

# **Analyse von Leistungssalden zur Gestaltung einer nachhaltigen Stromversorgung mit Energiespeichern**

**Gunnar Bärwaldt**

Tag der mündlichen Prüfung: 28.11.2012

1. Prüfer: Prof. Dr.-Ing. Michael Kurrat

2. Prüfer: Prof. a.D. Dr.-Ing. Wolf-Rüdiger Canders

Vorsitzender: Prof. Dr. Thomas S. Spengler

Die vorliegende Arbeit mit dem Titel „Analyse von Leistungssalden zur Gestaltung einer nachhaltigen Stromversorgung mit Energiespeichern“ beschäftigt sich mit der künftigen Entwicklung der Stromversorgung in Deutschland und beleuchtet, inwieweit diese durch Nachhaltigkeit geprägt ist.

Einleitend werden die Problemstellung und Zielsetzung für diese Arbeit umrissen. Anschließend erfolgt eine Analyse des gesellschaftspolitischen Rahmens. Ausgehend von einer Definition des Nachhaltigkeitsbegriffs werden energiepolitische Maßnahmen an den vereinbarten nationalen und internationalen Zielen gespiegelt und münden in eine Einschätzung über die Zielerreichung.

Darauf aufbauend folgt eine systematische Betrachtung der Entwicklungen in der Stromversorgung in Deutschland für den Zeitraum bis zum Beginn der Förderung erneuerbarer Energie im Jahr 1990 sowie daran anschließend für die Zeit bis zum Jahr 2010. Diese macht deutlich, welche Veränderungen sich seit 1990 mit Blick auf die Nutzung erneuerbarer Energien ergeben haben. Darüber hinaus wird die Entwicklung der Stromerzeugungsmengen aus erneuerbaren Quellen bis zum Jahr 2050 abgeschätzt. Als Konsequenz aus den Betrachtungen wird eine neue Terminologie für die Einteilung von Erzeugungskapazitäten entworfen und eine Methodik zur Beschreibung von Leistungszeitreihen vorgestellt.

Für das Verständnis erforderlich ist die Systematisierung und Analyse der künftigen Entwicklung der Stromversorgung. Ein Schwerpunkt der Untersuchungen ist hierbei die Beschreibung der Auswirkungen von erneuerbaren Energieanlagen auf das Gesamtenergiesystem Deutschlands. Während Zeitabhängigkeit und Amplitude der Leistung im Mittelpunkt stehen, sind anschließend die Häufigkeit und Amplitude von Schwankungen in den generierten Zeitreihen der Untersuchungsgegenstand. Dabei wird untersucht, inwieweit dargebotsabhängige Erzeugungsanlagen die Charakteristik der Leistungszeitreihe beeinflussen.

Die Beschreibung der Zeitreihencharakteristik ist Ausgangspunkt für die Entwicklung positiver, systemfreundlicher Veränderungen durch den Einsatz von Speichern für elektrische Energie. Grundsätzlich wird makroskopisch betrachtet, welcher Speicherbedarf sich für das Versorgungsgebiet Deutschland ergibt. In der Folge wird am Beispiel eines Photovoltaik-

Speichersystems ein Betriebskonzept für diese Art von Speichersystemen entworfen und deren Auswirkung auf das Versorgungsgebiet Deutschland extrapoliert.

Im Ergebnis wird diese Arbeit einen begründeten Nachweis darüber liefern, dass Speichertechnologien geeignet sind, die Integration erneuerbarer Energieanlagen in die Stromversorgung zu unterstützen und damit einen wesentlichen Beitrag zur nachhaltigen Entwicklung zu leisten.

Der Ausblick greift mögliche künftige technische Entwicklungen auf, die im Rahmen der vorliegenden Untersuchung erkannt wurden, deren vertiefende Betrachtung in dieser Arbeit jedoch nicht möglich ist. Eine zukunftsweisende Untersuchung ist nur auf Basis einer Vielzahl von getroffenen Annahmen durchführbar. Auf diese Unsicherheiten geht die sich anschließende kritische Würdigung ein.

Die Arbeit schließt mit einer Zusammenfassung der erzielten Ergebnisse. Im Anhang werden zudem grundlegender Methoden beschrieben, die zum Verständnis der Gesamthematik beitragen.

### **Analysis of power balances to design a sustainable power supply with energy storage systems**

This thesis, titled “Analysis of power balances to design a sustainable power supply with energy storage systems”, examines the future development of electricity supply in Germany and the extent to which it is sustainable.

The paper begins with a presentation of the current challenges and describes the objectives of the thesis, followed by an analysis of the socio-political conditions. Based upon a definition of sustainability, the effectiveness of recent energy legislation measures is critically reflected and compared against national and international political targets.

The thesis continues by examining the development of the German electricity market until 1990, when electricity produced from renewable resources first appeared in the German market. In the following, the time period from 1990-2010 is analyzed, highlighting the changes made to implement renewable energy sources. The thesis estimates the amount of electricity generated from various renewable sources until 2050. Based upon the observations, a new model is proposed to plan and schedule generation capacities together with a new method for characterising time series load curves.

In the following, the future development of electricity supply is investigated. The research focuses on forecasting the impact of renewable energy plants on Germany's entire energy system. While time dependency and load amplitude are analyzed first, there is a main focus on the evaluation of frequency and amplitude of fluctuations of the generated time series in a second step. The thesis examines the extent to which power plants that produce electricity from supply-dependent renewable sources affect the load curve characteristics.

The description of the time series load characteristic is the starting point for the design of improvements to electrical supply systems through the employment of energy storage solutions. The thesis remains macroscopic in its scope to determine the nature and extent of

energy storage required by the German grid. Subsequently, a concept for the operation of a photovoltaic energy storage system is derived that serves as a model for such storage systems. Its effect on the German power grid is extrapolated.

The results of this work provide significant evidence of the usefulness of energy storage technologies to integrate renewable power generating plants into the power grid and their ability to make a significant contribution to electricity becoming more sustainable in the future.

The outlook chapter derives selected possible future technical developments. A more in-depth examination of these findings, however, is not possible within the scope of this thesis. Undoubtedly, such research and forecasting of future developments is based on numerous assumptions and thus uncertainties, which are addressed in the critical review at the end of this work.

The thesis closes with a summary of the findings. The appendix provides an explanation of the applied basic methods, which are of significant use to an in-depth understanding of the subject.