

Einfluss der Direktvermarktung von Wind- und Solarstrom auf optimale
Bieterstrategien in Erneuerbare Energien Auktionen

Masterarbeit

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

vorgelegt von

Name: Barke

Vorname: Alexander



Prüfer: Prof. Dr. Michael H. Breitner

Ort, den: Hannover, den 28.09.2018

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	VI
Tabellenverzeichnis	VII
Abkürzungsverzeichnis	VIII
1 Einleitung	1
2 Forschungshintergrund	3
2.1 Stand der Wissenschaft, Forschungslücke und -frage	3
2.2 Forschungsdesign	8
3 Vergütungsstrukturen für Strom aus Wind- und Solarenergie	10
3.1 Vergütung auf Basis des Erneuerbare-Energien-Gesetzes (EEG)	11
3.2 Direktvermarktung an der European Energy Exchange (EEX)	17
3.3 Direktvermarkter	21
4 Auktionsdesign und optimale Bieterstrategien	23
4.1 Grundlagen	23
4.2 Auktionsmechanismus gemäß des EEG	25
4.3 Bieterstrategie	32
5 Wirtschaftlichkeitsmodell	35
5.1 Cash-Flow-Simulation	36
5.2 Debt sculpting	38
5.3 Bewertung	40
5.4 Kalkulation der marginalen Kosten	42
5.5 Einfluss der Direktvermarktung	44
6 Prognosemodell	48
6.1 Determinierung des optimalen Prognosemodells	49
6.2 Geometrische-Brownsche-Bewegung (GBM)	54
6.3 GARCH-Modell	56
7 Fallstudie	57
7.1 Projektcharakteristika	58
7.2 Auswertung der historischen Daten	61
7.3 Einfluss der Direktvermarktung auf optimale Bieterstrategien	67
7.4 Sensitivitäts- und Robustheitsanalyse	78
8 Kritische Würdigung und Limitationen	80

8.1 Allgemein	81
8.2 Wirtschaftlichkeitsmodell	83
8.3 Prognosemodell	86
9 Fazit und Ausblick	88
Literatur	91
A Ergänzungen zum Ausschreibungsverfahren	99
B Auswahl des optimalen GARCH-Modells	100
C Resultate der Fallstudie	101
D Python Code	102
D.1 Data	104
D.2 Features	112
D.3 Models	119
D.4 Visualization	136

1 Einleitung

Vor dem Hintergrund eines weltweit steigenden Energiebedarfs und dem Rückgang fossiler Brennstoffe rückt die Verwendung alternativer Energiequellen immer stärker in den Fokus. Durch die rasante technologische Entwicklung der letzten Jahrzehnte sowie des gesteigerten Umweltbewusstseins in Bezug auf den Klimaschutz, stehen dabei die regenerativen Energiequellen im Mittelpunkt (vgl. Ellabban u. a. (2014) und Inglesi-Lotz (2016)).

Um den Ausbau sowie den Anteil dieser Energieträger an der Bruttostromerzeugung weiter zu steigern, haben die politischen Entscheidungsträger in der Vergangenheit spezielle Anreize geschaffen. Konkret wurden dazu finanzielle Unterstützungsmechanismen eingeführt, welche durch feste Einspeisetarife (FiT) die Wettbewerbsfähigkeit erneuerbarer Energien, im Vergleich zur Stromerzeugung aus konventionellen Ressourcen, erhöhen (vgl. Abolhosseini und Heshmati (2014)). Diese Mechanismen erzeugen jedoch hohe Subventionskosten, wodurch das staatliche Eingreifen nicht marktwirtschaftlich effizient ist. Aus diesem Grund werden vermehrt marktbasierende Unterstützungsmechanismen für die Förderung erneuerbarer Energien verwendet, wobei politische Entscheidungsträger speziell einen auktionsbasierten Mechanismus präferieren (vgl. Rio und Linares (2014)).

In Deutschland ist dieser Auktionsmechanismus im sogenannten Ausschreibungsverfahren implementiert und seit 2017 verpflichtend für nahezu alle neuinstallierten Anlagen. Bei diesem Verfahren geben Anlagenbetreiber zunächst einen Preis in Cent/Kilowattstunde (ct/kWh) für ein gewisses Volumen an Strom ab, welcher bei einem erfolgreichen Gebot ihrer Einspeisevergütung entspricht (vgl. Schmidt (2017)). Diese Art der Auktionen wird als pay-as-bid (PAB) bezeichnet.

Zudem gilt seit 2009 bzw. seit 2012 die Pflicht der Direktvermarktung, wonach die Betreiber von Erneuerbare-Energien-Anlagen ihren Strom primär an den dafür vorgesehenen Börsen veräußern müssen und im Anschluss eine Ausgleichszahlung über ein Marktprämienmodell erhalten.

Unter diesen Bedingungen entsteht ein Wettbewerb zwischen den Anlagenbetreibern, bei dem den Einzelnen die Gebote der Konkurrenz unbekannt sind. Um sich am Markt zu behaupten ist es wichtig, die marginalen Kosten eines Projektes zu kennen und darauf basierend, den optimalen Gebotspreis zu bestimmen. Dies erfolgt zumeist im Rahmen einer umfangreichen und umfassenden Finanzanalyse.

Jedoch zeigen aktuelle Studien von Energy Brainpool (2017), Kuhn (2017) und dem Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (2018), dass langfristig von einem starken Anstieg des Strombörsenpreises auszugehen ist. Im Hinblick auf die Direktvermarktung besteht dadurch die Möglichkeit, dass der an der Börse zu erzielende Preis oberhalb der Einspeisevergütung liegt. Hierdurch entfällt eine Vergütung auf Basis des Marktprämi-

enmodells und es kann ein Mehrerlös generiert werden. Für Anlagenbereiber ist es daher wichtig, den zukünftigen Börsenpreis zu prognostizieren und in ihre Gebotsfindung einzubeziehen. So kann ihr optimales Gebot weiter verbessert werden, wodurch ein Wettbewerbsvorteil gegenüber der Konkurrenz entsteht.

Aus diesem Grund liegt der Forschungsschwerpunkt dieser Arbeit auf der Entwicklung eines ganzheitlichen Ansatzes für die Bestimmung des optimalen Gebotspreises unter Berücksichtigung der zukünftigen Börsenpreisentwicklung. Dieser Ansatz soll Anlagenbetreiber bei ihrer Gebotsfindung unterstützen und das entsprechende Gebot optimieren. Für eine umfangreiche finanzielle Analyse sollen zusätzlich die Interessen der Eigen- und Fremdkapitalgeber berücksichtigt werden, welche ein Projekt finanzieren.

Durch ein Informationssystem (IS) kann weiterhin die Fragestellung anhand realer Daten überprüft und die Aussagekraft bewertet werden. Daher wird in dieser Arbeit eine Prototypen in Python implementiert, mit dessen Hilfe die Berechnung und Visualisierung der Ergebnisse durchgeführt wird. So wird ein fundiertes Verständnis des ganzheitlichen Modellierungsansatzes ermöglicht und ein Machbarkeitsnachweis erbracht.

Die vorliegende Arbeit erläutert dabei zunächst in Kapitel 2 nochmals genauer den Forschungshintergrund. Hierzu erfolgt in Abschnitt 2.1 eine ausführliche Literaturrecherche, um den aktuellen Stand der Wissenschaft darzustellen, eine Forschungslücke zu identifizieren und die entsprechende Forschungsfrage abzuleiten. In Abschnitt 2.2 wird das wissenschaftliche Forschungsdesign dargestellt, um die identifizierte Forschungsfrage in einem transparenten Prozess zu beantworten.

In Kapitel 3 werden anschließend die Vergütungsstrukturen für Strom aus Wind- und Solarenergie erläutert. Dazu wird in Abschnitt 3.1 die historische Entwicklung der Einspeisevergütung dargestellt, bevor anschließend das Konzept der Direktvermarktung sowie des Direktvermarkters erörtert wird.

Kapitel 4 geht genauer auf die Ausgestaltung des Ausschreibungsverfahrens sowie des implementierten Auktionsmechanismus ein. Zudem werden Bieterstrategien erläutert und die Optimalen für die Zielsetzung dieser Arbeit definiert.

In Kapitel 5 wird das Wirtschaftlichkeitsmodell dargestellt, auf dessen Basis der optimale Gebotspreis bestimmt wird. Dieses wird in Abschnitt 5.5 erweitert, um die zukünftigen Börsenpreise und somit den möglichen Mehrerlös zu berücksichtigen. Hierzu wird in Kapitel 6 ein Modell für die Prognose des zukünftigen Börsenpreises ermittelt und vorgestellt.

Im Anschluss erfolgt in Kapitel 7 die Durchführung einer Fallstudie, die den Einfluss des zukünftigen Börsenpreises und somit der Direktvermarktung auf die optimale Bieterstrategie darstellt. In diesem Zusammenhang wird zudem eine Sensitivitäts- und Robust-

heitsanalyse durchgeführt, um den Effekt einzelner Parameter auf das Modell zu untersuchen.

Abschließend wird der entwickelte Ansatz inklusive des Wirtschaftlichkeits- und Prognosemodells sowie den Ergebnissen der Fallstudie in Kapitel 8 kritisch diskutiert, bevor die Arbeit in Kapitel 9 mit einem kurzen Fazit und Ausblick endet.

2 Forschungshintergrund

In dem folgenden Kapitel wird der Forschungshintergrund dieser Arbeit erläutert. Hierzu wird in Abschnitt 2.1 zunächst eine umfangreiche Literaturrecherche durchgeführt, um den aktuellen Stand der Forschung zu erfassen. Der Fokus liegt dabei auf Publikationen, welche die Thematiken der Investitionsentscheidung in Projekte, des Bieterverhaltens in Ausschreibungsverfahren sowie die zukünftige Börsenpreisprognose, alles bezogen auf den Sektor der erneuerbaren Energien, analysieren und darstellen. Die Direktvermarktung per se wird in der Literaturrecherche zunächst nicht berücksichtigt, da dessen Auswirkung, im Rahmen der Zielsetzung dieser Arbeit, erst durch den zukünftigen Börsenpreis berücksichtigt werden kann.

Aus der fundierten Literaturrecherche wird die vorhandene Forschungslücke identifiziert sowie die Forschungsfrage formuliert. Auf dieser Basis werden anschließend im Laufe der vorliegenden Arbeit Modelle und Ansätze dargestellt, welche die resultierende Forschungslücke ausfüllen.

Zusätzlich wird in Abschnitt 2.2 die von Peffers u. a. (2007) entwickelte designwissenschaftliche Forschungsmethodik erläutert, um einen informationssystemgesteuerten Forschungsansatz zu adressieren.

2.1 Stand der Wissenschaft, Forschungslücke und -frage

Die im Folgenden dargestellte systematische Literaturübersicht basiert auf der von Webster und Watson (2002) erarbeiteten Methodologie und bietet eine umfassende Syllabus über die relevantesten Modelle und Ansätze, des im Rahmen dieser Arbeit behandelten Forschungsgebietes. Vor diesem Hintergrund kann der Rechercheprozess wie folgt zusammengefasst werden:

- 1.) Zunächst werden geeignete Schlüsselworte definiert, welche die zu untersuchende Thematik am besten beschreiben. Hierzu werden verschiedene Wörter in Gruppen zusammengefasst, deren inhaltliche Bedeutung thematisch ähnlich ist.
- 2.) Auf dieser Basis werden akademische Datenbanken nach den relevantesten Publikationen durchsucht, welche Kombinationen der zuvor definierten Schlüsselworte enthalten.
- 3.) Aus diesem Pool identifizierter Literatur werden die 20 bis 25 relevantesten Publi-

Parameter anhand der historischen Daten ermittelt werden, um die Güte der Prognose zu verbessern. Zudem sollte das Modell dahingehend weiterentwickelt werden, dass externe Schocks und Lerneffekte sowie Korrelationen mit relevanten Märkten und Branchen berücksichtigt werden. Dabei könnte dann anstatt der GBM auch ein neues Prognosemodell verwendet werden, welches bessere Ergebnisse liefert.

Ob der zukünftige Börsenpreis auch trotz weiterer Anpassungen des Modells exakt vorhersehbar ist, bleibt jedoch fraglich. Die komplexen Systemzusammenhänge können schwer abgebildet werden und sind von starken Unsicherheiten und Schwankungen getrieben. Besonders Entwicklungen in der langen Frist sind sehr unsicher und schwer in einem Prognosemodell zu berücksichtigen.

Im Rahmen dieser Arbeit erfolgt daher, nach aktuellem Stand, mittels der GBM eine sehr gute Prognose. Inwiefern dies zukünftig zutrifft, muss zum entsprechenden Zeitpunkt analysiert werden, woraus eine Anpassung bzw. Veränderung des Modells resultieren kann.

9 Fazit und Ausblick

Durch die Revolutionierung des Vergütungssystems für erneuerbare Energien, weg von festen Vergütungssätzen hin zu einem auktionenbasiertem Ausschreibungsverfahren, ist der Wettbewerbsdruck zwischen den einzelnen Anlagenbetreibern stark gestiegen. Um sich gegenüber der Konkurrenz zu behaupten, ist es existenziell den optimalen Gebotspreis für ein Erneuerbare-Energien-Projekt zu kennen. Dieser ist so zu wählen, dass er im Ausschreibungsverfahren bezuschlagt wird, aber gleichzeitig die Profitabilität und Durchführbarkeit eines Projektes nicht gefährdet.

Das Ausschreibungsverfahren funktioniert dabei als eine PAB-Auktion, wonach der Anlagenbetreiber seinen gebotenen Preis bei einem Zuschlag als zugesicherte Vergütung erhält. Gemäß der verpflichtenden Direktvermarktung muss der generierte Strom primär an der Börse veräußert werden, jedoch wird durch das Marktprämienmodell die Differenz aus Börsen- und Gebotspreis als Subventionszahlung in Form der Marktprämie ausgezahlt.

Für den Anlagenbetreiber ist es in diesem Zusammenhang wichtig, den richtigen Gebotspreis zu wählen. Ein entsprechendes Modell für die Determinierung muss umfangreich und präzise sein, um alle relevanten Parameter einzubeziehen und zu berücksichtigen. Gleichzeitig deuten aktuellen Studien auf einen starken Anstieg des Strombörsenpreises hin. Durch den hohen Strombedarf in der Zukunft wird Strom entsprechend teurer, wodurch der Börsenpreis oberhalb des festen FiT in Höhe des Auktionsgebots liegen kann. Im Bezug auf die Direktvermarktung birgt dies ein gewisses Potenzial, da durch den Verkauf an der Börse eine höhere Vergütung generiert werden kann als durch das Marktprämienmodell.

Mittels umfangreicher Ansätze der Finanzanalyse kalkulieren Anlagenbetreiber ihr optimales Gebot. Jedoch vernachlässigen diese Ansätze oftmals die Entwicklung des zukünftigen Börsenpreises. Diese Entwicklung muss jedoch bei der Gebotsfindung berücksichtigt werden, da so das Gebot optimiert und ein Wettbewerbsvorteil erzielt werden kann.

Das Ziel dieser Arbeit war es daher, einen ganzheitlichen Ansatz zu entwickeln, welcher den optimalen Gebotspreis im Ausschreibungsverfahren, unter Berücksichtigung des zukünftigen Börsenpreises, berechnet. So sollte der Einfluss der Direktvermarktung auf den optimalen Gebotspreis untersucht und eine Entscheidungsunterstützungsfunktion ermöglicht werden.

Der dargestellte Ansatz verbindet dabei ein Wirtschaftlichkeitsmodell nach Piel u. a. (2017), welches im Rahmen dieser Arbeit erweitert wurde, mit einem Prognosemodell für den zukünftigen Börsenpreis. Dieses Modell basiert auf einer GBM nach Myers (1974), welches mit einer Volatilitätsprognose durch ein GARCH-Modell präzisiert wurde.

Dabei wurde zunächst die Fachliteratur im Hinblick auf geeignete Ansätze analysiert und eine entsprechende Forschungslücke aufgedeckt, wonach es aktuell keine Ansätze gibt, die diese Thematiken miteinander verknüpft. Der zentrale Mehrwert dieser Arbeit besteht daher in der Kombination bisheriger theoretischer Forschungsbeiträge zum optimalen Gebotspreis im Ausschreibungsverfahren mit dem möglichen Mehrwert aus dem Verkauf des Stroms durch die Direktvermarktung. Zu diesem Zweck wurde der zukünftige Börsenpreis anhand historischer Daten prognostiziert und mittels eines Trends die Erwartung steigender Preise einbezogen. Auf dieser Basis ermöglicht eine Erweiterung des Ansatzes von Piel u. a. (2017) zu jedem Beobachtungszeitpunkt den Vergleich zwischen aktuellem Börsenpreis und FiT, wodurch der Mehrwert aus der Direktvermarktung beziffert und der optimale Gebotspreis abgeleitet werden kann.

Dieser entwickelte Ansatz wurde anschließend im Rahmen einer Fallstudie implementiert, welche den optimalen Gebotspreis für einen fiktiven Windpark ermittelt. In diesem Zusammenhang konnte zunächst gezeigt werden, dass das dargestellte Modell einen optimalen Gebotspreis berechnen kann, welcher dem Anlagenbetreiber das Betriebsoptimum zusichert. Anhand verschiedener Szenarien wurde zunächst die Entwicklung des zukünftigen Börsenpreises außer Acht gelassen und trotzdem konnte das optimale Gebot im Vergleich zum MCP des letzten Ausschreibungsverfahrens nochmals um 8,73 % reduziert werden. Nachdem der zukünftige Börsenpreis mit einbezogen wurde, konnte das Gebot nochmals um 0,42 % reduziert werden. Dies scheint zunächst nicht viel, sagt aber aus, dass bei der Determinierung des optimalen Gebotspreises die zukünftige Börsenpreisentwicklung auf jeden Fall berücksichtigt werden muss, da dies im Rahmen des

stärkeren Wettbewerbs ein Vorteil gegenüber Mitbewerbern ist. Ein ähnliches Ergebnis konnte bei der zusätzlichen Berücksichtigung eines Direktvermarkters erzielt werden. Auch hierbei wirkt sich der zukünftige Börsenpreis positiv auf das optimale Gebot aus. Die Ergebnisse der Fallstudie zeigen somit die Relevanz dieser Thematik vor dem Hintergrund der Entscheidungsunterstützung und gleichzeitig die Qualität dieser Kombination zweier Modelle, wodurch ein adäquater Modellansatz für die Determinierung des optimalen Gebotspreises entwickelt wurde.

Somit wurde im Rahmen dieser Arbeit ein innovativer Ansatz präsentiert, um den optimalen Gebotspreis im Ausschreibungsverfahren für erneuerbare Energien unter Berücksichtigung der zukünftigen Börsenpreisentwicklung zu bestimmen.

Jedoch hat der dargestellte Ansatz noch Verbesserungspotenzial. So kann besonders das Prognosemodell weiter verbessert werden, um den zukünftigen Börsenpreis noch exakter vorhersagen zu können. Hierbei ist die Analyse umfangreicherer Daten erforderlich, um so die Parameter der Drift-Rate und der Volatilität genauer zu bestimmen. Ebenso sollten im Rahmen der Berechnung der Erlöse die 6-Stunden-Regelung sowie die Fernsteuerbarkeit berücksichtigt werden. Zusätzliche Modelle für die Prognose des zukünftigen MCP, des strategischen Bietens sowie die Wahrscheinlichkeit für ein erfolgreiches Gebot können den dargestellten Ansatz weiter verbessern, wodurch die Qualität gesteigert.

Genannte Anpassungsvorschläge können im Rahmen zukünftiger Arbeiten umgesetzt werden und verbessern die Adäquatheit der Modells. Zudem besteht dann die Möglichkeit, den beschriebenen Ansatz in Form eines Tools für die Entscheidungsunterstützung zu implementieren und zu entwickeln. So können die Handlungsempfehlungen für die Anlagenbetreiber leichter abgebildet und so einer breiten Masse an Nutzern zur Verfügung gestellt werden.

Für eine erste Determinierung des optimalen Gebotspreises ist der dargestellte Ansatz jedoch schon sehr gut und erfüllt bereits eine Entscheidungsunterstützungsfunktion, welche weiter verbessert werden kann. Eine komplexere Ausarbeitung sowie Erweiterung kann im Rahmen weiterführender Forschungsarbeiten erfolgen.