

**Entwicklung eines webbasierten  
Investment Entscheidungsunterstützungssystems  
für Offshore Windparks**

**Masterarbeit**

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

vorgelegt von

Name: Börnert



Vorname: Gregor



Prüfer: Prof. Dr. M. H. Breitner

Hannover, den 30.09.2016

# Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis.....	III
Tabellenverzeichnis.....	VI
Abkürzungsverzeichnis .....	VII
Symbolverzeichnis .....	IX
1 Einführung .....	1
2 Forschungshintergrund.....	3
3 Modell zur Evaluation von Offshore Windparks.....	11
3.1 Cash-Flow Modell .....	11
3.2 Discounted Cash-Flow Modell .....	18
3.3 Risiko-Identifikation Modell .....	22
3.4 Versicherungen .....	27
3.5 Korrelationsmodell .....	34
4 Entwicklung eines webbasierten Investment-Entscheidungsunterstützungssystems . .....	35
4.1 Monte Carlo Simulation.....	35
4.2 Iman-Conover Methode .....	37
4.3 System-Architektur.....	39
5 Fallstudie von Offshore Windparks in der deutschen Nordsee.....	45
5.1 Charakteristika des Projektes .....	45
5.2 Ergebnisse der Fallstudie .....	63
6 Diskussion, Limitationen und Handlungsempfehlungen .....	90
6.1 Vergleich und Diskussion der Fallstudie .....	91
6.2 Limitationen des Investment-Entscheidungsunterstützungssystems.....	99
6.3 Diskussion und Limitationen der entwickelten Web-Applikation .....	100
6.4 Handlungsempfehlungen .....	103
7 Schlussfolgerungen und Ausblick.....	105
Literaturverzeichnis .....	108
A Darstellung eines exemplarischen Workflows der Web-Applikation.....	117
A.1 Aufsetzen der notwendigen Datenbank .....	117
A.2 Anmeldung und Navigation in der Web-Applikation.....	117
A.3 Anlegen und Verwaltung der Szenarien .....	119
A.4 Eingabe der Parameter .....	120
A.5 Durchführen der Monte-Carlo Simulation, Einlesen der Ergebnisdateien sowie Betrachtung der Ergebnisse .....	142
B Auswertung von acht deutschen Offshore-Windparks.....	150

C	Detaillierter Investment Cash-Flow .....	153
D	Quell-Code MATLAB .....	154
D.1	Main Application.....	154
D.2	Input-Data .....	154
D.2.1	Input_Data_1 (Fallstudie 1) .....	154
D.2.2	Input_Data_2 (Fallstudie 2) .....	159
D.2.3	Input_Data_3 (Fallstudie 3) .....	163
D.2.4	Input_Data_4 (Fallstudie 4) .....	168
D.3	Parameter_Data.....	173
D.4	Monte_Carlo_Simulation.....	175
D.5	Cash_Flow_Model .....	182
D.6	Funktionen .....	189
D.6.1	randbinary .....	189
D.6.2	BetaPert.....	190
D.6.3	OrdinalRankings .....	190
D.6.4	ImanConover .....	191
D.6.5	ImanConoverPeriod.....	192
D.7	Ergebnisse .....	193
D.7.1	APV_Result .....	193
D.7.2	LCOE_Result.....	194
D.7.3	IRR_Result.....	195
D.7.4	ROE_Result.....	196
D.7.5	PLCR_Result.....	197
D.7.6	Graphics.....	200
D.7.7	Correlations_Graphics .....	206
E	Quell-Code Ruby on Rails .....	388
E.1	Web-Tool/app/controllers.....	388
E.2	Web-Tool/app/models.....	547
E.3	Web-Tool/app/views .....	580
E.4	Web-Tool/config.....	701
E.5	Web-Tool/db .....	703
E.6	Web-Tool/db/migrate .....	724
E.7	Web-Tool/.....	752

# 1 Einführung

Die Stromgewinnung aus erneuerbaren Energien ist in den letzten Jahren eine immer wichtigere Einflussgröße in der Energiewirtschaft geworden. Nachdem der Atomausstieg im Juni 2011 beschlossen wurde, welcher gestaffelt bis 2022 abgeschlossen werden soll, stieg die Nachfrage der Leistungsgewinnung aus regenerativen Stoffen.<sup>1</sup> Um diesen Bedarf zu decken, wurden besonders Arten der erneuerbaren Energiegewinnung aus Solar-, Wasser- sowie die Windkraft konzipiert und entwickelt. Im April 2010 wurde der erste deutsche Windpark auf hoher See (Offshore) in Betrieb genommen.<sup>2</sup> Seitdem sind bereits weitere Windparks, welche sich sowohl im als auch auf dem Wasser befinden, aufgebaut worden. Dem Stand Februar 2015 nach sind allein in Deutschland 226 sogenannte Windenergieanlagen mit einer Gesamtleistung von 1000 Megawatt (MW) Stunden fertiggestellt worden, welcher sowohl auf der Nord- als auch der Ostsee angesiedelt sind. Zudem befinden sich 749 weitere Windenergieanlagen auf deutschem Seegebiet, die sich entweder noch im Bau befinden und somit noch nicht betriebsbereit sind oder schon fertiggestellt wurden, jedoch aufgrund fehlender Genehmigungen oder Stromtrassen noch nicht in Betrieb genommen werden konnten.<sup>3</sup> Ende 2015 war bereits eine Offshore Windleistung von circa 3300 MW an das deutsche Energienetz angeschlossen.<sup>4</sup> Diese Offshore-Windparks haben im Vergleich zu den Windparks, die sich im Landesinneren befinden, den Vorteil, dass sie eine höhere Windintensität nutzen und somit mehr Strom erzeugen können. Der Grund hierfür ist, dass der Wind auf dem Meer wesentlich konstanter und stärker weht als über dem Land.<sup>5</sup> Problematisch ist allerdings, dass ein Offshore-Windpark eine deutlich höhere Investitionssumme als ein Onshore-Windpark benötigt.<sup>6</sup> Dies ist unter anderem auf die komplizierten Montagebedingungen zurückzuführen, die sich auf hoher See ergeben, einhergehend mit Risiken, die auf dem Festland nicht in dieser Vielfalt auftreten. Folglich ist bei der Errichtung von Offshore-Windparks eine höhere Anzahl von Fremdkapital- und Investitionssumme nötig als bei Windparks auf dem Land.<sup>7</sup> Da allerdings sowohl Investoren als auch Fremdkapitalgeber in der Regel eine hohe Risikoaversion hegen, gestaltet sich die Suche nach potentiellen Geldgebern für Offshore-Windkraftparks als sehr schwer und fordert mühsame Überzeugungskraft.<sup>8</sup> Für die Verbesserung der Akquise von Fremdkapital für die Offshore-Windparks sowie die Stärkung des Interesses für solche Investitionen, spielt die Computertechnologie eine grundlegende Rolle.

---

<sup>1</sup> Vgl. Deutscher Bundestag (2011).

<sup>2</sup> Vgl. Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (2015), S. 8 f.

<sup>3</sup> Vgl. Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (2015), S. 12.

<sup>4</sup> Vgl. Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (2016).

<sup>5</sup> Vgl. Snyder et al. (2009), S. 1569.

<sup>6</sup> Im Folgenden werden in dieser Arbeit alle Windparks, welche sich auf dem Land und nicht auf dem Wasser befinden als „Onshore-Windparks“ bezeichnet.

<sup>7</sup> Vgl. Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (2015), S. 13.

<sup>8</sup> Vgl. Handelsblatt (2012).

Mithilfe des Internets und der rasanten technologischen Entwicklung der letzten Jahrzehnte im IT- Bereich ist es möglich, die weltweit zerstreuten PC's und deren Netzwerke miteinander zu verbinden und somit eine internationale Kommunikation herzustellen. Heutzutage spielt sich nicht nur der größte Teil der Kommunikation im Leben der Menschen, sondern auch die weltweite Kommunikation der Wirtschaft im World Wide Web ab.<sup>9</sup> Dies zeigt sich auch darin, dass, bis auf wenige Ausnahmen, jedes Unternehmen und jede Institution über einen Internetauftritt – eine sogenannte Webseite verfügt. Die Informationen über das jeweilige Unternehmen können über einen einfachen Internetauftritt hinaus mithilfe einer Web-(Applikation) zur Verfügung gestellt werden.

Freilich hat nicht nur die Wirtschaft aus der technologischen Entwicklung ihren Nutzen gezogen. Insbesondere die Wissenschaft konnte sich in ihrer Effektivität und Leistung verbessern. Dies kommt auch der Wirtschaft insofern zugute, dass Forscher in einem weltweiten Austauschprozess miteinander arbeiten und somit z.B. mathematische Probleme mithilfe von Hochleistungsrechnern innerhalb eines Forschungsteams lösen können. Wenn diese Probleme zuvor nur mit hohem Zeit- und Personalaufwand bestritten werden konnten, so ist dies heute mit sehr viel geringeren Ressourcen möglich. Insbesondere Optimierungsprobleme können nun mithilfe geeigneter PC-Software unter deutlich geringerem Zeitaufwand gelöst werden. Zu den Optimierungsproblemen kann auch die zuvor genannte Verbesserung der Akquise von Fremdkapitalgebern gezählt werden. Im Zusammenspiel der Optimierungsprobleme mit Nachhaltigkeitsgedanken ergibt sich das Feld der sogenannten „Green Information System“. Dieses Green IS nutzt die Entwicklung der Informationssysteme, um Fragestellungen von ökologischen Problematiken zu lösen und Ressourceneffizienz in der Wirtschaft zu optimieren. Ziel dieser Arbeit ist es, eine webbasiertes Investment-Entscheidungs-unterstützungssystem (I-EUS), welches als ein Green IS bezeichnet werden kann, zu entwickeln und so die Fremdkapitalakquise zu erleichtern.

Dieses Investment-Entscheidungsunterstützungssystem soll potentiellen Geldgebern von Offshore-Windparks die Möglichkeit geben, bereits im Voraus die Potenziale und Risiken einer Investition in einen Offshore-Windkraftpark abzuschätzen, indem die benötigten Informationen zur Entscheidungsfindung in Form von verschiedenen etablierten finanziellen Kennzahlen dargestellt werden. Auf deren Grundlage können sodann die Investoren entscheiden, ob der geplante Offshore-Windkraftpark in ihren Augen rentabel genug ist und auch die Fremdkapitalgeber, ob der Schuldendienst zuverlässig erbracht werden kann. Dieses Entscheidungsunterstützungssystem soll als webbasiertes Tool für die breite Öffentlichkeit zur Verfügung gestellt werden und einen Vergleich verschiedener Szenarien von Offshore-Windparks ermöglichen. Im weiteren Verlauf ist dieses Tool auf einer webbasierten Plattform, einem Server, zu implementieren, damit es über das Internet dezentral genutzt werden kann. So wird in der vorliegenden Arbeit ein I-EUS zusammen mit

---

<sup>9</sup> Vgl. Kripal et al. (2006), S.137 ff.

einer dazugehörigen Web-Applikation entwickelt, mit deren Hilfe Parameter für ein bestimmtes Optimierungsproblem gesammelt und dann der Optimierungssoftware übermittelt werden können. Die Zielvorstellung besteht darin, dass das Optimierungsproblem mithilfe einer Optimierungssoftware von der Web-Applikation gestartet wird und dass die Optimierungssoftware die Lösungsdateien an die Web-Applikation überträgt, damit sie auf der Benutzeroberfläche angezeigt werden können.

Bevor ferner das entwickelte I-EUS vorgestellt werden kann, ist zunächst der Forschungshintergrund von bisherigen Kosten-Nutzen-Analysen bei Windkraftprojekten zu analysieren. Zudem wird ein Modell vorgestellt, welches zur Evaluation von Offshore-Windparks genutzt werden kann. Dabei wird insbesondere das Discounted Cash-Flow Modell, angelehnt an die Forschung von Piel und Breitner (2016), erläutert. Im Anschluss daran folgt die Vorstellung des entwickelten webbasierten I-EUS, wobei besonders auf die Systemarchitektur der Anwendung eingegangen wird.

Im weiteren Verlauf werden vier Fallstudien für die Investition von Offshore-Windparks vorgestellt, welche mithilfe des entwickelten I-EUS simuliert werden. Die aus der probabilistischen Szenarioanalyse entstehenden finanziellen Kennzahlen werden anschließend als Verteilungen in einer Grafik dargestellt sowie bezüglich ihrer Wirtschaftlichkeit analysiert. Daraufhin sollen aus der Entwicklung und der Analyse der Ergebnisse mögliche Schlussfolgerungen gezogen und Limitationen diskutiert werden. Zudem werden auch mögliche Handlungsempfehlungen für die weitere Entwicklung der Web-Applikation sowie des Discounted Cash-Flow Modell vorgestellt. Zum Abschluss der dargestellten Forschungsarbeit erfolgt ein Resümee der Ergebnisse.

## **2 Forschungshintergrund**

„Green IS“ ist ein Begriff, welcher insbesondere durch die Arbeit von Watson et. al. (2010) immens an Bedeutung gewonnen hat. Er wurde entwickelt, um die Entscheidungsfindung bezüglich künftiger Maßnahmen, welche die ökologische Nachhaltigkeit und deren soziale Verantwortung betreffen, zu verbessern.<sup>10</sup> Zudem stellt Watson et. al. (2011) fest, dass die sogenannten grünen Informationssysteme ein neues Gebiet der Forschung in der Informationstechnologie (IT) darstellen, welche die zukünftigen ökologischen Herausforderungen mithilfe der zur Verfügung stehenden IT untersuchen und die Forschungen vorantreiben sollen. Dabei steht hauptsächlich die Optimierung der Ressourceneffizienz im Fokus.<sup>11</sup> Durch diese Forschung soll aber auch der Ausbau von erneuerbaren Energien vorangetrieben werden. Eine dieser erneuerbaren Energien stellt die Windkraft dar, welche zur Stromerzeugung sowohl in Küstengebieten als auch im Landesinneren genutzt werden kann.

---

<sup>10</sup> Vgl. Dedrick (2010).

<sup>11</sup> Vgl. Watson et. al. (2011).

- Die entwickelte Web-Applikation muss für jeden Nutzer noch individualisierbar werden (zugeschnittene Anzeigen, Ein- und Ausschalten von finanziellen Kennzahlen, veränderte Darstellung der Ergebnisse).
- Die Web-Applikation muss in Zukunft die Möglichkeit von Sensitivitätsanalysen anbieten. Diese sind für Investoren äußerst interessant, da die die Auswirkungen von Parameterveränderungen auf die Kennzahlen aufzeigen können.
- Die grafischen Darstellungen der Ergebnisse sollten in Form von Grafikdatenpakete in der Web-Applikation zur Verfügung gestellt werden. Dies gibt einerseits die Möglichkeit, dass sich der Nutzer dreidimensionale Darstellungen anzeigen lassen kann. Andererseits kann sich der Nutzer Datenpunkte innerhalb der Grafik numerisch anzeigen sowie Grafikausschnitte vergrößern lassen.
- Für die Web-Applikation und für die MATLAB-Berechnungen sollte ein extrem leistungsstarker Server gewählt werden. Dies würde zu kürzeren Lade- und Rechenzeiten führen, was die Benutzerfreundlichkeit sowie –zufriedenheit steigern würde.
- In der Zukunft ist die Anpassung der Web-Applikation an die Bildschirmformate von mobilen Endgeräten notwendig. Diese wird die Benutzbarkeit der Seite verbessern.
- Nach dem Beenden der MATLAB-Operationen sollte sich die Web-Applikation in Zukunft selbst aktualisieren oder zumindest den Nutzer informieren.

## **7 Schlussfolgerungen und Ausblick**

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wurde ein I-EUS vorgestellt und weiterentwickelt, welches zur Analyse der Wirtschaftlichkeit von Offshore-Windkraftanlagen genutzt werden kann. Das Entscheidungsunterstützungssystem soll Investoren bei der Entscheidung über eine Investition in ein zukünftiges OWE-Projekt helfen. Das Modell, welches dem I-EUS zugrunde liegt, wurde in der Softwareumgebung von MATLAB initialisiert und mit Inputparametern aus einer Studie von fiktiven Offshore-Windparks angereichert. Das I-EUS wurde mithilfe von einer Monte-Carlo Simulation als eine probabilistische Szenarioanalyse mit 35.000 Iterationen durchgeführt. Insbesondere die Implementierung von verschiedenen Versicherungsprodukten ist hervorzuheben, welche dem Investor bzw. dem Interessenten die Möglichkeit gibt, einzelne Versicherungen aktiv zu schalten. Durch diese Aktivschaltung der Versicherungen soll das Risiko des Investors und die Abweichungen der Kennzahlen minimiert werden. Als Ergebnisse wurden die Verteilungen verschiedener finanzieller Kennzahlen, welche für Fremd- und Eigenkapitalgeber von Relevanz sind, sowohl dargestellt als auch miteinander verglichen. Dabei handelt es sich um Kennzahlen wie den Adjusted Present Value, Internen Zinsfuß für das Gesamtkapital und die Rendite des Eigenkapitals der Investoren sowie den Schuldendienstdeckungsgrad, Darlehenslaufzeitdeckungsgrad und Projektlaufzeitdeckungsgrad für Fremdkapitalgeber.

Durch die Analyse der der ersten drei Fallstudien, welche sich in ihrem Standort (zunehmende Küstenentfernung) unterscheiden, konnten einige wichtige Erkenntnisse gezogen werden. Als Schlussfolgerungen aus dem Vergleich der ersten drei Fallbeispiele

konnte ermittelt werden, dass mit zunehmender Küstenentfernung die Investition für den Investor unsicherer und unattraktiver wird. Einerseits nimmt mit zunehmender Entfernung zur Küste der Projektwert deutlich ab und andererseits nehmen die Spannweite (Abstand des Maximalwerts zum Minimalwert) sowie die Höhe der Standardabweichung der einzelnen Verteilungen zu. Zudem verändern sich die Deckungsgrade des Schuldendienstes, der Darlehenslaufzeit sowie der Projektlaufzeit in die aus Sicht der Investoren falsche Richtung. Es zeigt sich, dass die OWE-Standorte der Zukunft zum jetzigen Zeitpunkt für Investoren sehr uninteressant sind. Mithilfe des Vergleiches der Fallbeispiele 3 und 4 wurden im weiteren Verlauf die Auswirkungen einer Aktivierung von verschiedenen Versicherungsprodukten untersucht. Bei dieser Untersuchung konnte festgestellt werden, dass die Ziele der Implementierung der Versicherung größtenteils erfüllt werden. Mithilfe der Versicherungen wurden das Risiko und die Unsicherheit des Investors verringert. Der Minimalwert der Projektwertverteilung konnte im Vergleich zum Fallbeispiel ohne Versicherung angehoben werden. Ferner konnte auch die Standardabweichung und die Spannweite der Verteilung verringert werden. Dennoch hat sich gezeigt, dass die Möglichkeiten einer Implementierung der Versicherungen in das I-EUS noch nicht ausgeschöpft sind und es weiterer Entwicklung bedarf. Denn ein weiteres Ziel war es auch mithilfe dieser Versicherungen den gesamten unteren Bereich der Verteilung des Projektwertes anzuheben. Allerdings wurde dieses Ergebnis in der Erstimplementierung nicht erreicht. Zudem besteht ein Verbesserungsbedarf bei der Datengrundlage der Offshore-Windparks. Es sollte sich in Zukunft um lückenlose Datensätze von der Installation und vom Betrieb eines Offshore-Windparks bemüht werden. Dies würde die Genauigkeit und Zuverlässigkeit des Modells bzw. des I-EUS fördern. Deutlich wird dies daran, dass die Daten der in dieser Arbeit verwendeten Fallstudien auf veralteten und nicht vollständigen Datensätzen beruhen. Daher mussten einige Daten subjektiv angenommen werden.

Zusätzlich wurde in dieser Arbeit in einem weiteren Schritt eine Web-Applikation mithilfe der Entwicklungsumgebung von Ruby on Rails konstruiert. Diese Web-Applikation soll in Zukunft als Benutzeroberfläche für das I-EUS fungieren. Mithilfe der in der Web-Applikation installierten Nutzer-, Szenario- sowie Administratorenverwaltung ist es möglich, dass verschiedene Nutzer mehrere Szenarien mithilfe des I-EUS durchspielen können. Auch ein späterer Vergleich der einzelnen Ergebnisse der jeweiligen Fallstudien ist nach der Berechnung sehr einfach möglich. Der Vorteil einer Web-Applikation ist, dass der Investor bzw. der Nutzer des Web-Tools keine Lizenz bzw. keine Installation von MATLAB benötigt. Das Entscheidungsunterstützungssystem wird zentral auf einem Server implementiert und ist für jeden Interessenten über jeden beliebigen Internetbrowser zugänglich.

Dennoch ist die Erstentwicklung des Web-Tools nicht holotisch, weshalb in einigen Bereichen der Applikation Verbesserungspotenzial besteht. Einerseits kann die notwendige Individualisierung der Applikation genannt werden. In der heutigen Zeit ist diese ein notwendiger Bestandteil, um die Kunden- und Nutzerzufriedenheit zu verbessern. Dies kann durch individualisierte Darstellungen der Web-Applikation erreicht werden (bspw. kann der Nutzer sein Menü selbst zusammenstellen). Andererseits sollte die Applikation in Zukunft



auch Sensitivitätsanalysen anbieten, welche für einen Nutzer der Applikation einen Beitrag zur Identifizierung von entscheidenden Inputparametern leisten kann. Auch sind sowohl die automatische Anpassung der Web-Applikation an Bildschirmformate mobiler Endgeräte als auch das automatische Erneuern der Webseite nach der Beendigung der MATLAB Operationen wichtige Punkte, welche in der zukünftigen Weiterentwicklung der Web-Applikation zu berücksichtigen sind.

Durch das entwickelte webbasierte Investment-Entscheidungsunterstützungssystem konnte ein Beitrag zur Weiterentwicklung der Green IS geleistet werden. Die Forschungsfrage, wie ein solches webbasiertes I-EUS in die IT implementiert werden kann, konnte mithilfe der Entwicklungsumgebung von Ruby on Rails und MATLAB beantwortet werden. Das entwickelte I-EUS konnte den Härtestest von vier verschiedenen Fallstudien fiktiver Offshore-Windparks bestehen und seinen Nutzen für Investoren und Forschern unter Beweis stellen. Dennoch ist festzuhalten, dass es sowohl bei der Web-Applikation als auch bei dem I-EUS einige Limitationen gibt. Diese Beschränkungen können und sollten in der näheren Zukunft durch Weiterentwicklungen aufgehoben werden.