

## Zeitplan am 08.07.2015 im Haus der Wissenschaft (Raum Veolia)

Zeit	Typ		
09:00 – 10:30	Vortrag	Marissa Johanna Schulz	Thermoelektrische Modellierung von elektrischen Kontakten
	Vortrag	Gian-Luca Di Modica	Vergleich gängiger Lithium-Ionen- und Post-Lithium-Ionen-Technologien
	Vortrag	Marius Temming	Messen der elektrischen Leitfähigkeit im Lichtbogen
10:30 – 11:00	<b>Gruppenbild</b>		
11:00 – 12:30	Vortrag	Fatos Citaku	Ansteuerungs- und Schutzkonzepte MOS-gesteuerter Leistungshalbleiter
	Vortrag	Stephan Passon	Rückführung von HVDC Spannungsteilern
	Vortrag	Julia Koop	Einführung in die thermografische Messtechnik
12:30 – 13:30	<b>Mittag</b>		
13:30 – 14:30	Vortrag	Qianghan Zeng	Vakuumschalten in höheren Netzspannungsebenen – Die verschiedenen Phasen des Schaltvorgangs
	Vortrag	Karen Flügel	Arten von Blindleistungskompensationseinrichtungen
14:30 – 15:00	<b>Pause</b>		
15:00 – 16:00	Vortrag	Timo Stocklossa	Was kann ich durch Eigenerzeugung sparen? Vergleich der Entwicklung der Stromgestehungskosten bei Eigenerzeugung gegenüber dem Stromzukauf
	Vortrag	Lukas Hartjen	Big Data in der Energiewirtschaft

## Zeitplan am 14.07.2015 im Haus der Wissenschaft (Raum Veolia)

Zeit	Typ		
09:00 – 10:30	Vortrag	Dominic Roth	Osmosekraftwerk – Konzept der Zukunft?
	Vortrag	Stefan Helm	Können BHKWs im Sommer zur Netzstabilität beitragen? (Wohin mit der Wärme?)
	Vortrag	Okan Özdemir	Flexibilitätsoptionen bei Biogasanlagen
10:30 – 11:00	<b>Pause</b>		
11:00 – 12:30	Vortrag	Robin Thorben Meier	Geschichte der Elektrifizierung Braunschweigs
	Vortrag	Luca Torrisi	Entwicklung von Reserven und Ressourcen
	Vortrag	Uwe Schlenker	Blackout bei Emsüberführung
12:30 – 13:30	<b>Mittag</b>		
13:30 – 15:00	Vortrag	Matthias Raisich	Auswirkungen der Sonnenfinsternis auf die Energiewirtschaft
	Vortrag	Sina Shahani	Herausforderungen bei der Bereitstellung von Regelleistung auf Verteilnetzebene
	Vortrag	Lukas Otte	Bewertung von Speicherverlusten
15:00 – 15:30	<b>Pause</b>		
15:30 – 16:30	Vortrag	Sebastian Wolf	Bedeutung grenzüberschreitender Leistungsflüsse
	Vortrag	Liwen Zhang	Von Tesla bis heute – Entwicklung und Anwendung der induktiven Energieübertragung

# Thermoelektrische Modellierung von elektrischen Kontakten

## Thermoelectrical modelling of electrical contacts

Marissa Schulz, Braunschweig, marissa.schulz3@gmail.com

### Kurzfassung

Elektrische Kontakte müssen im 21. Jahrhundert, im Zeitalter der Energiewende, enormen elektrischen und thermischen Anforderungen standhalten, deshalb ist es von außerordentlicher Bedeutung, sich mit der Funktionsweise, den wesentlichen thermischen und elektrischen Eigenschaften und verschiedenen Ausführungen von elektrischen Kontakten zu beschäftigen. Sie sind ein elementares Bauelement und finden in vielen verschiedenen technischen Gebieten ihren Nutzen. Ein Anwendungsbereich ist der Einsatz von Relais und Kontaktoren in der Elektromobilität.

### Abstract

21st century, is the time of energy transition. Electrical contacts need to hold huge electrical and thermal requirements. Therefore it is very important to deal with the way of function, the considerable electrical and thermal capacities and various models of electrical contacts. Electrical contacts are elementary components in different technical fields. A very interesting field of application is the use of relays and contacts in electric mobility.

## 1 Einleitung

Der Konflikt zwischen der Rohstoffknappheit und der noch wachsenden Bevölkerungsrate konfrontiert die heutige Gesellschaft mit einer großen Herausforderung. Verschärfend wirkt sich auf diesen Konflikt unser stetig wachsender Drang nach immer mehr und neueren „Technik Gadgets“ aus. Um langfristig die Nachfrage nach Kulturgütern zu decken, sind erneuerbare Energien die unausweichliche Grundlage für alle Produktionsmittel. Bauelemente, wie elektrische Kontakte sind ein wichtiger Bestandteil in vielen technischen Bereichen. Um ihre Effizienz, ihre Lebensdauer und ihre Qualität zu steigern und zu garantieren, ist es wichtig sich mit ihren thermischen und elektrischen Eigenschaften auseinanderzusetzen. Zum Beispiel im Anwendungsgebiet der Hybrid- und Elektromobilität sind die elektrischen und thermischen Anforderungen an elektrische Kontakte enorm gewachsen.

## 2 Theoretische Grundlagen

Ein elektrischer Kontakt besteht aus zwei Kontaktstücken, die aufeinander gepresst werden.

Der Gesamtwiderstand setzt sich aus dem Materialwiderstand  $R_0$  und dem Kontaktwiderstand  $R_k$  zusammen.

Der Kontaktwiderstand besteht aus dem Energiewiderstand  $R_E$  und dem Fremdschichtenwiderstand  $R_F$ . [4]

Der elektrische Kontakt ist im Wesentlichen verantwortlich für die Öffnung/Schließung des Stromkreises, für eine verlustfreie Übertragung von Energie und für eine Verzerrungsfreie Übertragung von Informationen. [3]

Es gibt viele verschiedene Einsatzgebiete für elektrische Kontakte, zum Beispiel die Herstellung von Kontaktteilen für Schützen und Schalter, für schienengebundene Elektrofahrzeuge oder für die Hybrid- und Elektromobilität. [2]

In diesen verschiedenen Einsatzgebieten eignen sich je nach den umgebenden Strukturen und entsprechend den jeweiligen Anforderungen, verschiedene Arten von elektrischen Kontakten.

Die Arten von elektrischen Kontakten lassen sich grob unterteilen in: geschlossene Kontaktstellen, schaltende Kontakte, Gleitkontakte oder Steckkontakte. [3]

Wesentliche Größen des elektrischen Kontaktes sind der Gesamtwiderstand des Kontakts, die Strombelastbarkeit, und die Wärmeableitung.

Kompliziertere Ausführungen von elektrischen Kontakten sind zum Beispiel, Kontaktoren und Relais.

Relais sind elektromechanische Bauelemente, die in vielen verschiedenen technischen Gebieten einsetzbar sind. Sie haben ein großes Strom-Spannungsspektrum. [1]

Ein Funktionsbeispiel ist die Anwendung von Relais und Kontaktoren im HV Bordnetz eines Kfz's. [5]

## 3 Literatur

[1] Volker Behrens, Elektrische Kontakte- Werkstoffe, Gestaltung und Anwendungen in der Nachrichten-, Automobil- und Energietechnik, Expert Verlag, 3. Auflage 2010

[2] Schunk Bahn und Industrietechnik GmbH, Kontakte und Verbindungsteile für die elektrische Energietechnik [3] E. Vinaricky, Elektrische Kontakte, Werkstoffe und Anwendungen, Springer, 2. Auflage 2002

[4] Wilhelm Merl, Der elektrische Kontakt- Wissenschaftliche Grundlagen und ihre Anwendung, Doduco 1959

[5] Reiner Korthauer, Handbuch Lithium Ionen Batterien, Springer Vieweg 2013

# Vergleich gängiger Lithium Ionen und Post-Lithium-Ionen-Technologien

## Comparison of current Lithium-Ion and Post-Lithium-Ion-Technologies

Gian-Luca Di Modica, Institut für Hochspannungstechnik und elektrische Energieanlagen, Braunschweig, g.di-modica@tu-braunschweig.de

### 1 Kurzfassung

Die Batterie, Schlüsselkomponente der Elektromobilität, bestimmt die Reichweite und den Großteil der Kosten eines Elektrofahrzeuges und hat damit großen Einfluss auf die Kundenakzeptanz. Darauf aufbauend wurden aktuelle und zukünftige Li-Ionen-Technologien anhand der Anforderungen an Energiedichte, Leistungsdichte, Lebensdauer, Sicherheit und Kosten verglichen. Das Ergebnis zeigt, dass die aktuelle Technik zu kostenintensiv ist und nur geringe Reichweiten aufweist. Deshalb können erst kostengünstigere Post-Li-Ionen-Batterien mit höherer Energiedichte, speziell Li-Schwefel und Li-Sauerstoff, zum Durchbruch der Elektromobilität führen.

### 2 Abstract

The battery, key component of the electromobility, determines the range and the majority of the costs of an electric vehicle and thereby has a large influence on the customer acceptance. For this reason, current and future Li-Ion-Technologies were compared on the basis of energy density, power density, life span, safety and costs. The result shows that the current technology is too expensive and has only short ranges. Therefore, only more economical post-Li-ion batteries with higher energy density, especially Li-sulfur and Li-air, make the breakthrough of electric mobility.

### 1 Einleitung

*Die Batterieentwicklung ist ein entscheidender Faktor für die Umsetzung der Ziele der Elektromobilität und die Konkurrenzfähigkeit von Elektrofahrzeugen gegenüber konventionellen Fahrzeugen. Diese Gründe führten zu einer Erhöhung der Forschungsarbeit auf dem Gebiet der Post-Lithium-Ionen-Batterien. Von besonderer Bedeutung ist die Lithium-Schwefel- und die Lithium-Sauerstoff-Technologie. Diese gelten als Nachfolger der aktuellen Lithium-Ionen-Technologie. Prognosen zeigen aber, dass die neuen Technologien nicht vor 2020 auf den Markt kommen, da sie in den Punkten Lebensdauer und Zyklfestigkeit noch erhebliche Defizite aufweisen.*

### 2 Theoretische Grundlagen

*Batterien unterteilen sich in Primär- und Sekundärbatterien. Die Primärbatterie ist für einmalige Entladung ausgelegt und wird hauptsächlich im Consumbereich verwendet, wohingegen Sekundärzellen (auch Akku) wiederaufladbar sind. Der Erfolg des Li-Ionen-Akkus in der Elektromobilität resultierte aus der Industrialisierung im Consumer-Markt und den funktionalen Eigenschaften dieser Technologie. Aber in der Elektromobilität ist die Herausforderung für Forscher größer, da die Anforderungen an die Batterie, vor allem in den Punkten Sicherheit und Energiedichte, höher sind. Heute gibt es in der Elektromobilität viele verschiedene Batterietypen mit unterschiedlichen Eigenschaften, die je nach Anforderung an die Batterie Anwendung finden. Zum Beispiel wird bei Hybridfahrzeugen eine hohe Leistungsdichte erwartet*

*wohingegen der Anspruch an die Energiedichte nicht so hoch ist. Die Batterien unterscheiden sich überwiegend in ihrem Kathodenmaterial, da dieses hauptsächlich die Energiedichte bestimmt. Aus diesem Grund fokussiert sich die Forschung auf die Kathode, da in diesem Bereich die größte Leistungssteigerung möglich ist.*

### 3 Literatur

- [1] R. Korthauer, Handbuch Lithium-Ionen-Batterien, Berlin: Springer Vieweg, 2013.
- [2] C. D. Besenhard und J. O. Besenhard, Handbook of battery materials Vol. 1 und 2, Weinheim: Wiley-VCH--Verlag, 2011.
- [3] T. B. Reddy und D. Linden, Linden's handbook of batteries, New York, McGraw-Hill 2011.
- [4] Isidur Buchmann, BU-205: Types of Lithium-ion, batteryuniversity.com/learn/article/types\_of\_lithium\_ions [Zugriff am 17.05.2015]
- [5] eNOVA Strategiekreis Elektromobilität, Lithium-Ionen-Batterie für die Elektromobilität 09. Januar 2015, [http://www.strategiekreis-elektromobilitaet.de/public/oeffentliche-dokumente/bestandsaufnahme-li-ionenbatterien-fuer-die-elektromobilitaet/at\\_download/file](http://www.strategiekreis-elektromobilitaet.de/public/oeffentliche-dokumente/bestandsaufnahme-li-ionenbatterien-fuer-die-elektromobilitaet/at_download/file). [Zugriff am 12.05.2015] Fraunhofer-Institut für System und
- [6] Innovationsforschung ISI, Produkt-Roadmap zu Lithium-Ionen-Batterien Februar 2012, <http://www.isi.fraunhofer.de/isi-wAssets/docs/t/de/publikationen/PRM-LIB2030.pdf> [Zugriff am 12.05.2015]

# Messen der elektrischen Leitfähigkeit im Lichtbogen

Von Marius Temming

## Kurzfassung

Die elektrische Leitfähigkeit spielt eine bedeutende Rolle bei der Lichtbogenlöschung in Schaltgeräten, zu deren Bestimmung prinzipiell zwei Messverfahren verwendet werden können. Diese Arbeit beschäftigt sich mit deren Funktionsweise und insbesondere den auftretenden Problematiken und mögliche Ansätze zur Vermeidung oder Verringerung derer. Schließlich werden die Verfahren miteinander verglichen.

## Abstract

The electrical conductivity is important for arc suppression in switchgears. There are basically two different measurement procedures, whose functional principles were discussed as well as the difficulties and approaches to reduce or avoid those problems. Finally, both measurement procedures are compared against each other.

## 1 Einleitung

Der Lichtbogen ist eine selbsterhaltende Gasentladung, welche in Schaltgeräten bei der Trennung zweier stromdurchflossener Kontakte entsteht. Wird der Lichtbogen nicht genügend schnell gelöscht, kommt es zum Versagen des Schaltgerätes [1]. Ein wichtiger Parameter zur Einstellung des Löschverhaltens ist die elektrische Leitfähigkeit des Lichtbogens.

Allerdings wird durch das Einbringen von einem Fremdkörper in den Lichtbogen das Messergebnis verfälscht [2][3]. Die zweite Möglichkeit stellt die Spannungsmessung direkt an den Elektroden dar ohne Eingriff in den Lichtbogen. Wird die Gesamtspannung des Lichtbogens bei zwei verschiedenen Elektrodenabständen gemessen, kann durch Differenzbildung der Spannungen die elektrische Leitfähigkeit berechnet werden.

## 2 Theoretische Grundlagen

Die elektrische Leitfähigkeit kann nicht direkt gemessen werden. Deswegen muss diese über die Messung der abfallenden Spannung am Lichtbogen berechnet werden. Allerdings ist die Spannungsverteilung im Lichtbogen an den elektrodennahen Gebieten nichtlinear, weshalb sich im Wesentlichen zwei verschiedene Messverfahren anbieten. Einerseits kann mit Hilfe von Potentialsonden die Spannung im Innern des Lichtbogens gemessen werden.

## 3 Literatur

- [1] M. Lindmayer, Schaltgeräte, Braunschweig: Springer, 1987.
- [2] V. Bergmann, Untersuchungen zur Anwendbarkeit elektrischer Sondenmessungen im Hochstromlichtbogen, Ilmenau : s.n., 1977
- [3] W. Rieder, Plasma und Lichtbögen, Baden / Schweiz : Friedr. Vieweg & Sohn, 1967

# Ansteuerungs- und Schutzkonzepte MOS-gesteuerter Leistungshalbleiter

Fatos Citaku, Elenia TU Braunschweig, fatos.citaku@tu-bs.de

## Kurzfassung

In der Seminararbeit ging es um MOS- gesteuerte Leistungshalbleiter, wie Leistungs- MOSFETs und IGBTs. Diese werden immer höheren Anforderungen ausgesetzt, da die Leistungsbauelemente bei hohen Schaltfrequenzen, hohen Spannungen sowie Strömen, geringe Verluste aufweisen sollen. Ziel war es explizit die Funktionsweise der Elemente und parasitäre Effekte sowie Schaltverhalten und Schutzkonzepte aufzuzeigen.

## 1 Einleitung

In Anbetracht der herrschenden Industriegesellschaft ist die Energieversorgung elementar. Diese würde ohne die Leistungselektronik allerdings nicht funktionieren [1].

Wichtige Bestandteile der Leistungselektronik sind die Mos- gesteuerten Leistungshalbleiter, unter anderem Leistungs- MOSFETs (metal-oxide-semiconductor-field-effect-transistor) und IGBTs (insulated- gate bipolar transistor) [2].

Angehende Ingenieure sollten die physikalischen Vorgänge in einem Leistungsbauelement und physikalische Ursachen für die technischen Eigenschaften nachvollziehen können [3]. Aus diesem Grund befasst sich diese Arbeit tiefgreifender mit dieser Thematik.

## 2 Theoretische Grundlagen

Die Relevanz der Halbleiter ist essenziell, da die Elektronik fast ausschließlich aus Halbleitern besteht. Seit ca. 1940 existiert nutzbares Halbleitermaterial [1]. Silicium ist das am meisten verwendete Material für die Halbleiterelektronik, weil es kostengünstig ist und dessen positive Eigenschaften ausnutzt. Oxidiert es beispielsweise, entsteht eine Isolierschicht, die eine gute Haftungsfähigkeit auf dem Silicium aufweist. Genau diese Eigenschaft wird bei MOSFETs ausgenutzt, um die Gate-Elektrode von der Source- und Drain- Elektrode abzutrennen. Ein MOSFET ist ein Unipolares Bauelement. Hierbei wird der Strom nur von einer Ladungsträgersorte transportiert [3]. Der Unterschied eines MOSFETs und eines Leistungs- MOSFETs ist die geometrische Anordnung der Kontakte. Bei einem MOSFET ist der Source Kontakt parallel zum Drain Kontakt und bei dem Leistungs- MOSFET liegen die Source Anschlüsse parallel zueinander und der Drain Anschluss parallel zum Gate Anschluss [siehe **Bild 1** und **Bild 2**]. Leistungs- MOSFETs sind resistenter gegen hohe Spannungs- und Stromwerte und leisten kürzere Schaltzeiten als MOSFETs. Ein weiterer MOS- gesteuerter Leistungshalbleiter ist der IGBT [**Bild 3**]. Hierbei handelt es sich um einen gesteuerten Bipolar Transistor. Der Bipolar Transistor ist ein Bipolares Bauelement, da der Strom von zwei Ladungsträgersorten transportiert wird [3]. Bei einem

Bipolar Transistor ist zu beachten, dass die Basisdicke kleiner als die Diffusionslänge der Ladungsträger ist. Die Steuerung erfolgt über den Gate- und Emitter Kontakt. Der Laststrom fließt zwischen Emitter und Kollektor. Der IGBT vereinigt die Vorteile eines MOSFETs, wie die einfache Steuerung und das gute Durchlass Verhalten eines Bipolar Transistors. Der Einfluss von parasitären Effekten ist aufgrund von Zuleitungen wie Bonddrähten, Gehäusekapazitäten sowie dielektrischen Schichten, die wiederum Kapazitäten erzeugen, nicht zu vernachlässigen [3]. Um einen IGBT in Durchlassbetrieb zu schalten wird eine Spannung an die Gate- und Emitter-Elektrode angelegt. Die Spannung muss größer als die Schwellspannung sein. Ein typischer Wert ist 15 Volt, damit der IGBT schaltet. Bei einem Leistungs- MOSFET wird eine Spannung zwischen Gate und Source angelegt, wodurch sich ein Kanal bildet und die Ladungsträger zum Drain Kontakt fließen. Aufgrund von hohen Schaltfrequenzen treten erhebliche Schaltverluste auf, da nach jedem Schaltvorgang eine Umladung der parasitären Effekte erfolgt. Weiterhin entstehen während des schnellen Schaltens sehr hohe Spannungsabfälle. Es existieren unterschiedliche Methoden, um die Überspannungen zu begrenzen. Zu diesen zählen neben passiven Beschaltungsnetzwerken auch dynamische Gatesteuerung und active clamping. Beim active clamping gibt es unterschiedliche Grundsaltungen um die Durchbruchspannung nicht zu überschreiten. Die Grundsaltungen bestehen aus einer Bündelung zwischen Zener-elementen und Dioden [2].

## 3 Literatur

- [1] B. Morgenstern, Elektronik 1 - Bauelemente, Braunschweig/Wiesbaden: Fried. Vieweg & Sohn Verlagsgesellschaft mbH, 1993.
- [2] P.R.W. Martin (Hrsg.), Applikationshandbuch IGBT- und MOSFET- Leistungsmodule, Ilmenau: Verlag Steuerungstechnik und Leistungselektronik, Betriebsstätte des ISLE e.V., 1998.
- [3] J. Lutz, Halbleiter- Leistungsbauelemente – Physik, Eigenschaften, Zuverlässigkeit, Berlin/ Heidelberg: Springer-Verlag, 2006.

# Rückführung von HVDC Spannungsteilern

B.Sc, Stephan Passon, PTB, Braunschweig, stephan.passon@ptb.de

## Kurzfassung

In diesem Seminarvortrag wird die Rückführung von Hochspannungsteilern auf das nationale Normal für Spannung, das Josephson-Normal, beschrieben. Hierbei wird sowohl auf die unterschiedlichen Bauformen von Hochspannungsteilern eingegangen, als auch auf die für die bei der Rückführung verwendeten Mess- und Auswertungsmethoden. Sowohl die Minimierung der Unsicherheitseinflussgrößen sowie die Vermeidung und Korrektur von systematischen Effekten sind dabei wichtige Aspekte.

## Abstract

In this lecture the traceability of high voltage dividers to the national standard of voltage, the Josephson standard, is described. The various designs of high voltage DC dividers are discussed as well as the measuring systems which are necessary for the traceability. At last effects on the measurement-uncertainty are presented

## 1 Einleitung

### Inhalt:

Nicht zuletzt durch die Entwicklung von neuen Erzeugungsmethoden und der örtlichen Verschiebung der Quellen und Senken im Europäischen Verbund- und Übertragungsnetz, steigt das Interesse und die Notwendigkeit der Hochspannungs-Gleichstromübertragung. Jedoch auch in anderen Fachgebieten, wie zum Beispiel der Medizintechnik oder der Schwer-Ionen-Forschung, ist die präzise Messung von hohen Gleichspannungen notwendig.

## 2 Theoretische Grundlagen

Um einen Hochspannungsteiler für hohe Gleichspannungen als Referenz einsetzen können, müssen alle Eigenschaften des Teilers bekannt sein. Hierzu zählen der Temperaturkoeffizient, die Druckabhängigkeit, Linearität und die Langzeitstabilität des Teilers. Vor allem der Temperaturkoeffizient ist bei der Auslegung eines Teilers von besonderem Interesse, da durch ihn auch zum Teil die Linearität bestimmt wird. Da hohe Feldstärken zu Koronaentladungen führen werden die meisten Präzisionsteiler in SF<sub>6</sub> isolierter Kesselbauweise gefertigt, was zudem eine bessere Temperaturkontrolle zulässt. Die Rückführung geschieht über das Josephson-Normal und ein Fluke Transfornormal welches eine Spannung von 10V liefert. Über das Step-Up Verfahren wird Stufenweise eine Hochspannung von 50 kV über einen Referenzteiler und einen Hilfsteiler rückgeführt. Über Kalibrierungen weiterer Teiler kann dann die Rückführung bis auf einen Bereich von 300 kV erweitert werden. Dazu sind weitere hochspannungstechnische Vorkehrungen zu treffen, um Korona- und Gleitentladungen sowie direkte Überschläge zu vermeiden.

## 3 Literatur

- [1] R. Marx, "New Concept of PTBs Standard Divider for Direct Voltages of up to 100 kV," *Instrumentation and Measurement, IEEE Transactions on*, vol. 50, no. 2, pp. 426-429, 04 2001.
- [3] Y. L. J. R. R. Marx, *Comparison of two ultra-precision DC high voltage dividers developed at PTB and NML*, Netherlands : 13th ISH, 2003.
- [4] EURAMET, "www.euramet.org," 2014. [Online]. Available: [http://www.euramet.org/index.php?id=emrp\\_call\\_2009#c8344](http://www.euramet.org/index.php?id=emrp_call_2009#c8344). [Accessed 27 11 2014].
- [5] E. Houtzager, G. Rietveld, J. Hällström, A.-P. Elg and J. van der Beek, "Selection and characterization of resistors for a HVDC reference divider," in *Conference on Precision Electromagnetic Measurements (CPEM)*, Washington, DC, 2012.
- [6] J. Hällström, A. Bergman, S. Dedeoglu, A.-P. Elg, E. Houtzager, W. Lucas, A. Merev, J. Meisner, M. Schmidt, E.-P. Suomalainen and C. Weber, "Performance of a Wideband 200-kV HVDC Reference Divider Module," *Instrumentation and Measurement, IEEE Transactions on*, vol. 63, no. 9, pp. 2264 - 2270, 03 03 2014.
- [7] J. Hällström, A. Bergman, S. Dedeoğlu, A.-P. Elg, E. Houtzager, J. V. Klüss, T. Lehtonen, W. Lucas, A. Merev, J. Meisner, E. P. Suomalainen and C. Weber, "Design and Performance of a Wideband 1000 kV HVDC Modular Reference Divider," in *18th International Symposium on High voltage*, Seoul, 2013.

# Einführung in die thermografische Messtechnik

## Introduction to the thermographic measurement technology

Einführung in die thermografische Messtechnik, Julia Koop, TU Braunschweig, Braunschweig, julia-koop@hotmail.de

### Kurzfassung

Zur Einleitung in die Thematik wurde die thermografische Untersuchung von Objekten kurz erläutert. Die Entstehung elektromagnetischer Strahlung, das Kirchhoffsche Strahlungsgesetz und die Relevanz des Emissionsfaktors für die Messungen stellen die relevanten theoretischen Grundlagen dar. Des Weiteren wurde zwischen verschiedenen Typen von Pyrometern unterschieden. Zusätzlich wurden Aufbau und Funktionsweise einer Thermografiekamera erläutert, wobei ein Applikationsbeispiel für die Anschaulichkeit aufgegriffen wurde. Abschließend wurden alle relevanten Details und Ergebnisse resümiert.

### Abstract

For introduction to the theme the thermographic examination was briefly explained. The theoretical foundations include the emergence of electromagnetic radiation, Kirchhoff's radiation law and the relevance of the emission factor for the measurements. Furthermore the various types of pyrometers were pointed out. The installation and the functionality of a thermographic camera were explained by employing an example of use. A short abstract which contains all relevant details and results completed this report.

## 1. Einleitung

Die thermografische Untersuchung von Objekten ist ein berührungsloses Temperaturmessverfahren, bei dem die elektromagnetische Strahlung im infraroten Wellenlängenbereich gemessen wird. Die dafür genutzten Thermografiekameras produzieren Bilder, welche die unterschiedlichen Temperaturen durch farblich abgegrenzte Bereiche darstellen. Mit Hilfe dieser Bilder lassen sich Oberflächentemperaturen schnell und einfach überprüfen. So lassen sich beispielsweise überhitzte Bereiche bei elektrischen Antrieben identifizieren, sodass Probleme oder bevorstehende Ausfälle erfasst und vermieden werden können.

## 2. Theoretische Grundlagen

Jeder Körper, der über dem absoluten Nullpunkt von  $T = 0 \text{ K}$  liegt, emittiert elektromagnetische Strahlung in Form von Wärme- bzw. Temperaturstrahlung, welche mithilfe einer Thermografiekamera erfasst werden kann. Ein Objekt, das eine bestimmte Strahlungsmenge emittiert, kann diese ebenso absorbieren und umgekehrt. Das heißt, der Absorptionsgrad entspricht stets auch dem Emissionsgrad, solange sich der Körper im thermischen Gleichgewicht zu seiner Umgebung befindet. Dieser Zusammenhang zwischen Absorption und Emission wird durch das Kirchhoffsche Strahlungsgesetz formuliert, welches zudem auch den reflektierten und transmittierten Anteil der Strahlung erfasst. Demnach habe die Summe von Absorptions-/Emissions-, Reflexions- und Transmissionsgrad immerzu den Wert Eins. Die Werte der einzel-

nen Variablen hingegen sind inkonsistent und variieren je nach Material, Oberflächenbeschaffenheit, Wellenlänge etc.. Besonders ausschlaggebend für die thermografische Messung ist der Emissionsfaktor. Dieser ist ein Maß für das Verhältnis der thermischen Strahlung eines Graukörpers und eines Schwarzkörpers. Als Schwarzkörper oder auch Schwarzer Strahler wird hierbei ein hypothetischer idealisierter Körper bezeichnet, der jegliche auf ihn treffende elektromagnetische Strahlung bei jeder Frequenz vollständig absorbiert bzw. emittiert. Sein Absorptions-/Emissionsgrad ist also gleich Eins. Bei einem Graukörper hingegen liegt dieser Wert stets zwischen Null und Eins. Der Emissionsfaktor ist so entscheidend für die Messung, da für die Zuordnung des Ausgangssignals zu den entsprechenden Temperaturen stets die Kalibrierung des Messgeräts mit einem bekannten Temperaturnormal (z.B. dem eines Schwarzkörpers mit  $\epsilon = 1$ ) erforderlich ist.

## 3. Literatur

- [1] Dipl.-Ing. Christian Peter Wolf, Experimentelle Untersuchung des Hochstrom-Vakuumbogens auf Transversal-Magnetfeld-Kontakten, Braunschweig: eingereichte Dissertation an der Fakultät für Elektrotechnik, Informationstechnik, Physik der Technischen Universität Carola-Wilhelmina zu Braunschweig, 2012
- [2] W.R Barron, Williamson Corporation, Grundlagen der Temperaturmessung, Technische Hintergrundinformation der OMEGA Newport Electronics GmbH

# Vakuumschalten in höheren Netzspannungsebenen - Die verschiedenen Phasen des Schaltvorgangs

Qianghan Zeng, Elenia, Braunschweig, q.zeng@tu-braunschweig.de

## Kurzfassung

Dieses Seminar umfasst den Vakuumschalter in höheren Netzspannungsebenen. Zuerst werden die notwendigen Grundlagen des Vakuumschalters beschrieben. Im nächsten Schritt werden die Anforderungen aus den Netzeigenschaften analysiert. Dazu gehören kapazitive und induktive Eigenschaften. Der Hauptteil des Seminars befasst sich mit den verschiedenen Phasen des Schaltvorgangs. Hierbei wird das Löschen des Metaldampfbogens und die Wiederverfestigung der Schaltstrecke thematisiert.

## Abstract

This seminar includes the vacuum switch in higher line voltage levels. The necessary basis of the vacuum interrupter is described at first. The next step is to analyze the requirements of the network properties. These include capacitive and inductive properties. The main part of the course deals about different stages of the switching process. The main focus is about extinguishing of the metall vapor arc and the re-solidification of the contact gap.

## 1 Einleitung

Aus Gründen der Sicherheit im Fehlerfall (z.B. bei Kurzschluss) und zum reibungslosen Betrieb von Übertragungsnetzen sind Schalthandlungen in verschiedenen Netzspannungsebenen unabdinglich. Historisch gesehen wurden Vakuumanwendungen als Leistungsschalter zuerst in der Nieder- und Mittelspannung eingeführt. In dem vorliegenden Seminar wird über die verschiedenen Phasen des Schaltvorgangs berichtet.

Magnetfeld-Kontakt (RMF) wird durch den Stromfluss ein radiales Magnetfeld ( $B_r$ ) erzeugt, welches zu einer Bewegung des Metaldampfbogens führt. Einen anderen Ansatz verfolgt der Axial-Magnetfeld-Kontakts (AMF), welcher einen diffusen Bogen durch das zusätzlich axiale Magnetfeld ( $B_a$ ) erzeugt.

Des Weiteren gibt es beim Abschalten des Vakuumschalters zwei Phasen, welche die Hochstromphase und dann die dielektrische Festigkeit in der Hochspannungsphase (Wiederverfestigung) sind.

## 2 Theoretische Grundlagen

In diesem Kapitel werden die zum Verständnis des Vakuumschaltens notwendigen Grundlagen erarbeitet und zusammengefasst. Ein allgemeines Verständnis für die Wirkungsweise eines Vakuumschalters sowie der Aufbau verschiedener Kontaktformen. Bei dem Radial-

## 3 Literatur

- [1] Hans Joachim Lippmann, Schalten im Vakuum, Berlin: VDE VERLAG GMBH, 2003.
- [2] Stefan Giere, Vakuumschalttechnik im Hochspannungseinsatz, Göttingen: CUVILLIER VERLAG, 2004.



# Arten von Blindleistungskompensationseinrichtungen

## Methods of Reactive Power Compensation

Studienseminar Innovative Energiesysteme, Karen Flügel, Institut für Hochspannungstechnik und elektrische Energieanlagen, Braunschweig, k.fluegel@tu-braunschweig.de

### Kurzfassung

Durch den Zubau von dezentralen Erzeugungseinheiten im Zuge der Energiewende entstehen neue Möglichkeiten für die Blindleistungskompensation im Transport- und Verteilnetzbereich. Dieser Vortrag bietet einen Überblick über die bestehenden Kompensationsarten von Kondensator- und Spulenbänken über Synchrongeneratoren als Phasenschieber bis hin zu flexiblen AC-Transmission Systemen, mit denen Blindleistungsflüsse genauer gesteuert und somit die Stabilität der Energieversorgungsnetze unterstützt werden können. Die Vor- und Nachteile der verschiedenen technischen Möglichkeiten und Funktionsweisen werden aufgezeigt und einander gegenübergestellt.

### Abstract

The decentralized installation of power generators forced by the energy reduction gives new possibilities to compensate the reactive power in modern mains distribution systems. This talk is focusing on the different compensation means like banks of capacitors or inductors, synchronous power generators working as phase shifters and flexible AC transmission systems to control the influence of transmission lines improving the stability of power transmission systems. The different technical solutions are compared.

## 1 Einleitung

Blindleistungskompensation wird in unseren Energieversorgungsnetzen seit je her eingesetzt. Durch den vermehrten Anschluss von Erzeugungsanlagen mittels Wechselrichtern an das Stromnetz und den Einsatz von geeigneten Halbleitern in der Leistungselektronik ergeben sich neue Bedarfe und Möglichkeiten der Blindleistungskompensation. Unverzichtbar ist die Kompensation der Blindleistung in den Netzen für die Spannungshaltung und die Minimierung der blindstrombedingten Verluste. Somit kann durch den Einsatz von Blindleistungsmanagement die Effizienz im Betrieb, sowie die Übertragungskapazität der Stromnetze gesteigert werden. Dies kann ebenfalls zu einem geringeren Ausbaubedarf und geringerem CO<sub>2</sub>- Ausstoß führen.

## 2 Theoretische Grundlagen

Wird in einem Wechselstromkreis ein ohmscher Verbraucher wie eine Glühlampe angeschlossen, verbraucht dieser Wirkleistung. Wenn nun stattdessen eine Spule oder ein Kondensator angeschlossen wird, bauen sich elektromagnetische Felder auf und wieder ab. Dies hat zur Folge, dass Spannung und Strom an diesen Bauteilen nicht mehr in Phase sind. An induktiven Bauteilen (Spulen) eilt der Strom der Spannung um 90° nach und bei kapazitiven Elementen eilt der Strom der Spannung um 90° voraus. Die an diesen Bauteilen zum Aufbau der Energiefelder verwendete Leistung wird Blindleistung genannt. Sie trägt nicht zur Wirkleistungsübertragung bei, daher ist sie in unseren Energieversorgungsnetzen größtenteils unerwünscht und wird kompensiert.

Zur Kompensation der Blindleistung lassen sich Induktivitäten und Kapazitäten mittels Parallel- oder

Reihenschaltungen so zum Netz schalten, dass sich der Blindanteil in der Summe aufhebt. Elektrische Maschinen haben eine eingeschränkte Möglichkeit mit der Wahl ihres Betriebspunktes kapazitives oder induktives Verhalten anzunehmen, um die Phase zwischen Strom und Spannung zu verschieben. Bei der Einspeisung über Wechselrichter und in den flexiblen AC Transmission Systemen der Leistungselektronik lässt sich der Phasenwinkel adaptiv beeinflussen, wobei die FACTS den Vorteil bieten, den Betrag der Blindleistung frei von der übertragenen Wirkleistung im Netz zu wählen.

Für die Ausprägung der elektromagnetischen Felder, die eine notwendige Begleiterscheinung eines stromdurchflossenen Leiters darstellen, wird Blindleistung benötigt. Ebenso fordern elektrische Asynchronmaschinen einen induktiven Blindstrom, da es bei vollständiger Kompensation zur Selbsterregung der Maschinen kommen kann. Da jedoch höhere Blindströme auch zu steigenden Leitungsverlusten führen, denn die Verluste sind proportional zum Quadrat des Stromes, sollen die Blindströme auf das notwendige Minimum reduziert werden. Durch diese Reduktion der Verluste wird die Erwärmung der Leitungen herabgesetzt und die Übertragungskapazität der einzelnen Leitungen steigt an.

## 3 Literatur

- [1] A. J. Schwab, Elektroenergiesysteme – Erzeugung, Transport, Übertragung und Verteilung elektrischer Energie, Berlin und Heidelberg: Springer-Verlag, 2006, 2009, 2012
- [2] J. Schlabbach, D. Metz, Netzsystemtechnik – Planung und Projektierung von Netzen und Anlagen der Elektroenergieversorgung, Berlin und Offenbach: VDE Verlag GMBH, 2005.

# Was kann ich durch Eigenerzeugung sparen?

## What is the Benefit of Customer Electricity Generation?

B.Sc. Timo Stocklossa, Institut für Elektrische Energieanlagen und Hochspannungstechnik, Braunschweig, t.stocklossa@tu-bs.de

### Kurzfassung

Der Vortrag „Was kann ich durch Eigenerzeugung sparen“ soll die Strategie des Eigenverbrauchs von Betreibern dezentraler Erzeugungsanlagen aufzeigen und beschreiben. Zunächst werden die Definition der Eigenerzeugung sowie juristische, technische und monetäre Rahmenbedingungen aufgezeigt. Fortwährend sollen einzelne Schritte und Berechnungen eines Entscheidungsprozesses zur Projektierung einer Erzeugungsanlage anhand eines gewählten Szenarios dargelegt werden. Der Prozess behandelt die wichtigen Kenngrößen, Annahmen zur Erzeugung sowie eine Risikoabschätzung und Amortisierungsvorhersage. Abschließend wird das Ergebnis diskutiert.

### Abstract

The speech “What is the Benefit of Customer Electricity Generation” aims to disclose and describe the strategy of customer generation. Initially the definition of customer generation as well as the legal, technical and monetary framework is shown. Furthermore a decision process of a project planning for customer generation facility is followed up according to chosen steps and calculations. In this process important design characteristics are treated and assumptions for generation and usage are made in order to estimate the investment risk and to forecast the pay-off. In the end the result is discussed.

## 1 Einleitung

Im Zuge der Energiewende gewinnt die dezentrale Erzeugung elektrischer Energie zunehmend an Bedeutung. Neben der vergüteten Einspeisung in das öffentliche Energienetz ist auch der Eigenverbrauch des erzeugten Stromes eine Option. Sowohl viele Privathaushalte als auch Unternehmen verschiedener Größe erzeugen mittlerweile Strom zur eigenen Nutzung. Neben der Erzeugungssicherheit, die insbesondere im industriellen Umfeld als wichtiger Grund gilt, sind insbesondere Kostenvorteile ein Anreiz. [1] Der monetäre Vorteil hat seinen Ursprung sowohl in der Strompreisentwicklung als auch in der Befreiung oder Senkung der EEG-Umlage auf eigenverbrauchten Strom. [2] Für eine akzeptable Rendite und Amortisierung einer projektierten Anlage in einem überschaubaren Zeitraum sind diese Entwicklungen maßgebend. Im Vortrag sollen diese Zusammenhänge dargestellt werden.

## 2 Theoretische Grundlagen

Um eine Aussage zur Wirtschaftlichkeit von Eigenerzeugungsanlagen treffen zu können wird ein Überblick über die Erzeugungs- und Verbrauchsarten gegeben. Die Berechnung von Stromgestehungskosten wird anhand der Methode der Levelized Costs of Electricity [3] beispielgebend durchgeführt und somit ein Verfahren zum Vergleich der Wirtschaftlichkeit verschiedener Erzeugungsanlagen aufgezeigt.

Wichtige rechtliche und betriebswirtschaftliche Bestimmungen zur Eigenerzeugung sowie aktuelle Regelungen des Erneuerbare Energien Gesetzes werden gezeigt.

Unter diesen skizzierten Rahmenbedingungen wird ein Szenario eines Unternehmens entwickelt, das einen Investitionsentscheid zu einer Eigenerzeugungsanlage behandelt. Die projektierte Erzeugungsanlage wird anschließend auf Wirtschaftlichkeit untersucht.

Wichtige Kenngrößen wie Rendite und Amortisierung werden errechnet.

Weiterhin wird auf der Basis von Annahmen zu Verbrauch und Erzeugung das Investitionsrisiko abgeschätzt. Dieser Schritt soll mit Hilfe des Tools @Risk in einer Monte Carlo Simulation durchgeführt werden. Abschließend wird eine Empfehlung gegeben und die Ergebnisse diskutiert.

## 3 Literatur

- [1] DIHK und VEA, „Faktenpapier - Eigenerzeugung von Strom,“ DIHK, Berlin, 2014.
- [2] DIHK und BSW, „EEG-Novelle 2014 - Empfehlungen von BSW-Solar und DIHK zu solarer Eigenerzeugung und solarem Direktverbrauch,“ DIHK, 2014.
- [3] Fraunhofer ISE, „Stromgestehungskosten Erneuerbarer Energien - Studie,“ Fraunhofer Institut für Solare Energiesysteme, Freiburg, 2013.

# Big Data in der Energiewirtschaft

## Applications of Big Data in the Energy Industry

Lukas Hartjen, Technische Universität Braunschweig, Braunschweig, l.hartjen@tu-braunschweig.de

### Kurzfassung

In der vorliegenden Seminararbeit wurde die aktuelle und zukünftige Nutzung von Big Data Applikationen in der Energiewirtschaft diskutiert. Dazu wurden zunächst die allgemeinen Charakteristika untersucht, die Big Data Anwendungen ausmachen. Im Weiteren wurden möglich Einsatzgebiete aus der Energiebranche vorgestellt. An diesen wurde abschließend analysiert, welche Chancen und Risiken der Einsatz von Big Data bietet, und wen diese jeweils am Ehesten betreffen, die Energieversorger, Anlagenbauer oder den Endverbraucher.

### Abstract

This paper discusses current and future applications of Big Data usage in the energy industry. Firstly, a brief overview over the general characteristics of Big Data is given. Afterwards, specific energy applications are presented and categorized with the previous tools. Finally, using these examples, the benefits and risks of a large-scale usage of big data are analysed, in regards to the people most likely to profit from it: utility companies, components manufacturers or private customers.

## 1 Einleitung

Durch die stetig steigende Leistungsfähigkeit von Rechnern und digitalen Speichern hat Software breiten Einzug in viele Bereiche unseres täglichen Lebens gehalten. In den letzten Jahren wird in diesem Zusammenhang zunehmend der Einsatz von „Big Data“ diskutiert, also der Analyse großer Datenmengen, um Effizienzsteigerungen zu erreichen oder andere Vorteile zu ziehen. In diesem Kontext soll im Folgenden die Anwendung von Big Data im Allgemeinen und in der Energiewirtschaft im Speziellen diskutiert werden. Dazu wird zunächst auf die Eigenschaften von Big Data eingegangen.

## 2 Theoretische Grundlagen

Im Allgemeinen wird von den 4 V's als charakteristische Eigenschaften von Big Data Anwendungen gesprochen, Volume, Velocity, Variety und Veracity. [1] Zu Deutsch also dem Umfang, der Dynamik, der Verschiedenheit und der Unsicherheit einer vorliegenden Datenmenge. Eine wichtige Unterscheidung muss dabei zwischen Daten und Informationen getroffen werden, da stetig steigende Mengen an Daten gesammelt und gespeichert werden, es jedoch der richtigen Analyse und Verarbeitung bedarf, um daraus ökonomische Vorteile ziehen zu können.

In der Energiewirtschaft gibt es dabei eine Reihe von Anwendungen, in denen zukünftig durch Big Data Analysen Wertschöpfung stattfinden soll. So kann etwa die Schwankung von wetterabhängigen Erzeugern wie Photovoltaik und Windkraft durch die Auswertung von Wetterdaten zuverlässiger prognostiziert werden, was die Integration in die Verteilnetze erleichtert.

Als zweiter großer Anwendungsbereich ist die Sammlung von Verbrauchsdaten durch Smart Meter oder regelbare

Ortsnetzstationen zu sehen. Hieraus erhofft man sich, in Zukunft die Synchronisation von Erzeugung und Last planbarer und effizienter zu machen und dadurch möglicherweise Investitionen im Netzausbau einsparen zu können. Generell ist der Big Data Einsatz in der Energiewirtschaft dabei geprägt von relativ strukturierten Datenmengen, da Messwerte wie Spannung, Strom oder Leistung unmittelbare physikalische Größen darstellen. Dies erleichtert die Analyse im Vergleich zu weniger strukturierten Bereichen, wie etwa dem Scannen von Textnachrichten, um aus ihnen Kaufinteressen ableiten zu können. Wetterprognosen auf der anderen Seite sind sehr viel unstrukturierter und deshalb mit mehr Aufwand verbunden.

Beispiele für den Big Data Einsatz sind Firmen wie die Enercast GmbH aus Kassel, die sich mit Prognosen für erneuerbare Erzeuger beschäftigen, oder Autogrid aus Kalifornien, die durch Analyse von Smart Meter Daten und daraus abgeleiteten Vorhersagen die Kosten für benötigte Regelenergie deutlich senken wollen. [2]

Insbesondere das Sammeln von privaten Verbrauchsdaten stellt jedoch auch ein datenschutzrechtliches Problem dar, das von Verbraucherschützern diskutiert wird und auf das im Verlauf der Arbeit noch eingegangen werden wird.

## 3 Literatur

- [1] IBM Infografik, 2011, verfügbar unter: <http://www.ibmbigdatahub.com/infographic/four-vs-big-data>, geprüft am 26.05.15
- [2] Fraunhofer IAIS, "Big Data - Vorsprung durch Wissen", 2012 verfügbar unter [http://www.iais.fraunhofer.de/fileadmin/user\\_upload/Abteilungen/KD/uploads\\_BDA/Innovationspotenzialanalyse\\_Big-Data\\_FraunhoferIAIS\\_2012.pdf](http://www.iais.fraunhofer.de/fileadmin/user_upload/Abteilungen/KD/uploads_BDA/Innovationspotenzialanalyse_Big-Data_FraunhoferIAIS_2012.pdf), geprüft am 29.05.15

# Osmosekraftwerk – Konzept der Zukunft?

## Osmotic power station – draft of the future?

Dominic Roth, TU Braunschweig, Braunschweig, D.Roth@tu-bs.de

### Kurzfassung

Sind Osmosekraftwerke die Energiequelle der Zukunft? In dieser Arbeit wird der Frage nachgegangen, welches Potential Osmosekraftwerke für die Energiegewinnung heute und in Zukunft aufweisen. Es wird von der Entdeckung der Osmose bis zum heutigen Stand der Technik berichtet. Geschätzt ist es mit Osmosekraftwerken möglich, rund 1% des Weltenergiebedarfs zu decken. Dabei sollen zukünftig nicht in erster Linie Flussmündungen als Standorte in Frage kommen, sondern diese in Kombination mit Entsalzungsanlagen eingesetzt werden.

### Abstract

Are osmotic power stations the energy source of the future? In this work becomes to the question followed which potential osmosis power stations show for the power production today and in the future. It is reported about the discovery of the osmotic up to the modern state of the technology. Respectably it is to be generated with osmotic power stations possibly about 1% of the world power demand. Besides, not, primarily, estuaries should be possible in future as locations, but be started this in combination with desalination plants.

## 1 Einleitung

Seit den 70er Jahren besteht die Idee mittels Osmose Energie zu gewinnen. Mitte der 90er wurde diese Idee aufgegriffen und der Frage nachgegangen ob es möglich ist daraus eine Energiequelle zu gewinnen die sowohl grün als auch wirtschaftlich ist..

genannte Erneuerbare Energie zu gewinnen, die ihren Ursprung wie die Solarenergie in der Sonne hat, bedarf es als Standort ein Aufeinandertreffen von Gewässern oder Wasserläufen mit unterschiedlichen Salzkonzentrationen. Für die effektive Gewinnung und Nutzung dieser Energie spielen vor allem der Konzentrationsunterschied dieser Gewässer oder Wasserläufe und die semipermeable Membran eine entscheidende Rolle. Die Stromerzeugung ist im Gegensatz zur Solarenergie oder Windkraft nicht vom Wetter abhängig. Demnach ist die Erzeugung 24 Stunden und 7 Tage die Woche möglich.

## 2 Theoretische Grundlagen

Osmose ist ein Diffusionsprozess durch eine semipermeable Membran, wobei es sich in der Regel um Wasser handelt. Das Wasser ist hierbei immer bestrebt die Konzentrationsunterschiede zwischen den von der Membran getrennten Wasserkonzentrationen auszugleichen. Der Konzentrationsausgleich kann nur erreicht werden, indem die Flüssigkeit mit der niedrigeren Konzentration durch die Membran diffundiert. Dementsprechend ist die Membran für die höher konzentrierte Flüssigkeit möglichst undurchlässig. Die wissenschaftliche Geschichte der Osmose reicht bis in das 18. Jahrhundert zurück, aber erst heute ist es technologisch möglich sich diesen Prozess zunutze zu machen um daraus Energie zu gewinnen. Eine Turbine ermöglicht es, aus dem bei diesem Prozess entstehenden Druck, Elektrizität zu erzeugen. Um diese „Blue Energy“

## 3 Literatur

- [1] Frank Grotelüschen/Deutschlandfunk, Strom aus Salz im Oslofjord, 03.02.2015, [www.deutschlandfunk.de/osmosekraftwerk-strom-aus-salz-im-oslofjord.676.de.html?dram:article\\_id=310548](http://www.deutschlandfunk.de/osmosekraftwerk-strom-aus-salz-im-oslofjord.676.de.html?dram:article_id=310548) [21.05.2015].
- [2] Stenzel, Peter: Potentiale der Osmose zur Erzeugung und Speicherung von Elektrizität, Berlin: Lit Verlag, 2012.
- [3] Energieleben, Das erste Osmosekraftwerk, 14.04.2011, <http://www.energieleben.at/osmosekraftwerk/> [21.05.2015].

# Beitrag der Kraft-Wärme-(Kälte-)Kopplung zur Netzstabilität im Sommer

## Combined (cooling,) heat and power contribution towards grid stability during summer time

Stefan Helm, Bachelor of Engineering, Institut für Hochspannungstechnik und Elektrische Energieanlagen, Braunschweig, 29. Mai 2015, s.helm@tu-bs.de

### Kurzfassung

Die Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) spielt im Kontext der Energiewende eine wichtige Rolle. Sie ermöglicht die kombinierte Strom- und Wärmeproduktion mit einem Gesamtwirkungsgrad von um die 90 %. Ein wachsender Anteil fluktuierender Stromerzeuger wie Windkraft- und Photovoltaikanlagen ist unter Berücksichtigung der Versorgungssicherheit nur zu realisieren, wenn in einem ausreichenden Maße steuerbare Stromerzeugungsanlagen zur Verfügung stehen. Wie groß hierbei der Beitrag der Kraft-Wärme-(Kälte-)Kopplung ist, insbesondere in Bezug auf die Netzstabilität in den warmen Sommermonaten, wird die vorliegende Ausarbeitung näher erläutern.

### Abstract

The combined heat and power generation (CHP) is of great interest within the energy transition. It combines the simultaneously production of electricity and warmth with an overall efficiency of around 90 %. Increasing the amount of renewable but fluctuating power sources like wind and sun has a great impact on service security. Therefore controllable power sources like CHP are necessary because they produce electricity just in time. In the following essay the effect of combined (cooling,) heat and power generation will be analysed with respect to the grid stability during summer time.

## 1 Einleitung

Die drei zentralen Ziele der deutschen Klimapolitik sind die Reduktion klimaschädlicher Treibhausgas-Emissionen, der Ausbau erneuerbarer Energien und die Steigerung der Energieeffizienz. Diese Ziele sind wesentlich zur Begrenzung des globalen Temperaturanstiegs auf maximal 2°C. Konkret hat sich die Bundesregierung bis 2020 die Ziele gesetzt, die Treibhausgasemissionen um 40 % gegenüber 1990 zu reduzieren, 18 % des deutschen Bruttoendenergieverbrauchs aus erneuerbaren Energien zu decken und den Primärenergieverbrauch um 20 % gegenüber 2008 zu senken [1]. Die Senkung des Primärenergieverbrauchs soll durch sparsamere Verbraucher und effizientere Energiewandler ermöglicht werden. Hier wird der Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) eine bedeutende Rolle zugeschrieben, denn sie ermöglicht die kombinierte Strom- und Wärmeproduktion mit hohen Wirkungsgraden von etwa 90 % und ist somit deutlich effizienter gegenüber der herkömmlichen Stromproduktion [2]. Bis zum Jahre 2020, so das Ziel der deutschen Bundesregierung, sollen 25 % des in Deutschland erzeugten Stroms aus KWK-Anlagen stammen. Das entspricht einem deutlichen Zuwachs gegenüber einem Anteil von 16,2 % in 2013. [3]

## 2 Theoretische Grundlagen

Die hohe Effizienz der KWK ist nur dann gegeben, wenn zeitnah zum Strombedarf auch ein Wärmebedarf besteht. Während der Wintermonate besteht in der gemäßigten Klimazone Mitteleuropas ein deutlicher Wärmebedarf zur Raumbeheizung. In den warmen Sommermonaten entfällt dieser jedoch und es verbleibt nur der im Verhältnis viel

geringere Warmwasserbedarf. Alternative Verwendungsmöglichkeiten für die Wärme müssen so gesucht werden, um die KWK-Anlagen in dieser Zeit weiterhin mit gutem Wirkungsgrad betreiben zu können.

Eine Möglichkeit besteht in der Nutzung der Wärme für Absorptionskälteanlagen. Dieses Verfahren eignet sich insbesondere zur Klimatisierung von Büro- und Gewerbegebäuden und kann die dort üblicherweise eingesetzten Kompressionskälteanlagen ersetzen.

Forschungsergebnisse im Rahmen des Forschungsverbundes Energie Niedersachsen konnten durch den Einsatz eines Blockheizkraftwerkes in Kombination mit einer Absorptionskälteanlage im Sommer für einen exemplarischen Bürokomplex eine deutliche Reduktion der Spitzenstromlast um 12 % sowie eine Reduktion der Lastgangspreizung um 4 % zeigen [4].

## 3 Literatur

- [1] Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit: „Die deutsche Klimaschutzpolitik“, 09.04.2014, Online unter: [www.bmub.bund.de/P3033/](http://www.bmub.bund.de/P3033/) abgerufen am 29.05.15.
- [2] Uwe Milles: „Kraft und Wärme koppeln“, Bine Informationsdienst, Oktober 2006.
- [3] Prognos AG, Fraunhofer IFAM, IREES: „Potenzial- und Kosten-Nutzen-Analyse zu den Einsatzmöglichkeiten von Kraft-Wärme-Kopplung“, Berlin, Oktober 2014.
- [4] Michael Kurrat (Hrsg.): „Forschungsverbund Energie Niedersachsen – Abschlussbereich dezentrale Energiesysteme“, Braunschweig, 2012.

# Flexibilitätsoptionen von Biogasanlagen

## Flexibility-Options for biogas facilities

Okan Özdemir, Student TU Braunschweig, Schladen, y0063105@tu-bs.de

### Kurzfassung

Das Thema „Flexibilitätsoptionen von Biogasanlagen“ lieferte eine Darstellung über die Flexibilität von dezentralen Erzeugungsanlagen. Die Intention ist, die durch dezentrale Stromerzeugung entstehenden Schwankungen der Spannung und Frequenz zu minimieren. Dazu werden mehrere Kleinanlagen zusammengeschaltet, umso den schwankenden Anteil im Stromnetz zu kompensieren. Dies sorgt für eine höhere Flexibilität der Stromerzeugung. Die Einführung mehrerer Optionen zur Vermarktung von Biogas reduzierte die Anfahr- und Brennstoffkosten konventioneller Kraftwerke und leistete einen Beitrag zur Sicherheit und Zuverlässigkeit des Elektrizitätsversorgungssystem.

### Abstract

This paper discussed flexibility options in biogas facilities and how they can help to minimize the impact of fluctuating energy generation of renewable sources on the grid. For this purpose, several facilities are combined into one virtual power plant, making it more flexible than its individual parts. Using different options to market the energy generated from biogas can help reduce the starting and operating costs of the plant, as well as providing more grid stability and reliability to the entire power system.

## 1 Einleitung

In dem vorliegenden Text „Flexibilitätsoptionen von Biogasanlagen“ wird beschrieben, dass die Flexibilisierung von Biogasanlagen zu Einsparungen bei Anfahrkosten konventionellen Kraftwerken dienen kann. Flexible Biogasanlagen eignen sich als Lösungsoption für ein konstantes Stromsystem.

Es wird versucht, mithilfe von regenerativen Energieträgern ein flexibles Stromsystem aufzubauen. Die Idee ist es, die konventionellen Kraftwerke durch regenerative Energieträger zu ersetzen, ohne dabei zusätzliche Schwankungen bei der Stromerzeugung zu verursachen.

## 2 Theoretische Grundlagen

Seit der Energiewende beschäftigen sich Experten mit Lösungsoptionen für einen Erfolg gegen den steigenden Anteil schwankender Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien. Dies soll dazu dienen auch in Zukunft Versorgungssicherheit zu gewährleisten.

Biogasanlagen können Einspeiseschwankungen kompensieren und damit das Stromsystem flexibilisieren. Biogas wird nicht flächendeckend für die flexible Stromproduktion eingesetzt, sondern die Biogasanlagen werden für die Grundlastversorgung 24 Stunden „nach Strich“ gefahren.

Des Weiteren können Biogasanlagen die Anfahr- und Brennstoffkosten konventioneller Kraftwerke reduzieren. Sie können auch einen Beitrag zur Sicherheit und Zuverlässigkeit des Elektrizitätsversorgungssystems leisten.

Da Biogasanlagen stetig Strom produzieren, decken sie sich allerdings nicht mit der Nachfragestruktur des

Strommarktes, ebenso wenig wie mit den energiepolitischen und technischen Anforderungen.

Die fluktuierenden Erzeuger können ausgeglichen werden, wenn Biogasanlagen in einem „virtuellen Kraftwerk“ betrieben werden. Dazu werden verschiedene Arten von Kraftwerken durch eine zentrale Steuerung zusammengefasst, wodurch der Einsatz von allen Anlagen in einem „virtuellen Kraftwerk“ gesteuert werden kann.

Um das energiepolitische Problem zu lösen, wurde die Flexibilitätsprämie eingeführt, welche nicht die kontinuierliche Fahrweise begünstigt, sondern die flexible Fahrweise belohnt.

Eine weitere Möglichkeit ist die Direktvermarktung, bei der ein Anlagenbetreiber den Strom über das öffentliche Betriebsnetz an einen Interessenten verkauft.

Regularien zur Einspeisung des Stroms in das zentrale Versorgungsnetz sind im EEG 2014 niedergeschrieben.

## 3 Literatur

- [1] <http://www.dena.de/presse-medien/pressemitteilungen/strommarkt-wird-fuer-anbieter-von-flexibilitaetsoptionen-bis-2025-attraktiver.html>. [Zugriff am 26.05.2015]
- [2] [http://www.izes.de/cms/upload/publikationen/UL\\_24\\_Juli\\_Stuttgart.pdf](http://www.izes.de/cms/upload/publikationen/UL_24_Juli_Stuttgart.pdf). [Zugriff am 26.05.2015]
- [3] [www.statkraft.de/Energiehandel/direktvermarktung/energiewissen-direktvermarktung/](http://www.statkraft.de/Energiehandel/direktvermarktung/energiewissen-direktvermarktung/). [Zugriff am 25.05.2015]

# Geschichte der Elektrifizierung Braunschweigs

## History of the electrification of Brunswick

Bachelor of Science, Robin Meier, TU Braunschweig, Braunschweig, r.meier@tu-bs.de

### Kurzfassung

Der Seminarvortrag beschäftigt sich mit der geschichtlichen Entwicklung und den Hintergründen der Elektrifizierung der Stadt Braunschweig. Die Elektrifizierung Braunschweigs lässt Rückschlüsse auf die technische Entwicklung ziehen. Den Anfang stellt die Einführung der elektrischen Straßenbahn und dem hierfür benötigten Gleichstromwerk da. Erst relativ spät folgte die Stadt dem technischen Trend die Stromversorgung durch Drehstrom sicherzustellen. Der nicht mehr aufzuhaltende Siegeszug der Ausbreitung der elektrischen Stromversorgung wurde durch die deutsche Inflation und die Schäden der Luftangriffe des zweiten Weltkrieges kurzzeitig zurückgehalten. Um nach dem Krieg den Wiederaufbau voranzutreiben und den Lebensstandard möglichst schnell wieder zu erhöhen, wurde der Wiederinbetriebnahme der Energieversorgung eine hohe Priorität zugeordnet.

### Abstract

This seminar thesis is about the historical development of electrification of the city Brunswick. The electrification of Brunswick allows conclusion to the technical progress. The starting point of electrical energy supply is formed by the introduction of the electrical tram. At a relatively late stage, the city followed the trend of ensuring power supply by means of rotary current. The unstoppable triumphal march of expansion of electrical energy supply was temporary held up by German inflation and damages caused by aerial bombardments in the Second World War. In order to stimulate reconstructions and raise living standards as soon as possible, the restart of energy supply was given top priority after the war.

## 1 Einleitung

Die Geschichte der deutschen Elektrifizierung kann bis in das 19. Jahrhundert zurückverfolgt werden. Seitdem hat sich in der elektrischen Energieversorgung viel verändert. Es musste sich auf immer neue Herausforderungen eingestellt werden. Im Rahmen dieses Seminarvortrags soll der Verlauf der elektrischen Historie bis Mitte des 20. Jahrhunderts anhand der Stadt Braunschweig nachvollzogen werden.

## 2 Übersicht über die Geschichte

Der Anfang der Elektrifizierung in Braunschweig stellte die Aufrüstung der Straßenbahnen vom Pferde- auf den elektrischen Betrieb dar. Zur Energieerzeugung wurde zunächst die Ressource Steinkohle verwendet. Dafür wurde 1897 ein Steinkohlekraftwerk in Richmond erbaut, wodurch fortan die Stromversorgung der Straßenbahn sichergestellt war. Zusätzlich konnte mit der hergestellten Energie ein Teil der Beleuchtung von Gas auf elektrische Energie umgestellt werden. Dieses Kraftwerk erzeugte ebenso wie das drei Jahre später fertiggestellte Kraftwerk in der Wilhelmstraße Gleichstrom. Durch dieses zweite Kraftwerk konnte für weitere Teile der Bevölkerung Energie bereitgestellt werden.

Erst während des ersten Weltkrieges 1914 folgte Braunschweig der technischen Weiterentwicklung im Bereich der Drehstromtechnik und baute das erste Drehstromkraftwerk. Aufgrund der Ressourcenknappheit von Leuchtmitteln (Petroleum) erfuhr der Ausbau des elektrischen Netzes durch den Bedarf an Beleuchtung

einen Aufschwung. Der Vorteil der elektrischen Energie wurde so einem immer größer werdenden Publikum vor Augen geführt. Im Gegensatz zu den heutigen Leitungen, welche als Basismaterial Kupfer nutzen, wurden die Leitungen damals trotz der höheren elektrischen Verluste aus Eisen gefertigt, da es Engpässe in der Kupferbeschaffung gab. Der stetig steigende Bedarf an elektrischer Energie wurde durch die deutsche Inflation, mit ihrem Höhepunkt 1923, kurzzeitig ausgebremst. Während des zweiten Weltkrieges stieg die Nachfrage der Industrie nach Energie stark an. Um diese zu befriedigen, wurden die Kraftwerke an ihren Leistungsgrenzen betrieben. Das Auswechseln von Verschleißteilen sowie das Warten wurde aufgrund des Dauerbetriebs vernachlässigt. Zusätzlich führten Luftangriffe der Alliierten zu starken Schäden an Kraftwerken und Leitungen, wodurch die Energieversorgung nicht mehr ausreichend gewährleistet war. Nach dem Krieg wurde dem schnellen Wiederaufbau der Energieversorgung eine hohe Priorität zugeordnet um den Lebensstandard sowie den Wiederaufbau Deutschlands voranzutreiben.

## 3 Literatur

- [1] Stadtwerke Braunschweig, Über die Stromversorgung der Stadt Braunschweig 1897 – 1947: 1947
- [2] Gebhardt, Die Probleme der Stromversorgung in der Stadt Braunschweig im Rahmen der Elektrizitätswirtschaftlichen Gesamtentwicklung, Hannover: 1957

# Reserven und Ressourcen

## Reserves and Ressources

Luca Torrisi, TU Braunschweig, Braunschweig, l.torrisi@tu-braunschweig.de

### Kurzfassung

Die vorliegende Arbeit beschäftigt sich mit der Verfügbarkeit von nicht-erneuerbaren Energieträgern (NEE). Sie dient nicht als Vorstellung des Ressourceninventars und deren Anwendungsgebiet. Vielmehr wurde erzielt, die bedeutenden Konzepten und Variablen für die Analyse zu ermitteln. Da die meisten Verwirrungen aus reinem semantischem Ursprung sind, wurde im ersten Kapitel viel Wert auf der Definition von Fachbegriffen gelegt. Anschließend wurden im zweiten Teil die Faktoren für die Entwicklung von Reserven präsentiert und diskutiert. Schlussendlich wurden im dritten Abschnitt die Faktoren die sich auf die Verfügbarkeit auswirken näher betrachtet.

### Abstract

The topic of this paper is the availability of non-renewable resources. The aim is not to provide an overview of the known resources inventory and their application, but rather to investigate the key concepts and variables that are crucial for the analysis. Since the cause of most of the misunderstandings is of purely semantic origin, the stress was laid on definitions in the first chapter. Subsequently major factors for the evolution of reserves were presented and discussed in the second part. Ultimately the factors influencing the availability were examined in the third section.

## 1 Einleitung

Wieso hat man seit 30 Jahren stets „noch 30 Jahre Erdöl“? Wird der Vorrat an fossilen Energieträgern bei einem exponentiell zuwachsenden Energieverbrauch nicht irgendwann geringer? Oder wächst er vielleicht sogar als Folge neuer Fördertechnologien und der Entdeckung neuer Vorkommen? Die Reichweite und die Verfügbarkeit der bekannten Energieträger ist in einer vernetzten, schnell wachsenden Welt mit komplexen *Just-in-time*-Lieferketten, eine zentrale Frage.

Ziel der vorliegenden Arbeit ist es an erster Stelle den Leser das Verständnis und die kritische Würdigung bei Thematiken bezüglich der Verfügbarkeit von nicht-erneuerbaren Energieträgern zu ermöglichen. Neben der konkreten Erläuterung der aktuellen Lage und der möglichen Entwicklung der Rohstoffförderung wird angestrebt, die notwendigen konzeptuellen Werkzeuge zur eigenen Analyse zu ermitteln.

## 2 Theoretische Grundlagen

Grundlegend für das Verständnis der besprochenen Thematik sind zuerst einmal die Definitionen von Reserven und Ressourcen.

Reserven sind Vorkommen, die nach dem heutigen Stand der Technik und aus einer wirtschaftlichen Perspektive sicher abbaubar sind. Der Adjektiv „sicher“ ist in dieser Definition äußerst wichtig, und wird im Folgenden aus der Perspektive der Wahrscheinlichkeitsbetrachtung erläutert. Bei der Einschätzung der Rohstoffmenge eines Vorkommens wird das Lager, also die Reserve, in drei Unterkategorien aufgeteilt: *proven*, *probable* und *possible reserves*. Wird das ungünstigste Beuteszenario mit einer Wahrscheinlichkeit von 1 (oder 100%) behaftet,

entsprechen die *proven reserves* bzw. „bewiesene“ Reserven die Menge die mit 90% Wahrscheinlichkeit gewonnen werden kann. Es wird also angenommen, dass sich nicht alle Faktoren schlecht auswirken werden. Analog bilden die sogenannten *possible Reserve* bzw. „möglichen“ Reserven, das andere Extrem, und spiegeln die Menge wieder, die nur mit 10% Wahrscheinlichkeit gewonnen werden kann. Aus dem wahrscheinlichsten Szenario (50%) lassen sich die *probable reserves* ableiten. Beeinflussende Faktoren sind bei Erdölvorkommen z.B. das Volumen und die Form der Lagerstätte, die Porosität des Gesteins, die Verteilung des Öls und seine Viskosität. Die bewiesenen Reserven sind die die unter dem Begriff „Reserven“ veröffentlicht werden. Diesbezüglich gibt es keine Pflicht außer für private Unternehmen gegenüber der Börsenaufsichtsbehörde und für Mitglieder der OPEC, deren Förderquoten von diesen abhängen. Externe Audits durch neutrale Sachverständige sind nicht vorgesehen.

## 3 Literatur

- [1] Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR), „Energiestudie 2014“ 28.Mai 2015 [Online]. Available: [http://www.bgr.bund.de/DE/Themen/Energie/Produkte/energiestudie2014\\_Zusammenfassung.html](http://www.bgr.bund.de/DE/Themen/Energie/Produkte/energiestudie2014_Zusammenfassung.html)
- [2] U.S. Energy Information Administration (EIA), „International Energy Statistics“ 28.Mai 2015 [Online]. Available: [www.eia.gov](http://www.eia.gov)
- [3] British Petroleum (BP), „Statistical Review of World Energy“ 28.Mai 2015 [Online]. Available: <http://www.bp.com/en/global/corporate/about-bp/energy-economics/statistical-review-of-world-energy.html>



# Blackout bei der Emsüberführung der “Norwegian Pearl”

## Blackout caused by the transport of the ship “Norwegian Pearl” via the Ems River to the North Sea

Uwe Schlenker, Institut für Hochspannungstechnik und elektrische Anlagen, Braunschweig, u.schlenker@tu-bs.de

### Kurzfassung

Aufgrund einer Schiffsüberführung über die Ems musste aus Sicherheitsgründen eine Hochspannungsleitung abgeschaltet werden. Durch eine unzureichende Planung und einem zu geringen Informationsaustausch kam es zu Überlastungen und das Netz zerfiel in 3 Teile. Gegenmaßnahmen wie das Abwerfen von Lasten und das Mobilisieren von Reserven stabilisierten die einzelnen Netzteile wieder. Anschließend war es möglich, die einzelnen Teilgebiete wieder zu synchronisieren und zu einem gesamten Netz zusammen zu schalten. Zwischenzeitlich waren mehr als 15 Millionen Haushalte nicht mit Strom versorgt.

### Abstract

Due to a ship crossing over the Ems River a high-voltage line had to be shut down for safety reasons. By inadequate planning and an insufficient exchange of information, there were several congestions and the network was divided into 3 parts. Countermeasures such as shedding loads and the mobilization of reserves stabilized the individual networks again. Then it was possible to synchronize the individual sub-areas again and to interconnect the whole network. In the meantime, more than 15 million households had no current supply.

### 1 Einleitung

Am 04. November 2006 musste die 380kV Hochspannungsleitung zwischen Diele und Conneforde aufgrund einer Schiffsüberführung abgeschaltet werden. Die in Papenburg ansässige Meyer Werft überführt die fertigen Schiffe über die Ems vom Werftgelände bis zur Nordsee. Der Grund für die Abschaltung war eine Sicherheitsvorkehrung, da der Abstand zwischen Schiff und Leitung sehr gering war. Ein Vorgang wie dieser erfordert einige Vorkehrungen. Die Last über die abzuschaltende Leitung musste minimiert werden, um andere Leitungsabschnitte nicht zu stark zu belasten und die Frequenzstabilität zu gewährleisten. Eine hohe Kooperation zwischen den einzelnen Netzbetreibern war erforderlich. Jeder Netzbetreiber prüfte sein Netz durch Simulationsrechnungen auf eventuelle Schwachstellen. Eine kurzfristige Verschiebung der Abschaltung machte eine erneute Berechnung nicht möglich. Zudem wurde diese Information nicht rechtzeitig anderen Netzbetreibern mitgeteilt.

### 2 Hauptteil

Am 04. November 2006 flossen zwischen dem Osten und Westen von Europa sehr große Leistungen. Diese waren eine Folge vom internationalen Energiehandel und der hohen Windenergieeinspeisung in Norddeutschland. Durch das Öffnen der 380kV Hochspannungsleitung zwischen Diele und Conneforde mussten sich die nicht erwarteten hohen Flüsse anders auf das Netz verteilen. Dabei können sich die physikalischen Flüsse in einem stark vernetzten System von den angenommenen Flüssen

deutlich unterscheiden. Auf Grund der Tatsache, dass die hohen Ströme über andere Leitungen flossen, wurden diese überlastet und die Schutzschaltungen nahmen sie vom Netz. Daraufhin teilte sich das Stromnetz in Europa in drei Gebiete auf. In zwei Gebieten war die Last wesentlich größer als die Einspeisung, wodurch es zum Frequenzabfall in diesen Teilen kam. Das dritte Gebiet hatte eine viel größere Einspeisung als nötig, hier waren Frequenzerhöhungen die Folge. Als Gegenmaßnahme wurden manuell und automatisiert, je nach Anforderung, Lasten vom Netz abgeworfen und Energiereserven abgerufen oder die Einspeisung herunter gefahren. Nachdem die Frequenzen in den drei Gebieten stabil waren, konnten diese wieder zu einem großen Netz zusammen geschaltet werden. Nach zwei Stunden war der Vorfall in gesamt Europa wieder behoben. Die UCTE analysierte das Ereignis und erkannte dabei zwei Hauptursachen und kritische Faktoren, aus denen Empfehlungen abgeleitet wurden. Zu einem war die Kommunikation zwischen den einzelnen Netzbetreibern nicht ausreichen und unzureichende Informationen erschwerten die Kalkulation.

### 3 Literatur

- [1] Union for the co-ordination of transmission of electricity [UCTE], “Final Report System Disturbance on 4 November 2006” 26. Mai 2015. [Online]. Available: [https://www.entsoe.eu/fileadmin/user\\_upload/\\_library/publications/ce/otherreports/Final-Report-20070130.pdf](https://www.entsoe.eu/fileadmin/user_upload/_library/publications/ce/otherreports/Final-Report-20070130.pdf)

# Auswirkungen der Sonnenfinsternis auf die Energiewirtschaft

Matthias Raisich, Technische Universität Braunschweig, matthias.raisich@hotmail.com

## 1. Hintergrund/ Befürchtungen

Die partielle Sonnenfinsternis am 20. März 2015 hatte für die Energiewirtschaft in Deutschland eine besondere Bedeutung. Anders als andere Staaten hat Deutschland einen hohen Anteil an regenerativen Energiequellen. Normalerweise ist es vorteilhaft, da der erhöhte Bedarf zur Mittagszeit durch die Erzeugungsspitze der PV-Anlagen kompensiert wird. Doch an diesem Tag wurde die Erzeugungsspitze zu einer zusätzlichen Herausforderung, da das Ende der Sonnenfinsternis genau auf diese Zeit fiel. Bei 37,2 GW installierter PV-Leistung [1] und unbedecktem Himmel würde die Abnahme der Strahlungsintensität der Sonne auf ca. 25% und einer anschließende Zunahme auf 100% zu einem sehr steilen Gradienten führen, der laut Prognose bis zum 3,5-fachen eines normalen sonnigen Tages ansteigen könnte. [2]

## 2. Was wirklich passiert ist

Tatsächlich ist die Solarleistung an diesem Tag innerhalb kurzer Zeit um knapp 7 MW eingebrochen [3] und später um 15 GW angestiegen [4]. [5] Um diese Schwankungen zu kompensieren, wurden mehrere Maßnahmen eingesetzt. Die größten Puffer bildeten die Pumpspeicherwerke, die zusammen eine Leistung von 7 GW besitzen. Bei Einbruch der PV-Leistung kompensierten die Pumpspeicherwerke im Turbinenbetrieb einen großen Teil der fehlenden Energie. Zum Ende der Sonnenfinsternis dienten die Pumpspeicherwerke im Pumpbetrieb zur Kompensation überschüssiger Energie. Zusätzlich wurden Bonuszahlungen an Aluminiumhütten entrichtet, wenn diese ihre Produktion für die Zeit des Sonnenfinsternis-Maximums drosselten. [2] Darüber hinaus wurden schnell regelbare konventionelle Kraftwerke eingesetzt und genug Regelleistung geordert, damit auch bei nicht vorhersehbaren Vorkommnissen das Gleichgewicht zwischen Erzeugung und Verbrauch erhalten bleibt. Schlussendlich wurden regelbare PV-Anlagen zum Teil abgeschaltet, als die PV-Leistung schlagartig angestiegen ist. [3], [4]

## 3. Auswirkungen

Durch die schwankende Energieerzeugung schwankten auch die Strompreise. Die Bandbreite reicht von extrem hohen Strompreisen bei Einbruch der Solarleistung bis hin zu negativen Strompreisen beim Anstieg der PV-Leistung [3]. Der Anstieg der Strompreise an der Börse um die Zeit der Sonnenfinsternis rührt aber auch daher, dass die PV-Anlagen die kostenlos zur Verfügung stehende Sonnenenergie nutzen, die Solarenergie an diesem Tag jedoch durch konventionelle Kraftwerke kompensiert werden musste, deren Energieträger gekauft werden müssen.

Das Ergebnis ist befriedigend. Die Netzfrequenz lag erstaunlich stabil bei 50 Hertz [4], sogar stabiler als am Vortag. Lediglich die Kosten waren mit 3,6 Mio. Euro Mehrkosten [1] etwas hoch, was im Vergleich mit einem Orkan (bis 10 Mio. Euro Zusatzkosten [3]) aber noch in Ordnung ist.

## 4. Fazit

Jedenfalls haben die Netzbetreiber gezeigt, dass es möglich ist auch mit Zunahme an regenerativen Energiequellen die Auswirkungen einer Sonnenfinsternis zu bewältigen und dass wir uns in Zukunft davor nicht fürchten müssen Allerdings müssen dafür genügend konventionelle Kraftwerke zur Verfügung stehen und mit Zunahme von regenerativen Energiequellen mehr Pumpspeicherwerke gebaut werden.

## 5. Quellen

[1]	15TOP 2b ÜNB Rückblick auf die Sonnenfinsternis am 20. März 20
[2]	<a href="http://pvspeicher.htw-berlin.de/wp-content/uploads/2014/10/HTW-Berlin-Studie-Einfluss-der-Sonnenfinsternis-im-März-2015-auf-die-Solarstromerzeugung-in-Deutschland.pdf">http://pvspeicher.htw-berlin.de/wp-content/uploads/2014/10/HTW-Berlin-Studie-Einfluss-der-Sonnenfinsternis-im-März-2015-auf-die-Solarstromerzeugung-in-Deutschland.pdf</a>
[3]	<a href="http://m.futurezone.at/science/stromnetz-verkraftet-sonnenfinsternis-ausfaelle-problemlos/120.547.088">http://m.futurezone.at/science/stromnetz-verkraftet-sonnenfinsternis-ausfaelle-problemlos/120.547.088</a>
[4]	<a href="http://www.netzfrequenz.info/auswertungen/kurz-analyse-sonnenfinsternis.html">http://www.netzfrequenz.info/auswertungen/kurz-analyse-sonnenfinsternis.html</a>
[5]	TOP 2b EPEX Spot Sonnenfinsternis

# Herausforderungen bei der Bereitstellung von Regelleistung aus dem Verteilnetz

Sina Shahani, B.Sc., Technischen Universität Braunschweig - elenia, s.shahani@tu-bs.de

## Kurzfassung

Für die Funktionstüchtigkeit des elektrischen Energieversorgungssystems werden erforderliche Systemdienstleistungsprodukte derzeit zum größten Teil durch konventionelle Kraftwerke bereitgestellt. Diese sind in naher Zukunft mit immer weniger Erzeugungsleistung am Netz vorhanden. Die Übertragungsnetzbetreiber (ÜNB) sind verantwortlich für die Erbringung von Systemdienstleistungen wie z.B. Frequenzhaltung, um einen sicheren und stabilen Stromnetzbetrieb zu gewährleisten. [1]

Bei der Frequenzhaltung wird zwischen der Momentanreserve (MomR) und Regelleistung (RL) unterschieden. Bei den Abweichungen zwischen Erzeugung und Verbrauch kommt es zu einer Erhöhung bzw. Verringerung der Netzfrequenz. Die MomR wird automatisch für einen Ausgleich der Abweichung des Wirkleistungsgleichgewichts kurzzeitig eingesetzt, bevor die Frequenz bzw. Drehzahlregelung durch die ÜNB das Leistungsungleichgewicht ausregelt. [1]

Der Fokus dieser Darstellung liegt auf der zukünftigen Bereitstellung von MomR und RL aus der Verteilnetzebene. Das Ziel ist es, die Herausforderungen durch diesen Wandel aufzuzeigen. Hierbei geht es insbesondere um den zunehmenden Anteil von dezentralen Energieanlagen (DEA), aber auch um andere technische Anlagen wie Batteriespeicher, neue Ersatznetzanlagen sowie die im Netz befindlichen Must-Run-Kapazitäten.

Zunächst erfolgt eine Darstellung der technischen Eigenschaften und des Potenzials von dezentralen Erzeugungsanlagen zur Bereitstellung von Regelleistung. Wichtige Aspekte sind hierbei der Vergleich zu der derzeitigen Situation und darauf aufbauend die Notwendigkeit dieses Wandels.

Künftig ist eine steigende Erbringung von Regelleistung durch die DEA aus dem Verteilnetz gefordert. Daher übernehmen diese Anlagen auch einen wichtigen Beitrag zur Netzstabilität [1]. Dadurch werden veränderte Koordinationsprozesse und ein Austausch von Informationen in der Betriebsplanung und -führung zwischen ÜNB, VNB und den Anlagenbetreibern benötigt [2].

Zum Schluss werden die bestehenden Herausforderungen und technischen Probleme hinsichtlich der Koordinationsprozesse, Beobachtbarkeit und Steuerbarkeit von unteren Netzebenen näher erklärt. Hierzu gehören z.B. inkompatible Steuersignale von ÜNB und VNB an eine bestimmte Anlage und die veränderte Gleichzeitigkeit im Verteilnetz durch vermehrte RL-Abrufe [2]. Die dazu möglichen technischen Lösungsansätze sind im Rahmen der Diskussion auch enthalten.

## Literaturverzeichnis

- [1] Deutsche Energie-Agentur (2014): "dena-Studie Systemdienstleistungen 2030: Sicherheit und Zuverlässigkeit einer Stromversorgung mit hohem Anteil erneuerbarer Energien."
- [2] Arbeitsdokument AG Koordinationsprozesse Regelleistung: "Problemanalyse Koordinationsprozesse Regelleistung."

# Bewertung von Speicherverlusten

## Evaluation of reservoir losses

Bewertung von Speicherverlusten, Lukas Otte, Braunschweig, lukas.otte@tu-braunschweig.de

### Kurzfassung

*PV-Speicher brauchen einheitliche Rahmenrichtlinien zur Klassifizierung an denen sich Hersteller und Kunden orientieren können. In dieser Arbeit wurde dabei zunächst kurz der typische Aufbau eines PV-Systems erläutert. Danach wurden die Vor- und Nachteile der einzelnen Batterietypen dargelegt. Desweiteren wurden Arten von Speicherverlusten dargestellt, die in den Batterien auftreten können. Darauf basierend wurde die Forderung offenbart, dass ein Effizienzlabel entwickelt werden müsse, hierzu wurden auch schon mögliche Verfahren aufgelistet.*

### Abstract

*As an orientation for manufacturers and customers, PV accumulators are in need of general guidelines for a classification. At first, a typical structure of a PV system was explained. Afterwards advantages and disadvantages of different types of accumulators were pointed out. Furthermore it was explained which kinds of reservoir losses could appear. Based on these facts a demand for an efficiency label was made. For this label, some potential methods were listed.*

## 1 Einleitung

*Aufgrund des Klimawandels und der daraus entstehenden Gesetzgebung gewinnen PV-Systeme immer mehr an Bedeutung. Bisher wurde es jedoch verpasst eine einheitliche Klassifizierung auszuarbeiten, sodass jeder Hersteller von PV-Speichern seine eigenen Tests, macht. Die Ergebnisse weichen dabei jedoch oftmals stark von der Realität beim Kunden ab. Deshalb ist es besonders für den Kunden schwer nachzuvollziehen, welcher Speicher für ihn optimal wäre.*

*Um dies zu ändern müssen genau Rahmenrichtlinien entwickelt werden.*

## 2 Theoretische Grundlagen

*Mit Hilfe eines Photovoltaik-Systems lässt sich aus der Sonnenenergie Strom erzeugen und speichern. Dabei nimmt das Photovoltaikmodul die thermische Energie der Sonne auf und wandelt diese in elektrische Energie um, welche dann in Form von Gleichstrom transportiert wird. Dieser Gleichstrom wird dann meistens durch einen Wechselrichter in Wechselstrom umgerichtet. Eine elektrische Regelung prüft dann, ob dieser Strom direkt an den Verbraucher abgegeben werden muss oder zunächst in einem Batteriespeicher gespeichert wird. Zudem ist dieses System über einen Bezugszähler und einen Einspeisezähler an das öffentliche Stromnetz angeschlossen.*

*Bei diesen Prozessen entstehen diverse Verluste. Insbesondere im Wechselrichter und im Batteriespeicher sind diese Verluste nicht zu vernachlässigen und möglichst gering zu halten. Vor allem beim Batteriesystem hängen diese Verluste immens von der Art beziehungsweise vom Material des Speichers ab.*

## 3 Literatur

- [1] H. Loges, Batteriespeicher - Erste Ergebnisse zur Verlustmessung, Forschungstreffen „e-Home Energieprojekt 2020“ Hannover, 6.03.2015.
- [2] Volker Quaschnig, Hanser Verlag "Regenerative Energiesysteme".
- [3] C. Geißler, E. Zentgraf, TEC-Institut, Bis zu 75% netzunabhängige Photovoltaik-Stromversorgung, 25.09.2012. Available: <http://www.tec-institut.de/bis-zu-75-netzunabhaengige-photovoltaik-stromversorgung/> [Zugriff am 28.05.2015].
- [4] H. Urban, Eigenverbrauch im Haushalt - Daten und Erfahrungen aus der Praxis - Optimierungsmöglichkeiten durch Integration eines E-Fahrzeuges, Jan. 2013. Available: [http://www.schletter.de/files/addons/docman/solar-montage/musteranlagen/Eigenverbrauchsoptimierung\\_im\\_Haushalt\\_I114301DE.pdf](http://www.schletter.de/files/addons/docman/solar-montage/musteranlagen/Eigenverbrauchsoptimierung_im_Haushalt_I114301DE.pdf) [Zugriff am 28.05.2015].
- [5] J. Weniger, T. Tjaden, V. Quaschnig, Energiespeicher für die Energiewende - Dezentrale PV-Batteriespeicher vorausschauend betreiben, Solarzeitalter, Jan. 2014.

# Bedeutung grenzübergreifenden Leistungsflusses

## Importance of cross-border power flow

Bedeutung grenzübergreifenden Leistungsflusses, Sebastian Wolf, TU Braunschweig, Elenia, Braunschweig, sebastian.wolf@tu-bs.de

### Kurzfassung

In dieser Ausarbeitung wurde die zunehmende Bedeutung von grenzübergreifenden Leistungsflüssen an Hand von Messdaten veranschaulicht. Des Weiteren wurden saisonale und tageszeitbedingte Schwankungen und Gründe für diese aufgezeigt.

### Abstract

The increasing importance of cross-border power flows was illustrated on the basis of measured data in this paper. Additionally seasonal and daily fluctuations and probable causes were shown.

## 1 Einleitung

In Deutschland wird bereits mehr als ein Viertel des Gesamtstromverbrauches durch regenerative Energiequellen abgedeckt. Es ist allgemein bekannt, dass regenerative Energiequellen saisonalen Schwankungen unterworfen sind. Zusätzlich sollen bis 2022 alle restlichen Atomkraftwerke, die zur Zeit hauptsächlich zur Grundlastabdeckung dienen, abgeschaltet werden. Wenn nun zu viel oder auch zu wenig Strom erzeugt wird, wird die Differenz durch das Ausland ausgeglichen. Um auch in der Zukunft weiterhin eine stabile Stromversorgung gewährleisten zu können, müssen die Schwankungen der regenerativen Energiequellen durch eine Vernetzung mehrerer Staaten ausgeglichen werden.

In dieser Ausarbeitung werden rückblickend der Gesamtstromverbrauch und die Stromproduktion aus regenerativen Energiequellen bzw. Atomkraftwerken innerhalb Deutschlands betrachtet. Des Weiteren werden an Hand von Messdaten der grenzübergreifenden Leistungsflüsse Deutschlands Aussagen über deren weiteren Verlauf getroffen.

## 2 Theoretische Grundlagen

Seit 1960 wird jährlich ein Energiebilanzbericht des Statistischen Bundesamtes bzw. dessen Vorgänger erstellt [2]. Des Weiteren werden seit 2011 grenzübergreifende Leistungsflüsse, und auch weitere Daten, auf der ENTSO-E Transparency Website [1] veröffentlicht. Stündlich werden aus dem Europäischen Raum diese Daten abgefragt und gespeichert. Zusätzlich werden hier auch geplante Abschaltungen für Revisionen von grenzübergreifenden Schnittstellen eingetragen. Diese Daten werden auf monatlich oder täglich wiederkehrende Muster untersucht um so generell Aussagen für die Zukunft zu treffen. Zusätzlich werden Wetterdaten herangezogen um mögliche wetterabhängige Schwankungen finden zu können.

## 3 Literatur

- [1] <https://transparency.entsoe.eu/>
- [2] <http://www.ag-energiebilanzen.de/>

# Von Tesla bis Heute

## Entwicklung und Anwendung der induktiven Energieübertragung

Liwen Zhang, Elenia, Braunschweig, liwen.zhang@tu-braunschweig.de

### Kurzfassung

Schon zum Ende des 19. Jahrhunderts hatte Nikola Tesla die Idee, mittels hochfrequenter Wechselströme eine drahtlose Energieübertragung zu ermöglichen. Aufgrund der vielen praktischen Anwendungsgebiete und weitgehenden Ungefährlichkeit des drahtlosen Aufladens, hat diese Technologie sich heutzutage im täglichen Leben weit verbreitet. In diesem Vortrag wird zunächst die theoretische Funktionsweise der induktiven Energieübertragung erläutert, auf dessen Grundlage viele verschiedene Technologien entwickelt wurden. Darauf aufbauend wird die alltägliche Anwendung, wie etwa das Aufladen elektromobiler Fahrzeuge oder moderner Smartphones erläutert. Zum Abschluss werden die mit der Technologie verbundenen Probleme aufgezeigt.

### Abstract

As early as the late 19th century, Nikola Tesla got the idea to transmit electrical power through high-frequency alternating current. Due to the convenience and safety of wireless charging, this technology has nowadays widespread in daily life.

Firstly, in this presentation the theoretical background of inductive energy transfer will be discussed. This theory was the base for the development of many different technologies. Secondly it will be explained how these technologies are applied in daily life. Finally a focus will be laid on the problems related to this technology.

## 1 Einleitung

Unter allen Methoden zur kontaktlosen Energieübertragung ist induktive Energieübertragung die am weitesten verbreitete Methode. Zur Zeit ermöglicht die Technologie nur die Energieübertragung zwischen einem Energiesender und einem Energieempfänger deren Abstand sehr gering ist. Wie genau diese Übertragung funktioniert, in welchen Bereichen die Technologie bereits eingesetzt wird und wo die aktuellen Grenzen und Probleme liegen wird in diesem Vortrag betrachtet.

## 2 Theoretische Grundlagen

Die theoretischen Grundlagen zur induktiven Energieübertragung stellt das Prinzip der Gegeninduktion dar.

Ein Strom der eine Leiterschleife 1 durchfließt erzeugt die magnetischen Flussdichte  $B$  in ihrer räumlichen Umgebung. Mit Hilfe des Biot-Savart-Gesetzes kann  $B$  durch den Strom  $I$  und die Geometrie der Leiterschleife 1 bestimmt werden.

Der magnetische Fluss  $\Phi_2$ , der die Schleife 2 mit der Fläche  $A$  durchflutet, berechnet sich als

$$\Phi_2 = \int_A \vec{B}(\vec{r}) \cdot d\vec{A}$$

Aufgrund des Faradayschen Induktionsgesetzes wird dann Spannung in die zweite Leiterschleife induziert, wenn der Fluss  $\Phi_2$  zeitveränderlich ist.

## 3 Literatur

- [1] Pascal Leuchtman, Einführung in die elektromagnetische Feldtheorie, Pearson Studium, 2005.