



TU Clausthal

Jahresbericht 2012/2013

des

Institutes für Elektrische Energietechnik
und Energiesysteme



Clausthal-Zellerfeld
Dezember 2013

IEE-Bericht Nr. 23/24

Inhaltsverzeichnis

0	Vorwort	1
1	Lehre	3
1.1	Vorlesungen	3
1.2	Übungen, Praktika, Mentoring	5
1.3	Seminarvorträge	7
1.4	Studien-, Bachelor-Diplom- und Masterarbeiten	13
2	Veröffentlichungen, Dissertationen, Habilitationen	26
2.1	Zeitschriften- und Tagungsaufsätze, Patente /- anmeldungen	26
2.2	Vorträge / Seminare	31
2.3	Geförderte Forschungsvorhaben	36
2.4	Veranstaltungen, Exkursionen, Gastaufenthalte	39
3	Forschungsarbeiten + Forschungsgebiete des Institutes	40
3.1	Ausbau der Institutseinrichtungen	40
3.2	Projektblätter	40
4	Personelle Besetzung	153
4.1	Hauptamtliche Mitarbeiter des Instituts	153
4.2	Nebenamtlich tätige Hochschullehrer bzw. Lehrbeauftragte	159
4.3	Wissenschaftliche Hilfskräfte	159
4.4	Mitgliedschaften in wissenschaftlichen Vereinigungen und in den Selbstverwaltungsgremien der Universität	160
5	Links	161
6	Anlagen	161

0 Vorwort

Liebe Freunde und Förderer, Ehemalige und MitarbeiterInnen des Institutes,

seit dem Erscheinen des letzten Jahresdoppelberichtes 2011/12 haben sich die Themen der TU Clausthal und des Institutes komplett gewandelt. Stand damals noch die gesetzlich verordnete Kooperation im Rahmen der Niedersächsischen Technischen Hochschule (NTH) im Vordergrund des Geschehens, war das Thema der vergangenen zwei Berichtsjahre 2012/13 eher die Expansion der Harzer Universität und die des Institutes. Während dem die NTH derzeit vorzeitig evaluiert wird, um die Vor- und Nachteile einer trilokalen Hochschule auszuloten (die Exzellenzinitiative war für die NTH nicht so erfolgreich, wie seinerzeit erwartet) erlebte die TU Clausthal in den letzten beiden Jahren eine Phase mit den höchsten Studierendenzahlen ihrer Geschichte (> 4500). Für unser Institut hieß das, wie zuletzt in den 90er Jahren, volle Hörsäle und Umstieg von mündliche auf schriftliche Prüfungen in den wichtigsten Pflichtfächern (vgl. Tabelle "Lehre", Grundlagen der Elektrotechnik (ca. 1300 Studenten), Energiesysteme (> 200), Elektrizitätswirtschaft (> 130) und Regenerative Energiequellen (> 150); die doppelten Abiturjahrgänge lassen grüßen. Wenn das so weiter geht, "läuft" auch bald die Kleinstadt Clausthal-Zellerfeld mit Studierwilligen über. Die Stadt Goslar könnte davon profitieren (worauf sie schon ca. 100 Jahre wartet). Ob das realistisch ist, bleibt abzuwarten; das Präsidium plant jedenfalls schon für 6500 StudentenInnen Hörsäle und Professuren. Da das Fenster der Forschung mit dem Energie-Forschungszentrum Niedersachsen (EFZN) nach Goslar schon 2008 und nach Celle mit dem "Drilling-Simulator" (Invest rd. 10 Mill. €) 2012/13 geöffnet wurde, wird die TUC zumindest in der Forschung mehr und mehr eine Universität der "Region". Inwieweit unsere beiden etablierten Forschungsstellen außerhalb von Clausthal-Zellerfeld auch zu Lehrstandorten werden ist offen. Mit dem Motto "Studieren am Zentrum" wird allerdings schon geworben, leider oder Gott sei dank (s. o.) hat sich der Erfolg aber noch nicht eingestellt.

Aus Sicht des IEE gibt es einen anderen "Leuchtturm" und zwar in der Forschung. Neben den fünf Honorarprofessuren des IEE gibt es seit letztem Jahr einen "beurlaubten" hauptamtlichen Universitätsprofessor für Umwelt und Energietechnik am IEE, der als Geschäftsführer des CUTEC-Instituts GmbH seit 01.01.2013 tätig ist, aber bei uns auch Vorlesung halten wird. Eine Verstärkung des Lehrkapazitätsteil können wir angesichts des "Studentenberges" gebrauchen. Prof. Faulstich kommt von der TU München und leitet im IEE seit dem WS 2013/14 im IEE die

neu eingerichtete Abteilung für (nichtelektrische) “Energiesysteme”. Ziel der gemeinsamen wissenschaftlichen Aktivitäten soll es sein, Energieszenarien für die Nutzung stofflicher und feinstofflicher (elektrischer) Energieträger im Rahmen von Koppelprozessen (“Power to heat”, Power to Gas, Power to Liquid) aufzustellen und zu bewerten. Da wird die über den Clausthaler Energiepark vor mehr als 10 Jahren begonnene Zusammenarbeit zwischen CUTEC und IEE auf eine neue Basis gestellt. Das Energiebündnis zwischen CUTEC, IEE und EFZN beschäftigt derzeit mehr als 200 ForscherInnen. Seine Aufgabe sieht Prof. Faulstich, der auch Vorsitzender des Sachverständigenrates für Umwelt (SRU) ist und die Bundesregierung berät, wie folgt: “Langfristig müssen wir alle Bereiche unserer Industriegesellschaft auf erneuerbare Energien umstellen”, und das erfordert ein Denken im System. Den Studiengang für Energiesystemtechnik gibt es ja schon seit 2001, nun kommt die transdisziplinäre Forschung (EFZN) dazu. “Die zukünftige Industriegesellschaft wird regenerativ und strombasiert sein” (Goslarsche Zeitung vom 16.10.13) sind sich beide hauptamtlichen Professoren des IEE einig. Mal sehen ob sie recht behalten.

Es grüßt mit einem herzlichen “Glück aufwärts” im Jahr 2014

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

1 Lehre

1.1 Vorlesungen

Die Studentenzahlen sind stark angestiegen. Dies gilt im besonderen im Grundstudium. Der wirtschaftliche Aufschwung hat uns also auch erreicht. Erfreulich bleiben die Studentenzahlen im Hauptstudium, denn an den Hauptvorlesungen

- Regenerative Energiequellen
- Elektrische Energietechnik
- Energiesysteme

nehmen jeweils im Schnitt ca. 100 - 200 StudentenInnen pro Studiumjahr teil. Wir freuen uns natürlich über den Zuspruch, auch wenn er mit mehr Arbeit verbunden ist, kann er doch auf mehr Schultern verteilt werden. Die Fakultät hat uns zwei Überlaststellen zugebilligt Die folgende Tabelle zeigt die durchschnittliche Hörerzahl bei den IEE-Vorlesungen im Einzelnen:

		2012	2013
Beck/Wehrmann	Grundlagen der Elektrotechnik I/II (W 8800 / S 8801) Elektrotechnik für Ingenieure I/II (W8800 / S 8801)	1219	1341
Beck/Turschner	Elektrische Energietechnik (S 8803)	99	111
Beck/Turschner	Regelung Elektrischer Antriebe (W 8808)	-	-
Beck	Energieelektronik (W 8811)	46	51
Beck/Turschner u. a.	Energiesysteme (W 8804)	218	240
Heldt	Sonderprobleme Elektrischer Maschinen (W 8805)	34	38
Beck/Wehrmann	Elektrische Energieverteilung (W 8812)	47	54
Beck/Wehrmann	Elektrische Energieerzeugung (S 8815)	46	53
Beck/Turschner	Leistungmechatronische Systeme (S 8826)	39	58
Turschner	Leistungmechatronische Regelungssysteme	6	-
Turschner/Jahn (ab WS 2013/14)	Regenerative Elektrische Energietechnik (W 8818)	37	55

		2012	2013
Maubach	Elektrizitätswirtschaft (S 8819)	139	133
Baake	Theorie Elektromagnetischer Felder (S 8817)	45	35
Wenzl	Batteriesystemtechnik und Brennstoffzellen (W 8816)	19	24
Ludwig, B.	Dyn. Systeme in Natur, Technik und Gesellschaft (S 8825)	46	50
Lülf	Optimierung und Instandhaltung von Elektroenergie- anlagen (S 8828)	34	40
Kühl	Regenerative Energiequellen (W 8830)	140	162
Beck/ Darrelmann	Autonome Netze (W 8832)	32	37
Buddenberg	Fossile und regenerative Energieressourcen (W 8831)	56	30

Insgesamt wurden im Verlauf dieser zwei Jahre 2540 Vor- und Hauptdiplomprüfungen von den prüfungsberechtigten Hochschullehrern bzw. Lehrbeauftragten des Institutes abgenommen. Alle Prüfungen wurden, soweit irgend möglich, 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. Das halbschriftliche Format gilt für die Praktika und Tutorien (vgl. Tabelle) mit ebenfalls weit über 500 TeilnehmerInnen pro Jahr.

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

Bachelor-Studiengänge:

Grundlagen der Elektrotechnik I/II in den Studiengängen

- Maschinenbau
- Verfahrenstechnik
- Chemieingenieurwesen
- Energiesystemtechnik
- Wirtschaftswissenschaften
- Werkstoffwissenschaften
- Kunststofftechnik
- Informationstechnik

Informatik
 Physikalische Technologien
 Bergbau
 Erdöl-/Erdgastechnik
 Energie und Rohstoffe (BA/MA ab 01.10.04)

Master-Studiengänge:

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

Maschinenbau, Studienrichtung “Mechatronik”
 Energiesystemtechnik
 Wirtschaftsingenieurwesen, Studienrichtung Rohstoffe und Energie
 Physikalische Technologien, Schwerpunkt Energiesysteme, Energiewissenschaft

1.2 Übungen, Praktika, Mentoring

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

		2012	2013
Große Übung	Grundlagen der Elektrotechnik I/II (Wehrmann/Schild)	900	950
Tutorien	Grundlagen der Elektrotechnik I/II (Wehrmann/Hager/Oberland)	610	563
Repetitorien	Prüfungsvorbereitung Vordiplom Elektrotechnik (Wehrmann/Schwake/Oberland/Umbach, wiss. Hilfskräfte)	650	600
Praktika	Grundlagen der Elektrotechnik I/II (Wehrmann/Stubbe/wiss. Hilfskräfte)	447	602
Übung	Elektrische Energietechnik (Turschner/Werther)	99	111
Übung	Regelung Elektrischer Antriebe (Turschner)	-	-

		2012	2013
Übung	Leistungsmechatronische Systeme (Turschner)	39	58
Übung	Leistungsmechatronische Regelungssysteme (Turschner)	6	-
Übung	Energieelektronik (Bentaleb/Schwake)	46	51
Übung	Elektrische Energieerzeugung (Wehrmann/Kaestle)	46	53
Praktikum	Energieelektronik (Turschner/Schwake/Bentaleb)	8	19
Grundpraktikum	im Hauptstudium (Maschinenbau) (Chen/Turschner/Pöschke/Tchoupou Lando)	18	29
Praktikum	Elektrische Energiespeicher (Benger)	13	3
Praktikum	Regenerative Elektrische Energietechnik (Hager/Heyne/Oberland/Schild)	14	17
Übung	Regenerative Elektrische Energietechnik (Turschner)	14	55
Übung	Elektrische Energieverteilung (Schnieder)	47	54
Übung	Batteriesystemetechnik und Brennstoffzellen (Wenzl)	19	24
Grundpraktikum	Energiesystemtechnik (Turschner/Chen/Pöschke/Tchoupou Lando)	35	38
Praktikum	Elektrische Antriebe I (Chen/Turschner/Pöschke)	22	19
Praktikum	Hochspannungstechnik (Wehrmann)	5	7
Übung	Theorie der elektromagnetischen Felder (Baake)	45	35
Übung	Sonderprobleme elektrischer Maschinen (Heldt)	34	38
Übung	Dyn. Systeme in Natur, Technik und Gesellschaft (Ludwig)	46	50

		2012	2013
Übung	Zukünftige Energietechnologien (Heyne)	-	-
Übung	Optimierung und Instandhaltung von Elektroenergieanlagen (Lülf)	34	40
Übung	Regenerative Energiequellen (Kühl)	140	162
Übung	Autonome Netze (Darrelmann)	32	37
Übung	Fossile und regenerative Energieressourcen (Buddenberg)	56	30

1.3 Seminarvorträge

Bei den Seminarvorträgen gab es gegenüber den Vorjahren eine erhebliche Ausweitung des Angebotes. Die hängt mit der sehr starken Nachfrage seitens der Studierenden zusammen. An den weitgehend freigewählten Themen kann die Interessenlage des wissenschaftlichen Nachwuchses abgelesen werden. Die aktuellen Themen der Energiewende bestimmen die gehaltenen Vorträge im Kreis der jeweils 20-30 Seminarteilnehmer. Alle Lehrenden des Institutes freuen sich über das ablesbare Engagement der Teilnehmer; ist es doch ein Indiz für die gesellschaftliche Interessenlage im Bereich Energie. Wir sind gespannt wie lange dieser Trend anhält.

2012

Tillmanns, Alexander	Systemdienstleistung in Inselsystemen
Schreiber, Winfried	Energieoptimierung in der Prosumerzelle
Mpako Mpako, Jules	“Synthetic Inertia” und virtuelle Synchronmaschinen
Stücher, Johannes	Redispatching als wichtige Systemdienstleistung zur Netzentlastung

Stenge, Tobias	Virtuelle Kraftwerke im Überblick
Kühnhold, Jan	Blockheizkraftwerke als flexible Erzeugungsanlagen
Exner, Christoph	Deponiegas: Gewinnung, Aufbereitung und Verwertung
Grieser, Jörg	Geo- und Solarthermische Kraftwerke - Gemeinsamkeiten und Unterschiede
Ganster, Oliver	Speichergase zur langfristigen Energiespeicherung im regenerativen Verbund
Henke, Gerrit	Off-Grid Lösungen für die Raumfahrt
Stamer, Christian	Dezentrale KKW-Konzepte
Ketels, Hauke	Kleinwasserkraftwerke: Wasserräder, Wasserturbinen und atypische Nutzungstechniken
Baumgärtner, Robert	Wasserkrafttechniken und -potentiale in Deutschland und Skandinavien
Hildebrandt, Andy	Einsatz von Pumpspeichern zum Ausgleich erneuerbarer dargebotsabhängiger Energien
Beushausen, Lennart	Unterschiedliche PV-Modultechniken im Vergleich
Bomm, Alexander	Atypische PV-Zellen unter besonderer Berücksichtigung von schwarzem Silizium und Farbstoff-Zellen
Frink, Elisa	Netzausbau als Flaschenhals für die Photovoltaik
Spies, Björn	Prognosesysteme für Windenergie
Brosig, Nils	Anlagenkonzepte zur Nutzung der Windenergie
Gollenstede, Julian	HGÜ zur Anbindung von Offshore Windparks
Barnich, Julian	Atomkraft: Reaktortypen und -sicherheit
Schlote, Mareike	Subventionierung verschiedener Energieerzeuger in Deutschland: ein Vergleich /Atom, Kohle, Biogas, Blockheizkraftwerke, Stau-/Laufwasser, Wind, Sonne...)
Geng, Maria	Elektrolyseure - Stand der Technik
Bayhan, Ebru	Energiemanagement bei Gebäuden - Lösungen und Perspektiven
Meyer, Jan	Vergleich verschiedener Typen von Lithium-Ionen Batterien

Zhong, Haibin	Technische Möglichkeiten zur Reduzierung des CO ₂ -Ausstoßes
Strothe, Alexander	Kosten für den Re-Dispatch im Übertragungsnetz sowie vorab die derzeitigen Mechanismen
Voigt, Danny	Stand der Windenergie in Deutschland, Europäischer Union und in der Welt
Herzog, Natalie	Geothermie
Tietz, Katharina	Anlagentechnische Differenzierung von Pumpspeicher- und Speicherwasserkraftwerken
Meyn, Daniel	Alles Netz den Bürgern? Perspektive von Energie- und Netzgenossenschaften im heutigen Strommarkt
Scherke, Gert	Thermoelektrik und Abwärmeverstromung: Potenzial und Technik
Klass, Christoph	Entwicklungsstand in der Brennstoffzellentechnik - Aktuelle Forschungsgebiete in der Wissenschaft
Grabow, Lisa	Vergleich aktueller Kraftwerkstypen hinsichtlich Teil- und Volllastbereich, Dynamik und Wirkungsgrad
Nagel, Eric	Erdgasfahrzeuge im zukünftigen Wettbewerb mit Elektrofahrzeugen: Aktueller Stand und Perspektiven
Bürger, Christof	Smart Grid - Was ist das?
Turhal, Gökhan	Verschiedene Schwingungen in Windkraftanlagen
Potthoff, Pascal	Smart Meter - die intelligenten Haushaltszähler
Peng, Dafei	Kosten fossiler Rohstoffe
Steal von Holstein, Jekaterina	Nachhaltigkeitsaspekte für elektrochemische Speicher und Wandler
Kruse, Ulrike	Kopplung des Erdgaspreises an den Erdölpreis: In welchen Ländern gibt es die Kopplung und welche Begründungen werden dafür gegeben?
Frohwerk, Jan-Markus	Aktueller Stand bei Elektrolyten für Brennstoffzellen
Brockschmidt, Julia	Prognosetools für die Vorhersage von Wind- und Sonnenenergieerzeugung und Ihre Genauigkeit im nachträglichen Vergleich

Ehlers, Tiara	Offshore-Herausforderungen für die Anlagentechnik (Fundamente, Schutz vor Schallemissionen)
Koch, Eike Rafael	Das Erdgasnetz als Energietransportnetz und als Energiespeicher - Technisch möglich und ökonomisch sinnvoll?
Appler, Nathanael	Kapazitätsmärkte: Chancen für neue Kraftwerks- und Speicherkapazitäten zum Erhalt der Systemsicherheit?
Ebert, Kilian	Standortkriterien und Netzanschlussbedingungen für Windkraftanlagen On- und Offshore
Zengerle, Marian	Vergleich verschiedener Konzepte von Biogasanlagen
Schädlich, Sven	Einsatz eines Kraftfahrzeugs als Blockheizkraftwerk
Wichmann, Jascha	Offshore Windkraftparks in der Nordsee - Ein Beitrag zur zukünftigen Energieversorgung in Deutschland
Redeker, Marian	Die Umweltbilanz von Energiepflanzen
Croon, Jan	Gasnetz als Speicher - aktueller Stand der Power-to-Gas
Pfeiffer, Anna	Technologie und Marktübersicht für wiederaufladbare Zink-Luft-Batterien
Blum, Rikele	Elektromobilität - in welche technische Richtung steuern die Unternehmen?
Bühning, Alexander	Überblick zur Elektrizitätswirtschaft: Handelsprodukte an Regelenergie- und Strommärkten
Lehmann, Lasse	Marktübersicht aktuell verfügbarer Elektrokraftfahrzeuge
Sun, Hailin	Entwicklungsstand von Batterie- und Brennstoffzellenfahrzeugen
Eqbal, Aslan	Technologie- und Preisentwicklung in der Batterietechnik
Wolff, Marius	Das Desertec-Konzept für die elektrische Energieversorgung Europas
Huebert, Edgar	Flicker in elektrischen Netzen - Was versteht man hierunter und wie können sie ermittelt werden?
Martin, Maximilian	Konzentratormodule für Photovoltaikanlagen

Gebbe, Markus	Konzepte zur Nutzung von kinetischer Energie aus Strömungen
Schmidt, Carl	Investitionschancen und -risiken beim Bau von Speichieranlagen
El Hamzaoui, Abderrahim	Effiziente DC/DC-Wandler mit niedriger Eingangsspannung
Müller, Nils	Umrichter in der Elektromobilität - Einsatzgebiete und Vergleich technischer Daten
Hendrich, Marius	V2G: Vehicle to grid - Konzept, Stand der Technik
Exner, Christopher	Nutzung der Solarstrahlung der Generierung thermischer Energie (Solarthermie)
Janssen, Dirk	Gegenüberstellung drei unterschiedlicher Wechselrichter-/Umrichtertopologien - Spannungszwischenkreisumrichter (VSI), Stromzwischenkreisumrichter (CSI), Impedanzzwischenkreisumrichter (ZSI)
Moeske, Anna	Steigerung des Eigenverbrauchs bei Photovoltaikanlagen im Haushaltsbereich durch geeignete Speichertechniken - Betrachtung der wirtschaftlichen Vorteile gegenüber der Direkteinspeisung
Ivers, Monique	Vergleich verschiedener Anlagenkonzepte von Windkraftanlagen für On- und Offshore Anwendungen
Pötsch, Jens	Staatliche Steuerungskonzepte für die “Ressourcennutzung” (Öl, Gas)
Jaeger, Jakob	Next Kraftwerke Konzepte - Integration von EE-Anlagen auf dem Regleenergiemarkt
Rudolph, Lukas	(monetäre/technische) Bewertung der zu erwartenden Risiken der “Energiewende”

2013

Putzke, Sebastian	Grenzen für die Wasserstoffeinspeisung in Erdgasnetze
Kroos, Marie-Luise	Einbindung von elektrochemischen Speichern in Netzen zur Einbringung von Systemdienstleistungen

Thomas, Kristina	Vergleich der technischen und wirtschaftlichen Vor- und Nachteile von Blei- und Lithium-Ionen-Batterien
Stelmaszyk, Henriette	Ausarbeitung eines Förderprogramms der Bundesregierung für Elektromobilität
Kubicki, Alexander	Elektrofahrzeuge mit Verbrennungsmotor als Range-Extender, mehr als nur eine Zwischenlösung?
Schneevogt, Malte	LED Technik für die Beleuchtung
Berger, Alexej	Der piezoelektrische Transformator
Kiefer, Jörn	Analyse des zukünftigen Speicherbedarfs
Kim Dong Joon	Grid Parity- Was ist das?
Wagner, Stephan	Erarbeitung eines Konzepts für die Bereitstellung von 80 % des Bruttostromverbrauchs aus erneuerbaren Energien im Jahr 2050
Nordhausen Marlene	Gebäudeintegrierte Photovoltaik
Nowak, Dorothea	Konzepte zur Nutzung der Erdwärme
Kruppert, Alexander	Einsatz der LIDAR Technologie in Windkraftanlagen
Jordan, Steffen	Elektrische und hybride Antriebskonzepte bei der Eisenbahn
Czyrka, Kevin	Berührungslose Drehmomentmessung
Kreth, Nils	Potential der Abwärmeverstromung durch Thermoelektrik in der deutschen Industrie
Masic, Dino	Vergleich der Subventionen konventioneller und regenerativer Energieerzeugung
Gellenbeck, Dennis	Kapazitätsmechanismen
Nguyen, Thong	Integration erneuerbarer Energien in den Strommarkt
Keßler, Fabian	Verbesserte Integration von erneuerbaren Energien durch ein Strommarktmodell 2.0
Nikolai, Lukas	Großtechnische Anwendungen von Energy Harvesting
Heim, Tobias	Spezielle Energy Harvesting-Lösungen in Natur und Umwelt
Meyer, Florian	Trailing Edge Flaps in Windkraftanlagen - Eine Technologie der Zukunft?

Sturm, Arthur	PV-Hausspeichersysteme
Fries, Ann-Kathrin	Zentrale oder dezentrale Speicherung elektrischer Energie?

1.4 Studien-, Bachelor-, Diplom- und Masterarbeiten

Studien- und Bachelorarbeiten

2012

Kröger, Marvin C.	Auswirkungen eines Zellfehlers bei parallel geschalteten Lithium-Ionen-Batterien Betreuer: Prof. Wenzl, Dr. Rieck (Institut für Wirtschaftswissenschaft), Dipl.-Ing. Bengler, Dipl.-Ing. Schmid (Firma Cellcon)
Pandapotan, Oscaryanto T.	Research of Ship's Electrical On-board Networks Betreuer: Dr. Turschner, Prof. Beck, Dipl.-Ing. Stubbe
Ludwig, Silke	Wirtschaftlichkeitsbetrachtung einer Solar-Stromtankstelle für Elektrofahrzeuge Betreuer: Prof. Wenzl, Prof. Schwindt (Institut für Wirtschaftswissenschaft)
Tchoupou Lando, Eric	Bestimmung und Klassifizierung der Lastkollektive in Hybridfahrzeugen bei unterschiedlichen Fahrverhalten Betreuer: Prof. Wenzl, Dr. Haubrock
Schild, Verena	Umrichterbasiertes Einspeisen mit Motor-Blockheizkraftwerken Betreuer: Dr. Wehrmann, Dipl.-Wi.-Ing. Kaestle
Kroos, Marie-Luise Hendrich, Marius	Potentiale und Ausblick für eine autonome regenerative Energieversorgung im Landkreis Goslar Betreuer: Prof. Beck, Prof. Menges (Wiwi), Dipl.-Ing. Nakhaie

Utermöhlen, Alexander	Technologien und Rittal Potentiale in der Wasserkraft in Deutschland und weltweit Betreuer: Dr. Turschner
Sarikaya, Emre	Feldorientierte Regelung bei der Asynchronmaschine Betreuer: Dr. Turschner
Njeugna Njeugna, Moise	Simulation von VISMA-Modellen Betreuer: Dr. Turschner
Nedjalkov, Antonio	Regelmäßig angeordnete Goldkornkatalysatorstrukturen zur Herstellung von Siliziumnanodrähten Betreuer: Prof. Busse (Fraunhofer-Institut), Prof. Wenzl
Tkalčec, Karlo	Intelligente Hausenergieversorgung - Photovoltaik und Kraft-Wärme-Kopplung im optimierten Verbund einer Kundenanlage Betreuer: Dr. Wehrmann
Stankat, Paul Robert	Systemtechnische Untersuchungen zu PV-Diesel Inselsystemen - Wirtschaftlichkeit und Systemstabilität - Betreuer: Dr. Turschner, Dr. Notholt Vergara (SMA), Dipl.-Ing. Schwake
Schmieder, Arne	Entwicklung eines Simulationsmodells unter MATLAB/Simulink zur Bestimmung der Alterung von Lithium-Ionen Batterien Betreuer: Prof. Wenzl, Dr. Haubrock, Dipl.-Ing. Benger
Welck, Friedrich	Automatisierung von Spannungs- und Frequenzgrenztests an Zentralwechselrichtern nach IEEE 1547 Betreuer: Dr. Turschner, Herr Goepfert (SMA Solar Technology)
Schnarr, Christian	Einsatz eines Embedded Systems (Ethernet) an einem Blockheizkraftwerk (SenerTec Dachs) Betreuer: Dr. Turschner

Rammelt, Thomas	Entwicklung eines Konzeptes als Vorschlag für die Überwachung einer autarken Energieversorgungsanlage Betreuer: Prof. Wenzl, Dr. Wehrmann
Henke, Gerrit	Erstellung eines frei parametrierbaren, orts aufgelösten thermisch-elektrischen Modells eines Akkumulators in Matlab/Simulink Betreuer: Prof. Wenzl, Dr. Benger
Geng, Maria	Untersuchung der Wirkung von StratEx anhand von Zyklentests mit Bleiakкумуляtoren Betreuer: Prof. Wenzl, Frau Ebner (Volkswagen)
Armbrecht, Björn	Technisches Anforderungsprofil einer Mittelspannungslösung zur Anbindung von Photovoltaik-Wechselrichtern in ausgewählten Ländern Südamerikas Betreuer: Dr. Wehrmann, Dr. Turschner
Czyrka, Kevin	Digitales Überwachungssystem zum netzparallelen Betrieb wechselrichtergekoppelter Erzeugungsanlagen - Entwicklung und Auswahl von Algorithmen zur Signalauswertung mit Matlab/Simulink Betreuer: Dr. Wehrmann, Dr. Turschner
Kubina, Konstantin	Entwicklung eines Lastmanagements zur Stabilisierung eines Inselnetzes in dörflicher Umgebung Betreuer: Dr. Turschner, Dr. Wehrmann
Bui, Minh Tuan	Spannungshaltung in Niederspannungsverteilnetzen Betreuer: Dr. Wehrmann, Dipl.-Ing. Heidecke, Dipl.-Ing. Schnieder
Hauser, Gerald I.	Untersuchungen einer Abgasanlage im Hinblick auf die Veränderung eines Abgasstoßes Betreuer: Dr. Turschner

Römer, Tobias	Entwicklung einer innovativen Einheit zur dezentralen Energieversorgung Betreuer: Dr. Schäfer (Inst. f. Maschinenwesen), Dr. Wehrmann
Ries, Sven	Brennstoffzelle - Degradation und die Auswirkung auf die Lebensdauer Betreuer: Prof. Wenzl, Dipl.-Phys. Heyne
Schreiber, Winfried	Untersuchung des Kapazitätseffektes für dezentrale Einspeiser im Niederspannungsnetz durch den Einsatz eines regelbaren Ortsnetztransformators (rONT) Betreuer: Dr. Wehrmann, Prof. Beck
Hegemann, Kerstin	Nachhaltigkeit von Lithium-Ionen- und Blei-Säure-Batterien im Vergleich Betreuer: Prof. Wenzl, Dr. Turschner
Grieser, Jörg	Betrachtung und Untersuchung des Heizelementschweißens von Kunststoffen: Hochtemperaturschweißen von Starterbatteriegehäusen aus talkumverstärkten Polypropylen Betreuer: Prof. Wenzl
Baumgärtner, Robert	Technisch-ökonomische Betrachtung innovativer Wasserkrafttechnologien unter Einbezug ökologischer Gesichtspunkte Betreuer: Dr. Wehrmann, Dr. Turschner, M. Sc. Volkening (RWE Power AG)
Lauber, Jan	Inhaltliche Aufarbeitung eines Praktikums zum Thema "Schutzmaßnahmen in Niederspannungsnetzen nach DIN VDE 0100-410" und universitätsübergreifender Vergleich mit ähnlichen Veranstaltungen Betreuer: Dr. Turschner, Dr. Wehrmann
Spielmann, Peter	Simulation und Vergleich verschiedener Kennlinienvorgaben für PV-Anlagen im Niederspannungsnetz Dr. Wehrmann, Dipl.-Ing. Schnieder

Meyer, Jan	Alterungsmodelle für Lithium-Ionen-Batterien Betreuer: Prof. Wenzl
Beushausen, Lennart	Untersuchung der Wärmekapazität und Wärmeleitfähigkeit an einer Li-Ionen Zelle (PL27M) Betreuer: Prof. Wenzl, Dr. Wehrmann, Dr. Antonius (Johnson Controls)

Projektarbeiten

2012

Schmieder, Arne	Elektrochemische Verhalten eines oxidkeramischen Hochtemperatur-Brennstoffzellenstacks (SOFC) Betreuer: Prof. Wenzl, Dipl.-Phys. Heyne, Dr. Lang (DLR, Institut für Technische Thermodynamik)
Lohfert, Lena Maarit Schild, Verena Nedjalko, Antonio Swiatek, Lukasz	Bereitstellung regenerativer elektrischer Energie im Insel-system Betreuer: Prof. Wenzl, Dipl.-Phys. Heyne, Dipl.-Ing. Bengner

2013

Umbach, Johannes Wächter, Sonja Wandelt, Fabian	Gegenseitige Beeinflussung von Umrichtern mit statischer Blindleistungsbereitstellung in benachbarten Netzknoten Betreuer: Dr. Wehrmann, Dipl.-Ing. Werther
Häberle, Michael Herbord, Eike Henning	Neugestaltung des Laboraufbaus für das Fachpraktikum Mechatronik Betreuer: Dr. Turschner

Moayedzadehrad, Mahmoud	Untersuchung der technischen Maßnahmen zur Nutzbarmachung der Überschussenergie aus Erneuerbaren Energieanlagen Betreuer: Dr. Wehrmann, Dipl.-Ing. Nakhaie
Bollingerfehr, Michael Heusmann, Fritjof Reus, Michaela	Implementierung verschiedener Ansteuerverfahren für Frequenzumrichter in MATLAB/Simulink zur Umsetzung in ein Rapid-Control-Prototyping-System Betreuer: Dr. Turschner
Ries, Sven Meyer, Jan Grün, Thorsten Geng, Maria	Temperaturverhalten bei der Schnellladung von Li-Ionen Batterien Betreuer: Prof. Wenzl
Hahn, Matthias Spielmann, Peter Unhold, Maria	Wirtschaftliche Analyse des Stromeigenverbrauchs eines PV-Systems mit Batteriespeicher Betreuer: Prof. Wenzl, Dipl.-Ing. Nakhaie, Dipl.-Ing. Oberland
Schwier, Sören Kurth, Benedikt Krumenauer, Gerald	Entwicklung eines Simulationsmodells zur Auslegung und Optimierung des Energiesystems autarker Mobilfunkstationen Betreuer: Dr. Wehrmann, Dipl.-Ing. Schild
Hu, Jiejia	Implementierung und Vergleich von B6- und Vienna-Gleichrichter in der Simulationsumgebung MATLAB/Simulink Betreuer: Dr. Turschner

Diplom- und Masterarbeiten**2012**

Schultz, Thorsten	Analyse der Kosten-Nutzen Relation von intelligenten Netzkonzepten in der Mittel- und Niederspannung Betreuer: Dr. Wehrmann, Dr. Turschner, Dipl.-Ing. Becker, Dipl.-Ing. Hennig (EnBW), Dr. Backes (EnBW ODR)
Schwalm, Patrick	Lokale und regenerative Energieversorgung von Gewerbe- und Industriegebieten Betreuer: Prof. Kühl, Dr. Wehrmann
Deng, Fang	Wellendrehmomentsimulation einer Windkraftanlage auf stochastische Windeingangsfunktion Betreuer: Dr. Turschner, Dr. Wehrmann
Hauschild, Thomas	Erstellung eines Modellprüfstandes zur Softwarefunktionsentwicklung am Steuergerät einer Leistungselektronik Betreuer: Dr. Turschner, Dr. Wehrmann, Herr Potrykus (IAV, Gifhorn)
Grebing, Benjamin	Entwicklung eines morphologischen Kastens zur effizienten Energieversorgung für gewachsene Produktionsstandorte - Teilgebiet Energieverteilung, -übergabe und -verbrauch Betreuer: Prof. Kühl (energydesign), Dr. Wehrmann
Liu, Yali	Simulation eines Asynchrongenerators als Teil einer Windkraftanlage Betreuer: Dr. Turschner, Dr. Wehrmann
Zimnicki, Norbert	Steer-by-wire application in project "TU Car" Betreuer: Prof. Richter (Inst. für Informatik), Dr. Turschner
Schättin, Markus	Architekturentwicklung für die Energieversorgung im Elektrofahrzeug Betreuer: Prof. Siemers (Inst. für Informatik), Dr. Turschner

Grüneberg, Axel	Zu Systemdienstleistungen aus erneuerbaren Elektroenergiequellen - technische Möglichkeiten und zukünftiger Regelleistungsbedarf Betreuer: Dr. Turschner, Dr. Wehrmann
Oberland, Alexander	Entwicklung eines Modells einer Bleibatterie für ein netzunabhängiges Brennstoffzellensystem Betreuer: Prof. Wenzl, Dr. Turschner
Shi, Xianjian	Statik und Leistungszahl dezentraler Stromerzeugungseinheiten und Verbraucher für ein dezentrales Verbundnetz Betreuer: Prof. Wenzl, Dr. Wehrmann
Zhang, Wenyong	Das Reglerentwurfsverfahren der “Exakten Linearisierung” am Beispiel von DC/DC-Wandler Betreuer: Dr. Turschner, Dr. Bauer (IEI)
Utermöhlen, Alexander	Analyse und Bewertung ausgewählter Funktionen und Features von PV-Wechselrichtern des Wettbewerbs hinsichtlich ihres Kundennutzens Betreuer: Dr. Turschner, Dr. Wehrmann
Schild, Verena	Betrieb eines Elektrolyseurs im elektrischen Inselsystem Betreuer: Prof. Wenzl, Dr. Wehrmann
Chen, Siyu	Implementierung verschiedener Multilevelkonverter in der Simulationsumgebung Matlab/Simulink Betreuer: Dr. Turschner, Dr. Wehrmann
Zhou, Hao	Simulation einer Kleinwindkraftanlage in Kombination mit einer Photovoltaikanlage im Inselbetrieb Betreuer: Dr. Turschner, Dr. Wehrmann
Heidecke, Franziska	Analyse der Auswirkungen von grid parity unter Berücksichtigung der Eigenverbrauchssteigerung im Hinblick auf das Kundenverhalten und die Netzbelastung Betreuer: Dr. Wehrmann, Prof. Wenzl,

- Maurer, Waldemar Erhöhung der Aufnahmefähigkeit von Mittelspannungsnetzen für Energie aus dezentralen Erzeugungsanlagen durch die Einführung von Spannungsregelungskonzepten und einer neuen Vorgehensweise bei der Anschlussbewertung der Anlagen
Betreuer: Dr. Wehrmann, Dr. Turschner
- Schmieder, Arne Messungen und Analyse von integrierten Temperatursensoren zum Thermomanagement von HV-Batteriesystemen
Betreuer: Prof. Wenzl, Dr. Wehrmann
- Plischke, Anne Modellierung einer Netzstruktur im Versorgungsgebiet der 50 Hertz Transmission GmbH unter Berücksichtigung optimaler Lastflussberechnung und langfristiger Elektrizitätsmarktmodellierung
Betreuer: Dr. Wehrmann, Prof. Pfau (Inst. für Wirtschaftswissenschaft)
- Welck, Friedrich Portierung einer Zentralwechselrichter-Firmware auf einen 6 kVA-Umrichter zur Untersuchung von Schutzzeit-Einflüssen
Betreuer: Prof. Beck, Dr. Turschner

2013

- Huß, Henrik Analysis of technical influencing factors on the profitability of offshore wind power projects
Betreuer: Dr. Turschner, Prof. Schenk-Mathes (Inst. für Wirtschaftswissenschaft)
- Feng, Youjia Allgemeine deutsche politische rechtliche Rahmenbedingungen und Wirtschaftlichkeitsberechnung von Offshore-Windparks
Betreuer: Dr. Turschner, Dr. Wehrmann
- Stankat, Paul Robert Entwurf und Validierung eines Anlagenreglers für PV-Diesel-Inselsysteme
Betreuer: Dr. Turschner, Dr. Wehrmann

Sarikaya, Emre	Horizontale Windkraftanlagen und deren elektrische Komponenten Betreuer: Dr. Turschner, Dr. Wehrmann
Kemper, Alexander	Anlagenbelegungsplanung zur Nivellierung des elektrischen Leistungseinsatzes einer Kundenauftragsproduktion, dargestellt am Beispiel der Rheinkalk GmbH Betreuer: Prof. Schwindt (Institut für Wirtschaftswissenschaft) Dr. Wehrmann
Njeugna Njeugna, Moise	Konzeptionierung, Konstruktion und Aufbau eines Lenkstockscharterprüfstandes (HW) Betreuer: Dr. Turschner, Prof. Bohn (IEI)
Umbach, Johannes	Day-Ahead Lastprognose auf Basis von Fahrplandaten Betreuer: Dr. Wehrmann, Prof. Beck
Zargaran Tavakoli, Behzad	Untersuchung des Potenzials stillgelegter Bergwerke im Oberharz für die Errichtung eines untertägigen Pumpspeicherswerks Betreuer: Prof. Busch (Inst. für Geotechnik und Markscheidewesen), Prof. Beck
Koring Karolina	Technoökonomische Untersuchung von Batteriespeichersystemen in einem zukünftig regenerativ geprägten Energiesystem Betreuer: Prof. Wenzl, Dr. Wehrmann
Kaukewitsch, Christof	Master's Thesis: Software Framework for the Generation of Markov Chains Betreuer: Dr. Turschner; Dr. Wehrmann
Wandelt, Fabian	Experimentgestützte Analyse stationärer Anwendungen von Batteriespeichersystemen Betreuer: Prof. Beck, Dr. Turschner

Langhoff, Jonas	Energieeffizienz in Rechenzentren - Bewertung von kurz- und langfristigen Maßnahmen im Green-IT Betreuer: Dr. Wehrmann, Prof. Schwindt (Inst. f. Wirtschaftswissenschaft)
Tchoupou Lando, Eric	Entwicklung von synthetischen Lastkollektiven von Batterien und Extrapolation aus ermittelten Kollektiven von Batterien Betreuer: Prof. Wenzl, Prof. Esderts (Inst. f. Maschinelle Anlagentechnik und Betriebsfestigkeit)
Just, Christopher	Können dezentrale Energiespeichersysteme den Netzausbau verringern? Betreuer: Prof. Beck, Prof. Schenk-Mathes (Inst. f. Wirtschaftswissenschaft)
Peñalba Retes, Markel	Energy storage for large scale integration of renewable energy into the supply system Betreuer: Prof. Wenzl
Croon, Jan	Wirtschaftliche Analyse von Rolloutszenarien intelligenter Messsysteme infolge der EnWG Novelle 2011 am Beispiel des Messwesens von enercity (Stadtwerke Hannover AG) Betreuer: Prof. Schenk-Mathes (Inst. f. Wirtschaftswissenschaft), Dr. Wehrmann
Henke, Gerrit	Untersuchung und Entwicklung von DC/DC Wandlern zur Abwärmeverstromung Betreuer: Dr. Turschner, Dr. Wehrmann, Dipl.-Ing. Bentaleb
Ries, Sven	Untersuchungen des Flussfeldeinflusses auf die Performance einer PEM-Brennstoffzelle Betreuer: Prof. Wenzl, Dr. Lindermeir (CUTEC), Dipl.-Phys. Heyne, Dipl.-Chem. Schmidt (Volkswagen AG)

- Hunger, Dennis
Einbindung von Blockheizkraftwerken in die Versorgungsstruktur einer Großliegenschaft am Beispiel der Medizinischen Hochschule Hannover
Betreuer: Prof. Kühl, Dr. Wehrmann
- Spielmann, Peter
Erstellung eines Modells zur Prognose des vom Wirkleistungsbedarf abhängigen Blindleistungsaustauschs zwischen Übertragungs- und Verteilungsnetzen
Betreuer: Dr. Wehrmann, Dr. Turschner, Dipl.-Ing. Siebels (TenneT TSO GmbH), Dipl.-Ing. Becker
- Jaeger, Jakob
Entwicklung einer Investitionsstrategie zur Einbindung von Erneuerbare-Energien-Anlagen am Beispiel eines ländlich geprägten Netzgebietes der EVI
Betreuer: Prof. Schenk-Mathes (Inst. f. Wirtschaftswissenschaft), Dr. Wehrmann, Dipl.-Ing. (FH) Prignitz (EVI Energieversorgung Hildesheim)
- Voigt, Danny
Plusenergiestandard im urbanen Raum - Potentiale und Betriebsstrategien
Betreuer: Prof. Kühl, Dr. Turschner
- Berrenrath, Daniela
Stromlastgangoptimierung im Kalkwerk Kaltes Tal der FelsWerke GmbH
Betreuer: Prof. Schwindt (Inst. f. Wirtschaftswissenschaft), Dr. Wehrmann
- Zou, Jingwen
Vergleich zwischen Kabel- und Schienenverteilersystemen bei Windkraftanlagen im Hinblick auf die Umweltauswirkungen
Betreuer: Prof. Gock (Inst. f. Aufbereitung, Deponietechnik und Geomechanik), Dr. Wehrmann
- Mohprasit, Jutipong
Untersuchung von Ladekennlinien für Lithium-Ladenbatterien für eine schnelle Wiederaufladung
Betreuer: Prof. Wenzl, Dr. Wehrmann

- Stagge, H. Increase in Availability of Solid Oxide Fuel Cells by Means of
Doerrler, L. Parallel Connection of Cells
Benger, R. Journal of Fuel Cell Science and Technology, Vol. 9, (Juni 2012)
Beck, H.-P.
- Werther, B. Orientierungsstudie Regelbare Ortsnetztransformatoren
Becker, A. Cuvillier Verlag, Göttingen
Wehrmann, E.-A. ISBN 978-3-95404-089-6
Zum Hingst, J.
Beck, H.-P.
- Chen, Y. Investigation of the Virtual Synchronous Machine in the Island
Hesse, R. Mode
Turschner, D. 3dr IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies Europe (ISGT
Beck, H.-P. Europa), Berlin, (15.- 17. Oktober 2012)
- Ell, N. Active Damping Of Oscillations ON The Drive Train Of A Wind
Turschner, D. Power Plant Using Field Oriented Control
Beck, H.-P. 11th German Wind Energy Conference (DEWEK 2012), Bremen,
(07.-08. November 2012)
- Beck, H.-P. Kapitel „Energietechnik“ in dem Buch „Hütte“ – Das Ingenieur-
wissen,
34. Auflage, Herausgegeben von H. Czichos und M. Hennecke,
Springer Vieweg, S. G67 – G89, (Dezember 2012)
- Neumann, Ch. Abschätzung der Wirtschaftlichkeit zur Errichtung und des Betrie-
Schmidt, M. bes eines untertägigen Pumpspeicherwerkes: Studie im Auftrag der
Siemer, H. Volkswagen Kraftwerk GmbH
Springmann, J.-P. Cuvillier Verlag, Göttingen
Beck, H.-P. ISBN 978-3-9540430-6-4
Busch, W.

- Beck, H.-P.
Schmidt, M. Windenergiespeicherung durch Nachnutzung stillgelegter Bergwerke - Kurzbericht
Cuvillier Verlag, Göttingen
ISBN 978-3-9540409-5-7
- Beck, H.-P.
Hofmann, L.
Runge, K.
Weyer, H.
Dietze, W. BMU-Studie "Ökologische Auswirkungen von 380-KV-Erdleitungen und HGÜ-Erdleitungen"
Zusammenfassung der wesentlichen Ergebnisse
Cuvillier Verlag, Göttingen
ISBN 978-3-95404-023-0

2013

- Beck, H.-P.
Becker, A.
Werther, B. Wegbereiter für effiziente Stromerzeugung
regio, S. 34-36, (Januar 2013)
- Wenzl, H.
Haubrock, A.
Beck, H.-P. Degradation of Lithium Ion Batteries under Complex Conditions of Use
Zeitschrift für Physikalische Chemie (Z. Phys. Chem.), 227,
S. 57 - 71, (2013)
- Kaestle, G.
Kerber, G.
Oechsle, F. Behandlung von ungewollten Inselnetzen unter besonderer Berücksichtigung robuster Netzanschlussregeln für dezentrale Erzeugungsanlagen
8. Internationale Energiewirtschaftstagung an der TU Wien,
(13.-15. Februar 2013)
- Ell, N.
Turschner, D.
Beck, H.-P. Active Damping of Oscillations on the Drive Train of a Synchronous Generator Wind Turbine using Field Oriented Control and the MILD Controller Concept
1st Global Virtual Conference (GV-CONF), Goce Delchev University Macedonia & THOMSON Ltd. Slovakia, (April 2013)

- Turschner, D.
Stubbe, M. Aktive Dämpfung in verzweigten Antriebssystemen
ant Journal, Ausgabe 06, (Mai 2013)
- Schnieder, R.
Wehrmann, E.-A.
Beck, H.-P. Untersuchung verschiedener Regelungskonzepte für regelbare
Ortsnetztransformatoren zur Spannungshaltung in Niederspan-
nungsverteilsnetzen
Konferenz für Nachhaltige Energieversorgung und Integration von
Speichern (NEIS), Hamburg, (September 2013)
- Dietrich, R.-U.
...
Küster, T.
Oberland, A. SOFC-System Using a Hot Gas Ejector for Off-Gas Recycling for
High Efficient Power Generation from Propane
13th International Symposium on Solid Oxide Fuel Cells (SOFC-
XIII), Okinawa, (06.-11. October 2013)
- Kaestle, G. Das virtuelle Kraftwerk als Linearkombination vertraglich zu-
gesagter Energiewandeloptionen
ETG-Kongress, Berlin, (05.-06. November 2013)
- Kerber, G.
Kaestle, G.
Oechsle, F. Strategies for Coping with Unintertional Islanding as a Result of
Robust Grid Connection Rules for Distributed Generation
ETG-Kongress, Berlin, (05.-06. November 2013)
- Teodoriu, C.
Springmann, J.-P.
Beck, H.-P. Drilling Simulator Celle - Tiefbohrversuchsanlage für die Energie-
gewinnung aus dem Untergrund
Bbr: Leitungsbau, Brunnenbau, Geothermie - Bd. 64, H. 12,
S. 34-39, (2013)
- Beck, H.-P.
Springmann, J.-P. Das Stromnetz im Zeichen der Energiewende
Informationen zur politischen Bildung, H. 319, S. 45 -53, (2013)

Runge, S. A. Containerterminalbetriebe als Wegbereiter für Elektromobilität -
Appelrath, H.-J. Herausforderungen für die IKT beim Management batterie-elektri-
Busse, S. scher Schwerlastverkehre
Kolbe, L. IT-gestütztes Ressourcen- und Energiemanagement: Konferenz-
Benger, R. band zu den 5. BUIS-Tagen
Beck, H.-P. Springer, Berlin, S. 271-281, (2013)

Patentanmeldungen / Patenterteilung

Beck, H.-P. Verfahren und Vorrichtung zur Hochspannungs-Gleichstrom-
Hesse, R. Übertragung zwischen mehreren Wechselstromnetzen
Turschner, D. Aktenzeichen: 2012082014171000 DE
Anmeldetag: 20.08.2012

Hesse, R. Vorrichtung zur Detektion des Inselbetriebs von Eigenerzeu-
Werther, B. gungsanlagen auf der Grundlage des durch Erzeuger und
Turschner, D Lasten im Verbundnetz hervorgerufenen Frequenzrauschens
.Beck, H.-P. Aktenzeichen: 10 2011 113.846.7
Chen, Y. Anmeldetag: 21.09.2011
Patent erteilt am: 25.07.2013
Deutsche Patent-Nr.: DE 10 2011 113 846
PCT-Anmeldung: PCT/EP2012/068243

Hesse, R. Netzqualität und Versorgungssicherheitsverbesserungsver-
Beck, H.-P. fahren (VISMA)
Turschner, D. Aktenzeichen: DE 2006 047 792.8
Anmeldetag: 06.10.2006
Europäische Patentanmeldung: 07875183.1-2207
EU-Paten-Nr.: 2070174
US-Patentanmeldung: PCT/IB2007/004721
US-Patent-Nr.: US 8,510,090 B2
Anmeldetag: 09.10.2007
US-Patent erteilt am: 13.08.2013

Dissertationen:**2012**

Benger, Ralf Dynamischen Verhalten von umrichter gespeisten Energiespeichersystemen
Referenten: Prof. Beck, Prof. Wenzl

2013

Hager, Torsten Prozessbegleitende Erdgasverteilnetzsimulation mit vorgesteuertem Knotenlastbeobachter bei unvollständiger Messinfrastruktur (ProGasSim)
Referenten: Prof. Beck, Prof. Müller-Kirchenbauer

2.2 Vorträge / Seminare

- Schnieder, R. Spannungshaltung im Niederspannungsnetz durch den Einsatz regelbarer Ortsnetztransformatoren
Power and Energy Student Summit 2012, Ilmenau,
(19. -20. Januar 2012)
- Beck, H.-P. Anforderungen an das intelligente Energienetz von morgen
Arbeitskreis Netzintegration am Energiepark Ostfalia Hochschule, Wolfenbüttel, (23. Februar 2012)
- Beck, H.-P. Wie schaffen wir die Energiewende - die Sichtweise einer Forschergruppe des EFZN
EnergieLand Niedersachsen, Hannover, (24. Februar 2012)
- Beck, H.-P. Energiewende, eine Herausforderung für Politik, Wirtschaft und Wissenschaft
kl. Wissenschaftskongress mit Neujahrsempfang des CDU Landesverbandes, Braunschweig, (09. März 2012)
- Beck, H.-P. Vorstellung Erdkabelprojekt
Landesvertretung Niedersachsen, Berlin, (15. März 2012)
- Beck, H.-P. Energieforschung in Niedersachsen und Technologietransfer
Innovationsnetzwerk Niedersachsen, Hannover,
(20. März 2012)

- Beck, H.-P. Anforderungen an intelligente Netze der Zukunft
VIK, Goslar, (21. März 2012)
- Beck, H.-P. Dezentralisierung und Netzausbau: Impulsreferat
4. Göttinger Energieitagung “Aktuelle Fragen zur Entwicklung der Energieversorgungsnetze”, Göttingen,
(22. März 2012)
- Beck, H.-P. Energieforschung nach der Energiewende
Baukommission Niedersachsen, Hannover, (03. Mai 2012)
- Beck, H.-P. PSWUT
Vorstellung PSWUT bei der Thüga in Wien, (09. Mai 2012)
- Beck, H.-P. EFZN Vorstellung
Gasunie in Groningen, (23. Mai 2012)
- Beck, H.-P. Geothermie in Niedersachsen
Kickoff Meeting Strategiegruppe GEBO, Celle,
(16. Juni 2012)
- Beck, H.-P. Vorstellung 380 kV Erdkabelstudie
Anhörung im Landtag, Hannover, (25. Juni 2012)
- Beck, H.-P. Aktivitäten im Umfeld der Geothermie
3. Versammlung der Projektleiter GEBO, Celle,
(06. Juli 2012)
- Beck, H.-P. TP 5 Systemtheorie für Aktive Verteilnetze
Smart Nord Präsentation TP5, Oldenburg, (11. Juli 2012)
- Beck, H.-P. Vorstellung e-home Projekt
e-home Messe in Sieke, (30. August 2012)
- Vorstellung PSWuT
Lutherstadt Eisleben, Eisleben, (31. August 2012)
- Beck, H.-P. Energieforschung nach der Energiewende: Beispiele für den
EFZN-Beitrag
PTB Kolloquium in Braunschweig, (04. September 2012)

- Beck, H.-P. Virtual Synchronous Machine
Power Innovation Symposium: Innovative power supplies
and energy storage systems, Bremen, (05. Oktober 2012)
- Beck, H.-P. Strategic focus of ENSEA: the Importance of Energy System
Integration
Kick Off Meeting ENSEA, Papenburg, (08. Oktober 2012)
- Turschner, D. Stabilization of Power Systems with a Virtual Synchronous
Machine (VISMA)
f-cell Battery + Storage 2012, Stuttgart,
(08. - 09. Oktober 2012)
- Beck, H.-P. Elektromobilität und Energiewende
Politische Veranstaltung der CDU, Braunschweig, (09. Okto-
ber 2012)
- Beck, H.-P. Lehre und Forschung für die Energiewende: Energie-For-
schungszentrum Niedersachsen
Barbarensseminar Dr. Pillkahn, Clausthal, (20. Oktober 2012)
- Beck, H.-P. Die Rolle von Energiespeichern im Verbundsystem und für
autarke Inselsysteme
Dena Dialogforum: "Dezentrale Energieversorgung - Schlüs-
sel zur Energiewende?", Berlin, (04. Dezember 2012)
- Kaestle, G. Ökonomische Regelkreise in der Energiepolitik
8. Internationale Energiewirtschaftstagung an der TU Wien,
(13.-15. Februar 2013)
- Kaestle, G. Merit-Order-Matrix der Speicheroptionen
Pellinger, Ch. 8. Internationale Energiewirtschaftstagung an der TU Wien,
(13.-15. Februar 2013)
- Beck, H.-P. Speichertechnologien - Potentiale und Herausforderungen
13. Braunschweiger Energiecafé, Braunschweig,
(14. Februar 2013)

- Beck, H.-P. Dezentrale Speicher - ein Beitrag zur Reduzierung des Netzausbaus?
Erneuerbare (neu) vernetzt! 3. Kongress der deutschen Umwelthilfe e. V. zum ökologischen und regional akzeptierten Umbau der Stromnetze in Berlin-Mitte, (20. Februar 2013)
- Kaestle, G. Blockheizkraftwerke als flexible Erzeugungskapazitäten und ihre Möglichkeiten der Systemdienstleistungen
Fachtagung: Die Rolle der Kraft-Wärme-Kopplung in der zukünftigen Energieversorgung, Freiberg, (21. März 2013)
- Beck, H.-P. Eignung von Speichertechnologien zum Erhalt der Systemicherheit: Impulsreferat Fachforum 3
5. Göttinger Tagung zu aktuellen Fragen zur Entwicklung der Energieversorgungsnetze, Göttingen, (11. April 2013)
- Kaestle, G. Die Auswirkungen der Elektromobilität auf die Energienetze der Zukunft - Chance oder Risiko?
User Group "Dezentrale Energieversorgung - Smart Grids", Energieforen Leipzig, (24.-25. April 2013)
- Beck, H.-P. Energieforschung für die Energiewende
ESG: Wissenschaft Technik und Ethik: Interdisziplinäre Gespräche und Informationen in Clausthal, (08. Mai 2013)
- Beck, H.-P. Smart Grid im Norden
Besuch der Wirtschaftsförderung Sachsen, Goslar, (20. Juni 2013)
- Beck, H.-P. The 20-20-20 Energy Transition needs Systemintegration
ENSEA Networking Event at the EU Sustainable Energy Week, Brüssel, (25. Juni 2013)
- Beck, H.-P. Energieforschung und Energiewende - der Beitrag des EFZN
Besuch der Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft, Goslar, (13. Juli 2013)
- Beck, H.-P. Industriestandort Lingen - ein Energiepark der Zukunft?
Sitzung des Energieausschuss Niedersachsen in Lingen, (21. August 2013)

- Beck, H.-P. Energieforschung nach der Energiewende
Lions Club Goslar-Kaiserpfalz, Goslar, (29. August 2013)
- Beck, H.-P. Eignung von Speichertechnologien zum Erhalt der Systemsi-
cherheit
BDI Unterausschuss Energieforschung und Energietechnolo-
gien , Berlin, (30. August 2013)
- Beck, H.-P. Herausforderungen für die Energiewende
6. Niedersächsische Brennstoffzellen Summer School, Gos-
lar, (20. September 2013)
- Beck, H.-P. Transdisziplinärer Ansatz des EFZN
50 Jahre IBER, Goslar, (26. September 2013)
- Beck, H.-P. Schwerpunkte der Energieforschung in Niedersachsen
1. Niedersächsische Energiespeicher Summer School in
Goslar, (27. September 2013)
- Beck, H.-P. The “German Energiewende” needs Energy Storages for
Supply Security
35. International Telecommunications Energy Conference:
Intelec in Hamburg, (14. Oktober 2013)
- Beck, H.-P. Energiewende needs Systemintegration
6. Niedersächsische Energietage: NET in Goslar, (17. Okto-
ber 2013)
- Beck, H.-P. Energiesysteme der Zukunft - der Beitrag des EFZN
2. Niedersächsisches Forum für Energiespeicher und -systeme,
Hannover, (06. November 2013)
- Beck, H.-P. Energiewende - machbar und bezahlbar?
“Vortrag des Jahres” VDE und VDI Braunschweig im Haus
der Wissenschaft, Braunschweig, (12. Dezember 2013)

2.3 Geförderte Forschungsvorhaben

Im Berichtszeitraum wurden folgende geförderte Forschungsvorhaben bearbeitet :

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

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

Nbank/EFRE (Europäischer Fonds für regionale Entwicklung)

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

Bearbeiter: Dipl.-Ing. T. Küster, Dipl.-Ing. Oberland

BMWi im Rahmen des IGF

IGF-Vorhaben-Nummer 16638 N/3

Kurzbezeichnung: Weiterentwicklung AAGR

Bearbeiter: Dipl.-Ing. Küster

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, Dipl.-Wi.-Ing. Kaestle

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

DFG

Direkte Abwärmeverstromung in thermoelektrischen Energiesystemen, GZ: BE 1496/16-1

Kurzbezeichnung: Thermoelektrik

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, Dr.-Ing. Benger

Wolfsburg AG

Projektbegleitung und Entwicklung einer regenerativen Elektrotankstelle in Wolfsburg

Kurzbezeichnung: Regenerative Tankstelle in Wolfsburg

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

Nbank/EFRE (Europäischer Fonds für regional Entwicklung)

Schnellladung von Elektrofahrzeugen

Bearbeiter: Dipl.-Phy. Heyne

PSI Aktiengesellschaft für Produkte und Systeme der Informationstechnologie

Weiterentwicklung Knotenlastbeobachter

Bearbeiter: Prof. Beck, Dipl.-Ing. Hager

MWK

Forschungsverbund SmartNord TP 5

Bearbeiter: Dipl.-Ing. Chen, Dipl.-Ing. Ell, Dipl.-Ing. Werther

E-Plus Mobilfunk GmbH & Co. KG

Entwicklung und Realisierung Energieautarker Standorte

Kurzbezeichnung: Energieautarke Sendestationen

Bearbeiter: Prof. Wenzl, Dipl.-Ing. Oberland, Dipl.-Ing. Schild

BMU

Potentiale elektrochemische Speicher in elektrischen Netzen in Konkurrenz zu anderen Technologien und Systemlösungen (02E2 ESP233)

Kurzbezeichnung: ESPEN

Bearbeiter: Dipl.-Ing. Schild

NFF

Graduiertenkollegs Energiespeicher und Elektromobilität Niedersachsen (VWZN2783)

Kurzbezeichnung: GEENI

Bearbeiter: Dipl.-Ing. Oberland

BMVBS

Schaufenster 1.2: Tanken im Smart Grid

Bearbeiter: Dipl.-Wi.-Ing. Kaestle, Dipl.-Ing. Schwake

DIN/ DKE, BMWi

Schutzkonzepte für dezentrale Einspeisungen (INS 1238)

Kurzbezeichnung: Schuko

Bearbeiter: Dipl.-Ing. Ufkes

2.4 Veranstaltungen, Exkursionen, Gastaufenthalte

Veranstaltungen:

13. September 2012

Container-Übergabe an die Wolfsburg AG

Unterzeichnung des Kooperationsvertrages

11. Dezember 2012

Weihnachtsfeier mit Mitarbeitern, Lehrbeauftragten, Hiwis und Ehemaligen des IEE

15. Oktober 2013

- Vorstellung Prof. Faulstich
- Zuordnung der Professur für “Umwelt- und Energietechnik” zum Institut für Elektrische Energietechnik
- Umbenennung “Institut für Elektrische Energietechnik” in “Institut für Elektrische Energietechnik und Energiesysteme”

10. Dezember 2013

Weihnachtsfeier mit Mitarbeitern, Lehrbeauftragten, Hiwis und Ehemaligen des IEE

Exkursionen:

06. Februar 2012

Besichtigung des Labors und der Fertigung von Lithium-Ionen-Batterien im Rahmen der Vorlesung “Batteriesystemtechnik und Brennstoffzellen”

19. März 2012

Zum Abschluss der Vorlesung “Autonome Netze”:

- Besichtigung der Firma Lufthansa Technik AG, Flughafen Frankfurt

01.11.2012

Exkursion EEZ und EEV

Tagebau Welzow Süd & KW Schwarze Pumpe

- Befahrung des Tagebaus Welzow-Süd
- Mittagessen im Betriebsrestaurant des Kraftwerks Schwarze Pumpe
- Besichtigung des Kraftwerks Schwarze Pumpe und der Oxyfuel Pilotanlage

21. 11. 2012

Exkursion zu ThyssenKrupp im Rahmen der Vorlesung "Optimierung und Instandhaltung von Elektroenergieanlagen"

17.12.2013

Exkursion zur Firma Johnson Controls im Rahmen der Vorlesung "Batteriesystemtechnik und Brennstoffzellen"

- Besichtigung des Bereichs Starterbatterie
- Besichtigung eines Teils des Bereichs Lithium-Ionen-Batterie

3 Forschungsarbeiten

3.1 Ausbau der Institutseinrichtungen

Zur weiteren Komplettierung der Institutseinrichtungen wurden folgende Neuanschaffungen getätigt:

- Anschaffung eines Tesla Roadster (FEV $P_d = 200$ KW)
- Virtuelle Synchronmaschine (VISMA I + VISMA II)
- zwei reale Asynchron-/Synchronmaschinensätze zum Ausbau des Aktiven Verteilnetz-Labors im EFZN
- Leitungsnachbildungen im EFZN/IEE-Smart-Grid-Goslar

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

Forschungsschwerpunkte und Projekte

Wie es mit der Energiewende zukünftig weiter geht, ist noch nicht genau bekannt. Vor allem ist inzwischen die Erkenntnis in Politik und Bevölkerung angekommen, dass die Energiewende nicht zum Nulltarif zu erreichen ist. Ein neues EEG soll im Sommer 2014 verabschiedet werden. Für das Erreichen der gesetzten Klimaziele ist ein weiterer Ausbau der regenerativen Erzeugung elektrischer Energie und auch von Biogas erforderlich. Die Anlagen zur regenerativen Stromerzeugung speisen derzeit im wesentlichen in die elektrischen Verteilnetze ein (Nieder-, Mittel- und Hochspannungsnetze). Daraus ergeben sich folgende wichtige Anforderungen an das Versorgungssystem, die im Rahmen mehrerer Forschungsprojekte aktuell in der AG Dezentrale Energiesysteme bearbeitet werden:

1. Die Erhöhung der Aufnahmefähigkeit der Netze für dezentrale Erzeugungsanlagen z. B. durch Netzausbau oder andere Maßnahmen. Diese Aufgabe ergibt sich auch für Gasversorgungsnetze.
2. Die Übernahme von Systemdienstleistungen (hier vor allem Spannungs- und Frequenzhaltung sowie Blindleistungseinspeisung) durch dezentrale Erzeugungsanlagen, da bei verstärkter dezentraler regenerativer Einspeisung zentrale Kraftwerke, die bisher dafür zuständig waren, verdrängt werden.
3. Steigerung der Effizienz bei Energiewandlungssystemen.

- **Effiziente Nutzung erneuerbarer Energien durch regionale ressourcenoptimierte intelligente Versorgungs- und Verbrauchsnetze**

Der hier verfolgte Ansatz ist der eines "Smart Microgrids". Dabei werden Erzeuger, Verbraucher und Speicher von einem übergeordneten System so geführt, dass ein Ausgleich hergestellt, und sogar die Trennung vom vorgelagerten Netz (Inselnetz-Bildung) möglich wird. In ausgesuchten Modellregionen wird die Machbarkeit dieses Konzeptes auch unter wirtschaftlichen und sozialen Aspekten (Akzeptanz) analysiert.

Bearbeiter: Dipl.-Ing. Johannes Umbach

- **e-Home Energieprojekt 2020**

Zwei Niederspannungsnetze wurden vom Projektpartner Avacon AG speziell ausgestattet: Umfangreiche Messtechnik, regelbare Ortsnetztrafos (rONT) und eine repräsentative Zahl von Haushalten mit zukunftssträchtiger Technologie (PV-Anlage, Elektroauto, Klimatisierung, Messtechnik). Das IEE untersucht hier die Frage, wie weit durch rONT-Einsatz der klassische Netzausbau zur Vermeidung von unzulässigen Spannungsabfällen und Spannungshüben reduziert werden kann und welche regelungstechnischen Ansätze hierfür geeignet sind. Auch Wechselwirkungen zwischen rONT und weiteren, die Spannung beeinflussenden Anlagen (z.B. PV-Anlagen mit gleichzeitigem Blindleistungsbezug) werden untersucht. Weitere Projektpartner der Universitäten Hannover, Braunschweig und Göttingen beschäftigen sich mit der Integrationstiefe und Wirtschaftlichkeit des rONT, sowie der sozialen Akzeptanz der eingesetzten Technologien.

Bearbeiter: Dipl.-Ing. Raimund Schnieder

- **Smart Nord: Systemtheorie für aktive Verteilnetze (Teilprojekt 5)**

Gefördert wird vom Niedersächsischen Ministerium für Wissenschaft und Kultur mit Smart Nord ein Verbund-Forschungsprojekt, an dem die Universitäten Braunschweig, Clausthal, Hannover und Oldenburg beteiligt sind. Im TP 5 wird von mehreren Instituten in Oldenburg und Clausthal ein integrierter systemtheoretischer Ansatz zur Beschreibung eines Niederspannungs-Versorgungssystems verfolgt, um dessen Stabilität unter Berücksichtigung stochastischer Erzeuger und Lasten zu analysieren. Dabei geht es auch um die Fähigkeit, an der Schnittstelle zum überlagerten Netz Fahrpläne für Wirk- und Blindleistung sowie Systemdienstleistungen anbieten zu können. Ebenso wird der mögliche Weiterbetrieb des Niederspannungsnetzes ohne Unterbrechung bei Ausfall von überlagerten Netzen und die Identifizierung dieser Störung untersucht.

Zur Verifizierung der theoretischen Ansätze wurde ein Niederspannungslabor für aktive Verteilnetze aufgebaut, mit einem hohen Anteil von Umrichter gekoppelten Erzeugungsanlagen.

Bearbeiter: M. Eng. Florian Pöschke, Dipl.-Ing. Benjamin Werther

- **Entwicklung und Realisierung energieautarker Standorte**

Der Mobilfunk-Netzbetreiber E-Plus verfolgt das Ziel, Sendemasten an entlegenen Standorten weitgehend autark aus regenerativen Quellen zu versorgen. Zu diesen gehören eine in den Sendemast integrierte Windkraftanlage sowie ein zweiachsig nachführbares PV-Panel. Weiterhin sind eine Batterieanlage und eine mit Wasserstoff betriebene Brennstoffzelle für die sichere Versorgung der Sendeanlagen integriert. Zwei derartige Anlagen befinden sich

Projektübersicht

bereits im Betrieb, zwei weitere im Aufbau. Das IEE hat in dem Projekt die Aufgabe, die gewonnenen Messdaten bezüglich Effizienz und Auslastung der Betriebsmittel zu analysieren. Daraus soll eine Optimierung des Systems, evtl. mit angepasstem Anlagenkonzept entwickelt werden.

Bearbeiterin und Bearbeiter: Dipl.-Ing. Verena Schild, Dipl.-Ing. Alexander Oberland

- **Schutzkonzepte für dezentrale Einspeisung**

Der klassische Netzschutz in den Verteilnetzen ist nicht auf die große dezentrale Einspeisung regenerativer Energie ausgelegt und teilweise auch nicht hierfür geeignet. Außerdem wurden die Netzanschlussbedingungen für dezentrale Einspeiser inzwischen so geändert, dass sich diese nicht mehr bei Störungen vom Netz trennen, sondern versuchen im Sinne von “fault ride through” das Netz auch im Fehlerfall zu stützen. Dadurch können sich bei Netzstörungen auch ungewollt Netzinseln bilden, die eine gewisse Zeit weiter in einem quasi stabilen Betrieb funktionieren. Eine Wiedereinspeisung könnte dann unsynchron zum überlagerten Netz erfolgen und damit größere Schäden auslösen. Ein weiteres Problem ist die im Inselnetz fehlende Kurzschlussleistung, so dass der Netzschutz nicht mehr sicher arbeitet.

Es besteht daher der Bedarf, neue Konzepte des Netzschutzes und der Netzanschlussbedingungen zu entwickeln und den Normungsgremien vorzuschlagen.

Bearbeiterin und Bearbeiter: Dipl.-Ing. Anja Ufkes, Dipl.-WiIng. Gunnar Kaestle

- **Direkte Abwärmeverstromung in thermoelektrischen Energiesystemen**

Eine Steigerung der Energieeffizienz kann auch erreicht werden, wenn ungenutzte Abwärme in beliebigen Prozessen in elektrische Nutzenergie gewandelt wird. Hierzu können speziell entwickelte Thermoelemente (Thermogeneratoren) auf Basis von Bismuttellurid in Verbindung mit entsprechenden leistungselektronischen Wandlern eingesetzt werden. Sowohl bei den Generatoren (Projektpartner: Institut für Halbleitertechnik, TU Braunschweig) als auch bei der Leistungselektronik mit MPP-Tracking (IEE) sind Wirkungsgradsteigerungen Projektziel. Zur Vermessung der thermischen und elektrischen Eigenschaften wurde ein aufwendiger Versuchsstand mit Mehrkammer-Kalorimeter, zugehöriger Wärmequelle und -senke sowie Vermessung der thermischen und elektrischen Daten aufgebaut.

Bearbeiter: Dipl.-Ing. Abdelhamid Bentaleb

- **Vorausschauende Online-Gasnetzsimulation**

Das IEE erforscht bereits seit fast 20 Jahren Simulationsansätze für Gasverteilnetze mit geringer Messinfrastruktur. Wesentliches Ergebnis ist der so genannte Knotenlastbeobachter, der die Grundlage für die Berechnung innerer Druck- und Fließzustände eines Gasnetzes bildet, ohne dass dafür alle aus dem Netz abfließenden Mengen bekannt sein

müssen. Dieses Verfahren wurde in Zusammenarbeit mit dem Gasnetzbetreiber Avacon AG und dem Systemhaus PSI AG weiter verfolgt, weil durch die zunehmende Einspeisung von Biogas neue Herausforderungen an die Gasverteilnetze gestellt werden. Ein relativ großes regionales Gasverteilnetz mit weit über 100 Ausspeisungen wurde nach Regeln, die im Rahmen dieses Projektes entwickelt wurden, mit der minimal erforderlichen Messinfrastruktur ausgestattet. Der Algorithmus des Knotenlastbeobachters konnte durch Umstrukturierung vereinfacht und durch zusätzliche Anpassungen und Ergänzungen in seiner Funktion erweitert werden. Referenzmessungen bestätigen die Funktionalität dieses Systems. Das Forschungsprojekt konnte inzwischen erfolgreich (mit der Promotion des Bearbeiters) abgeschlossen werden.

Bearbeiter: Dr.-Ing. Torsten Hager

- **Weiterentwicklung und metrologische Validierung von Messnetzen und Rekonstruktionssystemen für die Gasversorgung**

In diesem Projekt geht es ebenfalls um den Einsatz des Knotenlastbeobachters in schwach vermessenen Gasverteilnetzen. Während es jedoch im Projekt "Vorausschauende Online-Gasnetzsimulation" um die Unterstützung der Betriebsführung (des Dispatching) geht, ist in diesem Projekt, das zusammen mit dem Projektpartner Physikalisch Technische Bundesanstalt bearbeitet wird, die abrechnungsrelevante Anwendung des Knotenlastbeobachters das Projektziel. Hierfür ist die Identifizierung der räumlichen und zeitlichen Verteilung unterschiedlicher Gasqualitäten (Brennwerte) mit der für Abrechnungszwecke erforderlichen Genauigkeit erforderlich. Als Ergebnis könnten einerseits der Einsatz von sehr aufwendiger Messtechnik zur Bestimmung der Gasqualität (Gas-Chromatograf) reduziert und andererseits die energie und anlagenintensive Konditionierung von Biogas auf die jeweilige Erdgasqualität im Netz vermieden werden. Die Ergebnisse (Validierung mit Messdaten aus realen Netzen) sind vielversprechend.

Bearbeiter: Dipl.-Ing. Abdelhamid Bentaleb

Projekt: Effiziente Nutzung erneuerbarer Energien durch regionale ressourcenoptimierte intelligente Versorgungs- und Verbrauchsnetze

Problem: Um eine globale Temperaturerhöhung von mehr als 2° C gegenüber dem vorindustriellen Niveau zu vermeiden, werden vom Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) in Industrieländern wie Deutschland Reduktionen der Treibhausgasemissionen um 80 bis 95 % bis zum Jahr 2050 für notwendig gehalten (IPCC 2007). Die dafür notwendige Emissionsvermeidung im Stromsektor wird nur zu erreichen sein, wenn sowohl Anstrengungen zur Erhöhung der Effizienz des Einsatzes elektrischer Energie als auch beim Übergang zu einer Stromerzeugung unternommen werden, bei der keine oder bezogen auf die Kilowattstunde elektrischer Energie sehr viel weniger Treibhausgase emittiert werden als beim Einsatz von fossiler Energieträger. Das von der Bundesregierung beschlossene Etappenziel für das Jahr 2020 ist ein Anteil der erneuerbaren Energien an der Stromerzeugung von 35 %. Die Herausforderung besteht darin, die über Jahrzehnte gewachsenen Stromversorgungsstrukturen, durch 'intelligente' Strukturen zu ersetzen. Bisher basiert diese darauf, dass große zentrale Energieerzeugungsanlagen die Verbraucher über einseitig gerichtete Übertragungs- und Verteilungssysteme mit Strom versorgen und dass so viel Energie erzeugt wird, wie praktisch zeitgleich nachgefragt wird.

Eine Erfolg versprechende technische Antwort auf die skizzierten Herausforderungen sind Smart Microgrids. Dies sind in sich potenziell geschlossene regionale Energiesysteme, in die sowohl dezentrale Energieerzeuger als auch Verbraucher und ggf. Speicher über ein gemeinsames Kontroll-, Überwachungs- und Steuerungssystem eingebunden sind. Smart Microgrids können mit dem allgemeinen Stromverteilnetz gekoppelt, vom Netz getrennt (Inselnetzbetrieb) oder im Wechselbetrieb laufen, indem die Verbindung zum Netz je nach Bedarf geschlossen oder geöffnet wird. Ihre Vorteile sind:

- die optimale Nutzung dezentral erzeugter Energie
- eine sichere lokale Energieversorgung, da Smart Microgrids bei Ausfall der Übertragungs- oder Verteilungsnetze auf die dezentralen Erzeugungseinheiten zurückgreifen
- ein Beitrag zur Stabilität des Übertragungs- oder Verteilungsnetzes insgesamt durch lokalen Ausgleich lokaler Schwankungen

Ziel:

Die drei übergeordneten Ziele des Verbundprojekts sind:

- Erhöhung des Anteils der erneuerbaren Energien an der Stromerzeugung
Das Projekt soll dazu beitragen, die Vorteile der erneuerbaren Energien bei der Stromerzeugung, die nicht nur in den im Vergleich mit dem Einsatz fossiler Brennstoffe geringen Treibhausgasemissionen pro Energieeinheit, sondern auch in ihrer dezentralen Verfügbarkeit im eigenen Land und in ihrer Vielfalt liegen, optimal zu nutzen und die regionalen Potenziale der erneuerbaren Energien optimal zu erschließen.
- Effiziente Nutzung und Einbindung der aus erneuerbaren Energien erzeugten elektrischen Energie
Das Projekt soll dazu beitragen, die regenerativen Quellen optimal in das Versorgungsnetz einzubinden, die dezentrale Nutzung der aus erneuerbaren Energien erzeugten elektrischen Energie durch dynamische Anpassung von Angebot und Nachfrage zu optimieren und dadurch die Vulnerabilität des Energiesystems insgesamt zu vermindern und seine Flexibilität, u.a. im Hinblick auf die Einbindung neuer Energiequellen und künftige Effizienzinnovationen, zu erhöhen.
- Förderung der sozialen Akzeptanz der Nutzung erneuerbarer Energien
Das Projekt soll dazu beitragen, die Faktoren, die die Einstellungen zu den erneuerbaren Energien beeinflussen, aufzudecken und Strategien zur Förderung der Akzeptanz der erneuerbaren Energien auch bei direkter Betroffenheit zu entwickeln.

Das Ziel der am Institut für Elektrische Energietechnik und Energiesysteme (IEE) zu bearbeitenden energiesystemtechnischen Untersuchungen ist die Entwicklung eines neuen Konzepts für ein Energiesystem mit hohem Anteil regenerativer Energien, welches das Verhalten bestehender Kraftwerke nachbildet (bedarfsgerechte und versorgungssichere Bereitstellung von elektrischer Energie und Systemdienstleistungen) und darüber hinaus die Speicherung von elektrischer Energie ermöglicht, die in zukünftigen Energiesystemen eine zunehmende Bedeutung bekommen wird. Mit diesen technischen Konzepten werden Möglichkeiten zur Integration eines großen Anteils regenerativ erzeugter elektrischer Energie in das Energiesystem bei gleichzeitiger Reduktion der bisher im Energiesystem vorhandenen Großkraftwerke (unter anderem durch Abschaltung der Kernkraftwerke), die bisher die Systemsicherheit gewährleisten, zu entwickeln.

Projekt: Effiziente Nutzung erneuerbarer Energien durch regionale ressourcenoptimierte intelligente Versorgungs- und Verbrauchsnetze

aufgezeigt. Durch die Betrachtung der Modellregionen (Landkreise Landkreis Mecklenburgische Seenplatte und Goslar) werden die Untersuchungen einerseits sehr konkret auf die in der Realität zu berücksichtigenden technischen, wirtschaftlichen und sozialen Randbedingungen eingehen. Andererseits stellen diese Modellregionen einen typischen Anwendungsfall für den ländlichen Raum dar, was eine Übertragung der Ergebnisse und insbesondere der Methoden zur Konzepterstellung auf andere Regionen zulässt. Diese Übertragbarkeit der Ergebnisse ist insbesondere vor dem Hintergrund wichtig, dass zur Umsetzung der Energiewende durch die Integration eines hohen Anteils regenerativ erzeugter Energie die Vernetzung einer Vielzahl 'intelligenter' Versorgungs- und Verbrauchsnetze erforderlich sein wird. Es werden dabei technische Konzepte aufgezeigt, die als Eingangsgrößen der wirtschaftlichen und sozialen Untersuchungen (Akzeptanz) dienen.

Hinsichtlich der am IEE zu bearbeitenden Fragestellungen sind die folgenden technischen Aspekte von besonderer Relevanz. Zum einen wird untersucht, wie sich verschiedene dezentral verfügbare Energiequellen, Verbraucher und ggf. Energiespeicher zu einem Energiesystem kombinieren lassen, sodass eine möglichst umfassende Deckung des Energiebedarfs aus regenerativen Quellen ermöglicht wird (z. B. Photovoltaik, Windenergie oder Blockheizkraftwerke mit Biogasnutzung), vorgelagerte Netze durch Nutzung von vor Ort bereitgestellter Energie entlastet werden und ein Beitrag zur Stabilität des gesamten Energieversorgungssystem geliefert werden kann (dezentrale Bereitstellung von Systemdienstleistungen). Zum anderen soll in der Kombination von erneuerbaren Erzeugungsanlagen und Energiespeichern aufgezeigt werden, welche Eigenschaften erfüllt sein müssen, um einen stabilen Netzbetrieb zu ermöglichen und wie bekannte Komponenten dahingehend anzupassen sind (z.B. Regelung von Umrichtern nach dem Konzept der Virtuellen Synchronmaschine VISMA).

Des Weiteren ist ein Energiemanagementsystem (und ggf. Speichermanagement) auszulegen, um die regenerativen dezentralen Energiequellen zur Bedarfsdeckung einzusetzen, und die Regelung eines derartigen Energiesystems (Spannungs- und Frequenzregelung) beim Übergang in den Inselnetzbetrieb und zurück in den netzgekoppelten Betrieb auszulegen.

Lösungsweg:

Für die dargestellte Problematik ist eine Konzeption des dezentralen Energiesystems für den Netzparallelbetrieb mit Hilfe einer Analyse der in den Modellregionen zur Verfügung stehenden regenerativen dezentralen Energiequellen und der Entwicklung eines Konzepts zur Integration (Datenerfassung, Steuerung der Komponenten) dieser Komponenten in ein Energiesystem mit übergeordnetem Energiemanagementsystem für den Netzparallelbetrieb zu erstellen.

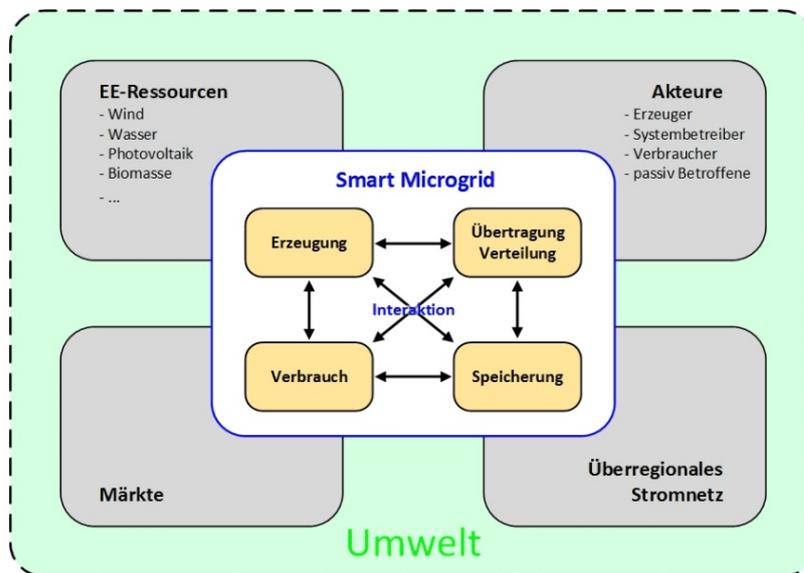


Abbildung 1: Einbettung des Smart Microgrid

Im zweiten Schritt soll das bestehende Konzept um Energiespeicher mit einem zugehörigen Management erweitert werden und daraufhin die technischen Möglichkeiten zur Bereitstellung von Systemdienstleistungen mit diesem dezentralen Energiesystem untersucht werden. Weitergehend ist eine Konzeption des dezentralen Energiesystems für den Inselnetzbetrieb vorgesehen, wobei sowohl die Analyse der erforderlichen technischen Erweiterungen zur Inselnetzfähigkeit als auch die Erstellung eines Konzepts für den Übergang zwischen gekoppeltem und ungekoppeltem (Inselnetz) Betrieb dazugehören. Abschließend soll eine Anpassung des eingangs erstellten technischen Konzepts des dezentralen Energiesystems auf Grundlage der

Projekt: Effiziente Nutzung erneuerbarer Energien durch regionale ressourcenoptimierte intelligente Versorgungs-und Verbrauchsnetze

transdisziplinären Untersuchungen erfolgen und die Einleitung der technischen Umsetzung durch die Praxispartnerunternehmen in den Modellregionen unterstützt werden.

Projektstand: Bisher ist im Projekt die theoretische Entwicklung eines Energiemanagements für die Modellregionen erfolgt und es wurden erste Grundlagen für die Bestimmung des Speicherbedarfs gelegt. Diese Annahmen sind mit Messdaten aus den Regionen zu verifizieren.

Projektpartner:

- ECOLOG-Institut für sozial-ökologische Forschung und Bildung GmbH
- Energie-Forschungszentrum Niedersachsen
- Hochschule Neubrandenburg
 - Fachgebiet Agrarpolitik, Volkswirtschaftslehre, Umweltpolitik
 - Fachgebiet Landwirtschaftliche Betriebslehre
- Leuphana Universität Lüneburg, Professur für Finanzierung und Finanzwirtschaft
- Stadtwerke Neustrelitz GmbH
- Landeszentrum für erneuerbare Energien Mecklenburg-Vorpommern GmbH
- Goslar mit Energie e.V.
- Volkswind Immenrode GmbH

Bearbeiter: Dipl.-Ing. Johannes Umbach (Tel.: 72-2593)
johannes.umbach@tu-clausthal.de

Projektleiter: Prof. Dr.-Ing. H.-P. Beck

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 Spannungstoleranzbandes hervorrufen und fordern daher einen Ausbau dieser Netzebene. Nach Norm (DIN EN 50 160) wird zwischen Mittelumspannwerk 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 erhöht und folglich die Netzurückwirkungen 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 Avacon AG in den Gemeinden Weyhe und Stuhr insgesamt 32 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.

Das Projekt ist im Jahr 2013 um drei Jahre verlängert worden, und in diesem Rahmen werden auch PV-Hausspeichersysteme als neue Technologie mit aufgenommen, die ebenfalls netzdienlich agieren und im Rahmen des Projektes untersucht werden sollen.

Ziel:

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

Das Institut für Elektrische Energietechnik und Energiesysteme 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 wurden die notwendigen technischen Daten eines regelbaren Ortsnetztransformators mit zugehörigem Laststufenschalter bereits ermittelt. Ebenfalls werden ein geeigneter Regelalgorithmus für den Mono- und den Multisensorbetrieb und die entsprechende Reglerparametrierung herausgearbeitet, um zukünftig durch den Einsatz von regelbaren Ortsnetztransformatoren die Einhaltung der Spannungstoleranzen zu gewährleisten und die Anschlusskapazität an das bestehende Niederspannungsnetz ohne weitere Netzausbaumaßnahmen zu erhöhen.

Stand der Technik:

Regelbare Ortsnetztransformatoren sind mittlerweile am Markt verfügbar. Im Projekt werden die regelbaren Ortsnetztransformatoren der Maschinenfabrik Reinhausen eingesetzt, welche eine Stufenbreite von 2,5 % der Nennspannung (U_N) und neun Anzapfungen besitzen und folglich einen gesamten Regelbereich von 20 % der Nennspannung abdecken. Derzeit werden die regelbaren Ortsnetztransformatoren im Monosensorbetrieb betrieben. Der Istwert des Reglers wird dabei direkt an der Niederspannungs-Sammelschiene des Transformators erfasst. Diese Spannung wird durch den Regler im definierten Reglertotband (z.B. $\pm 2 \% U_N$) gehalten. Hierdurch ergeben sich zusätzliche netzplanerische Freiheiten für das Niederspannungsnetz in Bezug auf den Spannungshub bzw. -fall.

Eine weitere Möglichkeit, die zur Spannungsregelung im Niederspannungsverteilstrom angewendet wird, ist das Blindleistungsmanagement der PV-Einspeisewechselrichter. Hierdurch wird der Spannungshub im Wesentlichen über der Transformatorenreaktanz reduziert. Im Niederspannungsnetz selbst ist die Wirkung aufgrund des großen R/X Verhältnisses eher gering.

Lösungsweg:

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

Beim Monosensorbetrieb wird die Mittelspannungsfluktuation ausgegletzt, sodass das Niederspannungsnetz netzplanerisch hinsichtlich des Spannungstoleranzbandes nach DIN EN 50 160 von $\pm 10\% U_N$ entkoppelt ist und dieses abzüglich des Reglertotbandes voll zur Verfügung steht.

Um den regelbaren Ortsnetztransformator optimal zu nutzen, werden beim Multisensorbetrieb zusätzliche abgesetzte Spannungsmessungen im Netz integriert, sodass auch Spannungswerte in Netzausläufern im Regelalgorithmus berücksichtigt werden, auf die entsprechend mit Stufungen reagiert werden kann und somit noch einmal zusätzlich eventuell erforderlicher Leitungszubau im Vergleich zum Monosensorbetrieb vermieden werden kann.

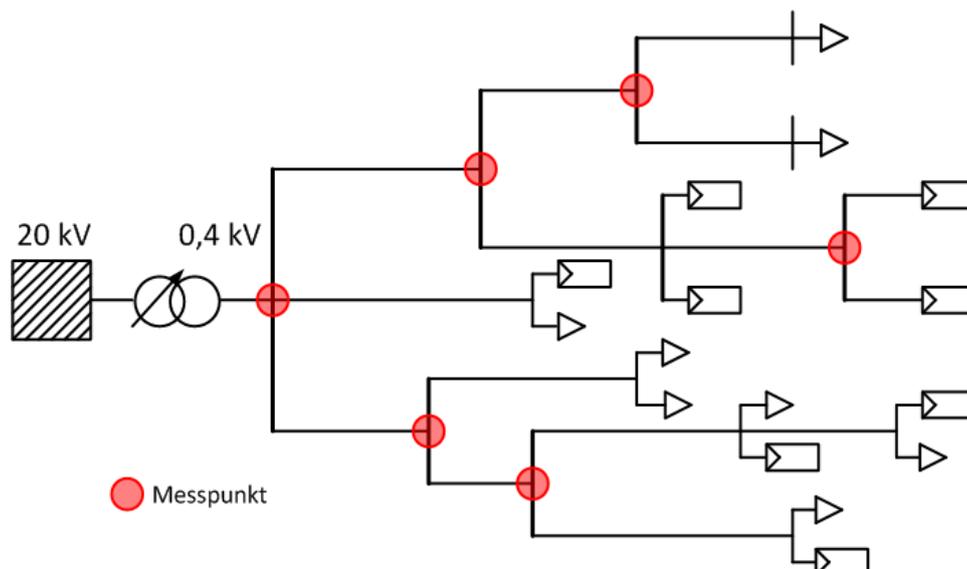


Abbildung 1: Messpunkte im Niederspannungsnetz beim Multisensorbetrieb

Beim Multisensorbetrieb wird zwischen der Betriebsart „Multisensor mit vollständiger Messinfrastruktur“, bei welcher alle Knotenspannungen berücksichtigt werden können, und „Multisensorbetrieb mit unvollständiger Messinfrastruktur“, bei welcher nur ausgewählte Knoten mit Messtechnik ausgestattet sind, unterschieden. Bei der ersten Variante ist es ausreichend, dass nach Norm zulässige Spannungstoleranzband als Reglertotband zu nutzen und sobald ein Wert den Toleranzbereich verlässt den entsprechenden Stufvorgang auszulösen.

Als Grundlage für die Implementierung eines geeigneten Regelalgorithmus für den Multisensorbetrieb mit unvollständiger Messinfrastruktur dienen die Spannungsmessdaten aus dem e-home Datenportal. Mit diesen Daten können die entsprechenden Spannungsdifferenzen zwischen den Netzknoten ausgewertet werden, die zur Festlegung eines geeigneten Reglertotbandes dienen.

Im Weiteren Projektverlauf wird dann die spannungsstützende Fahrweise von Energiespeichern im Niederspannungsnetz untersucht und mit dem Regelalgorithmus des rONT in den zuvor beschriebenen Betriebsarten abgestimmt.

Projektstand:

In den ersten beiden Projektjahren wurde die notwendige Konfiguration des regelbaren Ortsnetztransformators (rONT) ermittelt. Hierbei ergab sich nach Auswertung von Spannungsmesswerten aus Mittel- und Niederspannungsnetzen, sowie der Fortführung der Überlegung zur Abhängigkeit der Stufenbreite, der Stufenanzahl und der sich ergebenden Freiheiten für den netzplanerischen Spannungshub aus der Orientierungsstudie [1] ein Gesamtregelbereich von $21,5\% U_N$ bei elf Stufen und einer Stufenbreite von $2,15\% U_N$. Des Weiteren wurden verschiedene Regelalgorithmen des Monosensorbetriebes in der Netzberechnungssoftware DIGSILENT Power Factory implementiert und hinsichtlich Flickerstärke, Stufhäufigkeit und Spannungsextrema an den Netzknoten miteinander verglichen. Außerdem wurden die Wechselwirkungen mit der Q(U)-Regelung von Wechselrichtern untersucht, wobei sich keine negativen Rückkopplungen ergaben, sondern der rONT hinsichtlich des Stufverhaltens geringfügig entlastet wurde. [2]

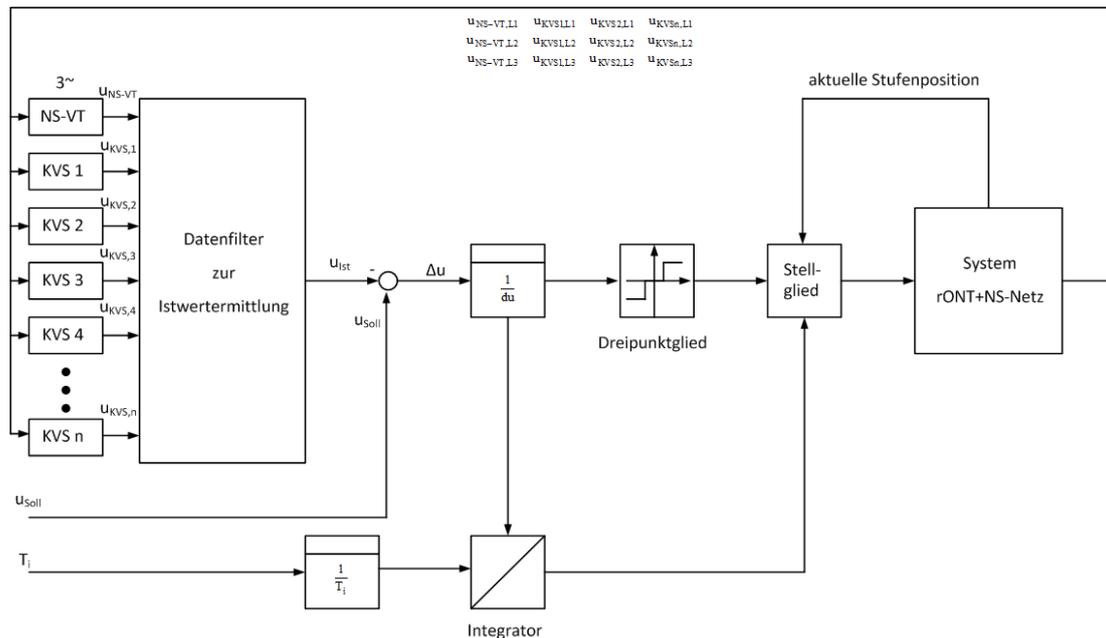


Abbildung 2: Mögliches Reglerkonzept für den Multisensorbetrieb

Im dritten Projektjahr wird die Thematik Multisensorbetrieb detailliert untersucht, mit dem Ziel einen geeigneten Regelalgorithmus zu entwickeln und zu erproben, sowie den durch diese Betriebsart zusätzlich vermiedenen konventionellen Netzausbau anhand von Beispielnetzstrukturen zu ermitteln.

Literatur:

- [1] Werther, B.; Becker, A.; Wehrmann, E.-A.; zum Hingst, J.; Beck, H.-P.; Orientierungsstudie regelbare Ortsnetztransformatoren; Band 6 der EFZN Schriftenreihe, Cuvillier-Verlag Göttingen
- [2] Schnieder, R.; Wehrmann, E.-A.; Beck, H.-P.; Untersuchung verschiedener Regelungskonzepte für regelbare Ortsnetztransformatoren zur Spannungshaltung in Niederspannungsverteilnetzen; Konferenz für Nachhaltige Energieversorgung und Integration von Speichern (NEIS), Hamburg, (12.-13. September 2013)

Projektpartner:

- Avacon AG, Helmstedt
- Institut für Hochspannungstechnik und Elektrische Energieanlagen, TU Braunschweig
- Institut für Energieversorgung und Hochspannungstechnik, Leibniz-Universität Hannover
- Institut für Elektrische Energietechnik und Energiesysteme, TU Clausthal
- Wirtschaftswissenschaftliche Fakultät, Lehrstuhl für Produktion und Logistik, Georg-August-Universität Göttingen
- Institut für deutsches und internationales Berg- und Energierecht, TU Clausthal

Projekthomepage: www.ehomeprojekt.de

Projektlaufzeit: 01.11.2010 - 30.06.2016

gefördert durch:

The logo for Avacon, featuring the word "avacon" in a bold, lowercase, green sans-serif font.The logo for Energie-Forschungszentrum Niedersachsen (efzn), with "efzn" in a lowercase, sans-serif font where the "e" is orange and the other letters are grey.

Energie-Forschungszentrum
Niedersachsen

Eine wissenschaftliche Einrichtung der TU Clausthal

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

Projektleiter: Dr.- Ing. Ernst-August Wehrmann (Tel: 72-2595)
wehrmann@iee.tu-clausthal.de

Projekt: Smart Nord TP 5 “Systemtheorie für aktive Verteilnetze”

Zielsetzung des Forschungsverbundes: Smart Nord – Intelligente Netze Norddeutschland“ ist ein vom Niedersächsischen Ministerium für Wissenschaft und Kultur (MWK) geförderter, interdisziplinärer Forschungsverbund aus sechs Teilprojekten die sich im Kontext des Niedersächsischen Energiekonzepts bewegen.

Ziele des Teilprojektes: Der stabile Netzbetrieb, im Sinne der Frequenz und Spannungsstabilität, soll auch zukünftig, trotz erhöhter dezentraler Erzeugung bei gleichzeitigem Wegfall konventioneller Kraftwerksleistung, gewährleistet werden. Wenn die dafür notwendige Systemdienstleistung durch dezentrale Anlagen erbracht werden soll, muss diese Systemdienstleistung aus dem Verteilnetz erbracht werden. Folglich sind die volatilen Erzeugungseinheiten so zu regeln, dass eine stabilisierende Wirkung für das Gesamtsystem erreicht wird. Mit einem Verteilnetz, das diese Anforderungen erfüllt, liegt es nahe, sich die Frage zu stellen, ob ein solches Netz dann auch autonom (z.B. bei Ausfall des überlagerten Netzes) geführt werden kann.

Aus diesen Überlegungen ergeben sich die beiden Forschungsfragen des Projektes.

- Wie können netzparallel am Netzverknüpfungspunkt zum überlagerten Netz Wirk- und Blindleistung (gemäß eines Fahrplans) sowie Systemdienstleistungen bereitgestellt werden?
- Wie kann der stabile Netzbetrieb aktiver Verteilnetze (Micro-Grids) netzparallel und autonom sichergestellt werden?
- Wie kann erkannt werden, ob eine Verbindung zum überlagerten Netz besteht, wenn ein autonomer Betrieb automatisch durch bereitgestellte Systemdienstleistungen eintritt (sog. Inselnetz-erkennung)?

Diese beiden Forschungsfragen werden neben dem Institut für Elektrische Energietechnik und Energiesysteme von verschiedenen Projektpartnern bearbeitet (siehe Abschnitt Projektpartner).

Projektstand: Die Kernaufgaben des Institutes für Elektrische Energietechnik und Energiesysteme beliefen sich im Rahmen der ersten beiden Jahre des Projektes im Wesentlichen auf die folgenden Aspekte.

Zum einen in dem Erstellen einer Simulationsumgebung für netzbeschreibende Differentialgleichungen zum Ermitteln von Ruhelagen und zur Bestimmung ihrer Stabilität. Die verwendeten Algorithmen

der Ruhelagenberechnung und der Eigenwertbestimmung wurden durch Messungen verifiziert. Ein Beispiel für solche Analysen sind in Abbildung 1 und 2 zu sehen.

Zum Anderen eine Erweiterung des Labors für aktive Verteilnetze um eine frei konfigurierbare Netzstruktur (siehe Abbildung 3). Hier wurden erste Frequenz- und Spannungsregelungen implementiert, die sowohl im Netzparallelbetrieb netzstützend arbeiten, als auch offgrid, d. h. im Inselnetzbetrieb, einen stabilen autonomen Betrieb ermöglichen (siehe Abbildung 4).

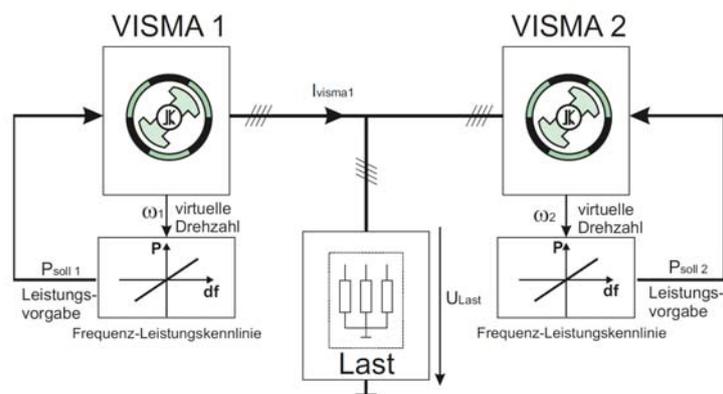


Abbildung 1: Anordnung des zu analysierenden Netzes
Zwei Virtuelle Synchronmaschinen (VISMA) die mit Hilfe von Frequenzstatiken gemeinsam eine Last versorgen.

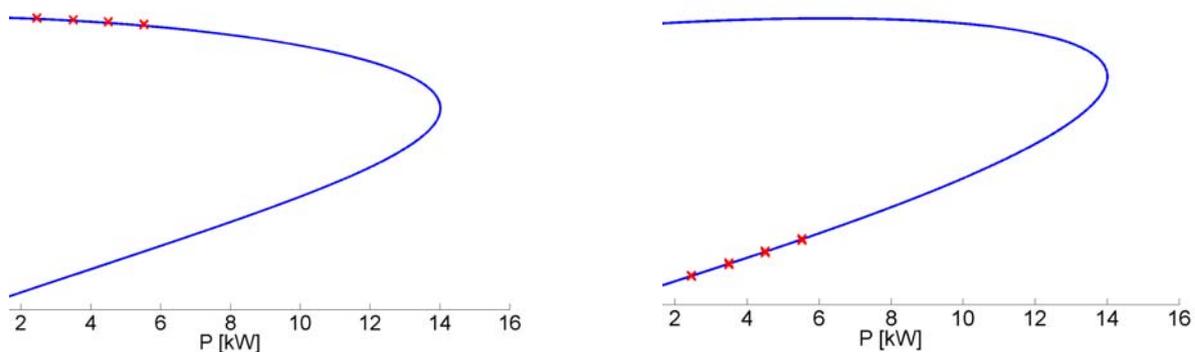


Abbildung 2: Links - Verhalten der Spannung in Abhängigkeit der Last
Rechts - Verhalten des Stromes einer VISMA in Abhängigkeit der Last
blau: berechnete Kurve, rot: gemessene Punkte

Projekt: Smart Nord TP 5 “Systemtheorie für aktive Verteilnetze”

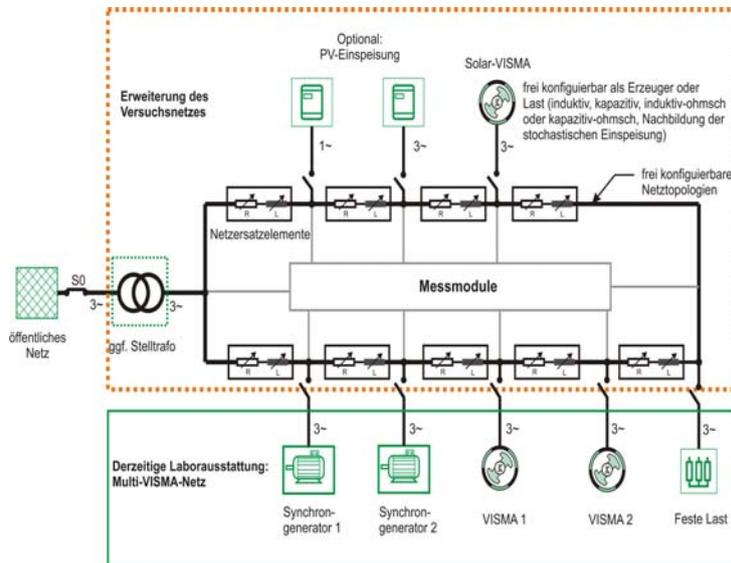


Abbildung 3: Schema des geplanten Laborausbaus

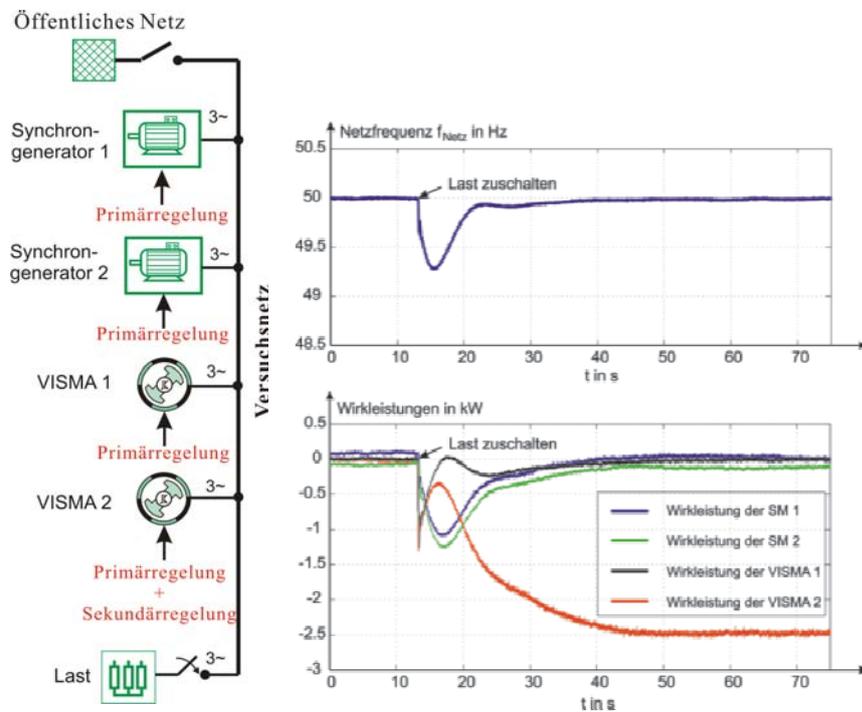


Abbildung 4: Beispiel einer Erprobung von Frequenzregelung im Inselbetrieb

Förderung:	Das Niedersächsische Ministerium für Wissenschaft und Kultur	
Projektpartner:	TU Clausthal: - Institut für Elektrische Informationstechnik Universität Oldenburg: - Institut für Turbulenz, Windenergie und Stochastik - Institut für Energie- und Halbleiterforschung - Institut für computerorientierte theoretische Physik	
Projekthomepage:	http://www.smartnord.de	
Bearbeiter:	Dipl.-Ing. Benjamin Werther benjamin.werther@tu-clausthal.de	(Tel.: 05321/3816-8101)
	Florian Pöschke, M. Eng. florian.poeschke@tu-clausthal.de	(Tel.: 72-2929)
	Dipl.-Ing. Yong Chen	
Projektleiter:	Prof. Dr.- Ing. H.-P. Beck info@iee.tu-clausthal.de	(Tel.: 72-2570)

Projekt: Entwicklung und Realisierung energieautarker Standorte

Problem: Bei der Errichtung von Mobilfunkbasisstationen an entlegenen Standorten mit großer Entfernung zum öffentlichen Energieversorgungsnetz, entstehen typischerweise hohe Kosten für den Netzanschluss. Eine Alternative zum Betrieb dieser Stationen am öffentlichen Netz stellt die im Wesentlichen auf regenerativen Energiequellen basierende energieautarke Versorgung dar.

Im Rahmen des Projekts werden durch die Firma E-Plus mehrere energieautarke Mobilfunkstandorte aufgebaut. Die Energieversorgung wird primär durch eine am Mobilfunkmast montierte horizontallaufende Kleinwindenergieanlage und durch eine zweiachsig nachgeführte Photovoltaikanlage sichergestellt.

Eine Hauptkomponente des Systems stellt ein Energiespeicher (Bleibatterie) dar, die den Ausgleich zwischen der gelieferten Energie der Windenergie- und der Photovoltaikanlage und dem Energiebedarf des Mobilfunksystems herstellt. Als Back-Up-System werden zwei parallel arbeitende PEM-Brennstoffzellen eingesetzt, die Energie aus in Flaschenbündeln angeliefertem Wasserstoff bereitstellen, sobald der Energiespeicher einen minimalen Ladezustand unterschreitet.

Ziel: Ziel des Projektes ist die Analyse der Betriebsmittelauslastung innerhalb der energieautarken Anlagen. Die resultierenden Ergebnisse können für die Auslegung der zukünftig zu realisierenden Anlagen verwendet werden.

Die Möglichkeit der Einbindung eines Elektrolyseurs zur Erhöhung der Gesamtauslastung der Anlage wird zusätzlich untersucht. Der Einsatz des Elektrolyseurs könnte insgesamt einen autarken Betrieb ermöglichen, da Wasserstoff aus überschüssig vorhandener Energie vor Ort hergestellt werden würde und dadurch den angelieferten Wasserstoff ersetzt.

Lösungsweg: An den Mobilfunkstandorten werden die energietechnischen Messwerte intern erfasst und dem IEE durch den Anlagenbetreiber zur Verfügung gestellt. Erfasst und bereitgestellt werden die Leistungen der einzelnen Systemkomponenten sowie die Umgebungsbedingungen, wie die Temperatur, die Globalstrahlung und die Windgeschwindigkeit. Abbildung 1 zeigt beispielhaft den zeitlichen Verlauf der Leistung der einzelnen Komponenten.

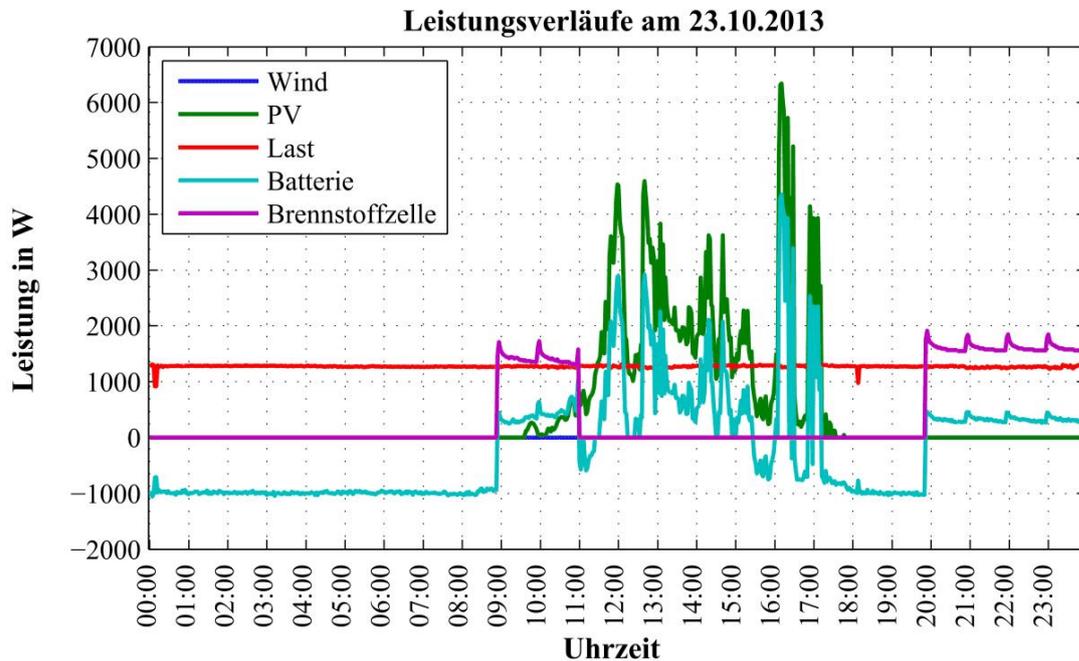


Abbildung 1: Leistungsverläufe für den Standort Vermold-Loxten am 23.10.2013 –Die Windenergieanlage ist zu diesem Zeitpunkt außer Betrieb, sodass während des Tages PV-Anlage und Batterie die Versorgung des Systems ermöglichen und die Brennstoffzelle einspringt, sobald der minimale Ladezustand der Batterie unterschritten wurde.

Die Analyse dieser Daten – zunächst anhand einer Energiebilanz – liefert Aussagen über den Betrieb des Systems am gewählten Standort und die Eignung des Standortes selbst. Für beide bisher realisierten Standorte in Vermold-Loxten und Büren deutet die bisherige Datenauswertung drauf hin, dass die Standortbedingungen für den Betrieb der Windenergieanlage wenig geeignet sind. Weiterhin ist der geringe Beitrag der Windenergieanlage zum Gesamtenergiebedarf des Systems teilweise auch durch häufige Ausfälle der Anlage, bedingt durch technische Probleme, zu erklären.

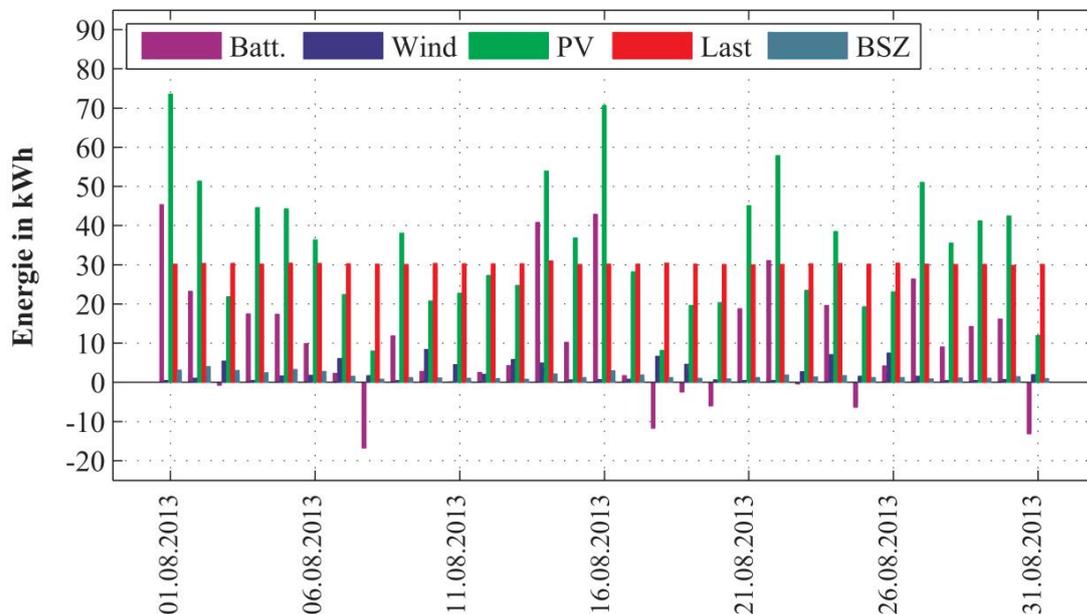


Abbildung 2: Energiebilanz für die einzelnen Anlagenkomponenten am Standort Büren für den Monat August 2013 – Es zeigt sich, dass die Windenergieanlage nur einen sehr geringen Beitrag zum Gesamtenergiebedarf des Systems liefert, die PV-Anlage hingegen an einigen Tagen genug Energie zur Versorgung des Systems und zum Laden der Batterie bereitstellt.

Detaillierte Aussagen zur Eignung der Standorte beziehungsweise der Dimensionierung der Anlagenkomponenten sind aufgrund fehlender Messwerte zum jetzigen Zeitpunkt noch nicht möglich.

Im nächsten Schritt wird ein kennlinienbasiertes Modell für eine energieautarken Mobilfunkstandort erarbeitet, welches sich sowohl für die Untersuchung bestehender Standorte eignet, als auch für die Abschätzung geeigneter Anlagenkomponenten (Leistungsklasse beziehungsweise Energieinhalt) an möglichen weiteren Standorten, wobei die dort vorherrschenden Umgebungsbedingungen (Windgeschwindigkeit, Temperatur und Globalstrahlung) als Eingangsgrößen verwendet werden.

Ein erster Ansatz für die Modellierung des Systems wurde bereits erarbeitet. Im Modell ist der Einsatz eines Elektrolyseurs und eines Wasserstoffspeichers als Option vorgesehen. Aufgrund fehlender Messdaten steht die Validierung des Modells noch aus.

- Projektstand:** An den Standorten Versmold-Loxten (Ende 2011) und Büren (Anfang 2013) sind bereits zwei autarke Mobilfunkstationen realisiert und im Mobilfunknetz der Firma E-Plus betrieben.
Am Standort Versmold-Loxten wurde im Sommer 2013 das bis dahin nicht zuverlässig funktionstüchtige Messsystem ausgetauscht, sodass erst ab Oktober 2013 Messdaten für diesen Standort vorliegen. Für den Standort Büren liegen seit Mai 2013 kontinuierlich Messdaten vor.
In Waldfeucht befinden sich zwei weitere Standorte derzeit im Aufbau. Die Inbetriebnahme und damit auch die Bereitstellung der Messdaten für diese Standorte sind seitens der Firma E-Plus für das Frühjahr 2014 geplant.
- Projektpartner:** Das Projekt wird in Kooperation mit der Firma E-Plus Mobilfunk GmbH & Co. KG durchgeführt, die die energieautarken Mobilfunkstandorte errichten und betreiben.
- Bearbeiter:** Dipl.-Ing. Alexander Oberland (Tel.: 72-2938)
alexander.oberland@tu-clausthal.de

Dipl.-Ing. Verena Schild (Tel.: 72-3736)
verena.schild@tu-clausthal.de
- Projektleiter:** Dr.-Ing. Ernst-August Wehrmann (Tel: 72-2595)
wehrmann@iee.tu-clausthal.de

Projekt: Schutzkonzepte für dezentrale Einspeisungen (INS 1238) - SCHUKO

Problem: Durch die verstärkte Durchdringung von Energieversorgungsnetzen mit dezentralen Einspeisungen musste von der bisherigen Philosophie hinsichtlich der Netzanschlussbedingungen Abstand genommen werden. Früher sollten sich die Einspeiser vom Verteilnetz trennen, sobald kleinere Störungen auftraten. Dieses Verhalten ist aufgrund der Systemrelevanz von dezentralen Erzeugungsanlagen (DEA) mittlerweile kontraproduktiv geworden. Robustere Netzanschlussbedingungen sorgen per P(f)- und Q(U)-Regelungen für ein frequenz- und spannungsstützendes Verhalten. Dies führt dazu, dass nicht nur das Verbundnetz, sondern auch kleinere isolierte Teilnetze einen ausgeglichenen Blind- und Wirkleistungshaushalt aufweisen. Sofern genügend Erzeugungskapazität vorhanden ist, können diese Subnetze zum Beispiel nach einer Schutzauslösung als Insel unbeabsichtigt weiterlaufen. Vorhandene Erzeugungsüberschüsse werden per Limited Frequency Sensitive Mode (nach ENTSO-E-Nomenklatur) abgeregelt und die Insel kann sich in einem stabilen Zustand fangen, d. h. es stellt sich ein veränderter Arbeitspunkt bzgl. Netzfrequenz und Netzspannung ein, der sich aber noch im zulässigen Bereich bewegt. Abbildung 1 zeigt eine ungewollte Inselnetzbildung nach der Auftrennung des Netzes infolge eines doppelten Erdschlusses. Ein Problem besteht darin, dass bei einer automatischen Wiedereinschaltung (AWE) die Möglichkeit besteht, dass sich ein Leistungsschalter unsynchron zuschaltet, was Schäden am Netz und an Kundenanlagen verursachen kann. Sofern das Inselnetz eine Zeit lang weiterläuft, bevor es definiert vor einer spannungslosen Zusammenschaltung zum Absturz gebracht wird, besteht das Problem, dass während der Zeit als Insel der Kurzschlussstrom aus dem Leistungstransformator fehlt. Unter Umständen kann dadurch die Schutzwirkung der Überstromerkennung im Inselbetrieb ausbleiben. Ein weiteres schutzrelevantes Thema ist die Integration von Elektroautos, die sich dadurch auszeichnen, dass sie sich von einem Netz zum nächsten bewegen können. Dabei muss das Ladegerät mit Netzanschlüssen im TT-, TN- und IT-System zurechtkommen. Es sind universelle Anforderungen durch den Batterielader zu erfüllen, um einerseits Fehlauflösungen zu vermeiden und andererseits stets eine korrekte Funktionalität zu gewährleisten.

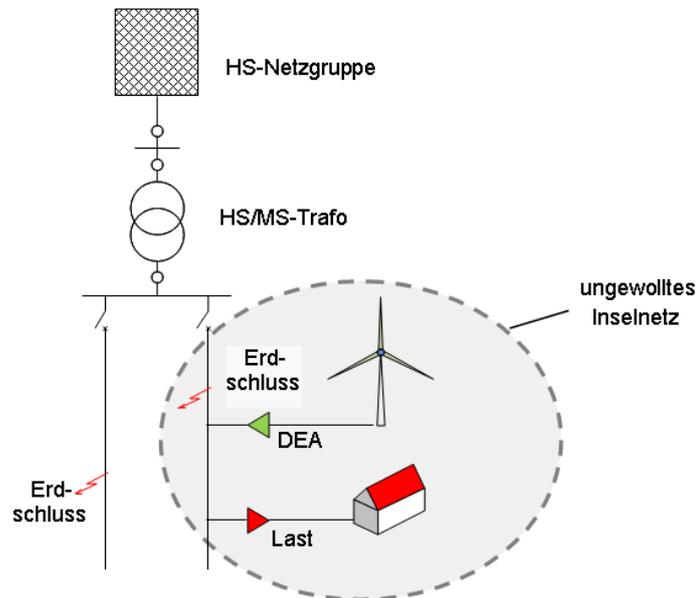


Abbildung 1: Ausbildung eines ungewollten Inselnetzes in der Mittelspannungsebene nach der Beseitigung eines Doppelerdschlusses

Quelle der Abbildung: Kerber, Kaestle, Oechsle: Behandlung von ungewollten Inselnetzen unter besonderer Berücksichtigung robuster Netzanschlussregeln für dezentrale Erzeugungsanlagen, 8. Internationale Energiewirtschaftstagung IEWT 2013, Wien, 13.-15. Februar 2013 http://eeg.tuwien.ac.at/eeg.tuwien.ac.at_pages/events/iewt/iewt2013/uploads/fullpaper/P_234_Kaestle_Gunnar_21-Jan-2013_10:32.pdf

Ziel: Es wird generell angestrebt, nach Methoden zu suchen, die einen robusten Netzanschluss von Anlagen am Verteilnetz im Hinblick auf eine ungewollte Inselnetzbildung gewährleisten. Dazu sollen Alternativen zur bisherigen Praxis aufgezeigt werden, die einen ähnlich zuverlässigen Verteilnetzbetrieb gewährleisten können. Die Energiewende könnte durch technische Restriktionen bzgl. der zahlreichen technischen Nebenbedingungen eines sicheren Netzbetriebs unnötigerweise verlangsamt werden, wenn sich nicht auch die Schutztechnik in Bezug auf dezentrale Einspeisungen weiterentwickelt.

Stand der Technik: Die Schutztechnik in den Verteilnetzen verlässt sich meist auf die bewährte Technik des Distanzschutzes. Geschickte gewählte Zeit-Staffelungen sorgen für eine Selektivität, d. h. es wird nur jener

Projekt: Schutzkonzepte für dezentrale Einspeisungen (INS 1238) - SCHUKO

Netzteil abgeschaltet, der dem Fehler am nächsten ist. Aufwändigere Schutzvarianten, wie ein Differentialschutzgerät, sind aufgrund der höheren Kosten in den unteren Spannungsebenen unüblich. Der anerkannte Stand der Technik wird in der europäischen Norm EN 50522 (Erdung von Starkstromanlagen mit Nennwechselspannungen über 1kV) und für NS-Installationen in der VDE 0100-100 / HD 60364 (Errichten von Niederspannungsanlagen) beschrieben.

Bei Vorliegen eines Kurzschlusses wird bei Freileitungen zuerst versucht, über eine Kurzunterbrechung (KU) einen ggf. vorhandenen Lichtbogen zu löschen, um dann im Anschluss mit einer automatischen Wiedereinschaltung die Versorgung wiederherzustellen. Erst wenn nach einer Zuschaltung ein kontinuierlicher Kurzschluss festgestellt wird, z. B. durch einen Erdschluss über Fremdkörper an der Leitung, bleibt der Leistungsschalter bis zur Behebung des Schadens offen.

Lösungsweg: Um das Netz auch unter den zukünftige Bedingungen zuverlässiger zu machen, sind in den notwendigen Minimalanforderungen der Integration dezentraler Anlagen (Erzeuger und Verbraucher) in Bezug auf den Netz- und Anlagenschutz hinreichend zuverlässige Funktionalitäten vorzusehen. Des Weiteren nutzt ein gut konfigurierter Netzschutz auch dem Endverbraucher, da im Falle eines Netzfehlers dieser eingegrenzt, schnell lokalisiert und behoben werden kann. Langfristig ist die Frage der Inselnetzbildung mit dem Schlagwort Micro-Grid zu beantworten, d. h. im Falle eines Netzausfalls kann ein Micro-Grid ohne Versorgungsunterbrechung als Insel aktiv bleiben und sich nach dem Ende der Störung wieder mit dem übergeordneten Netz resynchronisieren. Perspektivisch ist für die Zeit der Inselnetzbildung ein Schutzkonzept zu entwickeln, das auch ohne die Kurzschlussleistung vom Transformator die gleiche Zuverlässigkeit aufweist.

Die Schwerpunkte in der Bearbeitung sind neben der Literaturrecherche die Mitwirkung in aktuellen Standardisierungsvorhaben und die Durchführung von Kurzschlussversuchen sowie Experimenten zur Inselnetzerkennung.

Projektstand:	<p>Die Literaturrecherche als kontinuierliche Aufgabe in der ersten Phase des Projektes ist noch nicht abgeschlossen. Als Anhaltspunkt kann die Auswertung der Normen zur Schutztechnik für die Nieder- und Hochspannung im Vergleich zu gewollten Inselnetzen auf Basis einer unterbrechungsfreien Stromversorgung dienen.</p> <p>Die Anforderungen an Erzeugungsanlagen werden sowohl durch direkte Beteiligung an der Arbeitsgruppe WG03/TC8X als auch über das deutsche Spiegelgremium DKE AK 261.0.2 konstruktiv begleitet. Des Weiteren erfolgt über die PG Netzintegration KWK sowie der FG Netzfragen eine Begleitung dieser Themen in den Fachverbänden für Kraft-Wärme-Kopplung und Sonnenenergie.</p> <p>In Zusammenarbeit mit den Kollegen am EFZN sind Versuche im dortigen Netzlabor zur Frage der Inselnetzerkennung geplant. In diesem Zusammenhang soll zuerst die Erweiterung des Netzlabors mit kompakten Netzersatzelementen abgewartet werden, um dann an unterschiedlichen Leitungsimpedanzen diverse Inselnetzerkennungsmethoden zu testen.</p>
Projektpartner:	Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik (DKE)
Bearbeiter:	Dipl.-Wi.-Ing. Gunnar Kaestle gunnar.kaestler@tu-clausthal.de
	Dipl.-Ing. Anja Ufkes (Tel.:72-2594) anja.ufkes@tu-clausthal.de
Projektleiter:	Dr.- Ing. Ernst-August Wehrmann (Tel: 72-2595) wehrmann@iee.tu-clausthal.de

Projekt:	Direkte Abwärmeverstromung in thermoelektrischen Energiesystemen (Thermoelektrik)
Problem:	<p>Prozessbedingte Abwärme in verschiedenen energieintensiven Prozessen, wie in der Stahl- und Glasherstellung sowie in Großbäckereien bleibt häufig ungenutzt und geht an die Umgebung verloren. Mit Thermogeneratoren lässt sich Wärme direkt in elektrische Energie umwandeln.</p> <p>Thermoelektrische Abwärmenutzung könnte den Primärenergieverbrauch senken, und damit signifikant zum Klimaschutz beitragen.</p>
Ziel:	<p>In diesem Projekt soll der Gesamtwirkungsgrad der thermoelektrischen Abwärmenutzung mit verfügbaren Komponenten unter realistischen Bedingungen ermittelt und verbessert werden.</p> <p>Hierzu soll ein Mehrkammer-Kalorimeter aufgebaut werden um den thermischen Wirkungsgrad der Wandlung zu messen. Die Verbesserung des elektrischen Wirkungsgrads soll durch einen angepassten Umrichter mit Maximum Power Point Tracking (MPPT) erreicht werden. Im Rahmen des Projektes soll exemplarisch eine Schaltung entwickelt werden, die Leistung von Thermogeneratoren, betrieben in unterschiedlichen Temperaturdifferenzen, in eine maximale elektrische Ausgangsleistung umwandelt. Außerdem wird das langfristige Ziel verfolgt, thermoelektrische Hochtemperatur-Generatoren zu entwickeln. Auf Grund höherer Temperaturdifferenzen steigen die Carnot-Wirkungsgrade und damit auch der Wirkungsgrad der TE-Konversion. Konventionelle Lotverbindungen können den häufigen Temperaturwechseln nur eingeschränkt standhalten. Gerade bei höheren Temperaturdifferenzen muss daher eine neuartige Drucksinterverbindungstechnik mit deutlich verbesserter Temperaturwechselstabilität zum Einsatz kommen.</p>
Stand der Technik:	<p>Die am häufigsten verwendeten Materialien für Thermogeneratoren sind die Bismuttellurid-Verbindungen. Fast alle kommerziell verfügbaren Thermogeneratoren sind aus diesen Halbleitern aufgebaut. Der erreichte ZT-Wert (Effektivitätszahl) liegt bei ca.1 zwischen Raumtemperatur und 100 °C.</p> <p>Ein wesentlicher Aspekt thermoelektrischer Energiewandlung ist die Tatsache, dass der Wirkungsgrad nicht nur mit Eigenschaften des Halbleiters selbst, sondern vor allem mit dem thermodynamischen Carnot-Wirkungsgrad skaliert. Ist der Carnot-Wirkungsgrad klein (also bei niedrigen Temperatur-Differenzen), dann ist auch der ther-</p>

thermoelektrische Wirkungsgrad klein. Dieser Zusammenhang wird oft unzureichend diskutiert. Akzeptable Wirkungsgrade sind nur mit hohen Temperatur-Differenzen erreichbar. Hier stoßen aber viele TE-Module an ihre Grenzen. Meist sind die konventionellen TE-Materialien nur bei Temperaturen unterhalb von ca. 250°C einsetzbar, und die verwendete Aufbautechnik beruht auf konventioneller Lot-Technik und begrenzt daher zusätzlich den zugänglichen Temperaturbereich. Temperaturwechselbelastungen, welchen TE-Module in besonderer Weise ausgesetzt sind, führen häufig zum Ausfall, beispielsweise durch Adhäsionsbruch der Lot-Metallisierung am Halbleiter.

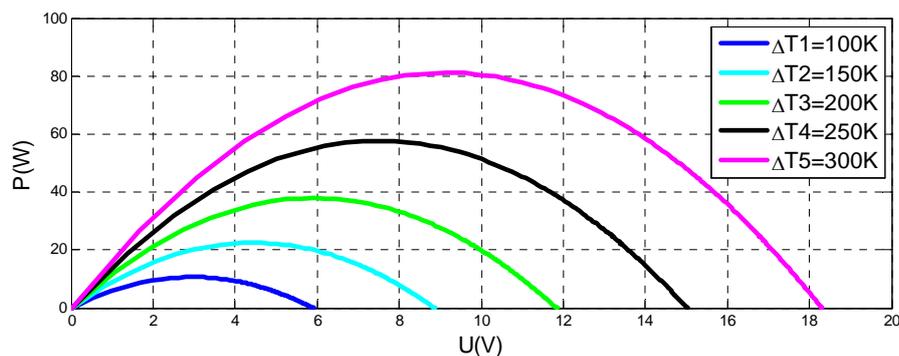


Abbildung 1: berechnete Leistungskennlinie des verwendeten Thermogenerators bei unterschiedlichen Temperaturdifferenzen

Da die Ausgangsspannung der thermoelektrischen Module mit der Temperaturdifferenz schwankt, ist es notwendig eine Übertragerschaltung zur Leistungsanpassung zwischen TEG und Verbraucher einzusetzen. Ein wichtiger Designfaktor der TEG-Schaltung ist die Anordnung der thermoelektrischen Module. Da für Leistungsanwendungen mehr als ein Modul verwendet werden muss, können die Module in Serie, parallel oder gemischt in seriellen oder parallelen Ketten angeordnet werden.

Für das Schaltungsdesign und die Modulanordnung lassen sich aus anderen Bereichen der elektrischen Energietechnik vorhandene Erfahrungen nutzen. So sind Erfahrungen aus dem Bereich der Photovoltaik und der Brennstoffzelle hier von Nutzen, weil hier ebenfalls

Projekt: Direkte Abwärmeverstromung in thermoelektrischen Energiesystemen (Thermoelektrik)

zahlreiche Zellen in Gruppenschaltung zur Leistungsanpassung erforderlich sind. Die Verschaltung vieler thermoelektrischer Module hat aber den Nachteil, dass die wirksame Temperaturdifferenz ist nicht an allen Modulen gleich ist, was zu unterschiedlicher Leistung und innerem Widerstand und damit zur Fehlanpassung führt. Hier soll ein sogenannter „distributed MPPT“ erforscht werden. Die Effizienz von elektronischen Spannungswandlern konnte in den letzten Jahren durch Miniaturisierung und Bauelementintegration immer weiter gesteigert werden. Darüber hinaus trug die Reduktion des Durchlasswiderstands von Leistungshalbleitern zur Verbesserung bei. Hier sind weitere Verbesserungen z.B. durch aktive Kompensation von Schaltverlusten zu erforschen.

Lösungsweg: Für die Entwicklung der Hochtemperaturgeneratoren wird eine neue Verbindungstechnik erprobt. Es handelt sich dabei um ein Versintern einer nanoporösen Silber-Zwischenschicht bei relativ niedrigen Temperaturen von ca. 250°C und Drücken bis zu 30 MPa. Es ergibt sich eine kompaktierte Silber-Schicht zwischen 2 Verbundpartnern, die hervorragende elektronische, thermische und mechanische Eigenschaften aufweist und mittlerweile auch als Lot-Ersatz in der Produktion von Leistungselektronik-Bauelementen angewandt wird. Da der Schmelzpunkt von Silber bei über 900°C liegt, kann die Verbindung auch oberhalb der Prozesstemperatur von 250°C eingesetzt werden. Für die Energiekonditionierung wird ein effizienter Wandler (Tief-/Hochsetzsteller) entwickelt. Es werden Aspekte zur Wirkungsgradsteigerung (z.B. aktive Kompensation von Verlusten, Auslegung und Dimensionierung von Bauelementen, mehrphasige Schaltung) untersucht. Für eine maximale Energieausbeute wird auch ein maximaler dynamischer MPPT-Wirkungsgrad angestrebt und dafür ein stabiler Regelungsalgorithmus des Wandlers entworfen und erprobt. Um verschiedene Versuchsreihen durchzuführen, ist es nötig eine genau kontrollierte Temperaturdifferenz an die Module anzulegen. Dafür wird ein Mehrkammerkalorimeter mit Wärmequelle, Modulnetzwerk, Wärmesenke und entsprechender Messtechnik aufgebaut. Damit wird es möglich, den Wärmefluss in den Thermogenerator, die Temperaturdifferenz und die aus dem System fließende Wärmemenge zu messen. So lässt sich der Wirkungsgrad des TEGs bestimmen.

Projektstand:

Für die Versuchsdurchführungen wurde ein Mehrkammerkalorimeter aufgebaut, mit dem unterschiedliche Temperaturdifferenzen eingestellt werden können und die ein- und abfließende Wärmemenge genau gemessen werden kann. Der Aufbau einer Kammer ist in Abbildung 2 schematisch dargestellt.

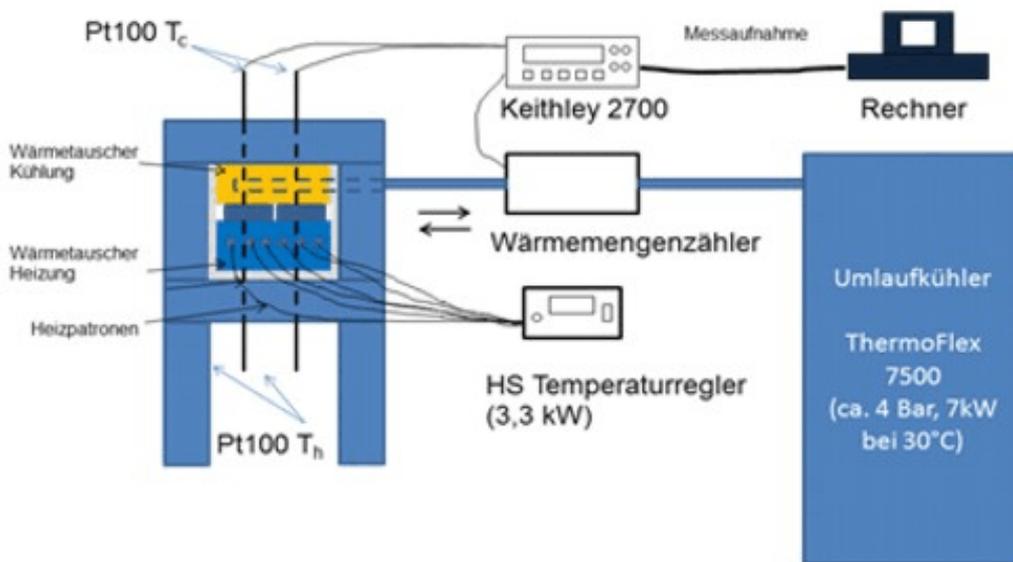


Abbildung 2: Schematischer Aufbau Kalorimeter

Für die Energiekonditionierung wurde ein DC/DC Wandler in verschiedenen Topologien zum Vergleich und Optimierung realisiert. Abbildung 3 zeigt die Schemadarstellung der Bauteile von 3 erprobten Schaltungen.

Projekt: Direkte Abwärmeverstromung in thermoelektrischen Energiesystemen (Thermoelektrik)

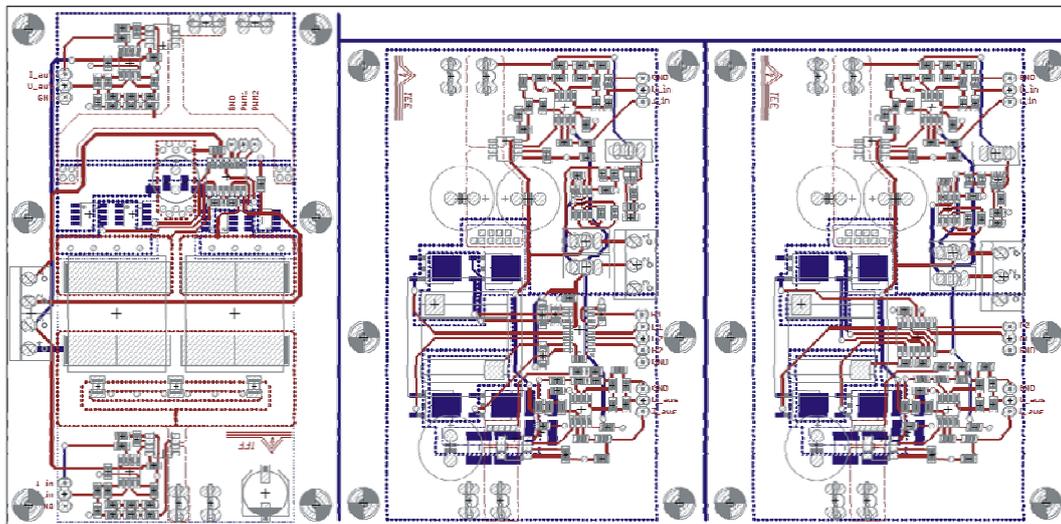


Abbildung 3: (links) Zweiphasiger Hochsetzsteller Synchronwandler, (Mitte) Tief-/Hochsetzsteller als Vollbrücke, (rechts) Tief-/Hochsetzsteller als Vollbrücke mit anderer Treiberschaltung und einstellbarer Totzeit

Der Zweiphasige Synchronwandler hat sich für eine Nennleistung von 70 W pro Thermogenerator- Einheit bei unterschiedlichen Betriebstemperaturen ($\Delta T = T_h - T_c = 50 \text{ K} \dots 200 \text{ K}$) als das energieeffizienteste Schaltungskonzept ergeben.

In Tabelle 1 ist der gemessene Wirkungsgrad des Wandlers für unterschiedliche Eingangsleistungen aufgeführt.

P Eingang (W)	30	40	50	60	70	80	90
Wirkungsgrad (%)	96,41	96,47	96,96	97,11	97,21	97,1	97,04

Für die Regelung wurden unterschiedliche MPP-Tracking Verfahren entwickelt und implementiert. Die Einstellung des Arbeitspunktes kann über eine modellbasierte Berechnung aus der gemessenen Temperaturdifferenz oder über die Verfolgung des Leistungsgradienten über die Zeit erfolgen. Die Schrittweite mit der sich das Tastverhältnis des Wandlers ändert kann auch variabel eingestellt werden um eine bessere Dynamik bei einem Lastwechsel zu erhalten. Abbildung 4 zeigt den gemessenen dynamischen MPPT-Wirkungsgrad bei zwei erprobten MPPT-Verfahren.

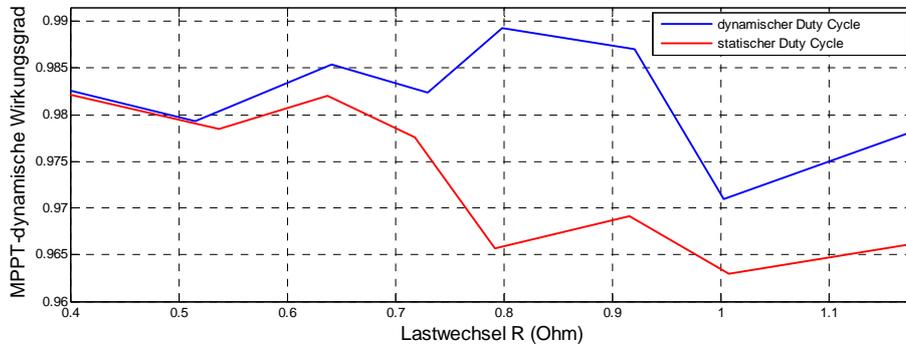


Abbildung 4: Dynamischer MPPT-Wirkungsgrad des Wandlers bei einem Lastwechsel

Das in dem Mehrkammerkalorimeter aufgebaute Netzwerk aus 12 Thermogeneratoren wurde am Eingang des entwickelten Wandlers (mit MPPT-Regelung) angeschlossen. Es ergibt sich eine elektrische Ausgangsleistung von ca. 136 W bei einer Temperaturdifferenz von 200 K.

- Projektpartner:** Das Projekt wird in Kooperation mit dem Institut für Halbleitertechnik (TU Braunschweig) durchgeführt.
- gefördert:** Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG)
- Bearbeiter:** Dipl.-Ing. Abdelhamid Bentaleb (Tel.: 72-2593)
 abdelhamid.bentaleb@tu-clausthal.de
- Projektleiter:** Dr.- Ing. Ernst-August Wehrmann (Tel: 72-2595)
 wehrmann@iee.tu-clausthal.de

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 bei denen nicht alle Ausspeisungen gemessen sind möglich ist.

Ziel: Weiterentwicklung einer Gasnetzsimulationssoftware 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 derzeit sich im Einsatz befindenden Gasnetzsimulationen 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 Gasnetzsimulator (GANESI) weiterentwickelt. Der von dem Simulationssystem verwendete Luenberger Beobachter wurde hierbei um einen Störgrößenbeobachter (Knotenlastbeobachter) erweitert, der die nicht gemessenen Entnahmen nachbildet (siehe Abbildung 1). Um die Einschwingzeit des Knotenlastbeobachters zu verringern, wurde zusätzlich eine Vorsteuerung über Lastprofile implementiert.

Dieser Knotenlastbeobachter wurde an einem Netzausschnitt mit 26 Ausspeisungen eines komplett instrumentierten Netzes entwickelt. In zahlreichen Simulationsläufen an Ausschnitten dieses Netzes hat er bei den gegebenen Randbedingungen seine Funktionsfähigkeit unter Beweis gestellt.

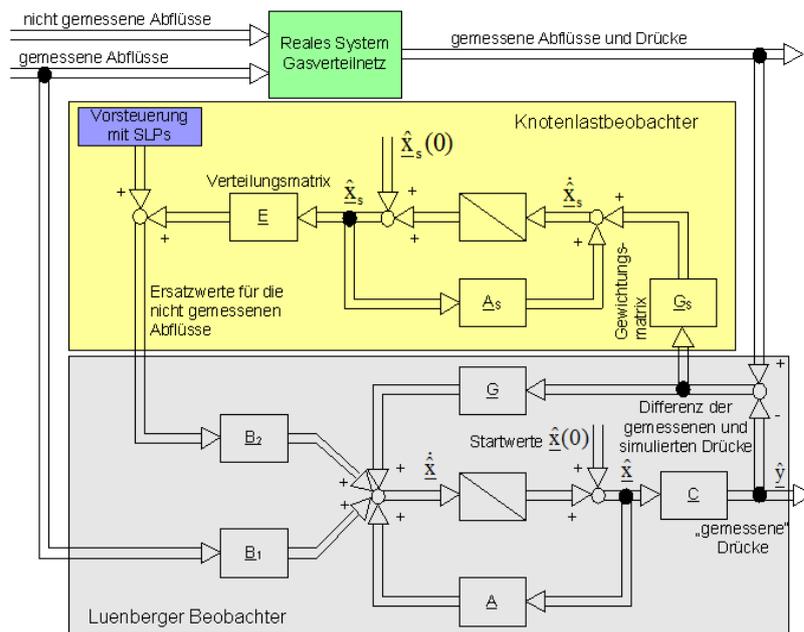


Abbildung 1: Strukturdiagramm des Simulationssystem mit Knotenlastbeobachter

Lösungsweg:

Als erster Schritt hin zu einer Implementierung eines Simulationssystems in das Netz der E.ON Avacon AG (siehe Abbildung 2) ist es notwendig eine Bestandsaufnahme der installierten Messeinrichtung durchzuführen. Anschließend werden für die ungemessenen Ausspeisungen 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 Ausspeiseknoten identifiziert, an denen eine zusätzliche Flussmessung installiert werden muss. Daran anschließend sind diese Messeinrichtungen zu installieren, was einen erheblichen Zeitaufwand mit sich bringt. Um schon zeitnah den

Projekt: Entwicklung einer vorausschauenden Online-Simulation von regionalen Gasverteilnetzen

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.

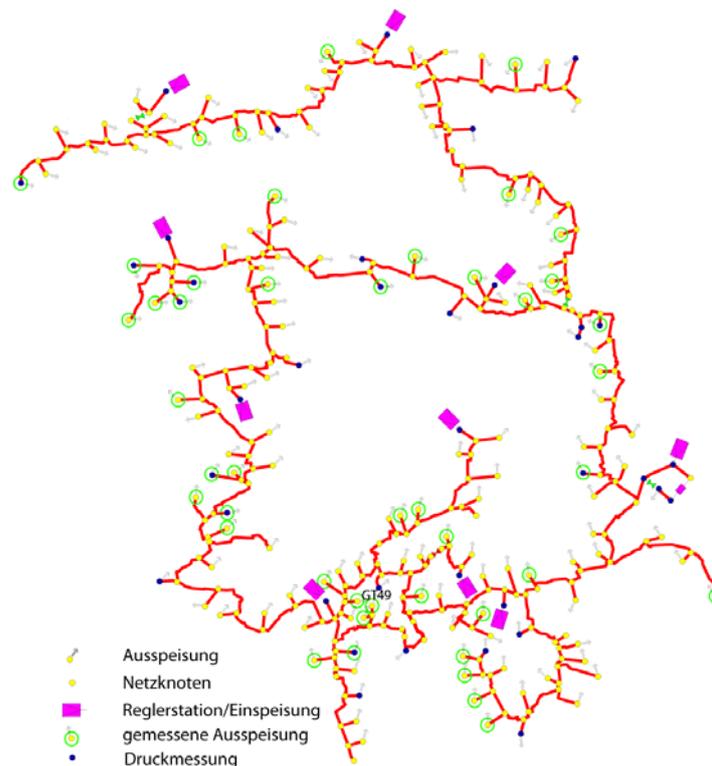


Abbildung 2: Netztopologie des E. ON Avacon Netzes

Daran anschließend wird der Knotenlastbeobachter für dieses Netz implementiert. Aufgrund der Größe des Netzes, die große Anzahl an unbekanntem Ausspeisungen und der daraus resultierenden Lösungsvielfalt, reicht der reine mathematische Beobachterentwurf nicht mehr zur Findung einer guten Lösung aus. Der Beobachter muss hierfür strukturell umgestaltet werden (siehe Abbildung 3) und es muss zusätzliches Systemwissen (z.B. über die Kundenstruktur, das Kundenverhalten, weitere Druckmessungen) beim Entwurf mit einbezogen werden. Daher werden neue Ansätze zur Besetzung der Beobachtermatrizen, ganz speziell der Verteilmatrix \underline{L} , untersucht.

Nach dem kompletten Ausbau der Messinfrastruktur werden die realen Messwerte zur Erprobung des Knotenlastbeobachters herangezogen.

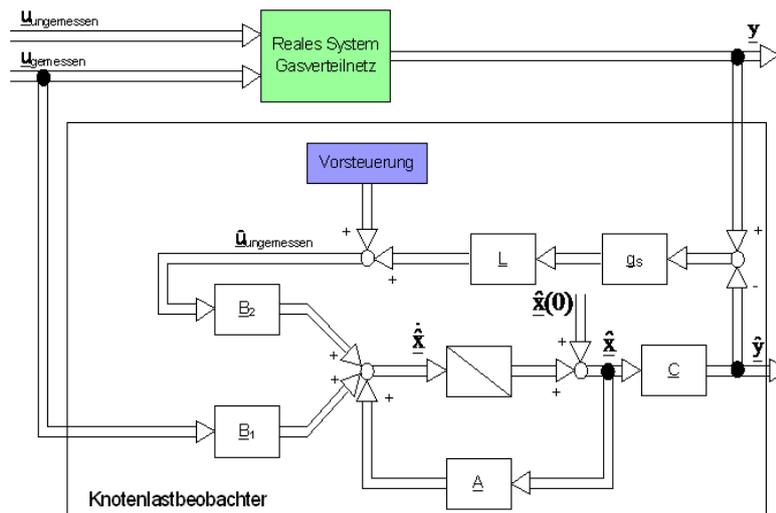


Abbildung 3: Modifizierter Knotenlastbeobachter

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 kann der direkte Vergleich mit Messwerten nur an zwei Ausspeisungen erfolgen. Des Weiteren können einzelne Drücke im Netz und ein Brennwert zur Validierung des Systems herangezogen werden. Eine temporäre Messung von weiteren Ausspeisestationen oder Rohrflüssen erscheint zu aufwendig. Statt dessen ist geplant, an verschiedenen Stellen im Netz mittels mobilen Gaschromatographen die Brennwerte zu messen und mit den simulierten Brennwerten zu vergleichen. Hierbei wird der Brennwert mittels der Steuerung einer Biogasanlage gezielt beeinflusst und Schwankungen erzeugt. Kommt es hierbei zu einer Übereinstimmung, kann daraus geschlossen wer-

Projekt: Entwicklung einer vorausschauenden Online-Simulation von regionalen Gasverteilnetzen

den, 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 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. Parallel hierzu ist ein kombiniertes Verfahren bestehend aus einem empirischen und einem mathematischen Ansatz zur Bestimmung der minimal notwendigen Messinfrastruktur entwickelt worden. Der Bau der zusätzlichen Messstellen wurde Ende 2009 ausgeschrieben, die Baumaßnahmen wurden in 2011 durchgeführt, so dass seit Dezember 2011 alle Messeinrichtungen auf deren korrekte Funktionsweise getestet werden konnten. Die korrekte Datenaufnahme ist seit März 2012 möglich.

Des Weiteren wurden die für die Simulation benötigten Druckmessstellen ausgewählt und ein Knoten als Teilnetzknotten definiert. Daran anschließend wurden drei zeitvariante Verfahren zur Auslegung der Verteilmatrix \underline{L} entworfen und softwaretechnisch implementiert. Für eines der Verfahren war es notwendig das Netz in sogenannte Druckgebiete zu unterteilen. Alle in einem Druckgebiet liegenden ungemessenen Ausspeisungen werden einer Druckmessung zugeordnet, welche dann beim Entwurf der Verteilmatrix verwendet wird. Mit diesen nach den drei Entwurfsverfahren entworfenen Knotenlastbeobachtern wurden verschiedene Testläufe durchgeführt, welche die

Funktionsfähigkeit des Systems zeigten. Exemplarisch ist hier ein Vergleich zwischen einem simulierten und einem gemessenen Brennwert in Abbildung 4 gezeigt, aus einer Simulation mit realen Messwerten. Hierbei ist zu erwähnen, dass der Brennwert an der Auspeisung aus Brennwerten von mindestens zwei Einspeisungen durch Mischung resultierte. Aus dieser sehr guten Nachbildung des Brennwertes mit einer mittleren Abweichung von -0,08% lässt sich folgern, dass auch die Rohrflüsse und Knotendrucke im Erdgasnetz sehr gut nachgebildet werden.

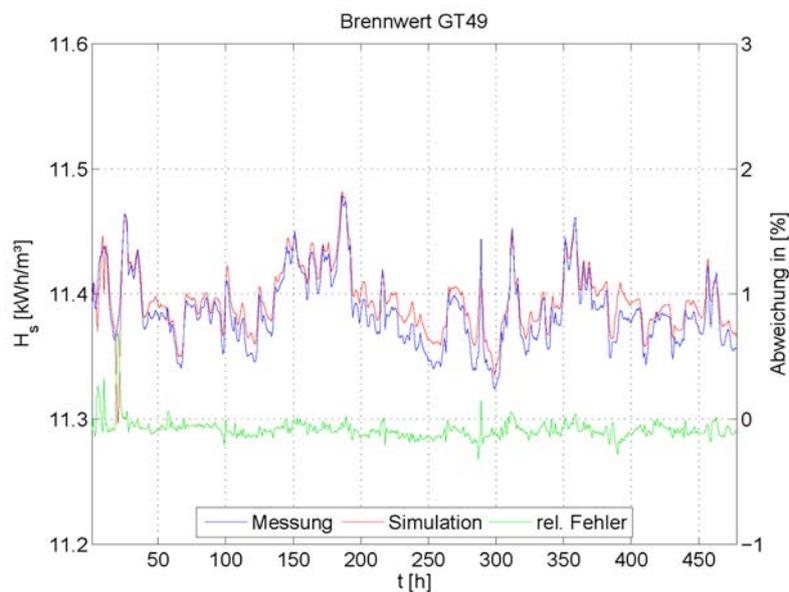


Abbildung 4: Gemessener und simulierter Brennwert an der Auspeisung GT49

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

Bearbeiter: Dipl.-Ing. Torsten Hager

Projektleiter: Dr.- Ing. Ernst-August Wehrmann (Tel: 72-2595)
wehrmann@iee.tu-clausthal.de

Projekt: Weiterentwicklung und metrologische Validierung von Messnetzen und Rekonstruktionssysteme 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.

Mit dem Ziel eine Handlungsanweisung für Rekonstruktionssysteme für Gasverteilnetze für Abrechnungszwecke zu entwerfen werden mehrere Untersuchungen zur Formulierung eines für die Wiedergabe der Dynamik regionaler Verteilnetze angemessenen Prozessmodells mit Zustandsbeobachter (verschiedene Auslegungsmethoden und Entwurfsverfahren) durchgeführt. Ein wichtiger Aspekt für die Genauigkeit der Rekonstruktion ist die Lage der Messstellen zur Stützung der Knotenlastbeobachtung. Mit Hilfe von empirischen Untersuchungen und Analysen der Systemmatrizen (Strukturmaße) werden die für das dynamische Verhalten maßgeblichen Steuer- bzw. Messgrößen ermittelt.

Die Entwicklung und grundsätzliche Validierung der Verfahren soll an verschiedenen Netztopologien erfolgen. Die Qualität bzw. Zuverlässigkeit der Zustandsbeobachtung ist durch den Vergleich mit Referenzmessungen zu überprüfen.

Ziel: Entwicklung von Verfahren und Werkzeugen zur Berechnung und quantitativen Beurteilung von Genauigkeit und Vertrauenswürdigkeit der Bestimmung von Abrechnungsbrennwerten und anderen Gasbeschaffenheitskenngrößen bei Gasverteilnetzen 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 Zustandsrekonstruktionssystemen 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 (Druck) 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 immer 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 Gasnetzstatus (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. Die Idee besteht darin ausgehend aus der Summe der gemessenen Ausspeisungen und dem Netzvolumen eine Fehlmenge zu berechnen die anschließend über ein optimales und regelungstechnisch stabiles Korrekturalgorithmus auf die ungemessenen Ausspeisungen (unbekannte Randwerte im Zustandsraummodell) verteilt wird. Bei dem Ansatz wird die berechnete Korrekturmenge interaktiv bei

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

Berücksichtigung des aktuellen Netzzustands optimiert. Das Vorzeichen der Druckdifferenz $P_{\text{mess}} - P_{\text{sim}}$ an jedem Ausspeiseknoten bestimmt die Korrekturrichtung an jeder ungemessenen Ausspeisung. Die Verteilungsfaktoren einer so genannten Beobachterrückführung E werden so angepasst dass die Massenbilanz erhalten bleibt [1].

Zur Optimierung der Messinfrastruktur wird eine systemtheoretische Analyse (mit Hilfe von Strukturmaßen) durchgeführt. Im Zusammenspiel mit empirischen Untersuchungen (Ausspeisemenge, 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 dem Verhältnis zwischen der Änderung des Ergebnisses und der 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 in verschiedenen Untersuchungsnetzen unterschiedlicher Topologie, Größe und Komplexität erfolgen. Die erfolgsversprechenden Ansätze sollen auch auf Regionalnetze mit dezentralen Einspeisungen insbesondere auch von Biogasen.

Projektstand: Zur Validierung des Simulationssystems mit Knotenlastbeobachter und Untersuchung der Brennwertverfolgung auf Robustheit, wurden die Ansätze auf ein großes und komplexes Netz der EON-Avacon in der Region Gardelegen erprobt. Die Netztopologie ist in Abbildung 1 dargestellt.

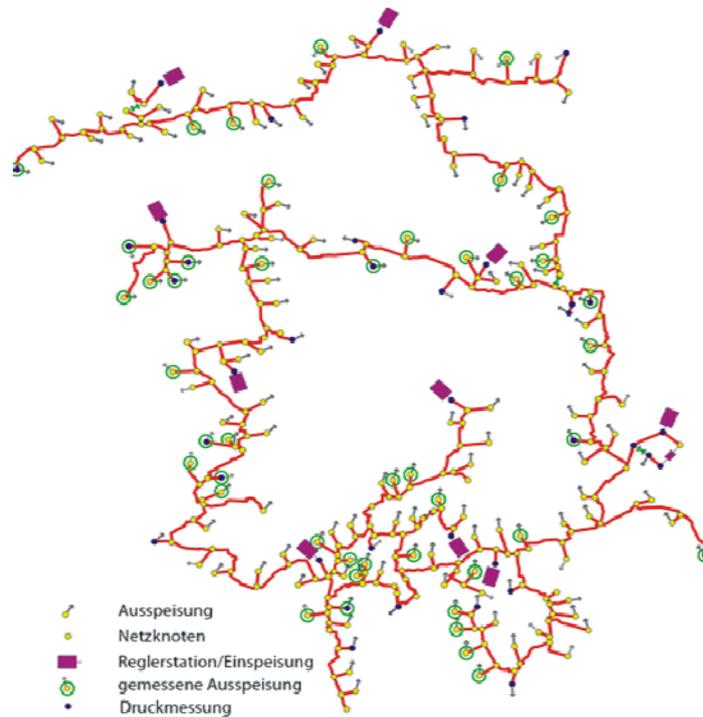
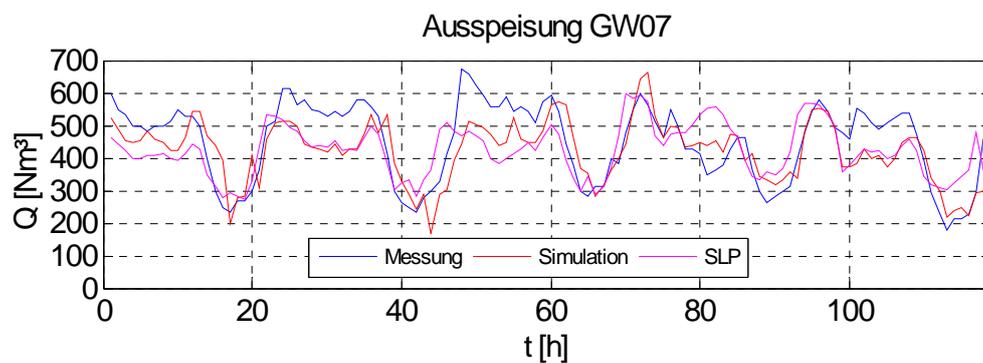


Abbildung 1: Netztopologie des E.ON Avacon-Netzes in Gardelegen

Das Netz setzt sich aus 468 Rohrleitungen und 462 Knoten, mit 213 Auspeisungen und 12 Einspeisungen, zusammen. Die mathematische Beschreibung hat eine Systemordnung von 930.

Erste Simulationsergebnisse am Netz Gardelegen sind beispielhaft für zwei Auspeisungen (für die Referenzmessungen zum Vergleich und Validierung vorliegen) in Abbildung 2 dargestellt.



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

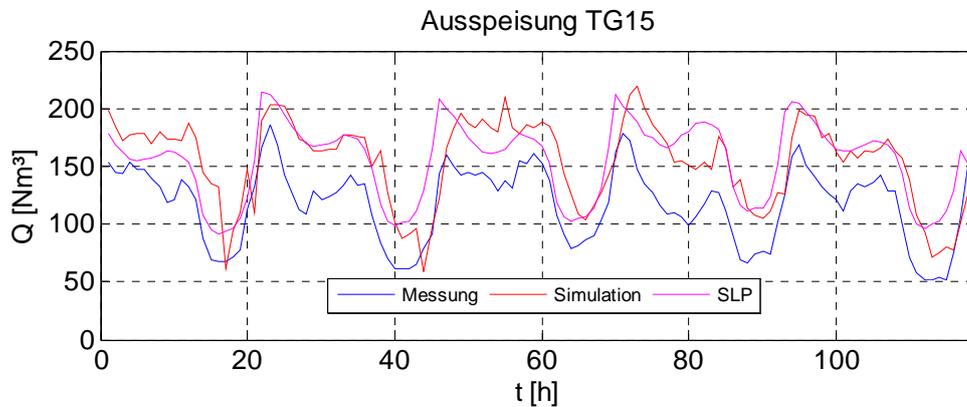


Abbildung 2: Vergleich Simulation, Messung, reale Messwerte

Die Verläufe konnten gut nachgebildet werden, Die mittlere relative Abweichung an der Auspeisung GW07 beträgt 14 % und an der Auspeisung TG15 ca. 19 %. Bei geringer Auspeisemenge an TG15 ist relative Abweichung größer. Die resultierenden Abweichungen in den Auspeisemengen bei Betrachtung der Stundenwerte haben allerdings, keinen direkten Einfluss auf die Genauigkeit der Brennwertrekonstruktion und die abrechnungsrelevanten Monatsmittelwerte des Brennwerts. Für die Validierung der Brennwertrekonstruktion wird eine Referenzmessung (mit Hilfe eines installierten Prozessgaschromatographs) zum Vergleich herangezogen. Das Simulationsergebnis ist in Abbildung 3 dargestellt.

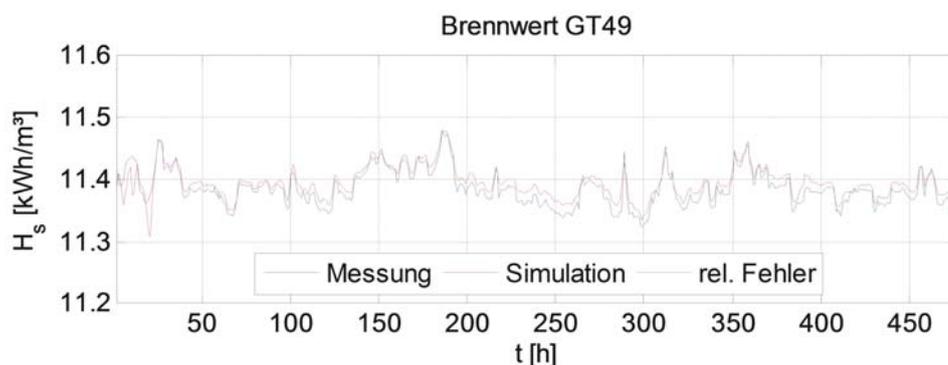


Abbildung 3: Vergleich simulierter Brennwert Messung

Der Verlauf des Brennwertes konnte gut nachgebildet werden. Die Flanken wurden auch exakt getroffen was eine genaue Berechnung der Fließgeschwindigkeiten nachweist. Die mittlere relative Abweichung bezogen auf den Messwert bei Betrachtung von Stundenwerten liegt zwischen 0,35 % und 0,47 %. Bei Betrachtung des Mittelwertes über den gesamten Simulationszeitraum (20 Tage) beträgt die Abweichung 0,08 % was deutlich unter der Eichfehlergrenze liegt. Damit hat sich die Brennwertverfolgung durch den Knotenlastbeobachter auch für ein großes Netz bewährt.

- Projektpartner:**
- PTB: Kompetenz im gesetzlichen Messwesen und bei Bestimmung von Messunsicherheiten
 - PSI AG: stellt geeignete Simulationsprodukte zur Durchführung und Unterstützung der Forschungsarbeiten zur Verfügung. PSI leistet zusätzlich Beratung im Forschungsumfeld insbesondere zur operationellen Anwendung der Simulations- und Rekonstruktionsverfahren
 - E.ON Avacon, Erdgas Südwest GmbH und andere Netzbetreiber: stellen Netz- und Messdaten für die Untersuchung zur Verfügung

Literatur: [1] T. Hager. Prozessbegleitende Erdgasveteilnetzsimulation mit integriertem Beobachter bei unvollständiger Messinfrastruktur, Dissertation TU Clausthal, 2013.

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

Dr.-Ing. Torsten Hager

Projektleiter: Dr.- Ing. Ernst-August Wehrmann (Tel: 72-2595)
wehrmann@iee.tu-clausthal.de

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 in elektrischen Netzen. Auch die Regelungstechnik mit den Möglichkeiten, unbekannte Netzgrößen zu beobachten, spielt eine wichtige Rolle.

Es ergeben sich hieraus für das Institut folgende Forschungsschwerpunkte:

- **Aktive Schwingungsdämpfung in verzweigten Antriebssystemen**
 - ▶ Aufbau eines Kleinprüfstandes zur Beurteilung der technischen Realisierbarkeit zur Dämpfung von Torsionsschwingungen
 - ▶ Keine Abstützung der Dämpfermaschine am Fundament, Abstützung erfolgt über die eigene Massenträgheit
 - ▶ Theoretische Untersuchungen zum möglichen Frequenzbereich der zu dämpfenden Schwingung
 - ▶ Konstruktion einer Dämpfermaschine nahe an einer späteren technischen Realisierung am bestehenden verzweigten Schwingungsprüfstandes

- **Schaufenster Elektromobilität: Tanken im Smart Grid**
 - ▶ Erprobung innovativer Ladegeräte und Ladealgorithmen für Elektrofahrzeuge zur Bereitstellung von standortabhängigen dezentralen Systemdienstleistungen
 - ▶ Einsatz des Fahrzeugspeichers als Momentanreserve und zur Primärregelung
 - ▶ Erfassung des aktuellen Zustandes des lokalen Netzbereiches durch das Fahrzeug im netzgekoppelten Zustand
 - ▶ Erstellung einer *Power Quality Map*
 - ▶ Prosumerzellenoptimierung mit dem Fahrzeugspeicher

- **Metrology for Smart Electrical Grids (SmartGrid) - EMPR Projekt ENG04**
 - ▶ Entwicklung eines Verfahrens zur Schätzung von nicht gemessenen Zustandsgrößen eines elektrischen Netzes zur Einsparung von Netzinfrastruktur
 - ▶ Untersuchung des an der TU Clausthal entwickelten *Knotenlastbeobachters* auf Eignung zur Rekonstruktion fehlender Netzdaten im Mittelspannungsnetz
 - ▶ Weiterentwicklung des *Knotenlastbeobachters* um einen sogenannten *Iterated Extended Kalman Filter*
 - ▶ Erprobung des Verfahrens mit Hilfe verschiedener Testdatensätze von elektrischen Netzen unterschiedlicher Struktur und unter Zuhilfenahme verschiedener Standardlastprofile

- **Aktive Schwingungsdämpfung in Antriebssträngen mit Planetengetrieben am Beispiel der Windkraft**
 - ▶ Entwicklung einer zusätzlichen Regelung um Schwingungen aktiv zu dämpfen
 - ▶ Verwendung eines Beobachters zur Ermittlung des Drehmomentes an der Hauptwelle der Windkraftanlage
 - ▶ Aufbau eines Prüfstandes zur Überprüfung und Validierung des Konzeptes
 - ▶ Auswertung des Belastungskollektivs zur Beurteilung des additiven Reglers

- **Weiterentwicklung des Konzeptes der partiellen Anodenabgas-Rückführung (AAGR) für propanbetriebene SOFC-Brennstoffzellensysteme**
 - ▶ Entwicklung der Steuerungstechnik zur Betriebsführung eines Systemdemonstrators zur Minimierung der Systemverluste
 - ▶ Test verschiedener Szenarien

- **Autarkes, thermisches hochintegriertes SOFC-Brennstoffzellen-System kleiner Leistung auf Propanbasis**
 - Aufbau einer Steuerung zur Betriebsführung des Brennstoffzellensystems mit Anodengasrezirkulation zur Nutzung der Prozesswärme
 - Reduzierung der Sensorik durch Einsatz von Beobachtern
 - Entwurf eines Energiemanagementsystems

Projekt: Aktive Schwingungsdämpfung in verzweigten Antriebssystemen

Problem: In verzweigten Antriebssystemen, deren Zweige ein identisches dynamisches Verhalten aufweisen, sind nicht weder vollständig beobacht- noch steuerbar [1]. Unerwünschte Schwingungen zwischen den Zweigen können daher nicht vom Hauptantrieb bedämpft werden.

Ein Beispiel für solch ein Antriebssystem sind Walzantriebe. In diesen 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 [2] auftreten. Sie führen zur Verschlechterung der Produktqualität und verkürzter Anlagenlebensdauer. Die Ursachen für die Schwingungen sind schwer zu erfassen und noch nicht endgültig geklärt.

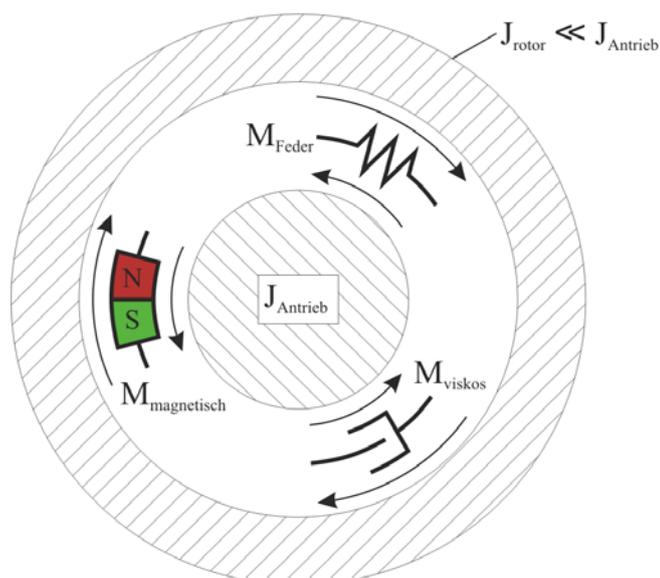
Ziel: An einem Kleinleistungsprüfstand soll ein Aktor entwickelt werden, mit dem unerwünschte Torsionsschwingungen in verzweigten Antrieben aktiv bedämpft werden können.

Stand der Technik: Seit 2002 wurde am IEE in zahlreichen Forschungsvorhaben die aktive Bedämpfung von Torsionsschwingungen in Antriebssträngen untersucht. Zur Bedämpfung der Schwingung wurde die Dämpfermaschine, eine Asynchronmaschine mit Kurzschlussläufer, 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 [3] an, so ergibt sich eine Grenzfrequenz von 16...25Hz.

Projektstand: Ein Kleinleistungsprüfstand mit Aktor wurde bereits im Jahresbericht 2012 vorgestellt (siehe Abbildung 1). Der Aktor ist als elektronisch kommutierte permanent erregte Gleichstrommaschine mit Außenläufer ausgeführt. Da zur aktiven Dämpfung nur mittelwertfreie Schwingungen und keine konstanten Drehmomente eingepreßt werden müssen, ist es möglich, die Maschine als Inertialmassenaktor zu betreiben, so entfällt eine Abstützung im Fundament.

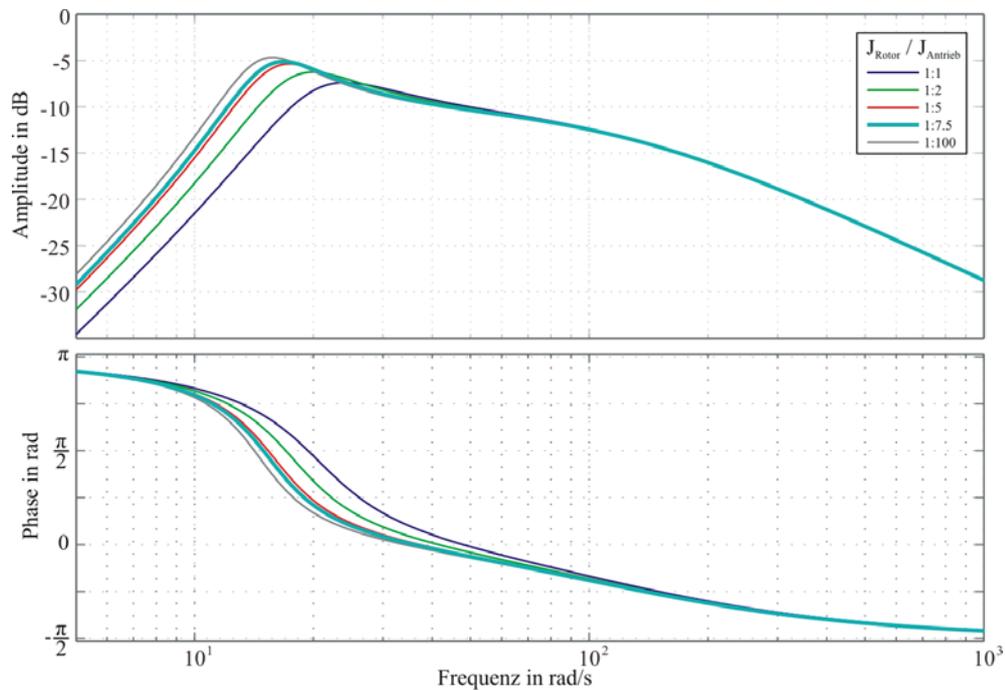


Abbildung 2 zeigt schematisch den mechanischen Freischnitt des Aktors, so dass die auf den Rotor und Stator wirkenden Drehmomente sichtbar werden. Die d'Alembertschen Hilfskräfte sind nicht dargestellt, wirken aber zusätzlich. Das eingezeichnete Federmoment wird durch zusätzliche Magnete an Stator und Rotor aufgebracht, die die Drehzahlen von Rotor und Stator synchron halten sollen. Dabei ist zu beachten, dass das Federmoment nur für kleine Rotorauslenkungen linear ist. Dies schränkt den Gültigkeitsbereich des später aufgestellten Modells ein. Die viskose Dämpfung bildet die Lagerreibung für beliebige Auslenkungswinkel ab.



Das magnetische Moment entspricht dem Luftspaltmoment der elektrischen Maschine und kann vom Benutzer durch die Einprägung eines Stroms eingestellt werden. Durch Messungen konnte gezeigt werden, dass dieses Drehmoment für kleine Auslenkungswinkel proportional zum in den Wicklungen fließenden Strom ist.

Berücksichtigt man neben dem dynamischen Verhalten des mechanischen Systems noch das des elektrischen Systems, lässt sich die Übertragungsfunktion des in den Prüfstand integrierten Aktors aufstellen. Im Bode-Diagramm (Abbildung 3), das den Zusammenhang zwischen der an den Wicklungen angelegten Spannung und dem Dämpfermoment darstellt, lässt sich leicht ablesen, dass der nutzbare Bereich des Aktors zwischen $2e1$ rad/s und etwa $1e2$ rad/s liegt. Außerhalb dieses Bereichs verhindern sowohl die zu große Phasenverschiebung als auch die zu kleine Verstärkung eine sinnvolle Nutzung.



Man sieht auch, dass sich der nutzbare Bereich für kleinere Verhältnisse von Rotormassenträgheitsmoment zu Massenträgheitsmoment des Antriebsstranges vergrößert. Bei der Dimensionierung des Aktors ist also darauf zu achten, das Massenträgheitsmoment nicht zu groß zu wählen.

Fazit: Das dynamische Verhalten des Aktors wurde mit Hilfe eines Modells, das für den gewöhnlichen Betriebsbereich Gültigkeit hat, beschrieben. Das Verhalten des Modell wurde im Bodediagramm dargestellt und liefert eine Aussage darüber, für welche Frequenzen der Aktor sinnvoll genutzt werden kann.

- Literatur:**
- [1] Lunze, Jan: Regelungstechnik 2, Mehrgrößensystem, Digitale Regelung: Springer, 2013
 - [2] Serope Kalpakjian, Steven R. Schmid and Ewald Werner: Werkstofftechnik - Herstellung Verarbeitung Fertigung, Pearson Studium, 2011
 - [3] Ulrich Riefenstahl, Jürgen Meins, Rainer Scheithauer and Herrmann Weidenfeller: Elektrische Antriebssysteme - Grundlagen, Komponenten, Regelverfahren, Bewegungssteuerung, Teubner, 2006

Bearbeiter: Dipl.-Ing. Markus Stubbe (Tel.: 72-3728)
markus.stubbe@tu-clausthal.de

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

Projekt: Schaufenster Elektromobilität: Tanken im Smart Grid

Problem: Vor dem Hintergrund der abnehmenden Kraftwerksleistung aufgrund des Kernkraftwerk-Moratoriums und des zögerlichen Zubaus neuer Kraftwerke wird das Energieversorgungssystem vor große Herausforderungen gestellt. Zudem ist eine Flexibilisierung des Versorgungssystems wegen der immer steiler verlaufenden Residuallastgradienten notwendig. Darüber hinaus stellt sich die Frage, wie in Zukunft Primär- und Sekundärregelleistung erbracht werden soll, die bislang von Großkraftwerken bereitgestellt wurde.

Ziel: Ziel des Projektes ist die Entwicklung und Erprobung innovativer Ladegeräte und Ladealgorithmen für Elektrostraßenfahrzeuge, um damit einen Beitrag zur dynamischen Systemstabilität elektrischer Netze liefern zu können.

Lösungsweg: Im Kern der Arbeiten stehen Untersuchungen zur Einbindung auto-mobiler Energiespeicher in die elektrische Energieversorgung zur Erbringung von dezentralen, standortabhängigen Systemdienstleistungen.

Andere derzeit laufende und angestrebte Projekte nutzen die Speicher von Elektrofahrzeugen als reine Energiespeicher. In diesem Projekt wird die Nutzung der Fahrzeugspeicher als „Leistungsspeicher“ für die Momentanreserve, zur Primärregelung und weitergehende Systemdienstleistungen untersucht.

Aufgrund unterschiedlicher Topologien und lokaler Lastzustände ist für die Parametrisierung der dynamischen Reaktion der Laderegler auf Netzereignisse eine standortbezogene Optimierung der Parameter von Vorteil.

Als mobile Einheiten können Elektrofahrzeug während der netzgekoppelten Phase (Plugged-In) den aktuellen Zustand des lokalen Netzbereiches diagnostizieren und für Netzbetreiber wertvolle Daten erheben. Die erhobenen Daten werden in aggregierter Form als „Power Quality Map“ zur Verfügung gestellt. Im Kontext der Entwicklung hin zum „Smarter Grid“ kann auf diese Weise das Sensornetz für eine Netzüberwachung dichter geknüpft werden, um somit eine weiterhin hohe Versorgungsqualität zu gewährleisten.

Im Rahmen dieses Projektes werden die beschriebenen drei Funktionalitäten Systemdienstleistungen, Prosumerzellenoptimierung und Power Quality Map untersucht und in marktverfügbare Elektrofahr-

zeuge integriert.

Projektstand: Das Projekt ist in Bearbeitung.

Projektpartner:

- Institut für Informatik (IfI), TU Clausthal
- Institut für Prozess- und Produktionsleittechnik (IPP), TU Clausthal
- Energie-Forschungszentrum Niedersachsen (EFZN)
- Bornemann AG (BAG)
- Business Communication Company GmbH (BCC)
- Bundesverband Solare Mobilität e. V. (bsm)
- Forschungsstelle für Energiewirtschaft e. V. (FfE)
- RegenerativKraftwerke Harz GmbH u. Co. KG (RKWH)

gefördert durch: Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi)

Bearbeiter: Dipl.-Wi.-Ing. Gunnar Kaestle (Tel.: 72-2572)
gunnar.kaestle@tu-clausthal.de

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

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

Projekt: EMRP Projekt ENG04 - Metrology for Smart Electrical Grids (SmartGrid)

Problem: Die Struktur elektrischer Netze wandelt sich zunehmend von einem rein passiven Verteilnetzsystem hin zu einem aktiven System mit diversen dezentral einspeisenden Erzeugern und Verbrauchern. Ein solches Netz erfordert in besonderem Maße die Überwachung von Strom und Spannung an den einzelnen Netzknoten.

Die Installation einer vollständigen Messinfrastruktur in einem solchen Netz ist sehr aufwändig und teuer. Aus diesem Grund besteht ein großer Bedarf an Verfahren, die Strom und Spannung an allen Knoten aus einer unvollständigen Messinfrastruktur schätzen können.

Ziel: Im Rahmen des Forschungsprojekts soll ein Verfahren (weiter) entwickelt werden, mit dem nicht gemessene Systemzustände in einem elektrischen Netz geschätzt werden können. Ziel ist es dieses Verfahren an verschiedenen Netzstrukturen sowie an Daten eines realen Netzes zu erproben.

Stand der Technik: Das Verfahren des Knotenlastbeobachters (Nodal Load Observer NLO) wurde an der Technischen Universität Clausthal im Rahmen der Dissertation von zum Hingst, 2009 entwickelt. Es handelt sich um einen Algorithmus, zur Online-Überwachung von Netzgrößen in Mittelspannungsnetzen, der neben der Rekonstruktion von unbekanntem Netzgrößen aus Messungen und Pseudomessungen, aus Standardlastprofilen zusätzlich Korrekturen der fehlerbehafteten Pseudomessungen und damit genauere Schätzgrößen aller Netzgrößen berechnet.

Lösungsweg: Im Rahmen des Projekts wurde das Verfahren des Knotenlastbeobachters weiterentwickelt. Ein sogenannter Iterated Extended Kalman Filter wurde parametrisiert, um so die Systemzustände besser schätzen zu können. Der prinzipielle, verbesserte Aufbau, der im Projekt entwickelt wurde, ist in Abbildung 1 dargestellt.

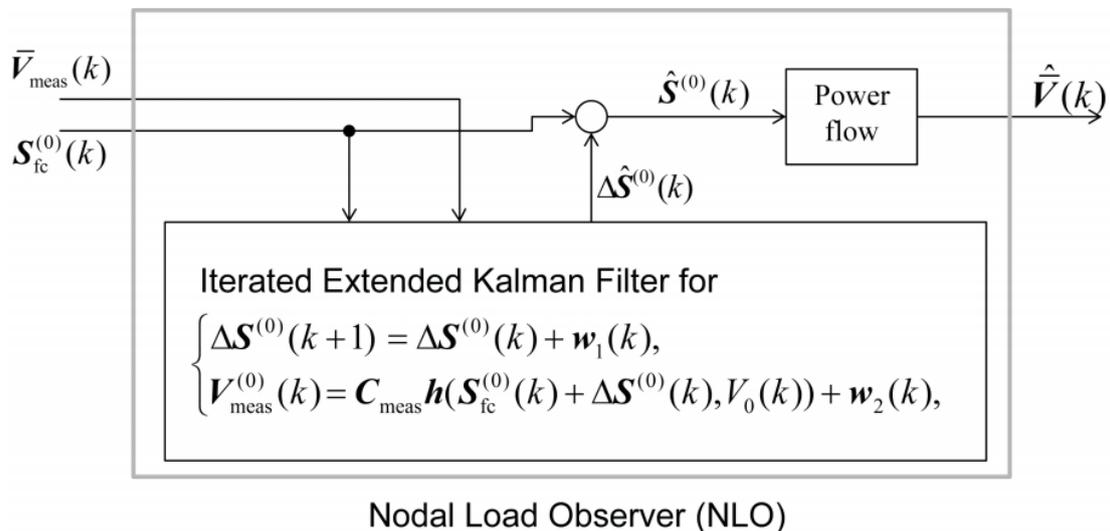


Abbildung 1: Grundsätzliche Struktur des Knotenlastbeobachters (Nodal Load Observer NLO), der im Projekt verwendet wurde. (Grafik: Heins)

Mit Hilfe der Software MatPower wurden anschließend verschiedene Testdatensätze von elektrischen Netzen unterschiedlicher Struktur generiert und das Verfahren des Knotenlastbeobachters an diesen Testdatensätzen erprobt. In Kooperation mit der National Physical Laboratory (NPL) und der Universität Strathclyde wurden außerdem Messungen am Labornetz der Universität Strathclyde durchgeführt. Dieses verfügt über insgesamt fünf Netzknoten sowie mehrere variable Einspeise- und Abnahmepunkte. In Abbildung 2 sind Messergebnisse für ein Szenario mit Spannungsmessung an insgesamt drei Knoten dargestellt. Es zeigt sich, dass der Knotenlastbeobachter sehr gute Ergebnisse liefert, wenn das betrachtete elektrische Netz, wie in diesem Fall, die Eigenschaft der Beobachtbarkeit aufweist, also wenn an ausreichend vielen Netzknoten eine Messung erfolgt.

In der Realität ist dies jedoch häufig nicht der Fall. Dann basiert die Qualität der Ergebnisse stark auf der Güte von Pseudomessungen aus Standardlastprofilen, also Voraussagen des zukünftigen Netzverhaltens anhand von Erfahrungswerten.

In Mittelspannungsnetzen, wie im Projekt betrachtet, sind diese Standardlastprofile gut vorherzusagen und der Knotenlastbeobachter zeigt gute Ergebnisse. Das Verfahren lässt sich so jedoch nur bedingt

Projekt: EMRP Projekt ENG04 - Metrology for Smart Electrical Grids (SmartGrid)

auf Niederspannungsnetze erweitern, da hier keine solchen Standardlastprofile vorliegen.

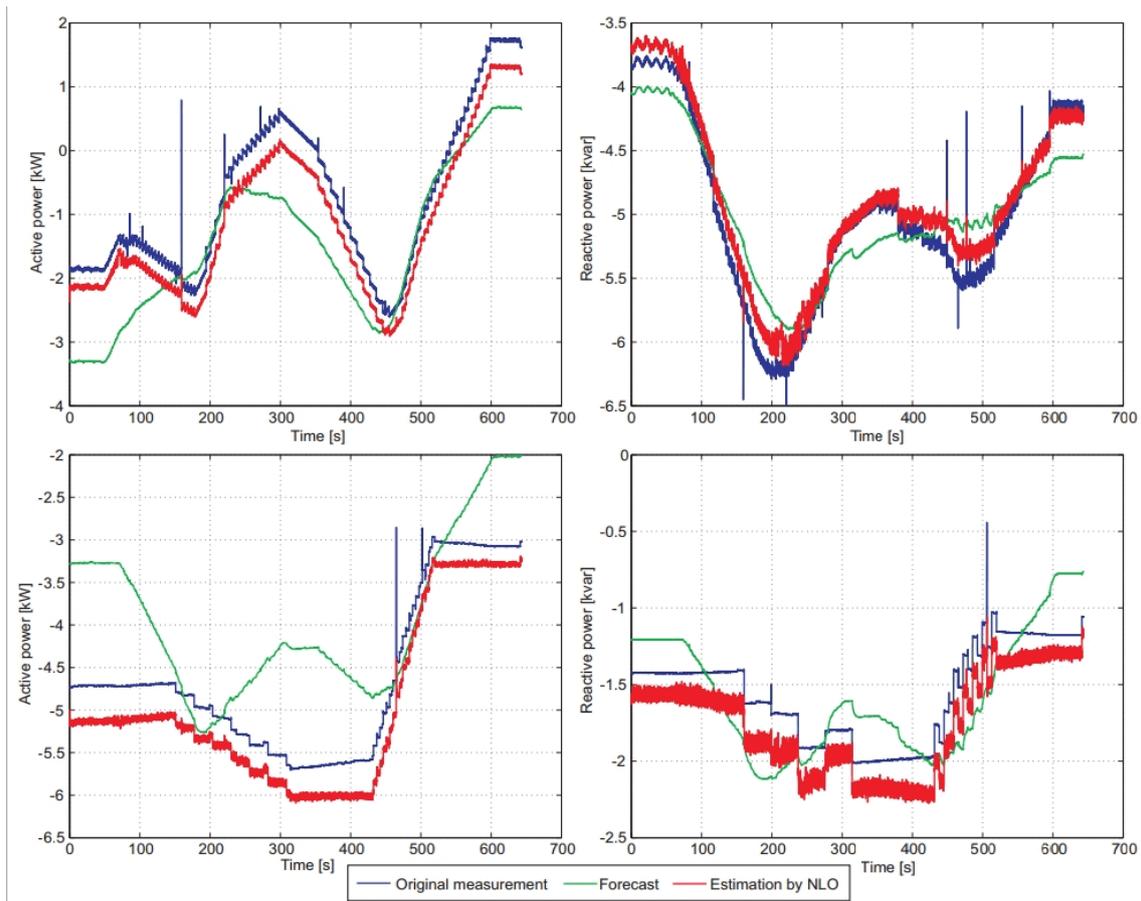


Abbildung 2: Gemessene (blau) und geschätzte (rot) Wirk- und Blindleistung an einem Knoten sowie dazu angenommenes Standardlastprofil (grün). (Grafik: Heins)

Projektstand: Das Projekt wurde im August 2013 erfolgreich abgeschlossen. Ab Juni 2014 wird die Kooperation im Rahmen eines EMRP Folgeprojekts fortgeführt.

Projektpartner:

- Physikalisch technische Bundesanstalt (PTB), Berlin
- National Physical Laboratory (NPL), Teddington
- Universität Strathclyde, Glasgow
- Institut für Elektrische Informationstechnik (IEI), TU Clausthal

gefördert durch: European Metrology Research Programme (EMRP), Programme of EURAMET

EMRP
European Metrology Research Programme
► Programme of EURAMET



The EMRP is jointly funded by the EMRP participating countries within EURAMET and the European Union

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

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

Projekt: Aktive Schwingungsdämpfung in Antriebssträngen mit Planetengetrieben am Beispiel der Windkraft

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.

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 die Windlast sowie Böen und bestimmte Sonderereignisse.

Ziel: In diesem Vorhaben soll eine zusätzliche Regelung entwickelt werden, um Schwingungen an solchen Antriebssträngen aktiv zu dämpfen. Exemplarisch wird das Beispiel einer Windkraftanlage betrachtet. Der Regler wird so ausgelegt, dass er an verschiedenen gängigen Generatorkonzepten mit feldorientierter Regelung (Synchronmaschine, Asynchronmaschine mit Vollumrichter und doppelt gespeist) anwendbar ist.

Deutlich bessere Ergebnisse sind zu erwarten, wenn das Drehmoment auf beiden Seiten des Getriebes bekannt ist und so das Differenzmoment der Getriebewellen ausgeregelt werden kann.

Bei Antriebssträngen mit einem Getriebe mit großer Übersetzung, wie dies in Windkraftanlagen üblich ist, ist es aufwändig, das sehr hohe Moment an der langsam drehenden Welle zuverlässig zu messen. Aus diesem Grund soll in diesem Vorhaben mit einer dynamischen Beobachtung des Drehmoments gearbeitet werden.

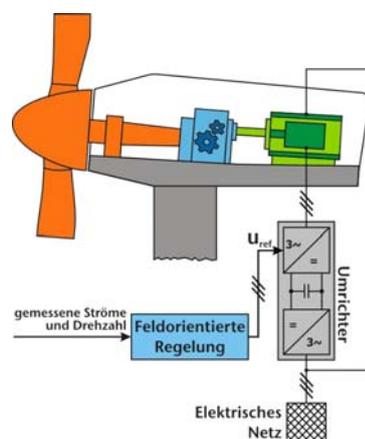


Abbildung 1: Grundsätzlicher Aufbau einer Windkraftanlage mit doppelt gespeister Asynchronmaschine und Getriebe

Stand der Technik:

Die aktive Dämpfung von Antriebsschwingungen ist am Institut für Elektrische Energietechnik (IEE) seit langem ein Forschungsthema. Bei Antriebssträngen, die eine elektrische Drehfeldmaschine beinhalten, ist es prinzipiell möglich über die feldorientierte Regelung der Maschine eine Dämpfung zu erreichen. Hierbei kann ein Dämpfungseffekt entweder durch Anpassen des bestehenden Regelungskonzepts oder mittels eines zusätzlichen Reglers erreicht werden.

Bei einer Windkraftanlage kann die Schwingungsdämpfung zum einen über die Regelung zur Einstellung des Pitch-Winkels, also durch eine Verstellung des Rotorblatts, oder über die feldorientierte Regelung des Generators erfolgen.

Bei Antriebssträngen, die ein Getriebe mit großer Übersetzung beinhalten, ist es im Besonderen kompliziert das hohe Drehmoment an der langsam drehenden Welle zuverlässig zu messen. Es gibt Drehmomentmesswellen, die solche großen Momente messen können, jedoch sind dies aufwändige und teure Sonderanfertigungen und bei rauhem Klima störanfällig.

Lösungsweg:

Der Entwurf von Regler und Beobachtung wird zunächst exemplarisch in einer Simulation durchgeführt, die Generator, mechanischen Komponenten und die Regelung beinhaltet. Hierzu wird die Software Matlab/Simulink verwendet.

Anschließend sollen die Ergebnisse an einem Prüfstand validiert werden, der den Antriebsstrang einer Windkraftanlage mit doppelt gespeistem Asynchrongenerator und allen wichtigen mechanischen und elektrischen Bauelemente einer solchen Anlage in kleinerem Maßstab nachbildet. Eine solche Anlage ist schematisch in Abbildung 1 dargestellt, der Prüfstand selbst in Abbildung 2. Ein High-Torque Motor dient zur Nachbildung der Windlast.

Projekt: Aktive Schwingungsdämpfung in Antriebssträngen mit Planetengetrieben am Beispiel der Windkraft

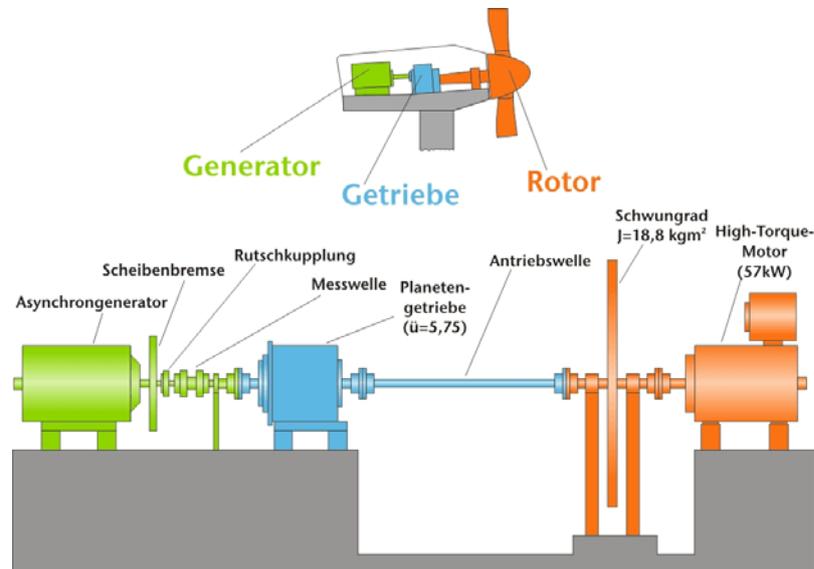


Abbildung 2: Schematische Darstellung des Prüfstands zur Nachbildung des Antriebsstranges einer Windkraftanlage am IEE

Projektstand: Das für den Regler- und Beobachtungsentwurf benötigte Modell wurde in Matlab/Simulink implementiert und getestet. Für eine Vorstudie wurde zunächst eine vereinfachte "Regelung zur Erhöhung der Lebensdauer des Antriebsstrangs" (RELA) entwickelt, die einen korrigierenden Drehzahl-Sollwert für die Drehzahlregelung ermittelt, der dem ursprünglichen Sollwert überlagert wird und so die Torsionsschwingungen im Antriebsstrang reduziert. Der Regler basiert auf der Idee, dass durch Ausregeln der Drehbeschleunigung die Belastung durch Schwingungen reduziert werden kann. Erste Ergebnisse zeigen, dass auf diese Weise eine aktive Dämpfung von Schwingungen im Antriebsstrang möglich ist. In Abbildung 3 ist das Differenzmoment der Getriebewellen über der Zeit dargestellt. Diese Differenz belastet das Getriebe und sämtliche Antriebselemente. Der blaue Verlauf zeigt das Verhalten ohne, der rote das mit RELA-Regelung. Darunter sind die mit einer Rainflow-Zählung ermittelten Lastkollektive in beiden Fällen dargestellt. Die reduzierte Schwingungsbelastung am Antriebsstrang ist deutlich erkennbar. Die Lebensdauer der mechanischen Bauteile wird durch diese Maßnahme nennenswert erhöht.

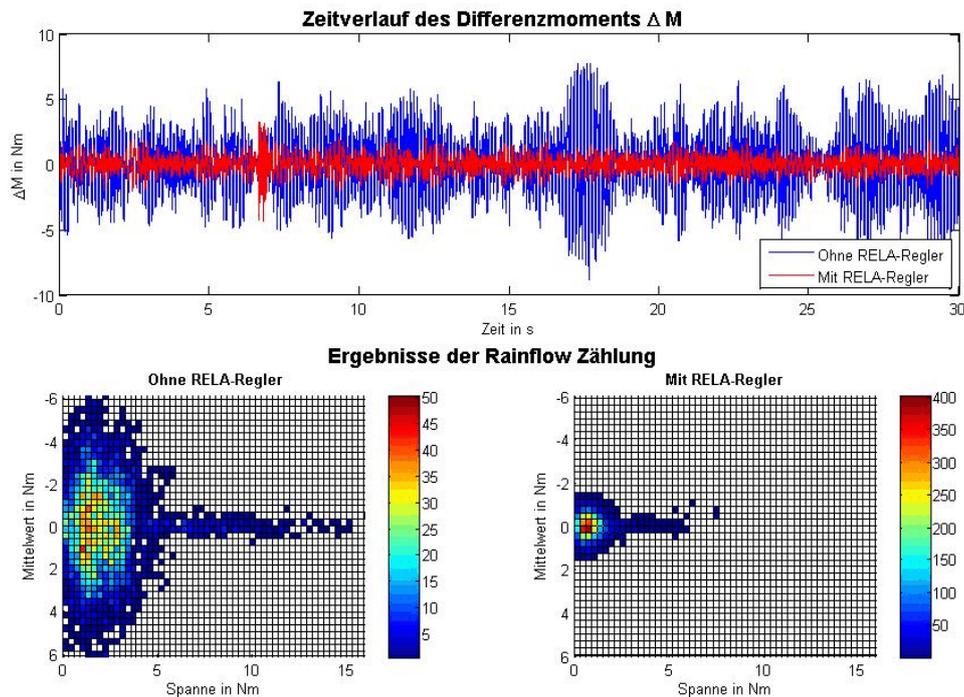


Abbildung 3: Oben: Zeitverlauf des Differenzmoment der Getriebewellen, dass das Getriebe belastet, ohne (blau) und mit (rot) der “Regelung zur Erhöhung der Lebensdauer des Antriebsstrangs” (RELA).
 Unten: Ergebnisse der Rainflow Zählung des Differenzmoments mit und ohne RELA-Regler. Farblich dargestellt sind die Anzahl der Schwingungen mit dem jeweiligen Wert.

Alle für den Prüfstandsumbau notwendigen Komponenten wurden bereits geliefert. Der Umbau wird in den nächsten Monaten durch Werkstattmitarbeiter durchgeführt.

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

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

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 (Abbildung 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.



Abbildung 1: Festoxidbrennstoffzelle (wie sie im Teststand verbaut wurde)

Ziel:

Auf Empfehlung des Projektausschusses im Vorgängerprojekt ist die elektrische Nennleistung des Versuchsträgers von 300W auf 1000W gesteigert worden. Somit ist das System für den Großteil der Freizeitanwendungen ausreichend skaliert. Dieses Ziel hatte einen Baugruppen-Scale-up aller Hauptkomponenten um den Faktor 3 zur Folge. Da die fortschreitende Brennstoffzellenentwicklung den Zugriff auf ständig bessere Zellen ermöglicht, ist eine Flexibilität im Hinblick auf den Einsatz neuer Stacks in Grenzen gewährleistet. Der Betrieb soll in diesem Projekt wärmeautark erfolgen, so dass eine konstruktionsgerechte Isolierung ausgelegt wurde. Alle Komponenten sind aufeinander abgestimmt und optimiert, 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 wird der betroffene An- und Abfahrbetrieb untersucht und in Richtung Rußmininierung ausgelegt. Darüber hinaus wird der Einsatz von Regenerationsstrategien geprüft. Ein optimierter Systemaufbau und eine verbesserte Injektorcharakteristik haben die Druckverluste im System weiter minimiert und zu einem stabilen Betrieb geführt. Das Institut für Elektrische Energietechnik hat in diesem Projekt die Steuerungselektronik des AAGR-Systems umgesetzt und das Betriebssystem für den Prüfstand entworfen. (Abbildung 2).

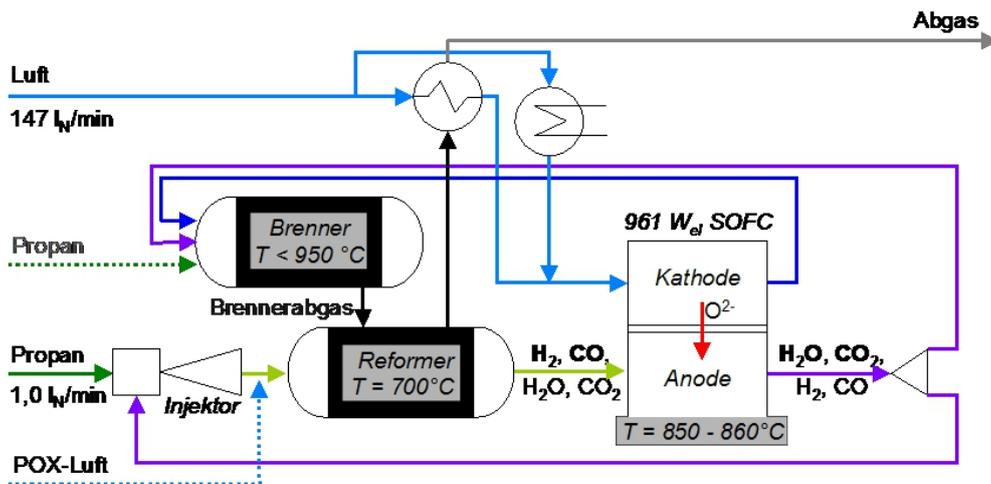


Abbildung 2: Fließbild des SOFC-Systems mit Anodenabgasrecycling

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

Projektstand: Nach zwei ausführlichen Testphasen wurde das Projekt zum 31.01.2013 erfolgreich abgeschlossen.

Zur Minimierung der thermischen Verluste wurden eine separat isolierte Einhausung (Hot-Box) für die stackunabhängigen Komponenten und ein Wärmetauscher eingesetzt.

Die Injektorgeometrie und Rohrverlegung wurde im Hinblick auf Druckminimierung optimiert.

Um auch ohne den Teststand für die Auslegung des Systems Kennwerte zu generieren, wurde die Echtzeit-Simulation aus dem Vorgängerprojekt auf die neuen Rahmenbedingungen angepasst. Mit Hilfe eines Software-in-the-Loop-Konzeptes konnte die Betriebsführung vor dem Einsatz am Teststand getestet werden.

Es wurde eine für die Betriebsführung anforderungsgerechte Steuerung ausgelegt, die intern über verschiedene Sicherheitsmaßnahmen verfügt.

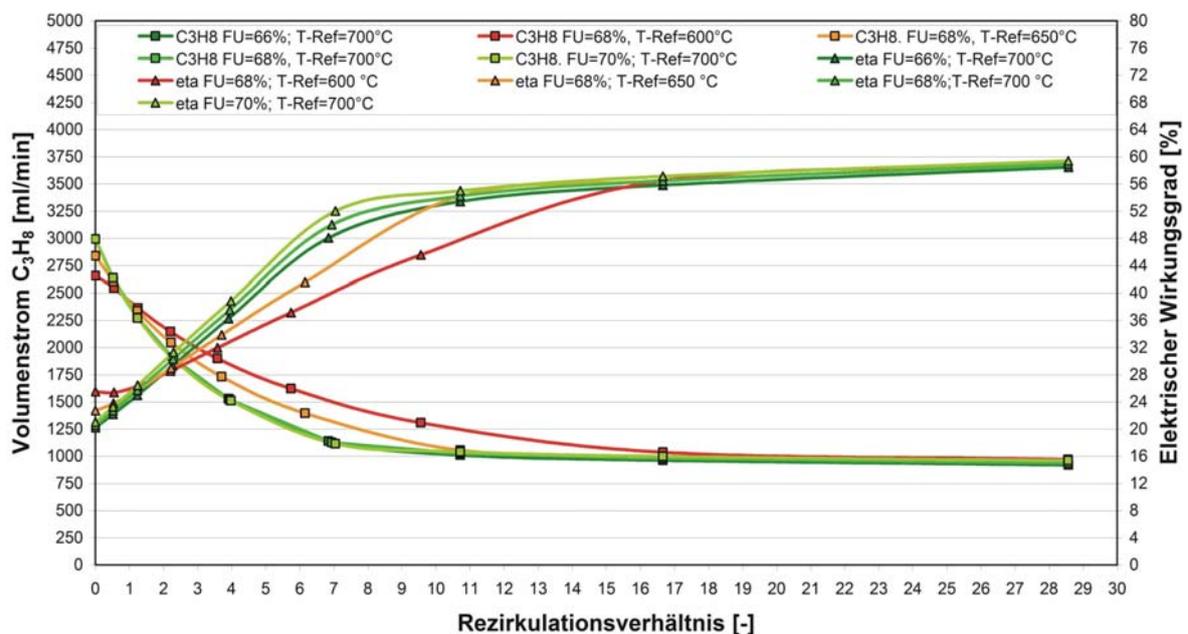


Abbildung 3: Gesamter Propanvolumenstrom (Quadrate) und elektrischer Gesamtwirkungsgrad (Dreiecke) in Abhängigkeit des Rezirkulationsverhältnisses

- Projektpartner:**
- Siemens, Berlin/München
 - Bosch, Gerlingen
 - Vaillant, Remscheid
 - New Enerday, Neubrandenburg
 - Staxera, Dresden
 - Umicore, Hanau
 - FuelCon, Barleben
 - TLK-Thermo, Braunschweig
 - DVFG, Berlin
 - EcoEnergy, Göttingen
 - Escena, Braunschweig
- Bearbeiter:**
- Dipl.-Ing. Alexander Oberland (Tel.: 72-2938)
alexander.oberland@tu-clausthal.de
- Dipl.-Ing. Torben Küster
- Projektleiter:**
- Prof. Dr.- Ing. H.-P. Beck (Tel: 72-2570)
info@iee.tu-clausthal.de

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 bei Wirkungsgrad, Leistungsdichte, Lebensdauer und Kosten geführt. Speziell die Festoxidbrennstoffzelle (SOFC) und Niedertemperatur-PEM etablieren sich zunehmend als Alternative zu konventionellen Lösungen, wie zum Beispiel Dieselgeneratoren. Innerhalb verschiedener Vorzeigeprojekte, wie beispielsweise Callux, werden deutschlandweit Systeme in der Praxis eingesetzt, um notwendige Erfahrungen für eine Markteinführung zu sammeln. Unternehmen warten auf Lösungskonzepte aus der Wissenschaft um Brennstoffzellensysteme konkurrenzfähig am Markt zu platzieren.

Ziel: Es wird ein prototypennahes autarkes Hochtemperatur-Brennstoffzellen-System entwickelt. 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 oder Signalanlagen 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 Forschungsinstitute zusammen. 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: Nach drei Testphasen ist das Projekt erfolgreich abgeschlossen. Es wurde ein Energiemanagement entworfen mit dem eine Implementierung in bestehende Konzepte z. B. ein 12 V-Bordnetz eines Wohnmobils möglich ist. Hierbei wird die 12V-Spannungsebene über Wandler angebunden. Das System arbeitet primär mit 24V (Abbildung 1). Als Steuerung dient eine bereits ausgelegte erweiterbare SPS. Anhand der Anforderungen aller Projektpartner ist ein Konzept für Mess- und Steu-

ertechnik erstellt und implementiert worden.

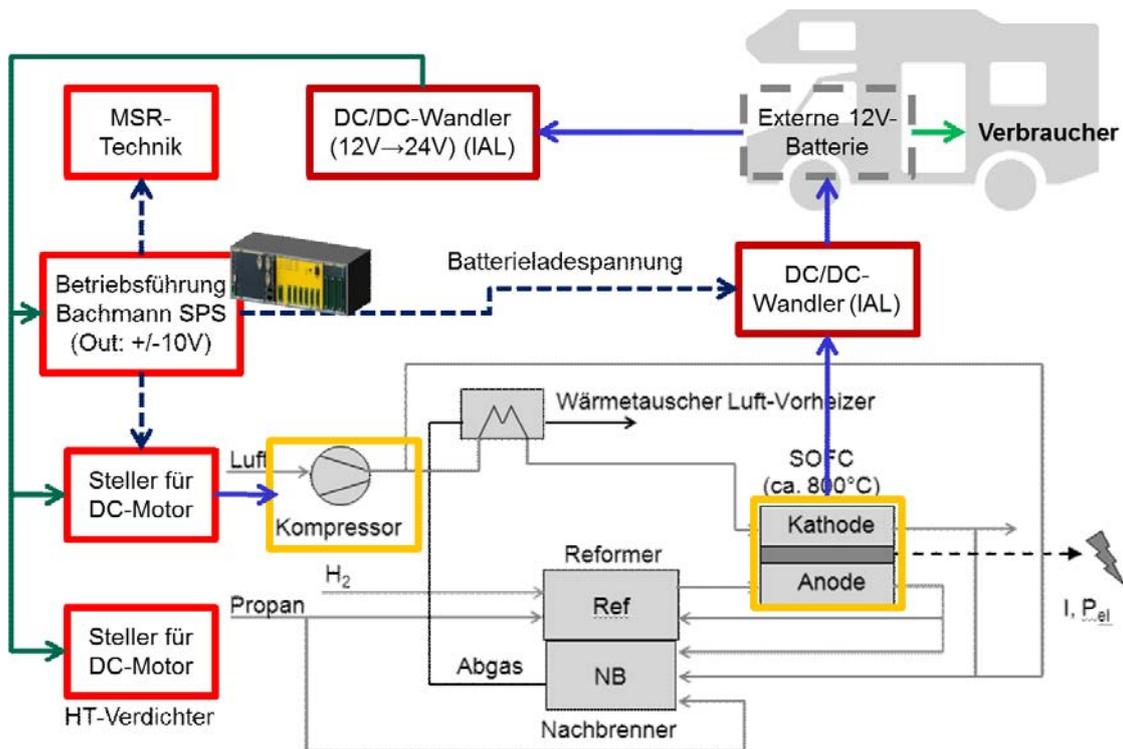


Abbildung 1: Energiemanagement des Projektkonzepts

Der laufende Betrieb wird teilautomatisch gesteuert. Insbesondere die langen An- und Abfahrprozesse können automatisiert durchgeführt werden.

Es wurden Sicherheitsanforderungen definiert und ein Konzept zur Betriebssicherheit entworfen.

Weiterhin wurden aus verschiedenen Anforderungen Lastprofile erarbeitet, um das elektrische System optimal auslegen zu können. Durch Nutzung von Prozesswärme konnte der Wirkungsgrad des Systems erhöht werden.

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

Projektpartner:

- 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. Alexander Oberland (Tel.: 72-2938)
alexander.oberland@tu-clausthal.de

Dipl.-Ing. Torben Küster

Projektleiter: Prof. Dr.- Ing. H.-P. Beck (Tel: 72-2570)
info@iee.tu-clausthal.de

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 immer gedeckt wird. Eine Zeitverzögerung zwischen Bedarf und Bereitstellung durch das Versorgungssystem ist in vielen Fällen unzulässig und führt zum Versagen des Systems. Energiespeicher sind deshalb in zahlreichen 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, Bordnetze und elektrische Antriebssysteme 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 von Betriebsdaten zeigt, dass Batterien oft sehr hohen dynamischen Belastungen unterworfen werden, selbst wenn der mittlere Energiedurchsatz gering ist, und reale Nutzungsbedingungen sich sehr deutlich von den Bedingungen unterscheiden, die im Labor zur Untersuchung der Eigenschaften, Alterung und des Systemverhaltens verwendet werden.

Die in der Arbeitsgruppe durchgeführten Projekte umfassen vor allem:

- Projekte zur Modellierung des Systemverhaltens auch bei Alterungsprozessen, der Lebensdauerprognose, dem Verhalten bei sehr hohen dynamischen Belastungen und der Auswirkungen konstruktiver Optionen
- Die Analyse realer Anforderungsprofile und Betriebsdaten, und
- Studien zum Einsatz von Batterien in Gesamtsystemen auch in Abgrenzung zu möglichen Alternativen.

Elektrochemische Umwandlungssysteme wie Brennstoffzellen und Elektrolyseure werden

ebenfalls bzgl. dieser Fragestellungen untersucht. Neben den im Folgenden genannten Projekten wurden auch zahlreiche studentische Abschlussarbeiten zu diesen Themenbereichen durchgeführt.

- **Hochdynamisches Verhalten von Batterien**

- ▶ Der Spannungsverlauf einer Batterie bei schnellen Stromänderungen zeigt ein ungewöhnliches Verhalten und kann nicht mit den üblichen Ersatzschaltbildern einer Batterie erklärt werden. Untersuchungen dazu wurde im Rahmen des DFG-Projekts “Leistungsstarke Kurzzeit Energiespeichersysteme”, das Mitte 2012 abgeschlossen wurde, durchgeführt und in der Dissertation “Dynamisches Verhalten von umrichter gespeisten Energiespeichersystemen” von Ralf Benger, die im Dezember 2012 abgeschlossen wurde, umfassend beschrieben. Die Ergebnisse zeigen, dass sehr hohe dynamische Strombelastungen bei bestimmten Batteriesystemen in Abhängigkeit von ihrer Bauform zur Erwärmung und ggf. einer Lebensdauerverkürzung führen können. Die Untersuchungen werden in einem weiteren DFG-Projekt “Alterungsmodelle von Lithium-Ionen Batterien am Beispiel von Elektrofahrzeugen” weitergeführt.

- **Alterung und Lebensdauerprognose**

- ▶ Neben den Alterungsuntersuchungen im Rahmen des DFG-Projekts werden auch im Graduiertenkollegs GEENI Arbeiten zu Alterungsprozessen und ihren Gesamtauswirkungen durchgeführt. Dafür werden Stoffdaten basierte Detailmodelle aufgestellt. In einem weiteren Projekt “Lebensdauerprognose von Brennstoffzellen in realen Anwendungen” werden über die Untersuchungen von Alterungsprozessen hinaus Methoden zur Lebensdauerprognose untersucht. Dabei ist zu beachten, dass die Lebensdauerprognose das komplexe Zusammenwirken aller Alterungsprozesse und Bewertung auf einen integralen Wert, die zu erwartende Lebensdauer, erfordert und andere Ansätze als die Untersuchung einzelner Alterungsprozesse bedingt. Das Projekt Lebensdauerprognose von Brennstoffzellen wird in Kürze abgeschlossen und hat als ein Ergebnis ein Softwaresystem, das interessierten Unternehmen und Forschungsinstituten kostenfrei zur Verfügung stehen wird.

- **Analyse und Untersuchung realer Betriebsdaten**

- ▶ Batterien werden in realen Anwendungen ganz anders genutzt als vermutet.
- ▶ Folgende Projekte werden hier durchgeführt:

Projektübersicht

- Für einen Mobilfunkbetreiber werden die Betriebsdaten eines Gesamtsystems ausgewertet, um Rückschlüsse auf das Systemverhalten machen zu können und Verbesserungsvorschläge zu formulieren.
- Bei Elektrostraßenfahrzeugen ist die Frage der Schnellladung von großer Bedeutung. In diesem Projekt werden Batterien für Fahrzeuge und Elektroroller mit Sensorik ausgestattet, um an möglichst vielen Stellen der Batterie die Temperatur messen zu können. Dies ist aus Sicherheitsgründen notwendig. Verschiedene Ladekennlinien werden bzgl. der Ladegeschwindigkeit und der Erwärmung beim Laden untersucht. Dieses Projekt baut auf bereits abgeschlossenen Arbeiten für Solartankstellen auf.
- Die Sicherheit von Batterien ist von hoher Bedeutung. Zur Untersuchung von Gefahren bei elektrischem und thermischen Abuse wird deshalb ein Batterietestzentrum errichtet, mit dem Batterien mit einer maximalen Leistung von 1000 kW und hoher Dynamik im Grenzbereichen betrieben werden können. Die Brandentstehungsgefahr wird dabei ausdrücklich in Kauf genommen.
- Die Arbeitsgruppe ist weiterhin in Projekte am Energieforschungszentrum Niedersachsen eingebunden, bei dem es um das Laden großer Flurförderzeuge mit Batterien sehr hoher Leistung geht.

Studien zum Potential von elektrochemischen Energiespeichersystemen

Batterien stehen immer in Konkurrenz zu anderen Batteriesystemen und anderen Alternativen. In einem bereits abgeschlossenem Projekt wurde für einen großen Betreiber von technischen Anlagen die Frage untersucht, welches Batteriesystem in Zukunft eingesetzt werden sollte und ob dann die Nutzung des ausgewählten Batteriesystems auch für die Erbringung von Systemdienstleistungen für das Stromnetz möglich wäre. In einem weiteren Projekt "Potentiale Elektrochemischer Speicher in elektrischen Netzen in Konkurrenz zu anderen Technologien und Systemlösungen (ESPEN)" wird zusammen mit einem größeren Konsortium die Frage untersucht, in welchen Anwendungsfeldern elektrochemische Energiespeicher besondere Chancen im Vergleich zu Alternativen haben, und wie sie zur Ausschöpfung dieser Potentiale ggf. weiterentwickelt werden müssen.

IEE

Projekt: Alterungsmodelle von Lithium-Ionen-Batterien

Problem: Das Alterungsverhalten von Lithium-Ionen-Batterien wurde schon vielfach untersucht, meist jedoch nur bezüglich einzelner Alterungsprozesse. Die komplexe Kombination von Alterungsprozessen als Ergebnis variabler Betriebsbedingungen und Lastkollektive ist weitestgehend nicht bekannt. Um Lebensdauerprognosen für reale Anwendungen durchführen zu können, müssen die komplexen Wechselwirkungen aller Alterungsprozesse in Abhängigkeit von den Betriebsbedingungen und die Gesamtwirkung auf lebensdauerrelevante Eigenschaften bekannt sein. Untersuchungen, die diesem Anspruch genügen und Hilfen für eine beschleunigte Entwicklung und verbesserte Betriebsstrategien bieten, existieren jedoch nicht.

Ziel: Ziele des Projektes sind die Entwicklung unterschiedlicher Lebensdauerprognosemodelle, die zur Sicherstellung konsistenter Ergebnisse gegenseitig überprüft werden, die experimentelle Überprüfung üblicher Annahmen bei Lebensdauerprognosen (Additivität des Lebensdauerverlustes, Unabhängigkeit von der Reihenfolge, Gültigkeit des Arrheniusschen Gesetzes bei Kombinationen von Belastungen und komplexen Lastkollektiven) und die Anwendung auf die Nutzung von Batterien für Elektrofahrzeuge oder Plug-In-Hybridfahrzeuge für netzstützende Maßnahmen.

Folgende wissenschaftlichen Aussagen, Entwurfsrichtlinien und Betriebshinweise sind nach Abschluss des Forschungsvorhabens zu erwarten:

- Bewertung des Alterungsverhaltens von Lithium-Ionen Zellen, speziell der Technologien, die zukünftig in Plug-In-Hybrid- und Elektrofahrzeugen zum Einsatz kommen, bei hochdynamischen Belastungen ohne besonderen Ladungsumsatz im Vergleich zum Stillstandsbetriebs des Fahrzeugs, aufgeschlüsselte Darstellung der Einflussfaktoren für die Alterungsmechanismen in Form der entsprechenden Modellstrukturen.
- Zuverlässige Lebensdauerprognose von Lithium-Ionen Batterien unter beliebigen Betriebsbedingungen bei Berücksichtigung der Wechselwirkungen verschiedener Alterungsmechanismen
- Modellbasierter Entwurf einer optimalen Betriebsführung unter Minimierung der Speicherbelastung und Maximierung der netzstabilisierenden Maßnahmen.
- Aussagen zur Bewertung der Netzstabilisierung durch dezentrale

Speicher unter Berücksichtigung des Hauptanwendungsfeldes Elektrofahrzeug.

Stand der Technik: Erste Ergebnisse, die die Alterung von Lithium-Batterien in Bezug zur Fahrzeuganwendung teilweise mit „Vehicle-To-Grid“ (V2G)-Funktionalität setzen, sind bekannt. Untersuchungen von Alterungsprozessen ohne die vollständige Berücksichtigung dieser Wechselwirkungen und ihren Abhängigkeiten von den Betriebsbedingungen sind für eine Lebensdauerprognose grundsätzlich nicht ausreichend. Es ist unmittelbar klar, dass eine rein experimentelle Bestimmung der zu erwartenden Lebensdauer wegen der Vielfalt der Alterungsmechanismen und vor allem der Variationsbreite der Betriebsbedingungen Langzeittests mit vielen Prüflingen erfordern und einen sehr hohen zeitlichen und finanziellen Aufwand verursachen würde. Es müssen deshalb modellgestützte Ansätze verwendet werden, mit denen die Komplexität beherrschbar wird. Die in diesem Projekt vorgeschlagene Verknüpfung von drei unterschiedlichen Lebensdauerprognosemodellen geht über die bisher veröffentlichten Ansätze hinaus.

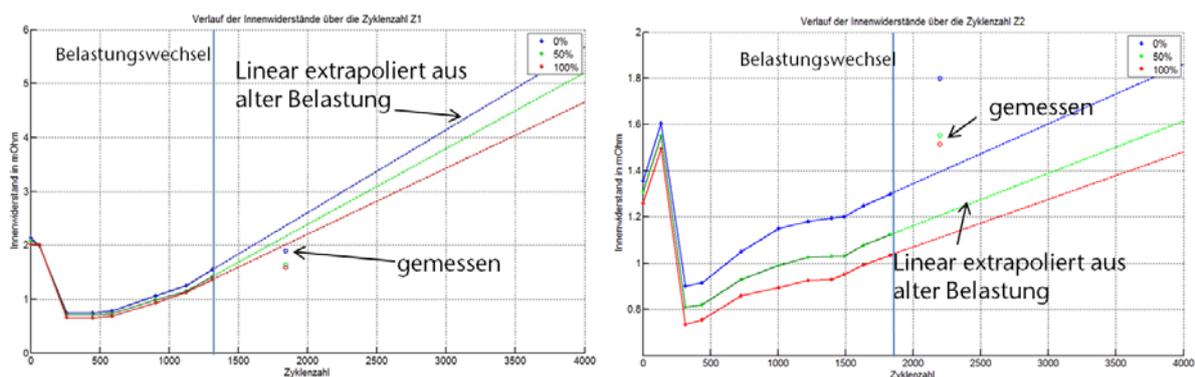
Lösungsweg: Es soll eine möglichst vollständige Abbildung der Alterungsmechanismen in Lithium-Ionen Batterien, die im Automobilsektor zum Einsatz kommen und über eine V2G-Funktionalität verfügen, erfolgen. Basis sollen die in Plug-In-Hybrid- und Elektrofahrzeugen zukünftig eingesetzten Lithium-Ionen-Technologien sein. Zur Abschätzung der zu erwartenden Lebensdauer bei komplexen Lastkollektiven werden systematische Untersuchungen durchgeführt, die die üblichen Annahmen bei Lebensdauerüberlegungen (Additivität, Reihenfolge, Gültigkeit des Arrheniusschen Gesetzes) überprüfen. Darauf aufbauend werden ein physikalisch-chemisches sowie ein ereignisbasiertes Lebensdauermodell entwickelt und korreliert. Im letzten Schritt wird ein bidirektionaler Laderegler aufgebaut, mit dem die Bereitstellung von Netzdienstleistungen ohne besondere Lebensdauerwirkungen auf die Batterien demonstriert werden soll.

Projektstand: Zu Beginn des Projektes wurden reale Belastungsdaten aufgenommen und mit einer aus der Betriebsfestigkeitslehre bekannten Last-

kollektivanalyse ausgewertet.

Zur Bestimmung des Alterungsverhaltens werden Lithium-Ionen-Zellen sowohl zyklischer als auch kalendarischer Alterung bei verschiedenen Temperaturen unterworfen. Weiterhin werden zyklische Belastungsuntersuchungen mit wechselnden Belastungen durchgeführt und die Daten insbesondere bzgl. der Kapazitäts- und Widerstandsentwicklung ausgewertet und für die Parametrisierung eines ereignisbasierten sowie eines elektrochemischen Modells genutzt (siehe Bilder 1 und 2).

Abbildung 1: Verlauf des ohmschen Widerstands von zwei 40 Ah Lithium-Ionen-Pouchzellen bei wechselnden Belastungsprofilen aufgetragen über die äquivalente Voll-



zyklenzahl. Zelle Z1 (links) wurde in einem Zyklus zunächst mit einem alternierenden Strom von 60 A bzw. 100 A (jeweils 5 s, Mittelwert 80 A) geladen und anschließend wieder komplett entladen, ab Zyklus 1300 dann bei einem Ladezustand von 80 % jeweils für 43 s mit 100 A ge- und entladen, Ladezustandshub 3 %. Zelle 2 (rechts) wurde in der anderen Reihenfolge belastet, d. h. erst jeweils mit 3 % Ladezustandshub ge- und entladen und anschließend ab Zyklus 1800 mit einem mittleren Strom von 80 A geladen.

Während Zelle 1 einen geringeren Widerstandsanstieg nach der Belastungsänderung erfährt als erwartet, ist es bei Zelle 2 genau umgekehrt: die Zunahme des Widerstands ist deutlich größer als zunächst erwartet. Hieran zeigt sich sehr deutlich, dass die Reihenfolge der Belastungen von großer Bedeutung ist. Betrachtet man dagegen den Kapazitätsverlauf, ist dieser Sachverhalt nicht unbedingt erkennbar (siehe Bild 2). Insbesondere für Hybridfahrzeugan-

wendungen ist jedoch auf Grund der höheren Strombelastungen neben der Kapazität der Widerstand der Batterie ein entscheidender Parameter. Die Untersuchungen zeigen also sehr anschaulich, dass Widerstandszunahme und Kapazitätsabnahme im Allgemeinen nicht korrelieren.

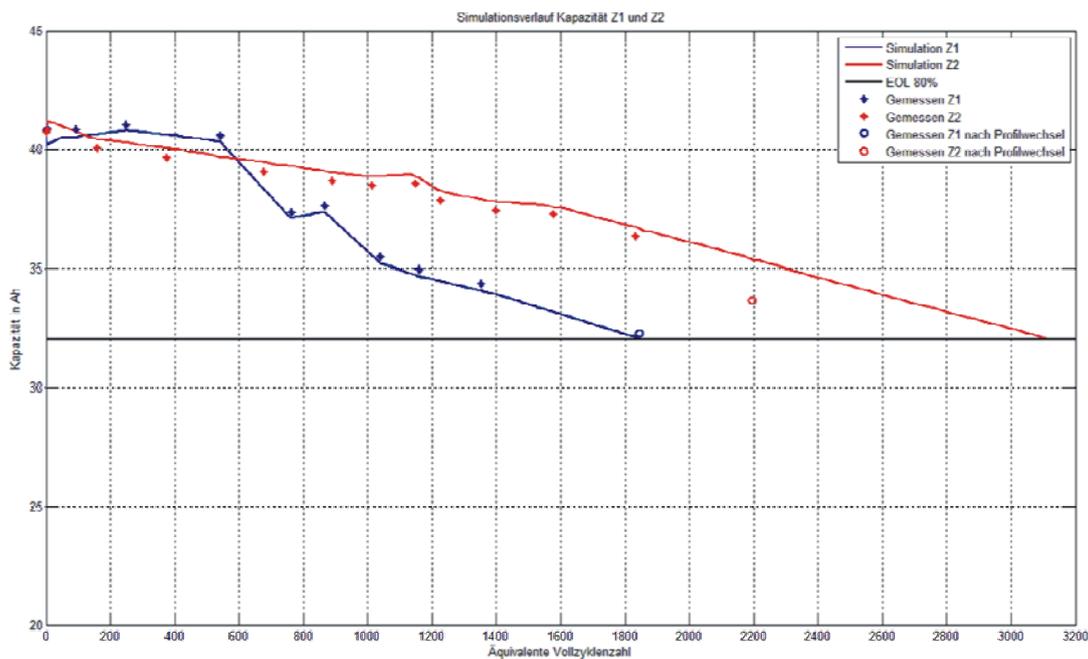


Abbildung 2: Verlauf der Kapazität bei zwei 40 Ah Lithium-Ionen-Pouchzellen bei wechselnden Belastungsprofilen aufgetragen über die äquivalente Vollzyklenzahl

Erste Modellierungsansätze, den Kapazitätsverlust bei zyklischer und kalendarischer Alterung allgemeingültig für verschiedene Betriebsbedingungen abzubilden, zeigen gute Ergebnisse. Das Modell für den zyklischen Kapazitätsverlust entspricht dabei dem Ansatz eines Amperestunden-Durchsatz Modells.

Für die gängigsten Lithium-Ionen Zellen kann die Alterung über den Verlust von aktivem Lithium durch Deckschichtbildung beschrieben werden (SEI-Schicht: Solide-Electrolyte-Interface). Durch Reduktion des Elektrolyten an der Anodengrenzfläche kommt es zu irreversiblen Kapazitätsverlust und einem Anstieg der Impedanz. Die Bildung der SEI wird in der Literatur im Allgemeinen proportional zur Quadratwurzel der Zeit angenommen, sodass dies der Ansatz für

die Modellierung des Kapazitätsverlusts ist.

Der Einfluss der Temperatur auf die Alterung wird über einen Exponentialansatz in Anlehnung an das Arrhenius-Gesetz berücksichtigt. Weitere Modellargumente sind Zustandsgrößen wie die Entladetiefe, die Stromstärke sowie der Ladezustand. Da der Ladungsträgerdurchsatz proportional zur Zeit ist, geht dieser im Modell über eine Wurzelfunktion in die Berechnung des Kapazitätsverlustes ein.

Für den zyklischen Betrieb sind die Ergebnisse in Bild 3 zu sehen.

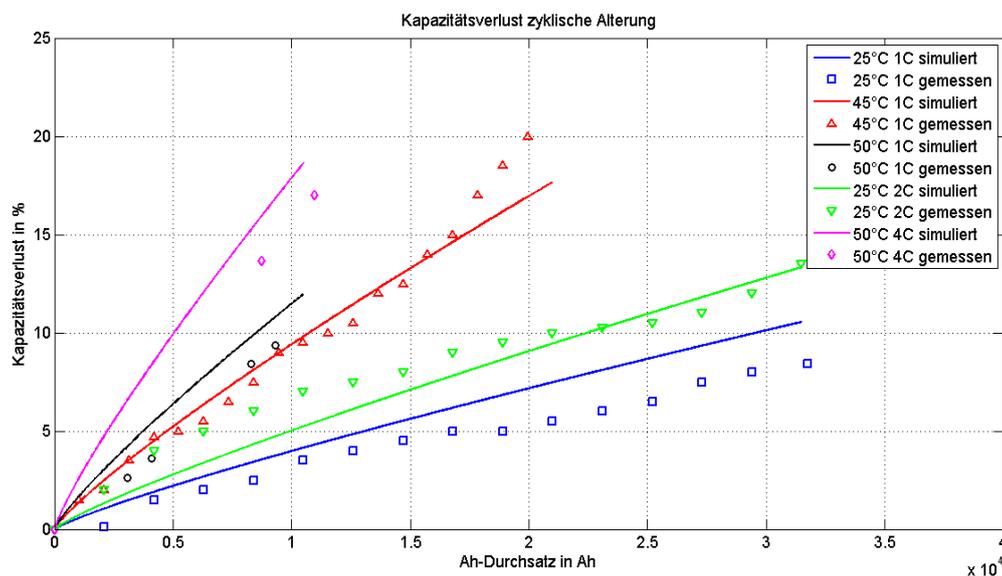


Abbildung 3: Verlauf des Kapazitätsverlustes in Prozent über den Ladungsträgerdurchsatz in Amperestunden für verschiedene zyklische Belastungsprofile. Gemessen wurde an Lithium-Ionen Pouchzellen mit einer Nennkapazität von 21 Ah bei 25°C, 45°C, 50°C mit Strömen von 1C, bei 25°C mit 2C und bei 50°C mit 4C um den Einfluss von Temperatur und Stromstärke zu untersuchen. Die Messwerte dienen als Grundlage für die Modellierung des Kapazitätsverlustes. Das Modell berücksichtigt den Einfluss der Temperatur über einen Exponentialansatz sowie die Stromstärke und Entladetiefe. Der Ah-Durchsatz ist über die Nennkapazität und Entladetiefe proportional zur Zyklenzahl und geht über den Ansatz einer Wurzelfunktion in die Modellierung ein.

- Veröffentlichungen:** Haubrock: Degradationsuntersuchungen von Lithium-Ionen Batterien bei deren Einsatz in Elektro- und Hybridfahrzeugen, Institut für Elektrische Energietechnik, TU Clausthal, 2011
- Förderung:** Das Projekt wurde gefördert durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) unter dem Geschäftszeichen Be 1496/17-1
Laufzeit: 07/2011 - 06/2015
- Bearbeiter:** Dr.-Ing. Ralf Benger (Tel.: 72-2176)
benger@iee.tu-clausthal.de
- cand.-Ing. Jan Meyer
jan.meyer@tu-clausthal.de
- Projektleiter:** Prof. Dr. rer. nat. H. Wenzl (Tel: 05522/9191-70)
heinz.wenzl@t-online.de

Projekt: Lebensdauerprognose für Brennstoffzellen

Problem: Brennstoffzellen stehen schon seit mindestens 1970 kurz vor dem Durchbruch. Damit es aber endlich so weit kommt und dieser Termin nicht noch weitere Jahrzehnte vor sich hergeschoben wird, müssen Brennstoffzellen auch wirtschaftlich werden. Zu diesem Zweck ist eine Lebensdauerprognose für Brennstoffzellen in realen Anwendungen für die Markteinführung fast unerlässlich. Aus diesem Grunde gibt es das BMWi Projekt Entwicklung von Lebensdauerprognosemodellen von Brennstoffzellen in realen Anwendungen. In welchem Modelle entwickelt werden, die dazu beitragen sollen, die Lebensdauern von Brennstoffzellen möglichst genau abzuschätzen, wodurch der wirtschaftliche Einsatz vorab bestimmt werden kann.

Ziel: Ziel des Projektes ist die Entwicklung von Lebensdauerprognosemodellen für Brennstoffzellen in realen Anwendungen. Diese sollen möglichst genau die Lebensdauer von Brennstoffzellen voraussagen und außerdem zu der Weiterentwicklung von Brennstoffzellen beitragen. Das geschieht, indem in den Modellen Lastverläufe vorgegeben werden, zu denen dann eine Lebensdauer einer Brennstoffzellen ausgegeben wird, zu welcher schon ein paar Daten vorhanden sind, aus denen die Parameter der Brennstoffzelle ermittelt werden können, wodurch wiederum die Prognose realisiert werden kann. Auch soll es möglich sein, die Parameter der Brennstoffzelle zu verändern, sodass durch gezielte Modifikationen einzelner Parameter, was zum Beispiel eine Verringerung des Durchtrittswiderstandes sein kann, weil die Elektrodenoberflächen verändert wurden, die Auswirkungen auf die Lebensdauer der Brennstoffzelle in der jeweiligen Anwendung untersucht werden können.

Stand der Technik: Es gibt viele verschiedene Simulationen von Brennstoffzellen, wovon einige auf Methoden der finiten Elemente beruhen und andere auf physikalisch-chemischen Modellen, die in Form von elektrischen Ersatzschaltbildern realisiert worden sind. Dabei gibt es den großen Nachteil, dass die Simulationszeiten der finiten Elemente Methode für ganze Lebensdauern sehr langwierig sind. Gleiches gilt für ausführliche Ersatzschaltbildern, bei welchen man schnell zu Simulationszeiten gelangt, die länger als die realen Laufzeiten sind. Auch ist es schwierig alle dort benutzten Parameter mit einer zeitlichen Alterung zu versehen, weshalb sich die hier entwickelten Modelle auf

wenige Parameter beschränken, deren zeitlicher Verlauf aus schon vorhandenen kurzen Messdaten ermittelt und dann prognostiziert werden.

Lösungsweg:

Es werden zwei verschiedene Ansätze als Prognosemodelle verfolgt. Dabei wird eines vom Institut für Maschinelle Anlagentechnik und Betriebsfestigkeit und eines vom Institut für Elektrische Energietechnik entworfen. Der neuartige Ansatz vom IMAB ist, dass bei diesem Modell die Methoden der Betriebsfestigkeit zum Einsatz kommen. Dabei werden die Zahlverfahren der Betriebsfestigkeit verwendet, um die Führungsgröße, hier die Spannung, in Klassen einzuteilen und diesen eine Schädigung zuzuordnen, welche von den Projektpartnern ermittelt wurde. Der andere Ansatz beruht auf einem physikalisch-chemischen Modell, welches in Form der Larminiefunktion von James Larminie, die unter Experten allgemein anerkannt ist, entwickelt wird. Dabei wird die Zeitabhängigkeit der einzelnen Parameter aus vorhandenen Daten ermittelt und diese entsprechend prognostiziert. Anschließend sollen die beiden Modellansätze verglichen werden mit der Hoffnung, dass beide unabhängigen Ansätze zum gleichen Ergebnis führen werden, was eine gegenseitige Stützung der Ansätze wäre.

Projektstand:

Da das Projekt am 30.04.2014 enden wird, befinden sich die beiden Programmteile in der Endphase. Es werden zurzeit noch einzelne Verbesserungen in den Fitalgorithmen erprobt und die Programme von der Oberfläche her gleich aufgebaut. Einen Eindruck von der Oberfläche für die Regressionsanalyse zur Datenanpassung bekommt man in Abbildung 1.

Projekt: Lebensdauerprognose für Brennstoffzellen

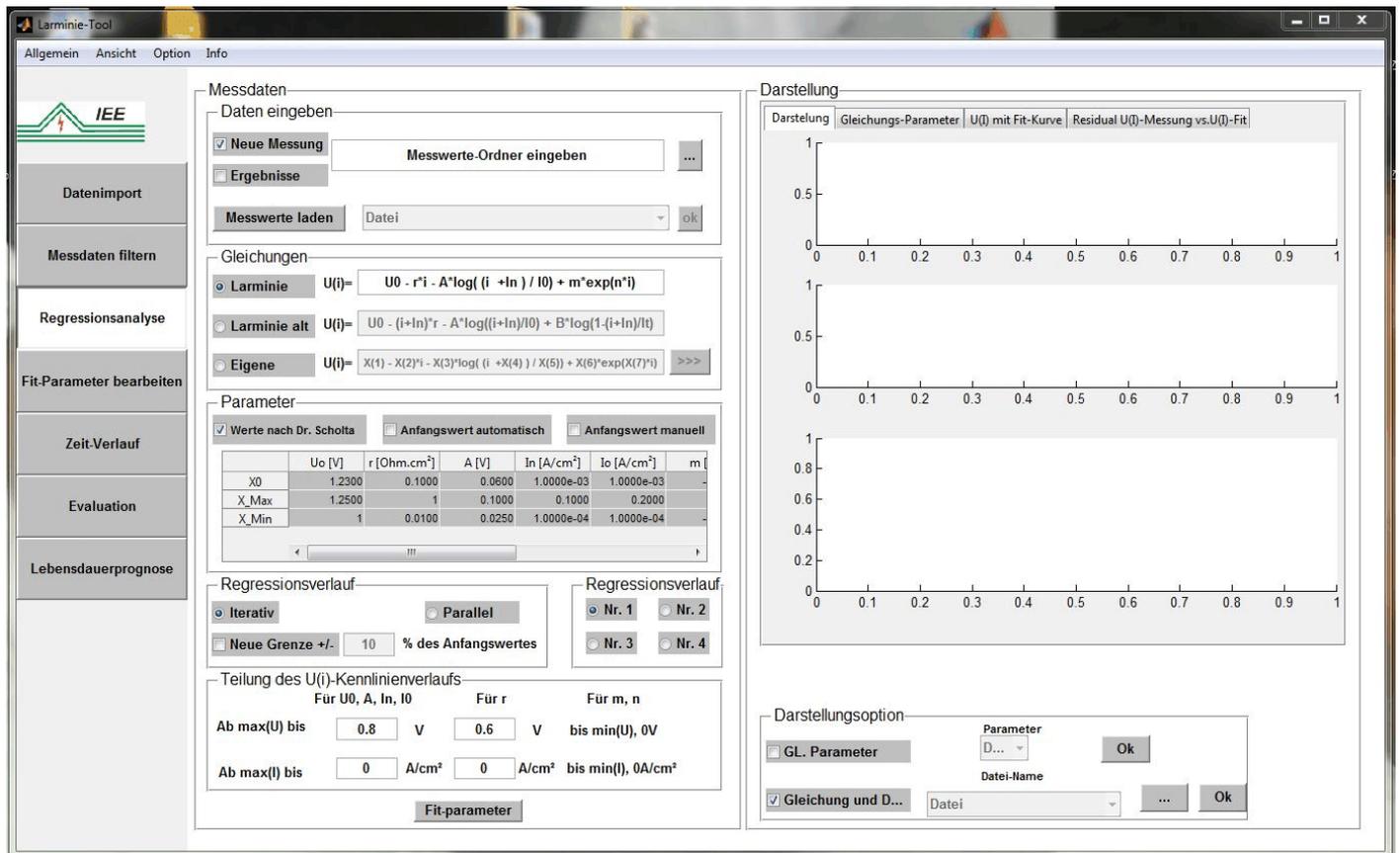


Abbildung 1: Oberfläche der Regressionsanalyse zur Datenanpassung

Einen Fit für eine Polarisationskennlinie ist an Abbildung 2 zu sehen.

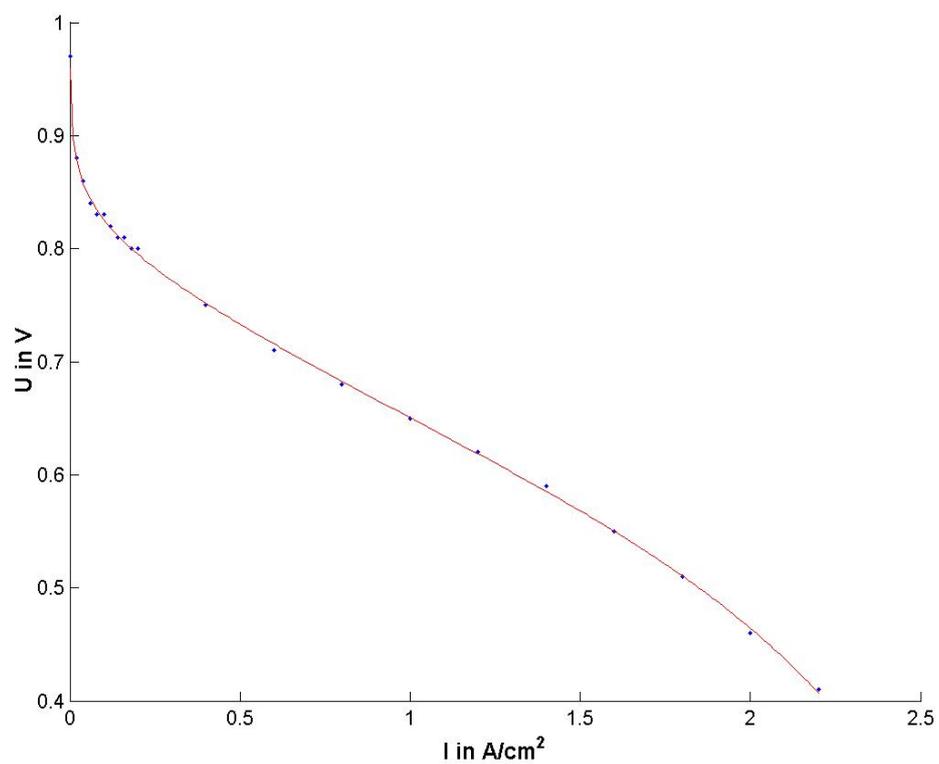


Abbildung 2: Fit einer einzelnen Polarisationskennlinie

Deutlich sind die drei Bereiche (Aktivierungsbereich, Ohmscher Bereich und Diffusionsbereich) zu identifizieren. Der Fit von realen Zeitverläufen ist in Abbildung 3 zu sehen.

Projekt: Lebensdauerprognose für Brennstoffzellen

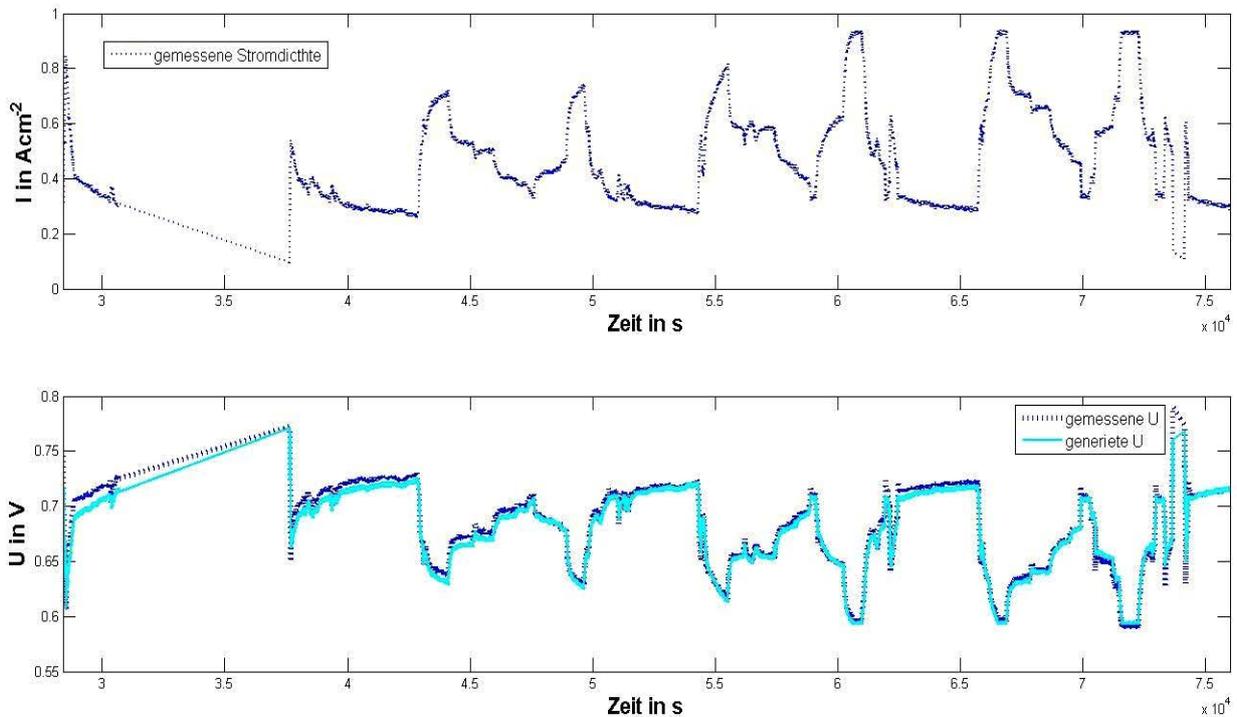


Abbildung 3: Fit realer Messdaten im Zeitverlauf

In Abbildung 3 ist oben die Stromdichte und unten die zugehörige Spannung aufgetragen. Die hellblaue Kurve zeigt, wie gut der Fit zu den realen Messdaten passt.

Projektpartner:

Partner in dem Projekt sind neben dem EFZN mit den ausführenden Stellen Institut für Elektrische Energietechnik (IEE) und dem Institut für maschinelle Anlagentechnik und Betriebsfestigkeit (IMAB) das Zentrum für Brennstoffzellen Technik GmbH in Duisburg (ZBT), das Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoffforschung in Ulm (ZSW), das Fraunhofer Institut für Solare Energiesysteme in Freiburg (ISE) und das Helmholtz Zentrum in Berlin (HZB).



Bearbeiter:	Dipl.-Phys. Raoul Heyne raoul.heyne@tu-clausthal.de	(Tel.: 72-2272)
	Dipl.-Ing. Eric Tchoupou Lando etl@tu-clausthal.de	(Tel.: 72-3819)
Projektleiter:	Prof. Dr. rer. nat. Heinz Wenzl heinz.wenzl@t-online.de	(Tel: 05522/919170)

Projekt: Modellierung und Simulation der Zelleigenschaften auf Basis von Stoffdaten und ihren alterungsbedingten Veränderungen

Problem: Eine erfolgreiche Modellierung von Lithium-Ionen-Batterien muss alle physikalischen und elektrochemischen Vorgänge wie beispielsweise die elektrochemischen Reaktionen an den Elektroden, die Diffusion und Migration von Ionen im Elektrolyten, den Transport elektrischer Ladungen und den Wärmetransport abbilden. Zusätzlich kann es zu Beeinflussungen durch Volumenänderungen und mechanischen Spannungen in den Elektroden kommen. Ein umfassendes Modell muss in der Lage sein, nicht nur die beim Laden und Entladen resultierende Zellspannung, sondern auch auf Mikroebene die sich in der Batterie einstellenden Temperaturverläufe und mechanischen Spannungen abzubilden. Weiterhin muss ein solches Modell ebenfalls die alterungsbedingten Veränderungen der Materialeigenschaften berücksichtigen.

Lokale Stromdichten, Temperaturen und Potenziale innerhalb einer Batteriezelle werden von mehreren Faktoren beeinflusst. Bestimmende Parameter sind vor allem die Geometrie einer Zelle und die Materialeigenschaften. Weiterhin werden die Elektrodenmaterialien von Akkumulatoren in Abhängigkeit von verschiedenen Betriebsbedingungen (z.B. Umgebungstemperatur, Ladezustand, Höhe des Lade- und Entladestroms) unterschiedlich belastet.

Ziel: Eine genaue Bestimmung lokaler Zustandsgrößen in Abhängigkeit von Zellkonstruktion und Materialeigenschaften ist Ziel dieses Projektes. Inhaltlich behandelt dieses Projekt den Aufbau einer Simulation auf der Elektroden- und Zellebene. Ziel ist ein ortsaufgelöstes, mehrdimensionales Simulationsmodell zur Darstellung der Stromdichte-, Spannungs- und Temperaturverteilung innerhalb einer Vollzelle. Durch die Simulation sollen lokale Materialfehler (z.B. Verunreinigungen), wie sie bei der Produktion von Batterien entstehen können, und die Materialermüdung durch Betrieb der Zellen anhand der Ausgabegrößen erkannt werden.

Stand der Technik: Es wurden zur Modellierung von Lithium-Ionen-Batterien diverse Modelle vorgestellt. Diese besitzen verschiedenste Ansätze und weisen unterschiedliche Eigenschaften auf. Beispielsweise existieren isotherme, dynamische 2D-Modelle die den Ladungs- und Ionen-transport sehr detailliert abbilden. Solche Modelle besitzen eine hohe Rechenzeit, die sich nur durch geeignete Vereinfachungen reduzieren

lässt. Weiterhin gibt es Modelle die zur tiefergehenden Betrachtung nur einzelne Bereiche einer Zelle betrachten oder unter Verwendung verschiedener Ersatzschaltbilder eine Modellierung auf Systemebene gestatten.

Thermische Modelle, die einzelne Wärmeerzeugungsmechanismen abbilden sind aus verschiedenen Bereichen, wie beispielsweise der Brennstoffzellenforschung, bekannt. Hier stehen die elektrochemischen Reaktionen, ohmschen Überspannungen und Diffusionsüberspannungen unter Berücksichtigung der drei Wärmeübertragungsmechanismen im Vordergrund.

Lösungsweg:

Basis für die Modellierung des zu betrachtenden Systems ist ein elektrotechnisches Netzwerk dem das Maschenstromverfahren zu Grunde liegt. In dieses Modell wird in einem zweiten Schritt ein thermisches Ersatzschaltbild integriert, womit die Wärmeentwicklung und -transport innerhalb der Zelle abgebildet werden kann. Die Erstellung des Simulationsprogramms erfolgt unter MATLAB/ Simulink.

Projektstand:

Zur Schaffung einer geeigneten Datengrundlage für die Modellbildung wurden in Absprache mit den verbundenen Forschungsinstituten verschiedene standardisierte Prüfverfahren und Messroutinen erarbeitet. Dies beinhaltet die Verwendung von einheitlichen Rohstoffen und Herstellungsverfahren für die zu betrachtenden Lithium-Ionen-Batterien. Weiterhin wurde eine umfangreiche Datensammlung durch mehrere Forschungsstellen zusammengetragen.

Die mathematischen Grundlagen des elektrischen Ersatzschaltbildmodells wurden auf mögliche Vereinfachungen geprüft und werden derzeit in MATLAB/Simulink umgesetzt. Nach der Erstellung eines Ersatzschaltbilds, das sich zur Modellbildung auf Zell- und Systemebene eignet, wird derzeit ein Ansatz für ein thermisches Modell erarbeitet. Unter Berücksichtigung der verschiedenen Wärmequellen und der relevanten Wärmeübertragungsmechanismen wird ein thermisches Ersatzschaltbild entwickelt. Vereinfachungen, die zur Reduzierung der Rechenzeit beitragen können, um auf Zellebene in angemessener Zeit simulieren zu können, werden derzeit geprüft. Messungen, die zur Validierung und Verifizierung des Modells benötigt werden, werden parallel zur Modellbildung und Program-

Projekt: Modellierung und Simulation der Zelleigenschaften auf Basis von Stoffdaten und ihren alterungsbedingten Veränderungen

mierung des Simulationsprogramms durchgeführt.

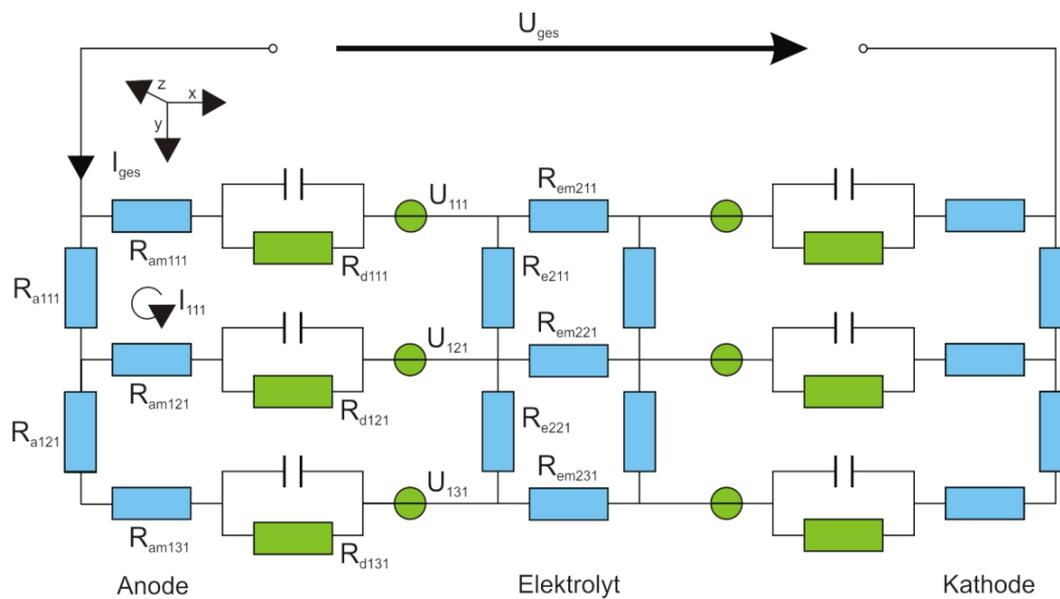


Abbildung 1: 2D-Darstellung des elektrischen Ersatzschaltbilds

Projektpartner: Forschungspartner im Rahmen des Graduiertenkollegs Energiespeicher und Elektromobilität Niedersachsen:
 Verschiedene Institute der:

- Technische Universität Braunschweig
- Georg-August-Universität Göttingen
- Leibniz Universität Hannover
- Carl von Ossietzky Universität Oldenburg
- Westfälische Wilhelms-Universität Münster
- Hochschule für angewandte Wissenschaften und Kunst Göttingen

Bearbeiter: Dipl.-Ing. Alexander Oberland (Tel.: 72-2938)
 alexander.oberland@tu-clausthal.de

Projektleiter: Prof. Dr.-rer. nat. Heinz Wenzl (Tel: 05522/919170)
 heinz.wenzl@t-online.de

IEE

Projekt: Schnellladung von Elektrofahrzeugen

Problem: Vergisst man einmal sein Elektroauto nachts nachzuladen, um morgens damit zur Arbeit oder zu einem Termin zu kommen, steht man bei vielen Elektrofahrzeugen vor einem Problem. Die Ladezeiten betragen über eine herkömmliche Schuko-Steckdose zwischen 4 und 9 Stunden. Auch Fahrzeuge mit einer Schnellladeoption können zu Problemen führen, da dort eine Schnellladung angeboten wird, die die Batterie von 20 % auf 80 % in ca. 45 Minuten nachlädt, was jedoch nur 60 % der Reichweite ausmacht. Bei gängigen Fahrzeugen bedeutet eine solche Nachladung eine zusätzliche Reichweite von 48 bis 80 Kilometern. Was aber wenn der Termin 100 km entfernt ist und keine 45 Minuten an Zeit zur Verfügung stehen?

Ziel: Ziel des Projekts sind die Entwicklung und Realisierung von Ladealgorithmen, die eine Ladung der Batterie von 0 % auf 100 % in weniger als 30 Minuten ermöglichen und dabei keine Schädigung auf die Batterie ausüben. Außerdem werden diese Algorithmen in eine Schnellladesäule implementiert, mit welcher diese dann an Elektrofahrzeugen getestet werden sollen. Auch wird ein Businesscase für Tankstellenbetreiber entwickelt, bei dem sich herausstellen soll, welche Möglichkeiten heutige Tankstellenbetreiber im Zeitalter der Elektromobilität haben.

Stand der Technik: Wie oben erwähnt, sind heutige Schnellladungen keine vollständigen Ladungen und das „Schnell“ ist somit relativ, da eine echte Ladung von 0 % auf 100 % bei gleichbleibender Ladegeschwindigkeit heutzutage noch etwa 75 Minuten dauern würde, was nicht wirklich schnell ist. Ein großes Problem stellt auch die Möglichkeit einer Schnellladung zu Hause dar, welche durch kleine Hausanschlussleistungen nicht einfach realisiert werden können. Aus diesem Grunde wird es für heutige Tankstellen eine Daseinsberechtigung geben, denn diese haben meistens einen größeren Stromanschluss, sodass ein Nachtanken in unter 30 Minuten, was je nach Fahrzeug zwischen 15 und 100 kW benötigt, dort durchgeführt werden kann, sofern es Ladealgorithmen dazu gibt.

Lösungsweg: Erst werden verschiedene Ladeverfahren an Einzelzellen auf dem Prüfstand getestet und versucht damit eine Schnellladung in unter 30 Minuten zu erreichen. Diese Verfahren sollen dann auf mehrere

Zellen und ganze Batterien übertragen werden, bevor Sie in Ladesäulen implementiert und an ganzen Fahrzeugen getestet werden. Um die Schnellladung kontrollieren zu können und die Auswirkungen auf die Batterien zu erfassen, wird die Temperatur überwacht. Zu diesem Zweck wurden faseroptische Sensoren in die Zellen eingebracht, um die Temperatur an jeder Zelle messen zu können, ohne den Aufbau der Batterien verändern zu müssen. Eine solche Applikation der Fasern in die Batterie kann in Abbildung 1 und Abbildung 2 gesehen werden.

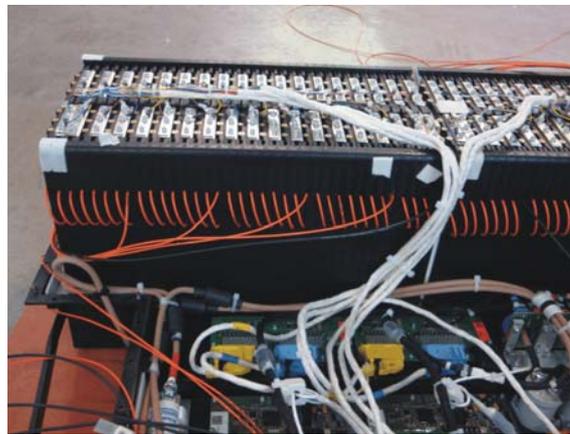


Abbildung 1: Fahrzeugbatterie mit Faseropt. Sensorik (orange)



Abbildung 2: Montage der Fasern (grün) zwischen die einzelnen Zellen der Fahrzeugbatterie

Projekt: Schnellladung von Elektrofahrzeugen

Projektstand: Die Tests an Einzelzellen wurden mit verschiedenen Ladeverfahren getestet:

- Konstantstrom (CC), Konstantspannung (CV) Ladeverfahren. Dieses ist das gängige Ladeverfahren für Batterien, bei welchem zuerst mit einem konstanten Strom geladen wird und sobald die maximale Spannung der Zelle erreicht wird, wird diese gehalten und der Strom reduziert sich nach und nach bis er unter einen Minimumwert gesunken ist, bei dem die Zelle als vollgeladen definiert wird. Als Variation kann mit verschiedenen Stromstärken in der Konstantstromphase gearbeitet werden
- Konstantspannungsladung ohne Strombegrenzung. Bei diesem Ladeverfahren wird die Spannung auf dem Maximalwert gehalten und so viel Strom der Batterie gegeben, wie sie aufnehmen kann oder wie das Ladegerät hergibt.
- Pulsladeverfahren. Dieses Ladeverfahren beginnt mit konstantem Strom und sobald die Grenzspannung erreicht wird, beginnt statt der konstanten Spannungsphase das Pulsladeverfahren. Bei dem Ladeverfahren mit der konstanten Spannungsphase sinkt der Strom exponentiell, was die Ladezeit erheblich verlängert. Damit man mehr Energie zufügen kann, werden Pulse benutzt, welche eine feste Dauer und meist die vorherige Stromhöhe der Konstantstromphase haben. Dadurch wird in kurzer Zeit viel Energie zugeführt, wobei in Kauf genommen wird, dass bei diesen Pulsen die obere Grenzspannung für die Dauer des Pulses überschritten wird. Die Literatur sagt dazu jedoch, dass dieses nicht zu einer stärkeren Degradation führt (Datenblatt DS2770 Charge Controller: www.maxim.ic.com; vom 25.06.2012). Nach einem Puls wird mit dem nächsten Puls dann solange gewartet, bis die Spannung der Batterie wieder auf die Grenzspannung zurückgefallen ist. Dauert dieser Rückfall länger als ein festgelegter Wert, so ist der Ladevorgang beendet und die Batterie vollgeladen.
- Stufenladung. Bei der Stufenladung handelt es sich um eine Konstantstromladung, wobei die Stromstärke jeweils nach Erreichen der Grenzspannung um einen festen Wert reduziert wird. Durch die Reduzierung verringert sich auch der Spannungsabfall am Innenwiderstand der Batterie, wodurch diese Spannungsdifferenz durch Laden wieder ausgeglichen werden kann. Das Ende der Ladung wird durch einen letzten Stromwert vorgegeben.

- Temperaturkonstantladung. Bei der Temperaturkonstantladung steht die Temperatur, welche eine der wichtigsten Alterungsfaktoren ist, im Mittelpunkt. Dabei wird mit einem konstanten Strom solange geladen, bis eine maximale Temperatur der Zelle erreicht wird. Danach wird der Strom solange reduziert, bis die Temperatur gehalten wird. Ist die maximale Spannung erreicht, gibt es nun zwei Möglichkeiten: Entweder es wird mit der konstanten Spannung weitergeladen oder es wird die Pulsladung durchgeführt, um die Batterie endgültig vollgeladen zu bekommen. Dieses Verfahren muss präzise auf die jeweilige Zelle abgestimmt werden, da jede Bauweise und jeder Zelltyp andere spezifische Wärmeleitfähigkeiten hat, was unterschiedliche Ladeströme zur Folge hat.

Als Ergebnis wurden mit den Fahrzeugzellen folgende Zeiten erreicht:

Ladeverfahren	Dauer	Verkürzung	ΔT in	T_{max}	Kapazität
	hh:mm:ss	Δt in min	K	in °C	in Ah
CC-CV-1C Referenz	01:17:48		2,39	26,91	41,13
CC-CV-2,5C	00:41:58	36	9,25	34,42	40,92
Pulsladung	00:33:06	44,25	9,44	34,3	40,67
Stufenladung	00:51:06	26,25	5,8	29,47	39,49
Temperaturkonstant	00:44:25	33,5	8,6	32,4	40,49
Temperaturkonstant +Pulsladung	00:38:08	39,25	8,11	31,75	40,39

Weitere Verfahren werden getestet und demnächst auf die gesamten Fahrzeugbatterien angewandt.

Auch der Flottenversuch ist angelaufen und die Daten der Elektrofahrzeuge werden erfasst (siehe Abbildung 3)

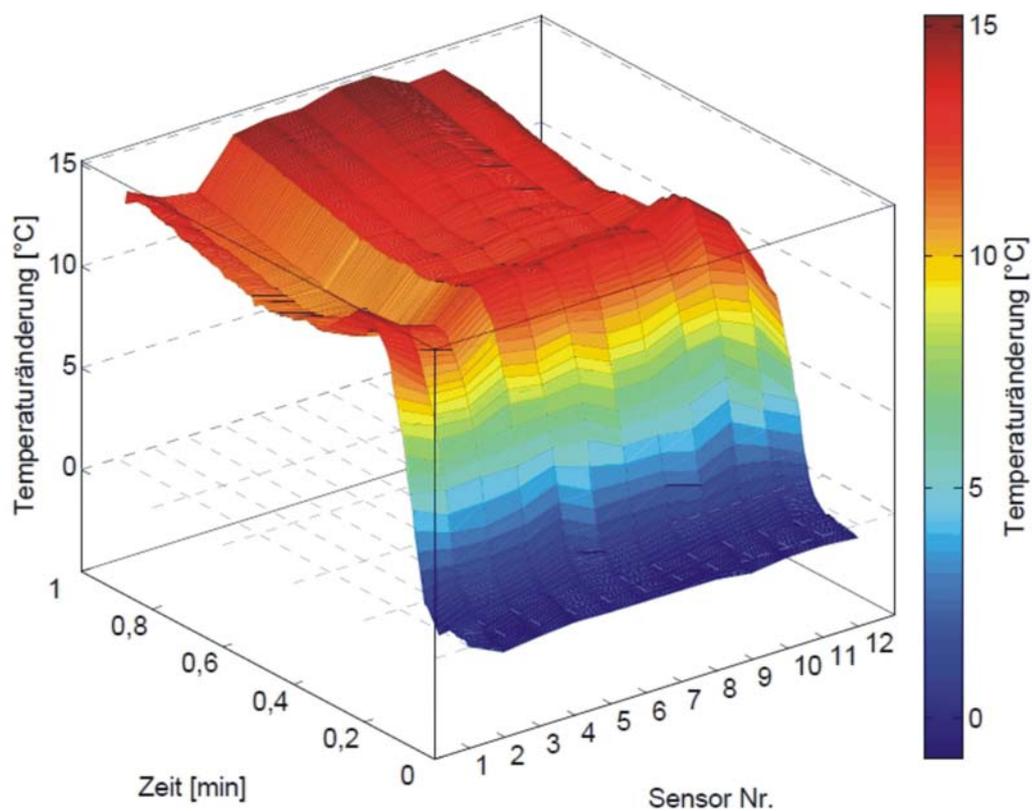


Abbildung 3: Faseroptisches Temperaturprofil von 12 Sensoren bei einer Fahrt, die erst bergauf und dann bergab ging mit anschließender Ladung.

Projektpartner:



Bearbeiter:

Dipl.-Phys. Raoul Heyne
raoul.heyne@tu-clausthal.de

(Tel.: 72-2272)

Projektleiter:

Prof. Dr. rer. nat. Heinz Wenzl
heinz.wenzl@t-online.de

(Tel: 05522/919170)

Projekt: Batterietestzentrum - Elektrisches und thermisches Verhalten von Batteriesystemen im Grenzbereich

Problem: Energiespeicher, wie z.B. Batterien, werden in der zukünftigen Energietechnik vielfältige Rollen in verschiedenen Anwendungen gewinnen. Der Anteil der erneuerbaren Energien wird weiter ansteigen und effizientere Speicher- sowie Managementsysteme zur Sicherung der Versorgung erforderlich machen. Weiter unterliegen Batteriesysteme durch den zunehmenden Einsatz von Elektrofahrzeugen hohen Anforderungen bezüglich der Energie- und Leistungsdichte. Aus hohen Energie- oder Leistungsdichten ergeben sich jedoch ebenfalls hohe abzuführende Wärmemengen. Insbesondere in Grenzbereichen, wie zum Beispiel dem Schnellladen von Batterien oder bei extremen dynamischen Belastungen und gleichzeitig hohen oder sehr tiefen Umgebungstemperaturen werden außerordentliche Anforderungen an das Batterie – und das Thermomanagement gestellt. Diese Grenzen müssen erforscht und ein Überschreiten dieser Grenzen in realen Anwendungen unbedingt verhindert werden.

Ziel: Ziel des Projekts ist der Aufbau eines Testzentrums zur Untersuchung von Batteriezellen und Batteriesystemen unter extremen Belastungen, um den Anforderungen hinsichtlich der Dynamik, Sicherheit und vor allem der Schnellladefähigkeit gerecht zu werden. Schließlich soll im Batterietestzentrum vor allem das Verhalten von großen Speichersystemen in Grenzbereichen unter verschiedenen Aspekten erforscht werden, wozu Belastungstests mit 1000 Volt und 1000 Ampere gleichzeitig durchgeführt werden.

Stand der Technik: In letzter Zeit sind in Deutschland an vielen Stellen Testmöglichkeiten für Batterien geschaffen worden. An erster Stelle ist hier wohl das Helmholtz-Institut Ulm für Elektrochemische Energiespeicherung (HIU) zu nennen. Für insgesamt 14,6 Mio. € wird ein Batterietestzentrum Elektromobilität aufgebaut, welches sich in die Abteilungen Batterie-Sicherheit, Batteriesystemtechnik, Batterietest und Batterietechnologie/Fertigung/Analytik gliedert. Weitere wichtige Testmöglichkeiten stehen am Fraunhofer Umsicht in Oberhausen, bei der CETECOM GmbH in Saarbrücken, dem TÜV-Süd in München und dem VDE Prüfinstitut in Offenbach zur Verfügung. Abgrenzend zu den zuvor genannten Einrichtungen wird mit dem Batterietestzentrum der Leistungsbereich für große Batteriesysteme

erweitert und insbesondere zur Untersuchung des Temperaturfeldes ein einzigartiges Testumfeld geschaffen.

Lösungsweg:

Im Batterietestzentrum, welches in Goslar am Energie-Campus des Energie-Forschungszentrums Niedersachsen (EFZN) errichtet wird, werden unter anderem Tests bei hoher elektrischer Belastung (bis 1000 V und 1000 A) sowie Kurzschlussversuche, bei denen es zur Brandentstehung kommen kann, durchgeführt. Weiterhin sollen Messungen des Temperaturfelds in der Batterie bei Grenzbelastung sowie Tests von Batteriesystemen bei hochdynamischer Belastung realisiert werden. Durch das Betreiben der Batteriesysteme im Grenzbereich bis hin zum thermischen Entzünden der Batterie lassen sich schließlich neue sicherheitsrelevante Sensorik- und Schutzkonzepte entwickeln, die für den dauerhaften praktischen Einsatz von Batteriesystemen z.B. in Elektro- oder Hybridfahrzeugen unerlässlich sind. Der Verbundpartner Heinrich-Hertz-Institut Goslar der Fraunhofer-Gesellschaft hat in diesem Zusammenhang faseroptische Sensoren zur Temperaturerfassung entwickelt, womit Temperaturen bis zu 1000°C gemessen werden können, wodurch auch bei Brandentstehung die Ausdehnung des Brandes in den Batteriezellen untersucht werden kann. Weiterhin wird eine Brennkammer und eine Brandgasanalytik aufgebaut. Somit können elektrische Grenzbelastungstests bei gleichzeitiger Temperaturfeldmessung und Gasanalytik durchgeführt werden. Neben der Ermittlung der Temperatur ist es von großer Bedeutung, die thermischen Kennwerte der in den Batterien verwendeten Materialien vor und nach starken Belastungen festzustellen. Ergänzend zu den genannten Tests werden folglich ebenfalls die Batteriematerialien hinsichtlich thermischer Eigenschaften untersucht.

Das Batterietestzentrum ist in der deutschen Forschungslandschaft somit einzigartig, da es Kompetenzen der Bereiche elektrische Energietechnik, faseroptische Sensorik und Brandschutztechnik mit höchster Synergie kombiniert.

Projektstand:

Die Fertigstellung und Inbetriebnahme des Batterietestzentrums erfolgt 2014. Ein erster Plan ist in Abbildung 1 zu sehen.

Projekt: Batterietestzentrum - Elektrisches und thermisches Verhalten von Batteriesystemen im Grenzbereich

EnergieCampus



Abbildung 1: Erste Zeichnung des Batterie- und Sensoriktestzentrums

Projektpartner: Die Errichtung des Batterietestzentrums ist ein gemeinsames Projekt des Energie-Forschungszentrums Niedersachsen mit Instituten der Technischen Universität Clausthal, dem Heinrich-Hertz-Institut Goslar der Fraunhofer-Gesellschaft und dem Fraunhofer-Institut für nachhaltige Mobilität in Oldenburg sowie dem Industrieunternehmen Stöbich Brandschutz. Durch den Verbund der beteiligten Partner findet eine Konzentration von Kompetenzen im Bereich der Batterie-systemtechnik statt, die eine besondere Forschungsinfrastruktur für niedersächsische Hochschulen und regionale Unternehmen schaffen wird.

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

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

IEE

Projekt: Potentiale Elektrochemischer Speicher in elektrischen Netzen in Konkurrenz zu anderen Technologie u. Systemlösungen (ESPEN)

Ziel: Ziel des Projekts ist die Entwicklung von Handlungsempfehlungen zum Einsatz von elektrochemischen Speichern und deren Weiterentwicklung, sodass diese das zukünftige Energieversorgungssystem optimal unterstützen können.

Im Rahmen des Verbundprojekts werden daher die Potentiale elektrochemischer Speicher in Bezug auf ihren Beitrag zur Wirtschaftlichkeit, Stabilität und Sicherheit der zukünftigen Stromversorgung in Deutschland untersucht. Weiterhin werden alternative Speichertechnologien, wie zum Beispiel Pumpwasser- oder Druckluftspeicher sowie stoffliche Speicher, und Systemlösungen, wie etwa Konzepte des Lastmanagements betrachtet, um Anwendungsbereiche zu identifizieren, in denen elektrochemische Speicher besonders geeignet sind.

Stand der Technik: Zur Sicherstellung der Stabilität des elektrischen Energieversorgungssystems sind eingespeiste und entnommene Energie stets – unter anderem durch den Einsatz von Regelleistung – im Gleichgewicht halten. Bisher erfolgt die Bereitstellung der Regelleistung vornehmlich durch thermische Kraftwerke, die zum Beispiel mit Kohle oder Erdgas befeuert werden. Bei diesen Kraftwerken verursachen die nötigen technischen Besonderheiten für schnelle Änderungen der abgegebenen Leistung eine Erhöhung der Investitions- und Betriebskosten bei gleichzeitiger Verringerung des Wirkungsgrades.

Im heutigen elektrischen Energieversorgungssystem sind zwei Arten von Energiespeichern vorhanden. Zum einen ist Energie in den rotierenden Massen der Generatoren- und Turbinensätze der großen Kraftwerke gespeichert, die bei Frequenzänderung kurzfristig Energie mit hoher Leistung aufnehmen beziehungsweise abgeben. Somit tragen die Generatoren der großen thermischen Kraftwerke, wie zum Beispiel Kern- und Braunkohlekraftwerke, entscheidend zur Stabilisierung des elektrischen Systems bei. Da sich die Anzahl der am Netz befindlichen Großgeneratoren im Zuge der Energiewende verringern wird und diese zunehmend durch kleinere Erzeugungseinheiten auf Basis regenerativer Energien ersetzt werden, wird sich auch ihre frequenzstabilisierende Wirkung reduzieren, sodass Alternativen gefunden werden müssen.

Bei der zweiten Art vorhandener Energiespeicher handelt es sich um Pumpwasser- und Druckluftspeicherkraftwerke, die als Spitzenlastkraftwerke bei hohem Bedarf für kurze Zeit eine hohe Leistung abgeben können, sofern der Speicher geladen ist. Während Schwachlastzeiten – Zeiten geringen Leistungsbezugs und damit einhergehenden geringen Energiekosten – werden diese Speicher geladen. Speicherkraftwerke werden zum Ausgleich der eingespeisten und der bezogenen Leistung, also zur Erbringung von negativer und positiver Regelleistung, eingesetzt.

Weitere Energiespeicher sind im elektrischen Energieversorgungssystem derzeit nicht vorhanden und werden auf Grund der vorhandenen, recht flexiblen Kraftwerkskapazität und der Übertragungskapazität des elektrischen Netzes momentan nicht benötigt. Ist die Kapazitätsgrenze des elektrischen Netzes durch starken, lokalen Zubau von Anlagen zur Nutzung regenerativer Energiequellen erreicht, werden die Netze durch den Zubau neuer beziehungsweise die Verstärkung bestehender Übertragungs- und Verteilnetztrassen ausgebaut.

Lösungsweg:

Verbundprojekt:

Im Einzelnen werden die nachfolgend aufgeführten Punkte im Rahmen des Verbundprojekts bearbeitet.

- Erstellung von Referenznetzen zur Betrachtung verschiedener Szenarien mit großen zentralen Erzeugungseinheiten beziehungsweise mit ausschließlich dezentraler und größtenteils regenerativer Erzeugung
- Definition von Anwendungsszenarien für Speicher und Ermittlung der technischen und wirtschaftlichen Anforderungen an Speicher im Netz
- Betrachtung von Alternativen Lösungen zum Einsatz von Energiespeicher, wie zum Beispiel der Ausbau der elektrischen Netze, das Lastmanagement, der Einsatz von Spitzenlastkraftwerken mit kurzer Reaktionszeit oder der Einsatz von Zusatzlasten
- Untersuchung von elektrochemischen Speichern bezüglich des Wirkungsgrades, der Reaktionszeit, der Dynamik und der Lebensdauerkosten beim zu erwartenden Lastkollektiv
- Möglichkeit der Nutzung von Energiespeichern, die primär für andere Anwendungen vorgesehen sind, wie zum Beispiel Batterien

Projekt:

Potentiale Elektrochemischer Speicher in elektrischen Netzen in Konkurrenz zu anderen Technologie u. Systemlösungen (ESPEN)

in Telekommunikationsanlagen

- Berechnung von Lebenszykluskosten von Energiespeichersystemen anhand der in den vorangegangenen Schritten ermittelten Belastungsfällen
- Untersuchung der Potentiale von Energiespeichern die in Abhängigkeit der Netzgrößen Spannung und Frequenz zur Netzstabilisierung eingesetzt werden und Entwicklung entsprechender Regelkonzepte
- Betrachtung von Kommunikationssystemen und Bewertung der dadurch entstehenden Vorteile in Bezug auf die zu erwartenden Zusatzkosten
- Analyse der rechtlichen Rahmenbedingungen für die Bereitstellung von Speicherkapazitäten und Erarbeitung von Änderungsvorschlägen dieser Rahmendbedingungen für den Betrieb von kleinen, dezentralen Speicheranlagen
- Bewertung von Akzeptanzproblemen und möglichen Auswirkungen von dezentralen Speichersystemen

Arbeiten am IEE:

Nachfolgend werden zwei der Arbeitspaket, die während des ersten Projektjahres am IEE bearbeitet werden näher dargestellt.

Qualitative Anforderungen an Speicher – Sicherstellung des Energiegleichgewichts und der Frequenzstabilität:

Ziel ist die Herausarbeitung der Anforderungen bezüglich Energieinhalt, Leistung und Dynamik, ohne die Durchführung von Netzsimulationen oder Speichermodellierung.

Betrachtung von Alternativen Elektrochemischer Speicher:

Betrachtet werden folgende Alternativen zu elektrochemischen Speichern:

- Power-to-Heat und Power-to-Gas
- Spitzenlastkraftwerke
- Ausbau der elektrischen Netze
- Lastmanagement
- Zusatzlasten

Ziel ist die Beschreibung möglicher Alternativen, ihrer Kosten und Auswirkungen auf die Netzqualität, Wirtschaftlichkeit und Zuverlässigkeit.

sigkeit der Versorgung, sowie deren Auswirkungen auf andere gesellschaftliche und volkswirtschaftliche Aspekte.

Im Fokus dieses Arbeitsschrittes steht dabei nicht die genaue Untersuchung dieser Lösungsalternativen, sondern die Identifizierung von Bereichen, in denen elektrochemische Speicher besonders gute Chancen haben werden, und Bereichen, in denen alternative Lösungen besondere Vorteile haben können. Auch Kombinationen der genannten Alternativen mit Speichertechnologien sollen betrachtet werden.

Dissemination der Ergebnisse:

Im Rahmen des Projekts werden offene Workshops zu den verschiedenen Themenstellungen durch das IEE organisiert und durchgeführt. Die erarbeiteten Ergebnisse werden mit Industrieunternehmen, insbesondere Energieversorgern und Netzbetreibern und der Politik diskutiert, um die Umsetzung der Handlungsvorschläge voranzubringen.

Projektstand:

Verbundprojekt:

Die Erstellung von Netzmodellen für Mittel- und Niederspannungsnetze und die Durchführung der Netzsimulationen im ersten Arbeitsschritt wird zu Beginn des Jahres 2014 abgeschlossen sein, sodass die Belastungsprofile für die Speicher in Mittel- und Niederspannungsnetzen für die betrachteten Anwendungsfälle (Frequenzhaltung, Spannungshaltung, Engpassmanagement und Vergleichmäßigung der Residuallast) für die experimentelle Untersuchung der elektrochemischen Speicher und die Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen eingesetzt werden können.

Arbeiten am IEE:

Qualitative Anforderungen an Speicher – Sicherstellung des Energiegleichgewichts und der Frequenzstabilität:

Zur Ermittlung der Anforderungen an Speicher für den Einsatz zur Frequenzstabilisierung wurden die Zeitreihe der Netzfrequenz und die des Regelzonensaldos analysiert. Aus der gleichzeitigen Betrachtung der Marktdaten (Angebote für Leistung- und Arbeitspreis und angebotene Leistung), sollen Abrufprofile für einzelne Marktteilnehmer generiert werden, die anschließend für die experimentelle

Projekt: Potentiale Elektrochemischer Speicher in elektrischen Netzen in Konkurrenz zu anderen Technologie u. Systemlösungen (ESPEN)

Untersuchung der Speicher beziehungsweise die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung an die Partner übergeben werden.

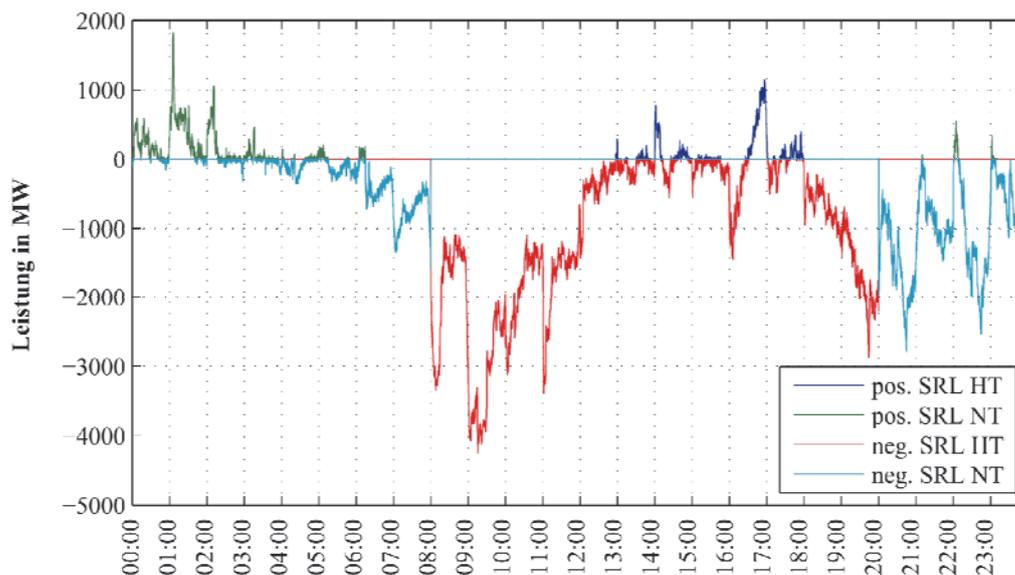


Abbildung 1: Regelzonensaldo des Netzregelverbunds für den 01.01.2013 - Der Regelzonensaldo gibt das Abrufprofil der Sekundärregelleistung (eingeteilt in die vier anzubietenden Produkte) vor

Betrachtung von Alternativen Elektrochemischer Speicher:

Grundlage der Betrachtung bildet die Auswertung der Ausbauprognosen für die erneuerbaren Energien des Netzentwicklungsplans 2013 (Szenario B). Basierend auf der derzeit installierten Leistung, den Ausbauprognosen, den Einspeiszeitreihen der erneuerbaren Energien des Jahres 2012 und der Annahme einer konstanten Last, wird die Residuallast der einzelnen Regelzonen und ausgewählter Verteilnetzgebiete für die Jahre 2020 und 2030 bestimmt.

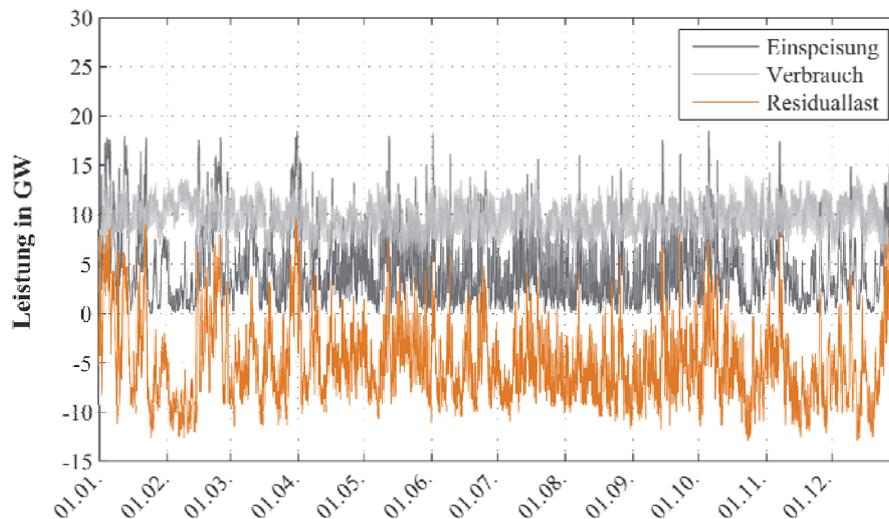


Abbildung 2: Residuallast der 50 Hertz- Regelzone im Jahr 2030 bei Verwendung der Ausbauprognosen des Netzentwicklungsplans 2013 (Szenario B) - Im Jahresverlauf treten Zeiten mit überschüssig vorhandener Energie (positive Residuallast) recht selten auf (Datenquelle: 50 Hertz)

Anhand des ermittelten Residuallastverlaufs wird unter Verwendung vorhandener Studien das Potenzial der betrachteten Alternativen zur Glättung des Residuallastverlauf abgeschätzt werden.

Dissemination der Ergebnisse:

Im November 2013 fand das erste Treffen des projektbegleitenden Industrieausschusses statt. Während des Treffens wurden das methodische Vorgehen im Projekt und die getroffenen Annahmen zwischen den Projektpartnern und den Industrievertretern diskutiert.

Im Jahr 2013 wurden Workshops zu folgenden Themenstellungen durchgeführt:

- Pumpspeicherkraftwerke (Februar 2013)
- Große Batteriespeicher zur Netzstützung (April 2013)
- Spannungshaltung (Mai 2013)
- Power-to-heat – mit der Firma Stiebel Eltron (Oktober 2013)
- Power-to-Gas (November 2013)

Projektpartner:

Am Verbundprojekt sind folgende Institute beteiligt.

- Energie-Forschungszentrum Niedersachsen (ausführende Stelle: Institut für elektrische Energietechnik und Energiesysteme) – Verbundprojektkoordinator

Projekt: Potentiale Elektrochemischer Speicher in elektrischen Netzen in Konkurrenz zu anderen Technologie u. Systemlösungen (ESPEN)

- Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme (ISE) in Freiburg
- Fraunhofer-Institut für Windenergie- und Energiesystemtechnik (IWES) in Kassel
- Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoffforschung (ZSW) – Fachgebiet Elektrochemische Akkumulatoren (ECA) in Ulm
- Technische Universität München (TUM) – Lehrstuhl für Elektrische Energiespeichertechnik (EES)
- Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen (RWTH Aachen) – Institut für Stromrichtertechnik und Elektrische Antriebe (ISEA) – Lehrstuhl für Elektrochemische Energiewandlung und Speichersystemtechnik
- Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg (OvGU) – Lehrstuhl Elektrische Netze und Alternative Elektroenergiequellen (LENA)



Die am Projekt beteiligten Personen beziehungsweise Organisationen sind Mitglied der Interessengemeinschaft für Batterien in elektrischen Netzen.

Förderung: Das Projekt wird durch das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit gefördert.

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Bearbeiter: Dipl.-Ing. Verena Schild (Tel.: 72-3736)
verena.schild@tu-clausthal.de

Projektleiter: Prof. Dr. rer. nat. Heinz Wenzl (Tel.: 05522-919170)
heinz.wenzl@t-online.de

IEE

Projektübersicht

Habilitantin: Dr.-Ing. Georgia Sourkouni-Argirusi
 Tel.: +49-5323-72-3189
 E-Mail: cogsa@tu-clausthal.de

Habilitation: Funktionale Schichten

- **Proton - Entwicklung der wissenschaftlichen Grundlagen für ein maßgeschneidertes Design gradierter Nanoverbund-Kathodenmaterialien für IT-SOFCs und PC-SOFCs**

Ziel des Projektes ist es wissenschaftliche Grundlagen und Prozesse zur Herstellung von universellen funktionalen Schichten zu entwickeln, welche als Kathodenmaterialien sowohl für Hochtemperaturbrennstoffzellen, welche im mittleren Temperaturbereich arbeiten (IT-SOFCs), als auch für protonenleitende SOFCs (PC-SOFCs) sich eignen. Grundlagenstudien über Routen zur Preparation von Doppelperovskiten der Allgemeinformel $\text{Pr}_{1-y}\text{La}_y\text{BaCo}_{2-x}\text{Fe}_x\text{O}_{6-d}$, $\text{Gd}_{1-y}\text{La}_y\text{BaCo}_{2-x}\text{Fe}_x\text{O}_{6-d}$ mit breiter Variation von x und y werden durchgeführt. Auf dieser Basis werden Hochleistungs-Einzellzellen von IT-SOFCs und PC-SOFCs hergestellt und getestet.

Messungen der Gesamtleitfähigkeit, als auch der reinen Sauerstoffionenleitung der o.g. Oxidmaterialien werden mittels der Polarisationsmethode und auch der 4-Punkt-Methode durchgeführt. Variiert werden dabei Temperatur und Sauerstoffpartialdruck. Daraus resultieren Transportparameter wie elektronische und ionische Leitfähigkeit, Beweglichkeiten der einzelnen Ladungsträger, Diffusionskoeffizienten und entsprechende Aktivierungsenthalpien. Des-Weiteren wird die Sauerstoffstoichiometrie und die Defektstruktur der Doppelperovskite als Funktion der Temperatur und des Sauerstoffpartialdruckes mittels thermogravimetrischer und coulometrischer Analyse bestimmt. Parallel dazu wird der Massentransport in diesen Materialien mittels "Molecular Dynamics" -Prozeduren kalkuliert und die Ergebnisse mit den gemessenen verglichen.

Förderung: BMBF

Projektpartner: - National Technical University of Athens Griechenland
 - University of Oslo Norwegen
 - Ural Federal University Russland
 - Ecole Centrale Paris through CRSA Frankreich

Bearbeiter: Dr.-Ing. Sourkouni-Argirusi

- **Procope YSI-SPS**

Das Ziel ist, dichte Proben von refraktären Oxiden wie Yttriumsilikat und Mullit mittels Sparr Plasma Sintering (SPS) herzustellen und Diffusionskoeffizienten von Sauerstoff und Wasserstoff darin zu bestimmen. Letztere stammen aus der WeWi der oxidischen Materialien mit Wasser.

Ebenfalls sollen Keramiken aus der Familie der Pyrochlore (aber auch Mullit und Yttriumsilikat) bzgl. Ihrer Eignung radioaktive Abfälle zu kapseln, untersucht werden. Dazu werden dichte Keramiken bestrahlt und nach Änderungen in ihrer Mikrostruktur untersucht. Die Untersuchungen in der ersten Phase dieses Vorhabens konzentrieren sich auf die Herstellung von geeigneten Pulvern der zu untersuchenden Materialien (Yttriummonosilikat, Yttriumdisilikat, Mullit (2:1 und 3:2) sowie der drei Pyrochlore $Gd_2Ti_2O_7$, Gd_2TiZrO_7 und $Gd_2Zr_2O_7$) um sie in einem darauffolgenden Schritt mittels SPS zu dichten Keramiken zu sintern.

Aus diesen Versuchen resultieren Protokolle zur Herstellung sinteraktiver keramischer Yttriumsilikat-, Mullit- und Pyrochlorpulver. Ebenfalls sollen Parametersätze zum erfolgreichen Einsatz der SPS-Methode ermittelt werden, mit denen dichte Yttriumsilikat- und Mullitproben, sowie dichte Pyrochlorproben mit nanokristalliner Struktur herstellen lassen.

Förderung: DAAD

Projektpartner: - Universität Paris Sud (Orsay) Frankreich

Bearbeiter: Dr.-Ing. Sourkounis-Argirusi

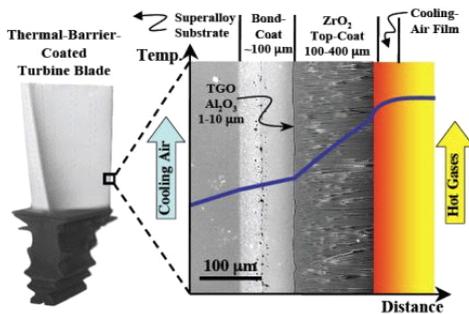
- **TheBarCode : Development of multifunctional Thermal Barrier Coatings and modeling tools for high temperature power generation with improved efficiency**

Entwicklung von multifunktionalen Thermal Barrier Coatings und Modellierungs-Tools für Hochtemperatur Stromerzeugung mit verbessertem Wirkungsgrad

This project is focused to considerably advance the efficiency of power generation in gas turbine processes by the development of advanced parts or components of significantly improved performance as well as software products providing optimized process parameters.

The aim of this project is the development of materials, methods and models suitable to fabricate, monitor, evaluate and predict the performance and overall energy efficiency of novel thermal barrier coatings for energy generative systems. By the radical improvement of the performance of materials “in service”, by the application of novel thermal barrier coatings, structural design and computational fluid simulations a significant improvement in energy efficiency and cost effectiveness will be achieved.

Projektübersicht



Thermal barrier coating

Dieses Projekt konzentriert sich hauptsächlich mit der Verbesserung des Wirkungsgrades in den Gasturbinen-Prozesse für Stromerzeugung und der Entwicklung von fortschrittlichen Teile oder Komponenten mit eine deutlich verbesserte Leistung sowie Software-Produkte

Das Ziel dieses Projektes ist die Entwicklung von Materialien, Methoden und Modelle, die sich in der Herstellung, Überwachung, Bewertung und Vorhersage

der Leistung und Gesamtenergieeffizienz von neuartigen Wärmedämmschichten, die für Energie generative Systeme eingesetzt werden können. Durch die radikale Verbesserung und der Entwicklung von Materialien "im Dienst", durch die Anwendung von neuartigen Wärmedämmschichten, Konstruktion und numerische Strömungssimulation kann eine deutliche Verbesserung der Energieeffizienz und Wirtschaftlichkeit erreicht werden.

Förderung: EU

Projektpartner:

Participant	Participant legal name	Country
1.	Technological Educational Institute of Chalkida (TEIC)	Greece
2.	Boreskov Institute of Catalysis (BIC)	Russia
3.	Powder Metallurgy Institute (PMI)	Belarus
4.	Institute for Physical Research (IPR)	Armenia
5.	Plasma Jet s.r.l. (PLASMA)	Romania
6.	MERL Ltd (MERL)	United Kingdom
7.	National Institute for Aerospace Research "Elie Carafoli"(INCAS)	Romania
8.	Ceramics & Refractories Technological Development Company (CERECO)	Greece
9.	NUMECA International S.A (NUMECA)	Belgium
10.	Open Source Management (OSM)	United Kingdom
11.	OJSC "Aviadvigatel" (AVIAD)	Russia

Bearbeiter: Dr.-Ing. Sourkouni-Argirusi

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
Wissenschaftliche Mitarbeiter:	Dipl.-Ing. R. Bengler Dipl.-Ing. A. Bentaleb Dipl.-Ing. Y. Chen (Austritt 06/13) Dipl.-Ing. N. Ell S. Fiebrich, M. Eng. Dipl.-Ing. M. Geng Dipl.-Ing. T. Hager (Austritt 12/12) Dipl.-Phys. R. Heyne Dipl.-Wi.-Ing. G. Kaestle (Austritt 09/13) Dipl.-Wirtsch.-Ing. K. Koring Dipl.-Ing. T. Küster (Austritt 01/13) Dr.-Ing. A. Mbuy (Austritt 12/12) Dipl.-Ing. S. Nakhaie (Austritt 08/12) Dipl.-Ing. A. Oberland F. Pöschke, M. Eng. Dipl.-Ing. V. Schild Dipl.-Wirtsch.-Ing. M. Schmidt (Austritt 08/12) Dipl.-Ing. R. Schnieder

Dipl.-Ing. B. Schwake
Dipl.-Ing. M. Stubbe
Dipl.-Ing. E. Tchoupou Lando
Dipl.-Ing. A. Theiß, M. Sc.
M. Thiele, M. Eng.
Dipl.-Ing. A. Ufkes
Dipl.-Ing. J. Umbach
Dipl.-Ing. B. Werther

Freie wissenschaftliche Mitarbeiter:
(externe Doktoranden)

Dipl.-Ing. Schmiesing, E.ON Avacon
Dipl.-Ing. Speckmann, IWES
Dipl.-Ing. Becker, EFZN

MitarbeiterInnen im Technischen
und Verwaltungsdienst (MTVD):

Frau E. Mendt
Frau C. Schönemann
Herr D. Fritze (Austritt 10/12)
Herr M. Kirchner
Herr R. Koschnik
Herr I. Lührig
Herr K. ter Smitten
Herr J.-N. Gebhardt (Auszubildender)
Herr S. Knapczyk (Auszubildender)
Herr J. Köplin (Auszubildender)
Herr A. Rohde (Auszubildender)

Die Mitarbeiter des Institutes für Elektrische Energietechnik und Energiesysteme



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



R. Benger
(WiMa, Batterie-
technik)

- 2176



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

- 2593



Y. Chen
(ehem. WiMa)



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

- 3821



S. Fiebrich
(WiMa, Speicher-
systeme)

05321/3616-8065



M. Geng
(WiMa,
Speichersysteme)

-2594

Mitarbeiterinnen / Mitarbeiter

Telefon: 05323/72-



T. Hager
(ehem. WiMa)



R. Heyne
(WiMa, Batteriesysteme)
-2272



G. Kaestle
(ehem. WiMa)



K. Koring
(WiMa, Speichersysteme)
05321/3816-8101



T. Küster
(ehem. WiMa)



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



S. Nakhaie
(ehem. WiMa)



A. Oberland
(WiMa, Batteriesysteme)
- 3720



F. Pöschke
(WiMa, Antriebstechnik)
- 2929



V. Schild
(WiMa, Batteriesysteme)
- 3736



M. Schmidt
(ehem. WiMa)



R. Schnieder
(WiMa, Elektrische Verteilnetze)
- 3597



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



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



E. Tchoupou Lando
(WiMa, Batterie-
systeme)
- 2572



A. Theiß
(WiMa, Netze)
-05321/3816-
8009



M. Thiele
(WiMa, Speicher-
systeme
-05321/3816-
8161



A. Ufkes
(WiMa, Netze)
- 2594



J. Umbach
(WiMi, Netze)
- 2593



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



D. Fritze
(ehem. Mitarbei-
ter)



J.-N. Gebhardt
(Auszubildender)
- 3839



M. Kirchner
(Elektronik)
- 3839



S. Knapczyk
(Auszubildender)
- 2571

Mitarbeiterinnen / Mitarbeiter

Telefon: 05323/72-



J. Köplin
(Auszubildener)

-3839



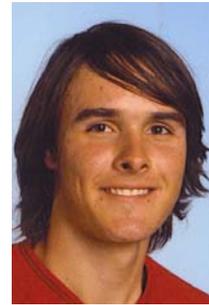
R. Koschnik
(Energieelektro-
nik)

- 5067



I. Lührig
(Energietechnik)

- 2571



A. Rohde
(Auszubildener)

- 2940



C. Schönemann
(Techn. Zeich-
nerin)

- 2177



K. ter Smitten
(Mechanik)

- 2571

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	Energiesysteme: Kapitelteil Kernbrennstoffe
Dr.-Ing. J. Heldt	Sonderprobleme Elektrischer Maschinen
Dr. Ing. J. Jahn	Regenerative Elektrische Energietechnik
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. rer. nat. H. Wenzl	Batteriesystemtechnik und Brennstoffzellen

4.3 Wissenschaftliche Hilfskräfte

Frau A. Bünning	Frau M. Klarmann	Herr S. Schädlich
Herr H. Chen	Frau J. Knoll	Herr S. F. Schäfer
Frau F. Davoudizadeh	Herr M. Kröger	Herr G. Scherke
Frau I. Dombrowski	Frau M.-L. Kroos	Herr W. Schreiber
Herr D. E. Erazo Pesántez	Herr M. Lensing	Herr J. Schumacher
Frau Y. Feng	Frau B. Lentze	Herr T. Settgast
Frau E. Frink	Herr G. Lin	Frau B. Shabani
Herr J. Gollenstede	Herr A. Lindig	Herr E. Tchoupou Lando
Herr T. Grün	Herr H. P. Marquard	Herr K. Tkalcec
Herr J. O. Handler	Herr J. Meyer	Frau D. Wehrmann
Herr M. Hendrich	Herr C. Rammelt	Herr F. Winning
Herr D. Janssen	Herr M. Redeker	
Frau C. Kaczorowski	Herr M. Salimifard	

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 Energiespeicher und -systeme
 - AQUAS-Gutachter
 - AiF-Gutachter
 - DFG-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.)
 - Vorsitzender des Niedersächsischen Energierates
 - Mitglied im VDE-Gremium Netzfragen (FNN)
 - 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)
- www.smig2013.de
- www.smartnord.de

6 Anlagen

Die Anlagen sind in der angegebenen Reihenfolge eingebunden

Anlage 1	Ressourcen des Institutes
Anlage 2	Kooperation Japan, Uni Kyutech, TU Clausthal

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 2013)	
	-wissenschaftliches Personal	19
	-techn./Verwaltungsangestellte	10
	-Lehrbeauftragte	11
	-Wissenschaftliche Hilfskräfte	37
	-externe Doktoranden	3
		<hr/>
		82
●	Prüffeld mit	
	-Maschinen-/Antriebslabor	
	-Energieelektroniklabor	
	-Hochspannungs-/Energieanlagenlabor	
	-Prüfstände für Walzwerks- und Windenergieanlagen (doppelgespeiste ASM, PSM)	
	-Batterie-Prüfstand mit Impulslade / -entladegerät und Impedanzspektrometer	
	-Prüfstand für Windkraftanlagen zur Getriebeprüfung	
	-Schleudergrube	
	-Tanken im Smart Grid (Versuchsanlage)	
●	Labor elektrische Verteilnetze (Multi-VISMA), EFZN	
●	Speicherlabor (EFZN), Redox Flow-Batterie	
●	Stationäre Batteriespeichereinheit (50 kW, 50 kWh)	
●	Prozeßrechner-/Simulationstechniklabor: Windows - NT - Workstations, Digitale Signalprozessor - Einschübe, CIP-Pool, WAP-Pools	
●	MATLAB-Simulink, SABER, PSPICE etc.	
●	Digitale Signalprozessoreinheiten (Einschübe der Firma dSpace)	

TU Nachrichten

TU Clausthal intensiviert Zusammenarbeit mit Japan

12.09.2013

Clausthal-Zellerfeld. Wie kommt man als japanischer Student im Harz zurecht? Welche technische Ausstattung hat die TU Clausthal? Und wie sieht generell die Energieversorgung in Deutschland aus? Diesen und ähnlichen Fragen sind fünf Studenten aus Japan nachgegangen, die für zwei Wochen die TU Clausthal besucht haben, finanziert mit einem Regierungsstipendium.



Vor der Photovoltaik-Anlage auf dem Energie-Campus der TU Clausthal in Goslar (von links): Hiroki Mishio, Masanori Tokumitsu, Dr. Dirk Turschner, Shota Mattori, Keisuke Ikeda und Hiroaki Ikegami. Foto: Abel ([Bild herunterladen](#))

Den ersten Aha-Effekt in Deutschland erlebten die fünf 22-Jährigen gleich, als sie vom Flughafen abgeholt wurden. Die Japaner, die in ihrer Heimatstadt Fukuoka an der Universität Kyutech (Kyushu Institute of Technology) Elektrotechnik studieren, sind ein Tempolimit auf Autobahnen von 100 Stundenkilometern gewohnt. Von Hannover nach Clausthal-Zellerfeld sind sie erstmals in ihrem Leben etwas schneller gefahren. „Das hat richtig Spaß gemacht. Aber es war auch sehr ungewohnt, denn in Japan fahren wir auf der linken Straßenseite“, erzählte Hiroki Mishio.

Ganz begeistert waren die fünf höflichen jungen Herren auch von einem Clausthaler Forschungsfahrzeug, dem elektrisch angetriebenen Tesla Roadster. „Alle sind mal mitgefahren“, berichtete Dr. Dirk Turschner. Durch den Forscher des Instituts für Elektrische Energietechnik war der Kontakt nach Japan entstanden. Auf einer Messe in Tokio, auf der er mit dem Erfinderzentrum Norddeutschland die „Virtuelle Synchromaschine“ vorstellte, lernte er einen Absolventen der Kyutech-Universität kennen. Dieser vermittelte ein Gespräch mit

dem Elektrotechniker Professor Yasunori Mitani. Kurze Zeit später besuchte Turschner mit Vertretern des Internationalen Zentrums Clausthal (IZC) die Hochschule in Fukuoka. Und im September 2012 stattete Professor Mitani der TU und dem Energie-Forschungszentrum Niedersachsen (EFZN) einen Gegenbesuch ab. „Danach war klar“, so Turschner, „dass wir in der Forschung gemeinsame Ziele verfolgen und uns gut ergänzen können.“

Zwar unterscheiden sich das japanische und das deutsche Energieversorgungsnetz in vielerlei Hinsicht. So gibt es aus historischen Gründen auf Japans Hauptinsel Honshu zwei Versorgungsgebiete, einmal mit 50 Hertz und einmal mit 60 Hertz Netzfrequenz. „Die beiden Netze sind über mehrere Hochspannungs-Gleichstrom-Übertragungen miteinander gekoppelt – eine Technologie, die zurzeit in Deutschland für Übertragungsnetze im Gespräch ist“, erläuterte Turschner sein Interesse daran. Beide Universitäten, die TU Clausthal und Kyutech, haben inzwischen einen Kooperationsvertrag unterzeichnet.

„Wenn man die Hochschulen vergleicht, verfügt Clausthal über die größere technische Ausstattung und mehr Forschungsmöglichkeiten“, sagte Gaststudent Keisuke Ikeda. Neben Instituten in Clausthal schaute sich das Quintett aus Fernost das EFZN an. Land und Leute erlebten die Japaner, die auch von Astrid Abel (IZC) mitbetreut wurden, auf dem Oberharzer Bauernmarkt, beim Baden in den Teichen und beim Einkaufsbummel in Hannover. Ihr Fazit: „Wir kommen gerne wieder – auch wenn es bei uns Fisch gibt, wo die Deutschen Fleisch essen.“ Zunächst hat sich von der Universität Kyutech aber Professor Masayuki Watanabe angesagt, der einen Forschungsaufenthalt im Oberharz plant. „Das alles zeigt“, freut sich Initiator Turschner, „auf japanischer Seite besteht ein großes Interesse an einer dauerhaften Zusammenarbeit.“