

Entwicklung eines Energiesystemsensors: Stromnachfrage und -angebot

Masterarbeit

zur Erlangung des akademischen Grades „Master of Science (M. Sc.)“ im
Studiengang Wirtschaftsingenieur der Fakultät für Elektrotechnik und
Informatik, Fakultät für Maschinenbau und der Wirtschaftswissenschaftlichen
Fakultät der Leibniz Universität Hannover

vorgelegt von

Name: Bootsveld



Vorname: Thomas Fabian



Prüfer: Prof. Dr. M. H. Breitner

Hannover, den 30.09.2016

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	III
Tabellenverzeichnis	V
Abkürzungsverzeichnis	VI
Symbolverzeichnis	VIII
1 Einleitung	1
1.1 Motivation und Problemstellung	1
1.2 Aufbau der Arbeit	1
2 Forschungshintergrund	3
2.1 Literaturrecherche und Forschungslücke	3
2.2 Design Science Research	17
3 Mathematisches Modell und Entwicklung des Simulators in MATLAB	20
3.1 Gesamtmodell und Energieflüsse	20
3.2 Stromnachfrage	22
3.3 Stromangebot	27
3.4 Elektrische Energiespeicher und Optimierung	31
3.5 Software und Systemarchitektur	36
4 Fallstudie	42
4.1 Datengrundlage für die Region Hannover	42
4.2 Szenario 1: gegenwärtiger Zustand	49
4.3 Szenario 2a: Ziele der Bundesrepublik Deutschland	55
4.4 Szenario 2b: Implementierung von elektrischen Energiespeichern	62
4.5 Szenario 3a: Ziele der Region Hannover	65
4.6 Szenario 3b: Implementierung von elektrischen Energiespeichern	71
5 Diskussion	74
5.1 Auswertung der Ergebnisse	74
5.2 Limitationen	80
5.3 Handlungsempfehlungen	84
6 Fazit und Ausblick	86
Literatur	87

A Standardlastprofile G1-G6 sowie L0-L2	93
B Leistungskurven der implementierten Windkraftanlagen	98
C MATLAB Code	105

1 Einleitung

1.1 Motivation und Problemstellung

Die Bundesrepublik Deutschland verfolgt das Ziel, bis zum Jahr 2050 80% ihrer elektrischen Energie durch regenerative Energieträger zu gewinnen¹. Dies erfordert einen weitgehenden Ausbau und eine umfassende Umstrukturierung des bisherigen Energiesystems. Ziel dieser Arbeit ist es, einen Energiesystemsimulator zu entwerfen, in dem Szenarien einer zukünftigen Energieversorgung durchgeführt und analysiert werden können. Dazu wird ein mathematisches Modell innerhalb der Software MATLAB implementiert und anschließend in einer Fallstudie überprüft. Gegenstand dieser ist die Betrachtung der Region Hannover, die sich ebenfalls an der Entwicklung hin zu einem klimaneutralen Energiesystem beteiligen möchte und das ambitionierte Ziel verfolgt, im Jahr 2050 auf eine vollständig erneuerbare Stromerzeugung zurückgreifen zu können². Die Forschungsfrage lautet demnach:

Wie kann eine zukünftige, autarke Energieversorgung der Region Hannover unter bevorzugtem Ausbau von erneuerbaren Energien aussehen?

Von zentraler Bedeutung bei der Erstellung des Simulators ist der Fokus auf die energieautarke Betrachtung der Region Hannover. Diese stellt ein geographisch geschlossenes System dar, es werden demnach nur regionale Energieerzeuger und -verbraucher berücksichtigt. Ebenso ist es das Ziel, Stromexporte und -importe zu vermeiden. In dieser Arbeit wird der Schwerpunkt auf die Seite der elektrischen Energie gelegt, die Implementierung und Auswertung der thermischen Faktoren eines Energiesystems wird hier nur kurz behandelt. Eine detaillierte Erklärung dieses Teilmodells befindet sich in Schümann (2016)³.

1.2 Aufbau der Arbeit

Nach der Erklärung der Problemstellung dieser Arbeit erfolgt in Abschnitt 2 die Darstellung des Forschungshintergrunds dieser Arbeit. Zunächst wird die bereits bestehende Literatur in Kapitel 2.1 beschrieben und analysiert und abschließend auf ihre Forschungslücken hin untersucht. Unterabschnitt 2.2 beinhaltet die genaue Zielvorstellung und die in dieser Arbeit angewandte Methodik, nach der bei der Konstruktion des Energiesystemsimmersimulators vorgegangen wurde.

Abschnitt 3 befasst sich mit dem mathematischen Modell sowie der anschließenden Entwicklung des Simulators in der Programmiersprache MATLAB. Unterabschnitt 3.1 gibt

¹vgl. BMU 2010, S. 5.

²vgl. Arff u. a. 2013, S. 62.

³Schümann 2016.

hierbei einen grafischen Überblick der Modellierung und der auftretenden Energieflüsse. In Kapitel 3.2 und 3.3 findet eine detaillierte Erklärung statt, wie die Berechnung des Stromangebots und der Stromnachfrage durchgeführt wird. Unterabschnitt 3.4 beschreibt die Implementierung der elektrischen Energiespeicher und stellt ein Optimierungsmodell vor, nach welchem die Simulation arbeitet. Als Abschluss des Kapitels wird in Unterabschnitt 3.5 Grundlegendes zu der verwendeten Software und der Systemarchitektur erläutert.

Kapitel 4 schildert die im Rahmen dieser Arbeit durchgeführte Fallstudie, in der verschiedene Szenarien der Energieversorgung der Region Hannover ausgearbeitet wurden. Zu Beginn wird dafür in Unterabschnitt 4.1 Allgemeines zu der betrachteten Region aufgegriffen und anschließend die Datengrundlage der Simulation referiert. In den folgenden Unterabschnitten 4.2 bis 4.6 werden in diversen Szenarien unterschiedliche Ausbaumöglichkeiten eines Energiesystems untersucht und deren Resultate dargestellt.

Kapitel 5 beinhaltet die Diskussion der zuvor abgebildeten Ergebnisse. In Unterabschnitt 5.1 werden diese detailliert analysiert und interpretiert, während Unterabschnitt 5.2 auf mögliche Grenzen und Nachteile des konstruierten Energiesimulators eingeht. Unterabschnitt 5.3 gibt Handlungsempfehlungen sowohl für eine zukünftige Entwicklung der Energieversorgung in der Region Hannover als auch für Möglichkeiten, das erstellte Modell weiterzuentwickeln und zu verbessern.

Abschnitt 6 fasst die Ergebnisse dieser Arbeit zusammen und gibt einen Ausblick für zukünftige Betrachtungen.

6 Fazit und Ausblick

Im Rahmen dieser Arbeit wurde ausgehend von einer klar definierten Zielstellung in Unterabschnitt 2.2 ein Energiesystemsimulator entwickelt, der Energieangebote und -nachfragen in ausgewählten Szenarien über mehrere Jahre modelliert. Der Schwerpunkt lag auf der Implementierung eines mathematischen Modells in der Software MATLAB, welches die Seite der elektrischen Energie abdeckt. Die Implementierung der thermischen Faktoren des Simulators erfolgte in einer separaten Ausarbeitung.

Anhand einer Fallstudie, die die Region Hannover und ihre Energieflüsse genauer betrachtete, wurde der gebaute Simulator in unterschiedlichen Szenarien auf seine Aussagekraft überprüft. Auch geht aus diesen hervor, welche Aspekte für ein regionales Energiesystem im Jahr 2050 von hoher Bedeutung sind. Folglich kann die anfangs aufgestellte Forschungsfrage nach einer zukünftigen, autarken Energieversorgung in der Region Hannover beantwortet werden. Da gegenwärtig keine Energieautarkie herrscht, muss zwangsweise ein umfassender Zubau an Energieerzeugern erfolgen. Dabei sollten vor allem Windkraftanlagen und Solaranlagen die konventionellen Kraftwerke ersetzen, um die ambitionierten Klimaschutzziele zu erreichen. Aufgrund der Fluktuationen von diesen bedingt ein zunehmender Anteil erneuerbarer Energieträger die Installation von zuverlässigen Quellen, wie beispielsweise KWK-Anlagen, die in Zeiten geringer Stromerzeugung aus regenerativen Energien zur Lastdeckung beisteuern, und von elektrischen Energiespeichern, welche wesentlich dazu beitragen, die Autarkie eines Energiesystems zu erhöhen und somit die Versorgungssicherheit zu gewährleisten sowie die Abhängigkeit von Importen und Exporten elektrischer Energie zu minimieren.

Der entwickelte Energiesystemsimulator bietet somit insgesamt ein gutes Tool, um globale Aussagen hinsichtlich zukünftiger Energiesysteme und deren sinnvollen Ausbau und Strukturierung zu treffen. In einigen Aspekten und Details sind dennoch diverse Weiterentwicklungen notwendig.

In der Zukunft sollte an dem Ausbau des Energiesystemsensors gearbeitet werden. Weitere Aspekte wie Kostenrechnungen zur Bewertung der Wirtschaftlichkeit und Analysen der Treibhausgasemissionen sollten in die Simulation einfließen, um die drei bedeutenden politischen Ziele gleichermaßen abzudecken. Ebenso muss der Einbau von Energienetzen erfolgen, vor allem dann, wenn flächenmäßig größere Gegenden als die Region Hannover betrachtet werden. Zuletzt sollte die Genauigkeit der Daten und Parameter erhöht werden, damit die Qualität der Ergebnisse gesteigert wird.