeitszeit pro Batterieladung wird die Hydraulikpumpe nicht, wie bei konventionellen Fahrzeugen mit Dieselmotor, permanent angetrieben. Der Hydro-Controller liest stattdes-

sen die Position des Joysticks, mit dem die Arbeitshydraulik bedient wird, sowie die Drucksensoren für die Drücke im Ölkreislauf mit Hilfe von A/D-Wandlern ein. Zusätzlich erhält er über den Vehicle-Controller den Lenkradwinkel und die aktuellen Lenkwinkel der einzelnen Räder. Aus diesen Größen bestimmt der Hydro-Controller die erforderliche Drehzahl für den Antrieb der Arbeitshydraulik^[1]. Die Kommunikation zwischen dem Hydro-Controller und dem zugehörigen Umrichter über den Hydro-CAN Bus folgt den gleichen Prinzipien wie sie für die Fahrantriebe bereits beschrieben sind.

Zusammenfassung und Ausblick

Der im Rahmen des Forschungsprojekts angestrebte Ersatz des Dieselmotors durch dezentrale elektrische Antriebe konnte für die Fahr- antriebe und den Antrieb der Hydraulikpumpe an einem Versuchsträger erfolgreich umgesetzt werden. Neben den konstruktiven Arbeiten wurde eine auf die Anwendung optimierte Systemstruktur entwickelt, die drei Steuergeräte, die für die Funktion erforderlichen Sensoren und die leistungselektronischen Komponenten zur Ansteuerung der Aktoren umfasst.

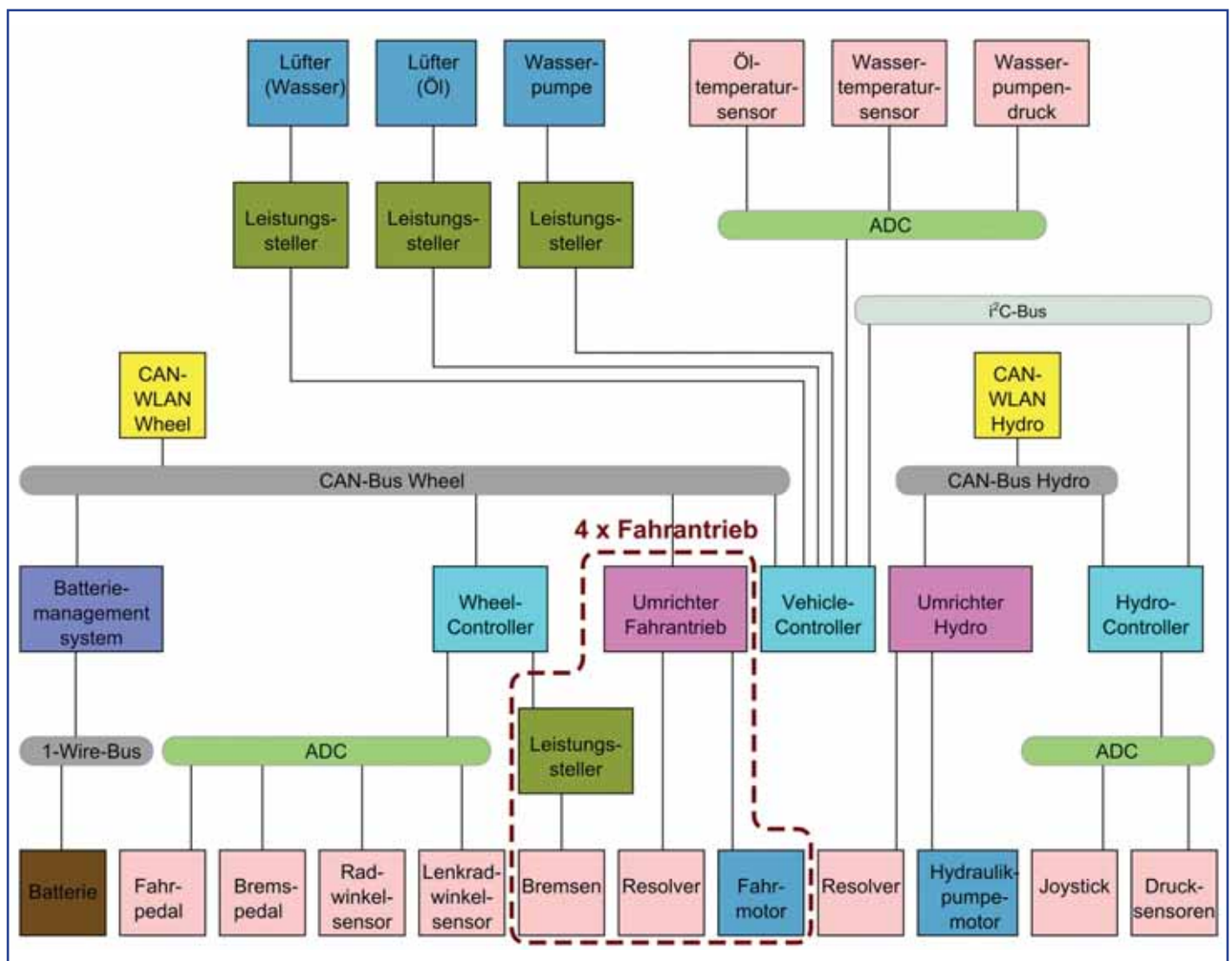


Abbildung 3: Signalfluss zwischen den Systemkomponenten

Zwei CAN-Bus Systeme tragen die Hauptlast der Kommunikation, die zwischen den Umrichtern der Antriebe und den zugehörigen Steuergeräten auftritt. Die Übertragungsgeschwindigkeit gewährleistet eine ausreichende Echtzeitfähigkeit für die bedarfsorientierte Ansteuerung der Hydraulikpumpe und eine Antriebsschlupf Regelung.

In weiteren Arbeiten soll das Fahrzeug auf eine elektromechanische Lenkung umgerüstet werden. Im Rahmen umfangreicher praktischer Erprobungen ist ein Vergleich zum Serienfahrzeug, insbesondere hinsichtlich der Schallemissionen, der Effizienz und der Dynamik vorgesehen.

Literaturverzeichnis

^[1] Kosiedowski, U. ; Butsch, M. ; Zimantovski, D.: Technologie Transfer: Hydrauliksystem eines Elektro-Radladers. Konstanz: FORUM Das Forschungsmagazin der Hochschule Konstanz, 2012-2013

^[2] Bauer, T.: Auslegung und Konstruktion einer elektrischen Antriebseinheit für den Kramer Allrad Minilader 350. Konstanz: unveröffentlichte Bachelorarbeit an der HTWG Konstanz, 2010

^[3] Erdbaumaschinen - Maschinen auf Rädern oder schnelllaufende gum-migleiskettenbereifte Maschinen - Anforderungen und Prüfungen für Bremssysteme (ISO 3450:2011); Deutsche Fassung EN ISO 3450, 2011

^[4] <http://www.me-systeme.de/canbus.html>, aufgerufen am 1.Juli 20014

^[5] Butsch, M. ; Kosiedowski, U. ; Mack, M. ; Zimantovski, D.: Developing an electric powertrain platform for 4wd commercial vehicles – using the example of a wheel loader. Grand River: Electric & Hybrid Vehicle Technology Expo, 2013

Autoren

Prof. Dr.-Ing. Uwe Kosiedowski
Prof. Dr.-Ing. Michael Butsch
Prof. Dr.-Ing. Peter Kuchar
M. Mack
D. Zimantovski

Fakultät Maschinenbau
HTWG Konstanz / University of Applied Sciences
Brauneggerstr.55
D-78462 Konstanz

Tel.: +49 (0) 7531 / 206-721
Fax: +49 (0) 7531 / 206-558
E-Mail: uwe.kosiedowski@htwg-konstanz.de
www.ma.htwg-konstanz.de

Simulation und Test in der Automatisierung

quasi en passant?

Die Software zur Automatisierung technischer Prozesse muss aufwändig getestet werden, um ihre Zuverlässigkeit nachzuweisen. Je später Fehler erkannt werden, umso umfangreicher sind nachträgliche Korrekturen. Deshalb ist es notwendig, die Software vor und im Fall von Änderungen auch nach der Inbetriebnahme umfangreich zu simulieren und zu testen. Wie mit einfachen Mitteln der Aufwand für Simulation und Test erträglich bleiben kann, wird derzeit am Institut für Automatisierungssysteme der Hochschule Mannheim untersucht.

Entwicklung der Automatisierungssoftware

Die Automatisierung industrieller Maschinen und Anlagen erfolgt meist durch standardisierte Steuerungsrechner, wie z.B. speicherprogrammierbare Steuerungen (SPS). Sie lesen die Prozessinformation von Sensoren ein und führen einen vorab programmierten Automatisierungsalgorithmus aus, der i.d.R. elektrisch angetriebene Aktoren (z.B. Pumpen, Rührer, Förderbänder, Bewegungsachsen o.ä.) ansteuert und so den Prozess in der gewünschten Art und Weise beeinflusst^[1].

Anhand des einfachen Beispiels einer Mischanlage nach Bild 1 soll die Entwicklung modularer SPS-Software im TIA-Portal kurz erläutert werden^[2]. Die Anlage besteht aus vier Aktoren, die im Grunde gleich funktionieren, denn die Motoren können von der Steuerung nur ein- und ausgeschaltet bzw. die Ventile können auf- und zugefahren werden. Diese Basisfunktionalität wird anlagenneutral in einem Funktionsbaustein TYP_IDF1 programmiert, der in den jeweiligen Ansteuerprogrammen als Datenbaustein N1, N2, N3 bzw. Y1 instanziiert wird.

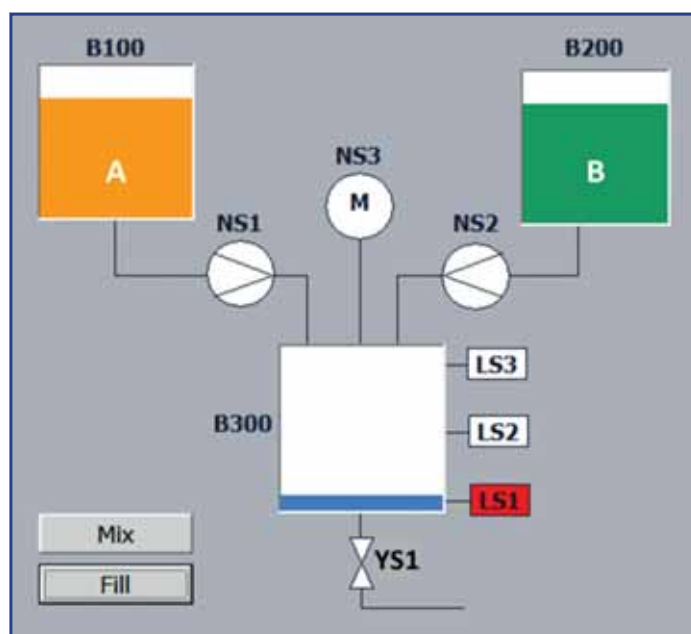


Bild 1: Anlage zum Mischen von Flüssigkeiten

Auch für die Sensoren wird ein Funktionsbaustein TYP_BIN entwickelt, der das binäre Sensorsignal im Ruhestromprinzip einliest und ggf. eine Alarmmeldung (Behälter voll, halb voll bzw. leer) ausgibt. Dieser Funktionsbaustein wird in den Ansteuerprogrammen als Datenbaustein L1, L2 bzw. L3 instanziiert. Die Software für dieses Beispiel steht zum Download in das TIA-Portal in^[7] zur Verfügung.

Die Verknüpfung der Ansteuerprogramme erfolgt meist durch Schrittketten wie in Bild 2, die den gewünschten Prozessablauf schrittweise realisieren. In dem hier betrachteten Beispiel aktiviert der Bediener den Mischprozess durch Betätigung der Taste Mix, wodurch die Schrittkette zunächst die Pumpe NS1 einschaltet, um Flüssigkeit A in den Behälter B300 zu fördern. Nach Erreichen des Sensors LS2 aktiviert die Schrittkette die Pumpe NS2 und den Rührer NS3, bis der Behälter voll ist. Zum Abfüllen der Mischung muss der Bediener dann die Taste Fill betätigen, so dass die Schrittkette das Ventil YS1 öffnet, bis der Behälter leer ist.

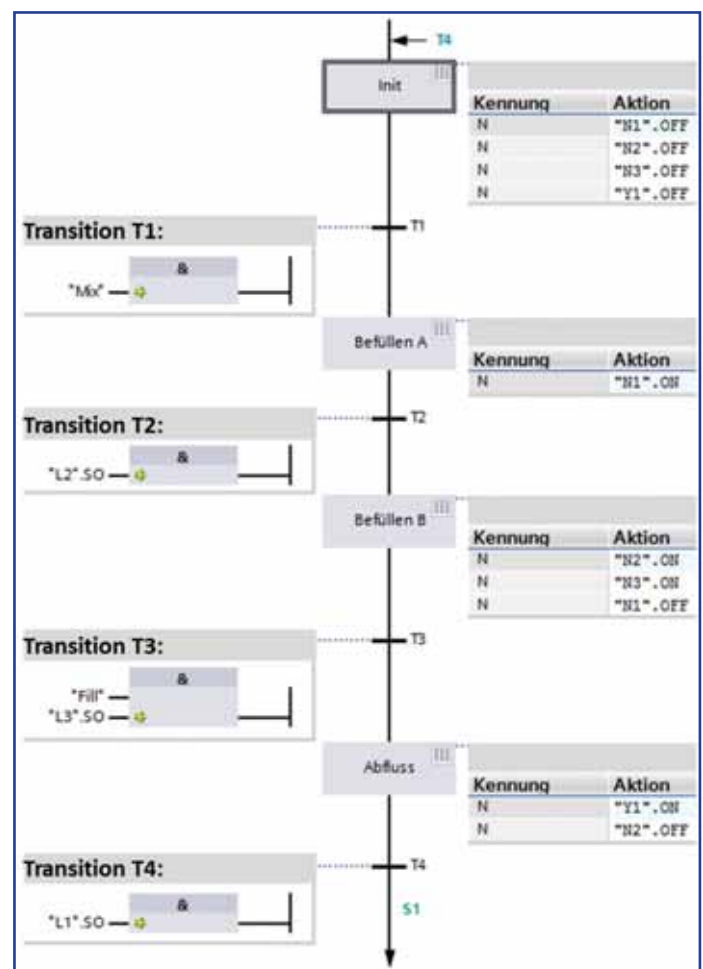


Bild 2: Schrittkette zur Programmierung des Prozessablaufs im TIA-Portal

Trotz der klaren modularen Struktur ist die Entwicklung der Automatisierungssoftware für industrielle Anlagen mit Hunderten von Sensoren und Aktoren im Allgemeinen sehr aufwändig und komplex. Die gilt genauso für die Simulationssoftware.

Entwicklung der Simulationssoftware

Der Einsatz professioneller Simulationssysteme^[3,4] für Automatisierungssysteme ist meist teuer und aufwändig zu konfigurieren, weil das dynamische Anlagenverhalten möglichst genau nachgebildet wird. Um die prinzipielle Funktionsweise der Automatisierungssoftware zu testen, genügt es jedoch völlig, das dynamische Prozessverhalten nur grob zu modellieren. Wichtiger als eine exakte Reglereinstellung, die ohnehin bei der Inbetriebnahme mit der realen Anlage durchgeführt wird, ist das prinzipielle Zusammenspiel der Sensorauswertungs- und Aktoransteuerprogramme.

Um Aufwand und Kosten für die Simulation gering zu halten, empfiehlt es sich, wie für die Steuerungssoftware auch anlagenneutrale Funktionsbausteine für die Simulation der wesentlichen Sensoren und Aktoren anzulegen. Dann wird für jeden Sensor und jeden Aktor ein Simulationsprogramm erstellt, in dem die Simulationsbausteine instanziiert werden. Die Simulationsbausteine der Sensoren simulieren den Sensordatenrohwert, z.B. eines Füllstandes, einer Position oder einer Temperatur abhängig von der Ansteuerung der Aktoren.

Der Behälterfüllstand wird auf Basis der angesteuerten Aktorik simuliert durch den Baustein SIM_TANK, der Baustein SIM_BIN simuliert die Messsignale, die von den Bausteinen L1, L2 und L3 eingelesen werden^[7].

Da die Funktionsbausteine nur einmal entwickelt werden müssen, stehen sie für zukünftige Projekte in Bausteinbibliotheken zur Verfügung. Die Bausteine zur Steuerung wie zur Simulation können dann einfach per Drag-and-Drop in die Anwendungsprogramme hineingezogen werden, so dass die Simulationssoftware zusammen mit der Steuerungssoftware ohne viel Mehraufwand generisch aufgebaut wird.

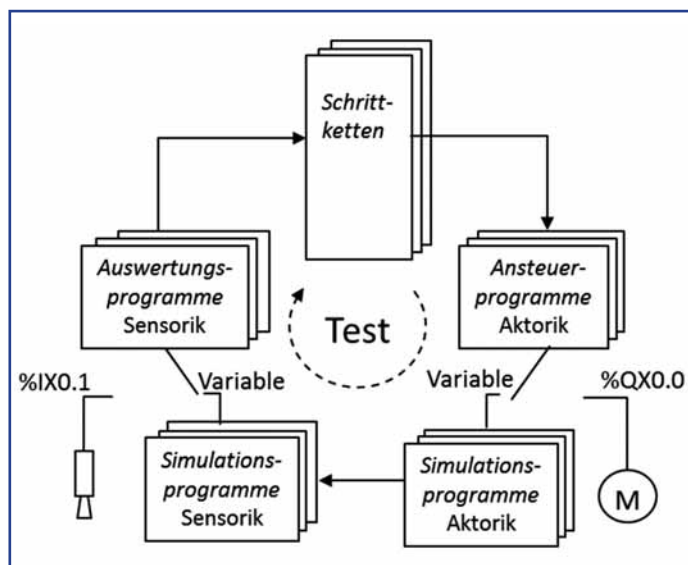


Bild 3: Aufbau der Steuerungs- und Simulationssoftware

Das in Bild 3 skizzierte Zusammenspiel zwischen Steuerungs- und Simulationssoftware zeigt, dass die Umschaltung von der Simulation auf die Anlage über Variablen erfolgt, auf die zur Steuerung der Anlage die Kanaladressen der SPS-Ein-/Ausgangskanäle gemappt werden.

Sicherlich ist auch die Simulationssoftware durch die Vielzahl der zu simulierenden Sensoren und Aktoren komplex. Durch Aggregation der anlagenneutralen Funktionsbausteine auf Anlagenteile, die immer wieder vorkommen, kann z.B. die Simulation eines ganzen Behälters durch einen Funktionsbaustein realisiert werden^[5].

Testautomatisierung

Schrittketten automatisieren den gewünschten Prozessablauf. Sie testen somit das Anlagenverhalten, indem sie die Aktorik ansteuern und in den Transitionen (Weiterschaltbedingungen) prüfen, ob die eingelesenen Messwerte die gewünschte Prozessreaktion hervorgerufen haben. Mit Hilfe der Simulationsprogramme können diese Tests auch ohne Anlage durchgeführt werden, um das reibungslose Zusammenspiel der Steuerungssoftware zu testen.

Die Protokollierung der Tests kann automatisiert werden, indem die Änderungen der in der Schrittfolge verarbeiteten Variablen (s. Bild 2) mit Zeitstempel als csv-Datei archiviert werden. In Excel lassen sich aus den Änderungen mit signifikantem Zeitabstand die in Bild 4 aufgelisteten Testfälle 1-7 protokollieren. Die Testdurchführung erfolgt automatisch durch die Aktionen der Schrittfolge, z.B. indem der Bediener die Taste Mix betätigt und die Pumpe N1 eingeschaltet wird. Das jeweilige Akzeptanzkriterium ergibt sich aus den Transitionen der Schrittfolge und gibt an, wann der Test erfolgreich ist, z.B. wenn der Behälter befüllt wird und L1 nicht mehr meldet, dass der Behälter leer ist (0 statt 1).

Schrittfolge											
Schritt-Nr.		Aktionen					Bediener-eingaben		Transitionen		Testergebnis
Zeit	Schritt	Testdurchführung					Akzeptanzkriterium				
		N1	N2	N3	Y1	Mix	Fill	L1	L2	L3	
1	1							1			OK
2	2	1				0,5		0			OK
3	3	0	1	1					1		OK
4			0							1	OK
5	4			0	1		0,5			0	OK
6									0		OK
7	1				0			1			OK

Bild 4: Automatisch erstelltes Testprotokoll (der Wert 0,5 ist ein Mittelwert, da die Tasten sehr schnell von 1 auf 0 zurückspringen)

Schließlich wird das Testergebnis durch Vergleich der protokollierten Werte von Testdurchführung und Akzeptanzkriterium mit den erwarteten Werten automatisch ermittelt^[6].

Die Protokollierung der Tests kann nicht vollständig automatisiert werden, da hierfür die archivierten SPS-Daten zuerst in eine vorbereitete Excel-Tabelle^[7] eingefügt werden müssen. Außerdem ist die Excel-Tabelle nicht universell, sondern muss auf den jeweiligen Prozessablauf hin mit seinen spezifischen Akzeptanzkriterien ausgelegt werden. Trotzdem

ergibt sich durch diese Protokollierung eine Zeitersparnis, insbesondere wenn infolge von Änderungen Wiederholungstests notwendig werden.

Fazit

Das vorgestellte Vorgehen zur Softwareentwicklung basiert auf dem Grundsatz, anlagenneutrale Funktionsbausteine für die wesentlichen Automatisierungsfunktionen als geräteneutrale Typicals zu entwickeln. Auf der Webseite ^[7] stehen Bibliotheken mit solchen geräteneutralen Bausteinen für das TIA-Portal sowie das in diesem Beitrag diskutierte Beispielprojekt zum Download bereit.

Die Steuerungs- und Simulationsbausteine können so in jedem Projekt immer wieder eingesetzt werden. Dadurch reduziert sich der Aufwand für die Automatisierungs- und Simulationssoftware auf die Instanziierung der Typicals und die Verknüpfung durch Schrittketten. Diese automatisieren wiederum den Test des gewünschten Prozessablaufs, der automatisch protokolliert und ausgewertet werden kann.

Insbesondere die Testautomatisierung dient zur Verifizierung der Software vor der Inbetriebnahme aber auch danach, weil bei jeder Softwareänderung immer wieder die gesamte Software erneut getestet werden muss, um Rückwirkungen der Änderung auf andere Softwarebereiche auszuschließen.

Literatur

- ^[1] Seitz, M.: Speicherprogrammierbare Steuerungen für die Fabrik- und Prozessautomation, Hanser Verlag, 2012
- ^[2] Siemens: Totally Integrated Automation Portal, www.industry.siemens.com/topics/global/de/tia-portal
- ^[3] Siemens: SIMIT – Simulation & Testing, www.automation.siemens.com
- ^[4] Mewes und Partner: Simulation, Virtualisierung, Kommunikation und Interaktion in Echtzeit mit WinMOD, <http://www.mewes-partner.de>
- ^[5] Seitz, M.: Prozesssimulation im Automatisierungssystem – Objektorientierte Strukturierung für Rezepte und Tests. In: atp-edition, Deutscher Industrieverlag, München, 2013.
- ^[6] Stoll, L.: Erweiterung der Bausteinbibliothek für Simulieren und automatisches Testen mit Step7 im TIA-Portal, Studienarbeit, Inst. f. Automatisierungssysteme, Hochschule Mannheim, 2014.
- ^[7] Hochschule Mannheim: Projektbeispiele zur Simulation und zum automatischen Testen in speicherprogrammierbaren Steuerungen, www.es.hs-mannheim.de/sps/SimAT

Autoren

Prof. Dr.-Ing. Matthias Seitz
cand. B.Sc. Lars Stoll

Hochschule Mannheim
Institut für Automatisierungssysteme
Paul-Wittsack-Straße 10, 68163 Mannheim.

Tel.: +49 (0)6151 / 606233
Fax: +49 (0)621 / 292-662782
E-Mail: m.seitz@hs-mannheim.de

Arbeitsmarkt Ingenieurwesen

in der Mechatronik, Energie- und Elektrotechnik

Die Arbeitsmarktsituation für Experten der Mechatronik, Energie- und Elektrotechnik stellt sich gut dar. Arbeitslosigkeit spielt in diesem Berufsfeld kaum eine Rolle. Die Zahl der gemeldeten Stellen bewegte sich auf einem ordentlichen Niveau. Die Beschäftigung war in den letzten Jahren tendenziell rückläufig. Dies könnte aber auch ein Indiz für Schwierigkeiten von Unternehmen sein, qualifizierte Elektrotechnik-Absolventen in ausreichender Zahl zu finden. Vor allem in den südlichen und westlichen Bundesländern zeigte sich ein Expertenmangel im Bereich der Mechatronik, Automatisierungstechnik und Elektrotechnik. Das in den letzten Jahren steigende Interesse an einem Studium der Elektrotechnik dürfte in den nächsten Jahren aber den Engpässen entgegenwirken.

Zahl der Beschäftigten rückläufig

Laut Mikrozensus waren 2012 rund 158.000 Experten der Mechatronik, Energie- und Elektrotechnik in Deutschland tätig. Rund jeder zehnte übte seine Arbeit als Selbständiger aus. Mit 143.000 Personen befand sich die große Mehrheit in einem abhängigen Beschäftigungsverhältnis als Angestellte, Beamte oder Minijobber beispielsweise neben einem Studium.

Die Beschäftigtenstatistik der Bundesagentur für Arbeit, für die bereits Daten für 2013 vorliegen, weist im Feld der Mechatronik, Energie- und Elektrotechnik rund 85.000 sozialversicherungspflichtig beschäftigte Experten aus.

Vergleiche mit früheren Jahren sind aufgrund der Klassifikationsumstellung nicht möglich. Aussagen zu Entwicklungstrends können aber getroffen werden, wenn man stattdessen die Entwicklung der Berufsgruppe von Elektroingenieuren¹ betrachtet: Hier ist die Zahl der sozialversicherungspflichtig Beschäftigten von 2003 bis 2011 um 13 Prozent gesunken. Damit gehören Elektroingenieure zu den wenigen Berufsgruppen, bei denen die Beschäftigtenzahl langfristig rückläufig ist. Es scheint, als ob die geringen Absolvientenzahlen in den Jahren

vor und nach der Jahrhundertwende dazu führten, dass Beschäftigungsmöglichkeiten unausgeschöpft geblieben sind. Darüber hinaus kann von einer zunehmenden Verlagerung vom Berufsfeld Elektrotechnik hin zur (Technischen) Informatik ausgegangen werden. In der Zusammenschau betrachtet, ist das Berufsfeld Informatik/ Informations- und Elektrotechnik jedoch merklich gewachsen.

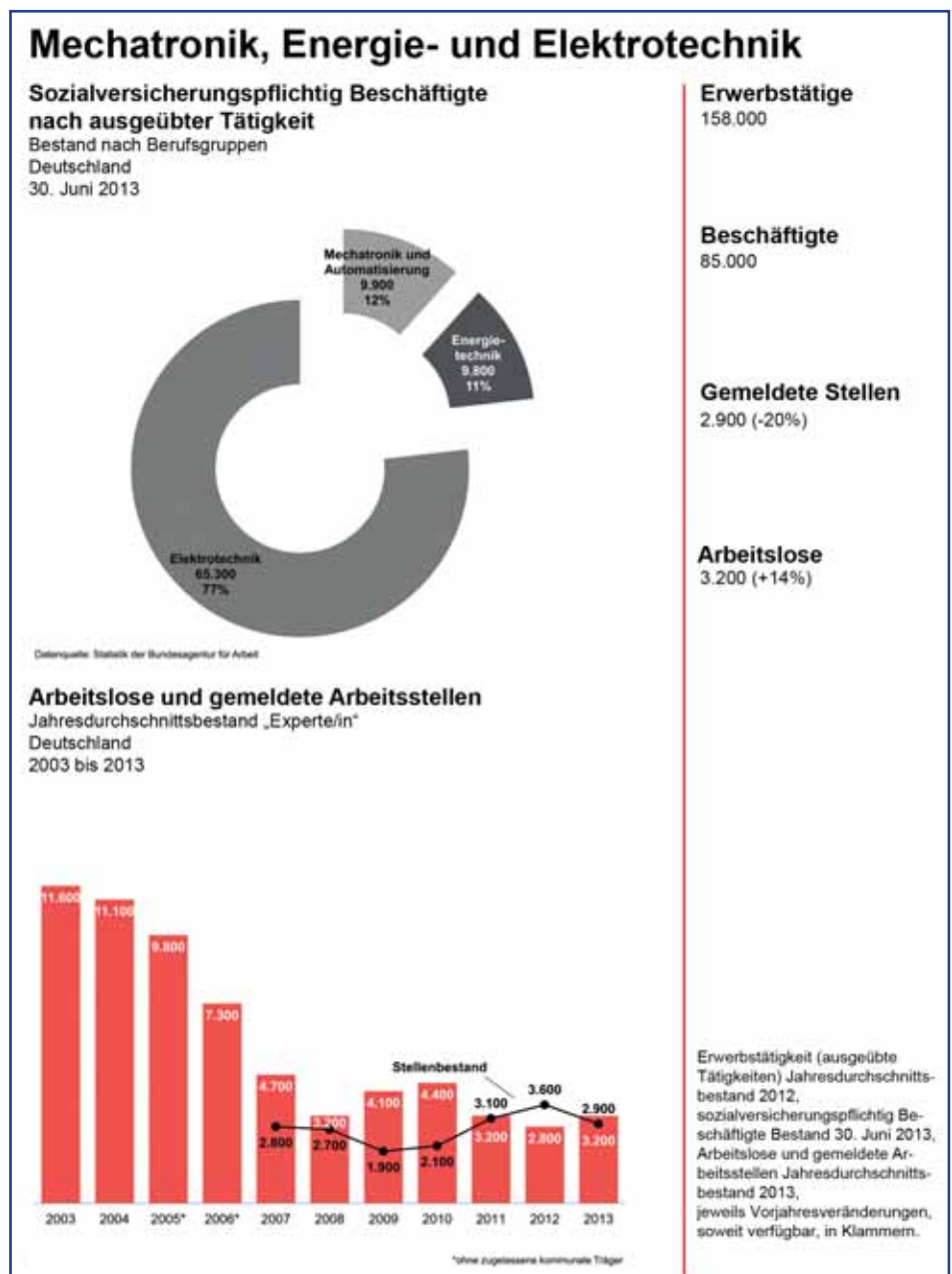


Abbildung 1 – Datenquelle: Statistik der Bundesagentur für Arbeit

¹ Die Berufsordnung 602 (Klassifikation der Berufe 1988) beinhaltet ähnliche Tätigkeitsprofile wie die akademischen Mechatronik, Energie- und Elektroberufe (Klassifikation der Berufe 2010). Die Berufsabgrenzungen weisen aber auch deutliche Unterschiede auf. Sie sind daher nicht direkt vergleichbar.

Nachfrage auf gutem Niveau

Die Zahl der gemeldeten Stellen für Experten der Mechatronik, Energie- und Elektrotechnik ist 2013 zurückgegangen. Im Jahresdurchschnitt 2013 hatten die Vermittlungsfachkräfte der Bundesagentur für Arbeit rund 2.900 Stellen im Angebot, ein Fünftel weniger als im Vorjahr (Abbildung 1). Der Zugang an Stellenofferten, der das Nachfragevolumen eines Jahres besser beschreibt, belief sich auf 8.000 Stellenangebote. Das waren 15 Prozent weniger als im Vorjahreszeitraum. Hier dürfte sich einerseits die etwas moderatere Konjunktur niederschlagen. Andererseits ist denkbar, dass Unternehmen ihre freien Stellen seltener melden, weil sie die Chancen auf eine erfolgreiche Besetzung in Zeiten von Fachkräftengpässen als gering einschätzen. Ein Indikator für diese anhaltenden Schwierigkeiten bei der Stellenbesetzung ist die Vakanzzeit. Sie umfasst die Zeitspanne zwischen dem vom Arbeitgeber gewünschten Besetzungstermin und der tatsächlichen Abmeldung der Stelle bei der Arbeitsvermittlung. Sie ist in den letzten Jahren fortwährend gestiegen und lag 2013 im Feld der Mechatronik, Energie- und Elektrotechnik bei durchschnittlich 126 Tagen. Im Durchschnitt aller gemeldeten Stellen für Experten betrug die Vakanzzeit lediglich 85 Tage (Abbildung 2).

Fachkräftengpässe in der Mechatronik, Automatisierungs- und Elektrotechnik

Vor allem in den westlichen Bundesländern klagen Unternehmen über Probleme, ihre offenen Stellen adäquat zu besetzen. Die erheblich gestiegenen und deutlich über dem Schnitt liegenden Vakanzzeiten untermauern diese Einschätzungen auch objektiv, wobei sich der Fachkräftemangel auf die Bereiche Mechatronik, Automatisierungs- und Elektrotechnik fokussiert (nicht Energietechnik).



Abbildung 3 – Datenquelle: Engpassanalyse der Bundesagentur für Arbeit, Juni 2014

Ein weiteres Indiz für die aktuelle Mangelsituation ergibt sich aus der Arbeitslosen-Stellen-Relation. Bundesweit kamen 2013 auf 100 gemeldete Stellen im Bereich Mechatronik, Automatisierungs- und Elektrotechnik rechnerisch nur 99 Arbeitslose. Im Feld der Energietechnik ist dagegen – mit einer Arbeitslosen-Stellen-Relation von über 300 Arbeitslosen auf 100 gemeldete Arbeitsstellen – kein Fachkräftemangel erkennbar.

Regional gesehen gibt es merkbare Unterschiede. Während in vielen westlichen Ländern Besetzungsprobleme auftraten, waren beispielsweise in Berlin noch Fachkräftepotenziale vorhanden. Hier überstieg die Zahl der arbeitslosen Mechatronik-, Automatisierungs- und Elektrotechnikexperten die Zahl der Stellen deutlich (Abbildung 3). In absehbarer Zeit dürften außerdem auch die stark angestiegenen Studierendenzahlen in zunehmendem Maße zur Entspannung der Engpass-Situationen beitragen.

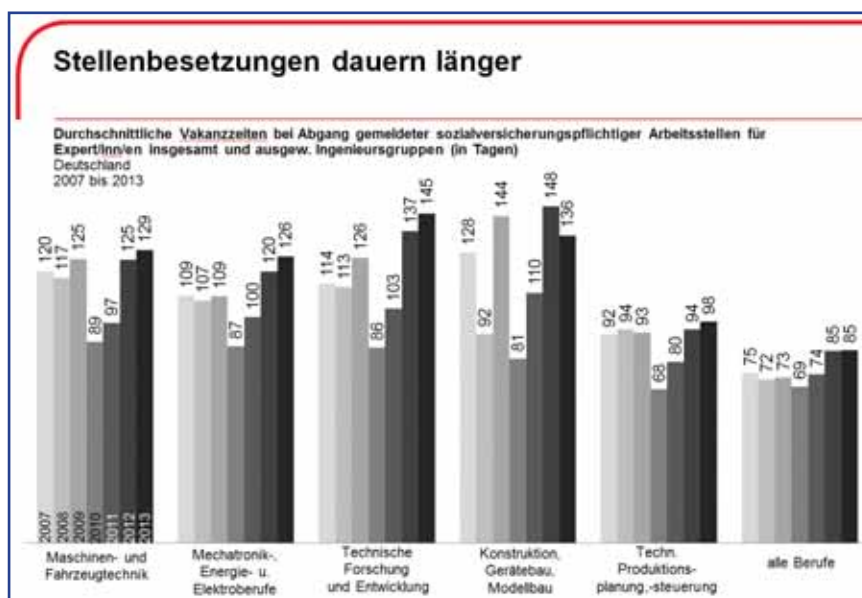


Abbildung 2 – Datenquelle: Statistik der Bundesagentur für Arbeit

Hoher Bedarf bei Zeitarbeitsunternehmen, in Ingenieurbüros und der IT- und Elektroindustrie

Hohe Nachfrage kam 2013 von Ingenieurbüros – mehr als jede fünfte gemeldete Stelle war hier zu besetzen (Abbildung 4). Außerdem wurden viele Fachexperten der Mechatronik, Energie- und Elektrotechnik von Firmen gesucht, die Datenverarbeitungsgeräte oder elektrische und optische Produkte herstellen. Weitere Vakanzen kamen von Maschinenbauern, dem Öffentlichen Dienst, von IT-Dienstleistern und Herstellern elektrischer Ausrüstungen und Systeme. Des Weiteren fanden sich unter den Top Ten der Wirtschaftszweige Unternehmenszentralen und -beratungen, das Bildungswesen, hier vor allem die Hochschulen, gefolgt von Einrichtungen, deren Schwerpunkt bei Aufgaben der Forschung und Entwicklung liegt. Viele Stellen (27 Prozent) waren darüber hinaus bei Zeitar-

Gemeldete Stellen für hochqualifizierte E-Techniker rückläufig

Zugänge (Jahressumme) an gemeldeten Arbeitsstellen für Expert/innen der Mechatronik, Energie- und Elektrotechnik sowie Anteile der meldenden Branchen 2013 in Prozent
Deutschland 2007 bis 2013

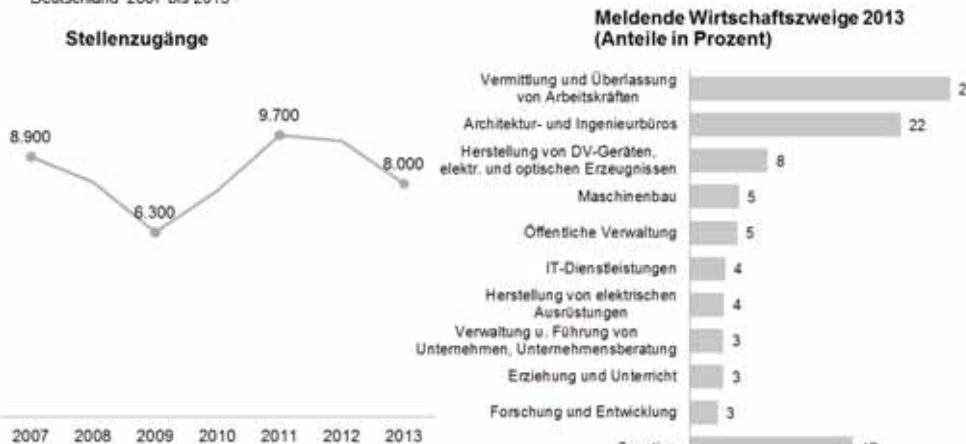


Abbildung 4 – Datenquelle: Statistik der Bundesagentur für Arbeit

beitsunternehmen zu besetzen. Für diese Stellen kann aber nicht näher ermittelt werden, in welcher Branche der Bedarf tatsächlich bestand.

Kaum Arbeitslose

Die Zahl der Arbeitslosen, die 2013 eine Expertentätigkeit in der Mechatronik, Energie- und Elektrotechnik anstrebten, ist gegenüber 2012 leicht um 14 Prozent gestiegen. Die Zunahme sollte nicht überbewertet zu werden, war doch 2013 gleichzeitig der zweitniedrigste Stand

abschluss und 3.000 mit einem traditionellem Diplom-Abschluss. Zu bedenken ist allerdings, dass drei von vier Bachelorabsolventen ein weiteres Studium anstreben und damit dem Arbeitsmarkt nicht sofort zur Verfügung stehen.² Berücksichtigt man diesen Fakt, könnte trotz gestiegener Zahl bestandener Prüfungen die Zahl der tatsächlichen Berufseinsteiger 2012 sogar etwas geringer gewesen sein als in den Vorjahren.

Im Studienjahr 2012/13 schrieben sich 26.400 Technikinteressierte in einen Studiengang der Elektrotechnik ein. Nach dem Rekordstand

des Studienjahres 2011/12 ist das die zweithöchste Einschreibungszahl überhaupt in diesem Fach. Nicht zuletzt die guten Arbeitsmarktperspektiven dürften dazu geführt haben, dass sich seit 2007 mehr und mehr junge Menschen für die Aufnahme eines Studiums dieser Fachrichtung entschieden.

Mehr Studierende der Elektrotechnik

Studierende insgesamt und darunter im 1. Fachsemester sowie erfolgreiche Prüfungen (Absolvent/innen) im Studienbereich Elektrotechnik (ohne Lehramt)
Deutschland
2003 - 2012

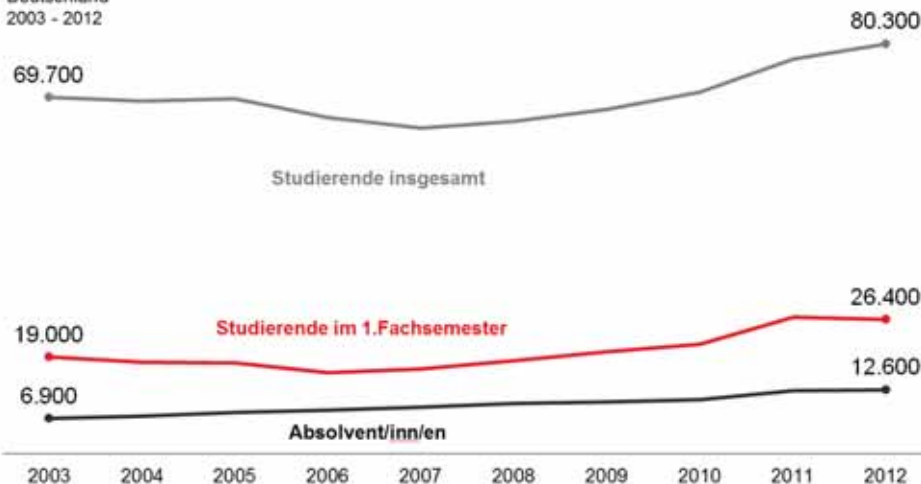


Abbildung 5 – Datenquelle: Statistisches Bundesamt

Ralf Beckmann
Judith Wüllerich
arbeitsmarktberichterstattung@
arbeitsagentur.de

² Quelle: HIS – Hochschulinformationssystem „Übergang vom Bachelor- zum Masterstudium“, 2012

Industrie 4.0 an der Hochschule Pforzheim

Der Ausdruck „Industrie 4.0“ wird derzeit häufig als Synonym für die vierte industrielle Revolution herangezogen. Nach der Erfindung des mechanischen Webstuhls (1. industrielle Revolution), der Einführung der Fließbandproduktion (2. industrielle Revolution) und der Anwendung von speicherprogrammierbaren Steuerungen (3. industrielle Revolution) werden moderne Produktionsstätten nun mithilfe von Webtechnologien miteinander vernetzt und dadurch hoch-flexibel einsetzbar. Doch im Gegensatz zu den drei vorangehenden Revolutionen fokussiert die nun anstehende 4. Stufe nicht eine einzige Lösung (mit einem sehr offensichtlichen Effekt), sondern eine Reihe von neuen Ideen, deren Lösung sich noch in der Umsetzung befindet. Die technischen Voraussetzungen, welche für I4.0 notwendig sind, wie bspw. Cloud Computing, Intelligente Feldgeräte, vernetzte oder virtualisierte Automatisierungssysteme sind bereits heute realisierbar. Aktuelle Forschungsvorhaben müssen jedoch die komplexe Fragestellung nach der sinnvollen, effektiven und in Zeiten von „Cyber Attacks“ auch der sicheren Anwendung beantworten. Aus diesem Grund ist es wichtig, neue Konzepte ohne große Umwege an realistischen Beispielen zu validieren. Hierzu gehört zweifelsohne die Abbildung von neuen Software-Konzepten auf dem Gebiet der Automatisierung neuer Produktionsanlagen. Diese Abbildung lässt sich an den Forschungsinstituten und Hochschulen des Landes weitgehend durch

bestehende Rechnerkapazitäten bzw. durch die Nutzung von Internet-basierten Services abdecken. Als Beispiel können Versuche, eine ansonsten real existierende Steuerung als rein virtuelle Repräsentation in einer „public Cloud“ zu applizieren, mithilfe von für jedermann buchbaren Cloud-Anbietern (z.B. Google, Amazon, HP, etc.) bewerkstelligt werden. Dies ist derart einfach in die Wege zu leiten, dass es auch in kürzeren studentischen Arbeiten problemlos getestet werden kann. Für eine umfassende Validierung der Konzepte fehlt jedoch ein wichtiger Teil – die reale Produktionsanlage anhand derer reale Problemstellungen, reale zeitliche Bedingungen, reale Umgebungseinflüsse, reale und unvorhersehbare Ereignisse in die Forschung miteinbezogen werden können. Diese Art der Konzeptvalidierung ist für eine erfolgreiche industriennahe Forschung aus zwei Gründen notwendig: 1. Es wird vermieden, Lösungen für Probleme zu entwickeln die gar nicht existieren und 2. es wird sichergestellt, dass die entwickelten Lösungen in der Praxis auch eingesetzt /umgesetzt werden können.

In einem ersten Schritt hin zum realitätsnahen Validierungskonzept für Industrie 4.0 Applikationen können die später forcierten Produktionsanlagen auf Basis eines Simulationsmodelles virtuell abgebildet und als Testobjekt verwendet werden. Dies hat den Vorteil, dass mit steigender



Bild 1: Mechatronik-Team beim Aufbau der Modellanlage

Genauigkeit des Anlagenmodells, der Umfang dessen was getestet werden kann bereits eine praxisnahe Bewertung der Konzepte erlaubt. In diesem Zusammenhang wird im Cluster Mechatronik der HS Pforzheim das I4.0-Thema der Virtuellen Inbetriebnahme erforscht und in industrielle Applikationen überführt. Ziel ist es, Steuerungskonzepte anhand virtueller Repräsentationen (Simulationsmodellen der Anlage) zu testen um somit bei der späteren realen Inbetriebnahme Fehler zu vermeiden. Diese Forschung wird von Prof. Barth auch in eine Richtlinienarbeit im Rahmen des VDI/VDE GMA Fachausschusses 6.11 (<http://www.vdi.de/technik/fachthemen/mess-und-automatisierungstechnik/fachbereiche/engineering-und-betrieb-automatisierter-anlagen/gma-fa-611-virtuelle-inbetriebnahme>) überführt.

Trotz der Vorteile, die Simulation für die Validierung der I4.0-Applikationen bietet, bleibt ein wesentliches Problem bestehen: es muss sichergestellt sein, dass das Anlagenmodell auch der realen Zielanlage entspricht, sodass sich kein oder ein nur unbedeutendes Delta zur Realität einstellt. Die bislang beschriebenen Zusammenhänge sollen in einem Beispiel erläutert werden.

Es soll ein I4.0 Konzept entwickelt werden, in dem ein Teil einer in IEC 61131-3 entwickelten Steuerungsapplikation, die normalerweise auf einer Industrie-SPS arbeitet, als Cloud-basiertes Konzept realisiert wird. Hierzu wurde eine private Cloud auf einem ESX Server an der Hochschule aufgesetzt. Das Konzept sieht vor, dass zukünftig keine oder nur Teile einer realen Hardware angeschafft und in der Anlage verbaut werden. Dies ähnelt derzeitigen Service Konzepten, in denen Software-Pakete nicht mehr mit einer Lizenz lokal auf einem Rechner installiert werden, sondern bei einem Anbieter gemietet und als Browserapplikation angewendet werden (vgl. Office 365). Die Steuerung regelt die Produktionsanlage quasi aus dem Internet. Eine durchaus charmante Idee, bedenkt man die wegfallend Kosten für Anschaffung, Inbetriebnahme, Wartung und Austausch realer Steuerungskomponenten. Doch an dieser Stelle kommen die zu Beginn dieses Beitrags genannten offenen Forschungsfragen zu tragen. Wie kann das technisch Machbare industrierelevant und sicher eingesetzt werden. Für die Validierung dieses Konzeptes müssen also realitätsnahe Kommunikationswege implementiert werden, d.h. ein industrielles Bussystem der Anlage (z.B. Profibus, Industrial Ethernet, Ethercat, etc.) welches über Netzwerk mit externen oder internen Servern (z.B. über TCP/IP) kommuniziert. Auf diese Art kann validiert werden, inwiefern nicht-industrielle Kommunikationswege, welche traditionelle Internetprotokolle benutzen, für industrielle Regelungen geeignet sind. Dies betrifft sowohl Echtzeitanforderungen, Anforderungen zur Robustheit der Kommunikation als auch die bereits erläuterte Anforderung nach Schutz vor Angriffen aus dem Netz. Gerade in Bezug auf Fragen zur Echtzeit und Robustheit reicht es jedoch nicht aus, nur das Kommunikationssystem aufzubauen. Es muss auch ein Prozess dahinterstehen, welcher über reale Aktoren und Sensoren gesteuert bzw. geregelt werden kann.

Auf Basis der bislang gegeben Erläuterungen wurde im vergangenen Jahr im Labor für Automatisierungstechnik der HS Pforzheim eine realitätsnahe Modellanlage für prozesstechnische Anwendungen aufgebaut. Dabei wurde insbesondere Wert darauf gelegt, dass die zur Validierung von I4.0-Konzepten gestellten Fragen belastbar beantwortet werden können. Der Fokus auf die Prozessindustrie wurde aus dem Grund ge-

legt, da hier modulare, hoch-flexible Konzepte – sowohl für die Anlage selbst, aber auch für die notwendige Automatisierungstechnik nicht oder nur spärlich vorhanden sind. Um die Realität so gut als möglich im Labormaßstab abzubilden, wurden reale automatisierungstechnische Komponenten verwendet. Hierfür konnten die in der Prozessindustrie maßgeblichen Unternehmen ABB für die Steuerungs- und Regelungstechnik, Endress + Hauser für die Sensortechnik auf dem Gebiet der Füllstands- Druck-, Temperatur- und Durchflussmessung sowie Festo für elektropneumatische Aktoren als Partner gewonnen werden. Im Rahmen dieses Clusters ist es möglich I4.0 an der harten Realität zu messen.

Zusätzlich zu bekannten Automatisierungstechnikunternehmen kooperiert Prof. Barth mit dem Unternehmen INTEL, wobei FPGA-Plattformen für harte Echtzeitanforderungen für die Regelung industrieller Anlagen eingesetzt werden.



Bild 2: Eine von mehreren Steuerungseinheiten der Anlage im Aufbau

Über die bislang beschriebene automatisierungstechnische Forschung hinausgehend werden auch bereichsübergreifende Themen, wie beispielsweise die intuitive Bedienung und Beobachtung der Anlage untersucht. So wird ein dreidimensionales CAD-Modell der Gesamtanlage unmittelbar in einen 3D-Renderer übertragen, auf Basis dessen eine interaktive modellbasierte Visualisierung entsteht. Auf einem touch-basierten Smart Board angewendet, werden so die gesten-gesteuerte Bedienung der Aktoren sowie das Abrufen von Sensorwerten ermöglicht. Hierzu zählen das dreidimensionale Drehen der Anlage sowie das hinein- und heraus-Zoomen wie man es von Smartphones und Tablets

kennt. Auf absehbare Zeit könnten durch diese Technologie statische zweidimensionale Bedienbilder abgelöst werden.

Neben der Forschung wird die Anlage in der Lehre eingesetzt. Ziel dabei ist es, den Studierenden in Laboren und Projektarbeiten die Möglichkeit zu geben, an einer realitätsnahen Anlage mit echten Pumpen, Ventilen, Rohrleitungen, Sensoren, Regelkreisen, Steuerungen und Visualisierungen zu arbeiten. Da die Anlage sich ständig in der Erweiterung befindet, haben die Studierenden innerhalb von Projekten die Möglichkeit, das komplette Engineering eines mechatronischen Systems zu durchlaufen, welches von der Grobplanung über die Feinplanung, Realisierung und Inbetriebnahme alle wesentlichen Schritte eines Anlagebau- und Automatisierungsprojektes enthält. „Bei der Wahl unserer Projektarbeit war uns wichtig, dass wir die Inhalte unserer Steuerungstechnik-Vorlesung unmittelbar in die Praxis umsetzen können“, so Pierre de Abreu - Mechatronikstudent im 5. Semester.

Neuigkeiten und Entwicklungen rund um die Modellanlage werden regelmäßig auf <http://blog.hs-pforzheim.de/informationstechnik/> veröffentlicht.

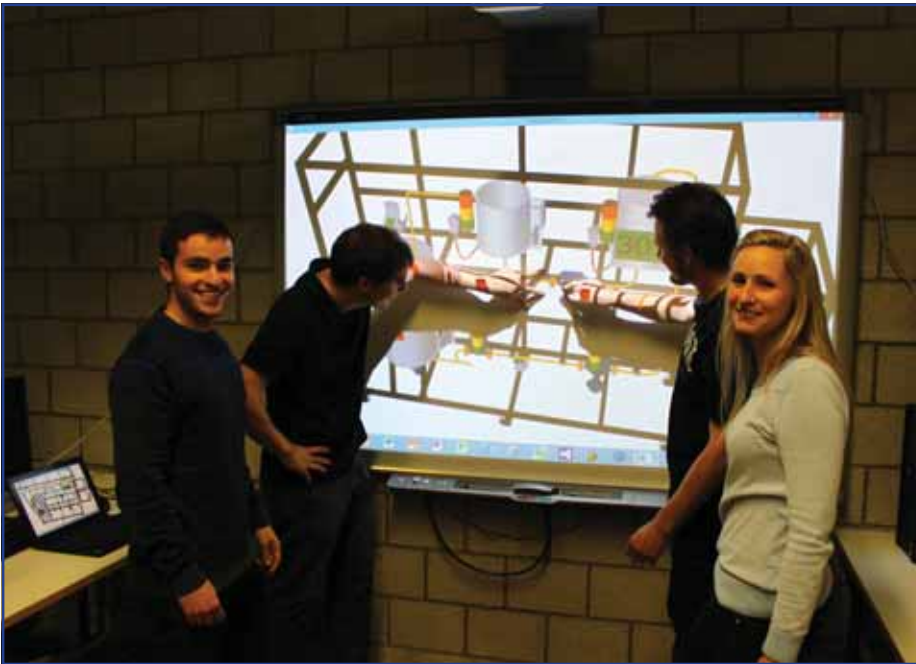


Bild 3: Gesten-basierte Steuerung und Visualisierung der Anlage

Autor

*Prof. Dr.-Ing. Mike Barth
Studiengangleiter Mechatronik*

*Hochschule Pforzheim | Fakultät für Technik
Tiefenbronner Str. 65
D-75175 Pforzheim*

*Tel.: +49 (0) 7231 / 28-6475
E-Mail: mike.barth@hs-pforzheim.de
<http://blog.hs-pforzheim.de/informationstechnik/>*

„MagDiff“ – Eine neue Möglichkeit zur Untersuchung von Magnetwerkstoffen

Zusammenfassung

Starke Qualitätsschwankungen in den derzeit erhältlichen Magnetwerkstoffen können vom Kunden oft nicht rechtzeitig erkannt werden, sodass erst bei Auffälligkeiten im Endprodukt reagiert werden kann. Eine flinke und günstige Möglichkeit der Qualitätsprüfung von magnetischen Werkstoffen im Wareneingang und laufenden Produktionsprozess bietet eine nach dem Differenzprinzip arbeitende Methode. Hierbei wird eine Masterprobe (Referenz) mit einem Prüfling hinsichtlich elektrischer und magnetischer Eigenschaften verglichen. Qualitätsabweichungen können damit einfach ermittelt werden.

1. MagDiff-Messverfahren

Für den Einsatzzweck einer schnellen Wareneingangskontrolle, Qualitätssicherung während der Produktion oder Qualitätsprüfung am Ende des Fertigungsprozesses genügt oft schon ein Verfahren, welches durch einen Vergleich von „Gutteil“ (Referenz) mit „Schlechtteil“ (Prüfling) eine Abweichung erkennt und diese signalisiert. Das derartige Verfahren wird im weiteren Verlauf als „Differenzverfahren“ bezeichnet. Das auf diesem Verfahren resultierende Messgerät trägt den Namen MagDiff.

1.1 Messbrücke

Für das Differenzverfahren wird die in Abb. 1 dargestellte Messbrücke verwendet. Diese beinhaltet in den Brückenzeigen jeweils einen ohmschen Widerstand und einen Probenadapter. Die Brücke wird ohne Proben abgeglichen, sodass $u_D = 0$ gilt. Beide Proben werden durch einen Entmagnetisierungsvorgang in einen definierten Ausgangszustand gebracht. Durch anschließendes Anlegen der Brückeneingangsspannung u_E stellt sich eine Brückendiagonalspannung u_D ein. Betrag und zeitlicher Verlauf der Brückendiagonalspannung resultieren aus unterschiedlichen magnetischen und elektrischen Eigenschaften der Werkstoffproben. Eine Interpretation erfolgt durch Integration der Brückendiagonalspannung. Aus dieser Integration folgt die Güte G des Prüflings nach

$$G = \int_0^{t_3} |u_D| dt \leq \varepsilon.$$

Diese darf, den vom Anwender gewählten Betrag ε nicht überschreiten, um als Gutteil interpretiert zu werden.

1.2 Brückeneingangsspannung

Um bei Werkstoffen zwischen der elektrischen Eigenschaft (Leitfähigkeit κ) und der magnetischen Eigenschaft (Permeabilität μ) differenzieren zu können, wird eine Brückeneingangsspannung, wie in Abb. 2 dargestellt, eingeprägt. Der Spannungsverlauf der Brückeneingangsspannung ist durch einen langsamen Spannungsanstieg (1), einen Bereich konstanter Spannung (2) und einen schnellen Spannungsabfall (3) gekennzeichnet

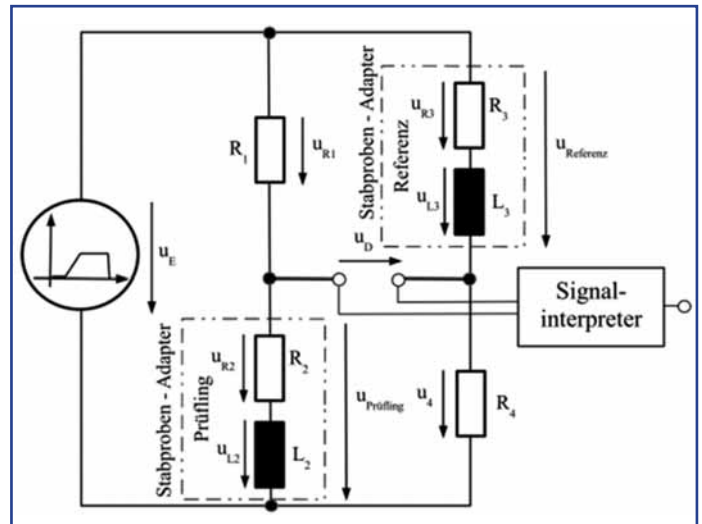


Abb. 1: Messbrückenschaltung

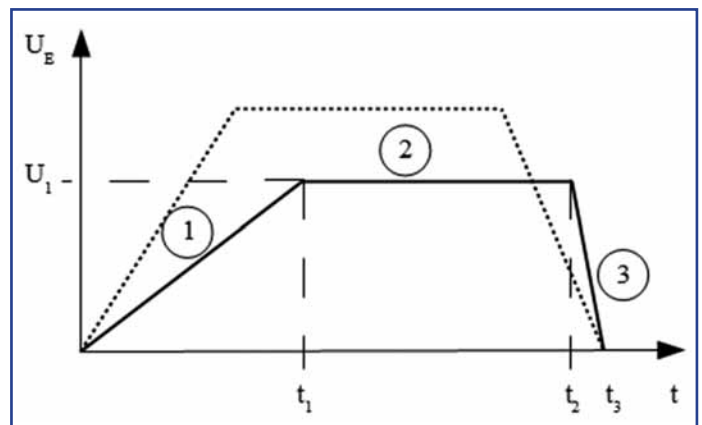


Abb. 2: Brückeneingangsspannung mit Einstellmöglichkeiten

(durchgezogene Linie). Die gestrichelte Linie deutet eine mögliche Variation der Brückeneingangsspannung an. Zur Untersuchung der magnetischen Eigenschaften wird die Symmetrie der Werkstoffhysterese (I- und III-Quadrant) ausgenutzt. Aufgrund der Symmetrie erfolgt eine Bestromung nur mit der Spannungsvorgabe nach Abb. 2 und damit der Betrieb im I'ten Quadranten des Hystereseverlaufs nach Abb. 3. Die ansteigende Flanke (1) in Abb. 2 verursacht in Abb. 3 den Neukurvenverlauf (1). Die Flankensteilheit ist so gewählt, dass zu jedem Zeitpunkt quasistationäre Zustände herrschen. Die Amplitude U_1 (2) der Abb. 2 bewirkt die magnetische Sättigung des Werkstoffs (vgl. Abb. 3, Ende der Hysterese (2)). Werden unterschiedliche induzierte Spannungen bei Prüfling und Referenz durch das Einprägen der Brückeneingangsspannung hervorgerufen, resultiert daraus die Brückendiagonalspannung $u_D \neq 0$. Ein Vergleich der magnetischen Eigenschaften zwischen Prüfling und Referenz ist damit getätigt.

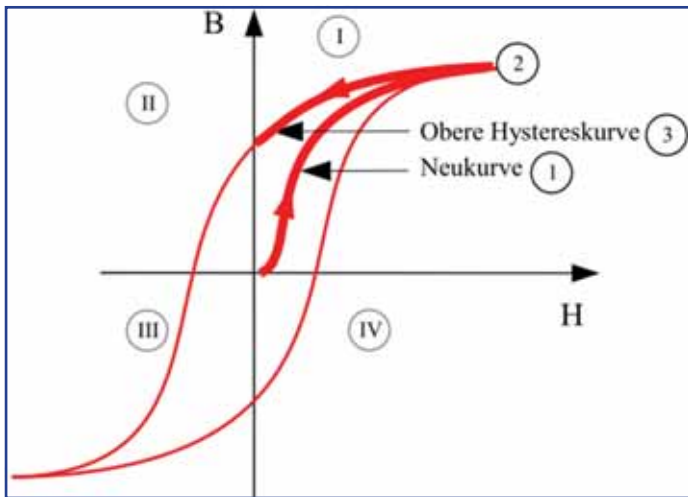


Abb. 3: Zum Werkstoffvergleich verwendeter Hysteresebereich

Die Verkettung des Werkstoffes mit der induzierten Spannung ist mit den Gleichungen

$$u_{ind}(t) = \frac{d\Psi(I)}{dt}$$

$$\Psi(I) = \frac{\Theta(I)}{\sum R_{mag}(\mu)}$$

$$R_{mag}(\mu) = \frac{l}{\mu \cdot A}$$

gegeben.

Ψ ist der verkettete magnetische Fluss, Θ die magnetische Durchflutung, R_{mag} der magnetische Widerstand, μ die Permeabilität des Werkstoffes, l die Eisenkreislänge und A die vom Fluss durchdrungene Querschnittsfläche. Die Prüfung der elektrischen Leitfähigkeit κ erfolgt durch die fallende Flanke der Brückeneingangsspannung (vgl. Abb. 2 (3)). Die hohe Flankensteilheit hat ein hohes Wirbelstromaufkommen zur Folge, welches mit

$$i_{wurb} = -\frac{1}{R_{el}} \cdot \frac{d\Psi}{dt}$$

$$R_{el} = \frac{l_{wurb}}{\kappa \cdot A_{wurb}}$$

beschrieben werden kann. Dieses wirkt sich mit

$$u_{ind}(t) = \frac{d}{dt} \cdot \frac{\Theta + i_{wurb}}{\sum R_{mag}(\mu)}$$

auf die induzierte Spannung aus. Unterscheiden sich die Leitfähigkeiten der Werkstoffproben, so ruft dies eine Brückendiagonalspannung u_D hervor. Der Verlauf der trapezförmigen Brückeneingangsspannung u_E gibt damit die Analysemethoden

- quasistationäre Untersuchung der magnetischen Werkstoffeigenschaft
- transiente Untersuchung der elektrischen Werkstoffeigenschaft

vor. Eine sinnvolle Variation des Verlaufs der Brückeneingangsspannung zu weiteren Analysezielen ergibt sich damit als selbstverständlich. In Abbildung 4 sind die Brückeneingangsspannung u_E und die dazugehörigen Diagonalspannungen u_D dargestellt. Die Skalierung der Spannungen wurde zur besseren Darstellung angepasst. Der zeitliche Verlauf der Diagonalspannung $u_D(t)$ ist das Ergebnis der Simulation mit schlussgeglühter Referenz und einem Prüfling im nicht schlussgeglühten Zustand. Im Abschnitt A überwiegt der Einfluss der magnetischen Eigenschaft, da aufgrund geringer Steigung der Anstiegsflanke von u_E quasistationäre Zustände herrschen. In Abschnitt B kommt es zu einer Überlagerung von magnetischen und elektrischen Werkstoffeigenschaften.

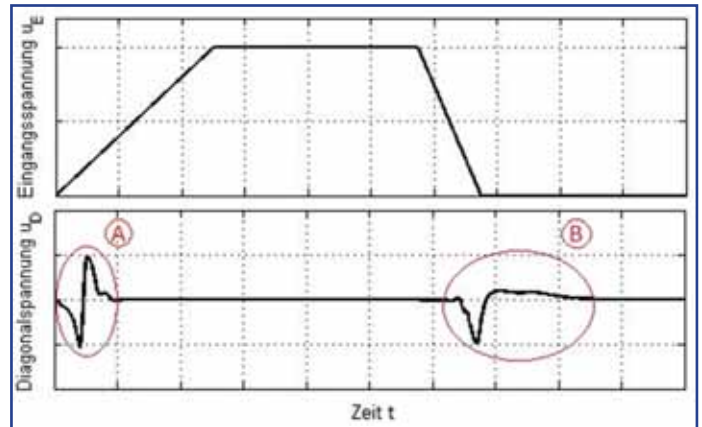


Abb. 4: Simulationsergebnis – Diagonal-spannung u_D bei vorgegebener Brückeneingangsspannung u_E

2. Gerät MagDiff

In Abbildung 5 ist die Funktionsstruktur von MagDiff ersichtlich. Die Funktionsstruktur beinhaltet fünf Funktionsgruppen, welche nachfolgend näher erläutert werden. In Abb. 6 ist der Prototyp von MagDiff dargestellt. Dieser entstand im Rahmen einer Projektarbeit an der Hochschule Heilbronn – Campus Künzelsau, Reinhold-Würth-Hochschule.

2.1 Energieversorgungseinheit (1)

Die Energieversorgungseinheit besteht aus einem Leistungsnetzteil mit Überwachungsfunktionen und stellt die elektrische Energie W_{el} dem Steuergerät zur Verfügung.

2.2 Steuergerät (2)

Das Steuergerät beinhaltet den Mikrocontroller, Software, Analog-Digitalwandler und steuert den Entmagnetisierungs- und Messvorgang. Dabei ist W_{el}^* die vom Steuergerät beeinflusste Energie, deren Verlauf vom Anwender vorgegeben wird. Das Steuergerät wechselt über den Messmodus m zwischen Entmagnetisierungsvorgang und Messung. Der Entmagnetisierungsvorgang erfolgt nach dem gängigen Verfahren/Methoden des Standes der Technik.

2.3 Messbrücke (3)

Die Messbrücke beinhaltet die Brückenwiderstände und die Probenadapter. Das Ausgangssignal der Messbrücke ist die Brückendiagonalspannung u_D .

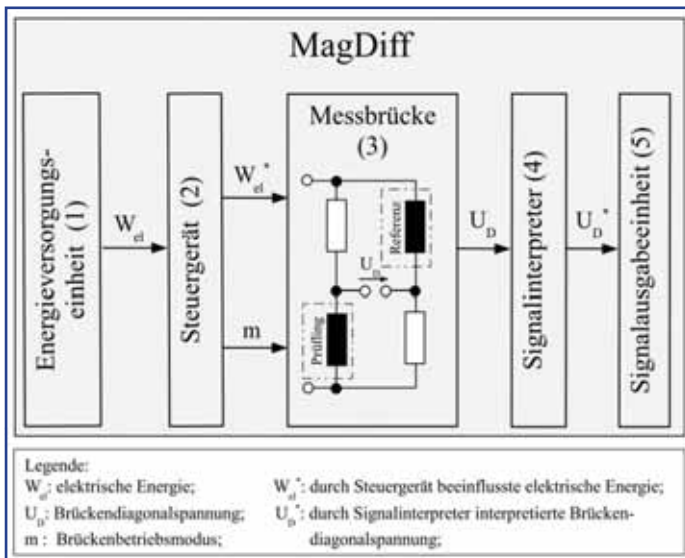


Abb. 5: Funktionsstruktur Gerät MagDiff

2.4 Signalinterpretierer (4)

Der Signalinterpretierer wertet die Brückendiagonalspannung aus. Die Auswertung erfolgt durch zeitliche Integration von u_D und anschließender Bewertung. Das Ergebnis wird an die Signalausgabeeinheit weitergeleitet.

2.5 Signalausgabeeinheit (5)

Die Signalausgabeeinheit beinhaltet eine Schnittstelle für die Einbindung in den Qualitätsüberwachungsprozess. Dies ist im einfachsten Fall eine optische Anzeige für eine Gut/Schlecht-Beurteilung des Prüflings. Alle Einstellparameter werden in einer Datenbank hinterlegt und können vom Bediener aufgerufen werden.

3. Applikationsmöglichkeiten

MagDiff ermöglicht eine schnelle und kostengünstige Qualitätskontrolle von Magnetstählen jeglicher Anordnung (Bleche, Stangen, ...) bis hin zu fertig montierten Elektrobaugruppen (Motoren, Elektromagnete, ...). Beispiele sind:

- Elektrolech
- Elektromagnetstähle (Stäbe, Stangen)
- Paketierte Elektroleche (Elektromotor-Statoren, Elektromotor-Rotoren), bewickelt und unbewickelt
- fertig montierte Elektrobaugruppen (Motoren, Elektromagnete)
- Ringproben (hier reicht die Bewicklung eines Ringkerns mit nur einer Primärspule)
- Induktivitäten
- Permanentmagnete

Bei hartferritischen Werkstoffen besteht aufgrund der geringen spezifisch elektrischen Leitfähigkeit die Möglichkeit einer kapazitiven Prüfung. Der Einsatzbereich von MagDiff zur Qualitätskontrolle erstreckt sich von der Wareneingangskontrolle, den Qualitätssicherungsprozess während der Produktion bis hin zur Endkontrolle des fertigen Produktes, der fertigen Baugruppe.



Abb. 6: Gerät MagDiff mit Bildschirm und zwei Stabprobenadapter für Referenzstab und Stabprobe (Prüfling).

Literatur

- [1] Kallenbach, E.: Elektromagnete: Grundlagen, Berechnung, Entwurf und Anwendung, 4. überarb. und erw. Auflage, ISBN: 978-3-8348-0968-1
- [2] Prof. Dr.-Ing. Jürgen Ulm: Symposium Elektromagnetismus, Technische Akademie Esslingen e.V. Tagungshandbuch 2014, ISBN: 978-3-943563-13-9
- [3] Prof. Dr.-Ing. Jürgen Ulm: Elektro-magneto-mechanische Wandler Teil 1 und 2, Vorlesungsskript 1. Auflage WS 13/14

Autoren

B.Sc. Bastian Motzer

Dipl.-Ing. (FH) Oliver Vogel

Prof. Dr.-Ing. Jürgen Ulm

Institut für schnelle mechatronische Systeme (ISM)
Hochschule Heilbronn
Campus Künzelsau – Reinhold-Würth-Hochschule
Daimlerstr. 35
D-74653 Künzelsau

Tel.: +49 (0) 7940 / 1306-191

Fax: +49 (0) 7940 / 1306-61981

E-Mail: bastian.motzer@hs-heilbronn.de

Elektroautos effizient induktiv laden

Kabel verschwinden immer mehr aus unserem Alltag. Telefone, Computermäuse oder Kopfhörer haben sie bereits verloren. Auch elektrische Zahnbürsten und Mobiltelefone kommen mittlerweile ohne sie aus. Informationen werden per Funk oder die nötige Energie via elektromagnetische Induktion übertragen. Forscher arbeiten daran, dass bald auch Elektroautos kabellos mit Strom aufgeladen werden. »Vor allem im Winter oder bei Regen nervt das Kabel. Schnee, Matsch und Wasser – was an den Kabeln klebt, klebt auch an den Händen«, sagt Dr. Bernd Eckardt, Abteilungsleiter Fahrzeugelektronik am Fraunhofer-Institut für Integrierte Systeme und Bauelementetechnologie IISB in Erlangen. Als E-Autofahrer spricht er aus eigener Erfahrung. Wesentlich komfortabler wäre es, die Stromer berührungslos über die Luft aufzuladen. Elektromagnetische Induktion heißt das physikalische Prinzip, das dahinter steckt. Dabei überträgt ein Magnetfeld Strom über die Luft. »Jede stromdurchflossene Leitung erzeugt ein Magnetfeld. Dass dieses selbst Strom erzeugt, hat der englische Physiker Michael Faraday im 19. Jahrhundert nachgewiesen. Stimmt die Ausrichtung zweier Leitungen im Magnetfeld überein, kann über die Luft Energie übertragen werden. Das funktioniert im Prinzip wie ein durchgeschnittener Transformator«, erklärt Eckardt. Bekannte Beispiele für diese Energieübertragung sind induktive Ladestationen für elektrische Zahnbürsten oder Smartphones sowie induktive Kochplatten.

Industrie und Wissenschaft arbeiten seit einigen Jahren daran, die Induktion auch für das Laden von Elektrofahrzeugen zu nutzen. Der bisherige Ansatz: Induktionsspulen auf der Fahrzeugunterseite und Ladestationen im Erdboden. Die Herausforderungen sind groß: Wegen des großen Abstands von bis zu 15 Zentimetern zwischen Fahrzeug und Boden müssen die Spulen leistungsstark, das heißt groß, sein. Das treibt die Kosten nach oben. Außerdem besteht die Gefahr, dass Gegenstände oder Tiere die Stromübertragung stören. Katzen zum Beispiel empfin-

den die leicht erwärmte Ladefläche am Boden als angenehm. Besonders problematisch: Metallische Papiere, wie zum Beispiel Kaugummi- oder Zigarettenverpackungen, können unter das Auto und auf die Induktionsfläche geweht werden und sich so stark erwärmen, dass sie sich entzünden.

Induktionsspule vorne statt unten

Die Erlanger Forscher verfolgen deshalb einen alternativen Ansatz: Im Projekt »Energie Campus Nürnberg« haben sie innerhalb eines Jahres ein System entwickelt, bei dem das Elektrofahrzeug von der Vorderseite aus geladen wird (<http://www.encn.de>). Da das Auto näher an die Induktionsquelle fahren kann – sie im Prinzip berührt – sind die Durchmesser der Spulen wesentlich kleiner als bei der Bodenvariante: 10 statt 80 Zentimeter. Das System ist effizienter, kostengünstiger und es ist weniger wahrscheinlich, dass Hindernisse den Energiefluss stören. Die etwa hüfthohe Ladesäule ist aus Kunststoff und gibt nach hinten nach, wenn sie vom Fahrzeug berührt wird. Wenn der Druck zu stark wird, klappt sie nach unten weg. »Das Auto kann quasi darüber hinwegfahren. Schäden an der Karosserie entstehen bei der Berührung nicht«, so Eckardt. Mehrere Spulen – vertikal überlappend in der Säule und horizontal überlappend hinter dem Nummernschild des Fahrzeugs – lassen den Strom auch dann fließen, wenn die Säule nicht exakt von vorne und mittig angefahren wird – egal wie groß oder hoch das Auto ist.

Die Entwickler am IISB arbeiten seit etwa zwölf Jahren an dem Thema Leistungselektronik für E-Fahrzeuge und seit zwei Jahren am induktiven Laden. In dieser Zeit bauten die Forscher ein umfangreiches Know-how bei der Leistungselektronik, der Feldsimulation und der Stromverteilung der elektromagnetischen Induktion auf. Um den Wechselwiderstand möglichst gering zu halten, konzipierten sie beispielsweise die Spulen so, dass diese selbst aus mehreren dünnen, voneinander isolierten, Spulen bestehen. Das Design der Drahtrollen ist wichtig, denn sie sind es, die Richtung und Stärke des Magnetfelds bestimmen. »Wir haben die Leistung im vergangenen Jahr kontinuierlich hochgeschraubt, so dass unser Prototyp aktuell drei Kilowatt (KW) mit einem Wirkungsgrad von 95 Prozent überträgt. Aktuelle Elektroauto-Modelle sind innerhalb einer Nacht aufgeladen«, sagt Eckardt. Ziel der Forscher ist es nun, die Leistungsstärke der Spulen weiter zu erhöhen – insbesondere, um den Entwicklungen in der Batterietechnologie gerecht zu werden – und den Preis für die Ladestation weiter zu senken. »Ladesäulen werden heute mit dem Auto verkauft. Nur wenn der Preis stimmt, wird aus der Technologie ein Massenprodukt«, so Eckardt.

Quelle

Forschung kompakt August 2014

www.fraunhofer.de



Elektroautos berührungslos via Induktion aufzuladen ist noch Zukunftsmusik. Das Laden von der Vorderseite: Ein neuer Ansatz, der effizient und kostengünstig ist.
© Fraunhofer IISB



WIR VERBINDEN
TECHNIK &
Menschen



Public

Verlagsgesellschaft und
Anzeigenagentur mbH



Mainzer Str. 31
55411 Bingen

Tel. 06721 – 49512-0
info@publicverlag.com



**IHRE IDEEN VERÄNDERN
DIE ZUKUNFT? WIR HABEN DEN
ANTRIEB SIE UMZUSETZEN.**

**NEUGIERIG?
FILM AB!**



www.stihl.de/karriere_stark



Zeigen Sie schon als Student/-in, wie viel Kreativität in Ihnen steckt.
In einer abwechslungsreichen Hightechumgebung. In einem Unternehmen
mit großem Freiraum für Innovationen.

Egal ob Praktikum, Abschlussarbeit oder Direkteinstieg –
bei STIHL bekommen Sie den stärksten Antrieb.

STARK. STIHL.