

Guluma Megersa

Energiewirtschaftliche Potenzialanalyse für Stromspeicher sowie für den Einsatz von flexiblen Energieanlagen

**Für eine Stromversorgung mit
100% regenerativen Energien
im Landkreis Harz**

Megersa, Guluma: Energiewirtschaftliche Potenzialanalyse für Stromspeicher sowie für den Einsatz von flexiblen Energieanlagen: Für eine Stromversorgung mit 100% regenerativen Energien im Landkreis Harz. Hamburg, Diplomica Verlag GmbH 2015

Buch-ISBN: 978-3-8428-8755-8

PDF-eBook-ISBN: 978-3-8428-3755-3

Druck/Herstellung: Diplomica® Verlag GmbH, Hamburg, 2015

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek:

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ist ohne Zustimmung des Verlages unzulässig und strafbar. Dies gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Bearbeitung in elektronischen Systemen.

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

Die Informationen in diesem Werk wurden mit Sorgfalt erarbeitet. Dennoch können Fehler nicht vollständig ausgeschlossen werden und die Diplomica Verlag GmbH, die Autoren oder Übersetzer übernehmen keine juristische Verantwortung oder irgendeine Haftung für evtl. verbliebene fehlerhafte Angaben und deren Folgen.

Alle Rechte vorbehalten

© Diplomica Verlag GmbH

Hermannstal 119k, 22119 Hamburg

<http://www.diplomica-verlag.de>, Hamburg 2015

Printed in Germany

Kurzzusammenfassung

Im Rahmen dieser Arbeit wird, bei einer 100% regenerativen Stromversorgung der Modellregion Landkreis Harz, eine energiewirtschaftliche Potenzialanalyse für Stromspeicher sowie für den Einsatz von flexiblen Energieanlagen durchgeführt. Hierbei wird, aufbauend auf definierten Szenarien und erweiterten Annahmen, die Wechselwirkung mit der thermischen Energieversorgung näher analysiert. Für diese Analyse werden Wärme- und Kühllastprofile eingesetzt, die dazu dienen, den Einfluss von Erzeugungs- und Lastverlagerung (Energiemanagement) auf den Stromspeicherbedarf zu quantifizieren. Das Energiemanagement wird hierbei durch die flexible Betriebsweise von KWK-Anlagen und elektrischen Wärmepumpen/Kältemaschinen simuliert, so dass der Stromspeicherbedarf durch die Simulation des Verlaufs der stündlichen Residuallast mit und ohne Energiemanagement ermittelt wird. Die Simulationsergebnisse zeigen, dass sich die erforderliche Strommenge aus Stromspeichern durch den Einsatz von Energiemanagement um ca. 60% reduzieren lässt.

Abstract

Within this study an energy economical potential analysis for energy storage and flexible energy units will be conducted for a 100% renewable electricity supply of the model region Harz. Based on defined scenarios and extended assumptions, the interaction with the thermal energy supply will be analyzed closer. For this analysis, heating and cooling load profiles are used to quantify the influence of generation and load shifting (energy management) concerning to the energy storage demand. The energy management is simulated by the flexible operation of CHP plants and electric heat pump / chiller, so that the energy storage demand is calculated by the simulation of the regime of the hourly residual load with and without energy management. The simulations show that the implementation of energy management can reduce the required amount of electricity from energy storages up to 60%.

Danksagung

Während meines Studiums und der Erstellung dieser Masterarbeit wurde ich von einer Reihe Personen unterstützt, denen ich hiermit danken möchte.

Besonderer Dank gilt Herrn Prof. Dr.-Ing. Jens Hesselbach und Herrn Dr.-Ing. Kurt Rohrig für die Betreuung dieser Masterarbeit und den fachlichen Gesprächen während der Bearbeitung.

Vielen Dank auch an die Mitarbeiter der Firma CUBE Engineering GmbH, insbesondere die Abteilung Dezentrale Energiesysteme, für das angenehme Arbeitsklima. Ganz besonders bedanken möchte ich mich bei Herrn Dipl.-Ing. Peter Ritter, Herrn Dipl.-Landsch.-Ökol. Dirk Filzek sowie Herrn Dipl.-Ing. Lars Nicklaus für die anregenden Gespräche und den fachkundigen Anleitungen.

Herzlich danken möchte ich auch meiner Partnerin Frau B. Eng. Yordanos Sahlu sowie meinen Freunden und meiner Familie, die mich unterstützt und motiviert haben.

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	I
1 Einleitung	1
1.1 Leitgedanke einer 100% regenerativen Stromversorgung	1
1.2 Ziel und Aufbau der Arbeit.....	3
2 Rahmenbedingungen für die Potentialanalyse	5
2.1 Energiewirtschaftliche Rahmenbedingungen für Stromspeicher.....	5
2.1.1 Einsatzgebiet von Stromspeichern	5
2.1.2 Elektrochemische Stromspeicher	10
2.1.3 Flexible Energieanlagen als „Virtuelle Stromspeicher"	13
2.2 Projektspezifische Rahmenbedingungen	19
2.2.1 Kurzporträt RegModHarz.....	19
2.2.2 Annahmen für das Leitszenario 3	21
3 Simulationen zur Ermittlung des Stromspeicherbedarfs.....	45
3.1 Simulation in <i>energyPRO</i>	45
3.1.1 Modellierung der Simulationsumgebung	46
3.1.2 Optimierung in <i>energyPRO</i>	48
3.2 Speicherbedarfsanalyse	54
3.2.1 Methodik der Speicherbedarfsanalyse	54
3.2.2 Einfluss von Energiemanagement.....	63
3.2.3 Vergleich zwischen leistungs- und energieautarker Versorgung.	79

4	Fazit und Ausblick	82
4.1	Folgerungen aus den Simulationen	82
4.2	Anreiz für den Ausbau von Flexibilisierungsoptionen	85
	Abbildungsverzeichnis.....	III
	Tabellenverzeichnis	VII

1 Einleitung

Es ist nicht zu bestreiten, dass der Klimawandel stattfindet und dass die Emission von Treibhausgasen die Hauptursache für die Klimaerwärmung sowie für die damit verbundenen Gefahren ist (Vgl. [1]). Als Hauptquelle für die Emission von Treibhausgasen ist vor allem die Nutzung von fossilen Energieträgern zu nennen. Hinzu kommt noch, dass aufgrund der Verknappung von fossilen Energieträgern mit einer kontinuierlichen Verteuerung der Stromversorgung zu rechnen ist. Nach Fukushima sind aber auch die Gefahren und externen Kosten durch die Nutzung von nuklearen Energieträgern nicht mehr zu bestreiten.

Durch Energieeffizienz und Energieeinsparung kann der Bedarf an nuklearen und fossilen Energieträgern reduziert werden, so dass auch die Emission von Treibhausgasen reduziert wird. In diesem Zusammenhang hat es sich Deutschland als Ziel gesetzt, seine Treibhausgasemissionen bis zum Jahr 2050 um 80% gegenüber dem Jahr 1990 zu senken. Hierbei stellt die Stromversorgung ein enormes Potenzial zur Senkung der Emissionen dar. Für die Stromversorgung von morgen ist aber die Transformation hin zu einer auf regenerative Energieträger basierenden Stromversorgung unumgänglich. Bei dieser Transformation muss schrittweise ein Stromversorgungssystem entwickelt werden, dass zukünftig den Anforderungen von ökonomischer Effizienz, Umweltverträglichkeit und Versorgungssicherheit gerecht werden kann (Vgl. [2]).

1.1 Leitgedanke einer 100% regenerativen Stromversorgung

Zu den Leitgedanken einer vollständig regenerativen Stromversorgung gehört die intelligente Vernetzung des Stromnetzes mit Gas-, Verkehrs- und Wärmenetzen. Diese Vernetzung der Infrastrukturen wird erforderlich, weil Strom aus Erneuerbaren Energien (EE-Strom) neben herkömmlichen Anwendungen auch für Anwendungen in den Verbrauchssektoren Wärme und Verkehr an Bedeutung gewinnt. Somit wird EE-Strom fossile Energieträger in den Sektoren Wärme und Verkehr ersetzen und immer mehr zur Primärenergie (siehe Abbildung 1-1). Die Nutzung von Strom als Primärenergie ist ein wichtiger Aspekt bzw. Bestandteil der Transformation des Energiesystems.

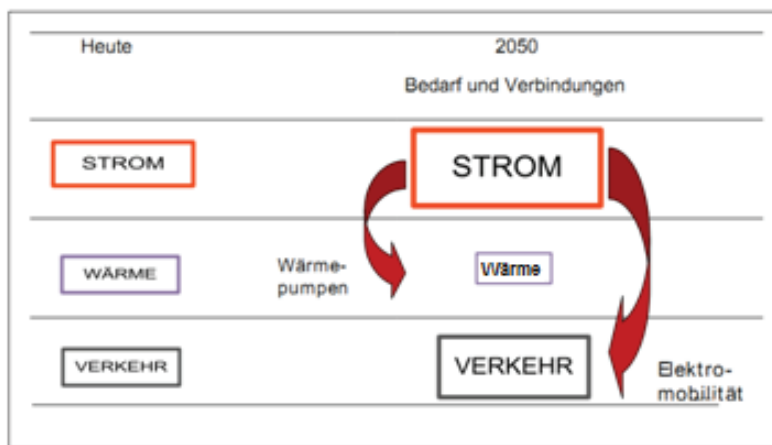


Abbildung 1-1: Transformation des Energieversorgungssystems [3]

Für die Vernetzung muss zwischen diesen Netzen ein ständiger Informationsaustausch über Energieerzeugung und –nachfrage stattfinden. Dazu stellen Energiespeicher ein Schlüsselement einer 100% regenerativen Stromversorgung dar und müssen mit unterschiedlicher Kapazität und Leistung zur Verfügung stehen. Hierbei werden sowohl Strom- und Wärmespeicher als auch Speicher für chemische Energieträger benötigt. Chemische Energieträger, die als „Power-to-Gas“ über die Brücke Strom-Wasserstoff und/oder Methan bereitgestellt werden, dienen der Bereitstellung von Kurz- und Langzeitspeichern sowie dem Einsatz erneuerbarer Energieträger für den Verkehr und die Prozesswärme. Somit bilden die chemischen Energieträger die Schnittstelle zwischen den energiewirtschaftlichen Verbrauchssektoren Strom, Wärme, Verkehr und sind somit ein wichtiger Baustein für die zukünftige Energieversorgung.

Neben Energiespeichern ist eine stromseitige Erzeugungs- und Lastverlagerung (Energiemanagement) erforderlich, um regelbare Erzeuger gezielt zu Zeiten hoher Last einzusetzen und Verbraucher zu Zeiten mit hohem EE Angebot optimiert einzubinden. Durch das Energiemanagement werden Lastspitzen reduziert, so dass der Strombedarf zu jedem Zeitpunkt gedeckt ist und der Bedarf an Stromspeichern reduziert wird.

Des Weiteren sind die Stromnetze mittels Transportnetzen über größere Regionen miteinander verknüpft, so dass es durch den räumlichen Ausgleich zu einer Glättung der Erzeugungsleistung und somit zu einer Erhöhung des Beitrags zur gesicherten Leistung durch fluktuierende EE kommt.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass die Verstetigung des schwankenden Angebots aus regenerativen Stromquellen über die drei Flexibilisierungsoptionen Speicher, Energiemanagement und Transport erfolgt (Vgl. [4]).

Für die Realisierung der oben aufgeführten Leitgedanken einer vollständigen EE Stromversorgung mit vorwiegend dezentralen Erzeugungseinheiten spielt die Informations- und Kommunikationstechnologie (IKT) eine entscheidende Rolle. Erst durch eine kommunikative Vernetzung der weiträumig verteilten dezentralen Einheiten zu einem Virtuellen Kraftwerk (VK) wird ein Zusammenspiel zwischen Erzeugung, Speicherung und Verbrauch ermöglicht.

1.2 Ziel und Aufbau der Arbeit

Im Rahmen dieser Arbeit wird basierend auf verfügbaren Szenarien und auf Annahmen im Rahmen des Forschungsprojektes eine energiewirtschaftliche Potentialanalyse für Stromspeicher sowie für den Einsatz von flexiblen Erzeugern und Lasten für eine 100% regenerative Stromversorgung der regenerativen Modellregion Harz (*Reg-ModHarz*) durchgeführt. So sollen verschiedene Technologien mit der Simulationssoftware *energyPRO* von *EMD International A/S*¹ modelliert und simuliert werden, um sie energiewirtschaftlich bewerten zu können. Zusammenfassend sollen im Rahmen dieser Arbeit, von den in Kapitel 1.1 genannten Flexibilisierungsoptionen zur Verstetigung der regenerativen Stromversorgung, die Potenziale von Stromspeicher und Energiemanagement analysiert werden. Hierbei soll vor allem der Einfluss von Energiemanagement auf den Stromspeicherbedarf ermittelt werden, den es zu minimieren gilt. Deshalb werden im Rahmen dieser Arbeit Netzrestriktionen nicht berücksichtigt und sollen erst in Folgearbeiten analysiert werden.

Die Arbeit ist so gegliedert, dass in einem ersten Schritt in Kapitel 2 auf die Rahmenbedingungen für die Potenzialanalyse eingegangen wird. Hierbei wird zuerst auf die energiewirtschaftlichen Rahmenbedingungen für Stromspeicher eingegangen, wobei die vorhandenen Stromspeichertechnologien und die energiewirtschaftlichen Anforderungen an Stromspeicher vorgestellt werden. Anschließend werden die im Rahmen dieser Arbeit berücksichtigten Speichertechnologien charakterisiert und energiewirtschaftlich bewertet. Nach den energiewirtschaftlichen Rahmenbedingungen werden die projektspezifischen Rahmenbedingungen vorgestellt. Hierbei wird kurz auf das

¹ <http://www.emd.dk/>

derzeit laufende Forschungsprojekt *RegModHarz* eingegangen, bevor schließlich auf die Annahmen für ein mögliches 100% EE Szenario (Leitszenario 3) eingegangen wird. Dabei wird hauptsächlich auf die Annahmen für die Modellierung des thermischen Energiebedarfs eingegangen, weil für die berücksichtigten Energiemanagementoptionen Kraft-Wärme-Kopplung (KWK), solargestützte Wärmepumpen und Kältemaschinen der thermische Energiebedarf der Modellregion einen limitierenden Faktor darstellt. Hierzu werden Wärmelastprofile für die Modellregion, die im Rahmen des Forschungsprojektes entwickelt wurden, herangezogen, um den Betrieb der Wärmeerzeugungsgruppen zu modellieren. Für das Lastmanagement durch die Klimatisierung wird mit dem vereinfachten Ansatz der Außenluft-Kühllast-Faktoren die sensible und latente Kühllast stündlich berechnet, um ein Kältelastprofil für die Klimatisierung zu erstellen.

Nachdem auf die Rahmenbedingungen für die Potenzialanalyse eingegangen wurde, wird in Kapitel 3 die Modellierung und Simulation in *energyPRO* dargestellt. Hierbei wird der Fokus zunächst auf die Ziele der Simulationen im Rahmen des Forschungsprojektes gelegt, bevor in einem nächsten Schritt die Simulationssoftware vorgestellt wird. Anschließend werden die Simulationsschritte zur Ermittlung des Stromspeicherbedarfs behandelt. Hierzu wird der Einfluss von Last- und Erzeugungsmanagement (Energiemanagement) auf das Last- und Erzeugungsprofil veranschaulicht, weil z.B. der flexible Einsatz von Wärmepumpen und Kältemaschinen zu einer Veränderung der Gesamtlast führt und die Gesamtlast in Abhängigkeit von der Wärme- und Kälteerzeugung modelliert werden muss. Die Ermittlung des Speicherbedarfs erfolgt über eine Analyse der Residuallast, die sich in Abhängigkeit der eingesetzten Flexibilisierungsoptionen verändert und demzufolge für verschiedene Varianten analysiert werden muss.

In Kapitel 4 werden die Ergebnisse aus den Simulationen zusammengefasst und ein Fazit zu den Simulationsergebnissen gegeben. Schließlich wird ein Ausblick auf die erforderlichen Rahmenbedingungen für die Steigerung der notwendigen Flexibilität des zukünftigen Stromversorgungssystems gegeben.

2 Rahmenbedingungen für die Potentialanalyse

2.1 Energiewirtschaftliche Rahmenbedingungen für Stromspeicher

In diesem Abschnitt werden die technischen Grundlagen der untersuchten Flexibilisierungsoptionen vorgestellt. Aufbauend auf den technischen Grundlagen wird die energiewirtschaftliche Bedeutung für die Transformation des Energieversorgungssystems erläutert.

2.1.1 Einsatzgebiet von Stromspeichern

Die direkte Speicherung von elektrischer Energie ist nur begrenzt möglich und erfolgt grundsätzlich durch die Umwandlung in eine andere Energieform. Hierbei kann die elektrische Energie mechanisch, elektrochemisch oder „virtuell“ in Form von thermischer Energie gespeichert werden. Nur für Anwendungen mit schnellen Entladezeiten, wie es z.B. zur Sicherstellung der Qualität des Stromes erforderlich ist, ist die direkte Speicherung in elektrostatischer (Kondensatoren) und elektrodynamischer (Spulen) Form möglich. In Abbildung 2-1 werden die verschiedenen Technologien bzw. Formen der Stromspeicherung zusammengefasst.

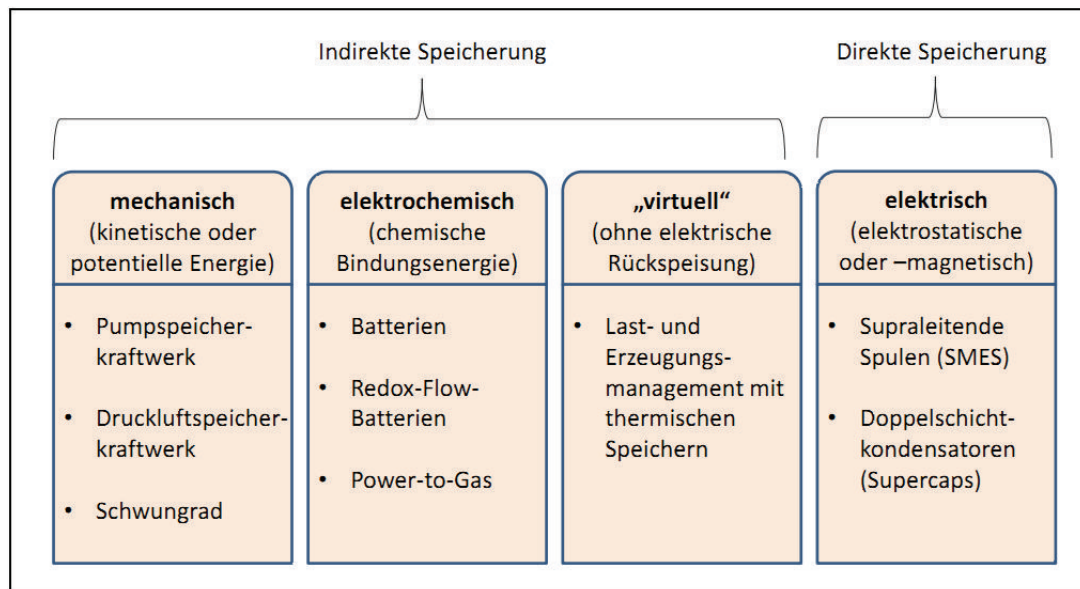


Abbildung 2-1: Speicherformen für elektrische Energie (Vgl. [5])

Auch wenn die verschiedenen Formen der Stromspeicherung auf unterschiedlichen Prinzipien basieren, können sie über die gleichen Parameter beschrieben werden, weil jede Speicherform neben der Speicherkapazität auch eine Ein- und Ausspeicherleis-