

Projekt: Smart Microgrids
Teilprojekt: Energiesystemtechnik (TP 2)

Problem: Verbundprojekt: Effiziente Nutzung erneuerbarer Energien durch regionale ressourcenoptimierte ‚intelligente‘ Versorgungs- und Verbrauchsnetze (Smart Microgrids): Technische und ökonomische Machbarkeit, Umwelt- und Gesellschaftsverträglichkeit
Teilvorhaben: Energiesystemtechnik (TP 2)



Projektziel: Verbundprojekt: Die im Projekt verfolgten übergeordneten Ziele betreffen die Erschließung regionaler Potenziale erneuerbarer Energien und deren dezentrale Nutzung durch die dynamische Anpassung von Angebot und Nachfrage. Einhergehend soll die Vulnerabilität des Energiesystems insgesamt reduziert und dessen Flexibilität hinsichtlich des Potenzials der Einbindung erneuerbarer Energiequellen erhöht werden. Unter Einbeziehung verschiedener Praxispartner in zwei Modellregionen wird die soziale Akzeptanz der Nutzung erneuerbarer Energien untersucht.

Im Fokus der im Projekt durchgeführten Betrachtungen steht die Beantwortung der Frage, ob und wie Smart Microgrids dazu beitragen können, intelligente Versorgungsstrukturen zu schaffen, die elektrische Energie aus unterschiedlichen Quellen aufnehmen und die Verbraucher bedarfsgerecht versorgen. Dabei wird insbesondere der zeitliche Ausgleich von Angebot und Nachfrage innerhalb des lokalen Energiesystems untersucht.

TP 2 – Energiesystemtechnik:

Ziel dieses Teilprojekts ist die Erarbeitung eines Energiemanagementkonzepts, welches unter Einbeziehung der in den betrachteten Gemeinden vorhandenen Potenziale der Energiebereitstellung aus regenerativen Quellen (Photovoltaik, Wind und Bioenergie) und des Lastmanagements in landwirtschaftlichen und Gewerbebetrieben, eine netzdienliche Austauschleistung mit dem vorlagerten Netz ermöglicht.

Hintergr. des Projekts: Ziel des Projekts ist die Analyse der technisch-ökonomischen Machbarkeit des lokalen zeitlichen Ausgleichs von Energieangebot und -nachfrage. Aus volkswirtschaftlicher Sicht kann durch diesen Ansatz den steigenden Anforderungen an die Netze durch dezentrale und fluktuierend einspeisende Erzeugungsanlagen begegnet werden [1]. Innerhalb des liberalisierten Strommarktes ist der angestrebte lokale Ausgleich unter Berücksichtigung des freien Wettbewerbs zwischen Energieerzeugung, Energiehandel und den Kunden zu betrachten. Da die wirtschaftlichen Ziele der Marktteilnehmer mit dem Ziel des lokalen Ausgleichs innerhalb des Energiesystems in Konkurrenz stehen können, sind regulatorische Eingriffe erforderlich [2].

Lösungsweg: Im Rahmen des Projekts werden die betrachteten Energiesysteme in zwei getrennt durchgeführten Betrachtungen einerseits hinsichtlich der betriebswirtschaftlichen Ziele der

beteiligten Akteure und andererseits hinsichtlich der technischen Zielvorstellung bezüglich des Gesamtsystems untersucht.

Durch die Leuphana Universität Lüneburg wurde im Rahmen des Teilprojekts 3 (Finanzierungskonzepte) dazu zunächst untersucht, welche Anreizsysteme und Geschäftsmodelle hinsichtlich des regionalen zeitlichen Ausgleichs von Angebot und Nachfrage den einzelnen Akteuren derzeit zur Verfügung stehen [3]. Aus den Ergebnissen der Analyse werden entsprechende Geschäftsmodelle und zugehörige Vermarktungsstrategien für die im System vorhandenen Anlagen (PV-, Wind- und Biogasanlagen, sowie steuerbare und nicht-steuerbare Lasten und Speicher) abgeleitet und in einem betriebswirtschaftlichen Modell implementiert. Ergebnis dieser Betrachtungen sind die wirtschaftlich motivierten Fahrpläne der einzelnen Anlagen und die zugehörigen Speicherkapazitäten. Durch die Summation der Fahrpläne der einzelnen Anlagen ergibt sich die Austauschleistung zwischen dem betrachteten System und der Umgebung. Gleichermaßen wird die insgesamt wirtschaftlich motivierte Speicherkapazität bestimmt.

Am Institut für Elektrische Energietechnik und Energiesysteme wurde im Rahmen des Teilprojekts 2 (Energiesystemtechnik) ein modulares Modell eines Energiemanagementkonzepts erarbeitet, welches auf den verfügbaren Daten (Einspeise- und Lastzeitreihen in 15-Minuten-Intervallen) basiert. Ziel des Managementkonzepts ist der Ausgleich der Energiebilanz für eine vorgegebene Zeitreihe der Austauschleistung mit dem umgebenden System in jedem Simulationsschritt. Als Ziele können beispielsweise die Verringerung von Netzausbaumaßnahmen, Energiebereitstellung zu Hochlastzeiten oder die Bereitstellung von Regelleistung als Zeitreihe der Austauschleistung zwischen dem betrachteten Energiesystem und dem vorgelagerten Netz formuliert werden. Über die entsprechende Vorgabe der Austauschleistung kann das Managementkonzept sowohl für den Netzparallelbetrieb als auch für den Inselnetzbetrieb eingesetzt werden.

Für die zu betrachtenden Beispielgemeinden können verschiedene Typen von Erzeugern und Verbrauchern einbezogen werden, die sich insbesondere hinsichtlich ihrer Steuerbarkeit unterscheiden. Als nicht-steuerbare Anlagen werden erzeugerseitig Photovoltaik- und Windenergieanlagen einbezogen. Verbraucherseitig gehören zu dieser Kategorie alle Anlagen, die über (Standard-)Lastprofile berücksichtigt werden, wie zum Beispiel die Verbrauchergruppe der Haushalte. Als steuerbare Anlagen werden solche Anlagen einbezogen, deren Leistungsabgabe beziehungsweise -aufnahme entweder zeitlich verschoben und/oder bezüglich des Betrags moduliert werden kann. Erzeugerseitig werden in dieser Kategorie Biogas-Blockheizkraftwerke in die Betrachtung einbezogen, während verbraucherseitig Anlagen zum Beispiel in landwirtschaftlichen Betrieben berücksichtigt werden, deren Leistungsaufnahme abhängig vom Füllstand eines zugeordneten Speichers zeitlich verschoben werden kann. Zu jeder Anlage werden die Restriktionen, wie beispielsweise Mindestlauf- und Pausenzeiten, Maximallauf- und Pausenzeiten, Füllstände der zugeordneten Speicher und die minimale Teillast berücksichtigt. Ergebnis

Projekt: Smart Microgrids
 Teilprojekt: Energiesystemtechnik (TP 2)

der durchgeführten technischen Betrachtungen sind die Anlagenfahrpläne, die sich unter Berücksichtigung der vorgegebenen Austauschleistung innerhalb des Gesamtsystems ergeben, sowie die zugehörigen Speicherkapazitäten.

Die resultierenden Austauschleistungen und Speicherkapazitäten werden verglichen, um den Beitrag der einzelnen Anreizsysteme bzw. der daraus abgeleiteten Vermarktungsstrategien zum Erreichen der technischen Ziele zu untersuchen.

Im Rahmen des Teilprojekts 4 (Betriebliche Konzepte) wurden die Biogas-Erzeugungspotenziale, sowie die Potenziale des Lastmanagements im landwirtschaftlichen Bereich durch die Hochschule Neubrandenburg erarbeitet. Landwirtschaftsbetriebe treten in den im Rahmen des Projekts betrachteten ländlichen Regionen sowohl als Energieerzeuger auf und bieten gleichermaßen das Potenzial zur Flexibilisierung eines Teils ihrer Lasten, sodass sie wichtige Akteure zum Ausgleich zwischen lokalem Energiedargebot und lokaler Nachfrage sind.

Vor diesem Hintergrund wird die erarbeitete Methodik am Beispiel eines Energiesystems bestehend aus einem Landwirtschaftsbetrieb mit energieintensiver Ferkelaufzucht, der eine Biogas-Anlage mit angeschlossenem BHKW betreibt, und einer Gemeinde mit 100 Haushalten erläutert (vgl. [13]).

	Anlage	jährliche Energie	Zeitverhalten	Leistungsbereich
Verbraucher	100 Haushalte	353 MWh	H0-SLP	13,5 – 75,6 kW
	Landwirtschaft	620 MWh	Grundlast + periodischer Verbrauch	62,2 – 108,2 kW
	2 Rührwerke	19,7 MWh	3 Stunden täglich	9 kW
	Eigenbedarf BGA	105 MWh	Grundlast	12 kW
Erzeuger	Biogas-BHKW	< 1.314 MWh	flexibel (1.500 m ³ i.N. Speicher)	50 – 100% BHKW-Nennleistung

Tabelle 1: Anlagen im betrachteten Beispielsystem (Datengrundlage: [4], [5], [6], [7])

Als Erzeuger steht im System lediglich das Biogas-BHKW zur Verfügung, welches durch die Nutzung eines Biogasspeichers im Leistungsbereich zwischen 50 und 100 % seiner Nennleistung betrieben werden kann. Verbraucherseitig werden als nicht steuerbare Lasten die Haushalte (H0-SLP) und die Grundlast des Landwirtschaftsbetrieb (Heizung und Lüftung) sowie die periodisch durchgeführte Fütterung berücksichtigt. Als steuerbare Lasten stehen die Rühr-

werke der Biogasanlage und die Mahl- und Mischanlage zur Futteraufbereitung zur Verfügung. Die im System berücksichtigten Anlagen sind in Tabelle 1 charakterisiert. Die Biogasanlage wird mit Schweinegülle aus dem Landwirtschaftsbetrieb und lokal vorhandener Maissilage betrieben.

Zur Versorgung der verschiedenen Verbraucher ergeben sich aus den vorhandenen Anreizsystemen die in Tabelle 2 dargestellten unterschiedlichen Vermarktungsoptionen.

Neben der Versorgung der Kunden direkt aus dem Biogas-BHKW werden ebenfalls der Zukauf und der Verkauf von Energie an der Strombörse berücksichtigt, wenn die dortigen Preise eine kostengünstigere Versorgung der Verbraucher erlauben. Ebenso ist eine Vermarktung von überschüssiger Energie an der Börse vorgesehen, wenn diese gegenüber der lokalen Direktvermarktung wirtschaftlich vorteilhaft ist.

	Anlage	Vermarktungsweg	Erlösmöglichkeit
Verbraucher	Haushalte	DV mit Marktprämie	Haushaltsstrompreis + Marktprämie, Einsparung Stromsteuer wegen räumlicher Nähe
	Landwirtschaft	DV mit Marktprämie	Gewerbestrompreis + Marktprämie, Einsparung Stromsteuer wegen räumlicher Nähe
	Rührwerke	Eigenverbrauch	Einsparung Netzentgelte und zugeordnete Umlagen, red. EEG-Umlage
	Börse	DV mit Marktprämie	Börsenpreis + Marktprämie

Tabelle2: Vermarktungswege der durch das Biogas-BHKW bereitgestellten Energie innerhalb des betrachteten Systems ([7], [8], [9])

Aus der betriebswirtschaftlichen Betrachtung verschiedener BHKW-Größen in Kombination mit einer Biogasanlage, die eine elektrische Dauerleistung von 150 kW ermöglicht, ergeben sich die in Abbildung 1 dargestellten Erlöse, wobei die steigenden Werte bei zunehmender installierter BHKW-Leistung im Wesentlichen durch den steigenden Erlös aus der Markt- und der Flexibilitätsprämie verursacht werden.

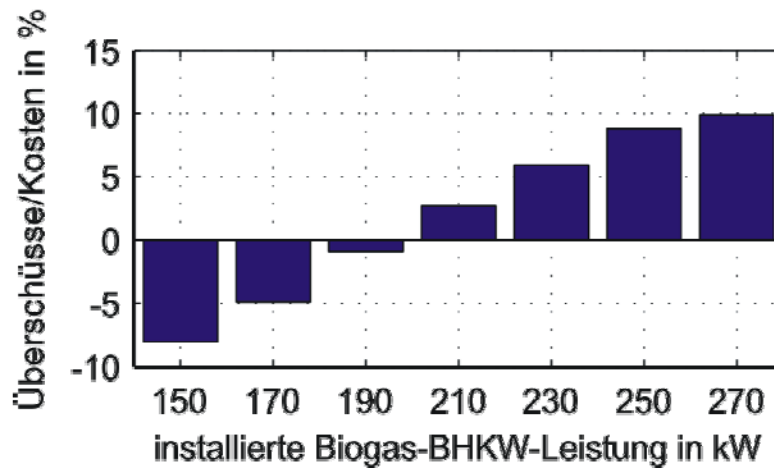


Abbildung 1: Jährliche Erlöse bezogen auf die jährlichen Kosten der Direktvermarktung an lokale Kunden und zu- und Verkauf an der Strombörse

Neben der betriebswirtschaftlichen Betrachtung wird ebenfalls der netzdienliche Lastfolgebetrieb des BHKW zur Bereitstellung einer konstanten Austauschleistung mit dem umgebenden System untersucht. Da ein BHKW mit einer installierten Leistung von 270 kW die höchsten jährlichen Überschüsse ermöglicht, wird für die technische Betrachtung ebenfalls ein BHKW mit dieser installierten Leistung angenommen.

Unter Berücksichtigung der Wirkungsgradeinbußen im Teillastbetrieb des BHKW ergibt sich eine jährlich konstante Ausspeiseleistung von 19,8 kW. Im betriebswirtschaftlich orientierten Betrieb schwankt die Austauschleistung zwischen 129 kW (Ausspeisung) und -18 kW (Energiebezug). Ohne lokale Versorgung der Verbraucher und ohne Lastmanagement der flexiblen Anlagen im Landwirtschaftsbetrieb beträgt die gleichzeitige viertelstündliche Bezugsleistung des angenommenen Systems maximal 166 kW. Somit wird durch beide betrachtete Betriebsweisen potenziell eine Netzentlastung erreicht.

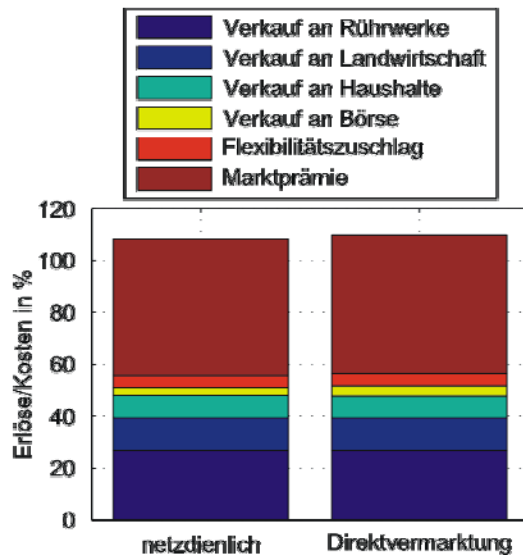


Abbildung 2. Anteile der Erlöse in Bezug auf die Kosten für den netzdienlichen Betrieb und die Direktvermarktung mit einer installierten BHKW-Leistung von 270 kW. Die geringfügig höheren Erlöse im Fall der Direktvermarktung werden durch die gesteigerten Einnahmen durch den Börsenverkauf bedingt.

Abbildung 2 stellt die erwirtschafteten Erlöse in den beiden betrachteten Fällen gegenüber. Für den netzdienlichen Betrieb werden dieselben Vermarktungswege wie für den Fall der Direktvermarktung angenommen. Der Unterschied besteht darin, dass sich der Betrieb des BHKW im netzdienlichen Fall nicht nach den Börsenpreisen richtet und dieser Anteil folglich gegenüber der betriebswirtschaftlich orientierten Direktvermarktung geringer ist. Zum Ausgleich der finanziellen Einbußen des Anlagenbetreibers durch den netzdienlichen Betrieb seiner Anlage im Energiesystem wäre im betrachteten Beispiel eine zusätzliche Vergütung von 0,31 ct/kWh erforderlich, die durch von der konstanten Austauschleistung profitierenden Akteur zu entrichten wäre.

Abbildung 3 zeigt die zeitlichen Verläufe der Anlagenleistungen für eine Woche im Juni. Das Biogas-BHKW (einziger Erzeuger im System) versorgt die Verbraucher und sorgt gleichzeitig für eine konstante Rückspeiseleistung in das überlagerte Netz. Die flexiblen Verbraucher (Mahl- und Mischanlage und beide Rührwerke) werden im Rahmen der angesetzten technischen Restriktionen (Laufzeiten, Pausenzeiten, Speicherfüllstände,...) so betrieben, dass Lastschwankungen möglichst reduziert werden.

Projekt: Smart Microgrids
Teilprojekt: Energiesystemtechnik (TP 2)

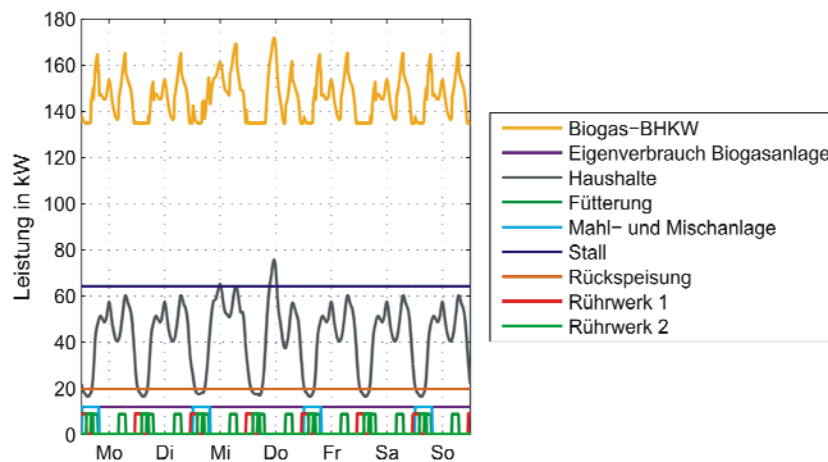


Abbildung 3: Zeitliche Verläufe der Anlagenleistungen in einer Beispielwoche im Juni. Das Biogas-BHKW ist einziger Erzeuger im System, mit einer installierten Leistung von 270 kW und einer minimalen Teillast von 135 kW. Das Biogas-BHKW versorgt die Verbraucher und ermöglicht eine konstante Rückspeisung von ca. 20 kW in das überlagerte Netz.

Die beispielhaft durchgeführte Betrachtung zeigt, dass unter den getroffenen Annahmen ein Biogas-BHKW wirtschaftlich in der lokalen Direktvermarktung im Sinne eines Smart Microgrids betrieben werden kann, wobei die erzielbaren Erlöse mit der installierten BHKW-Leistung zunehmen, da damit Marktprämie (größter Anteil der Erlöse) und Flexibilitätsprämie steigen. Die Spitzen der Austauschleistung werden in der netzdienlichen Anlagenfahrweise und in der Direktvermarktung gegenüber dem Referenzfall (ohne lokale Energiebereitstellung, ohne Lastmanagement) reduziert.

Projektstand: Innerhalb des Berichtszeitraums wurde die entwickelte Methode in der Betrachtung verschiedener Beispielsysteme umgesetzt (vgl. [10], [11], [12], [13] und [14]).

In den beteiligten Modellgemeinden haben Akteurswerkstätten unter Leitung des ecolog Instituts und mit Beteiligung der Praxispartner stattgefunden. Die Ableitung detaillierter Anwendungsfälle und Ziele für die einzelnen Gemeinden sowie die darauf aufbauende Umsetzung der entwickelten Methode und die Anpassung der vorhandenen Modelle an die Anforderungen in den Modellgemeinden stehen derzeit noch aus.

Literatur:

- [1] Energietechnische Gesellschaft im VDE (Hrsg.): VDE-Studie Dezentrale Energieversorgung 2020. Frankfurt am Main, 2007
- [2] Aichele, C.; Doleski, O.: Idee des intelligenten Energiemarktes. In: Smart Market: Vom Smart Grid zum intelligenten Energiemarkt. Wiesbaden: Springer Verlag, 2014
- [3] Bettinger, C.; Holstenkamp, L.: A systematic survey of business models for smart micro-grids under current legal and incentive conditions, ETG-Kongress 2015, 16. und 7. November 2015 in Bonn (Veröffentlichung angenommen)
- [4] FNR (Hrsg.): *Leitfaden Biogas: Von der Gewinnung zu Nutzung*. 6. Aufl. Gülzow-Prüzen: Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V., 2013
- [5] Eckel, H.; Büscher, W.; Feller, B. ; Fritzsche, S. ; Gaio, C.; Kämper, H. ; Neiber, J.: *Energiebedarf in der Schweine und Hühnerhaltung*. Darmstadt: Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V., 2014
- [6] ASUE (Hrsg.): *BHKW-Kenndaten 2011*. Berlin, 2011
- [7] Grotholt, C.; Liesner, S.: *Die Auswirkungen von bedarfsgerechter Erzeugung auf das BHKW*. Berlin, 2013 (3. VDI-Fachkonferenz bedarfsorientierte Stromerzeugung aus Biogas und Biomethan)
- [8] Loibl, H.: Die Eigenstromnutzung nach dem EEG 2014. In: Zeitschrift für neues Energierecht (2014), Nr. 5, S. 437–440
- [9] Buchmüller, C.: Geschäftsmodelle zur regionalen Direktvermarktung von Strom aus Erneuerbaren Energien. In: Zeitschrift des Instituts für Energie- und Wettbewerbsrecht in der kommunalen Wirtschaft (2014), Nr. 1, S. 5–9
- [10] Skau K., Bettinger C., Schild V., Fuchs C. & Beck H.-P. 2015: Betriebsstrategien für Biogas-anlagen zwischen netzdienlichem und wirtschaftlich orientiertem Betrieb. 9. Rostocker Bioenergieforum. Rostock, Band 52, S.277-289, 18. und 19. Juni 2015
- [11] Skau, K., Fuchs, C., Bettinger, C., Spielmann, V., Beck, H-P. 2015: Renewable Energy – Opportunities for production and use of electrical power for farmers under conditions of the rene-

Projekt: Smart Microgrids
Teilprojekt: Energiesystemtechnik (TP 2)

- wable energy act in Germany, Proceedings of the 19th International Farm Management Association Congress, Quebec, Kanada, Peer Reviewed Papers in Proceedings Volume I, p. 429-435, 12 – 18 Juli 2015.
- [12] Spielmann, V., Bettinger, C., Skau, K., Beck, H.-P., Fuchs, C.: Auswirkungen der Anreizsysteme für private PV-Anlagenbetreiber auf das lokale Verteilnetz. In : SCHULZ, Detlef (Hrsg.): *Tagungsband Nachhaltige Energieversorgung und Integration von Speichern: NEIS 2015*. 1. Aufl. 2015, Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH, 2015 , S. 27-33
- [13] Skau, K., Bettinger, C., Spielmann, V., Fuchs, C., Beck, H-P. 2015: Speicherung von PV-Energie und Nutzung in der Milchproduktion - Netzdienlichkeit und Wirtschaftlichkeit, Posterbeitrag zur GeWiSoLa-Tagung 2015, Gießen
- [14] Spielmann, V., Bettinger, C., Skau, K., Beck, H.-P., Fuchs, C.: A highly transparent method of assessing the contribution of incentives applied to technical challenges in decentralised energy systems. In: Power Engineering Society in the VDE (ETG) (Hrsg.): *International ETG Congress 2015: Die Energiewende; blueprints for the new energy age ; proceedings; November 17 - 18, 2015, World Conference Center, Bonn. Berlin [u.a.]: VDE Verlag, 2015 (ETG-Fachberichte, 147, CD-ROM)*

Projektpartner: Ecolog Institut für sozial-ökologische Forschung und Bildung (Projektkoordination)
Energie-Forschungszentrum Niedersachsen
(ausführende Stelle: Institut für elektrische Energietechnik und Energiesysteme, TU Clausthal)
Hochschule Neubrandenburg
Leuphana Universität Lüneburg

Praxispartner:

Stadtwerke Neustrelitz

Landeszentrum für erneuerbare Energien Mecklenburg-Vorpommern

Energie Ressourcen Agentur Goslar

Volkswind Immenrode

Förderung: Bundesministerium für Bildung und Forschung

Projektlaufzeit: 01.06.2013 - 31.05.2016

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

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