

Evaluation von Investitionen in virtuelle Kraftwerke: eine simulationsbasierte Wirtschaftlichkeitsanalyse

Masterarbeit

Zur Erlangung des akademischen Grades „Master of Science (M. Sc)“ im Studiengang
Wirtschaftswissenschaft der Wirtschaftswissenschaftlichen Fakultät der Leibniz
Universität Hannover

Vorgelegt von

Name: Ludin



Vorname: Sarina



Prüfer: Professor Dr. M. H. Breitner

Ort, den: Barsinghausen, den 07.03.2018

Inhaltsverzeichnis

Abstract.....	II
Abbildungsverzeichnis.....	III
Tabellenverzeichnis.....	V
Abkürzungsverzeichnis.....	VII
1. Einleitung	1
2. Forschungshintergrund	4
2.1 Forschungsdesign	4
2.2 Literaturüberblick	7
3. Theoretische Grundlagen	12
3.1 Begriffserklärung: Virtuelle Kraftwerke.....	12
3.2 Prozesskette des Virtuellen Kraftwerkes.....	17
3.3 Betriebs und- Vermarktungskonzepte	19
3.4 Pilotprojekte- aktuelle Marktposition	25
4. Modell zur Evaluation eines virtuellen Kraftwerk- Projektes.....	28
4.1 Bestandteile des Cash-Flow Modells	28
4.2 Levelized Cost of Energy	34
4.3 System-Architektur	37
5. Fallstudie: Das Projekt an der deutschen Nordsee	39
5.1 Charakteristika des Projekts.....	39
5.2 Projektrisiken	48
5.3 Szenarioanalyse.....	53
5.4 Darstellung und Bewertung der Ergebnisse	67
5.5 Der Einsatz von staatlichen Förderungsmaßnahmen	71
5.6 Limitation des LCOE-Verfahrens.....	74
6. Schlussbetrachtungen.....	76
6.1 Kritische Würdigung der Annahmen und Ergebnisse	76
6.2 Fazit	77
Literaturverzeichnis.....	79
Anhang.....	86
MATLAB CODE.....	86
Stromerzeugung.....	93
Ermittlung der LCOE unter der Berücksichtigung von staatlicher Förderung.....	96

1. Einleitung

Mit der klimapolitischen Zielsetzung, dem beschlossenen Atomausstieg und dem Energiekonzept aus dem Jahr 2010, hat die Bundesregierung die Weichen für ein nachhaltiges Energieversorgungssystem gelegt. Die Bundesregierung setzt den Fokus auf das Anstreben von drei gleichberechtigten Zielen: der Versorgungssicherheit, Wirtschaftlichkeit und der Umweltverträglichkeit, die durch den intensiven Einsatz erneuerbarer Energie (EE) erreicht werden sollen (Vgl. Albersmann et al. 2012:18). Zu diesem Zweck soll bis 2050 der komplette Umstieg auf EE, unter Ablösung des Verbrauchs von fossiler Energie, verwirklicht werden.

Bereits heute wird in Deutschland ein Drittel der gesamten Energieproduktion durch Biomasse, Wind und Sonne gedeckt (Vgl. BMWi 2017). Durch gezielte Maßnahmen mittels Subventionen und Gesetze wie das Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) und das Kraft-Wärme-Kopplungs-Gesetz (KWKG), beeinflusst die Bundesregierung den Zuwachs von EE und damit die Umsetzung des Energiekonzeptes. Doch der Übergang von konventionellen Energieträgern wie Gas und Kohle hin zu erneuerbaren Energien sind mit Herausforderungen verbunden. Dargebotsabhängige Erzeugungsanlagen wie Photovoltaik- (PV) und Windkraftanlagen sind nicht in der Lage, die Stromversorgung kontinuierlich zu gewährleisten. Aufgrund ihrer Wetterabhängigkeit droht bei erhöhter Produktion eine Überlastung der Netze. Umgekehrt gilt eine zu geringere Produktion bei Windstille sowie die Abwesenheit der Sonne in der Nacht. Die Voraussetzung für ein stabiles und sicheres Versorgungsnetz liegt darin, die Balance zwischen Einspeisung und Entnahme zu halten. Aufgrund der schwachen Prognostizierbarkeit sowie der geringen Planbarkeit der dargebotsabhängigen Erzeugung, besteht die Gefahr eines Zusammenbruchs der Versorgungsnetze (Vgl. BMWi o.D). Folglich wird das Energiesystem in Zukunft hinsichtlich der Sicherung der Netzstabilität vor erheblichen Schwierigkeiten stehen.

Um den zukünftig wachsenden Anforderungen gerecht zu werden, benötigt das bestehende Energiesystem eine Verbesserung in der Markt- und Systemintegration als auch eine verstärkte Verwendung von Energiespeichern (Vgl. BMWi 2014). Einen Lösungsansatz stellt das sogenannte „virtuelle Kraftwerk“ (VKW) dar. Der Begriff bezeichnet die intelligente Bündelung von mehreren dezentralen Energieerzeugungsanlagen, Verbrauch und Speicher, die zentral als eine wirtschaftliche und technische Einheit gesteuert werden (Vgl. Albersmann et al. 2016:13). Dieses Konzept besitzt die Fähigkeit die Volatilität, die durch Wind und Sonne verursacht wird, zu glätten und demzufolge Leistungsschwankungen schnell und flexibel auszugleichen. Zudem eröffnen sich durch die Vernetzung der Anlagen zusätzliche Vermarktungschancen, wie das Anbieten von Systemdienstleistungen und der Handel am Energiemarkt, während einzelne Anlagen meistens nur Erlöse aus der gesetzlichen Einspeisevergütung erzielen können (Vgl. Albersmann et al. 2012).

Trotz der soeben genannten Vorteile, die sich aus dem Nutzen des VKWs ergeben, gibt es nur wenig realisierte Projekte, da seine Wirtschaftlichkeit noch umstritten ist. Grund dafür ist die Abwesenheit einer klaren Vergütungsstruktur, die erhebliche Unsicherheit unter Investoren verursacht, sodass dies in eine geringere Investitionsbereitschaft resultiert. Die Wirtschaftlichkeit von EE-Projekten hängt bislang stark von regulatorischen Rahmenbedingungen ab, wie die gesetzliche Förderung im Rahmen des EEGs zeigt. Bisher gibt es keine spezifischen politischen Rahmenbedingungen, die Investoren¹ von EE den Anreiz geben könnten in VKW zu investieren. (Vgl. Albersmann et al. 2012:37).

Daher ist das Ziel der Ausarbeitung, die Wirtschaftlichkeit von Investitionen in VKW zu bestimmen. Hierfür wird im Rahmen einer Szenarioanalyse die Mindestvergütung für das Betreiben eines VKWs ermittelt. Sie stellt damit den entscheidenden Faktor für die Wirtschaftlichkeitsbeurteilung dar. Somit beschäftigt sich die vorliegende Arbeit mit folgender Forschungsfrage:

Wie hoch muss die Vergütung (in €/ kWh) für VKW sein, damit EE- Investoren einen Anreiz haben zu investieren?

In Verbindung mit der oben aufgeführten Forschungsfrage, wird zusätzlich im Laufe dieser Arbeit die Frage beantwortet, ob und inwiefern eine staatliche Förderung die wirtschaftliche Attraktivität von VKW erhöhen kann?

Der Aufbau der vorliegenden Arbeit gliedert sich wie folgt:

Kapitel 2 stellt zunächst die Forschungsmethodik, die der vorliegenden Arbeit zugrunde liegt dar. Im Anschluss wird auf Grundlage einer Literaturanalyse einen Einblick in den bisherigen Forschungsstand von VKWs. gegeben. Gleichzeitig werden mögliche Forschungslücken aufgedeckt und damit die Notwendigkeit der Forschungsfrage untermauert.

In Kapitel 3 erfolgt eine Darstellung der theoretischen Grundlagen, in denen neben dem Aufbau und der Funktionsweise eines VKWs auch mögliche Betriebs- und Vermarktungskonzepte präsentiert werden. Anschließend werden bereits realisierte Projekte detailliert dargestellt und erläutert.

In Kapitel 4 werden die Komponenten der Wirtschaftlichkeitsanalyse vorgestellt. Dabei wird zunächst Bezug auf die finanziellen Komponenten des Cash-Flow Modells genommen. Anschließend folgt die Darstellung des Levelized Cost of Energy -Verfahrens (LCOE), welches auf der allgemeinen Cash-Flow Methode beruht. Es dient zur Berechnung der Mindestvergütung. Am Ende des vierten Kapitels erfolgt eine kurze Darstellung des mathematischen Softwaresystems MATLAB, anhand dessen das VKW modelliert wird.

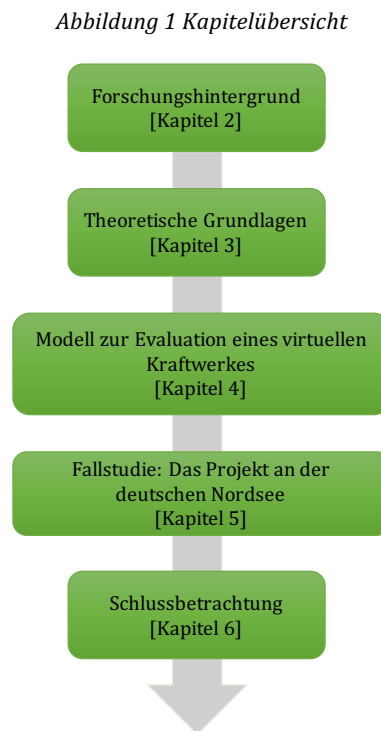
In Kapitel 5 findet das Cash- Flow Modell an einem fiktiv konstruierten VKW- Projekt seine Anwendung. Im Zuge dessen die Charakteristika des Projektes vorgestellt werden. Abschließend wird die Finanzierungsstruktur aufgezeigt und die potentiellen Risiken identifiziert. Aus den gewonnen Erkenntnissen erfolgt die Umsetzung der

¹ Investoren und Betreiber von VKW werden hier als Synonyme betrachtet

Szenarioanalyse, die das entscheidende Ergebnis für die vorliegende Arbeit liefert. Im Anschluss erfolgt die Analyse von möglichen politischen Instrumenten hinsichtlich ihrer Auswirkungen auf die Stromgestehungskosten.

Gegenstand des letzten Kapitels ist eine Zusammenfassung der Ergebnisse aus dem vorherigen Kapitel sowie die Darstellung der neu gewonnenen Erkenntnisse aus dieser Arbeit. Abgeschlossen wird die Arbeit mit einem Fazit.

Die folgende Grafik repräsentiert die, der Arbeit zugrundeliegende, Struktur:



Quelle: Eigene Darstellung

Investitionsbereitschaft zu erhöhen. Dennoch ist es eher unwahrscheinlich, dass der Staat eine derartig hohe Förderung bewilligt.

Der Staat könnte in diesem Fall die Überlegung anstreben, wie der geforderte Mindestpreis anhand von ausgearbeiteten regulatorischen Rahmenbedingungen dennoch garantiert werden kann. Dies könnte beispielsweise anhand von direkten Maßnahmen in Form von Vergütungsmodellen ermöglicht werden, wie das Beispiel der fixen Einspeisevergütung zeigt. Ein weiteres Beispiel wäre, eine Strategie zu entwickeln, die es zulässt, den ermittelten Preis im Rahmen von traditionellen Versorgungskostenmodellen an den Endverbraucher weiterzugeben, um gleichzeitig den geforderten Preis für die Betreiber gewähren zu können. Zudem würde die direkte Erwähnung der VKW im EEG den Stellenwert und damit seine Bedeutung erhöhen. Diese Art von Maßnahmen und politischen Entscheidungen haben die Fähigkeit, den Entwicklungsverlauf der VKW nachhaltig zu beeinflussen (Vgl. International Energy Agency 2010:33ff.).

Neben der zuvor erwähnten Notwendigkeit, sind jedoch auch noch Innovationen im Bereich der technologischen Entwicklung erforderlich. Die Anschaffungs- und Betriebskosten der Anlagen haben einen entscheidenden Einfluss auf den Strompreis. So stellen z.B. Speichertechnologien derzeit noch eine kostspielige Investition dar, sind aber trotz allem für die zukünftige Versorgungssicherheit unerlässlich. So würde sich der Ausbau von kosteneffizienten Speicherformen positiv auf den Strompreis von VKW auswirken. Neben diesem Aspekt sind jedoch auch Entwicklungen in der Informations- und Kommunikationstechnologie notwendig. Durch die Vereinfachung der Prozesse und die damit verbundene Kostenoptimierung, kann eine weitere Verbesserung der Wirtschaftlichkeit von VKW ermöglicht werden (Vgl. Albersmann et al. 2016:40 ff.).

6.2 Fazit

Ziel der vorliegenden Arbeit war es, eine grundlegende Aussage über die Wirtschaftlichkeit von Investitionen in VKW zu treffen. Zu diesem Zweck wurde ein fiktives VKW-Projekt konstruiert und im Rahmen einer Szenarioanalyse der Mindestpreis ermittelt, den ein Investor von EE zusätzlich vergütet haben will, um sich für eine Investition in VKW zu entscheiden. Seine Ermittlung lag dem LCOE-Verfahren zugrunde, welches auf der allgemeinen Discounted Cash-Flow Methode beruht. Der gesamte Prozess des VKWs wurde mithilfe von MATLAB modelliert und dient als Basis für die weiterführenden Berechnungen. Dabei ergab sich ein Mindestpreis, der über den Strommarktpreisen liegt, sodass eine Investition in ein VKW aus Sicht eines EE-Betreibers abzulehnen ist. Was die Auswirkung von staatlicher Förderung auf den Mindestpreis betrifft, so konnte anhand einer weiterführenden Analyse gezeigt werden, dass sie durchaus einen positiven Effekt bewirken. So kann grundsätzlich das vorliegende Projekt, unter einer enormen staatlichen Förderung, wirtschaftlich betrieben werden. Es ist jedoch fraglich, ob der Staat eine derart hohe Subvention bewilligen würde. Daher kann diese Analyse als ein erster Ansatz für weitere umfangreiche Ausarbeitungen von Strategien und regulatorischen Maßnahmen

betrachtet werden. Darüber hinaus gibt die vorliegende Arbeit Aufschluss über den Entwicklungsverlauf der VKW: Das Konzept befindet sich noch in der Anfangsphase mit einer überschaubaren Anzahl von Dienstleistern, jedoch bereits mit einer breitgefächerten Auswahl an Vermarktungsmöglichkeiten.

Insgesamt kann festgestellt werden, dass Investitionen in VKW zum heutigen Zeitpunkt, mit Ausnahme einer enorm hohen staatlichen Förderung, nicht attraktiv sind. Die vorliegende Arbeit zeigt jedoch Möglichkeiten auf, die für eine zukünftige erfolgreiche und damit wirtschaftliche Umsetzung des vorliegenden Konzeptes, sprechen. Die technologische Entwicklung und die Formulierung von regulatorischen Rahmenbedingung sind entscheidend für den Entwicklungsverlauf im Bereich der VKW und stellen eine notwendige Bedingung für den Erfolg dieses Konzeptes dar.

Ausblick

Mit dem Voranschreiten der klimapolitischen Ziele und die damit verbundene Verdrängung der konventionellen Kraftwerke, rücken Investitionsentscheidungen in erneuerbarer Energien zunehmend in den Vordergrund. Gleichzeitig sinken die Förderungen in dem Bereich, sodass die Betreiber von erneuerbarer Energie gezwungen sind, ihre Produktion über die Direktvermarktung zu vermarkten. Aufgrund von zusätzlichen Vermarktungsoptionen durch VKW, werden in Zukunft immer mehr Betreiber von erneuerbarer Energie ihre Erzeugungsanlagen an bereits bestehende VKW, wie das des Unternehmens NEXT Kraftwerke, anbinden. Dieses Geschäftsmodell entwickelt sich als erfolversprechend und findet zunehmend Zuspruch bei Stadtwerken, sodass auch hier immer mehr Betreiber ihre Anlagen an ein bestehendes VKW anbinden. Daher bietet dieses Geschäftskonzept bereits heute eine Lösung für die Probleme hinsichtlich der erneuerbaren Energien und ermöglicht gleichzeitig ein profitables Geschäft für die Betreiber.

Hinsichtlich der Zunahme an erneuerbarer Energie steigt gleichzeitig auch die Anzahl an neuen innovativen Geschäftsmodellen. Im Zuge der Digitalisierung der Energiewirtschaft entstehen fortlaufend neue intelligente Lösungen mit dem Ziel, Prozesse schneller und effizienter zu gestalten. Bereits heute existieren Konzepte wie das *Smart Grid* (intelligentes Stromnetz), das *Smart Metering* (intelligentes Messsystem) sowie das *Smart Home* (intelligentes Heim) und viele mehr. In diesem Zusammenhang wird zukünftig die Bedeutung von Big Data und Blockchain Technologie für das Energiesystem zunehmen und dieses nachhaltig verändern (Vgl. Albersmann et al. 2016:41ff.). Durch die kontinuierliche Weiterentwicklung und Verbesserung dieser intelligenten Lösungen wird auch die Bedeutung der VKW für den Staat, die Energieversorger und für die Unternehmen steigen, sodass in Zukunft mit zunehmenden Projekten in Bezug auf VKW zu erwarten ist.