



TU Clausthal



Jahresbericht 2010/2011

des

Institutes für Elektrische Energietechnik



Clausthal-Zellerfeld
Juni 2012

IEE-Bericht Nr. 21/22



TU Clausthal

Institut für Elektrische
Energietechnik



Institutsdirektor:
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Hans-Peter
Beck
Telefon: (0 53 23) 72-2570

Sekretariat:
Elke Mendt

Telefon: (0 53 23) 72-2299
Telefax: (0 53 23) 72-2104
mendt@iee.tu-clausthal.de

Jahresbericht

2010/2011

des Institutes für

Elektrische Energietechnik

Clausthal- Zellerfeld
Juni 2012

IEE-Bericht Nr. 21/22

Inhaltsverzeichnis

0	Vorwort	1
1	Lehre	3
1.1	Vorlesungen	3
1.2	Übungen, Praktika, Mentoring	6
1.3	Seminarvorträge	8
1.4	Studien-, Bachelor-Diplom- und Masterarbeiten	12
2	Veröffentlichungen, Dissertationen, Habilitationen	22
2.1	Zeitschriften- und Tagungsaufsätze, Patente /- anmeldungen	22
2.2	Vorträge / Seminare	25
2.3	Geförderte Forschungsvorhaben	27
2.4	Veranstaltungen, Exkursionen, Gastaufenthalte	32
3	Forschungsarbeiten + Forschungsgebiete des Institutes	34
3.1	Ausbau der Institutseinrichtungen	34
3.2	Projektblätter	34
4	Personelle Besetzung	141
4.1	Hauptamtliche Mitarbeiter des Instituts	141
4.2	Nebenamtlich tätige Hochschullehrer bzw. Lehrbeauftragte	147
4.3	Wissenschaftliche Hilfskräfte	147
4.4	Mitgliedschaften in wissenschaftlichen Vereinigungen und in den Selbstverwaltungsgremien der Universität	148
5	Links	149
6	Anlagen	149

0 Vorwort

Liebe Freunde und Förderer, Ehemalige und Mitarbeiter des Institutes,

seit dem Erscheinen des letzten Jahresdoppelberichtes 2008/09 ist der Umstrukturierungsprozess der TU Clausthal nun vollständig abgeschlossen. Ziel dieses Prozesses war es, trotz der 10 %igen Budgetkürzung die Universität konkurrenzfähig für die Zukunft aufzustellen und zwar in Abstimmung mit unseren befreundeten Wettbewerbern in Hannover und Braunschweig.

Was hat sich getan. Die Studiengänge wurden entrümpelt und komplett der das Bachelor (BA)-Master (Ma)-System umgestellt. Dies hat, wie Sie ahnen, wie alles im Leben Vor- und Nachteile. Der Vorteil ist die erhöhte Flexibilität der Studierenden in der Studiengangwahl. Man fängt mit der Bachelorarbeit “breit” an und kann, und das empfehlen wir allen guten Studierenden die gewünschte Fachrichtung in mehreren Master-Studiengängen vertiefen. Im Energiebereich beträgt das Verhältnis BA/MA = 2/6; ein Alleinstellungsmerkmal der TU Clausthal.

In der Forschung hat sich auch viel getan. Es wurden insgesamt drei “senatsunmittelbare”Zentren gegründet, die die Masterstudiengänge mit wissenschaftlichen Ergebnissen unterstützen sollen. Das Energie-Forschungszentrum in Goslar (Zentrum Nr. 1) wurde im Juni 2010 eröffnet und hat nun mit ca. 80 Mitarbeitern seinen Betrieb (Jahresumsatz ca. 4,5 Mio €) aufgenommen. Es forscht entlang der Energiekette (www.efzn.de) und hat den Focus Energiespeicher und -system. Der vom IEE vor ca 15 Jahren ins Leben gerufenen Diplomstudiengang Energiesystemtechnik lässt grüßen. Er konnte übrigens auf Anhieb ohne irgendwelche Problemen auf das BA/MA (Energietechnologien (ET)/Energiesystemtechnik (EST) umgestellt werden, was wohl auch für die Qualität der Ausbildung spricht. Die Studierenden-Anfängerzahl ist mit rd. 100/a zwar gut aber vor dem Hintergrund der Energiewende wohl nicht ausreichend. Das liegt natürlich auch daran, dass das Studium eher schwierig ist. Man muss neben den Grundlagenfächern Maschinenbau, Verfahrenstechnik, Elektrotechnik auch Wirtschaft und Recht zusammendenken. Dies tun nur, wie ein Kollege sagte, “Überzeugungstäter”. Die Arbeitsplatzsituation ist dafür jedoch mehr als rosig.

Das IEE kann als Kerninstitut für die Studiengänge ET/EST fungieren was uns eine gute Nachwuchssituation sichert, wenn uns die Wirtschaft nicht alle Spitzenleute wegkaufen würde. Aber zum Glück wissen die guten Absolventen das Hochschulumfeld bei der Persönlichkeitsentwicklung während der Doktorandenzeit zu schätzen.

Die beiden anderen Clausthaler Zentren für Materialtechnik (CZM) und Simulationstechnik sind noch im Aufbau begriffen. Für das CZM wird am 15.07.2012 der Grundstein gelegt. Das Simulationstechnik-Zentrum soll eine gemeinsame Forschungseinrichtung mit der Universität Göttingen nach §36a NHG werden. Das ist kompliziert. Der Kooperationsvertrag ist nach drei Verhandlungsjahren trotz positiver wissenschaftlicher Begutachtung noch nicht unterschrieben. Umstrukturierung von Hochschulen ist eben kompliziert (weil offenbar die Mitarbeit "von unten" fehlt).

Der Forschungsverbund Energie Niedersachsen (FEN, vgl. Jahresbericht 2008/2009) wurde im übrigen als "SmartNord" neu aufgesetzt und wird für weitere drei Jahre gefördert. Das IEE-Thema betrifft wieder und immer noch das Thema Microgrid. Das im FEN entstandene Labor für "Aktive Verteilnetze" (Verteilnetz mit hohem Anteil fluktuierender Erzeuger und Verbraucher, gepuffert mit Batterien und bei Ausfall des netzführenden Übertragungsnetzes noch betriebsfähig) wird dazu um Netzelemente (Leistungen) erweitert. Kern sind netzbildende Umrichter die wie reale Synchronmaschinen parallel betrieben werden können und dezentrale generierbare Systemdienstleistungen (Kurzschlussleistung, Blindleistung, Frequenzstabilität, Versorgungssicherheit etc.) liefern können. Alles weitere dazu in zwei Jahren oder während einer Führung im Energie-Forschungszentrum in Goslar. Rufen Sie uns an (www.efzn.de)

Es grüßt mit einem herzlichen "Glück auf" im Jahr 2012

Univ.-Prof. Dr.-Ing. H.-P. Beck

1 Lehre

1.1 Vorlesungen

Die Studentenzahlen steigen, wie man den Studierenden zahlen entnehmen kann, erfreulicher Weise wieder an. Der wirtschaftliche Aufschwung hat uns erreicht. Erfreulich bleiben die Studentenzahlen auch im Hauptstudium, denn an den Hauptvorlesungen

- Theorie Elektromagnetischer Felder
- Elektrische Energietechnik
- Energiesysteme

nehmen im Schnitt über 100 Studierende pro Studiumjahr teil. Wir freuen uns natürlich über den Zuspruch, auch wenn er mit mehr Arbeit verbunden ist, kann er doch noch auf mehr Schultern verteilt werden. Am Horizont ziehen jedoch mal wieder “Sparwolken” auf, mehr darüber im nächsten Zweijahresbericht, auf. Die folgende Tabelle zeigt die durchschnittliche Hörerzahl bei den IEE-Vorlesungen im Einzelnen:

		2010	2011
Beck/Wehrmann	Grundlagen der Elektrotechnik I/II (W 8800 / S 8801) Elektrotechnik für Ingenieure I/II (W8800 / S 8801)	607	800
Beck/Turschner	Elektrische Energietechnik (S 8803)	86	110
Beck/Turschner	Regelung Elektrischer Antriebe (W 8808)	27	24
Beck	Energieelektronik (S 8811)	20	27
Beck/Turschner u. a.	Energiesysteme (W 8804)	154	190
Heldt	Sonderprobleme Elektrischer Maschinen (W 8805)	11	16
Beck/Wehrmann	Elektrische Energieverteilung (W 8812)	32	38
Beck/Wehrmann	Elektrische Energieerzeugung (S 8815)	20	46
Beck/Turschner	Leistungsmechatronische Systeme (S 8826)	16	27
Beck/Mbuy	e-Learning “Dezentrale Energiesysteme” (W 8836)	14	17
Beck/Mbuy	Simulation elektrischer Energiesysteme (8833)	15	20

		2010	2011
Sourkounis	Regenerative Elektrische Energietechnik (W 8818)	8	25
Maubach	Elektrizitätswirtschaft (S 8819)	76	70
Baake	Theorie Elektromagnetischer Felder (S 8817)	44	36
Wenzl	Batteriesystemtechnik und Brennstoffzellen (W 8816)	18	19
Ludwig, B.	Dyn. Systeme in Natur, Technik und Gesellschaft (S 8825)	19	32
Lülf	Optimierung und Instandhaltung von Elektroenergie- anlagen (W 8828)	11	31
Ludwig, T.	Zukünftige Energietechnologien (S 8835)	7	-
Kühl	Regenerative Energiequellen (W 8830)	23	98
Beck/ Darrelmann	Autonome Netze (W 8832)	15	22
Buddenberg	Fossile und regenerative Energieressourcen (S 8831)	18	35

Insgesamt wurden im Verlauf dieser zwei Jahre 1600 Vor- und Hauptdiplomprüfungen von den prüfungsberechtigten Hochschullehrern bzw. Lehrbeauftragten des Institutes abgenommen. Etwa die Hälfte der Prüfungen wurden, der guten Tradition der TUC entsprechend, mündlich bzw. halbschriftlich durchgeführt. Mündliche Prüfungen sind in Gegensatz zu Klausuren auch Lehrveranstaltungen, weil eine Interaktion und Kommunikation zwischen Prüfer und Prüfling stattfindet, die darüber hinaus auch eher der Situation der späteren Berufswelt entspricht. Da diese Prüfungsform des reinen Gespräches aus Kapazitätsgründen bei den zunehmenden Studentenzahlen im Fach Grundlagen der Elektrotechnik (800/a) nicht eingehalten werden konnte, gab es ab 2010/11 hier wieder die klassische Klausur, wobei auf Grund des BA/MA-Systems sechs verschiedenen Typen angeboten werden musste.

Die StudentInnen belegten die angebotenen Fächer des IEE im Rahmen folgender Studiengänge der Fakultäten I und II:

Vor dem Vordiplom/Bachelor-Studiengang:

Grundlagen der Elektrotechnik I/II in den Studiengängen

Maschinenbau/Mechatronik

Verfahrenstechnik

Chemieingenieurwesen
Energiesystemtechnik
Wirtschaftswissenschaften Energie und Rohstoffe
Werkstoffwissenschaften
Kunststofftechnik
Informationstechnik
Informatik
Physikalische Technologien
Erdöl-/Erdgastechnik
Energie und Rohstoffe (BA/MA ab 01.10.04)
Energietechnologien (BA/MA ab 01.01.2010)

Nach dem Vordiplom/Masterstudiengänge:

Im Rahmen des Fachstudiums werden die Angebote des IEE derzeit folgenden Studiengängen als Pflicht-, Wahlpflicht- und Schwerpunktfach zugeordnet :

Maschinenbau, Studienrichtung “Mechatronik”
Energiesystemtechnik, Energiesystemtechnik-Ergänzungsstudiengang
(für BA/FH-Absolventen)
Wirtschaftsingenieurwesen, Studienrichtung Rohstoffe und Energie
Physikalische Technologien, Schwerpunkt Energiesysteme

Die TU Clausthal hat entsprechend den Vorgaben des Wissenschaftsministeriums inzwischen alle Diplomstudiengänge auf das BA/MA-System umgestellt. Die Bachelor- und Master-Studiengänge bauen dabei aufeinander auf, d. h. um einen Master-Abschluss erwerben zu können, müssen die Studierenden zunächst einen BA-Studiengang absolvieren. Die Studierenden müssen sich nicht schon vor dem ersten Semester auf eine Spezialisierung festlegen (Vorteil des BA/MA-Systems) sondern können zunächst einen eher breiter angelegten BA-Studiengang wählen, um sich dann nach sechs Semestern für einen spezifischen MA-Studiengang zu entscheiden. Die TU Clausthal ist dabei eine der wenigen Universitäten in Deutschland, die parallel in jedem Studienjahr acht Energiebezogene Studiengänge unterschiedlicher Richtung anbietet. Dies sind die zwei Bachelor-Studiengänge:

Energietechnologien und Energie- und Rohstoffe sowie die sechs Masterstudiengänge:
- Energiesystemtechnik

- Energie- und Rohstoffversorgungstechnik
- Petroleum Engineering
- Wirtschaftsingenieurwesen Energie und Rohstoffe
- Physikalische Technologien/Energiewissenschaft

Das IEE ist mit seinen Lehrangeboten in allen Studiengängen vertreten.

1.2 Übungen, Praktika, Mentoring

Im Berichtszeitraum wurden folgende Übungen und Praktika durchgeführt. Die Zahlen geben jeweils die geschätzte Teilnehmerzahl an.

		2010	2011
Große Übung	Grundlagen der Elektrotechnik I/II (Beck/Wehrmann/Mbuy/Gewiß)	585	790
Tutorien	Grundlagen der Elektrotechnik I/II (Beck/Wehrmann/Hager)	467	642
Repetitorien	Prüfungsvorbereitung Vordiplom Elektrotechnik (Beck/Wehrmann/Haubrock/Schwake wiss. Hilfskräfte)	90	100
Praktika	Grundlagen der Elektrotechnik I/II (Wehrmann/Küster/Stubbe/wiss. Hilfskräfte)	358	574
Übung	Elektrische Energietechnik (Turschner/Osika/Xiong/Werther)	86	110
Übung	Regelung Elektrischer Antriebe (Turschner/Xiong)	27	24
Übung	Leistungsmechatronische Systeme (Beck/Turschner)	16	27
Übung	Energieelektronik (Beck/T. Hesse/Bentaleb/Schwake)	20	27
Übung	Elektrische Energieerzeugung (Wehrmann/Kaestle)	20	46
Praktikum	Mechatronik (Turschner/T. Hesse/Schwake)	7	8

		2010	2011
Grundpraktikum	im Hauptstudium (Maschinenbau) (Osika/Chen)	16	17
Praktikum	Elektrische Energiespeicher (Benger)	-	13
Praktikum	Regenerative Elektrische Energietechnik (Beck/Hager/Heyne)	11	9
Übung	Regenerative Elektrische Energietechnik (Sourkounis)	8	25
Übung	Elektrische Energieverteilung (Beck/Becker/Schnieder)	32	38
Übung	Batteriesystemetechnik und Brennstoffzellen (Wenzl)	18	19
Grundpraktikum	Energiesystemtechnik (Xiong/Chen)	10	14
Praktikum	Elektrische Antriebe I (Osika/Chen)	7	7
Praktikum	Hochspannungstechnik (Wehrmann)	-	8
Übung	Theorie der elektromagnetischen Felder (Baake)	44	36
Übung	Sonderprobleme elektrischer Maschinen (Heldt)	11	16
Übung	Dyn. Systeme in Natur, Technik und Gesellschaft (Ludwig)	19	32
Übung	Zukünftige Energietechnologien (Heyne)	7	-
Übung	Optimierung und Instandhaltung von Elektroenergieanlagen (Lülf)	11	31
Übung	Regenerative Energiequellen (Kühl)	23	98
Übung	Autonome Netze (Darrelmann)	15	22
Übung	Fossile und regenerative Energieressourcen (Buddenberg)	18	35

1.3 Seminarvorträge

2010

Betreuer: Dr. E.-A. Wehrmann

Kammesheidt, Jan Oliver

Die Funktionsweise der Systemdienstleistungen unter besonderer Berücksichtigung der Regelenenergie

Seeger, Lena

Nutzung der Kraft-Wärme-Kopplung in Wohngebäuden unter Berücksichtigung des technischen und rechtlichen Hintergrundes

van Cayzelle, Sebastian

Marktübersicht brennstoffzellenbasierter Heizgeräte für Ein- und Mehrfamilienhäuser - Technische Übersicht und Funktionsweise-

Li, Dong

Wasserkraft in China
Neubauprojekte und ihre Anbindung an die Verbraucherschwerpunkte

Betreuer: Dr. D. Turschner

Elias, Christoph

Systemdienstleistungsverordnung für Windenergieanlagen - SDLWindV -

Hunger, Dennis Patrick

Redox-Flow-Batterien Technologie, Anwendungen, Perspektiven

Sarikaya, Emre

Entwicklungstrends Windenergieanlagen

Schmieder, Arne Simon

Die Brennstoffzelle in Formeln - eine genaue Beschreibung der Prozesse

Heinz, Martin

SiC-Technologieüberblick - Stand der Technik, Perspektiven

Lindig, Alexander

Systemkonzepte in Offshore Windparks

Peng, Gang

Parameter, Normen & Marktverfügbare Messsysteme zur Powerquality

Shen, Chong

Vergleich von Stromsensor-Technologien

Strippelmann, Jan-Martin

Aufbau & Marktübersicht Methanol-Brennstoffzellen (DMFC)

2011

Betreuer: Dr. E.-A. Wehrmann

Knoop, Michael

Stromüberschuss: In welchem Umfang ist der deutsche Kraftwerkspark in der Lage, Stromüberschüsse aus Erneuerbarer Energiequellen durch Herunterregeln nutzbar zu machen?

Utermöhlen, Alexander

Systematisches Ersetzen von konventionellen Kraftwerken durch Erneuerbare Energien: Wirtschaftliche und technische Herausforderungen

Armbrecht, Björn

SiC-Technologieüberblick: Stand der Technik

Bünning, Annika

Übersicht Brennstoffzellenkatalysatoren
Vor- und Nachteile, einsatzpotentiale von Katalysatormaterialien

Sauer, Bastian

Unterschiedliche Generatorkonzepte in Windkraftanlagen

Schütte, Tobias

Smart Grids und Anreizregulierung: Bietet die aktuelle Regulierung genügend Spielraum für innovative Investitionen?

Bertermann, Dorothee

Gezeitenkraftwerke: Stand der Technik

Czyrka, Kevin

Energieeffizienzsteigerung durch KWK-Anlagen, deren Vor- und Nachteile, sowie Einsatzmöglichkeiten zur bedarfsgerechten Stromerzeugung

Gaede, Daniel	Power Quality: Hintergrund: Was ist das? Parameter, Normen, aktuelle Entwicklungen Marktverfügbare Messsysteme zu Power-quality
Koch, Sabine Toni	Die Zukunft fährt elektrisch!? Übersicht aktueller Projekte
Janssen, Dirk	EEG-Novelle zur Systemdienstleistungs- verordnung - SDL Wind V Bonus vs. techni- scher Aufwand
Betreuer: Dr. D. Turschner	
Welck, Friedrich	Übersicht Schwingungsmessung: Sensoren - Verfahren - Einsatz
Heusmann, Fritjof	Die Clark & Park-Transformation - Ent- stehung und Technische Bedeutung
Swiatek, Lukasz	Wasserstoff als Brennstoff - Vor und Nach- teile
Huß, Henrik	Planung von Onshore-WKA unter besonde- rer Berücksichtigung genehmigungsrelevan- ter Aspekte
Oncken, Menno	EnWG-Novelle 2011: Eckpunkte und aktu- eller Stand
Gabriel, Waldemar	Speichermöglichkeiten von Windstrom im Erdgasnetz
Domgrowski, Imke	Übersicht von Busschnittstellen zur Daten- übertragung für SPS-Systeme
Mpako Mpako, Jules Sadrack	Photovoltaik und KWK: “Sommer- und Win- terstromerzeugung”
Wächter, Sonja	Oberharzer Wasserregal - Vorreiter moder- ner Pumpspeicherkraftwerke

Nedjalkov, Antonio	Einsatzbereiche von Batterien und Doppelschichtkondensatoren
Kopmann, Jens-Michael	Perspektiven der Stinkohle im europäischen Energiemix
Hahn, Matthias	Permanentmagnete in der Elektrotechnik: Zukunft für kompakte Elektroantriebe?
Plischke, Anne	Assets des Unternehmens 50 Hertz Transmission GmbH
Stankat, Paul Robert	Kleinwindenergieanlagen - Marktverfügbare Anlagen und aktuelle Förderung in Europa
Betreuer: Prof. H. Wenzl	
Just, Christopher	Technische und wirtschaftliche Herausforderung von Offshore-Windparks
Kemper, Alexander	Elektrische Energieversorgung in China und Indien heute und in Zukunft. Marktchancen für deutsche Energietechnik Unternehmen.
Müller, Nils	Schaltungsvarianten in Hybridfahrzeugen: Ein Topologievergleich (Spannungsebenen, Wandler, Speicheranbindung, usw.)
Hagen, Hauke	Anreizregulierung insbesondere Qualitätsregulierung
Schramm, Benjamin	Erneuerbare Energien vs. Konventionelle Kraftwerke: Wie ändert sich die Wirtschaftlichkeit konventioneller Kraftwerke durch zunehmende Ab- und Anschaltvorgänge?

1.4 Studien-, Bachelor-, Diplom- und Masterarbeiten

Studien- und Bachelorarbeiten

2010

Zhang, Zhenan	Recherche zur Entstehung von Ratter- bzw. Brummerschwingungen beim Warmwalzen und Kaltwalzen Betreuer: Dr. Turschner
Qi, Bing	Erstellung eines neuen Prüfstandsmodells in MATLAB/Simulink für einen modifizierten Windtriebeprüfstand Betreuer: Dr. Turschner, Dr. Musasa
Klein, Philipp	Untersuchungen mit und zu einem neuartigen optischen Stromsensor Betreuer: Dr. Wehrmann, Dr. zum Hingst
Fernández Counga, Iván	Modellerstellung eines Antriebsstrangs zur Nachbildung von Biegeschwingungen Betreuer: Dr. Turschner
Ebangué Eyoum, Theophile	Vergleich verschiedener Umrichtersteuerungsverfahren Betreuer: Dr. Turschner
Schwalm, Patrick	Zwischen aufholender und überholender Entwicklung Betreuer: Prof. Wenzl, Dipl.-Ing. Haubrock

Schnieder, Raimund Bewertung des zukünftigen Last- und Erzeugungsverhaltens
im Niederspannungsnetz unter besonderer Berücksichtigung
möglicher Netzurückwirkungen
Betreuer: Dr. Wehrmann

Gibbels, Marius Implementierung und Inbetriebnahme eines System Manage-
ment Controllers
Betreuer: Dr. Turschner, Dipl.-Ing. Hesse

2011

Heitmann, Kristina Untersuchung von Leistungsgradienten durch Photovoltaik-
einspeisung im Nieder- und Mittelspannungsnetz
Betreuer: Dr. Wehrmann, Dr. Turschner

Leunig, Florian Reglerauslegung für ein Leistungsstarkes Kurzzeit-Energie-
speichersystem
Betreuer: Prof. Wenzl, Dipl.-Ing. Bengler

Xia, Lin Vergleich und Implementierung verschiedener Steuerverfah-
ren für Frequenzrichter in Matlab/Simulink
Betreuer: Dr. Turschner

Trung, Hoang Bachelorarbeit
Konzept für eine Solartankstelle für Elektrofahrräder und
Roller in Vietnam
Betreuer: Prof. Wenzl, Dr. Wehrmann

Herrling, Rolf Spannungsuntersuchungen in einem Mittelspannungsnetz
Betreuer: Dr. Wehrmann, Dipl.-Ing. Becker

Ye, Jia	Optimale Ausrichtung einer Photovoltaikanlage und Berechnung deren Wirtschaftlichkeit Betreuer: Dr. Turschner, Dr. Wehrmann
Reus, Michaela	Modellierung von Wärmestrom und Temperaturverlauf eines SOFC-Stacks Betreuer: Dr. Turschner, Dipl.-Ing. Küster
Wang, Yuzhong	Simulatives Vergleichen des Betriebsverhaltens von Synchronverter und virtuellen Synchronmaschine (VISMA) Betreuer: Dr. Turschner, Dipl.-Ing. Chen
Athineos, Leonidas	Betriebsführung einer Hochleistungs-Solarlampe und Schaltungsanordnung zur Maximum-Power-Point-Steuerung von Solargeneratoren Betreuer: Prof. Sourkounis

Projektarbeiten

2010

Mögelin, Horst	Webbasierte Visualisierung und Steuerung von dezentralen Energieerzeugungsanlagen Betreuer: Dr. Wehrmann, Dr. Mbuy, Dipl.-Ing. Peters (Inensus)
----------------	--

2011

Alberti, Michael Herrling, Rolf Welck, Friedrich	Bestimmung der Strom- und Temperaturverteilung in großformatigen Doppelschichtkondensator-Modulen Betreuer: Prof. Wenzl, Dipl.-Ing. Benger
--	---

Diplom- und Masterarbeiten**2010**

- Yan, Hang Entwicklung eines Umwelt- und Fahrermodells für ein Elektrofahrzeug-Simulationsmodell
Betreuer: Dr. Turschner, Prof. Angermann, Dr. Böhme (IAV)
- Li, Bing Entwicklung eines Walzspaltmodells zur Nachbildung von Ratterschwingungen beim Warmwalzen
Betreuer: Dr. Tuschner, Dr. Wehrmann
- Lai, Pinghua Implementierung und Erprobung eines Störgrößenbeobachters zur Unterdrückung harmonischer Störungen
Betreuer: Dr. Turschner, Prof. Bohn (IEI)
- Heitmann, Kristina Untersuchung des Einsatzes von Elektro- und PlugIn-Hybridpersonenkraftwagen zur Bereitstellung von Regelenergie im deutschen Stromnetz
Betreuer: Prof. Wenzl, Dr. Wehrmann, Dipl.-Ing. Haubrock
- Qu, Hongpei Entwicklung und Anpassung von Regelalgorithmen für den Betrieb einer VISMA in Vehicle to Grid Anwendungen
Betreuer: Prof. Wenzl, Dr. Turschner, Dipl.-Ing. Haubrock, Dipl.-Ing. Chen
- Zhang, Yulin Integration und Implementierung von flashspeicherbasierten Speichermedien in Microcontrollersysteme
Betreuer: Dr. Turschner, Dr. Wehrmann, Dipl.-Ing. Hesse
- Sheng, Libin Modellbildung und Simulation eines realen Walzgerüsts in der Walzwerktechnik
Betreuer: Dr. Turschner, Dr. Wehrmann

Jin, Wei	Regelung einer Asynchronmaschine ohne Drehzahlgeber Betreuer: Dr. Turschner, Dr. Wehrmann
Wang, Xiaopeng	Schwingungsunterdrückung mit Hilfe des Verfahrens "Exakte Linearisierung" Betreuer: Dr. Turschner, Dr. Wehrmann
Schwake, Benjamin	Entwicklung und Inbetriebnahme eines Laborsystems zum hochdynamischen Betrieb von Drehfeldmaschinen Betreuer: Dr. Turschner, Dr. Wehrmann, Dipl.-Ing. Hesse
Hellmann, Felix	Vehicle-to-Grid - Bewertung der Regelenergiebereitstellung durch elektrifizierte Fahrzeuge Betreuer: Prof. Wenzl, Dr. Wehrmann, Dipl.-Ing. Haubrock
Almerie, Hassan	Optimierung und Überprüfung der elektrischen Energieversorgung im CUTEC-Institut Betreuer: Prof. Carlowitz, Dr. Wehrmann, Dipl.-Ing. Senke
Ell, Nikola	Entwicklung einer automatischen Reglerparametrierung für einen 13, 2 MW Getriebeprüfstand Betreuer: Prof. Beck, Dr. Turschner, Dipl.-Ing. Stubbe
Pohl, Christian	Spannungshaltung in Niederspannungsnetzen mit nennenswerter dezentraler Einspeisung durch Einspeisetransformatoren mit variablem Übersetzungsverhältnis Betreuer: Dr. Wehrmann, Prof. Beck
Agrebi, Oussama	Simulationstechnische Analyse des Niederspannungsverhaltens bei hohem Anteil regenerativen Erzeugungsanlagen Betreuer: Prof. Wenzl, Dr. Wehrmann, Dipl.-Ing. Haubrock

- Plaspohl, Martin
Strategieentwicklung zukünftiger Elektrizitätsbeschaffung
von Energieversorgungsunternehmen und Handloptionen an
Spotmärkten
Betreuer: Dr. Wehrmann, Prof. Kottnik (MVV Energie AG)
- Müller, Christian
Aufbau eines Steuergeräts für den Prüfstandsbetrieb eines
geregelten Drehschwingungsdämpfers
Betreuer: Prof. Bohn (IEI), Dr. Turschner
- Li, Yang
Entwicklung eines ereignisbasierten Alterungsmodells für
Li-Ionen Batterien
Betreuer: Prof. Wenzl, Dr. Wehrmann
- Gross, Thorsten
Anwendung und Weiterentwicklung eines Prognoseansatzes
für die Netzaufgabe von Verteilnetzen
Betreuer: Dr. Wehrmann, Prof. Menges (Inst. f. Wirtschafts-
wissenschaften)
- Wang, Daning
Simulation von Photovoltaik Anlagen - Konzeption und
Erstellung einer graphischen Benutzerschnittstelle
Betreuer: Dr. Turschner, Dr. Wehrmann
- Pu, Huang
FPGA-basierte Regelung einer Drehstromasynchronmaschine
Betreuer: Dr. Turschner, Dr. Wehrmann
- Xu, Ye
Einsatz eines nichtlinearen zeitdiskreten Filters zur Unter-
drückung von störenden Oberschwingungen bei der Lei-
stungsmessung in umrichter gespeisten Drehstromnetzen
Betreuer: Dr. Turschner, Dr. Wehrmann

- Chai, Wenjuan Einsatz eines nichtlinearen zeitdiskreten Filters zur Unterdrückung von störenden Oberschwingungen bei der Leistungsmessung in umrichter gespeisten Drehstromnetzen
Betreuer: Dr. Turschner, Prof. Siemers (Inst. f. Informatik)
- Colunga, Iván Fernández Analyse eines mechatronischen Prüfstandssystems mit dem Ziel der aktiven Schwingungsdämpfung in einem realen Walzgerüst
Betreuer: Dr. Turschner, Dr. Wehrmann
- 2011**
- Li, Hong Vergleich und Implementierung verschiedener Verfahren zur Synchronisierung zweier Drehstromsysteme
Betreuer: Dr. Turschner, Dr. Wehrmann
- Liang, Chen
Wu, Hao
Wang, Pu Systemmodellierung der klassischen und bürstenlosen Gleichstrommaschine
Betreuer: Dr. Turschner, Dr. Wehrmann
- Shao, Yanhua Simulation einer feldorientiert geregelten permanenterregten Synchronmaschine (PMSM)
Betreuer: Dr. Turschner, Dr. Wehrmann
- Xian, Jing Vergleich und Implementierung verschiedener Umrichtersteuerungsverfahren
Betreuer: Dr. Turschner, Dr. Wehrmann
- Zhang, Zhenan Simulation des dynamischen und stationären Betriebsverhaltens von netz- und umrichter gespeisten Asynchronmaschinen verschiedener Bauweisen
Betreuer: Dr. Turschner, Dr. Wehrmann

Zhang, Jing	Reduzierung der Batterieleistung beim Starten eines Verbrennungsmotors durch Direktstart Betreuer: Prof. Wenzl, Dr. Turschner
Mozgovoy, Alexey	Untersuchung einer Möglichkeit der Bereitstellung und Erbringung von Regelleistung durch eine Solartankstelle für Elektrofahrzeuge Betreuer: Prof. Wenzl, Dr. Wehrmann
Välilä, Tommi	Technische und wirtschaftliche Untersuchung zur Besonderheit des Netzanschlusses beim Pumpspeicherkraftwerk unter Tage (PSWuT) Betreuer: Dr. Wehrmann, Dr. Turschner
Sui, Peng Mi, Tian	Regler-Entwurf für ein inversen Pendel (in der Simulationsumgebung Mathlab/Simulink) Betreuer: Dr. Wehrmann, Dr. Turschner
Yang, Long	Entwicklung eines prognosebasierten Energiemanagementsystems für Photovoltaik Inselsysteme Betreuer: Prof. Bohn (IEI), Dr. Wehrmann
Xia, Lin	Entwicklung eines 2-D XRF-Messsystems Betreuer: Dr. Turschner, Dr. Wehrmann, Dipl.-Phys. Blei (SOLIBRO GmbH)
Li, Wenjun	Simulation einer Photovoltaikanlage im Leistungsoptimum mit Umrichter und unterschiedlichen Betriebsparametern Betreuer: Dr. Turschner, Dr. Wehrmann

- Chen, Hui
Modellbildung und Simulation eines schwingungsfähigen
Walzgerüsts einer Warmbreitbandstraße in einem Stahlwerk
Betreuer: Dr. Turschner, Dr. Wehrmann
- Entezarhojjat, Babak
Klimatische Einflüsse von Bedüsungssystemen unter Tage
Betreuer: Prof. Langefeld (Inst. f. Bergbau), Dr. Turschner
- Wang, Luwei
Automatische Kompensation der Geradelaufabweichung für
optimierte Bandregelung
Betreuer: Prof. Bohn (IEI), Dr. Turschner
- Tong, Xiaofeng
Netzstützende Wirkung der Virtuellen Synchronmaschine in
dezentralen Netzen im Parallelbetrieb
Betreuer: Dr. Turschner, Prof. Bohn (IEI)
- Wang, Yu
Auswirkungen von Elektrostraßenfahrzeugen und PV-An-
lagen auf die Spannungsqualität im Niederspannungsnetz
Betreuer: Prof. Wenzl, Dr. Wehrmann
- Schnieder, Raimund
Untersuchungen zur Spannungshalterung im Niederspan-
nungsnetz am Beispiel eines regelbaren Ortsnetztransforma-
tors
Betreuer: Prof. Beck, Dr. Wehrmann, Dipl.-Ing. Becker,
Dipl.-Ing. Werther
- Liu, Ziyuan
Auslegung und Optimierung eines Verbrennungsmotors als
Range-Extender für Elektrofahrzeuge
Betreuer: Prof. Wenzl, Dr. Turschner

- Mohaman Salissou, Sadou Evaluation verschiedener Parameter zur Optimierung der Verlustleistung in einem FPGA-basierten Multiprozessorsystem on-Chip (MPSoC)
Betreuer: Prof. Richter (Inst. f. Informatik), Dr. Turschner
- Wu, Ming Entwurf eines Dead-Beat-Reglers für unterschiedliche Strecken
Betreuer: Dr. Turschner, Prof. Bohn (IEI)
- Liu, Peiji Simulation des Modells einer Wasserturbine mit Generator in linearer und nichtlinearer Darstellung
Betreuer: Dr. Turschner, Prof. Bohn (IEI)
- Herrling, Rolf Entwicklung nachhaltiger Netzausbau- und Regelstrategien unter Berücksichtigung variabler Energiequellen, neuer Übertragungstechnologien und Betriebsmittel zur Erhaltung der Systemsicherheit
Betreuer: Dr. Wehrmann, Dr. Turschner,
Dr. Winter (TenneT)
- Ebangué Eyoum,
Theophile Gaspard Drahtlose Kommunikation von Steuersignalen zur ferngesteuerten Steuerung des Versuchsfahrzeugs "TUCar"
Betreuer: Prof. Richter (Inst. f. Informatik), Dr. Turschner

2 Veröffentlichungen, Dissertationen, Habilitationen

2.1 Zeitschriften- und Tagungsaufsätze, Patente / -anmeldungen

Zeitschriften- und Tagungsaufsätze, Bücher

2010

- | | |
|--|--|
| Osika, O.
Beck, H.-P. | Verbesserung der Netzstabilität
ew Heft 12/2010, Jg. 109, (Juni 2010) |
| Beck, H.-P.
Schmidt, M. | Windenergiespeicherung durch Nachnutzung stillgelegter Bergwerke
Buch: Dieses ist die letzte Tonne Erz, Gott schütze uns ferner vor
Leid und Schmerz – Sankt Andreasberg 100 Jahre Ende Silber-
bergbau, Geschichte und lebendige Zukunft , 1. Auflage, Papier-
flieger, ISBN 978-3-86948-088-6, (Juli 2010) |
| Beck, H.-P. (EFZN)
Franz, O. T. | Energy storage in abandoned mines - a method to stabilize the
German power grid
Tagungsband: Sino-German Conference & Excursions - Under-
ground storage of CO2 and energy - , Beijing, Jintan, Shanghai,
Daqing, China, (06.-13. Juli) |
| Hager, T.
Beck, H.-P.
Wehrmann, E.-A. | Simulation von regionalen Erdgasverteilnetzen mit unvollständiger
Messinfrastruktur
tm - Technisches Messen 77/10, (Oktober 2010) |
| Haubrock, A.
Beck, H.-P. | Emissionsfreies Schnellladen von Elektrofahrzeugen
ew, Heft 22/2010, (Oktober 2010) |
| Benger, R.
Heyne, R.
Haubrock, A.
Beck, H.-P. | Sustainable Fast Charging Stations For Electric Vehicles
Proceedings der 5th International Renewable Energy Storage
Conference, (22.-24. November 2010) |

2011

- Kaestle, G. Bewertung des Stromspeicherbedarfs mittels der fouriertrans-
formierten Restlast
IEWT (Internationale Energiewirtschaftliche Tagung), Wien,
(16.-18. Februar 2011)
- Chen, Y. Dynamic Properties of the Virtual Synchronous Machine (VISMA)
Hesse, R. International Conference on renewable energies and power quality
Turschner, D. (ICREPQ'11), Las Palmas de Gran Canaria, Spanien, 13.-15. April
Beck, H.-P. 2011)
- Chen, Y. Improving the Grid Power Quality Using Virtual Synchronous
Hesse, R. Machines
Turschner, D. III International Conference on Power Engineering, Energy and
Beck, H.-P. Electrical Drives (PowerEng 2011), Torremolinos (Málaga), Spa-
nien, (11.-13. Mai 2011)
- Kaestel, G. Improved Requirements For The Connection To The Low Voltage
Vrana, Till Kristian Grid
 CIREN 21st International Conference on Electricity Distribution,
Frankfurt, (06. -09. Juni 2011)
- Hager, T. Identification of the parameters "Pressure, flow and calorific value"
Bentaleb, A. in under-instrumented gas distribution grids by using modern
Wehrmann, E.-A. reconstruction methods
Beck, H.-P. 2nd IMEKO TC 11 International Symposium Metrological
Infrastructure, Cavtat, Dubrovnik Riviera, Croatia, 15.-17 Juni
2011)

- Heyne, R. Vergleich von Elektrotankstellen
Haubrock, A. Ingenieur Wissenschaften Deutschland, Herausgegeben vom Institut für
Benger, R. Wissenschaftliche Veröffentlichungen, ISSN 1618-8357, (Juli 2011)
Wenzl, H.
Beck, H.-P.
- Kaestle, G. Smart Standards for Smart Grid Devices
Vrana, T. K. 3rd European Conference Smart Grids and E-Mobility, München,
Bentaleb, A. (17.-18. Oktober 2011)
- Chen, Y. Netzstützende Wirkung der virtuellen Synchronmaschine in dezentralen Netzen
Hesse, R.
Turschner, D. Tagungsband ETG-Kongress, Würzburg, (08.-09. November 2011)
Beck, H.-P.
- Benger, R. The economic feasibility of renewable powered fast charging stations
Heyne, R.
Wenzl, H. 6th International Renewable Energy Storage Conference, Berlin,
Beck, H.-P. (28.-30. November 2011)

Patentanmeldungen / Patenterteilung

- Hesse, R. Schneller Breitband-Kompensator für Stördrehschwingungen
Stubbe, M. Anmeldetag: 09.12.2010
Turschner, D.
Beck, H.-P.
- Schade, W. Elektrochemischer Energiespeicher und Verfahren zur Bestimmung dessen Temperatur
Haubrock, A. Anmeldetag: 18.01.2011
Benger, R.
Beck, H.-P.

- | | |
|--|---|
| Hesse, R.
Werther, B.
Turschner, D.
Beck, H.-P.
Chen, Y. | Vorrichtung zur Detektion des Inselbetriebs von Eigenerzeugungsanlagen auf der Grundlage des durch Erzeuger und Lasten im Verbundnetz hervorgerufenen Frequenzrauschens
Anmeldetag: 20.01.2011 |
| Beck, H.-P.
Hesse, R.
Turschner, D. | Verfahren und Vorrichtung zur Hochspannungs-Gleichstrom-Übertragung zwischen mehreren Wechselstromnetzen
Anmeldetag: 31.03.2011 |

Dissertationen:**2011**

- | | |
|-----------------|--|
| Haubrock, André | Degradationsuntersuchungen von Lithium-Ionen Batterien bei deren Einsatz in Elektro- und Hybridfahrzeugen
Referenten: Prof. Beck, Prof. Zirn, Prof. Wenzl |
|-----------------|--|

2.2 Vorträge / Seminare

- | | |
|---|---|
| Hager, T.
Beck, H.-P.
Wehrmann, E.-A. | Simulation von regionalen Erdgasverteilnetzen mit unvollständiger Messinfrastruktur
VDI/VDE Expertenforum “Verteilte Messsysteme”,
Braunschweig, (24. März 2010) |
| Wehrmann, E.-A.
Beck, H.-P. | Energietechnologien + Energiesystemtechnik, Beispiele für moderne konsekutive Bachelor- und Master-Studiengänge, zugeschnitten auf die aktuellen Anforderungen im Energiesektor
Tagung: Jobmotor Energiesektor im Norden, Workshop B: Spezialisierte Energiestudiengänge an Universitäten und Fachhochschulen oder duale Lösungen?, Oldenburg
(07. Juni 2010) |
| Kaestle, G. | Kraft-Wärme-Kopplung im energiewirtschaftlichen Kontext
ASUE-Fachtagung, Bad Staffelstein, (26. - 27. Oktober 2010) |

- Kaestle, G. The Meaning of Photovoltaics to Future Grid Stability
1st Inverter and PV System Technology Forum 2011, Berlin,
(24. - 25. Januar 2011)
- Kaestle, G. Das virtuelle Hybrid-Strom-Kraftwerk in der "Prosumer-
Zelle", KWK im Keller & Solar auf dem Dach
Forum enertec dezentral, Leipzig, (27. Januar 2011)
- Turschner, D. Virtual Synchronous Machine (VISMA)
Deutsch, A. (TEMACON) Business Mission Week, Tokyo/Japan,
Braunsberger, T. (EZN) (31.01. - 04. Februar 2011)
- Turschner, D. Die Virtuelle Synchronmaschine (VISMA) zur Einbindung
regenerativer Erzeuger in elektrische Netze
VDE-AK Energietechnik, München, (10. Februar 2011)
- Kaestle, G. Bewertung des Stromspeicherbedarfs mittels der fouriertrans-
formierten Restlast
IEWT (Internationale Energiewirtschaftliche Tagung), Wien,
(16.-18. Februar 2011)
- Kaestle, G. Elektrotechnische Normen als Basis für ein stabiles Netz
DKE-Workshop Smart Grid, Offenbach, (05. Mai 2011)
- Kaestle, G. Smart Standards for Smart Grid Devices
Vrana, T. K. 3rd European Conference SmartGrids and E-Mobility, Mün-
Bentaleb, A. chen, (17. Oktober 2011)
- Kaestle, G. Das 50,2 Hz-Problem im Kontext verbesserter Netzanschluss-
Vrana, T. K. bedingungen - Leistungselektronik in Netzen
ETG-Kongress 2011, Würzburg, (08.-09. November 2011)
- Benger, R. Economic feasibility of renewable powered fast charging
Heyne, R. stations
Wenzl, H. 6th International Renewable Energy Storage Conference,
Beck, H.-P. Berlin, (28.-30. November 2011)

2.3 Geförderte Forschungsvorhaben

Im Berichtszeitraum wurden folgende geförderte Forschungsvorhaben bearbeitet :

Deutsche Bundesstiftung Umwelt

Lehr- und Demonstrationsanlage für dezentrale regenerative Energiesysteme (Energiepark Clausthal)

Bearbeiter: Dr. Ing. E.-A. Wehrmann, Dipl.-Ing. A. Dowrueng

Hansen Transmissions (Belgien)

Untersuchung möglicher Belastungsfälle für Windkraftanlagen als Folge der E.ON Netzanschlussregeln

Bearbeiter: Dr.-Ing. D. Turschner

Hansen Transmissions (Belgien)

Prüfstandsuntersuchungen zu möglichen Belastungsfällen für Windkraftanlagen durch Sonderereignisse

Bearbeiter: Dr.-Ing. D. Turschner

Technische Universität Kaiserslautern

Messdaten und Prüfstandsnutzung Windgetriebeprüfstand

Kurzbezeichnung: Untersuchung Windgetriebeprüfstand

Bearbeiter: Prof. H.-P. Beck, Dr.-Ing. D. Turschner

AiF / DECHEMA

SOFC-Brennstoffzelle mit partieller Anodenabgasrückführung

Kurzbezeichnung: SOFC mit Anodenabgasrückführung (AAGR)

Bearbeiter: Prof. H.-P. Beck, Dipl.-Ing. H. Stagge, Dr.-Ing. D. Turschner

Land Niedersachsen / MWK

ELAN III - eLearning Modul

Dezentrale Energiesysteme

Bearbeiter: Dr.-Ing. A. Mbuy

VFWH

AW 143 - Hochdynamischer Kompensationsaktuator zur Bedämpfung multifrequenter Torsionsstörschwingungen in Antriebssystemen

Kurzbezeichnung: AW 143 / Tilgerring

Bearbeiter: Dr.-Ing. D. Turschner, Dr.-Ing. R. Hesse, Dipl.-Ing. M. Stubbe

Europäische Kommission (Research Fund for Coal and Steel)

Global adaptive model for prediction, characterisation and damping of vibrations in hot strip mills

Kurzbezeichnung: Chatter

Bearbeiter: Dr.-Ing. D. Turschner, Dipl.-Ing. W. Xiong

Hansen Transmission (Belgien)

Windgetriebeprüfstand 20 kW

Bearbeiter: Dr.-Ing. D. Turschner

Daimler AG

Kapazitätsverlustuntersuchungen von Li-Ionen Zellen

Kurzbezeichnung: Kapazitätsverlustuntersuchungen Li-Ionen

Bearbeiter: Prof. H.-P. Beck, Dipl.-Ing. A. Haubrock

Dr. Heinz Wenzl

Testeinrichtung Behandeln von Batterien

Bearbeiter Dipl.-Ing. A. Haubrock

Land Niedersachsen / MWK

Forschungsverbund Energie Niedersachsen (FEN)

Zukunftsorientierte dezentrale Energiesysteme - Fortsetzungsteilprojekt 10: Stabilitätsuntersuchungen für umrichterdominierte Netze

Kurzbezeichnung: TP10

Bearbeiter: Prof. H.-P. Beck, Dr.-Ing. O. Osika, Dipl.-Ing. B. Werther

Land Niedersachsen / MWK

Forschungsverbund Energie Niedersachsen (FEN)

Zukunftsorientierte dezentrale Energiesysteme - Fortsetzungsteilprojekt 11: Untersuchungen an der VISMA

Kurzbezeichnung: TP11

Bearbeiter: Prof. H.-P. Beck, Dr.-Ing. R. Hesse, Dipl.-Ing. Y. Chen

NBank/EFRE (Europäischer Fonds für regionale Entwicklung)

Dezentrale Netzqualitätsverbesserung in Niederspannungsnetzen mit virtuellen Synchronmaschinen

Kurzbezeichnung: DNQ-VISMA

Bearbeiter: Dr. D. Turschner, Dipl.-Ing. T. Hesse

NBank/EFRE (Europäischer Fonds für regionale Entwicklung)

Entwicklung einer virtuellen Synchronmaschine für den Einsatz in unterbrechungsfreien Stromversorgungen

Kurzbezeichnung: USV-VISMA

Bearbeiter: Dr. H. Wenzl, Dipl.-Ing. A. Haubrock

DFG (Deutsche Forschungsgemeinschaft)

Leistungsstarke Kurzzeit-Energiespeichersysteme

Bearbeiter: Dr. H. Wenzl, Dipl.-Ing. R. Benger

Land Niedersachsen / MWK

GEBO-Werkstoffe (W8)

Bearbeiter: Dipl.-Wi.-Ing. R. Scharff, Dipl.-Ing. H. Darrelmann

Siemens AG

Development and technical and economical comparison of strategies for balancing of fluctuating and decentralized supply of renewable energies

Kurzbezeichnung: Siemens Strategies f. Renewable Energies

Bearbeiter: Dr. E.-A. Wehrmann, Dipl.-Wi.-Ing. G. Kaestle

BMU (Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit)

Windenergiespeicherung durch Nachnutzung stillgelegter Bergwerke

Kurzbezeichnung: Pumpspeicher unter Tage (PSW)

Bearbeiter: Dipl.-Wirtsch.-Ing. M. Schmidt, Dipl.-Ing. J. zum Hingst

BMWi über das DIN, Referat Entwicklungsbegleitende Normung und DKE

Dezentrale Netzstützung

Kurzbezeichnung: INS - Dezentrale Netzstützung

Bearbeiter: Dr. E.-A. Wehrmann, Dipl.-Wi.-Ing. G. Kaestle

IEE

BMWi/AiF

Entwicklung eines dreiphasigen Batteriewechselrichters

Kurzbezeichnung: ETINI (ZIM)

Bearbeiter: Dr. D. Turschner, Dipl.-Ing. T. Hesse

NBank/EFRE (Europäischer Fonds für regionale Entwicklung)

Niedersächsischer Forschungsverbund: Autarkes thermisch hoch integriertes SOFC-System kleiner Leistung auf Propanbasis

Kurzbezeichnung:

Bearbeiter: Dr. D. Turschner; Dipl.-Ing. T. Küster

BMWi im Rahmen des IGF

IGF-Vorhaben-Nummer 16638 N/3

Kurzbezeichnung: Weiterentwicklung AAGR

Bearbeiter: Dipl.-Ing. Küster

DFG

Leistungsstarke Kurzzeit-Energiespeicher BE 1496/14-2

Kurzbezeichnung: Leistungsstarke Kurzzeit-Energiespeicher

Bearbeiter: Dipl.-Ing. Bengler

DVGW

Fehlerfortpflanzung bei nacheinander geschalteten Netzen, Weiterentwicklung von Messnetzen und metrologische Validierung von Rekonstruktionssystemen für die Gasversorgung

Kurzbezeichnung: MetroGas

Bearbeiter: Dipl.-Ing. Bentaleb

BMWi

Normierung dezentraler erbrachter Systemdienstleistungen

Kurzbezeichnung: Normdes

Bearbeiter: Dr.-Ing. Osika

NBank/EFRE (Europäischer Fonds für regional Entwicklung)

Innovative Informations- und Bildungsplattform für zukunftsorientierte Energietechnologien

Bearbeiter: Dr.-Ing. Mbuy, Dipl.-Wirtsch.-Ing. Schmidt

E.ON Avacon AG
Regelbare Ortsnetztransformatoren
Kurzbezeichnung: RONT
Bearbeiter: Dipl.-Ing. Becker, Dipl.-Ing. Werther

E.ON Avacon AG
e-Home Energieprojekt 2020
Kurzbezeichnung: e-home 2020
Bearbeiter: Dipl.-Ing. Werther

Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie
Entwicklung von Lebensdauerprognosemodell
Bearbeiter: Prof. Wenzl, Dipl.-Phys. Heyne

Heinz Wenzl Beratung für Batterien und Energieelektronik
Aufbau und Versuche mit Kurzschlussstester
Kurzbezeichnung: Vermessung von Batterien
Bearbeiter: Prof. Beck, Dipl.-Ing. Bengler

Erdgas Südwest Netz GmbH
Aufnahme und Aufbereitung von Netzdaten zur Netzsimulation mittels KLB
Kurzbezeichnung: Aufnahme und Aufbereitung von Netzdaten
Bearbeiter: Prof. Beck, Dipl.-Ing. Hager

DFG
Direkte Abwärmeverstr. in thermoelektrischen Energiesystemen, GZ: BE 1496/16-1
Kurzbezeichnung: Thermoelektrische Abwärmeverstromung
Bearbeiter: Dipl.-Ing. Bentaleb, Dr. Ludwig

DFG
Alterungsmodelle von Lithium-Ionen Batterien am Beispiel von Elektrofahrzeugen, GZ: BE 1496/17-1
Kurzbezeichnung: Alterungsmodelle von Batterien
Bearbeiter: Prof. Wenzl, Dipl.-Ing. Bentaleb

Wolfsburg AG

Projektbegleitung und Entwicklung einer regenerativen Elektrotankstelle in Wolfsburg

Kurzbezeichnung: Regenerative Tankstelle in Wolfsburg

Bearbeiter: Prof. Beck, Dipl.-Phys. Heyne

2.4 Veranstaltungen, Exkursionen, Gastaufenthalte

Veranstaltungen:

19. Mai 2010

Feier zur Ernennung von Herrn Dr. Wenzl zum Honorarprofessor

8. Dezember 2010

Weihnachtsfeier mit Mitarbeitern, Lehrbeauftragten, Hiwis und Ehemaligen des IEE

14. Dezember 2011

Weihnachtsfeier mit Mitarbeitern, Lehrbeauftragten, Hiwis und Ehemaligen des IEE

Exkursionen:

04. Februar 2010

Zum Abschluss der Vorlesung “Sonderprobleme elektrischer Maschinen”:

- Besichtigung der Firma Vestas in Lübeck
- Besichtigung der Werkstatt (Herstellung von Generatoren für Windenergieanlagen)

12. Februar 2010

Exkursion nach Einbeck

- Besichtigung der Biogas-Anlage (das Gas wird da nicht verstromt sondern nach Aufbereitung in Erdgasnetz eingespeist)

06. Juli 2010

Exkursion zum Stahlwerk Salzgitter im Rahmen der Vorlesung “Elektrische Energietechnik”

22. Juli 2010

Besichtigung des Pumpspeicherkraftwerks Erzhausen im Rahmen der Vorlesung “Elektrische Energieerzeugung”

17. März 2011

Zum Abschluss der Vorlesung “Autonome Netze”

- Besichtigung des Pumpspeicherwerks Wendefurth
- Besuch des Energiedorfs Dardesheim

05. Juli 2011

Exkursion zur Vorlesung “Fossile und regenerative Energieressourcen”

- Besichtigung des Müllkraftwerks (Bremerhavener Entsorgungsgesellschaft)
- Besichtigung Fertigung Maschinenhäuser und Naben für Offshore-Turbinen 5 M und 6 M

19. Dezember 2011

Exkursion zur Vorlesung “Optimierung und Instandhaltung von Elektroenergieanlagen”

- Besichtigung des ThyssenKrupp Werks in Duisburg
- Besuch der Elektrowerkstatt
- Besuch des Warmbandwerks 2
- Besuch des Kraftwerks

3 Forschungsarbeiten

3.1 Ausbau der Institutseinrichtungen

Zur weiteren Komplettierung der Institutseinrichtungen wurden folgende Neuanschaffungen getätigt:

- Elektrofahrzeug Tesla (200 kW, Batterie 55 kWh)
- Nachbildung eines Antriebsstranges einer Großwindanlage (50 kW, mit Schwungmasse 5 kgm², Doppelt gespeiste Asynchronmaschine mit Netzstörungsnachbildung und Zwangsbremse)
- Aktives Verteilnetz (Microgrid) mit zwei realen Synchronmaschinen und zwei virtuellen Synchronmaschinen (VISMA-Umrichter) und entsprechende Speicher (4x10 kW, $\cos \varphi = 0,8$ kap, Multivisma)
- Brennstoffzellen (ca. 1 kW), Elektrolyseur (ca. 1kW) mit zweidimensionalen Strommessung (EFZN)

3.2 Projektblätter

Die folgende Übersicht und die sich anschließenden neuen bzw. aktualisierten Kurzbeschreibungen der von den wissenschaftlichen Mitarbeitern durchgeführten Forschungstätigkeiten geben Auskunft über den derzeitigen Stand der laufenden Projekte.

Projektübersicht

Projektleiter: Dr.-Ing. Ernst-August Wehrmann
Tel.: +49-5323-72-2595
E-Mail: wehrmann@iee.tu-clausthal.de

Arbeitsgruppe Dezentrale Energiesysteme

Nicht erst mit der in 2011 nach der Katastrophe im Atomkraftwerk Fukushima verkündeten Energiewende kam es zu einer verstärkten Nutzung regenerativer Energiequellen in Deutschland. Dieser Prozess begann schon deutlich früher und führte zunächst durch die Windenergienutzung zu Belastungen und Ausbaubedarf in elektrischen Mittel- und Hochspannungsnetzen und inzwischen durch einen enormen Anstieg der Photovoltaik-Anlagen zu vergleichbaren Anforderungen in Niederspannungsnetzen. Auch an Gasverteilnetze werden durch die verstärkte Biogaseinspeisung Aufgaben gestellt, für die sie bei ihrer Errichtung nicht ausgelegt wurden. Das IEE hat sich in dieser AG mit seinen Forschungsprojekten auf die elektrischen und Gas-Verteilnetze konzentriert, die gekennzeichnet sind durch geringe oder gar nicht vorhandene (online) Messtechnik und steigende dezentrale Einspeisung.

Durch die Energiewende wurden nun Ziele und Termine festgelegt, die neue Anforderungen an die Energienetze und die dezentralen Einspeiser stellen, für die in vielen Fällen die geeigneten Lösungen noch gefunden werden müssen. So werden z.B. die für so genannte Systemdienstleistungen genutzten zentralen Kraftwerke zukünftig nicht mehr im dafür erforderlichen Umfang am Netz sein. Daraus folgt, dass für die Sicherstellung des stabilen Netzbetriebes dezentrale Einspeiser verstärkt diese Systemdienstleistungen übernehmen müssen

Vor diesem Hintergrund werden in der AG Dezentrale Energiesysteme aktuell mehrere Forschungsprojekte bearbeitet.

- **Vorausschauende Online-Gasnetzsimulation**

Das IEE erforscht bereits seit über 15 Jahren Simulationsansätze für Gasverteilnetze mit geringer Messinfrastruktur. In voran gegangenen Projekten (Diss. Vollmer und Schröder) wurden mit der Vorstellung des so genannten Knotenlastbeobachters die Grundlagen für die Berechnung der inneren Druck- und Fließzustände eines Gasnetzes gelegt, ohne dass dafür alle aus dem Netz abfließenden Mengen bekannt sein müssen. Dieses Verfahren³⁵ wird aktuell in Zusammenarbeit mit dem Netzbetreiber E.ON Avacon AG und dem Systemhaus PSI AG auf ein großes regionales Gasverteilnetz mit weit über 100 Ausspeisungen ange-

wandt und weiter entwickelt. Speziell für die zunehmende Biogaseinspeisung kann dieser Ansatz zukünftig große Bedeutung erlangen, wie im nächsten Projekt dargestellt wird

Bearbeiter: Dipl.-Ing. Torsten Hager

- **Knotenlastbeobachter für Abrechnungszwecke (MetroGas)**

In diesem Projekt geht es ebenfalls um den Einsatz des Knotenlastbeobachters in schwach vermessenen Gasverteilnetzen, jedoch mit dem Fokus auf der Identifizierung der räumlichen und zeitlichen Verteilung unterschiedlicher Gasqualitäten (Brennwerte) mit der für Abrechnungszwecke erforderlichen Genauigkeit. Wenn dies gelingt, könnte zukünftig z.B. auf die energetisch und anlagentechnisch aufwendige Aufbereitung von Biogas auf den im Netz vorliegenden Brennwert verzichtet werden.

Bearbeiter: Dipl.-Ing. Abdelhamid Bentaleb

- **Vorstudie Netzvision 2020, Orientierungsstudie zum regelbaren Ortsnetztransformator (RONT) und e-Home Energieprojekt**

Die aktuelle und zukünftig zu erwartende Entwicklung im Niederspannungsnetz sowohl auf der Einspeise- als auch auf der Lastseite mit zunehmenden Anteilen von PV-Anlagen, Wärmepumpen, Klimageräten und Elektroautos stellt neue Anforderungen an das Niederspannungs-(NS-)Netz. Dies veranlasste den Netzbetreiber E.ON Avacon AG in drei Teilprojekten die wissenschaftliche Zusammenarbeit mit dem IEE und dem EFZN zu suchen. In der Vor- und Orientierungsstudie wurden, jeweils in halbjährigen Projekten einige grundsätzliche Fragen und prinzipiell gehbare Lösungswege aufgezeigt. Das aktuell laufende e-Home-Energieprojekt behandelt diese und weitere Themen wesentlich tiefer. Zusätzlich werden im Rahmen der EFZN-Forschungspartner auch rechtliche und wirtschaftliche Aspekte behandelt.

- **Windenergiespeicherung durch Nachnutzung stillgelegter Bergwerke**

Im Rahmen der Energiewende werden zukünftig Speicher für elektrische Energie in bisher ungewohnter Größenordnung benötigt. Eine Möglichkeit, Pumpspeicherwerke auch in Regionen zu bauen, die oberirdisch hierzu keine topografischen Voraussetzungen hierzu bieten. Ganz auf die Möglichkeiten der TU Clausthal zugeschnitten, behandelt dieses Projekt bergbauliche, geologische, maschinenbauliche; elektrotechnische, wirtschaftliche, juristische sowie Umweltfragen behandelt. Das IEE war bei den Projekt zuständig für die elektrischen Anschlussbedingungen, die unter- und übertägigen Anlagen und die Einsatzbedingungen des Kraftwerks.

Projektübersicht

- **Integrales emissionsminimiertes Energiekonzept der Medizinischen Hochschule Hannover**

Im Rahmen einer Machbarkeitsstudie wurde ein integrales Energiekonzept zur energetischen Sanierung und Betriebsoptimierung des Gebäudekomplexes der Medizinischen Hochschule Hannover entwickelt. Die Aufgaben des IEE lagen dabei auf den Gebieten der Analyse des elektrischen Energieverbrauchs und bei der Planung eines Blockheizkraftwerkes, das sowohl zur elektrischen als auch zur thermischen Energieversorgung und darüber hinaus zur Notstromversorgung dienen soll.

- **Erprobung von innovativen Umrichtersystemen in Arealnetzen (FEN TP 10)**

Das Teilprojekt 10 ist eines der beiden vom IEE bearbeiteten Teilprojekte im Rahmen des inzwischen abgeschlossenen Forschungsverbundes Energie Niedersachsen. Es beschäftigt sich mit dem Zusammenspiel verschiedenen kleiner dezentraler Einspeiser in einem Inselnetz und der aktiven Rolle, die in diesem Kontext die am IEE entwickelte "Virtuelle Synchronmaschine" (VISMA) übernehmen kann. Experimentelle Untersuchungen im Energiepark Clausthal konnten die stabilisierende Wirkung der VISMA belegen.

- **Normierung dezentral erbrachter Systemdienstleistungen (NormDeS)**

Wie schon erwähnt, werden sich mit zunehmender dezentraler Einspeisung elektrischer Energie die dezentralen Anlagen vermehrt an der Erbringung von Systemdienstleistungen (SDL) beteiligen müssen. In diesem Projekt geht es darum, die Eigenschaften der Anlagen normativ so zu fassen, dass sie diesen Beitrag gesichert erbringen können. Diese Ansätze werden durch intensive Beteiligung in Normungsgremien vertreten. Experimentell konnte nachgewiesen werden, dass kleine Anlagen, wie Umrichter gekoppelte Blockheizkraftwerke und selbst kleinste Anlagen, wie Kühlschränke SDL erbringen können.

IEE

Projekt: Entwicklung einer vorausschauenden Online-Simulation von regionalen Gasverteilnetzen

Problem: Diverse Gesetzesinitiativen in den vergangenen Jahren, sowohl auf europäischer wie auch auf nationaler Ebene, der stetige Ausbau von Biogasanlagen mit einer Einspeisung in das Erdgasnetz und das gestiegene Interesse der Gasnetzbetreiber die Prozesse in ihren Erdgasverteilnetzen besser kennen zu wollen, stellen neue Anforderungen an die eingesetzten Simulationssysteme. Die kommerziell erhältlichen Simulationswerkzeuge ermöglichen die Simulation der Drücke und Flüsse von komplett instrumentierten Gasnetzen. Unter komplett instrumentierten Netzen versteht man Netze bei denen alle Zu- und Abflüsse sowie mindestens ein Druck gemessen sind. Diese Voraussetzung ist in der Regel jedoch nur bei Transportnetzen mit wenigen Ausspeisestellen erfüllt. Aufgrund der großen Anzahl an Ein- und Ausspeisestellen bei regionalen Erdgasverteilnetzen wäre eine komplette Ausstattung mit Messeinrichtungen mit sehr hohen Kosten verbunden. Um diesen Aufwand zu vermeiden müssen neue Werkzeuge entwickelt werden, mit denen die Simulation von Netzen mit einer unvollständigen Messinfrastruktur möglich ist.

Ziel: Weiterentwicklung einer Gasnetzs simulationssoftware und Implementierung in ein regionales Erdgasverteilnetz der E.ON Avacon AG. Des Weiteren soll die Anzahl und Lage der dafür notwendigen Messeinrichtungen festgelegt werden.

Stand der Technik: Die derzeitig sich im Einsatz befindenden Gasnetzs imulationen sind vor allem für vollständig gemessene und wenig verzweigte Transportnetze ausgelegt. In stark vermaschten Verteilnetzen mit einer unvollständigen Messinfrastruktur funktionieren diese Simulationen nicht, beziehungsweise nur sehr stark eingeschränkt. Um diese Problematik mit einem nur geringen Ausbau der Messinfrastruktur zu lösen, wurde im Rahmen eines Forschungsprojektes zusammen mit der E.ON Thüringer Energie AG und der PSI AG am IEE im Zeitraum 2005 bis 2009 der Gasnetzs imulator (GANESI) weiterentwickelt. Der von dem Simulationssystem verwendete Luenberger Beobachter wurde hierbei um einen Störgrößenbeobachter (Knotenlastbeobachter) erweitert, der die nicht gemessenen Entnahmen nachbildet (siehe Bild 1). Um die Einschwingzeit des Knotenlastbeobachters zu verringern, wurde zusätzlich eine

Vorsteuerung über Lastprofile implementiert.

Dieser Knotenlastbeobachter wurde an einem Netzausschnitt mit 26 Auspeisungen eines komplett instrumentierten Netzes entwickelt. In zahlreichen Simulationsläufen an diesem Netz hat er seine Funktionsfähigkeit unter Beweis gestellt.

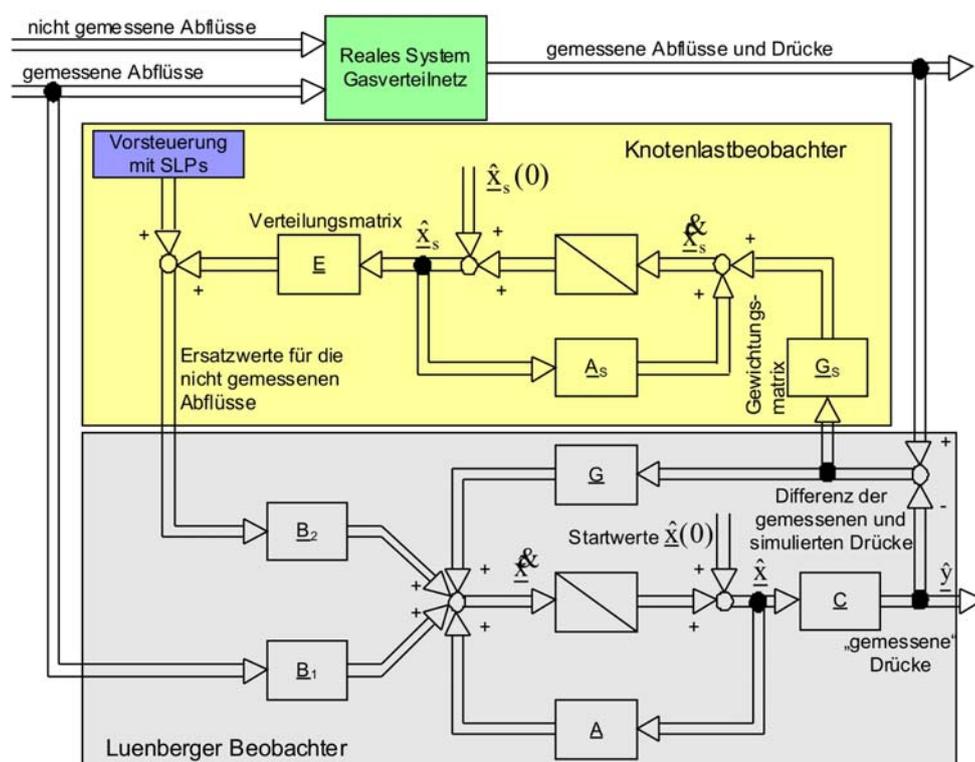


Bild 1: Strukturdiagramm des Simulationssystems mit Knotenlastbeobachter

Lösungsweg: Als erster Schritt hin zu einer Implementierung eines Simulationssystems in das Netz der E.ON Avacon AG (siehe Bild 2) ist es notwendig eine Bestandsaufnahme der installierten Messeinrichtung durchzuführen. Anschließend werden für die ungemessenen Auspeisungen die Standardlastprofile nach dem Verfahren der TU München erstellt und in diesem Rahmen auch eine Untersuchung der Kundenstruktur durchgeführt. Auf Basis der Bestandsaufnahme und der Untersuchung der Kundenstruktur werden anhand von speziell entwickelten Kriterien die Auspeiseknoten identifiziert, an denen

Projekt: Entwicklung einer vorausschauenden Online-Simulation von regionalen Gasverteilnetzen

eine zusätzliche Flussmessung installiert werden muss. Daran anschließend sind diese Messeinrichtungen zu installieren, was einen erheblichen Zeitaufwand mit sich bringt. Um schon zeitnah den Knotenlastbeobachter erforschen zu können, werden parallel zum Ausbau der Messinfrastruktur synthetische Messwerte erzeugt. Hierfür werden für die ungemessenen Ausspeisungen Zeitreihen angenommen und dazu die entsprechenden Drücke simuliert, wodurch ein konsistenter Datensatz für das Netz erzeugt wird.

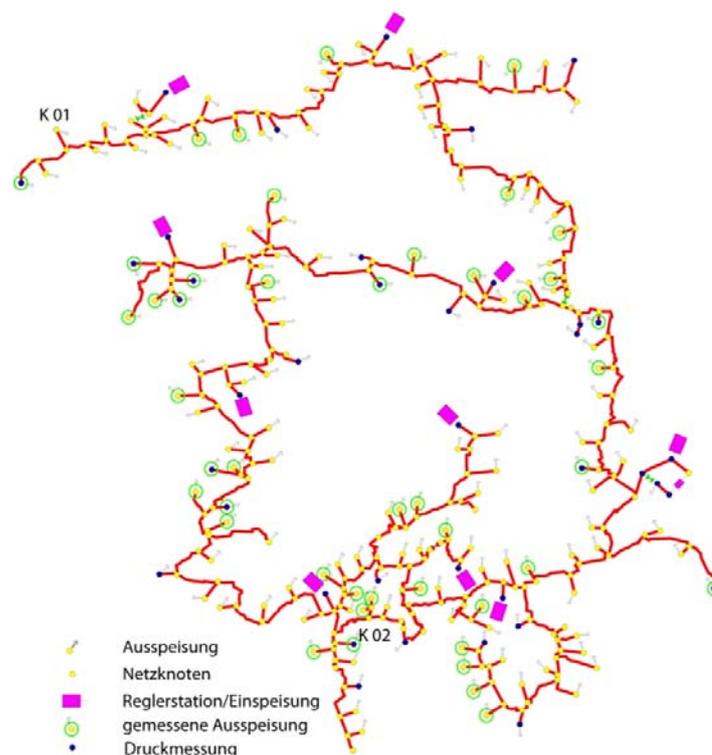


Bild 2: Netztopologie des E:ON Avacon Netzes

Daran anschließend wird der Knotenlastbeobachter für dieses Netz implementiert. Aufgrund der Größe des Netzes und den daraus resultierenden Druckdifferenzen in den unterschiedlichen Netzbereichen, sind mehrere Druckmessungen (Teilnetzknuten) für die Beobachtung des Netzzustandes zu berücksichtigen. Zum Entwurf des Beobachters gibt es zwei Möglichkeiten. Entweder man unterteilt das Gesamtnetz in mehrere Teilnetze und berechnet für jedes Teilnetz separat die ungemessenen Ausspeisemengen (mehrere

Projekt: Entwicklung einer vorausschauenden Online-Simulation von regionalen Gasverteilnetzen

Eingrößenbeobachter) oder man berechnet die ungemessene Ausspeisemenge für das gesamte Netz unter Einbeziehung mehrerer Druckmessungen (ein Mehrgrößenbeobachter). Da der Knotenlastbeobachter in der ersten Entwicklungsstufe als Eingrößenbeobachter an einem kleinen Testnetz entwickelt und getestet wurde, wird als erster Ansatz bei dem großen Netz ebenfalls die Variante mit mehreren Eingrößenbeobachtern implementiert und anfangs mit den synthetischen Messwerten getestet. Anhand der damit erzielten Ergebnisse und Ergebnischarakteristiken wird entschieden ob eine Weiterentwicklung zum Mehrgrößenbeobachter erfolgt. Hierbei muss auch untersucht werden, wie der Knotenlastbeobachter grundsätzlich auf mehrere Druckmessstellen reagiert. Des Weiteren werden neue Ansätze zur Besetzung der Beobachtermatrizen, ganz spezielle der E-Matrix, untersucht. Nach dem kompletten Ausbau der Messinfrastruktur werden die realen Messwerte zur Erprobung des Knotenlastbeobachters herangezogen.

Bei der Simulation mit synthetischen Messwerten werden nicht für alle Ausspeisungen die synthetischen Messwerte angesetzt. Stattdessen gehen einige Ausspeisungen als ungemessen, mit entsprechender Vorsteuerung durch Standardlastprofile, in die Simulation ein. Diese ungemessenen Ausspeisungen werden mittels Knotenlastbeobachter berechnet und anschließend gegen die entsprechenden synthetischen Messwerte validiert. Bei der Simulation mit den realen Werten muss zur Validierung der Ergebnisse der Umweg über die Brennwerte in Kauf genommen werden, da eine temporäre Messung von weiteren Ausspeisestationen oder Rohrflüssen zu aufwendig ist. Stattdessen ist geplant an verschiedenen Stellen im Netz mittels mobilem Gaschromatographen die Brennwerte zu messen und mit den simulierten Brennwerten zu vergleichen. Kommt es hierbei zu einer Übereinstimmung, kann daraus geschlossen werden, dass auch die Flüsse und Drücke korrekt simuliert wurden, da sich die Änderung des Brennwertes aus diesen berechnet.

Projektstand: Seit dem Projektstart Anfang 2009 wurde eine Bestandsaufnahme der vorhandenen Messeinrichtungen durchgeführt, die Messwerte beschafft und für die nicht gemessenen Ausspeisestellen

Projekt: Entwicklung einer vorausschauenden Online-Simulation von regionalen Gasverteilnetzen

Standardlastprofile entwickelt. Auf Grundlage der Bestandsaufnahme und der Standardlastprofile und der damit einhergehenden Analyse der Kundenstruktur an den Ausspeiseknoten sind die zusätzlich noch zu installierenden Messeinrichtungen identifiziert worden. Aufgrund der Erfahrungen aus dem vorherigen Projekt zusammen mit der E.ON Thüringer Energie AG und der PSI AG hat man festgelegt, dass Ausspeisungen mit einem Anteil an nicht gemessenen Industriekunden von mehr als 25 Prozent gemessen werden müssen. Dies begründet sich durch das individuelle Abnahmeverhalten von Industriekunden, welches nicht ausreichend genau durch Standardlastprofile erfasst werden kann. Durch diverse Iterationsschritte wurde die Anzahl der benötigten Messstellen nochmals reduziert, indem Ausspeisestationen wo es möglich war in den Standby-Betrieb überführt wurden, wodurch sich ein Quasimesswert von null ergibt. Der Bau der zusätzlichen Messstellen wurde Ende 2009 ausgeschrieben, die Baumaßnahmen wurden in 2011 durchgeführt, so dass seit Dezember 2012 alle Messeinrichtungen auf deren korrekte Funktionsweise getestet werden konnten.

Des Weiteren wurden die für die Simulation benötigten Druckmessstellen ausgewählt und die entsprechenden Knoten als Teilnetzknotten und damit einhergehend die Teilnetze definiert. Daran anschließend wurde der Knotenlastbeobachter in der Variante mit mehreren Eingrößenbeobachtern für das Netz implementiert und die synthetischen Messwerte generiert. Nach ersten Testläufen erfolgte eine Anpassung der Auslegung der Matrix E des Knotenlastbeobachters (vgl. Bild 1). Durch weitere Spezifikationen des Knotenlastbeobachters, unter anderem die Reduzierung der Anzahl an Teilnetzen, konnten unter Verwendung der synthetischen Messwerte die in Bild 3 exemplarisch für zwei Ausspeisungen gezeigten Verläufe simuliert werden. Die grüne Kurve entspricht dabei den synthetischen Messwerten und die blaue Kurve den simulierten Ausspeisemengen. Zusätzlich ist in rot die Vorsteuerung mit eingezeichnet. Die interessanten Bereiche, in denen die Vorsteuerung und die synthetischen Messwerte stark voneinander abweichen, sind in den Diagrammen eingekreist. An diesen Bereichen lässt sich die Funktionsfähigkeit des Knotenlastbeobachters sehr gut nachweisen, er kommt seiner Aufgabe nach und

gleicht die Abweichung zwischen Vorsteuerung und synthetischem Messwert sehr gut aus.

Die verwendete Messinfrastruktur entspricht bei dieser Simulation der tatsächlichen Messinfrastruktur im Netz nach dem Ausbau.

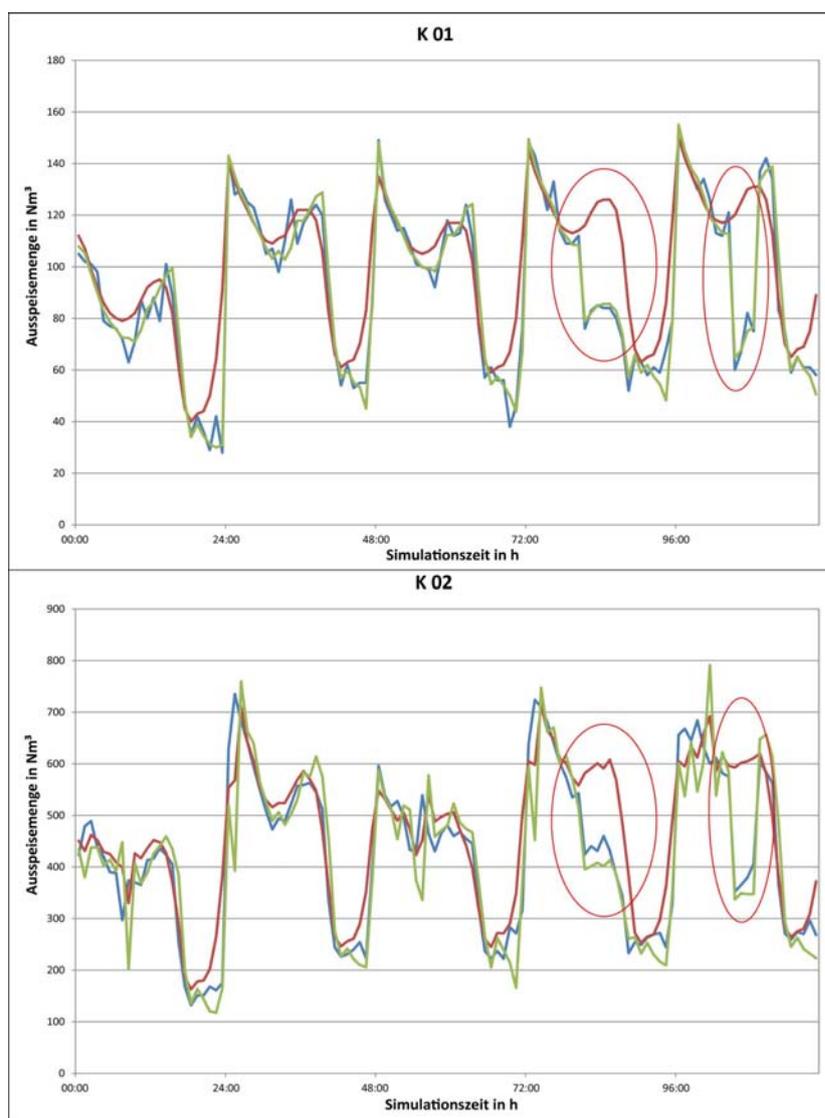


Bild 3: Simulierte Abflüsse (blau), synthetische Messwerte (grün) und Vorsteuerung (rot) für die Knoten K 01 und K 02

Projekt: Entwicklung einer vorausschauenden Online-Simulation von regionalen Gasverteilnetzen

Nach Abschluss der Prüfung der neuen Messeinrichtungen werden Messreihen aufgenommen und entsprechende Simulationen durchgeführt. Zusätzlich werden Brennwerte im Netz über einen längeren Zeitraum aufgenommen, um damit die Validierung des Systems durchführen zu können. Die Entwicklungsstufen des Knotenlastbeobachters lassen deuten darauf hin, dass eine geringere Anzahl von Teilnetzen, beziehungsweise dass eine Verteilung der Fehlmenge über einen größeren Netzbereich zu besseren Ergebnissen führt. Daher erscheint es sinnvoll, zukünftig auch die Variante mit einem Mehrgrößenbeobachter, wie eingangs beschrieben, zu entwerfen und zu erproben.

Die bisher schon sehr vielversprechenden Ergebnisse lassen erwarten, dass die mit dem Knotenlastbeobachter erreichte Simulationsgüte eine deutliche Verbesserung der bisherigen Situation darstellt und die in sie gesteckte Erwartungen von Seiten des Dispatchings erfüllt werden können.

Projektpartner: E.ON Avacon AG, Helmstedt
PSI AG, Berlin

Bearbeiter: Dipl.-Ing. Torsten Hager (Tel: 72-3736)
torsten.hager@tu-clausthal.de

Projektleiter: Dr.-Ing. Ernst-August Wehrmann (Tel: 72-2595)

IEE

Projekt: Weiterentwicklung und metrologische Validierung von Messnetzen und Rekonstruktionssystemen für die Gasversorgung (MetroGas)

Problem: In diesem Projekt wird die Problematik der prozessbegleitenden Gasnetzsimulation speziell unter dem Gesichtspunkt der Belange regionaler Gasverteilungsnetze betrachtet.

Eine instationäre Gasnetzsimulation durch Zustandsbeobachtung für regionale Gasverteilungsnetze soll in einer angemessenen Weise realisiert werden. Die Realisierung soll unter der Prämisse eines geringstmöglichen Messaufwandes erfolgen und gleichzeitig eine zuverlässige Abbildung des Strömungszustands liefern. Möglichkeiten und Grenzen des Ersatzes von Messungen durch Berechnungen sind aufzuzeigen. Will man Gasqualitäten online verfolgen, ist eine möglichst exakte Schätzung des Fließzustandes im Netz (Rohrleitungsflüsse) unbedingt erforderlich. Dazu sollen mathematische Ansätze zur Modellbildung von Gasnetzen und zum Beobachterentwurf untersucht werden. Ein für die Wiedergabe der Dynamik regionaler Verteilungsnetze angemessenes Prozessmodell mit Zustandsbeobachter ist korrekt zu formulieren. Die Entwicklung und grundsätzliche Validierung der Verfahren soll an verschiedenen Netztopologien erfolgen. Die Qualität bzw. Zuverlässigkeit der Zustandsbeobachtung ist durch den Vergleich mit den Messdaten zu überprüfen.

Ein sehr wichtiger Aspekt für die Genauigkeit der Zustandsrekonstruktion in Gasverteilnetzen ist die Anzahl und die Lage der Messstellen. Da eine Messung aller Ausspeisungen, aufgrund des finanziellen Aufwands (hohe Kosten für Installation und Fernübertragung) nicht möglich ist, ist die Bestimmung aller Knotenabnahmen (bzw. Eingangsgrößen) die die Simulation maßgeblich beeinflussen, entscheidend für die Genauigkeit der Zustandsrekonstruktion. Mit Hilfe von empirischen Untersuchungen und Analysen der Systemmatrizen (Strukturmaße) wird versucht die für das dynamische Verhalten maßgeblichen Zustandsgrößen bzw. Steuer- und Messgrößen zu ermitteln.

Ziel: Entwicklung von Verfahren und Werkzeugen zur Berechnung und quantitativen Beurteilung von Genauigkeit und Vertrauenswürdigkeit der Bestimmung von Abrechnungsbrennwerten und anderen Gasbeschaffenheitskenngrößen bei Kaskadennetzen auf der Basis von systemtheoretischen Analysen, Sensitivitätsanalysen, und der Anwendung Bayes'scher Schätzverfahren und damit die Erringung der

Technologieführerschaft bei der Kompetenz zur metrologischen Beurteilung und Optimierung von Zustandsrekonstruktionsnetzen innerhalb der einschlägigen europäischen metrologischen und Forschungsinstitute

Stand der Technik: Der Stand der Technik bei dem Einsatz von Gasbeschaffenheitsverfolgungssystemen für Abrechnungszwecke ist in den einschlägigen technischen Regeln nach dem Eichgesetz niedergelegt. Danach müssen alle in das betrachtete Gasnetz eingespeisten und ausgespeisten Mengen und die Gasbeschaffenheit der eingespeisten Gase gemessen werden. Zur Sicherstellung der Richtigkeit ist weiterhin mindestens eine Referenzmessung an einer ausgewählten Stelle des Netzes gefordert. Aus diesen Randbedingungen folgt dass das Gasnetz vollständig mit entsprechender Mengen- und Qualitätsmesstechnik ausgerüstet werden muss. Diese Messinfrastruktur ist allerdings in Gasverteilungsnetze, die in der Regel stark vermascht sind und viele Ausspeisungen in nachgelagerte Ortsnetze haben, nicht vorhanden. Ein Ausbau einer vollständigen Messinfrastruktur, um die herkömmliche Gasnetzsimulationssotware einsetzen zu können (GANESI; SIMONE) ist sehr kostenintensiv und daher in der Praxis nicht umsetzbar. Ein viel versprechender Ansatz ist das Konzept der Knotenlastbeobachtung. Dabei werden unbekannte Randwerte mittels eines Störgrößenbeobachters nachgebildet. Zum Entwurf des Beobachters existieren mehrere Ansätze, die im Rahmen des Projekts untersucht werden um ihren Wert in Hinblick auf das Projektziel beurteilen zu können.

Lösungsweg: Dem Beobachtungsproblem liegt nun die Überlegung zu Grunde, dass man den aktuellen Gasnetzzustand (Drücke und Rohrflüsse) auf Basis der verfügbaren Messinformation und auf der Grundlage eines Prozessmodells möglichst exakt bestimmt. Als erster Schritt soll das verwendete Prozessmodell beschrieben werden. Für die Rekonstruktion wird ein quasistationäres Modell (Nachführung des Arbeitspunktes nach jedem Simulationsschritt) verwendet. Zur Weiterentwicklung des Knotenlastbeobachters werden unterschiedliche Auslegungsmethoden der Beobachtergewichtungsmatrizen erprobt und verschiedene Entwurfsverfahren untersucht. Zur Optimierung der Messinfrastruktur wird eine systemtheoretische Analyse (mit Hilfe

Projekt: Weiterentwicklung und metrologische Validierung von Messnetzen und Rekonstruktionssystemen für die Gasversorgung (MetroGas)

von Strukturmaßen) durchgeführt. Im Zusammenspiel mit empirischen Untersuchungen (Auspeisemenge, Kundenstruktur und Nachbildbarkeit von Knotenabnahmen durch SLPs) können Anhaltspunkte für eine empfehlenswerte Messinfrastruktur formuliert werden. Bei der Auslegung der Messinfrastruktur soll auch eine Sensitivitätsanalyse berücksichtigt werden. Aus einem linearen Ersatzmodell werden Sensitivitätskoeffizienten ermittelt. Diese entsprechen das Verhältnis zwischen der Änderung des Ergebnisses und Änderung der Eingangsgröße (Modellierung der Messfehler). Die Auswertung dieser Koeffizienten ermöglicht auch die Aussage über die Wichtigkeit einer Messstelle bzw. eines SLPs für die Zustandsrekonstruktion. Mit der Sensitivitätsanalyse kann auch die Vertrauenswürdigkeit der Rekonstruktion jeder Zustandsgröße quantitativ beurteilt werden. Die Entwicklung und grundsätzliche Validierung der beschriebenen Ansätze soll zunächst in einem ausgewählten vollständig vermessenen Referenznetz der E.ON-Thüringer-Energie (System 127ter Ordnung mit 27 Auspeisungen, Bild 1) erfolgen. Die Qualität bzw. Zuverlässigkeit der Zustandsbeobachtung ist durch den Vergleich mit den Messdaten zu überprüfen. Die erfolgsversprechenden Ansätze sollen dann anschließend auf komplexere Regionalnetze mit dezentralen Einspeisungen insbesondere auch von Biogasen (z. B. Netz der Erdgassüdwest mit Biogaseinspeisung, Bild 2), übertragen werden.

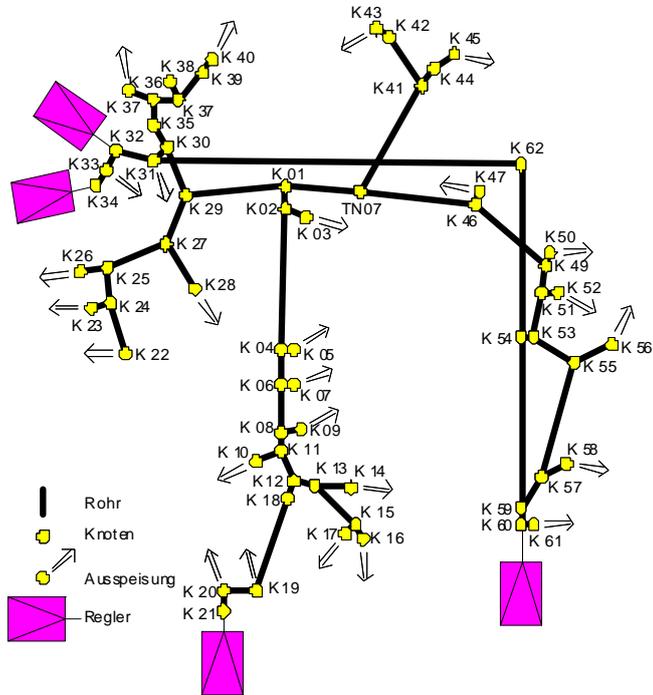


Bild 1: Netztopologie des E.ON-Thüringer-Energie Netzes

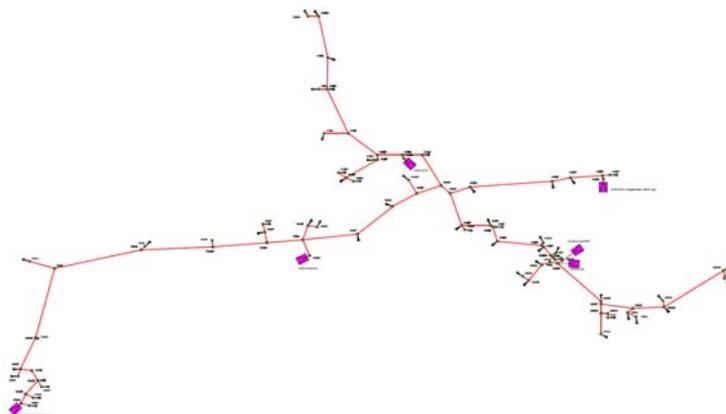


Bild 2: Netztopologie des ESWE Netzes mit Biogaseinspeisung

Projekt: Weiterentwicklung und metrologische Validierung von Messnetzen und Rekonstruktionssystemen für die Gasversorgung (MetroGas)

Projektstand: Zur Untersuchung der Zustandsbeobachtung bei unvollständiger Messinfrastruktur wurden mehrere Simulationen in Matlab für das E.ON-Thüringer-Energie-Untersuchungsnetz (bei einer Messinfrastruktur von 30 % aller Ausspeisungen) durchgeführt. Die Ergebnisse der Simulationen an einem ausgewählten Ausspeiseknoten verglichen mit den Messwerten sind in den Abbildungen 3, 4 und 5 dargestellt.

Bei einer dynamischen Auslegung der Gewichtungsmatrizen kommt es beim Durchlaufen der Täler zu größeren Überschwingern. Die Abweichungen über die gesamte Simulationszeit unterscheiden sich nicht viel von den gezeigten bei einer konstanten Auslegung.

Beim optimalen Beobachter, basiert der Entwurf auf der Minimierung eines Gütemaßes das dem Erwartungswert des mittleren quadratischen Schätzfehlers (damit wird die Beobachterdynamik berücksichtigt) entspricht. Der entscheidende Unterschied zum Ansatz in den Abbildungen 3 und 4 liegt in der andersartigen Berechnung der Beobachtergewichtungsmatrizen, die die Stochastik berücksichtigt.

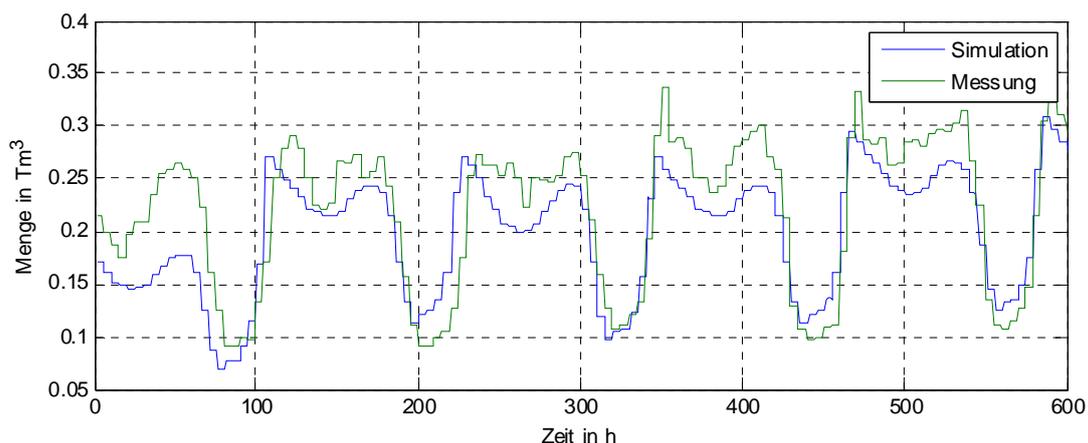


Bild 3: Vergleich Simulation Messwert für einen Ausspeiseknoten (statische Gestaltung der Gewichtungsmatrizen, Entwurf nach Lappus)

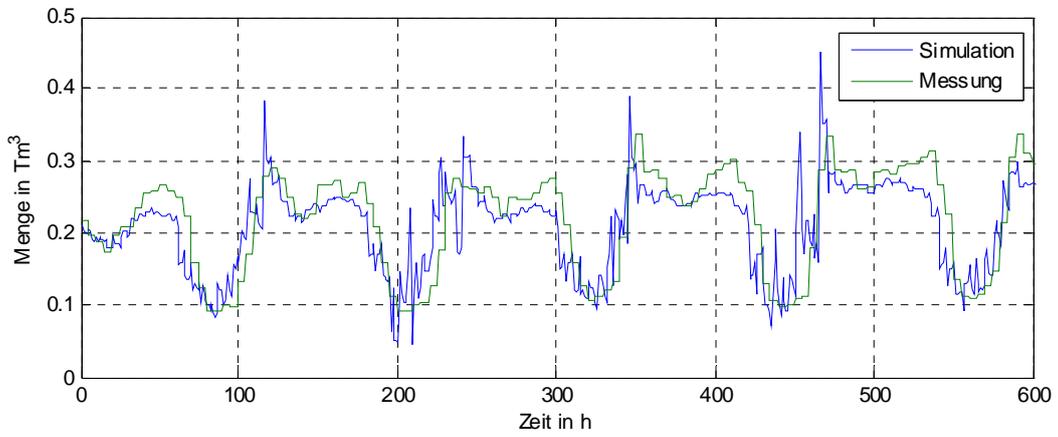


Bild 4: Vergleich Simulation Messwert für einen Ausspeisknoten (dynamische Gestaltung der Gewichtungsmatrizen, Entwurf nach Lappus)

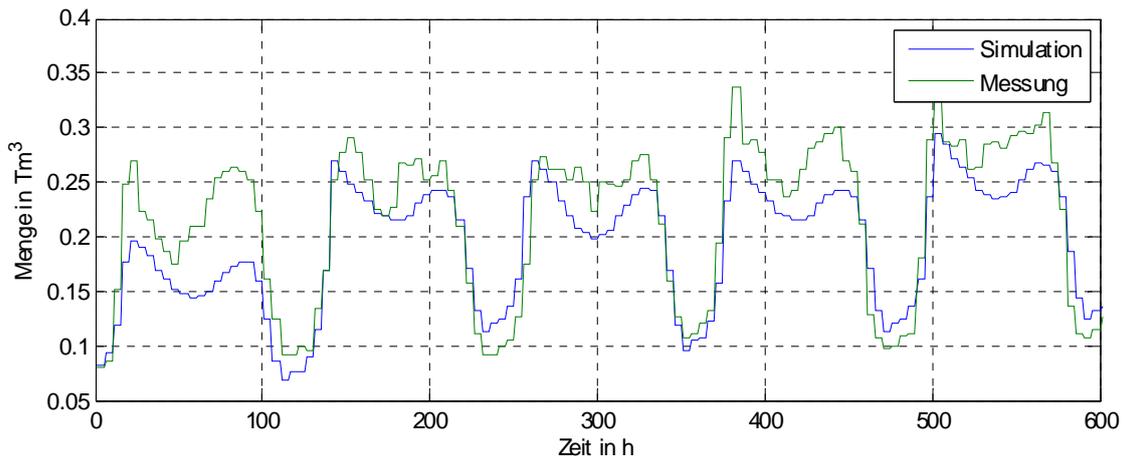


Bild 5: Vergleich Simulation Messwert für einen Ausspeiseknoten (optimaler Beobachter)

Projekt: Weiterentwicklung und metrologische Validierung von Messnetzen und Rekonstruktionssystemen für die Gasversorgung (MetroGas)

Vergleiche zwischen SLPs (die als Vorsteuerung implementiert sind) und Messwerten zeigten dass wenn der Anteil von Industriekunden größer als ca ein Viertel der Gesamtabnahme in einem Knoten ist, eine Abbildung mittels SLPs nicht mehr sinnvoll ist. An solchen Knoten ist eine Messung notwendig. Des Weiteren sollen die über nachgelagerte Ortsnetze gekoppelten Ausspeiseknoten gemessen werden da eine Zuordnung der einzelnen Kunden zu den Ausspeiseknoten nicht möglich ist. Für die Platzierung restlicher Messstellen wurde eine systemtheoretische Analyse mit Hilfe von Steuerbarkeitsmaßen nach Benninger an dem Untersuchungsnetz erprobt. Mit diesem Maß wird quantifiziert wie gut bestimmte Eingangsgrößen (abgehende Gasflüsse) auf Zustandsgrößen einwirken. Für eine kosten-optimale Messinfrastruktur bedeutet dies nun dass nur die relevanten Eingangsgrößen die einen ausschlaggebenden Beitrag zur Systemberechnung leisten, als Messdaten zur Verfügung stehen müssen. Für die Auswertung der Steuerbarkeit aller Zustandsvariablen für ein bestimmtes Messszenario wird das harmonische Mittel gebildet. Die entscheidende Frage war, wenn z. B. das Budget für die Installation von zwei Messstellen zur Verfügung steht, wo diese für eine optimale Genauigkeit zu platzieren sind. Um diese Frage zu beantworten wurden die Strukturmaße für alle möglichen Kombinationen der Matrizen berechnet und miteinander verglichen. Das harmonische- und Potenzmittel der Steuerbarkeitsmaße für ein paar Messszenarien sind in Tabelle 1 dargestellt.

Messszenario	Platzierung der Messstellen		harmonische Mittel M_1	Potenzmittel M_2
1	K204	K601	$3,55 \cdot 10^6$	$9,84 \cdot 10^{21}$
2	K607	K311	$4,79 \cdot 10^6$	$3,28 \cdot 10^{22}$
3	K402	K612	$4,41 \cdot 10^6$	$2,37 \cdot 10^{22}$
4	K615	K100	$4,63 \cdot 10^6$	$2,80 \cdot 10^{22}$

Tab.: Strukturmaße bei der Verteilung zweier Messstellen

Für die Validierung des Verfahrens zur Bestimmung der optimalen Messinfrastruktur wird das Simulationsergebnis für die selben Konfigurationen in Tabelle 1 mit Messwerten verglichen und die mittlere absolute Abweichung über die Simulationszeit ausgewertet. Die untersuchten Ansätze sollen im nächsten Schritt auf dem Netz der Erdgassüdwest übertragen werden.

Bearbeiter: Dipl.-Ing. Abdelhamid Bentaleb (Tel.: 72-2593)
Abdelhamid.bentaleb@tu-clausthal.de

Projektleiter: Dr.-Ing. Ernst-August Wehrmann (Tel.: 72-2595)

Problem: Die E.ON Avacon AG bereitete im Jahre 2009 ein Forschungsprojekt unter dem damaligen Namen „Modellprojekt Netzvision 2020“ (heute E-Home) vor. In diesem Forschungsprojekt sollen die veränderten Netzaufgaben untersucht werden, die sich aus den zukünftigen Entwicklungen der Struktur und Höhe von Last und Erzeugung ergeben. Als Vorbereitung für dieses Projekt galt es, im Rahmen einer Vorstudie, die Anforderungen, die zukünftig an die Niederspannungsnetze gestellt werden, herauszuarbeiten und daraus die Fragestellungen abzuleiten, die in dem späteren Forschungsprojekt zu bearbeiten sind.

Im Rahmen, des damals noch zukünftigen Projektes, war es geplant ein von der E.ON Avacon ausgewähltes Niederspannungsnetz (siehe Bild 1), mit den als kritisch anzusehenden zukünftigen Lasten und Erzeugern auszustatten. Daher galt es auch zu ermitteln, bei welcher Durchdringung dieser Lasten und Erzeuger signifikante Effekte, wie beispielsweise Verletzungen der Spannungsgrenzen auftreten, und welches die geeigneten Maßnahmen sind, diesen zu begegnen.

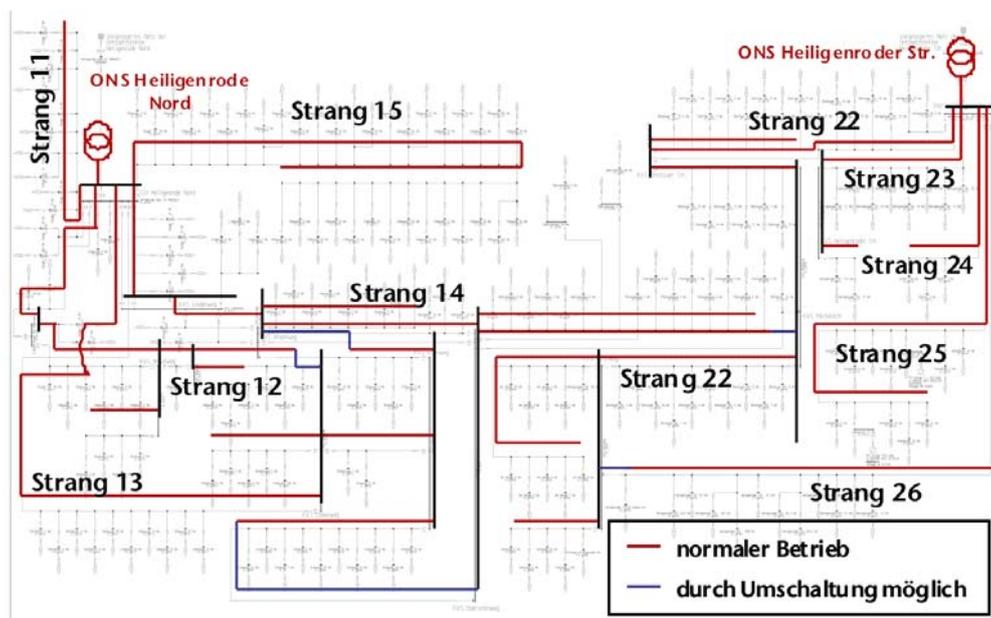


Bild 1: Netz der E. ON Avacon an der die Untersuchungen durchgeführt wurden

Ergebnis:

In der Vorstudie wurden zunächst die zukünftig zu erwarteten Entwicklungen der Last und der dezentraler Erzeugung in den Haushalten bis zum Jahr 2020 aufgezeigt.

Dabei ist ein steigender Leistungsbedarf auf der Lastseite zu erwarten, der vor allem durch zusätzliche Lasten wie beispielsweise die Ladegeräte von Elektrofahrzeugen aber auch elektrisch betriebene Wärmepumpen und Klimaanlage begründet ist. Zusätzlich zu diesen Veränderungen auf der Lastseite findet ebenfalls eine tageszeitlich nicht korrelierende Steigerung der dezentralen Einspeisung in die Niederspannungsnetze z.B. durch Photovoltaikanlagen statt.

Da diese Verbrauchs- und Erzeugungssituation der aktuellen Netzplanung nicht zugrunde liegt, kann dies zukünftig zur Überschreitung des zulässigen Spannungshubs und zu Verletzungen des Spannungsbandes führen. Um diese geänderte Last- und Einspeisesituationen auch zukünftig im Netz beherrschen zu können, erfolgte eine Recherche zu technischen Lösungsansätzen, die eingesetzt werden könnten, um die Planungsgrenzen auch zukünftig einzuhalten. Ergebnisse dieser Recherche zeigen, dass technische Lösungsansätze wie Netzverstärkungen durch Parallelverkabelung, regelbare Ortsnetztransformatoren oder ein Blindleistungsmanagement an den dezentralen Erzeugungsanlagen zur Verfügung stehen. Diese technischen Lösungsansätze sind beschrieben, qualitativ untersucht und vergleichend bewertet worden.

Eine solche Simulation die eine mögliche Spannungsbandverletzung zeigt mit einer möglichen gegen Maßnahme, ist in Bild 2 zusehen.

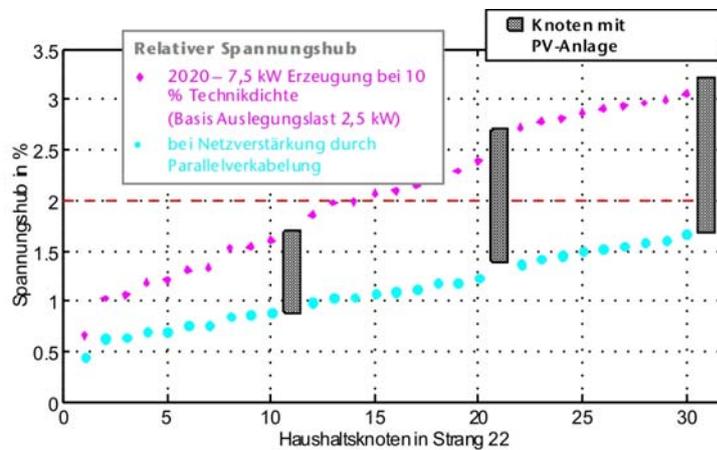


Bild 2: Spannungshub bei 10 % Technikdichte bei Netzverstärkung durch Parallelverkabelung

Stand der Technik: Die Studie wurde erfolgreich beendet. Aus ihr ging das E-Home Projekt hervor

Industriepartner: E. ON Avacon AG

Bearbeiter: Dipl.-Ing. Constantin Reese (IEH Uni Hannover)

Dipl.-Ing. Benjamin Werther (Tel.: 05321/3816-8101)
benjamin.werther@efzn.de

Projektleiter: Prof. Dr.-Ing. habil Lutz Hofmann (IEH Uni Hannover)

Dr.-Ing. Ernst-August Wehrmann (Tel.: 72-2595)

IEE

Projekt: Orientierungsstudie regelbarer Ortsnetztransformator

Problem: Der steigende Anteil von dezentralen Erzeugungsanlagen, stellt die Verteilnetzbetreiber vor neuen Herausforderungen. Diese Anlagen werden zu einem großen Teil in den Niederspannungsnetzen (NS-Netzen) angeschlossen und stellen den Netzbetreiber vor eine völlig geänderte Netzaufgabe, welche vielfach zu einem erheblichen Netzausbaubedarf führt. Dieser neuen Aufgabenstellung begegnet die E.ON Avacon (EAV) zum einen durch klassischen Netzausbau, zum anderen aber auch durch die Erprobung und den zukünftigen Einsatz innovativer Technologien. Hierzu zählt auch der Einsatz des neuen Betriebsmittels „regelbarer Ortsnetztransformator“ (rONT). Bisher sind für diese neue Technologie lediglich Prototypen und somit keine Erfahrungen auf Seiten der Verteilnetzbetreiber vorhanden. Aus diesem Grund hat das EFZN in Kooperation mit der E.ON Avacon AG eine Studie zur Beantwortung der folgenden Fragestellungen durchgeführt:

- Welche Regelgröße sollte verwendet werden? Hierbei ist zwischen der alleinigen Verwendung der Sammelschienenspannung (Monosensorbetrieb) und mehrerer Knotenspannungen (Multisensorbetrieb) zu unterscheiden.
- Welche Vor- und Nachteile unterscheiden diese beiden Varianten?
- Ist es mit Rücksicht auf die Systemstabilität möglich, ein Niederspannungsnetz durch mehrere rONT gleichzeitig zu versorgen? Müssen Kreisströme in derartigen Betriebssituationen berücksichtigt werden?
- Hat der Einsatz von rONT einen (negativen) Einfluss auf die überlagerten Spannungsebenen?
- Welche Abhängigkeiten sind bei der Wahl von Stufenanzahl und Stufenspannung zu beachten und wie sind diese sinnvoll zu wählen?

Lösungsweg: Die oben genannten Fragestellungen und die Ableitung der Erkenntnisse, wurden im Rahmen dieser Studie mit Hilfe dynamische Netzsimulationen durchgeführt. Um die Anzahl der zu untersuchenden und damit zu variierenden Parameter gering zu halten, wurden die Untersuchungen an Netzstrukturen mit reduzierter Ordnung durchgeführt. Diese Standardnetzstrukturen, welche beispielhaft in Bild 1 zu erkennen sind, wurden aus realen Netzstrukturen abgeleitet. Des Weiteren sind reale, gemessene Leistungs- und Spannungsprofile verwendet

worden, um das neue Betriebsmittel rONT unter realistischen Bedingungen simulativ zu testen (siehe Bild 2). Ergänzt wurden diese Untersuchungen durch den Einsatz synthetischer Testprofile, die die Analyse spezieller Effekte ermöglicht haben. Neben diesen simulativen Betrachtungen sind additiv analytische Berechnungen vorgenommen worden, welche die Abhängigkeiten zwischen Aufnahmekapazität der Niederspannungsnetze an dezentraler Erzeugungsleistung, Stufenspannung und Stufenanzahl verdeutlichen.

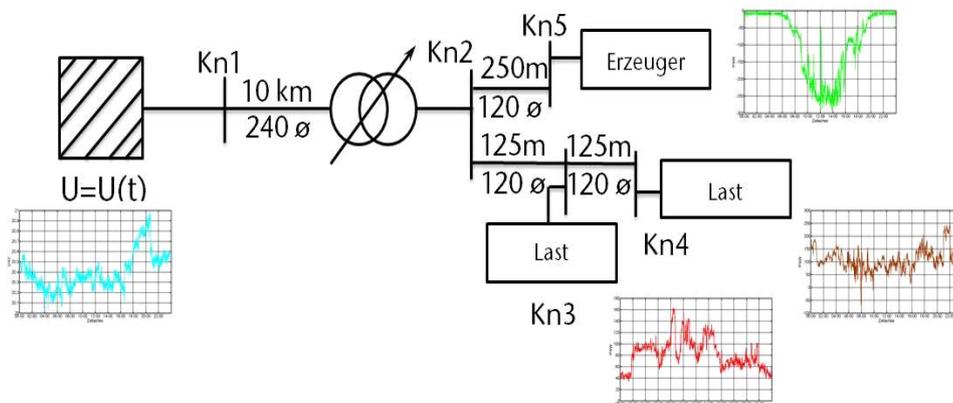


Bild 1: Beispiel einer verwendeten Netztopologie sowie angewendeter zeitreihen

Ergebnis:

Es konnte gezeigt werden, dass durch den Einsatz eines rONT eine Vergrößerung der zulässigen Spannungsabfälle und –hübe und somit eine Erhöhung der Aufnahmekapazität ermöglicht wird, sofern Stufenspannung und Stufenanzahl sinnvoll gewählt werden. Zum einen haben die Simulationen gezeigt, dass die Steigerung der Aufnahmekapazität bei Realisierung eines Multisensorbetriebs größer ist als bei Verwendung der Sammelschienenspannung als alleinige Eingangsgröße (Monosensorbetrieb) für den Regler. Zum anderen besitzt der Monosensorbetrieb den Vorteil, dass er keine Kommunikationsinfrastruktur benötigt und dass eine negative Beeinflussung durch weitere aktive, spannungsregelnde Einheiten ausgeschlossen werden konnte. Weiterhin konnte aufgezeigt werden, dass der Einsatz von rONT einen vernachlässigbar geringen Einfluss auf die überlagerten Span-

nungsebenen aufweist und die Robustheit des Reglers im Multisensorbetrieb stark von der Kombination und Auswahl der Eingangsgrößen abhängt.

Weiterführende Untersuchungen sind notwendig und sind Gegenstand im „e-home Energieprojekts 2020“, auf welches in diesem Jahresbericht ein Ausblick gegeben wird.

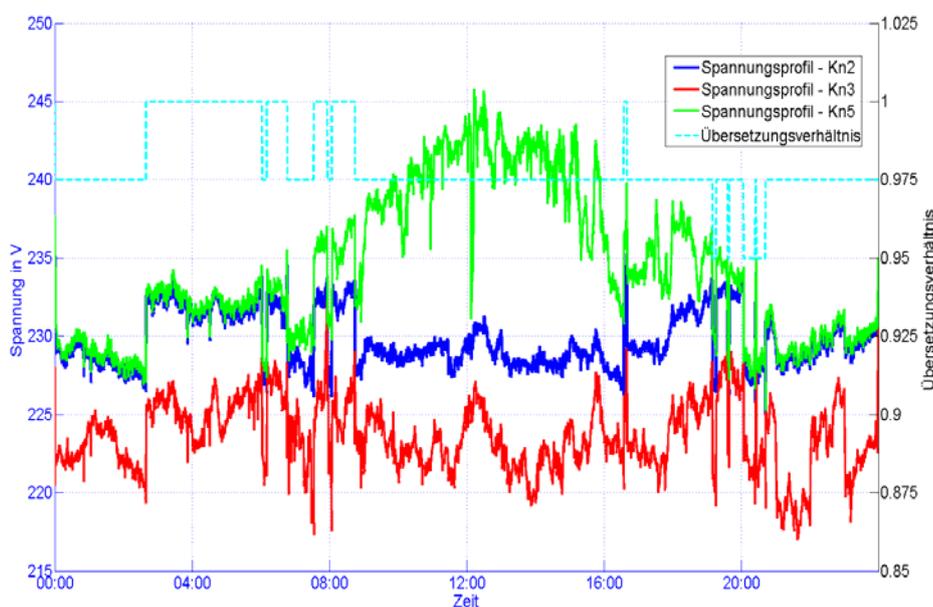


Bild 2: Simulationsergebnisse unter Anwendung der in Bild 1 gezeigten Topologie und Zeitreihen

Stand der Technik: Die Studie wurde erfolgreich beendet. Die noch offenen Fragestellungen werden im Rahmen des E-Home Projekt weiterbearbeitet.

Industriepartner: E. ON Avacon AG

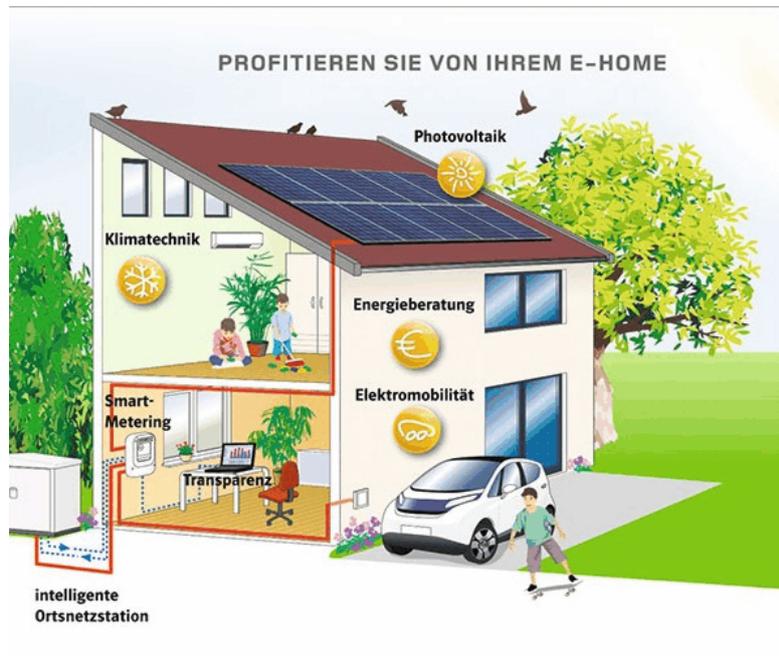
Bearbeiter: Dipl.-Ing. Andreas Becker
 Dipl.-Ing. Benjamin Werther (Tel.: 05321/3816-8101)
 benjamin.werther@efzn.de

Projektleiter: Dr.-Ing. Ernst-August Wehrmann (Tel.: 72-2595)

IEE

Problem: Die elektrischen Energieversorgungsnetze sind traditionell darauf ausgelegt, die von den zentralen Großkraftwerken generierte elektrische Energie zu den Endkunden zu transportieren. Monetäre Anreize durch das Erneuerbare Energien Gesetz (EEG) fördern den Ausbau der Energiewandlung aus Sonne und Wind. Daher kommt es auch im Bereich des Niederspannungsnetzes zu vermehrt dezentralen Einspeisungen. Doch zusätzlich werden neue Lasten, wie zum Beispiel Klimageräte oder Elektroautos, im Niederspannungsnetz integriert. Diese Veränderungen können eine Verletzung des zulässigen Spannungsbandes hervorrufen und fordern daher einen Ausbau dieser Netzebene. Nach Norm wird zwischen Mittelumspannung und Hausanschluss eine Toleranz von $\pm 10\% U_N$ (Nennspannung) gewährt. Dieses kann netzplanerisch vom Verteilnetzbetreiber beliebig auf die Mittel- und Niederspannungsebene aufgeteilt werden. Um Spannungsbandverletzungen zu vermeiden, haben Verteilnetzbetreiber verschiedene Möglichkeiten. Einerseits kann durch Netzverstärkungsmaßnahmen, wie das Verlegen größerer Kabelquerschnitte oder der Austausch von Transformatoren durch leistungsstärkere, die Kurzschlussleistung des Netzes und folglich die Netzzrückwirkungen in Form von kritischen Spannungsänderungen reduziert werden. Eine weitere Möglichkeit ist die Netzintegration eines regelbaren Transformators in die Ortsnetzstationen, der über einen Laststufenschalter die sekundärseitige Spannung (Niederspannung) unterbrechungsfrei einstellen kann und für die Einhaltung des zulässigen Spannungstoleranzbandes sorgt.

Für die Untersuchungen in zwei Ortsnetzen förderte die E.ON Avaccon AG in den Gemeinden Weyhe und Stuhr insgesamt 40 Haushalte bei der Anschaffung von Photovoltaikanlagen, Klimageräten und dem Leasing von Elektrofahrzeugen. Auch entsprechende Investitionen in die Netzinfrastruktur (Messtechnik, Smart-Meter etc.) wurden getätigt, sowie die Ortsnetzstationen mit regelbaren Transformatoren ausgestattet.



Quelle: E.ON Avacon AG, www.ehome-projekt.de

Ziel:

Das Forschungsvorhaben zielt darauf hinaus, Planungsgrundsätze für die zukünftigen Anforderungen der Niederspannungsnetze zu erarbeiten. Für die notwendigen Untersuchungen stellt die E.ON Avacon AG zwei Versuchsnetze zur Verfügung.

Das Institut für Elektrische Energietechnik beschäftigt sich im Rahmen des e-Home Energieprojektes in erster Linie mit der Auslegung und Netzintegration eines regelbaren Ortsnetztransformators zur Spannungsregelung im Niederspannungsnetz. In Kooperation mit den Projektpartnern werden die notwendigen technischen Daten eines regelbaren Ortsnetztransformators mit zugehörigem Laststufenschalter ermittelt. Ebenfalls werden ein geeigneter Regelalgorithmus und die entsprechende Reglerparametrierung herausgearbeitet, um zukünftig durch den Einsatz von regelbaren Ortsnetztransformatoren die Einhaltung der Spannungstoleranzen zu gewährleisten.

Stand der Technik:

Durch die zunehmende Netzintegration dezentraler Erzeugungsanlagen ist es notwendig, die elektrischen Netze auszubauen und zu optimieren, um auch im Bereich der Niederspannung den Spannungshub durch die dezentral eingespeiste Leistung in den nach Norm zulässigen Grenzen zu halten. Zusätzliche Lasten, wie Wärmepumpen und Elektroautos, sorgen wiederum für Spannungsfälle im

Projekt: e-Home Energieprojekt 2020

Niederspannungsnetz, die ebenfalls berücksichtigt werden müssen. Der Netzausbau im Niederspannungsnetz erfolgt derzeit durch das Verlegen größerer Kabelquerschnitte oder durch Parallelkabel zur Reduzierung der Netzimpedanz. Als weitere Möglichkeit zur Spannungsregelung wird das Blindleistungsmanagement mit Wechselrichtern oder Synchronmaschinen diskutiert, welches allerdings in der Niederspannung aufgrund des größeren R/X Verhältnisses im Vergleich zu den höheren Spannungsebenen weniger Wirkung besitzt.

Lösungsweg:

Durch den Einsatz regelbarer Transformatoren in den Ortsnetzstationen können die Spannungsfluktuationen durch dezentrale Erzeugereinheiten, wie auch durch zusätzliche Lasten, ausgeregelt werden. Folglich wird die Anschlusskapazität von dezentralen Erzeugereinheiten und zusätzlichen Lasten ohne weitere Netzausbaumaßnahmen erhöht.

Die folgende Abbildung zeigt beispielhaft Simulationsergebnisse an einem Niederspannungsnetz bei aktiviertem und deaktiviertem Transformatorenregler. Diese beinhaltet jeweils die Spannungen an den Regelknoten (in diesem Fall Niederspannungsverteilung der Ortsnetzstation) und die Stufenpositionen der Transformatorstufenschalter.

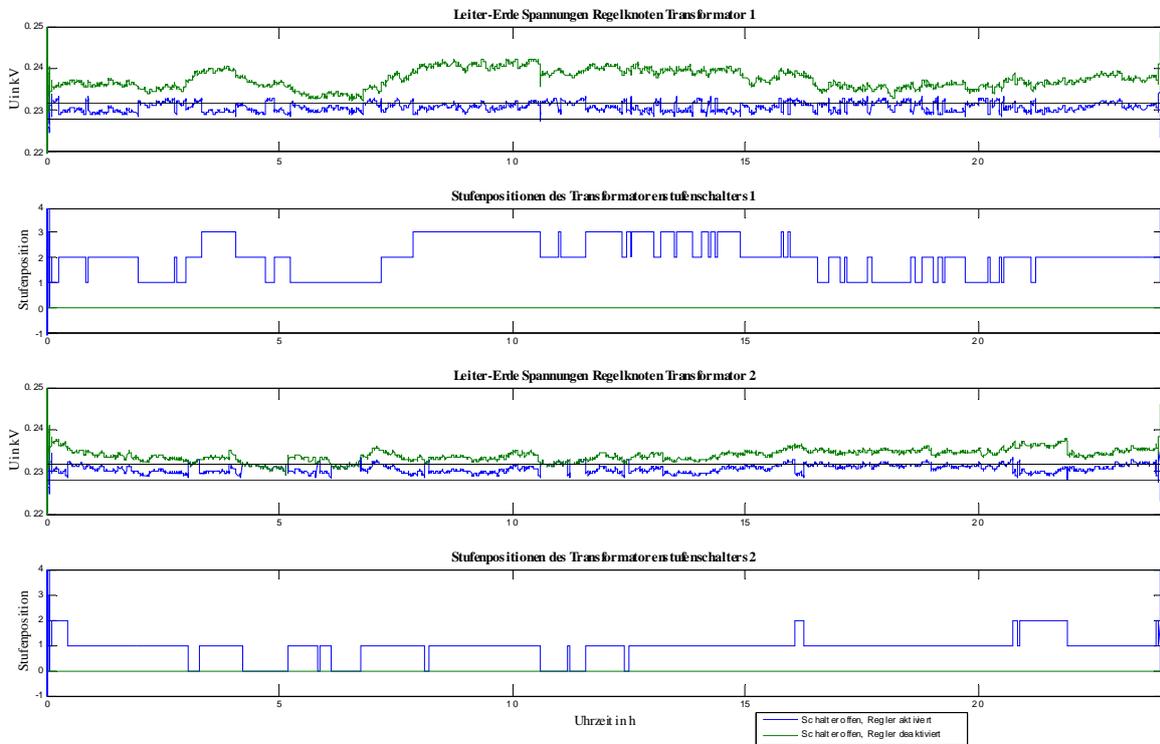


Bild: Ergebnisse einer Simulation an einer Niederspannungsnetzstruktur mit zwei Transformatoren und geöffnetem Netzkupplerschalter. Dargestellt sind jeweils die Spannungen an den Regelknoten und die Stufenpositionen beider Transformatoren.

In den e-Home Niederspannungsnetzen ist zunächst eine messtechnische Untersuchung hinsichtlich der auftretenden Spannungen durchzuführen. Mit weiteren Messdaten aus Mittel- und Niederspannungsnetzen wird der notwendige Regelbereich des Transformators ermittelt. Anschließend werden die Stufenanzahl und die Stufenbreite des regelbaren Ortsnetztransformators festgelegt.

Weiterhin wird im Rahmen des Projektes ein geeigneter Spannungsregler zur Einstellung des entsprechenden Übersetzungsverhältnisses entwickelt. Zur Istwerterfassung der Spannung kommt sowohl die Niederspannungsverteilung der Ortsnetzstation, aber auch abgesetzte Spannungsmessungen in Netzausläufern in Frage.

Nach Festlegung der Transformatorparameter und des Reglerkonzeptes werden die Auswirkungen auf das Niederspannungsnetz (z.B. Flicker beim Stufen) und die Beeinflussung mit anderen Regel-

Projekt: e-Home Energieprojekt 2020

kreisen (weitere regelbare Ortsnetztransformatoren, Wechselrichter mit $\cos\varphi(P)$ oder $Q(U)$ -Regelung) untersucht werden.

Projektstand:

Aus vorhandenen Mittel- und Niederspannungsmessdaten sind zunächst die maximalen und minimalen auftretenden Spannungen zur Festlegung des Regelbereiches ermittelt worden. Es folgt eine Auswertung der e-Home Messdaten, nachdem die Kommunikationsanbindung der Messtechnik erfolgreich in Betrieb genommen wurde. Zusätzlich dienen durchgeführte Lastflussberechnungen an einer vereinfachten Niederspannungsnetzstruktur eines e-Home Niederspannungsnetzes der Ermittlung möglicher auftretender Spannungswerte an den verschiedenen Netzknoten, die zukünftig durch einen regelbaren Ortsnetztransformator ausgeregelt werden sollen.

Im Rahmen einer Orientierungsstudie am Energieforschungszentrum Niedersachsen zu regelbaren Ortsnetztransformatoren wurde eine Tabelle mit verschiedenen Kombinationen von Regelbereich, Stufenanzahl und Stufenbreite erstellt. Diese ist im e-Home Energieprojekt fortgeführt und erweitert worden. Durch entsprechende Filterung nach unterschiedlichen Gesichtspunkten sind entsprechende Kombinationen ermittelt worden, die anschließend mit den notwendigen Regelbereichen aus der Lastflussberechnung und den Messwerten verglichen worden.

Industriepartner:



Quelle: E.ON Avacon AG, www.ehome-projekt.de

Energieforschungszentrum Niedersachsen (EFZN):

- Institut für Hochspannungstechnik und Elektrische Energieanlagen, TU Braunschweig
- Institut für Energieversorgung und Hochspannungstechnik, Leibniz-Universität Hannover
- Institut für Elektrische Energietechnik, TU Clausthal
- Interdisziplinäres Zentrum für Nachhaltige Entwicklung, Georg-August Universität Göttingen
- Wirtschaftswissenschaftliche Fakultät, Lehrstuhl für Produktion und Logistik, Georg-August-Universität Göttingen
- Forschungsbereich Energierecht, EFZN

Bearbeiter: Dipl.-Ing. Raimund Schnieder (Tel.: 72-3597)
raimund.schnieder@tu-clausthal.de

Teilprojektleiter: Dr.-Ing. Ernst-August Wehrmann (Tel.: 72-2595)

Projekt: Windenergiespeicherung durch Nachnutzung stillgelegter Bergwerke

Problem: Bis zum Jahr 2020 soll der Anteil der erneuerbaren Energien am Gesamtenergieverbrauch in der Europäischen Union auf mindestens 20 Prozent erhöht werden. Aus diesem Grund werden regenerative Energien besonders gefördert. Die Windenergie besitzt mittelfristig das größte Potential, um den Anteil erneuerbarer Energien am Stromverbrauch zu erhöhen. Daher spielt eine effiziente Integration von Windenergieleistungen an Land und auf See in das elektrische Versorgungssystem für den weiteren Ausbau der erneuerbaren Energien eine besonders wichtige Rolle. Allerdings ergibt sich durch den starken Ausbau der Windenergieanlagen im elektrischen Verbundsystem und die altersbedingte Abschaltung einiger konventioneller Kraftwerke (alte Steinkohlekraftwerke) ein Ungleichgewicht zwischen Erzeugung und Last. Von daher nehmen die Leistungsschwankungen im Netz aufgrund des steigenden Anteils der wetterabhängigen Erzeugung zu. Aus diesem Grund wird der Bedarf an Lastausgleich und Regelenergie zum Ausgleich unvorhergesehener Schwankungen weiter wachsen.

Ziel: Im Rahmen der Studie soll ein Konzept entwickelt werden, bei dem (Offshore-) Windkraftanlagen und unterirdische Pumpspeicherwerke über das öffentliche Energieversorgungsnetz zu virtuellen Kraftwerken gekoppelt werden. Das Virtuelle Kraftwerk steuert die angeschlossenen Einheiten selbständig. Dafür ist ein Managementsystem zu untersuchen, das neben dem per Saldo dem Netz zur Verfügung gestellten Leistungsverlauf auch die Transporte zwischen den Kraftwerken und die Auswirkungen der unterschiedlichen Einspeise- und Entnahmestellen entsprechend den technisch-wirtschaftlichen Randbedingungen berücksichtigt. Um eine technisch funktionsfähige Lösung auch hinsichtlich der Kosten optimieren zu können, muss gemeinsam mit dem Institut für Wirtschaftswissenschaft eine ökonomische Bewertung durchgeführt werden.

Stand der Technik: Die fossil befeuerten Kraftwerke und die (Pump-) Speicherkraftwerke erfüllen heutzutage diese Aufgabe. Die Netzintegration weiterer Windenergie erfordert allerdings zunehmend Flexibilität und Speicherkapazität des Versorgungssystems. Die „intelligente“ Kopplung verschiedener erneuerbarer Energieträger und Speicheranlagen bietet die Möglichkeit, anhand optimaler Einsatzplanung den minimalen

Bedarf an Abruf fossiler Kraftwerke, wie Gasturbinen, zu erreichen und damit als ein eigenständiges virtuelles Kraftwerk im Versorgungssystem zu agieren.

Lösungsweg:

Anhand von Daten zu Netzenpässen und Studien zur weiteren Entwicklung des öffentlichen Energieversorgungsnetzes werden Kriterien für die Suche nach geeigneten Standorten für untertägige Pumpspeicherwerke entworfen und mit den Ergebnissen der anderen Projektpartner abgestimmt. Nach Auswahl der Standorte sind mit den Auslegungs- und Standortdaten die erreichbaren Leistungs- und Energiedaten zu ermitteln und anhand einer anschließenden wirtschaftlichen Bewertung Reserven von Ressourcen abzugrenzen. Die Festlegung auf zwei stillgelegte Bergwerke als konkrete Standorte in gut geeigneten Regionen bietet die Möglichkeit, eine detaillierte Anwendung der Erkenntnisse aus dem Bereich der Energiesystemtechnik auf die standortabhängigen, konkreten Randbedingungen vorzunehmen.

Projektstand:

Ein Szenario des zukünftigen Energieversorgungssystems wurde mit der Hilfe von Archiv-, Prognose- und Simulationsdaten erstellt. Die Daten über den Verbrauch (Last) und der schon vorhandenen Erzeugung, beispielsweise konventionelle Kraftwerke und Onshore Windparks, wurden Archiven entnommen und auf die prognostizierten Werte skaliert. Die nicht vorhandenen offshore Windkraftanlagen wurden modelliert und simuliert, um die zusätzlich notwendigen Daten realitätsnah zu erzeugen. Das Windpark-Modell bildet das Verhalten eines realen Windparks unter Berücksichtigung der Positionierung der Anlagen und der mechanischen (inkl. Regelungs-) Parameter nach.

Das erstellte Szenario basiert hinsichtlich des Stromverbrauchs auf dem Energiekonzept 2050, das bis 2020 eine Reduktion des Stromverbrauchs um 10 % im Vergleich zum Jahr 2009 prognostiziert. Zur effektiven Berücksichtigung der Überschussleistung aufgrund des Ausbaus der Windenergie müssen sowohl die auftretende Leistung als auch die Dauer der kritischen Situation abgeschätzt werden. Das Subtrahieren der simulierten Windenergie entsprechend der prognostizierten Leistung der Windanlagen vom Stromverbrauch ergibt dann den zeitlichen Verlauf der Restlast.

Projekt: Windenergiespeicherung durch Nachnutzung stillgelegter Bergwerke

Es wurde festgestellt, dass die zu errichtenden Pumpspeicherwerke unter Tage nur einen Teil der benötigten Energiemenge aus „Windüberschüssen“ speichern und bei „Windflauten“ liefern könnten. Für den Restteil müssten weitere Maßnahmen (wie Regelkraftwerke, Lastmanagement, Import/Export usw.) eingesetzt werden. Aus diesem Grund wurden weitere Einsatzmöglichkeiten der Pumpspeicherwerke unter Tage zusätzlich untersucht. Ein „Peak Shave“ der Windleistung durch ein Pumpspeicherwerk unter Tage wurde simuliert. Dadurch wurden die Leistungsgradienten des gesamten Systems reduziert. Im Rahmen einer gesamten Simulation wurden weitere Untersuchungen in Zusammenarbeit mit anderen Projektpartnern durchgeführt.

Schließlich wurde aus energiesystemtechnischer Sicht die Auslegung und Dimensionierung für zwei Modellbergwerke nach den Annahmen auf Grundlage bergtechnischer Vorgaben zu typischerweise in Frage kommenden stillgelegten Bergwerken an zwei Standorten vorgeschlagen. Hierbei wurden grundsätzliche energiesystemtechnische untertägige und übertägige Komponenten, in Betracht gezogen. Die wichtigste Erkenntnis dabei ist die Notwendigkeit einer Einzelfallbetrachtung in jedem Bergwerk, da vorhandene Infrastrukturen und örtliche Gegebenheiten unterschiedliche Ansätze bei Installation und Transport von elektrischen Komponenten erfordern. Dies betrifft vor allem den Transport von großen Maschinenteilen wie z. B. beim Haupttransformator sowie die Installation von Hochspannungskabeln.

Förderung: Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit

Projektpartner:

- Institut für Aufbereitung, Deponietechnik und Geomechanik
- Institut für Geotechnik und Markscheidewesen
- Institut für Bergbau
- Institut für Maschinenwesen
- Institut für Wirtschaftswissenschaften
- Institut für deutsches und internationales Berg- und Energierecht
- OECOS GmbH

Bearbeiter: Dr.-Ing. Aimé Mbuy
Dipl.-Ing. Soroush Nakhaie (Tel.: 72-2572)
soroush.nakhaie@tu-clausthal.de

Projektleiter: Dr.-Ing. Ernst-August Wehrmann (Tel.: 72-2595)

Projekt:	Machbarkeitsstudie “Integrales emissionsminimiertes Energiekonzept der Medizinischen Hochschule Hannover”
Problem:	Der wachsende Kostendruck im Gesundheitswesen und der Anstieg der allgemeinen Betriebskosten im medizinischen Bereich zwingen die Krankenhausverwaltungen zur Ausnutzung aller Möglichkeiten der Kostensenkung. Dabei entsteht die Frage, wie der Energiebedarf im Krankenhaus minimiert und der Energieeinsatz optimiert werden können. Dies umfasst selbstverständlich auch die Energieversorgung, deren Anteil an den gesamten Sachkosten eines Krankenhauses im Durchschnitt ca. 8 bis 9 Prozent beträgt. Dabei existiert in Krankenhäusern noch ein großer Bestand alter, sanierungsbedürftiger Anlagen. Gerade hier bleiben jedoch noch erhebliche Einsparpotentiale ungenutzt, obwohl eine Vielzahl ausgereifter und bewährter Technologien zur Verfügung steht.
Ziel:	Im Rahmen der Machbarkeitsstudie für die Medizinische Hochschule Hannover soll ein Energiekonzept zur energetischen Sanierung und Betriebsoptimierung der Gebäudekomplex entwickelt werden. Es handelt sich dabei um das Aufzeigen von Potentialen zur wirtschaftlichen Energieverbrauchs- und Emissionsreduzierung sowie Integrationsmöglichkeiten der Notstrom-BHKW in die Versorgungsstruktur.
Lösungsweg:	<ul style="list-style-type: none">- Bestandsanalyse der Gebäude- und Versorgungsstruktur und des Lastverlaufs hinsichtlich Grund- und Spitzenlast (Wärme, Kälte, und Strom)- Potentialabschätzung zu der Verbesserung des baulichen Wärmeschutzes, der Optimierung der Netzstrukturen, der Re-Organisation der Zentralen und des Anlagenbetriebes- Entwicklung von Strategien zur Integration von Notstrom-BHKW in das Versorgungsnetz- Variantenbetrachtung, Entwicklung von Sanierungsstrategien zur baulichen und anlagentechnischen Optimierung- Abschätzung des Einsparpotentials Energie, Emissionen und Betriebskosten, Ableiten eines Umsetzungsvorschlags
Projektstand:	Die Bestandsanalyse der Gebäudekomplex sowie der Versorgungs- und Verbrauchslastgänge wurde durchgeführt. Erste Potentialabschätzungen zu den baulichen Maßnahmen und dem Anlagenbetrieb wurden bearbeitet. Zusätzlich laufen derzeit weitere Untersuchungen hinsichtlich BHKW-Einsatz, Notstrombetriebsmöglichkeit, Wirt-

schaftlichkeit und Emissionsminimierung.

Förderung: Medizinische Hochschule Hannover

Projektpartner: Institut für Gebäude- und Solartechnik, TU Braunschweig

Bearbeiter: Dipl.-Ing. Soroush Nakhaie (Tel.: 72-2572)
soroush.nakhaie@tu-clausthal.de

Projektleiter: Dr.-Ing. Ernst-August Wehrmann (Tel.: 72-2595)

Prof. Dr.-Ing. Lars Kühl (Ostfalia Hochschule für angewandte Wissenschaften Wolfenbüttel & Braunschweig)

Projekt:	FEN, TP 10 Erprobung von innovativen Umrichtersystemen in Arealnetzen
Problem:	<p>Der Schwerpunkt liegt auf der Untersuchung des Inselbetriebes unter dem Einfluss dezentraler Energieerzeuger. Der Inselbetrieb wird unter bestimmten Bedingungen im Energiepark Clausthal (CUTEC-Institut) realisiert. Der Energiekonditionierer, bestehend aus einer Batterie und einem Stromrichter, übernimmt die Netzführung. Zwei Blockheizkraftwerke, ein Biodiesel-BHKW mit 4-Takt TDI-Motor und einem Biogas-BHKW mit 4-Takt Ottomotor laufen im Parallelbetrieb mit. Die Blockheizkraftwerke sind mit Asynchrongeneratoren ausgestattet.</p> <p>Das Zusammenlaufen verursacht einen starken Flicker in der Netzspannung mit einer dominierenden Frequenz von 8 Hz. Die Störungen, die aus dem Verbrennungsablauf stammen, sind auch stark ausgeprägt (siehe Bild 1 und 2). Der Verbrennungsvorgang im Motor regt die Eigenschwingungen des Maschinensatzes zum Resonanzfall an. Aufgrund kleiner Kurzschlussleistung und schwingungsanfälliger Spannungsregelung des Energiekonditionierers entsteht eine 8 Hz Schwingung, die ungedämpft bleibt. Der Dauerbetrieb ist in dieser Konfiguration jedoch nicht möglich, da nach einer bestimmten Zeit der Schutz ausgelöst wird. Darüber hinaus zeigte sich, dass das Netz in dieser Situation auf die Dauer nicht stabil ist.</p>
Ziel:	Ziel ist die Untersuchung der betriebs- und dämpfenden Eigenschaften „Virtueller Synchronmaschine“ (VISMA) mit Maschinenmodell im Testnetz des Energiepark Clausthal. Die Stabilität des Testnetzes mit verteilten VISMA-Systemen wird mit MATLAB-Simulink untersucht.
Stand der Technik:	Der Energiekonditionierer, die BHKWs und die VISMA 60 kVA sind einsatzbereit.
Lösungsweg:	Einsatz der VISMA mit Maschinenmodell (Wirkung der Dämpferwicklung und virtueller Masse).
Projektstand:	Die VISMA 60 kVA mit Maschinenmodell wurde im Energiepark Clausthal erprobt (siehe Bild 1). Die Stabilität der Netze beim Parallelbetrieb mehrerer VISMA-Systeme unter Berücksichtigung der Dämpferwicklung wurde untersucht. Das Projektende ist 30.11.2011.

Projekt: Normierung dezentral erbrachter Systemdienstleistungen

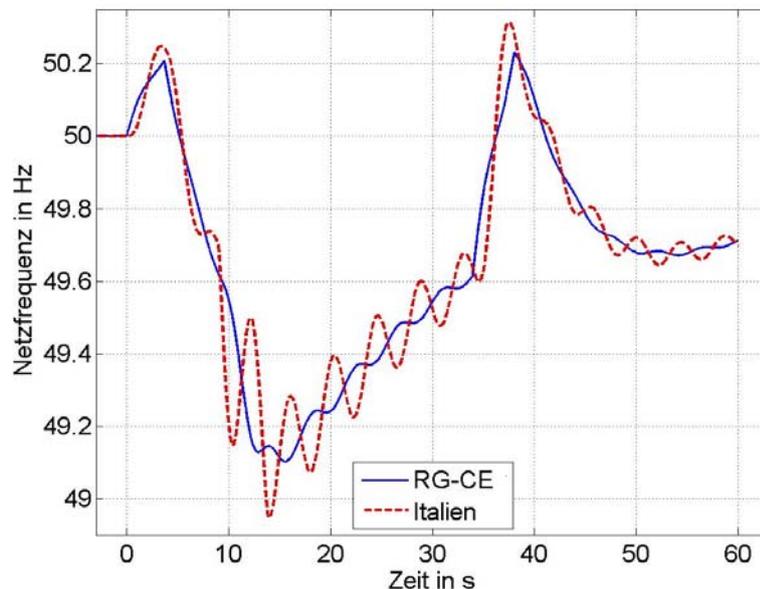
Problem: In Zukunft wird der Anteil dezentraler Stromeinspeisungen weiter wachsen. Mit zunehmendem Anteil fluktuierender regenerativer Stromeinspeisungen nimmt der Bedarf an Regelleistung zu. Die bisher in Energieversorgungsnetzen übliche Primärregelung auf Basis von Netzparametern über sogenannte Statiken (Leistung / Frequenz und Blindleistung / Spannung) ist bisher auf Großkraftwerke begrenzt. Nichtsdestoweniger können auch NS-Anschlüsse eine Quelle von Systemdienstleistungen sein.

Bei zunehmender Dezentralisierung unseres Energieversorgungssystems ist die Übernahme von SDL-Aufgaben Voraussetzung für eine höhere Durchdringung mit verteilt arbeiteten Stromeinspeisern. Hier bietet sich an, im multilateralen Geflecht von Unternehmen aus Energiewirtschaft, Geräteherstellern und Anlagenbetreibern einen deskriptiven Standard zu entwickeln, der die Eigenschaften dezentraler Geräte in Hinblick auf ihr Systemverhalten beschreibt. Mit Systemverhalten ist hierbei die Reaktion auf Frequenz- und Spannungsschwankungen gemeint, als Fähigkeit zur Bereitstellung von Systemdienstleistungen.

Ziel: Ziel des Projektes ist es, die Normierung von Systemdienstleistungen (SDL) als Produkteigenschaft von dezentralen Anlagen voranzutreiben, um die Teilnahme am Markt für Systemdienstleistungen zu vereinfachen und somit eine Substitutionsmöglichkeit zentraler Must-Run-Anlagen durch dezentrale SDL-Quellen zu schaffen. Das Projekt soll über die Normungsarbeit die wirtschaftliche Einbeziehung auch von kleinsten steuerbaren Leistungen sowohl auf der Stromverbraucher- wie auch Erzeugerseite vereinfachen.

Durch die Geräteanpassung auf systemtechnischer Ebene soll gezeigt werden, dass die Fähigkeit zur Bereitstellung von Systemdienstleistungen gewährleistet wird. Die Bereitstellung von Systemdienstleistungen kann ohne aufwendige Kommunikation erfolgen, d.h. grundsätzlich reicht die Messung der Netzfrequenz und Netzspannung aus. Es ist vorgesehen, über eine Testreihe im Rahmen von bestehenden Versuchsaufbauten (Energiepark Clausthal) die Verfahren zu bewerten.

- Stand der Technik:** In den vergangenen Jahren hat sich bei Forschungsprojekten zum parallelen Betrieb von Einspeisewechselrichtern in kleinen Inselnetzen herausgestellt, dass statt eines kommunikativ aufwendigen Master-Slave-Konzeptes auch die Möglichkeit offensteht, die Einspeiseleistung über die Netzparameter Frequenz und Spannung zu koordinieren. Insbesondere bei kurzfristig abrufbaren Leistungsänderungen im Sinne einer Systemdienstleistung hat dies Vorteile in Bezug auf Redundanz und technische Zuverlässigkeit.
- In Verbundnetzen ist die von Graner in den 1930er Jahren entwickelte Systematik zur Regelung der Leistungsverteilung auf Basis von Kennlinien geübte Praxis und hat als Policy 1 quasi als Grundgesetz des stabilen Netzbetriebes Einzug ins Operations Handbook der UCTE / ENTSO-E und anderer Synchronzonen gehalten. Neben der Übertragung dieser Regelung mit statischen Kennlinien auf Anlagen des Niederspannungsnetzes, welches sich durch eine nur schwache induktive Kopplung auszeichnet, ist auch die Emulation von Synchronmaschinenverhalten zu nennen.
- Ebenfalls in den 1930er Jahren entstand mit dem Aufkommen von elektrischen Haushaltslasten wie z.B. dem elektrischen Warmwasserboiler die Idee, zum Ausgleich von Lastspitzen im Verteilnetz diese steuerbaren Verbraucher in Abhängigkeit der Netzspannung zu schalten. Hierbei ist noch offen, inwieweit die Kundenakzeptanz gegeben ist und durch welche Maßnahmen diese erhöht werden kann.
- Lösungsweg:**
- Konzeptionierung eines Mehrgrößenreglers für Spannung und Frequenz
 - Verifizierung an Versuchsanlagen des Energieparks
 - Mitarbeit in Normungsgremien auf nationaler und europäischer Ebene
- Projektstand:** Das Projekt wurde am 01.08.2010 gestartet. Im Rahmen der Analyse bestehender Netzanschlussnormen wie der VDE 0126-1-1 wurden bestehende Mängel erkannt und adressiert.



Das Bild zeigt ein Worst Case Szenario, bei dem mehrere Gigawatt dezentraler Erzeugungsleistung erst in Deutschland bei 50,2 Hz abschalten und dann in Italien bei einer Grenze von 49,7 Hz. Bevor aktiv das Netz gestützt werden kann, ist somit zuerst darauf zu achten, dass dezentrale Anlagen ein Mindestmaß an Robustheit entwickeln. Im Rahmen der Finalisierung der Technischen Spezifikation TS 50549 wurden Ideen für fakultativ zu erbringende SDL eingebracht, wie z.B. der Primärregler, eine Bedämpfung der Leistungspendelungen (PSS) sowie künstliche Trägheit (Synthetic Inertia). In ENTSO-E Fachberichten zu Netzstörungen konnte man lesen, dass regenerative Erzeuger die Netzdynamik nicht verschlechtern, aber „PSS stabilised inertia“ verdrängen.

Zugleich konnte auch der ENTSO-E Network Code Requirements for Generators sowohl in der Kommentierungsphase als auch als Mitglied der User Group begleitet werden. Dieses Regularium wird nach einem Komitologieverfahren durch die Europäische Kommission Gesetzescharakter erhalten. Sollte sich in Zukunft auch beim Network Code ein Nachbesserungsbedarf herauskristallisieren, so muss ein Europäisches Gesetzgebungsverfahren eingeleitet werden. Aufgrund der Langwierigkeit dieses Prozesses kann dies ein strukturelles Risiko für das Europäische Verbundnetz bedeuten.

Im Energiepark wurde im Rahmen einer Studienarbeit ein experi-

mentelles BHKW mit einem Umrichter nachgerüstet. Dieses erlaubt mit dem Inverter als elektronischen Getriebe eine ausgedehnte Spannweite für die Wahl des Arbeitspunkts. Die Flexibilisierung des Betriebs erleichtert somit die Abgabe von SDL auf der Wirkleistungsseite.

Des Weiteren konnte ein Kühltank mit einer frequenz- und spannungsabhängigen Regelung ausgestattet werden. Die Ergebnisse dieses Versuchs zur Erhöhung des Selbstregelleffektes wurden auf der ETG-Konferenz im Herbst 2011 vorgestellt.

Zusätzliche Versuche im Energiepark sind geplant. Eine Reglererweiterung für eine bestehende Umrichteranlage wurde bereit unter Matlab erstellt und wartet noch auf die praktische Verschmelzung mit der Hardware.

Projektpartner:	Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik
Förderung:	BMWi
Bearbeiter:	Dipl.-Wi.-Ing. Gunnar Kaestle (Tel.: 72-2572) gunnar.kaestle@tu-clausthal.de
Projektleiter:	Dr.-Ing. Ernst-August Wehrmann (Tel.: 72-2595)

Projektübersicht

Projektleiter: Dr.-Ing. Dirk Turschner
Tel.: +49-5323/72-2592
E-Mail: turschner@iee.tu-clausthal.de

Arbeitsgruppe Leistungsmechatronik/Antriebe

Forschungsschwerpunkte und Projekte

Mechatronik beinhaltet das Zusammenwirken der klassischen Ingenieurwissenschaften Maschinenbau, Elektrotechnik und Informationstechnik. Entsprechend vielfältig sind die Forschungsschwerpunkte innerhalb der Arbeitsgruppe. Sie reichen von der klassischen elektrischen Antriebstechnik, über Leistungselektronik bis zur Energiekonditionierung.

Es ergeben sich hieraus für das Institut folgende Forschungsschwerpunkte:

- **Entwicklung adaptiver Dämpfungsregler und eines hochdynamischen Stellgliedes zur Reduzierung von selbsterregten multifrequenten Schwingungen in mechatronischen Antriebssystemen**
 - ▶ Ersetzen einer rechenintensiven Fast-Fourier-Transformation zur Schwingungsüberwachung und Regleranpassung durch einen einfachen Phasenregelkreis
 - ▶ Entwicklung eines phasenkompensierten Filters mit Bandpaßcharakteristik
 - ▶ Dynamische Schwingungsdämpfung zur Verbesserung der Prozeßgüte in einem Walzantriebssystem
 - ▶ Entwicklung von Simulationsmodellen zur Nachbildung der Ratterschwingung
 - ▶ Entwicklung eines hochdynamischen Tilgerringes als Stellglied zur Schwingungsdämpfung

- **Untersuchung der Betriebszustände von Windenergieanlagen und Schutz vor Überlasten**
 - ▶ Entwicklung eines Simulationsmodells für verschiedene Generatorkonfigurationen
 - ▶ Erfassung unterschiedlicher Sonderereignisse in Windenergieanlagen, die zu einer Beanspruchung der Mechanik führen

- ▶ Projektierung und Aufbau eines Prüfstandes zur Validation des Simulationsmodells
- ▶ Entwicklung von Strategien zur Reduzierung der mechanischen Belastung
- **Entwicklung eines Systemdemonstrators für die Energieversorgung dezentraler Anwendung mit SOFC-Brennstoffzelle**
 - ▶ Konditionierung der erzeugten elektrischen Energie des Demonstrators
 - ▶ Realisierung der Betriebsführung
 - ▶ Energiekonditionierung für Inselbetrieb
- **Virtuelle Synchronmaschine (VISMA)**
 - ▶ Nachbildung des selbstorganisierenden Parallelbetriebs von Synchronmaschinen auf einem Einspeisenumrichter
 - ▶ Beseitigung von Netzstabilitätsproblemen bei Netzintegration regenerativer Erzeuger
 - ▶ Aufbau und Betrieb mehrerer Prototypen in einem Beispielnetz
 - ▶ Optimierung des Modells für die industriennahe Umsetzung
 - ▶ Untersuchung des Zusammenspiels von VISMA-Systemen in einem Verbund von USV-Anlagen
- **Optimierte Wind-Diesel-Hybridsysteme in Inselnetzen**
 - ▶ Entwicklung eines marktfähigen Konzeptes für hybride Inselsysteme mit hohem Windenergieanteil zur Elektrifizierung ländlicher Gebiete.
 - ▶ Abschätzung der Energiegestehungskosten
 - ▶ Aufbau eines Prototyps zur Energieeinspeisung

Projekt: Tilgering

Problem: In Walzwerken treten zwischen den über ein gemeinsames Getriebe mit dem Hauptantrieb gekoppelten Arbeitswalzen unter bestimmten Betriebsbedingungen unerwünschte Ratter- und Brummerschwingungen auf. Dabei handelt es sich um selbsterregte Torsionsschwingungen die mit Frequenzen von bis zu 240Hz [1] auftreten. Sie führen zur Verschlechterung der Produktqualität und verkürzter Anlagenlebensdauer. Die Ursachen für die Schwingungen sind schwer zu erfassen und noch nicht endgültig geklärt.

Ziel: Die unerwünschten Ratterschwingungen sollen durch geeignete Maßnahmen beseitigt werden

Stand der Technik: Seit 2002 wurde am IEE in zahlreichen Forschungsvorhaben die aktive Bedämpfung von Torsionsschwingungen in Antriebssträngen untersucht. Zur Entwicklung und Verifikation wurde der in Bild 1 dargestellte Prüfstand verwendet.

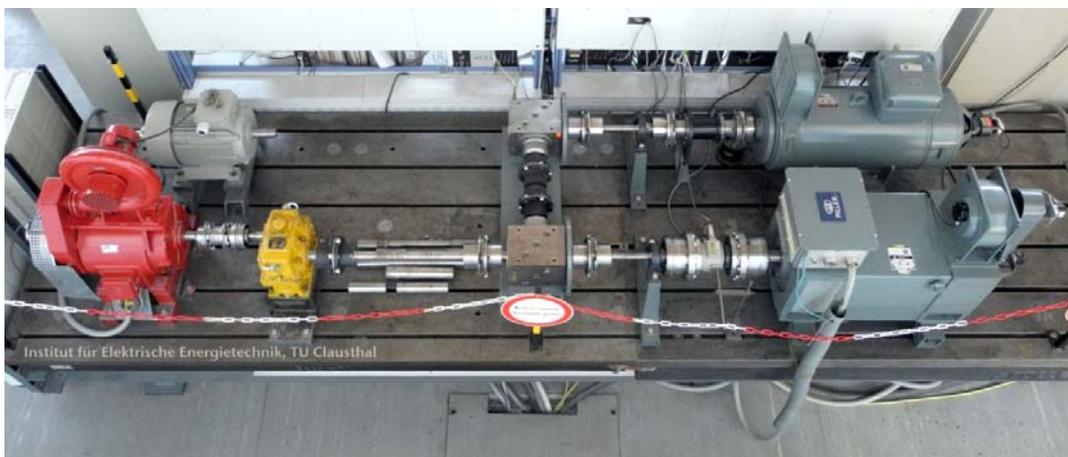


Bild 1: Walzenprüfstand. Links (in rot) der Hauptantrieb, rechts (in grau) zwei Lastmaschinen. Hinter dem Hauptantrieb ist der eingesetzte Dämpfermotor zu sehen.

Zur Bedämpfung der Schwingung wurde die Dämpfermaschine, eine Kurzschlussläuferasynchronmaschine, mit einer der beiden Lastmaschinen verbunden. Da die Zeitkonstante des Dämpferantriebs relativ groß ist, muss ein hoher Aufwand zur Aufbereitung des Stellsignals betrieben werden. Darüber hinaus ist durch die große Zeitkonstante die maximal bedämpfbare Frequenz begrenzt: nimmt man

eine Drehmomentanregelzeit von 10...15ms [2] an, so ergibt sich eine Grenzfrequenz von 16...25Hz.

Weiterentwicklung: Ein neuartiger Aktuator (Tilgerring) mit kleiner elektrischer Zeitkonstante erweitert die durch den Antrieb vorgegebenen Grenzen und vereinfacht die Regelung. Die neu entwickelte Maschine ist eine permanenterregte Synchronmaschine mit Außenläufer und Hohlwelle. Im Gegensatz zu früheren Konzepten benötigt der neue Dämpfer keine Drehmomentabstützung im Fundament. Das ist möglich, da die diese auf dem Läufer, also einer frei drehbar gelagerten Masse, geschieht.

Durch die große elektrische Dynamik kann das gemessene Schwingungssignal direkt als Stellwert für den Aktuator verwendet werden. Eine Kompensation des verzögernden Verhaltens des Stellantriebs ist nicht mehr notwendig.

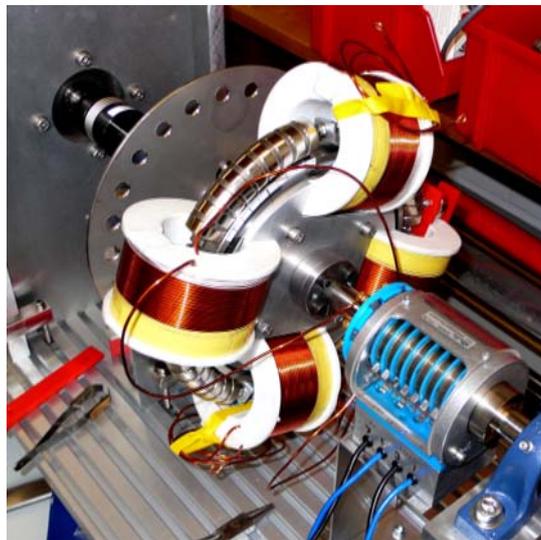


Bild 2:Foto des neu entwickelten Aktuators

In einem vom *Verein zur Förderung von Forschungsarbeiten auf dem Gebiet der Walzwerkstechnik in der Hüttenindustrie (VFWH)* finanzierten Vorhaben wurde der in Bild 2 dargestellte Aktuator konstruiert und aufgebaut. Mit Hilfe eines eigens konstruiertem Prüfstands konnte die Funktionsfähigkeit des Prinzips gezeigt werden (Abbildung 3).

Projekt: Tilgering

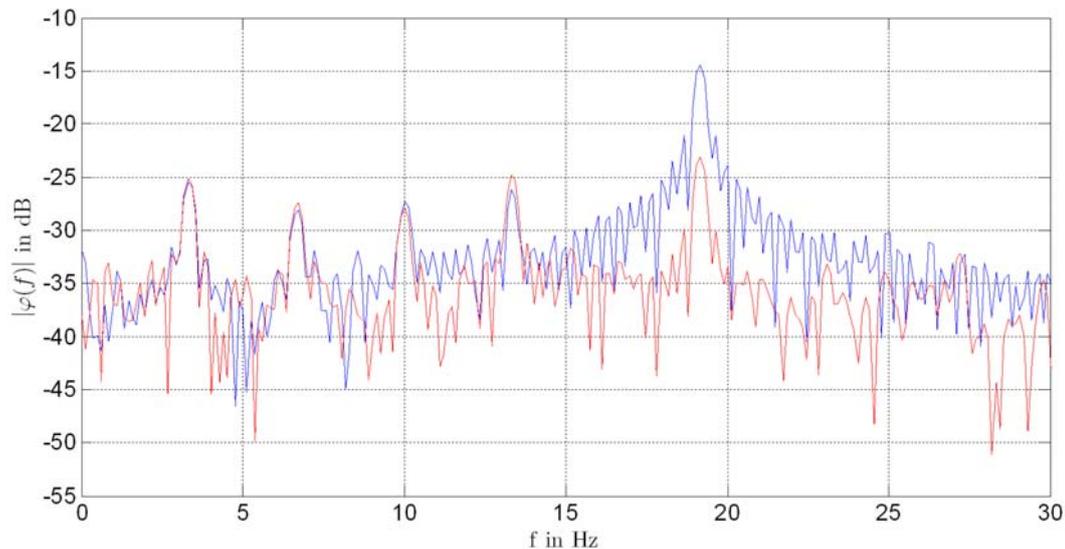


Bild 3: Dämpfungsverhalten des neuen Dämpfungsaktuators (blau: ohne Dämpfer, rot: mit Dämpfer). Die Amplitude der mit 19,2 Hz angeregten Schwingung wird um 9 dB verringert. Sie Schwingungen bei 3,3 Hz und vielfachen werden durch einen Ausricht fehler im Prüfstand verursacht.

Projektstand: Das Projekt wurde erfolgreich abgeschlossen. Im nächsten Schritt soll gezeigt werden, dass sich das Konzept, ohne Einschränkung der Dynamik auch mit Standardmaschinen umsetzen lässt.

Bearbeiter: Dipl.-Ing. Markus Stubbe (Tel.: 72-3597)
markus.stubbe@tu-clausthal.de

Projektleiter: Dr.-Ing. Dirk Turschner (Tel.: 72-2592)

[1] Serope Kalpakjian, Steven R. Schmid, and Ewald Werner, *Werkstofftechnik - Herstellung Verarbeitung Fertigung*.: Pearson Studium, 2011.

[2] Ulrich Riefenstahl, Jürgen Meins, Rainer Scheithauer, and Herrmann Weidenfeller, *Elektrische Antriebssysteme: Grundlagen, Komponenten, Regelverfahren, Bewegungssteuerung*.: Teubner, 2006.

IEE

Projekt: Ermittlung der Betriebszustände und damit der Belastung, die auf Getriebe von Windkraftanlagen wirken

Problem: Windkraftanlagen müssen durch ein hohes Maß an Zuverlässigkeit und damit Betriebssicherheit gekennzeichnet sein. Fehler am Antriebsstrang der Anlagen sind immer noch ein häufiger Ausfallgrund. Bisher wurden noch nicht alle Aspekte der Belastungen am Antriebsstrang einer Windkraftanlage untersucht. Vor allem die Lasten am mechanischen Antriebsstrang einer WEA und insbesondere dem Getriebe durch netzseitige Fehler wurden bisher wenn überhaupt mittels Simulationen untersucht. Eine experimentelle Untersuchung dieser Thematik fehlt noch. Die genauen kritischen und auslegungsrelevanten Lastfälle sind noch immer weitgehend unbekannt. Aus diesem Grund fehlt für Berechnungen zur konstruktiven Auslegung einer WEA eine verlässliche Methode zur Abschätzung der Beanspruchungen der Antriebskomponenten.

Die im Betrieb auftretenden Lasten und damit die örtlichen Beanspruchungen an den Bauteilen bestehen neben dem statischen bzw. quasistatischen Anteil aus einem hohen dynamischen Anteil durch Windböen und bestimmte Sonderereignisse. Für die Auslegung von Neuanlagen sind Last- bzw. Beanspruchungsannahmen erforderlich, die Realitätsnähe ausweisen und alle möglichen Betriebsphasen wie auch Sonderereignisse mit berücksichtigen.

Ziel: In dem Projekt wird eine Anlage mit doppelt gespeistem Asynchron-generator und Getriebe betrachtet.

Ziel des Vorhabens ist eine umfassende Betrachtung der Belastungen an Antriebselementen von WEA und insbesondere Getrieben. Hierzu sollen Messungen unter exakt definierten Bedingungen an zwei Prüfständen durchgeführt werden.

Parallel zu den Messungen soll eine Simulation des Antriebsstrangs einer Windkraftanlage erfolgen, die anschließend mit den am Prüfstand ermittelten Messdaten validiert wird. Auf diese Weise lassen sich zum einen messtechnisch nicht oder nur mit unverhältnismäßig großem Aufwand zugängliche Last- und Bewegungszustände direkt aus der Simulation ermitteln.

Diese Simulationsmethode kann dann von Herstellern von Antriebselementen von Windkraftanlagen verwendet werden, um die für Neuanlagen relevanten Daten zur Belastung der Bauteile zu ermitteln.

Stand der Technik: Das Projekt wurde von der AiF befürwortet, wird zurzeit jedoch noch nicht gefördert.
Es soll in Kooperation des Instituts für Maschinelle Anlagentechnik und Betriebsfestigkeit (IMAB) und des Instituts IEE der TU Clausthal durchgeführt werden.
Am IEE existieren bereits aus früheren Forschungsprojekten zwei elektrisch/mechanische Prüfstände, die für dieses Forschungsvorhaben entsprechend umgerüstet werden sollen. Der Einbau eines neuen, doppeltgespeisten Asynchrongenerators ist fast abgeschlossen.
Grundsätzlich sollen dann mit dem einen Prüfstand die mechanischen Beanspruchungen an den Antriebskomponenten einer WEA für verschiedene Störfälle und Windlasten ermittelt werden. Anschließend können diese Lastfälle dann an einem weiteren Prüfstand in ein Planetengetriebe als Lastfunktion eingespeist werden. Hierbei soll ein besonderes Augenmerk auf die mechanischen Belastungen innerhalb der Getriebe gelegt werden.
Parallel zu den Messungen wird das Verhalten des Antriebsstranges einer Windkraftanlage mit Hilfe einer Simulation nachgebildet und diese anhand der Messungen validiert. Dies ermöglicht Last- und Bewegungszustände, die messtechnisch nur schwer zu erfassen sind, zu ermitteln. Außerdem soll das Systemverhalten so nachgebildet werden, dass die Übertragung auf WEA mit anderer Leistung möglich ist.

Partner:

- Institut für Maschinelle Anlagentechnik und Betriebsfestigkeit (IMAB) der TU Clausthal
- ZF Wind Power Antwerpen NV (Belgien)

Bearbeiter: Dipl.-Ing. Nikola Ell (Tel.: 72-3821)
nikola.ell@tu-clausthal.de

Projektleiter: Dr.-Ing. Dirk Turschner (Tel.: 72-2592)

Projekt: Ermittlung der Betriebszustände und damit der Belastung, die auf Getriebe von Windkraftanlagen wirken

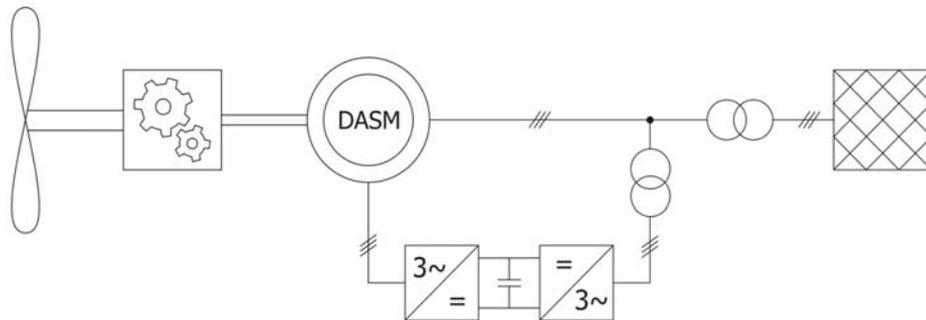


Bild 1: Grundsätzlicher Aufbau einer Windkraftanlage mit doppelt gespeister Asynchronmaschine und Getriebe

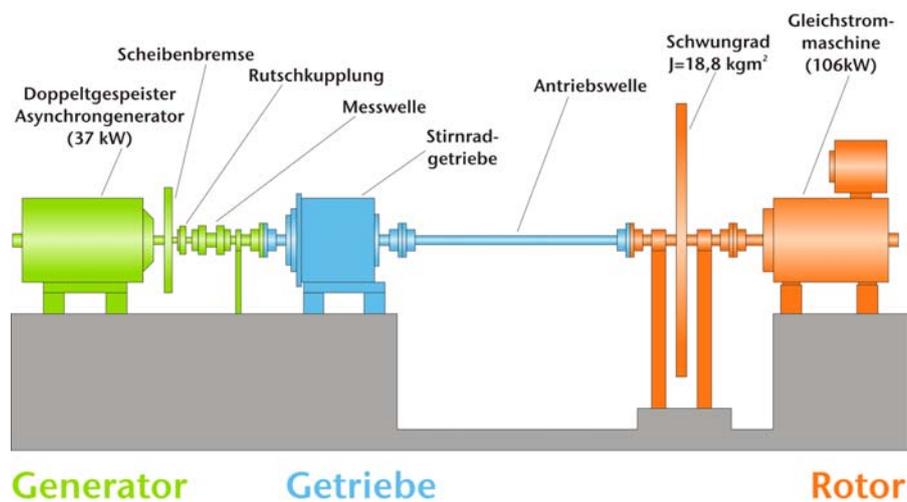


Bild 2: Schematische Darstellung des Prüfstands zur Nachbildung des Antriebsstranges einer Windkraftanlage am IEE

IEE

Projekt: Autarkes, thermisch hochintegriertes SOFC-Brennstoffzellen-System kleiner Leistung auf Propanbasis

Problem: In den letzten Jahren hat die Entwicklung der Hochtemperatur-Brennstoffzellen zu deutlichen Fortschritten im Bereich Wirkungsgrad, Leistungsdichte, Lebensdauer und Kosten geführt. Speziell die Festoxidbrennstoffzelle (SOFC) steht neben der Niedertemperatur-PEM zunehmend attraktiver als Alternative zu mit konventionellen Kraftstoffen versorgten Generatoren da. Geförderte Leuchtturmprojekte wie Callux testen deutschlandweit zusammen mit der Industrie in der Praxis die kommende Technik mit dem Endverbraucher. Unternehmen warten auf Lösungskonzepte aus der Wissenschaft um Brennstoffzellensysteme konkurrenzfähig am Markt zu platzieren.

Ziel: Es soll ein prototypennahes autarkes Hochtemperatur-Brennstoffzellen-System entwickelt werden. Während herkömmliche Systeme im POX-Betrieb arbeiten, wird hier zur Erzielung eines hohen Wirkungsgrades das Anodenabgas im Arbeitsbetrieb rezirkuliert.

Ein fertigungstechnisch einfacher Aufbau wird durch einen geschichteten Aufbau der Komponenten gewährleistet. Als Energieträger kommt Propan zum Einsatz, so dass das Projekt später als Skizze für mobile Brennstoffzellensysteme in z.B. Wohnmobilen dienen kann. Es wird geprüft in wie fern Sensorik durch regelungstechnische Abbildungen reduziert werden kann. Zur Begegnung der hohen Komplexität des durch die Verknüpfung von Verfahrenstechnik, Regelungstechnik und Fertigungstechnik stark interdisziplinären Projekts arbeiten acht verschiedene Hochschul-Institute zusammen.

Der hier untersuchte Ansatz soll die Unternehmen mit Fokus Niedersachsen auf die Markteinführung der SOFC vorbereiten.

Das Institut für Elektrische Energietechnik ist in diesem Projekt für die Konzipierung der Betriebsführung des AAGR-Systems und die Umsetzung der Steuerung für den Prüfstand verantwortlich.

Projektstand: Das Projekt befindet sich je nach Forschungspaket aktuell in der Auslegungs- und Aufbauphase.

Es wurde ein Energiemanagement entwickelt, in dem das Brennstoffzellensystem in die bestehende Infrastruktur z.B. eines Wohnmobils integriert wird, um so die Baugröße des Systems zu minimieren. Hierbei wird die 12V-Spannungsebene des KfZ über Wandler an-

gebunden; das System selbst arbeitet primär mit 24V (Bild 1). Als Steuerung dient eine bereits ausgelegte erweiterbare SPS. Anhand der Anforderungen aller Projektpartner ist eine Liste der Sensoren und Aktoren erstellt worden, die der Zusammenstellung der Modulkonfiguration zugrunde liegt.

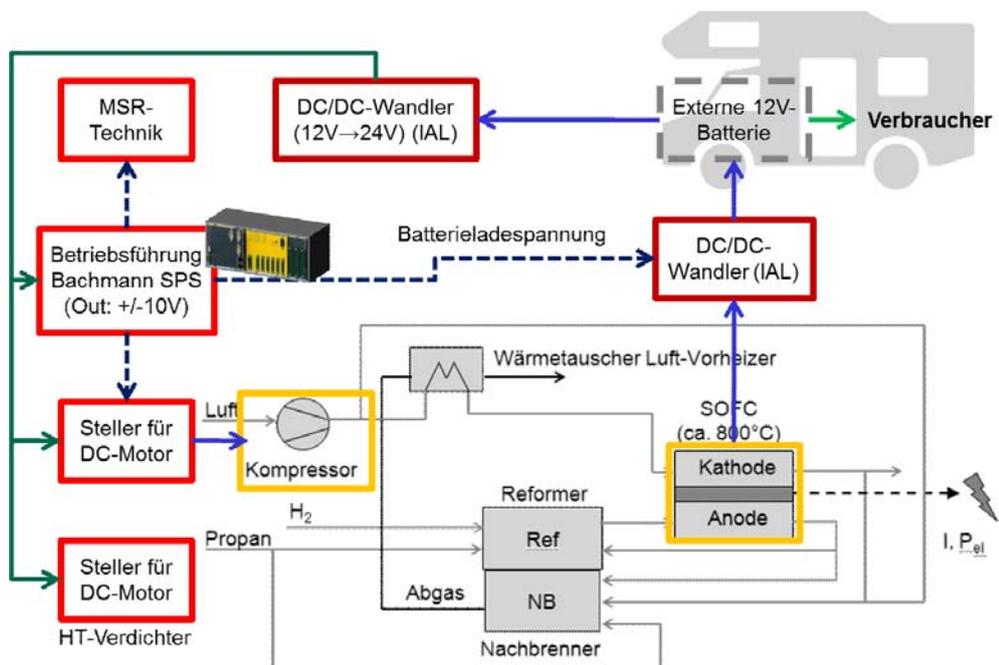


Bild 1: Energiemanagement des Projektaufbaus

Für den laufenden Betrieb sind Kennlinien in der Entwicklung, die einen gesteuerten Betrieb erlauben, der An- und Abfahrbetrieb werden geregelt realisiert.

Zusammen mit allen Instituten sind die Sicherheitsanforderungen inklusive der Fehlerfälle und Maßnahmen festgelegt worden.

Auf Basis des zu erwartenden Betriebsverlaufs entwickelte Lastprofile (Bild 2) helfen bei der Auslegung der elektrischen Konditionierung.

Anhand durchgeführter Batterie-Messreihen wurde eine Batteriesimulation geschrieben, die der Steuerung den Ladezustand des Systems gemäß den Umgebungsbedingungen abschätzt.

Projekt: Autarkes, thermisch hochintegriertes SOFC-Brennstoffzellen-System kleiner Leistung auf Propanbasis

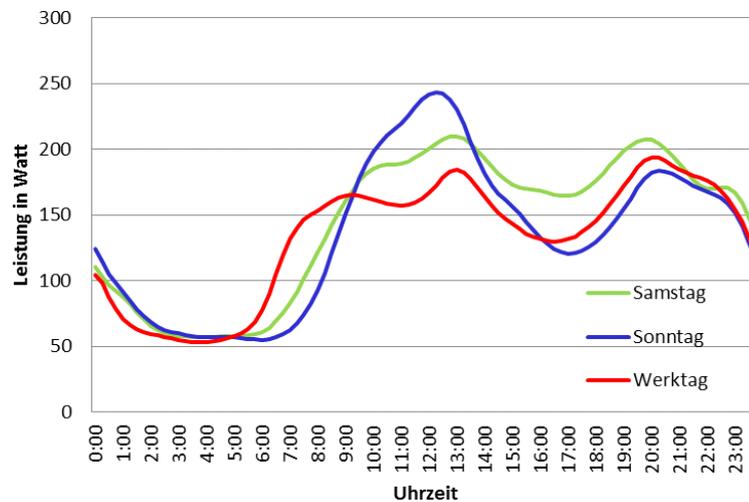


Bild 2:Zielanwendung Lastprofil Camping Sommer

Aktuell wird mit dem Aufbau des Kern-Teststands begonnen. Die ergänzenden Komponenten Wärmetauscher, Hochtemperatur-Gaspumpe, sowie eine dynamische Stackverspannung befinden sich in der Auslegungsphase.

- Industriepartner:**
- EWE AG, Oldenburg
 - Sieb & Meyer AG, Lüneburg
 - GEA Group AG, Düsseldorf
 - H.C. Starck GmbH, Goslar
 - Staxera, Dresden
 - EcoEnergy, Göttingen
 - Elster Kromschröder, Osnabrück
 - Laser on demand, Langenhagen
 - Solvis, Braunschweig

Bearbeiter: Dipl.-Ing. Torben Küster (Tel.: 72-2938)
torben.kuester@tu-clausthal.de

Projektleiter: Dr.-Ing. Dirk Turschner (Tel.: 72-2592)
Prof. Dr.-Ing. H.-P. Beck

IEE

Projekt: Weiterentwicklung des Konzeptes der partiellen Anodenabgas-Rückführung (AAGR) für propanbetriebene SOFC-BZ-Systeme

Problem: Im Rahmen des Vorgängerprojekts „Entwicklung eines neuartigen Konzeptes propanbetriebener SOFC-Brennstoffzellen durch Reformierung mit partieller Anodenabgas-Rückführung“ (IGF-Förderkennzeichen 251 ZN) konnte das Potenzial der Anodengas-Rezirkulation für den Betrieb kleiner Hochtemperatur-Brennstoffzellen gezeigt werden. Bezogen auf den Heizwert H_u des eingesetzten Propans folgte gemäß Simulation ein elektrischer Wirkungsgrad von 52,3 % ohne Wärmezufuhr. Der Versuchsaufbau aus 2007 bis 2009 wurde als reiner Systemdemonstrator mit externer Spannungsversorgung ohne Isolierung im Ofen betrieben (Bild 1). Auch wenn Brennstoffzellen für den Massenmarkt noch nicht ausgereift genug sind, so gibt es einen Nischenmarkt, in dem hocheffiziente, leise und wartungsarme Systeme den zunehmend schrumpfenden Kostennachteil überwiegen. Der Systemdemonstrator aus dem Vorgängerprojekt kann durch Weiterentwicklung in die Richtung der geforderten Prototypen für den Markt gerückt werden.



Bild 1: Teststandaufbau des zugrundeliegenden Vorgängerprojekts

Ziel:

Auf Empfehlung des Projektausschusses im Vorgängerprojekt soll die elektrische Nennleistung des Versuchsträgers von 300 W auf 1000 W gesteigert werden. Somit ist das System für den Großteil der Freizeitanwendungen ausreichend skaliert. Dieses Ziel erfordert einen Baugruppen-Scale-up aller Hauptkomponenten um den Faktor 3. Da die fortschreitende Brennstoffzellenentwicklung den Zugriff auf ständig bessere Zellen ermöglicht, ist eine Flexibilität im Hinblick auf den Einsatz neuer Stacks zu gewährleisten.

Der Betrieb soll in diesem Projekt wärmeautark erfolgen, so dass eine konstruktionsgerechte Isolierung auszulegen ist. Alle Komponenten sind aufeinander abzustimmen und zu optimieren, um die Verluste zu minimieren und die geforderte elektrische Leistung zu erreichen.

Bereits im Vorgängerprojekt fand eine unvermeidbare Rußbildung während des POX-Betriebs statt, der das System über die Zeit zu setzte. In diesem Projekt soll der betroffene An- und Abfahrbetrieb untersucht und in Richtung Rußminimierung ausgelegt werden. Darüber hinaus wird der Einsatz von Regenerationsstrategien geprüft.

Ein optimierter Systemaufbau und eine verbesserte Injektorcharakteristik sollen die Druckverluste im System minimieren.

Das Institut für Elektrische Energietechnik ist in diesem Projekt für die Konzipierung der Regelung des AAGR-Systems und die Umsetzung der Steuerung für den Prüfstand verantwortlich (Bild 2).

Projekt: Weiterentwicklung des Konzeptes der partiellen Anodenabgas-Rückführung (AAGR) für propanbetriebene SOFC-BZ-Systeme

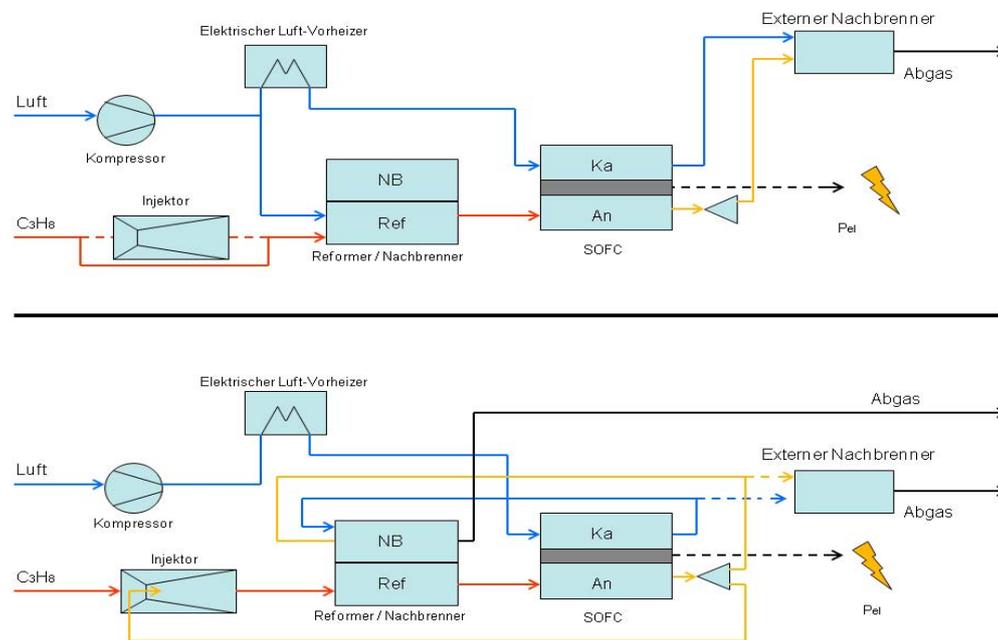


Bild: 2: Schematische Flussdarstellung des AAGR-Betriebs

Projektstand:

Aktuell befindet sich das System in der Auslegungsphase; die Fertigstellung des Teststands ist für Ende 2012 vorgesehen.

In Bezug auf die thermische Auslegung wurde eine separat isolierte Einhausung für die nicht-Stack-Komponenten gewählt und vorbereitet. Diese Hotbox kann an bestehende Hot-Box-Konzepte von Stackherstellern aufgesetzt werden, so dass eine gewisse Systemunabhängigkeit gewährleistet ist. Eine besondere Herausforderung dieser Lösung ist die Auslegung der benötigten Schnittstellen.

Zur Minimierung der thermischen Verluste wird darüber hinaus der Einsatz eines Wärmetauschers geprüft.

Die Injektorgeometrie und Rohrverlegung wurde bereits im Hinblick auf Druckminimierung optimiert.

Um vorab für die Auslegung des Systems Kennwerte zu generieren, wurde die dynamische Simulation aus dem Vorgängerprojekt auf die neuen Rahmenbedingungen angepasst. Auf Grundlage dieses Hilfsmittels werden Steuerungskennlinien für den An- und Abfahrtrieb bestimmt.

Es wurde bereits eine für die Betriebsführung anforderungsgerechte Steuerung ausgelegt, die schon intern über einen Grundstock an Sicherheitsmaßnahmen verfügt.

Für den stationären Betrieb ist primär eine Steuerung festgelegt, der dynamische Betrieb wird mit Unterstützung mehrerer Regelungen durchgeführt.

Industriepartner:

- Siemens, Berlin/München
- Bosch, Gerlingen
- Vaillant, Remscheid
- New Enerday, Neubrandenburg
- Staxera, Dresden
- Umicore, HanauFuelCon, Barleben
- TLK-Thermo, Braunschweig
- DVFG, Berlin
- EcoEnergy, Göttingen
- Escena, Braunschweig

Bearbeiter:

Dipl.-Ing. Torben Küster (Tel.: 72-2938)
torben.kuester@tu-clausthal.de

Projektleiter:

Dr.-Ing. Dirk Turschner (Tel.: 72-2592)
Prof. Dr.-Ing. H.-P. Beck

Projekt: FEN TP 11: Untersuchung an der Virtuellen Synchronmaschine (VISMA)

Problem: Die Erschließung regenerativer Energiequellen sowie die Integration von BHKW-Anlagen für die elektrische Energieversorgung sind unmittelbar mit der Frage der Kopplung dieser Quellen mit den elektrischen Netzen verbunden. Bisher war der sichere Netzbetrieb mit diesen Erzeugern aufgrund ihrer geringer Anzahl und Einspeiseleistung weitgehend gewährleistet, da das Netz das zumeist nur nach lokalen Aspekten ausgerichtete Betriebsverhalten dieser Erzeuger aufgrund der dynamischen Rotations- sowie der statischen Regelreserven der Synchrongeneratoren ausgleichen konnte. Erfolgt der Ausbau der regenerativen bzw. BHKW-basierenden Elektroenergieerzeugung im geplanten Maßstab in Gestalt der Substitution konventioneller, über Synchrongeneratoren einspeisender Quellen, gilt der stabile Netzbetrieb als gefährdet.

Ziel: Um die durch die neuartigen Quellen prinzipbedingt hervorgerufene Dynamik der Leistungsflüsse im Netz zu begrenzen, wird allgemein die Erhöhung der Energiespeicherkontingente im Netz angestrebt. Dabei liegt es nahe, die Speicher in kleinen Einheiten gemeinsam mit den Erzeugern dezentral zu installieren, statt große, zentrale Systeme vorzusehen. Die Herausforderung beim Betrieb eines derart strukturierten Speichersystems liegt darin, die verteilt installierten Speicher für jede Stelle des Netzes im Umfang des sich ergebenden Gesamtspeichervermögens energetisch verfügbar zu machen. Im zurückliegenden Forschungszeitraum konnte mit der VISMA die zur elektromechanischen Synchronmaschine analoge Wirkung eines entsprechend geregelten und gesteuerten Einspeisewechselrichters für Einzelsysteme gezeigt werden. Die aus diesen Untersuchungen abgeleiteten Eigenschaften der VISMA als geeigneter Einspeisewechselrichter für den dezentralen Verbundbetrieb von regenerativen bzw. BHKW-basierenden Erzeugern sollen in einem realisierenden Mikronetz gezeigt werden. Das Ergebnis bildet die Beschreibung eines hinsichtlich der genannten Punkte in seiner Funktion überprüften Einspeisewechselrichters mit nachgebildeter, aber elektrisch wirksamer rotierender Masse, der im dezentralen Parallelbetrieb zuverlässig und ohne Kommunikationsverbindung arbeitet.

Lösungsweg:

Auf der Grundlage des Konzeptes der Virtuellen Synchronmaschine können entsprechend ausgestattete Einspeisewechselrichter wie elektromechanische Synchronmaschinen betrieben werden (Bild 1). VISMA-Systeme sind wie traditionelle Kraftwerke (mit Kraftwerksregelungen) ohne Kommunikationsverbindung hochparallel betreibbar (Bild 2). Da das VISMA-System gegenüber den konventionellen Einspeisewechselrichter über eine rotierende virtuelle Masse und virtuelle Dämpfung verfügt, wird das Netz dadurch bei der Laständerung unterstützt. Der Beitrag zur Netzunterstützung wird nach der virtuellen Masse und Dämpfung solidarisch von dem einzelnen VISMA-System gegeben (Bild 3, Bild 4). Alle statischen und dynamischen Eigenschaften der VISMA werden anhand eines Versuchsnetzes (Bild 5) untersucht.

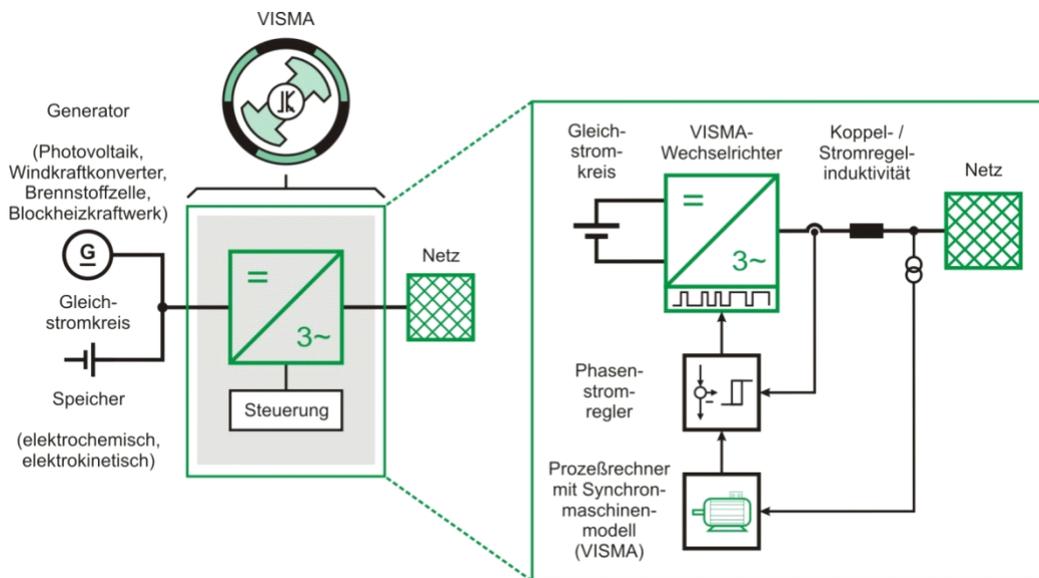


Bild 1: VISMA-Wechselrichter verfügen über die Eigenschaften einer elektromechanischen Synchronmaschine

Projekt:

FEN TP 11: Untersuchung an der Virtuellen Synchronmaschine (VISMA)

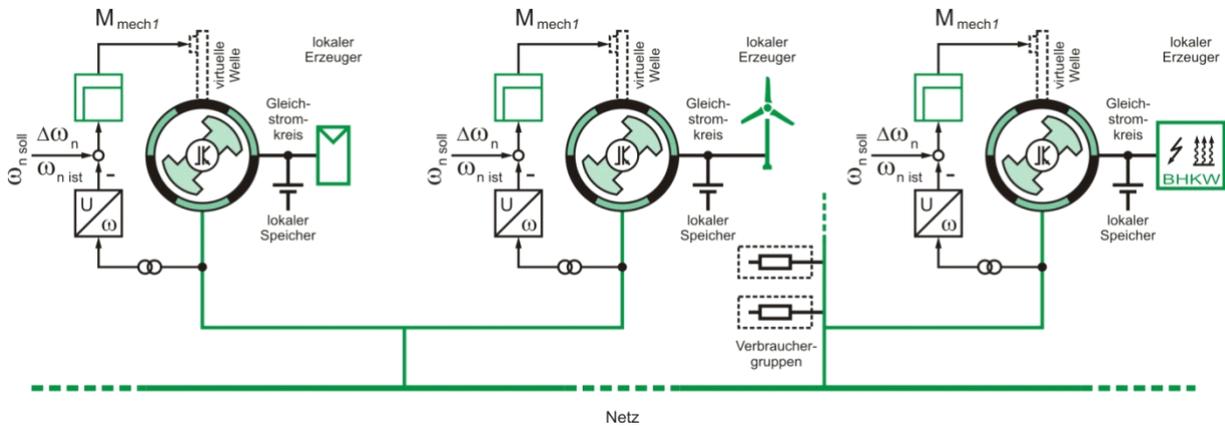


Bild 2: Netzintegration von regenerativen Erzeugern sowie Eigenerzeugungsanlagen durch VISMA-Systeme

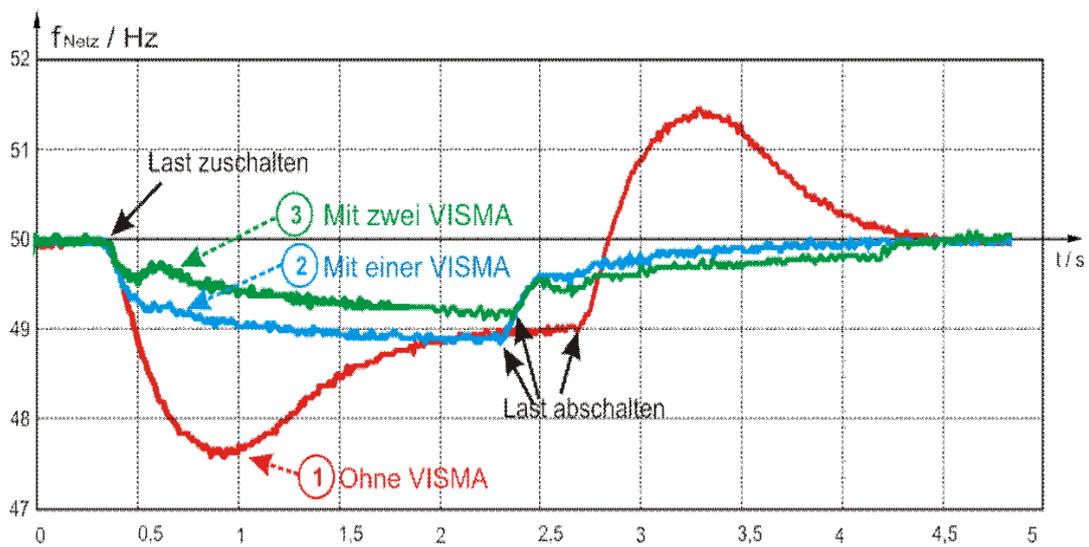


Bild 3: Netzfrequenzstützende Wirkung der virtuellen rotierenden Masse der VISMA

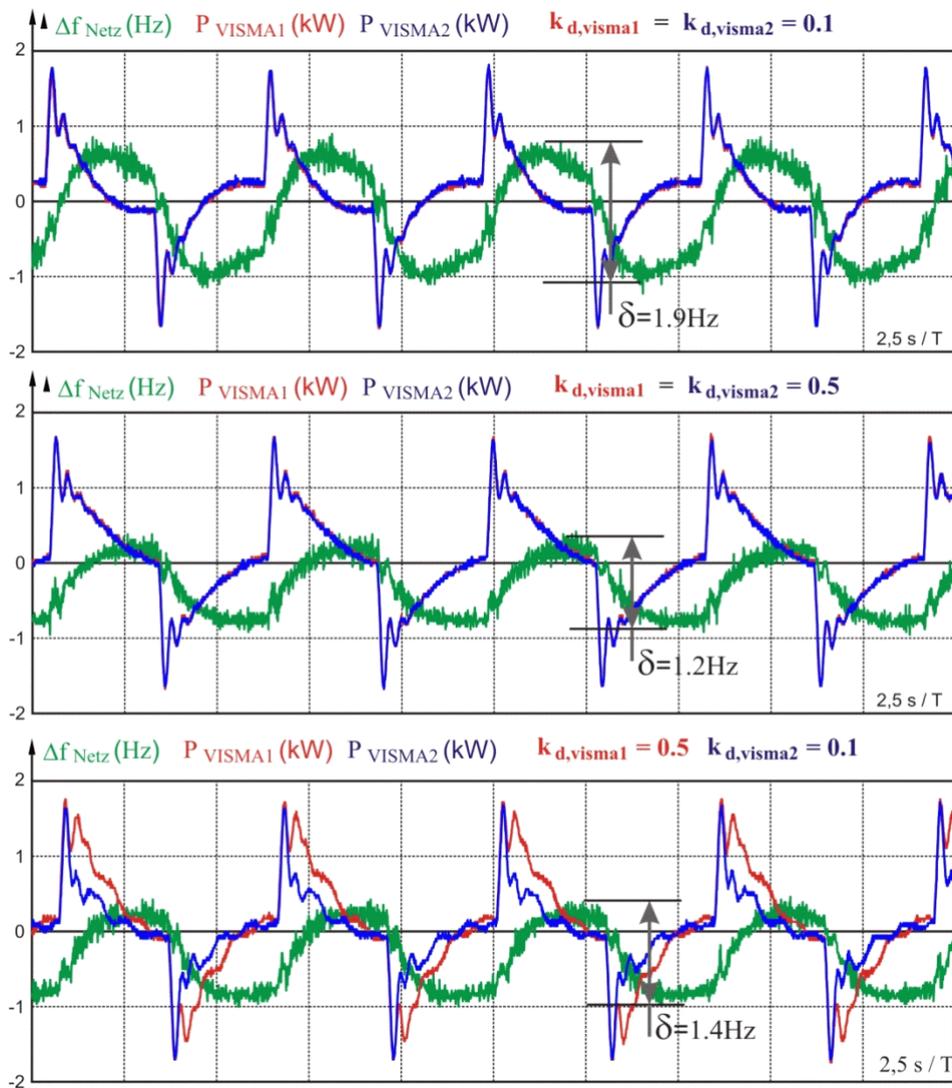


Bild 4: Unterdrückung der Frequenzschwingung durch virtuelle Dämpfung der VISMA, K_d ist der Dämpfungsfaktor in der VISMA, δ ist die Amplitude der Frequenzschwingung.

Projekt: FEN TP 11: Untersuchung an der Virtuellen Synchronmaschine (VISMA)



Bild 5: Multi-VISMA-Prüfstand

Projektstand: Projekt wurde abgeschlossen

Förderung: Niedersächsisches Ministerium für Wissenschaft und Kultur

Bearbeiter: Dipl.-Ing. Yong Chen (Tel.: 72-3819)
yong.chen@tu-clausthal.de

Projektleiter: Dr.-Ing. Dirk Turschner (Tel.: 72-2592)
Prof. Dr.-Ing. H.-P. Beck

IEE

- Projekt:** Entwicklung einer virtuellen Synchronmaschine für den Einsatz in unterbrechungsfreien Stromversorgungen
-
- Problem:** Die Qualitätsanforderungen an die Stromversorgung von Industrie-, Kommunikations- und Datenverarbeitungsanlagen nehmen immer weiter zu. Zur Sicherung der Spannungsqualität unabhängig von der Spannungsversorgung durch das öffentliche Netz kommen üblicherweise unterbrechungsfreie Stromversorgungen (USV) zum Einsatz.
- USV-Anlagen sind Stand der Technik. Der parallele Betrieb mehrerer, dafür vorbereiteter USV-Anlagen ist ebenfalls befriedigend gelöst. Weitgehend ungelöst ist die nachträgliche Erweiterung bestehender USV-Anlagen.
- Ziel:** Ziel des EFRE-Projekts „Entwicklung einer virtuellen Synchronmaschine für den Einsatz in unterbrechungsfreien Stromversorgungen“ ist die Entwicklung eines Wechselrichters samt zugehöriger Regelung, der zur Leistungserhöhung einer bestehenden USV-Anlage eingesetzt und ohne Kommunikation mit dieser betrieben werden kann.
- Projektstand:** Zur Realisierung der Regelung wurde das Konzept der virtuellen Synchronmaschine (VISMA) umgesetzt und an die Anforderungen in unterbrechungsfreien Stromversorgungsanlagen adaptiert. Eine VISMA ist das mathematische Modell einer elektromechanischen Synchronmaschine, das zur Ansteuerung von Wechselrichtern genutzt wird, um mit diesen das Verhalten realer Synchronmaschinen nachzubilden. Das Konzept ermöglicht es, mit Umrichtersystemen die von Synchronmaschinen bekannten netzstabilisierenden Eigenschaften bereitzustellen.
- Bild 1 zeigt das Prinzip zur Leistungserweiterung einer USV-Anlage. Die konventionellen USV arbeiten netzbildend. Sie regeln die Spannung im gesicherten USV-Netz. Um die Leistung der Anlage zu erhöhen, können USV-VISMA-Wechselrichter, die sich wie Stromquellen verhalten, parallel zugeschaltet werden. Die Parallelschaltung von Stromquellen ist gegenüber der Parallelschaltung von Spannungsquellen unkritisch. Die Erweiterung des USV-Systems durch VISMA-Wechselrichter wirkt aus Sicht der USV wie eine Verringerung der Verbraucherleistung.

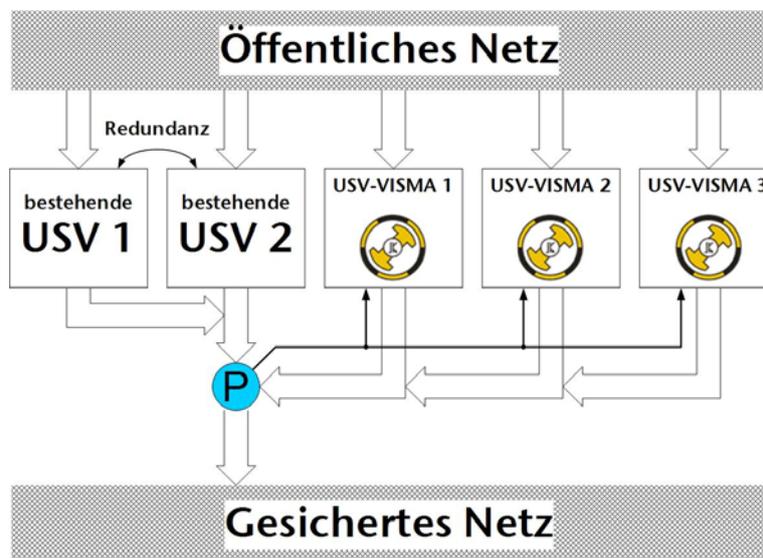


Bild 1: Prinzip einer durch USV-VISMA erweiterten konventionelle USV-Anlage

Zur Leistungsregelung der USV-VISMA-Wechselrichter, wird nur eine Messstelle zur Erfassung des Leistungsflusses in das Lastnetz benötigt. Das bedeutet, auf eine spezielle Kommunikationsschnittstelle zur konventionellen USV bzw. zu deren Regler kann verzichtet werden. Lediglich die Anzahl der momentan aktiven USV-Anlagen und USV-VISMAs muss bekannt sein. Diese Information wird in der Regel von allen USV-Anlagen zur Verfügung gestellt und lässt sich ohne Modifikation der bestehenden Anlagen über binäre Statussignale abgreifen.

Die Leistungserfassung am Lastabgang und die Leistungsregelung der USV-VISMA müssen in Echtzeit erfolgen. Insbesondere beim Abschalten von größeren Lasten im gesicherten Netz muss die USV-VISMA unverzüglich reagieren und ihre Leistungsbereitstellung zurücknehmen können, um eine Rückspeisung in die konventionelle USV-Anlage zu verhindern. Eine Rückspeisung würde im schlimmsten Fall zu einer Abschaltung der USV und damit zur Destabilisierung bzw. zum Zusammenbruch des gesicherten Netzes führen.

Im Rahmen des EFRE-Projekts erfolgte die Konstruktion und Erprobung eines Wechselrichters (Bild 2) zur Wirkleistungserhöhung bestehender USV-Anlagen bzw. zur Erhöhung/Schaffung der Redundanz. Der Wechselrichter wurde auf eine Leistung im Bereich von 10 – 100 kVA ausgelegt. Die Regelung der Ausgangsleistung des

Projekt: Entwicklung einer virtuellen Synchronmaschine für den Einsatz in unterbrechungsfreien Stromversorgungen

Wechselrichters geschieht ohne Kommunikation mit der bestehenden USV und basiert auf der Lastmessung am Einspeiseknoten, was Modifikationen und insbesondere Eingriffe in die Messinfrastruktur der vorhandenen Anlage erspart.



Bild 2: VISMA-Wechselrichter

Um die USV-typischen Anforderungen zu erfüllen wurde die auf dem Konzept der „virtuellen Synchronmaschine“ basierende Regelung des Wechselrichters um die bei USV-Anlagen erforderlichen Eigenschaften erweitert und an die in USV-Netzen herrschenden Bedingungen angepasst. Insbesondere die starre Frequenz im USV-Netz und die Schiefastfähigkeit von USV-Anlagen stellten eine Herausforderung dar.

Im Zuge des Projekts wurde die reine Wirkleistungsbereitstellung durch die VISMA umgesetzt. Dabei speist der USV-VISMA-Wechselrichter einen festen Wirkleistungsbetrag symmetrisch auf allen drei Phasen ein, sobald eine gewisse Leistungsanforderung im gesicherten Netz überschritten wird. Fällt die Leistung wieder unter den Schwellwert, der in Abhängigkeit der Nennleistung der USV gewählt wird, schaltet sich die USV-VISMA ab.

Die Funktion der USV-VISMA wurde mit einem Versuchsaufbau (Bild 3) getestet und untersucht. Für die Versuche wurde die konventionelle USV durch das öffentliche Netz in Kombination mit einer entsprechenden Filterschaltung nachgebildet. Diese Vereinfachung ist zulässig und ermöglicht es, das Verhalten, insbesondere das Zu- und Abschaltverhalten und die evtl. mögliche Rückspeisung, des parallel geschalteten USV-VISMA-Wechselrichters zu untersuchen.



Bild 3: USV-VISMA Versuchsstand

Mit dem Versuchsaufbau und den durchgeführten Messungen (Bild 4) konnte im Rahmen des Projekts gezeigt werden, dass die Leistungserweiterung einer bestehenden USV-Anlage durch reine Wirkleistungsbereitstellung von einem USV-VISMA-Wechselrichter mit entsprechender Regelung möglich ist. Dabei versucht die Regelung die Rückspeisung in die USV zu vermeiden, da das Rückspeiseverhalten marktverfügbarer USV-Anlagen nicht hinreichend bekannt ist.

Das Projekt wurde im Jahr 2011 abgeschlossen.

Projekt: Entwicklung einer virtuellen Synchronmaschine für den Einsatz in unterbrechungsfreien Stromversorgungen

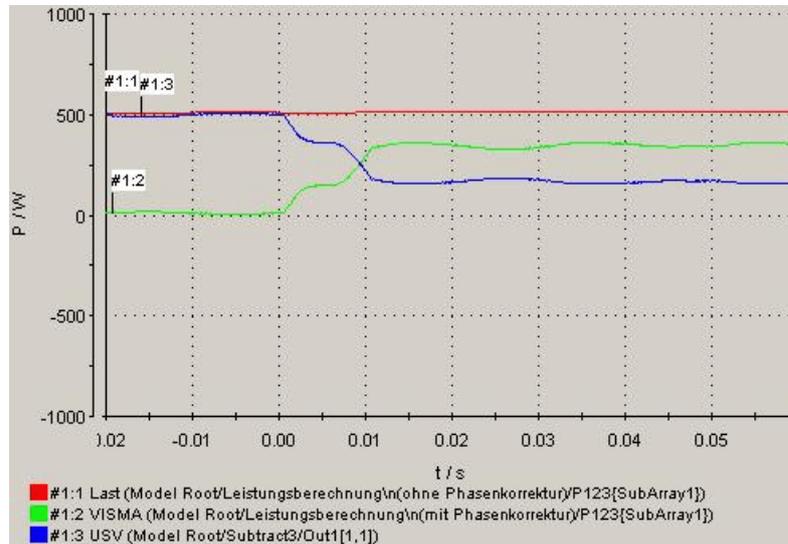


Bild 4: Leistungsverläufe bei Zuschalten der USV-VISMA

Projektpartner: dbr consult ingenieurgesellschaft, Osterode



Förderung: Europäischer Fonds für Regionale Entwicklung (EFRE)



Bearbeiter: Dipl.-Ing. Benjamin Schwake (Tel.: 72-2929)
benjamin.schwake@tu-clausthal.de

Teilprojektleiter: Prof. Dr. rer. nat Heinz Wenzl

IEE

Projekt: Entwicklung und Qualifizierung eines dreiphasigen, netzbildenden Batteriewechselrichters für Inselösungen

Problem: In unserer hochgradig mit Infrastruktur erschlossenen Region sind wir gewöhnt an die fast immer vorhandene Versorgung mit Elektrizität. In vielen Regionen dieser Welt existiert jedoch bis heute kein geschlossenes Versorgungsnetz oder es existieren Inselnetze. Ein solches Inselnetz stellt im einfachsten Fall einen Haushalt dar der zur Eigenversorgung einen dieselbetriebenen Generator nutzt. Aufgrund der begrenzten Verfügbarkeit und stetig steigender Kosten fossiler Brennstoffe ist diese Option weder nachhaltig noch ökonomisch vertretbar. Mittel der Wahl ist daher der Einsatz regenerativer elektrischer Energieerzeuger wie Windenergie- und Photovoltaikanlagen.

Neben diesen ökonomischen wie ökologischen Bedingungen sind die Erzeugung und der Betrieb eines elektrischen Netzes geprägt von den technischen Anforderungen des Inselnetzes:

- Gewährleistung der Lastaufteilung zwischen Erzeugereinheiten
- Eine stabile Netzfrequenz um transformatorbasierte Verbraucher nicht zu beschädigen und marktübliche Erzeuger sicher und zuverlässig betreiben zu können.
- Bereitstellung einer qualitativ hochwertigen Netzspannung um störungssensible Verbraucher (Elektronik: EDV, Fernseher u.s.w.) betreiben zu können
- Integration beliebiger elektrischer Erzeugungseinheiten
- Erweiterbarkeit des Netzes

Ziel: Zur Erzeugung eines elektrischen Inselnetzes kommen bei Verzicht auf konventionelle Erzeuger und zur Nutzung regenerativer Erzeuger Batterien zum Einsatz. Das Ziel des Projektes ist die Entwicklung sowie der Aufbau und Untersuchung eines Batteriewechselrichters zur Erzeugung und zum Betrieb eines Inselnetzes. Als Basis für den Betrieb des Netzes wird die am IEE entstandene Basisentwicklung der virtuellen Synchronmaschine (VISMA) genutzt. Grundgedanke ist die Übertragung des Verhaltens einer Synchronmaschine auf einen Wechselrichter. Die Entwicklung eines Inselnetzwechselrichters auf Basis der VISMA-Technologie ermöglicht so insbesondere die wechsellspannungsseitige Erweiterbarkeit des Inselnetzsystems um Wachstumsanforderungen des Netzes gerecht zu werden. Dazu zählen:

- Erweiterbarkeit des Inselnetzes um weitere VISMA-basierte Einheiten
- Integrierbarkeit von beliebigen Einspeisewechselrichtern die für den Betrieb am öffentlichen Niederspannungsnetz konzipiert sind (Photovoltaikwechselrichter, umrichterbasierte Kleinwindenergieanlagen, umrichterbasierte Blockheizkraftwerke)
- Integrierbarkeit von direkt gekoppelten generatorbasierten Systemen (Blockheizkraftwerke, kleine Wasserkraftwerke, umrichterlose Kleinwindenergieanlagen)

Lösungsweg:

Zur Erfüllung der Anforderungen wurde ein Prototyp entwickelt der neben dem Betrieb des Netzes auch den für den Transport an entlegene Einsatzorte wichtigen Aspekt des hohen Leistungsgewichts berücksichtigt. Zur Minimierung der Verluste wie auch der Erfüllung der Gewichtsanforderungen wurde dieser transformatorlos aufgebaut und ermöglicht dennoch die Anforderungen an die Nutzung einer Batterie im Kleinspannungsbereich.

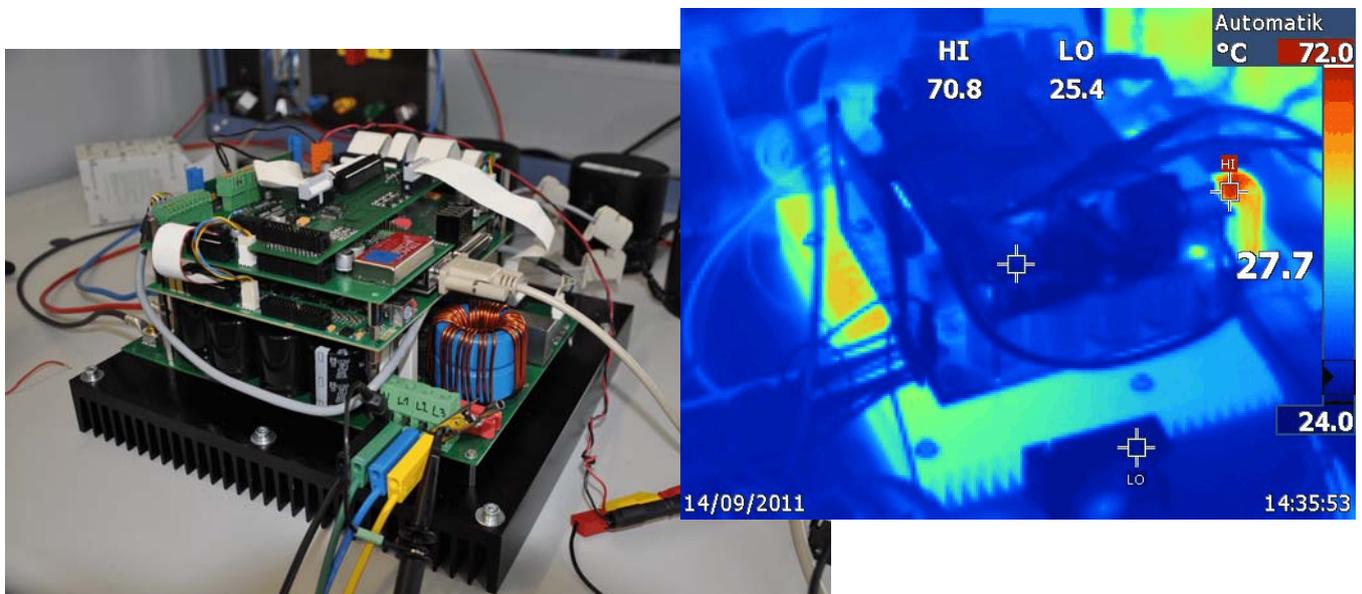


Bild 1: Prototypaufbau der Wechselrichterstufe

Neben den schaltungstechnischen Aspekten wurde die Eignung der VISMA-basierten Regelung für den Einsatz in Inselnetzen erfolgreich entwickelt, implementiert und demonstriert. Neben den Grundfunktionen konnten auch weitergehende Eigenschaften erfolgreich

Projekt: Entwicklung und Qualifizierung eines dreiphasigen, netzbildenden Batteriewechselrichters für Inselösungen

gezeigt werden, u.a.:

- Bereitstellung von Kurzschlussstrom um einzelne Netzbereiche im Fehlerfall mit handelsüblichen Leitungsschutzschaltern trennen zu können.
- Stabiler Betrieb von nichtlinearen und schwer-anlaufenden Lasten
- Schwarzstartfähigkeit

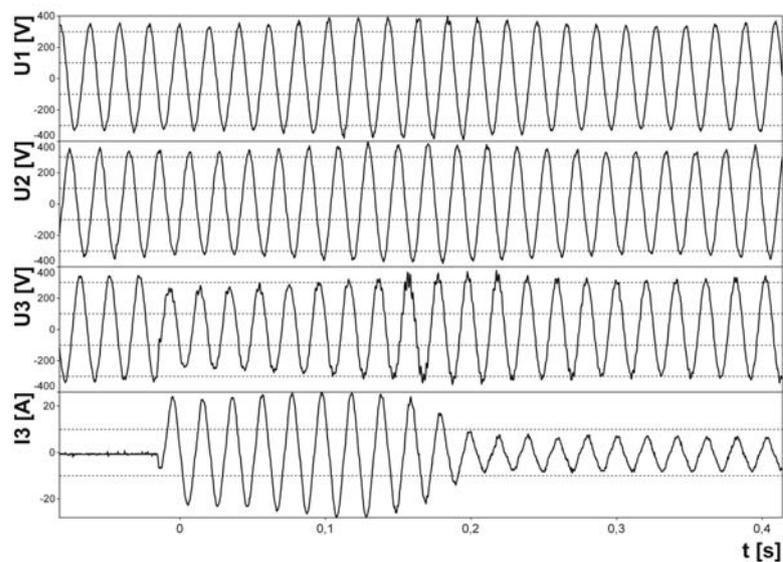


Bild 2: Messung der Netzspannungen und des Laststroms bei Überlastung des Inselnetzes mit einphasiger schweranlaufender Last (120 % Schiefast)

Projektpartner:

Gefördert von:

Projekträger:

INENSUS



AIF Projekt GmbH

Bearbeiter: Dipl.-Ing. Thomas Hesse

Projektleiter: Dr.-Ing. Dirk Turschner (Tel.: 72-2592)

IEE

Projekt: Global adaptive model for prediction, characterization and damping of vibrations in hot strip mills (Chatter)

Problem: Ein Problem des Kalt- und Warmwalzens ist das Auftreten von selbsterregten Schwingungen. Diese selbsterregten Schwingungen werden beim Kaltwalzen als *Brummer* und beim Warmwalzen als *Rattern* bezeichnet. Sie treten bei verschiedenen Walzgerüstkonstruktionen, z.B. bei Anlagen mit Kammwalzgetriebe und Anlagen mit Zwillingsantrieben auf und beeinflussen die Qualität des Walzgutes nachteilig. So kommt es beim Rattern zu *Rattermarken* auf dem Walzgut. Die Frequenz der Schwingung liegt beim Warmwalzen in einem Band von 30 bis 80 Hz und beim Kaltwalzen zwischen 90 und 250 Hz. Einflussgrößen für diese selbsterregte Schwingung sind die Bandgeschwindigkeit, der Schmierstoff, die Materialbeschaffenheit des Walzguts, unrund geschliffene Walzen und Lagerdefekte.

Ziel: Ziel der vorliegenden Arbeit ist es, ein Modell des Walzgerüsts und des Walzspaltes zu entwickeln, um die Verhältnisse beim Rattern besser zu verstehen und Vorhersagen über die Ratterneigung an realen Anlagen zu machen. Weiterhin soll ein hochdynamisches Stellglied zum Einsatz kommen, mit dem es möglich ist, eine auftretende Schwingung zu unterdrücken.

Projektstand: Projekt ist abgeschlossen

Industriepartner:

- EU-Projekt

Research Programme of the Research Fund for Coal and Steel

- ThyssenKrupp (Bochum)
- Acelormittal (Aviles, Spanien)
- Universität Oviedo (Spanien)
- Universität Pisa (Italien)
- Cetto (Ratingen)

Bearbeiter: Dipl.-Ing. Wei Xiong

Projektleiter: Dr.-Ing. Dirk Turschner (Tel.: 72-2592)
Turschner@iee.tu-clausthal.de

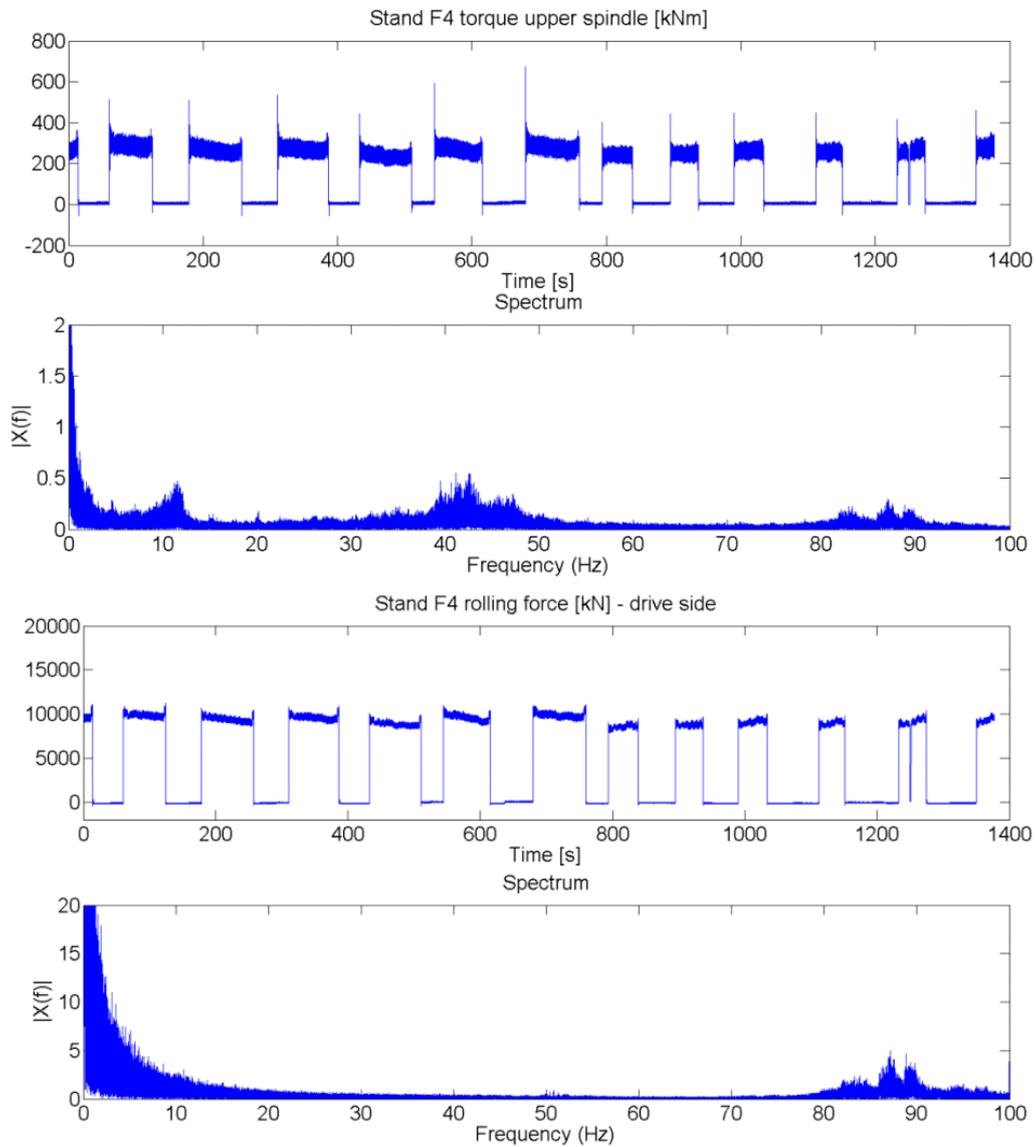


Bild 1: Amplituden-Zeit-Verlauf und Spektrum des oberen Spindelmomentes und der Walzkraft einer mehrgerüstigen Walzstraße beim Rattern. Die Schwingung oberhalb von 80Hz ist eine Vertikalschwingung, die das Torsionsschwingungsverhalten der Anlage beeinflusst. Die Kombination und die gegenseitige Beeinflussung von Vertikal- und Horizontalschwingung muß in einem Simulationsmodell nachgebildet werden.

Projekt: Global adaptive model for prediction, characterization and damping of vibrations in hot strip mills (Chatter)

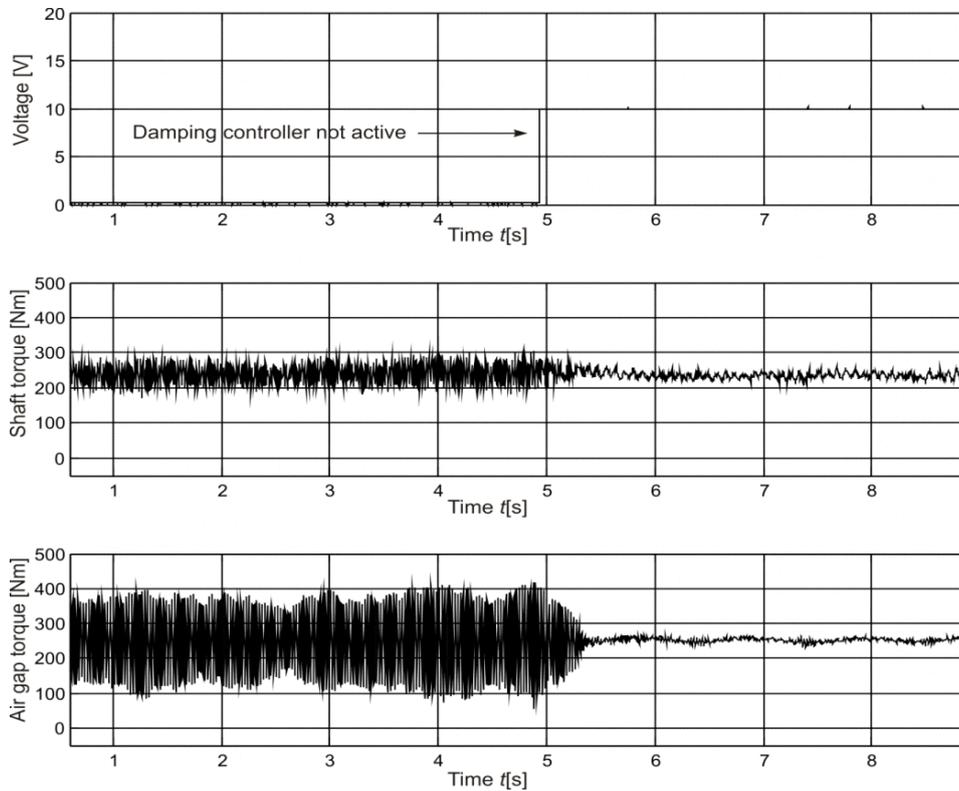


Bild 2: Reduzierung einer 40 Hz-Schwingung mit einem neuartigen Dämpfungsregler am Walzenprüfstand der TU Clausthal

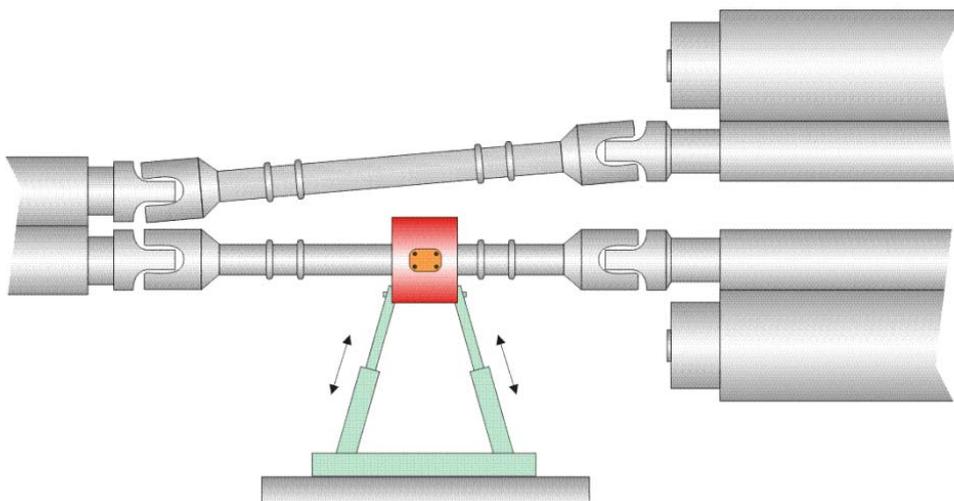


Bild 3: Vorgeschlagene Installation des Dämpfermotors in der unteren Spindel des Walzgerüsts

IEE

Projektübersicht

Projektleiter: Prof. Dr. rer. nat. Heinz Wenzl
Tel.: +49-5522/9191-70
E-Mail: heinz.wenzl@t-online.de

Arbeitsgruppe Energiespeicher

Forschungsschwerpunkte und Projekte

Die meisten technischen Systeme sind darauf angewiesen, dass ihr Bedarf an elektrischer Energie unmittelbar gedeckt werden kann. Eine Zeitverzögerung zwischen Bedarf und Bereitstellung ist in vielen Fällen unmöglich. Energiespeicher sind deshalb in vielen technischen Anwendungen unverzichtbar, weil sie wirtschaftlich und technisch dazu beitragen, zu jedem Zeitpunkt das Gleichgewicht von Energieerzeugung und Energiebedarf zu gewährleisten. Dies gilt für netzgekoppelte Sicherheitssysteme, aber auch für autonome erneuerbare Energiesysteme und Bordnetze von Fahrzeugen. Dabei konkurrieren Energiespeicher immer mit hochdynamischen Stromerzeugungseinheiten, Lastmanagement oder anderen Systemlösungen wie z.B. dem Netzausbau.

Batterien sind in der Lage, sehr schnell auf Leistungsanforderungen zu reagieren, sowohl in Lade- als auch Entladerichtung. Eine genaue Analyse zeigt somit auch, dass Batterien oft sehr hohen dynamischen Belastungen unterworfen werden, selbst wenn der mittlere Energiedurchsatz gering ist.

Der Spannungsverlauf einer Batterie bei schnellen Stromänderungen zeigt ein ungewöhnliches Verhalten und kann nicht mit den üblichen Ersatzschaltbildern einer Batterie erklärt werden. Neben dem Verhalten von Batterien bei derartigen hochdynamischen Belastungen sind aber auch die Auswirkungen auf Batterien nur wenig untersucht und stellen deshalb die Forschungsschwerpunkte des Instituts dar.

Laufende Forschungsprojekte und Themen sind:

- **Untersuchung von Auswirkungen hochdynamischer Ströme hoher Amplitude auf Batterien**
 - ▶ Auswirkungen betreffen sowohl das Spannungsverhalten als auch die Temperaturentwicklung und somit auch die Lebensdauer. Im Rahmen des unten genauer beschriebenen DFG-Vorhabens Leistungsstarke Kurzzeitspeicher werden diesbe-

züglich auch Regelungsstrategien bei Verwendung mehrerer Speichertechnologien parallel zueinander untersucht.

Im Projekt Schnellladung von Batterien für die Elektromobilität werden die bisherigen Überlegungen und Ergebnisse auf sehr hohe Laderaten angewandt.

Die Arbeiten zum Aufbau des seit März 2012 bewilligten Batterietestzentrums am EFZN in Goslar, die federführend von der Arbeitsgruppe Energiespeicher des IEE betreut werden, sind Teil dieses Schwerpunkts.

- **Entwicklung von Methoden zur Lebensdauerprognose**

- ▶ Die Lebensdauer von elektrochemischen Systemen unter realen, stark variierenden Betriebsbedingungen und ihrer komplexen Kombination von sich gegenseitig beeinflussenden Alterungseffekten ist ein methodisch ungelöstes Problem. In zwei der unten dargestellten Projekte werden Kombinationen von Methoden untersucht, um Lösungswege zu finden und zu verifizieren.

Seit dem letzten Jahresbericht abgeschlossene Projekte sind:

- **Entwicklung eines Starthilfesystems**

- ▶ Im Rahmen dieses Projekts wurde ein Prototyp für ein Starthilfesystem aufgebaut, das mit sehr geringer Batteriekapazität Fahrzeuge bei Versagen der Starterbatterie des Fahrzeugs starten kann. Dabei hat sich gezeigt, dass durch die vorgeschlagene Lösung (hartes Zuschalten eines Batteriesystems mit höherer Spannung nur während des Startvorgangs) sowohl der Energieverbrauch für das Starten als auch die Startzeit dramatisch verkürzt werden konnten.

- **Aufbau einer Solarstromtankstelle für die Wolfsburg AG**

- ▶ Am Institut wurde ein Container aufgebaut, der eine Ladung von Elektrostraßenfahrzeugen mit Solarstrom ermöglicht.

Projekt: Leistungsstarke Kurzzeit-Energiespeichersysteme

Problem: Im DFG-Vorhaben „Leistungsstarke Kurzzeit-Energiespeichersysteme“ (Förderkennzeichen Be 1496/141) wurden in der Laufzeit bis Ende 2009 verschiedene elektrische Energiespeichersysteme (Blei-Säure-Batterien, Doppelschichtkondensatoren, Kondensatoren und Schwungmassenspeicher) hinsichtlich ihres Verhaltens bei hohen dynamischen Anforderungen untersucht, um hieraus ein geeignetes System- und Betriebsführungskonzept zu entwickeln. Die Anwendung orientiert sich an stationären Energieversorgungsanlagen beispielsweise zur Netzstabilisierung und der Kompensation fluktuierender erneuerbarer Erzeuger oder Verbraucher in zukünftig stärker dezentralisierten Netzen. Eine Übertragbarkeit auf andere Anwendungen wie etwa die Elektromobilität ist gegeben.

Die Auswirkungen von elektromagnetischen Feldern, Filterkapazitäten und Glättungsinduktivitäten auf das dynamische Verhalten von elektrischen Energiespeichern und die Auswirkungen auf die Betriebsführung von Gleichspannungszwischenkreisen bei stark fluktuierender Leistung sind bisher noch unzureichend beantwortet.

Ziel: In der Fortsetzung des Projekts ist daher das konzipierte und aufgebaute Speichersystem weitergehend zu untersuchen, insbesondere sind die Modellvorstellungen bzgl. inhomogener Stromdichteverteilungen, u.a. aufgrund elektromagnetischer Felder, zu erweitern und die Auswirkungen auf die Regelung der Speichersysteme darzustellen. Die Relevanz der Betrachtungen ist durch Simulation, Messung auf Zellebene und im Verbund des Prüfstandaufbaus (siehe Bild 1) zu prüfen und darzustellen.

Stand der Technik: Der zunächst am Institut für Elektrische Energietechnik aufgebaute Prüfstand ist im Zuge der Einweihung des Energie-Forschungszentrums in neue Räumlichkeiten nach Goslar umgezogen. In diesem Zusammenhang ist auch die Versorgung der Gleichspannungssammelschiene verstärkt worden. Es stehen drei Gleichrichter mit jeweils 400 VDC und 250 A zur Verfügung, die je nach Konfiguration in Reihe oder auch parallel verschaltet werden können. Im Rahmen des Projekts sind die Umrichter parallel verdrahtet. Als weitere Speichertechnologie ist eine Lithium-Ionen-Batterie mit 10 kWh Energieinhalt in das Gesamtsystem integriert worden.

Lösungsweg: Es wurde ein Gleichspannungszwischenkreis mit bis zu 800 V

Spannung aufgebaut, die Untersuchungen werden bei einer Zwischenkreisspannung von 600 V durchgeführt. Der Zwischenkreis besteht aus Blei-Säure-Batterie, Lithium-Ionen-Batterie Doppelschichtkondensator, Schwungmassenspeicher sowie Elektrolyt- und Snubberkondensatoren und wird dynamisch von einem elektronischen Laststeller bidirektional belastet. Die Ankopplung von Lithium-Ionen-Batterie, Doppelschichtkondensator und Schwungmassenspeicher an den Zwischenkreis geschieht über Gleichstromsteller, deren Sollwerte auf Basis eines modellbasierten Leistungs- und Energiemanagements generiert werden. Die Blei-Säure-Batterie ist direkt mit dem Zwischenkreis verbunden.

Projektstand:

Die Identifikation der einzelnen Speichertypen wurde erfolgreich durchgeführt. Zurzeit erfolgen Messungen im Gleichspannungszwischenkreis im gesteuerten und geregelten Betrieb bei schnellen Leistungsänderungen durch den elektronischen Laststeller.

Die Bestimmung von Regelparametern und die experimentelle Verifikation der optimierten Betriebsführung bilden zusammen mit der Analyse, Quantifizierung und Bewertung der Signifikanz des Effektes der transienten Stromverdrängung bei elektrochemischen Speichern den Abschluss des Projekts.

Veröffentlichungen:

- Performance of electrochemical systems for HEV or EV application during fast current Steps, Advanced Automotive Battery Conference, Tampa, Florida, 12.-16. Mai 2008
- Behaviour of electrochemical systems like lithium ion, NiMH, lead acid batteries and ultra capacitors during fast current steps, 3. European Ele-Drive Conference, 11.-13. März 2008
- Requirements for Energy Storage Systems in Inverter-fed DC Circuits: DC distortion power and its Impact on the Lifetime of Batteries, Kraftwerk Batterie, Essen, 20.-21. Januar 2009-12-01
- Characterizing electrochemical systems used for high-current applications by measuring the short circuit current and the internal resistance, Electric Vehicle Symposium 24, 13.-16. Mai 2009
- Auswirkungen steiler Stromänderungen auf elektrochemische Systeme, etz Heft 3/2008
- Optimization of a multi energy storage system, 4th International Conference for Renewable Energy Storage Systems (IRES 2009),

Projekt: Leistungsstarke Kurzzeit-Energiespeichersysteme

Berlin, 24.-25. November 2009

Förderung: Das Projekt wird gefördert durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) unter dem Geschäftszeichen Be 1496/14-2. Laufzeit 08/2010-06/2012.

Bearbeiter: Dipl.-Ing. Ralf Bengler (Tel.: 72-2176)
bengler@iee.tu-clausthal.de

Projektleiter: Prof. Dr. rer. nat. Heinz Wenzl

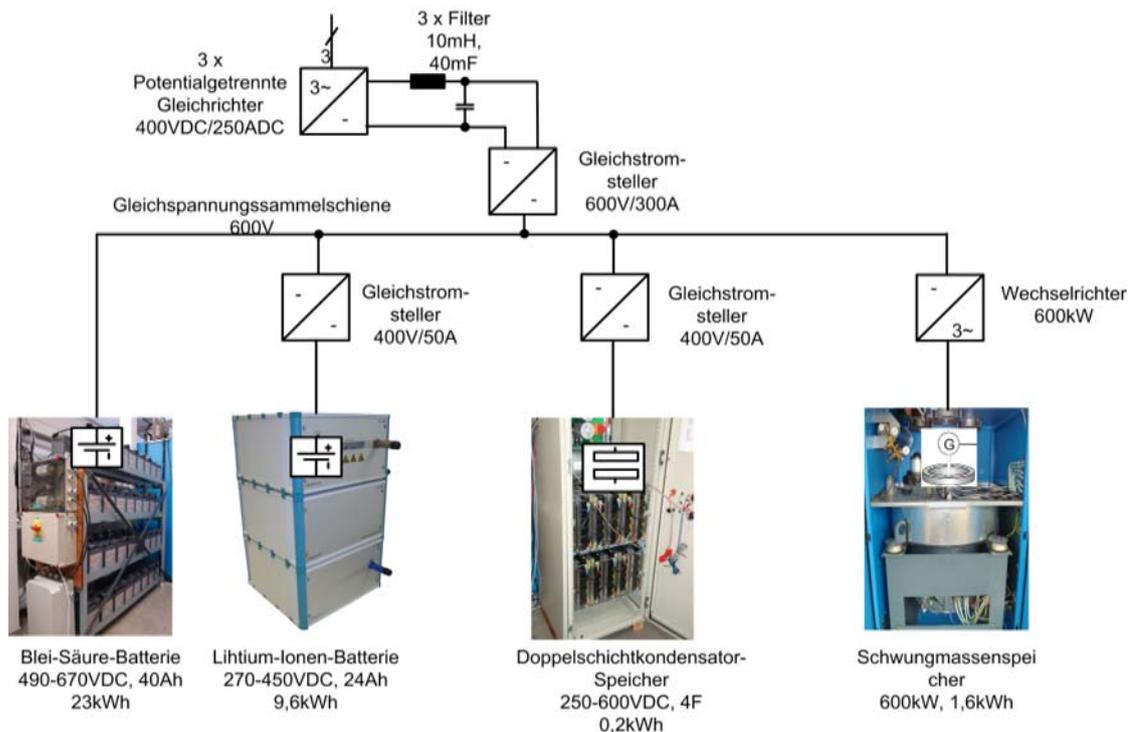


Bild 1: Aufbau des Gleichspannungszwischenkreises mit den über Gleichstromsteller gekoppelten Speichern

Elektrochemische Energiespeicher **Elektrischer Energiespeicher** **Mechanischer Energiespeicher**

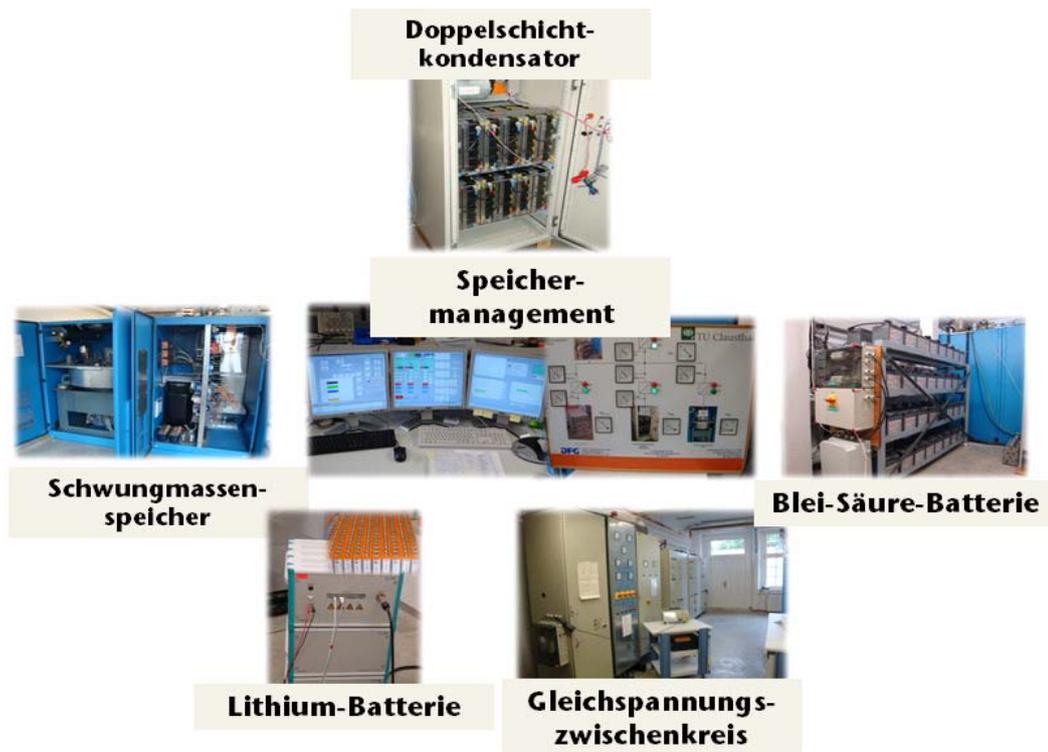


Bild 2:Komponenten des in Bild 1 dargestellten Gesamtsystems

Projekt: Lebensdauerprognose von Brennstoffzellen

Problem: Brennstoffzellen werden schon seit vielen Jahren als eine Alternative zu Batterien in der Elektromobilität beworben. Aber auch als Notstromaggregate und KWK-Anlage für Wohnhäuser gibt es inzwischen einige Anwendungen mit positivem Ergebnis. Bis heute ist der Durchbruch leider noch nicht gelungen, aber es gibt einen Lichtblick am Horizont. Daimler möchte 2014 ein in Großserie gefertigtes Brennstoffzellenfahrzeug auf den Markt bringen, wodurch die PEM Brennstoffzelle in den letzten Jahren wieder beachtlich an Aufmerksamkeit gewonnen hat. Ein großes Problem von Brennstoffzellen stellt immer noch die Lebensdauer dar, welche massiv von der Betriebsweise abhängt. Wegen mangelnder Erfahrung ist es auch nicht einfach, die Ergebnisse von beschleunigten Alterungstests auf die zu erwartende Lebensdauer in realen Anwendungen umzusetzen. Deshalb werden im Rahmen dieses Projektes Modelle zur Abschätzung der Lebensdauer entwickelt. Dabei wird zum einen ein dreidimensional orts aufgelöstes physikalisch-chemisches Modell entwickelt und, hauptsächlich vom Institut für materielle Anlagentechnik und Betriebsfestigkeit (IMAB), ein ereignisbasiertes Modell, welches zur Vorhersage die Methoden der Betriebsfestigkeit nutzt. In dieser Methode wird jedem Ereignis eine Schädigung zugeordnet, welcher kumuliert den bisherigen Lebensdauerverlust beschreibt. Die Schwierigkeit liegt jedoch in reversiblen Prozessen, sodass auch ein Lebensdauererwerb bei bestimmten Ereignissen und Kombinationen berücksichtigt werden muss. Auch werden im Rahmen des Projektes Brennstoffzellen aufgebaut mit denen Sondertests gefahren werden, bei denen es möglich ist, einen Einblick in die Stromverteilungen in der Zelle zu erhalten, was über eine spezielle Messtechnik mit flächendeckenden Strommessungen geschieht. Diese Tests werden benötigt, um die Alterungen in der Zelle besser lokalisieren und im Modell besser auflösen zu können.

Ziel: Ziele des Projektes sind die Entwicklung zweier Lebensdauerprognosemodelle, die zur Sicherstellung konsistenter Ergebnisse gegenseitig überprüft werden, und die experimentelle Überprüfung mit Hilfe von Projekt- und Industriepartnern, die ihre realen Messdaten und Ergebnisse zur Verfügung stellen. Folgende Ziele sollen im Projekt erreicht werden und zu einer möglichst genauen Lebensdauerprognose für Brennstoffzellen führen:

- Ein physikalisch-chemisches Modell, welches eine dreidimensionale Auflösung bietet, sodass bei Lebensdauerende lokalisiert werden kann, wo in der Zelle der zum Versagen führende Alterungsprozess aufgetreten ist. Dabei soll das Modell aus Widerständen aufgebaut werden, welche die einzelnen physikalischen Komponenten beschreiben. Die Gegenspannungen und thermischen Modelle sollen durch entsprechende Gleichungen im Modell hinterlegt werden.
- Ein ereignisbasiertes Modell, wonach der Lebensdauerverlust nach Ereignissen auf Grundlage der Betriebsfestigkeitsmethoden ermittelt wird. Dabei werden die Lastkollektive durch Zählverfahren der Betriebsfestigkeit geordnet und über die Häufigkeiten aufgetragen, wodurch man eine Schädigungslinie ähnlich einer Wöhlerkurve bzw. Gaßnerlinie bekommen sollte.
- Ein Gesamtmodell, welches einem nach Einlesen von Daten und Betriebsarten angibt, welche Lebensdauer die Brennstoffzelle noch zu erwarten hat.

Stand der Technik:

Es gibt hinreichende Veröffentlichungen zu Brennstoffzellen auf der Materialebene. Aus elektrischer Sicht sind noch nicht viele Veröffentlichungen bekannt. Häufig wurden bisher nur die Verlaufskurven für Brennstoffzellen aufgenommen und anschließend extrapoliert. Gerade die Anwendung von Betriebsfestigkeitsmethoden auf elektro-chemische Systeme lässt sich bisher nicht in der gängigen Literatur finden. Ebenfalls ist ein dreidimensionales physikalisch-chemisches Modell mit mehreren, in Reihe geschalteten Zellen bisher nicht bekannt. Prognosemodelle finden gerade in der kommenden Elektromobilität immer größere Beachtung, zumal die Lebensdauer wegen der großen Lebensdauerwirkung ein wichtiges Kaufkriterium für Elektrofahrzeuge darstellt.

Lösungsweg:

Es werden die zwei angesprochenen Modelle entwickelt, die in Kombination zu einer sehr exakten Lebensdauerabschätzung kommen sollen. Dazu werden Daten durch ein selbst aufgebautes Brennstoffzellenmesssystem selbst erzeugt und dienen als Inputdaten der Modelle. Weiter werden Daten von Projektpartnern und Industriepartnern des projektbegleitenden Ausschusses verwendet werden, die ebenfalls als Grundlage der Modelle dienen sollen. Gerade die

Projekt: Lebensdauerprognose von Brennstoffzellen

Untersuchung von Einzelereignissen durch die Projektpartner sollen Erkenntnisse für das ereignisbasierte Modell bringen. Dabei müssen auch schwierige Fälle wie Wasserwechsel und Ein- und Ausschaltungen berücksichtigt werden, durch die zum Teil entstandene Lebensdauerverluste wieder rückgängig gemacht werden können.

Projektstand: Es gab intensive Vorüberlegungen zur Entwicklung des ereignisbasierten Modells am Institut für Elektrische Energietechnik. Dabei sind Schwierigkeiten wie reversible Lebensdauerverluste behandelt worden. Auch erste Ansätze zum physikalisch-chemischen Modell wurden bereits gemacht, und zeigen die Realisierbarkeit des Ansatzes. Der Aufbau einer Brennstoffzelle mit speziell angefertigten Messplatten und der gesamten Peripherie ist erfolgt und in Betrieb genommen. Auch ein Elektrolyseur zur Versorgung mit Wasserstoff wurde ausgewählt und bestellt. Inzwischen wurden erste Inhomogenitäten der Stromverläufe in der Zelle festgestellt und bemerkt, dass es innerhalb des Stacks keinen Ausgleich der Strominhomogenität gibt.

Veröffentlichungen: Präsentation des gesamten Projektes auf der EVS 25 unter dem Titel Fuel Cell Lifetime Prediction.

Förderung: Das Projekt wird gefördert durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi) unter dem Geschäftszeichen 03ET2007C. Laufzeit: 01/2011-06/2013

Bearbeiter: Dipl.-Phys. Raoul Heyne (Tel.: 72-2272)
raoul.heyne@tu-clausthal.de

Dipl.-Ing. Ralf Bengler (Tel.: 72-2176)
bengler@iee.tu-clausthal.de

Projektleiter: Prof. Dr. rer.nat. Heinz Wenzl



Bild 1: Aufgebautes Brennstoffzellensystem

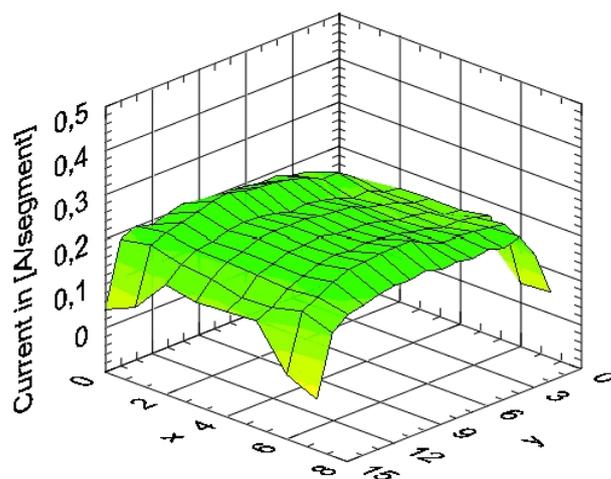


Bild 2: Erste Messungen von Strominhomogenitäten

Projekt: Entwicklung eines Starhilfesystems

Problem: Das Starten von Verbrennungsmotoren mittels der Kombination von Batterie und Anlassermotor wird technisch hervorragend beherrscht. Die Bedingungen für einen sicheren und schnellen Start sind bekannt, aber es gibt bei der Modellierung des Vorgangs noch viele Fragestellungen: Der Innenwiderstand der Batterie ändert sich mit dem Belastungsstrom und der Startzeit, selbst wenn diese nur knapp eine Sekunde dauert, der Lastwiderstand des Anlassermotors ist drehzahlabhängig und der Leistungsbedarf des Motors ist von der Stellung der Zylinder sowie der Ölviskosität und anderen Bedingungen abhängig.

Obwohl klar ist, wann ein Motor starten wird, ist nicht klar, was die untere Leistungsgrenze einer Batterie für einen erfolgreichen Start ist (Starthilfe) und welche Verbesserungen des Startvorgangs bzgl. Energiebedarf und Zeit noch möglich sind. Insbesondere beim Start-Stop-Betrieb sind diese Aspekte wichtig.

Ziel: Ziel des Projekts war, unter Nutzung verschiedener Energiespeicher und Spannungen die Bedingungen für einen Startvorgang zu untersuchen, Optimierungsmöglichkeiten und die Bedingungen für einen erfolgreichen Start, sowie einen schnellen und energiesparenden Startvorgang zu erarbeiten.

Stand der Technik: Es gibt keine Versuchsaufbauten, die ohne die tatsächliche Verwendung eines Verbrennungsmotors den Leistungs- und Stromverlauf einer Starterbatterie nachbilden können. Simulationsmöglichkeiten sind dadurch erheblich eingeschränkt.

Lösungsweg: Es wurde ein Versuchsaufbau gewählt, bei dem unter Nutzung einer großen Induktivität mit sehr geringem Widerstand und hoher Strombelastbarkeit ein beliebiges Stromprofil auch hochdynamisch nachgefahren werden konnte. Die Grenzen lagen bei deutlich über 1000 A (bei Wahl entsprechender Batterien) und mehr als ca. 100 A/Millisekunde. Mittels mehrerer parallel geschalteter Mosfets können Strom- und Spannungsgrenzen sowie –Profile genutzt werden.

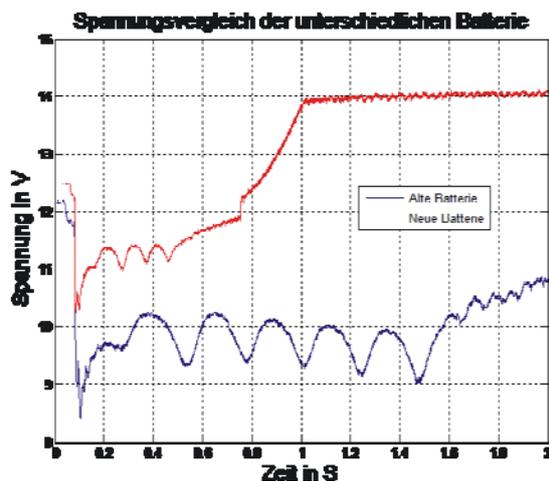
Projektstand: Die vorgesehenen Arbeiten wurden abgeschlossen und Betriebsbereiche identifiziert, bei denen Startvorgänge sehr schnell und mit geringerem Energieverbrauch als sonst üblich erfolgen können. Die De-

tails der Projektergebnisse sind nicht öffentlich.

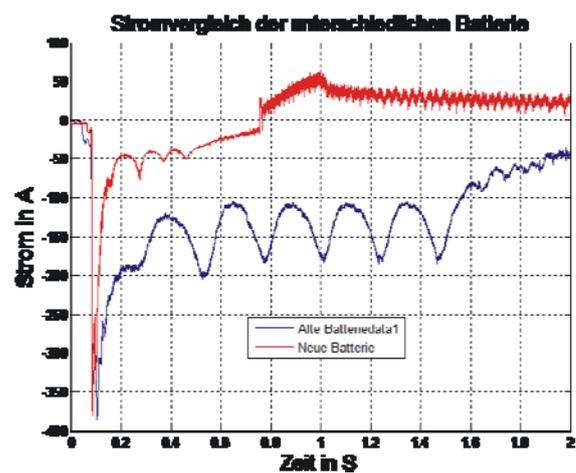
Industriepartner: Beratung für Batterien- und Energietechnik, Prof. Heinz Wenzl

Bearbeiter: Dipl.-Ing. Ralf Bengel (Tel.: 72-2176)
bengel@iee.tu-clausthal.de

Projektleiter: Prof. Dr.-Ing. Hans-Peter Beck



Spannungsvergleich der unterschiedlichen Batterien von Peugeot 206



Stromvergleich der unterschiedlichen Batterien von Peugeot 206

Bild 1: Unterschiede beim Startvorgang eines Fahrzeugs mit zwei unterschiedlichen Batterien, aber sicherem Start. Neben der Startzeit steigt auch der Energieverbrauch bei Nutzung einer gelasteten Batterie

Projekt: Energiecontainer für die Wolfsburg AG

Problem: In Wolfsburg wird zurzeit eine alte, unter Denkmalschutz stehende, Tankstelle als Demonstrationsobjekt für regenerative Energien und nachhaltige Elektromobilität umgebaut. Im Rahmen dieser Arbeiten hat das Institut für Elektrische Energietechnik einen regenerativen Schnellladecontainer konzipiert und aufgebaut.

Ziel: Ziel dieses Projekts ist der Aufbau eines regenerativ versorgten Energiecontainers, an dem Elektrofahrzeuge mit bis zu 30 kW elektrischer Leistung geladen werden können. Die benötigte Energie wird hierbei durch eine Windkraft- und PV-Anlage zur Verfügung gestellt. Zur Entkopplung der stochastisch fluktuierenden Energie ist ein Pufferspeicher in den Container zu integrieren. Als Besonderheit ist bei entlademem Speicher und gleichzeitiger Lastanforderung eine Versorgung über einen Netzanschluss möglich. Der Pufferspeicher wird zunächst mit einer Blei-Säure-Batterie realisiert. Zu einem späteren Zeitpunkt soll eine gebrauchte Lithium-Batterie aus einem Elektrofahrzeug integriert werden. Damit wird ein sogenanntes „Second Life“ der Batterie möglich und damit die Nachhaltigkeit vergrößert.

Stand der Technik: Es gibt bereits kommerzielle Energiecontainer zu kaufen, die sich jedoch bzgl. der Leistung, der Art der Betriebsführung oder der eingeschränkten Konfigurierbarkeit nicht für dieses Projekt eignen bzw. nicht in dem straffen Zeitplan realisiert werden konnten.

Lösungsweg: Die Konzeption des Containers basierte aus zeitlichen und organisatorischen Gründen mit Standardkomponenten. Mit einer sogenannten „Automatic Switch Box“ der Firma SMA konnten die gewünschten Funktionen realisiert werden. Mit einer Switch Box können mehrere dreiphasige Cluster, bestehend jeweils aus drei einphasigen Wechselrichtern, bis zur benötigten Leistung zu einem System zusammengeschlossen werden. Als Energiespeicher dient zunächst eine Blei-Säure-Batterie mit 48V Nennspannung und 76kWh Energieinhalt. Es handelt sich dabei um eine Traktionsbatterie für Flurförderfahrzeugen, die eine hohe Zyklusfestigkeit bei einer guten Hochstromfähigkeit und vergleichsweise geringen Kosten aufweist. Die PV Anlage wird direkt auf dem Containerdach installiert und hat eine Leistung von 2 kWp bei einer Nennspannung von 240 VDC. Die

Windkraftanlage befindet sich nicht in unmittelbarer Nähe des Containers. Die elektrische Leistung wird jedoch auf die Switch Box geführt und kann somit zur Ladung der Elektrofahrzeuge oder zur Speicherung in der Pufferbatterie verwendet werden.

Projektstand: Der Container ist mit den Komponenten aufgebaut, die Integration der Windkraftanlage in das Gesamtsystem kann erst bei Aufstellung in Wolfsburg erfolgen. Elektrische Belastungstest der Anlage bei 20 und 30 kW haben stattgefunden.

Veröffentlichungen:

- Beck, Benger, Heyne, Wenzl: Economic feasibility of renewable powered fast charging stations, 6th IRES, Berlin Nov. 2011
- Beck, Heyne, Benger, Haubrock, Wenzl: Vergleich von Elektrotankstellen, Ingenieurwissenschaften SS2011, Institut für Wissenschaftliche Veröffentlichungen, ISSN: 1618-8357, 2011

Industriepartner: Wolfsburg AG, Wolfsburg

Bearbeiter: Dipl.-Phys. Raoul Heyne (Tel.: 72-2272)
raoul.heyne@efzn.de

Dipl.-Ing. Ralf Benger (Tel.: 72-2176)
benger@iee.tu-clausthal.de

Projektleiter: Prof. Dr. rer. nat. Heinz Wenzl

Projekt: Energiecontainer für die Wolfsburg AG



Bild 1: Aufbau des Energiecontainers



Bild 2: Innenansicht



Bild 3: Energiecontainer

IEE

Projekt: Alterung von Lithium-Ionen Batterien in Hybrid- und Elektrofahrzeugen

Problem: Im Rahmen des Vorhabens wurden die Lebensdauerauswirkungen auf Batterien in Hybrid- und Elektrofahrzeugen untersucht, wenn diese in unterschiedlichen Einsatzszenarien betrieben werden. Bis heute gibt es eine Vielzahl an unterschiedlichen Ansätzen, um die Degradation in Fahrzeugspeichersystemen abzuschätzen. Dennoch fehlt die Berücksichtigung der kalendarischen Alterungsmechanismen (Standphasen), so dass häufig die zyklische Alterung des Fahrbetriebs im Vordergrund steht. Um eine vollständige und belastbare Aussage hinsichtlich der zu erwartenden Reichweiten- und Leistungsminderung machen zu können, bedarf es der Berücksichtigung beider Alterungsprozesse. Ebenso wichtig sind die Kenntnisse über die Fahrprofile (Stadt-, Überlandprofil), deren Häufigkeiten und die zugehörigen Belastungsprofile des Speichersystems. Ausgehend von diesen Erkenntnissen können dann die Auswirkungen bei der Anbindung der Fahrzeuge an das Energieversorgungsnetz als mobile dezentrale Netzstabilisierungsspeicher bewertet werden. Abschließend ist ebenfalls eine wirtschaftliche Betrachtung aus Gesichtspunkten des Energieversorgers und des Fahrzeugeigentümers möglich.

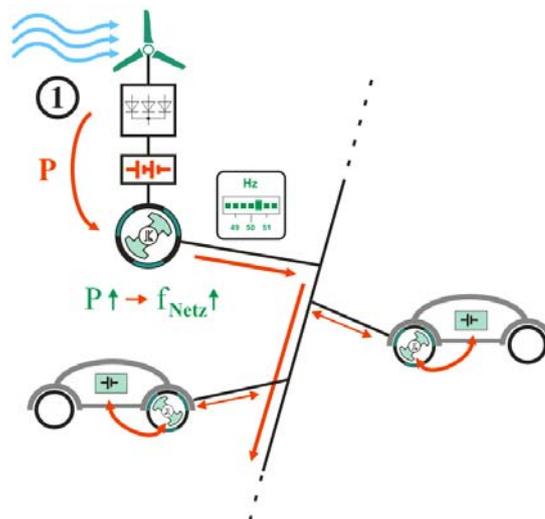


Bild 1: Vision eines autonomen Energiesystems (Fahrzeug als Plug-In Hybridvariante basierend auf dem VISMA-Konzept) eingebunden in ein Versorgungsnetz (nach Ralf Hesse): dezentrales VISMA System zur Anbindung regenerativer Erzeuger und Mini-VISMA Systeme in jedem Fahrzeug

Ziel: Im Rahmen des Forschungsvorhabens sollten grundlegende Alterungsuntersuchungen an Lithium-Ionen Zellen durchgeführt werden, die bereits heute im Hybridfahrzeug zum Einsatz kommen. Auf Basis der ermittelten Messdaten ist ein Alterungsmodell zu entwickeln, mit dessen Hilfe der Kapazitätsverlust sowie die Innenwiderstandserhöhung des Fahrzeugspeichers in Abhängigkeit vom Einsatzszenario und von der Einsatzzeit abgeschätzt werden kann.

Stand der Technik: Hinderlich für eine schnelle Markteinführung von Hybridfahrzeugen ist der erhöhte Aufwand für den komplexeren Antriebsstrang, bei Elektrofahrzeugen ist es vor allem die kostenträchtige Batterie. Die wirtschaftliche Gesamtsituation und damit die Markteinführung könnte aber verbessert werden, wenn die Degradation in Abhängigkeit von den unterschiedlichen Einsatzbedingungen (Fahrzeit, Standzeit, Außentemperatur, etc.) bekannt ist und so das Batterie- und Energiemanagement des Fahrzeugs optimiert werden kann. Auf diese Weise kann die Lebensdauer verlängert werden, sodass Kosten für eine Austauschbatterie entfallen. Nach heutigem Kenntnisstand werden Algorithmen zur Alterungsabschätzung in Steuergeräten zwar bereits implementiert, haben aber nur einen geringen Einfluss auf die Ausgangsgrößen. Der Grund liegt darin, dass heute keine langjährigen Erfahrungswerte mit Batteriesystemen unter Fahrzeugbedingungen vorhanden sind.

Des Weiteren kann die wirtschaftliche Gesamtsituation durch entsprechende Gestaltung der Ladeelektronik verbessert werden, wenn das lokale Batteriesystem Netzdienstleistungen für das Netz erbringen würde. Eine wichtige Systemdienstleistung ist die Bereitstellung von Regelleistung bzw. Lieferung von Regelenergie, um die Stromverbrauchs- und Erzeugungsseite in Balance zu halten. In der üblichen Klassifizierung wird dabei zwischen primärer (1), sekundärer (2) und tertiärer (3) Regelleistung (=Minutenreserve) unterschieden. Der für die Bereitstellung von Regelleistung gezahlte Preis steigt dabei, je kürzer die Reaktionszeit ist. Wenn das Hybrid- oder Elektrofahrzeug im Park- bzw. Ladebetrieb diesen Mehrwert liefert, dann kann es dazu beitragen, den Technologiewandel im automobilen Sektor zu beschleunigen, sofern es gelingt, finanzielle Anreize für den Nutzer daraus zu generieren. Derartige Aspekte werden derzeit im Rahmen von wenigen Projekten in den USA diskutiert,

Projekt: Alterung von Lithium-Ionen Batterien in Hybrid- und Elektrofahrzeugen

eine parallele Degradationsbetrachtung erfolgt dabei aber nicht.

Lösungsweg: Zur Abschätzung der Degradation von Lithium-Ionen Zellen sind neben den Kenntnissen über die theoretischen Alterungsmechanismen, die zu erwartenden Belastungsprofile in den unterschiedlichen Fahrzeugtypen (Elektro-, Hybridfahrzeug) von Bedeutung. Die Degradation einer Lithium-Ionen Batterie hängt dabei maßgeblich von dem Ladezustandshub DoD (Death-of-Discharge), der Stromamplitude und der Zelltemperatur ab, wobei die Ausbildung der Solid-Electrolyte-Interface (SEI) als primärer Alterungsmechanismus verstanden werden kann. Um den Kapazitätsverlust und die Innenwiderstandserhöhung abschätzen zu können, wurde ein Alterungsmodell entwickelt, welches auf analytischen Gleichungen basiert. Diese wurden durch entsprechende Messreihen an Hochleistungszellen parametrisiert. Es konnte gezeigt werden, dass die Reihenfolge innerhalb einer zyklischen Belastungsphase (Fahrbetrieb) vernachlässigt werden kann. Die korrekte Reihenfolgebetrachtung zwischen zyklischer und kalendarischer Alterung (Standzeit) ist dagegen zwingend erforderlich. Zur Abschätzung der Degradation in einem Hybridfahrzeug dienten über mehrere Monate aufgezeichnete Messdaten aus Fahrzeugen mit unterschiedlichen Fahrprofilen. Für Elektrofahrzeuge wurde ein entsprechendes Berechnungsmodell aufgestellt, mit dem die elektrische Ausgangsleistung des Speichersystems bestimmt werden kann. Die ermittelten Belastungsprofile (Ladezustand, Batteriestrom, Batteriespannung, Temperatur) wurden mit den aus der Betriebsfestigkeitslehre bekannten Zählverfahren zur Bildung von Kollektiven aus Zeitfunktionen analysiert. Die Analogie zwischen Mechanik und Elektrodynamik lässt diese Übertragung zu. Die aus der Lastkollektivanalyse resultierenden Häufigkeitsverteilungen dienen als Eingangsgröße für das Alterungsmodell. Über entsprechende Szenarienrechnungen können schlussendlich die Kapazitäts- und die Innenwiderstandsentwicklung abgeschätzt werden. Hohe Außentemperaturen führen dazu, dass die Speichersysteme während der Standzeit im Rahmen der kalendarischen Alterung eine signifikante Widerstandserhöhung bei mäßigem Kapazitätsverlust erfahren. Die zyklische Alterung während des Fahrbetriebs erzwingt dagegen einen stärkeren Kapazitätsverlust, wobei die Degradation maßgeblich von der Speichertopologie und der Fahrzeugplattform abhängt.

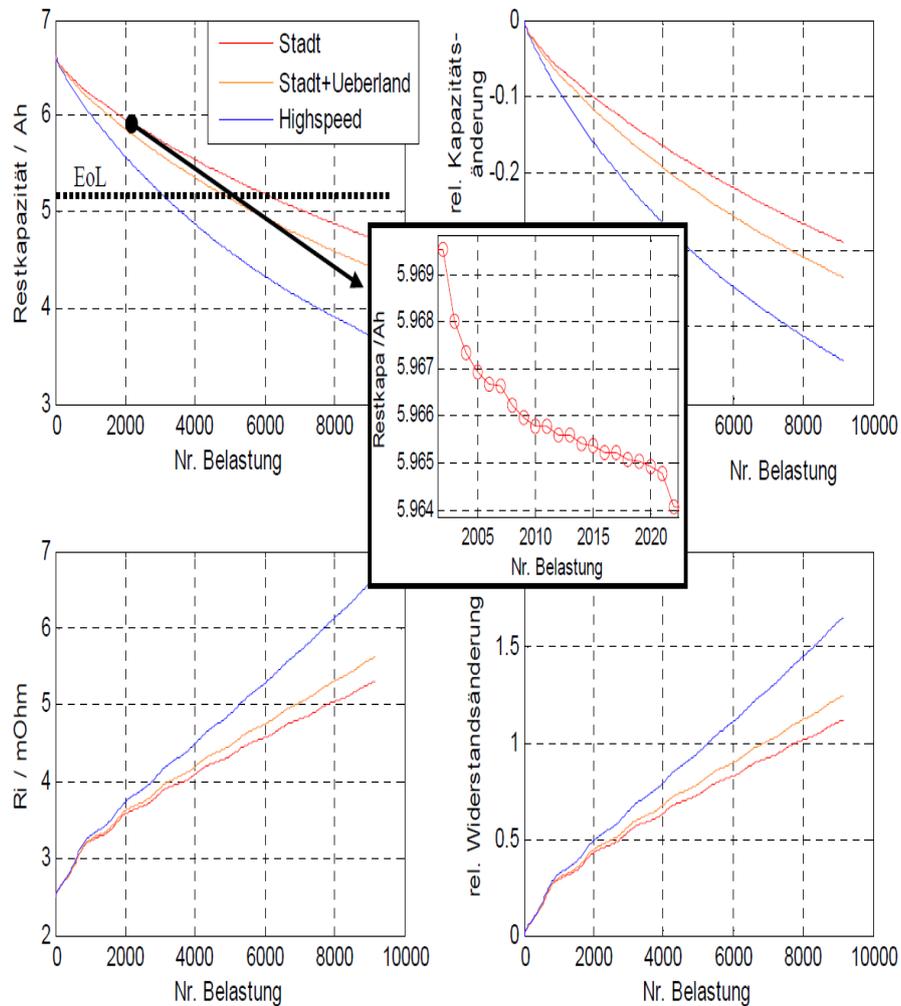


Bild 2: Resultierende Degradationsabschätzung des Speichersystems mit homogener Kühlung auf $T=25^{\circ}\text{C}$ während des Fahrbetriebs beim Einsatz im Hybridfahrzeug für die drei unterschiedlichen Fahrscenarien (Stadt (rot), Stadt + Überland (orange), Highspeed (blau)) nach einer Betriebszeit von 8 Jahren, einer einstündigen Fahrzeit pro Tag und einer angenommenen Jahresdurchschnittstemperatur von $8,9^{\circ}\text{C}$ (Hannover); Datenpunkte aus iterativer Berechnung als Kreise dargestellt

Projekt: Alterung von Lithium-Ionen Batterien in Hybrid- und Elektrofahrzeugen

Projektstand: Das Projekt wurde Anfang 2009 gestartet und konnte im Juli 2011 erfolgreich abgeschlossen werden. Nähere Informationen zu dem Projekt und den Ergebnissen können der Dissertation „Degradationsuntersuchungen von Lithium-Ionen Batterien bei deren Einsatz in Elektro- und Hybridfahrzeugen“ von Herrn Andre Haubrock entnommen werden.

Industriepartner: Daimler AG

Bearbeiter: Dipl.-Ing. André Haubrock

Projektleiter: Prof. Dr. rer. nat. Heinz Wenzl

IEE

4 Personelle Besetzung

4.1 Hauptamtliche Mitarbeiter des Instituts

Hochschullehrer: (Institutsdirektor)	Prof. Dr.-Ing. H.-P. Beck
Akademischer Direktor:	Dr.-Ing. E.-A. Wehrmann
Akademische Rätin a. Z.	Dr.-Ing. G. Sourkouni-Argirusi
Oberassistent:	Prof. Dr. rer. nat. H. Wenzl
Wiss. Assistent:	Dr.-Ing. D. Turschner
Habilitand:	Dr.-Ing. A. Mbuy Dr.-Ing. O. Osika
Wissenschaftliche Mitarbeiter:	Dipl.-Ing. A. Becker (EFZN) Dipl.-Ing. R. Bengler Dipl.-Ing. A. Bentaleb Dipl.-Ing. Y. Chen Dipl.-Ing. N. Ell Dipl.-Ing. T. Hager Dipl.-Ing. A. Haubrock (Austritt 2011) Dipl.-Ing. T. Hesse (Austritt 2011) Dipl.-Phys. R. Heyne (EFZN) Dipl.-Wi.-Ing. G. Kaestle (EFZN) Dipl.-Ing. T. Küster Dipl.-Ing. S. Nakhaie Dipl.-Wirtsch.-Ing. M. Schmidt (EFZN) Dipl.-Ing. R. Schnieder Dipl.-Ing. B. Schwake Dipl.-Ing. H. Stagge (Austritt 2010)

Dipl.-Ing. M. Stubbe

Dipl.-Ing. B. Werther

Dipl.-Ing. W. Xiong (Austritt 2011)

Freie wissenschaftliche Mitarbeiter:
(externe Doktoranden)

Dipl.-Ing. Lorenzen, FH Wilhelmshaven

Dipl.-Ing. Nicolai, FH Wilhelmshaven

Dipl.-Ing. Schmiesing, E.ON Avacon

Dipl.-Ing. Vielhauer, E.ON Avacon

Dipl.-Ing. Becker, EFZN

Dipl.-Ing. Wendt, TU Dresden

Dipl.-Ing. Hinrichsen, TU Braunschweig

MitarbeiterInnen im Technischen
und Verwaltungsdienst (MTVD):

Frau E. Mendt

Frau C. Schönemann

Herr D. Fritze

Herr M. Kirchner

Herr R. Koschnik

Herr K. ter Smitten

Herr K. Bremer (ehem. Auszubildender)

Herr S. Knapczyk (Auszubildender)

Herr J. Köplin (Auszubildender)

Herr A. Rohde (Auszubildender)

Herr S. Stille (ehem. Auszubildender)

Herr M. Yilmaz (ehem. Auszubildender)

Die Mitarbeiter des Institutes für Elektrische Energietechnik



H.-P. Beck
(Direktor)
-2570



Frau Mendt
(Sekretariat)
-2299



E.-A. Wehrmann
(Akad. Oberrat)
-2595



G. Sourkouni-Argirusi
(Akad. Rätin a. Z.)
-2272 o. 3189



D. Turschner
(Wiss. Assistent)
- 2592



H. Wenzl
(Oberassistent)
-2272



M. A. J. Mbuy
(ehem. Habilitand)



O. Osika
(ehem. Habilitand)



A. Becker
(ehem. WiMa,
Elektr. Netze)



R. Bengler
(WiMa, Batterie-
technik)

- 2176



A. Bentaleb
(WiMa, Dezen-
trale Energie-
versorgung)
- 2593



Y. Chen
(WiMa, Virtuelle
Synchronma-
schine
- 3819



N. Ell
(WiMa, Antriebs-
strang Windkraft-
anlage
- 3821



T. Hager
(WiMa, Dezen-
trale Energie-
versorgung)
-3736



A. Haubrock
(ehem. WiMa,
Batterie-
technik)



T. Hesse
(ehem. WiMa,
Dezentrale Ener-
gieversorgung)



R. Heyne
(WiMa, Batta-
riesysteme
-2272



G. Kaestle
(WiMa, Dezen-
trale Energie-
versorgung)
- 2572



T. Küster
(WiMa, Netz-
simulation)
- 3597



S. Nakhaie
(WiMa,
Energiesysteme
- 2572



M. Schmidt
(WiMa, Dezen-
trale Energiever-
sorgung)
- 05321/3816-
8059



R. Schnieder
(WiMa,
Elektrische
Verteilnetze
- 3597



B. Schwake
(WiMa, Virtuelle
Synchron-
maschine
- 2929



H. Stage
(ehem. WiMa,
Brennstoffzellen-
technologie)



M. Stubbe
(WiMa, Walz-,
- Antriebe
-3728



B. Werther
(WiMa, Netz-
stabilität
-05321/3816-
8101



W. Xiong
(ehem. WiMA,
Walz-,
- Antriebe)



K. Bremer
(ehem. Auszu-
bildender)



D. Fritze
(Elektrotechnik)
- 2571



M. Kirchner
(Elektronik)
- 3839



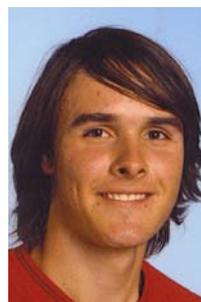
S. Knapczyk
(Auszubildender)
- 2571



J. Köplin
(Auszubildener)
-2940



R. Koschnik
(Energieelektro-
nik)
- 5067



A. Röhde
(Auszubildener)
- 2940



C. Schönemann
(Techn. Zeich-
nerin)
- 2177



S. Stille
(ehem. Auszu-
bildender)



K. ter Smitten
(Mechanik)

- 2571



M. Yilmaz
(ehem. Auszu-
bildender)

- 2940

4.2 Nebenamtlich tätige Hochschullehrer bzw. Lehrbeauftragte

	Lehrgebiete:
Prof. Dr.-Ing. E. Baake	Lehrgebiet Theorie Elektromagnetischer Felder
Dr.-Ing. Buddenberg	Fossile und regenerative Energieressourcen
Dipl.-Ing. H. Darrelmann	Autonome Netze
Dr. rer. nat. W. Faber (ab WS 2011/12)	Energiesysteme: Kapitelteil Kernbrennstoffe
Dr.-Ing. J. Heldt	Sonderprobleme Elektrischer Maschinen
Dipl.-Phys. P. Kahlstatt	Energiesysteme: Kapitelteil Kernbrennstoffe
Prof. Dr.-Ing. J. Kühl	Regenerative Energiequellen
Prof. Dr.-Ing. B. Ludwig	Systemtechnik
Dr.- Ing. G. Lülff	Optimierung und Instandhaltung von Elektroenergieanlagen
Prof. Dr.-Ing. K.-D. Maubach	Elektrizitätswirtschaft
Prof. Dr.-Ing. habil. C. Sourkounis	Regenerative Elektrische Energietechnik
Prof. Dr. rer. nat. H. Wenzl	Batteriesystemtechnik und Brennstoffzellen

4.3 Wissenschaftliche Hilfskräfte

Herr H. Chen	Frau C. L. Ngogang Tek-	Herr P. Spielmann
Herr V. Ebel	fang	Herr P. Stankat
Herr V. Fru Suh	Herr M. Niemeyer	Herr P. Suh
Frau W. Heins	Herr Propp	Herr J. Umbach
Herr Kesten-Kühne	Herr S. Ries	Herr F. Wandelt
Herr F. Leunig	Herr H. Rosemann	Herr F. Welck
Herr A. Lindig	Frau V. Schild	Herr Winning
Herr W. Maurer	Herr A. Schmieder	Herr Z. Zhang
Herr A. Mozgovoy	Herr R. Schnieder	Herr A. Zhulinskyi
Herr A. Nedjalkov	Herr A. Semerow	

4.4 Mitgliedschaften in wissenschaftlichen Vereinigungen und in den Selbstverwaltungsgremien der Universität

- Prof. Dr.-Ing. H.-P. Beck
- Vorstandsvorsitzender des Energieforschungszentrums Niedersachsen (ab 01.02.2008)
 - Mitglied im HEC-Advisory Board (Hansa Energy Corridor)
 - Stellvertretender Vorsitzender der Lenkungsgruppe Landesstrategie Brennstoffzelle
 - AQUAS-Gutachter
 - Vorstandsmitglied des Forums Clausthal (FC)
 - AiF-Gutachter
 - Member of the International Scientific Committee for Electrical Power Quality and Utilisation
 - Ordentliches Mitglied der Braunschweigischen wissenschaftlichen Gesellschaft
 - ordentliches Mitglied der acatech (Akademie für Technikwissenschaften e. V.)
 - Mitglied in der Niedersächsischen Regierungskommission Klimaschutz
 - Mitglied im VDE-Gremium Netzfragen
 - Mitherausgeber des Handbuches Energiemanagement
- Dr.-Ing. E.-A. Wehrmann
- Mitglied der Kommission zum wissen. Fehlverhalten
- Dr.-Ing. D. Turschner
- Mitglied der Jury bei “Jugend forscht”
- Herr R. Koschnik
- Ausbilder
 - Sicherheitsbeauftragter
 - Mitglied des Prüfungsausschusses für Energieelektroniker der IHK Braunschweig

5 Links

- www.tu-clausthal.de
- www.iee.tu-clausthal.de
- www.efzn.de
- www.fven.de
- www.dresy.de (Energiepark)

6 Anlagen

Die Anlagen sind in der angegebenen Reihenfolge eingebunden

Anlage 1 Ressourcen des Institutes

Institut für Elektrische Energietechnik

Ressourcen des Institutes

- | | | |
|---|--|---------------------|
| ● | Verfügbare Gebäudefläche | 1670 m ² |
| | -Bürofläche | 826 m ² |
| | -Labor-/Prüffeldfläche | 794 m ² |
| | -Büros und Labor (EFZN Goslar) | 100 m ² |
| ● | Mitarbeiter (Stand Ende 2011) | |
| | -wissenschaftliches Personal | 25 |
| | -techn./Verwaltungsangestellte | 9 |
| | -Lehrbeauftragte | 11 |
| | -Wissenschaftliche Hilfskräfte | 28 |
| | -externe Doktoranden | 9 |
| | | <hr/> |
| | | 82 |
| ● | Prüffeld mit | |
| | -Maschinen-/Antriebslabor | |
| | -Energieelektroniklabor | |
| | -Hochspannungs-/Energieanlagenlabor | |
| | -Prüfstände für Walzwerks-, Bahn- /Schredder-Antriebe mit Umrichter | |
| | -Batterie-Prüfstand mit Impulslade / -entladegerät und Impedanzspektrometer | |
| | -Prüfstand für Windkraftanlagen zur Getriebeprüfung | |
| | -Schleudergrube | |
| | -Brennstoffzellen-Versuchseinrichtung | |
| ● | Labor elektrische Verteilnetze (Multi-VISMA), EFZN | |
| ● | Speicherlabor (EFZN) | |
| ● | Energiekonditionierungsanlage (VISMA/ELSAD) | |
| ● | Prozeßrechner-/Simulationstechniklabor: Windows - NT - Workstations, Digitale Signalprozessor - Einschübe, CIP-Pool, WAP-Pools | |
| ● | MATLAB-Simulink, SABER, PSPICE etc. | |
| ● | Digitale Signalprozessoreinheiten (Einschübe der Firma dSpace) | |
| ● | Energiepark Clausthal | |