

Analyse der Risiken von Offshore Windpark-Projekten

Bachelorarbeit

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

vorgelegt von

Name: Meyer

■■■■■■ ■■■■■■

Vorname: Sven

■ ■■■■■■

Prüfer: Prof. Dr. M. H. Breitner

Hannover, den 16.08.2016

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	I
Tabellenverzeichnis	II
Formelverzeichnis.....	III
Abkürzungsverzeichnis.....	IV
1. Einleitung.....	1
1.1 Zielsetzung und Fragestellung	2
1.2 Literaturüberblick	2
1.3 Aufbau der Arbeit	6
2. Risikomanagement – Methodik in Projekten für erneuerbare Energien.....	7
2.1 Projektdefinition und -anforderung	8
2.2 Risikoidentifikation	8
2.3 Quantitative Risikobewertung.....	10
2.4 Wahrscheinlichkeitsverteilungen zur Risikobewertung.....	12
2.4.1 BetaPert-Verteilung	12
2.4.2 Dreiecksverteilung	15
2.4.3 Gleichverteilung.....	17
2.4.4 Normalverteilung.....	18
2.4.5 Weibullverteilung	20
2.4.6 Poisson-Verteilung.....	21
3. Risikostruktur eines Offshore Windpark-Projektes	23
3.1 Kenngrößen zur Risikobewertung	24
3.2 Planungs- und Errichtungsrisiken	26
3.3 Betriebs- und Managementrisiken	32
3.4 Risiken beim Rückbau.....	34
4. Fallbeispiel eines typischen Offshore Windpark-Projektes	36
4.1 Projektdefinition.....	36
4.2 Produktlebenszyklus.....	37
4.3 Kostenstruktur	38
5. Risikoregister des Fallbeispiels	40
5.1 Planungs- und Errichtungsrisiken der Innerparkverkabelung.....	46
5.2 Planungs- und Errichtungsrisiken der Parkinternen Offshore-Umspannstation	48

5.3 Gemeinsame Planungs- und Errichtungsrisiken der Parkinternen Offshore-Umspannstation und -Windenergieanlagen	51
5.4 Planungs- und Errichtungsrisiken der Offshore-Windenergieanlagen.....	54
5.5 Betriebs- und Managementrisiken des Offshore Windpark-Projektes.....	60
5.6 Risiken beim Rückbau des Offshore Windpark-Projektes.....	64
6. Diskussion, Limitationen und Handlungsempfehlung.....	66
7. Fazit und Ausblick	70
Literatur- und Quellenverzeichnis	73
Anhang.....	77
Anhang A.....	78
Anhang B.....	94
Anhang C.....	95

1. Einleitung

Die Menschheit im 21. Jahrhundert steht vor der Aufgabe eine nachhaltige Energieversorgung zu gewährleisten, um das Erbe an künftige Generationen gewissenhaft weitergeben zu können. Ein grundlegendes Umdenken muss stattfinden, um den globalen anthropogen bedingten Klimawandel aufzuhalten und dessen Folgen zu begrenzen. Das Kyoto-Protokoll von 1997 setzte hierfür erste Akzente, indem sich Länder auf verbindliche Zielwerte einigten, um die Ausbreitung von klimaschädlichen Treibhausgasen zu begrenzen. In der jüngeren Vergangenheit wird die UN-Klimakonferenz¹ in Paris und der dort beschlossene Vertrag als weiterer Durchbruch bezeichnet. Diesen Vertrag unterzeichneten 195 Länder und setzten sich damit das Ziel, die Erderwärmung aufgrund von Treibhausgasen auf unter 2 Grad Celsius im Vergleich zum vorindustriellen Zeitalter zu begrenzen. Die beteiligten Nationen streben sogar eine Temperaturerhöhung von unter 1,5 Grad Celsius an (vgl. DIE WELT). Jedoch sind die Herausforderungen angesichts des weltweit steigenden Energiebedarfs und der hohen Abhängigkeit von fossilen Energieträgern enorm. Somit stehen für den weltweiten Primärenergieverbrauch im Jahr 2014 die Wasserkraft (6,8 %) und erneuerbare Energien (2,5 %) den fossilen Energieträgern Erdgas (23,7 %), Kohle (30 %), Erdöl (32,6 %) und Kernenergie (4,4 %) gegenüber (vgl. Statista 2016). Nach der Nuklearkatastrophe von Fukushima im Jahr 2011 besteht unter vielen der Konsens, dass Kernenergie langfristig keine Alternative darstellt, um den Klimawandel aufzuhalten. Zumindest in Deutschland hat mit dem Ausstieg aus der Kernenergie bis zum Jahr 2022 ein Umdenken stattgefunden. Um die Abhängigkeit von nuklearen und fossilen Energiequellen zu verringern, benötigt es eine Energieversorgung auf der Grundlage von erneuerbaren Energien. Die Offshore-Windenergie bietet eine vielversprechende Chance, um diesen Herausforderungen zu begegnen. Windenergie ergänzt in Verbindung mit Solarenergie die Jahresstromproduktion zumindest in Mitteleuropa. Aufgrund des überwiegend konstanten Windes auf See bietet die Offshore-Windenergie im Vergleich zur Onshore-Windenergie eine höhere und gleichmäßigere Auslastung. Zudem scheint mit Blick auf Europa eine Verringerung des Flächennutzungskonfliktes von erneuerbaren Energien möglich und die Akzeptanz der Bevölkerung höher zu sein. Die Bundesregierung der Republik Deutschland hat hierfür ehrgeizige Ausbauziele definiert und möchte bis zum Jahr 2020 eine Offshore-Windleistung von 6.500 MW und bis zum Jahr 2030 15.000 MW errichten (vgl. BMWi). Die Mitgliedsstaaten der Europäischen Union (EU) sind derzeit Vorreiter in der Offshore-Windenergie-Branche, wobei weltweit insgesamt ein großes Potenzial existiert.

¹ United Nation - Klimakonferenz

Die Offshore-Windenergie ist eine junge Technologie, die speziell zu Beginn eines Projektes sehr hohe Investitionskosten erfordert. Alleine für die europäische Offshore-Windindustrie bedarf es der Aktivierung von 50 – 60 Milliarden Euro, um einen moderaten Ausbau von 25 GW bis zum Jahr 2020 zu erreichen (vgl. EWEA 2013, S.9). Daher ist ein dynamischer Ausbau zurzeit durch umfangreiche Finanzierungslücken gefährdet (vgl. Rubel et al. 2013). Viele Investoren sind nicht bereit unter hohen Risiken, die aufgrund von fehlenden Erfahrungen, bedingt durch neue Technologien entstehen, große Investitionen zu tätigen. Die Finanzierungslücke ist besonders durch Risiken, die mit einer Investitionsentscheidung einhergehen, verbunden. Damit rückt das Risikomanagement und die damit verbundene Analyse von Risiken bei Offshore Windpark-Projekten stärker in den Fokus. Mit dieser Problemstellung befasst sich die vorliegende Arbeit, indem vor allem die Risikoidentifikation und -bewertung, welche Bestandteile des Risikomanagements sind, im Vordergrund stehen.

1.1 Zielsetzung und Fragestellung

Das Ziel der vorliegenden Arbeit ist es, die Risiken eines Offshore Windpark-Projektes hinsichtlich der Auswirkungen auf Sach- und Verzögerungsschäden zu analysieren. Dies beinhaltet eine strukturierte Risikoauswertung bzw. -identifikation für alle Phasen des Produktlebenszyklus. Die Schäden sind in einem typischen Fallbeispiel eingebettet und sollen mittels Wahrscheinlichkeitsverteilungen angemessen dargestellt werden. Die aus dem vorgestellten Risikoregister gewonnenen Erkenntnisse sollen anschließend in das finanzielle Entscheidungsunterstützungssystem INRIAN-WE integriert werden. Das Risikoregister soll außerdem zur Analyse von projektspezifischen Risiken anderer Offshore-Windparks beitragen können. Die Forschungsfrage der vorliegenden Arbeit lässt sich wie folgt formulieren:

Wie können Risiken von Offshore Windpark-Projekten methodisch analysiert werden, um deren Auswirkungen adäquat abzubilden?

1.2 Literaturüberblick

Dieser Abschnitt gibt einen Einblick in die Literatur, die dem Risikoregister zu Grunde liegt. Der Produktlebenszyklus eines Offshore Windpark-Projektes ist in drei Phasen aufgeteilt. Die Tabelle 1 klassifiziert die Literatur danach, auf welcher Phase der Fokus der identifizierten Risiken liegt. Im Rahmen dieser Arbeit wird die Planungs- und Errichtungsphase am detailliertesten behandelt, weswegen zusätzlich eine Unterteilung in die drei Hauptkomponenten eines Offshore-Windparks erfolgt.

Die Offshore-Windenergieanlage (OWEA), die Parkinterne² Offshore-Umspannstation (POU) und die Innerparkverkabelung (IPK). Die Betriebs- und Rückbauphase sind nicht in die drei Komponenten unterteilt. Daraus ergeben sich fünf Kategorien, an denen der Aufbau dieser Arbeit orientiert ist. Die Systematisierung der Tabelle 1 wurde in Anlehnung an Webster und Watson (2012) erstellt.

Die Mehrheit der identifizierten Literatur befasst sich mit Risiken, die während der Betriebsphase auftreten. Ein plakatives Beispiel ist der Artikel von Masden et al. (2013). Dieser bietet eine Systematik, um das Kollisionsrisiko von Vögeln mit OWEA abschätzen zu können. Die Umweltauswirkungen in allen Phasen des Produktlebenszyklus identifizieren Dolman und Simmonds (2009) in Bezug auf Meeressäuger. Der Schwerpunkt dieser Arbeit liegt jedoch auf der Planungs- und Errichtungsphase. Dies ermöglicht der GDV³ (2014) mit einer Analyse von über 500 Risiken, welche chronologisch und nach den Komponenten sortiert dargestellt werden. Der Leitfaden ist als technische Fachliteratur einzustufen. Außerdem benennt dieser Schadensursachen und deren betroffene Anlagenteile von OWEA, die während des Betriebes und bei der Wartung auftreten können. Tabelle 1 beinhaltet die älteste Literatur des GDV (2008), indem Brandrisiken von On- und Offshore-Windenergieanlagen (WEA) beschrieben werden. Die Autoren Dai et al. (2012) schlagen eine Risikobewertung für Kollisionen von Serviceschiffen mit OWEA vor und untersuchen das Kollisionsrisiko sowie wichtige Einflussfaktoren. Um dieses Kollisionsrisiko vermindern zu können, untersucht der Artikel von Liu et al. (2014) einen technischen Lösungsansatz. Der Beitrag von Dalgic et al. (2014a) befasst sich mit der optimalen Befrachtungsstrategie von Transportschiffen und synthetisiert die verschiedenen Spezifikationen der Schiffe in einem Monte-Carlo-Ansatz. Ein Monte-Carlo-Ansatz wird in Dalgic et al. (2014b) ebenfalls verwendet, um einen kostengünstigen Betrieb und die Wartung mit Hubschraubern und Schiffen zu liefern. Umweltbedingungen und die Häufigkeit von Reparaturen werden berücksichtigt. Ossai et al. (2015) verwenden ein sechsstufiges Markov Modell, um das Ausfallrisiko von OWEA, Komponenten und Systeme zu minimieren. Der Artikel von Prada Gil et al. (2013) befasst sich technisch und wirtschaftlich betrachtet mit der Regelung von einzelnen Turbinen in einem Cluster von OWEA. Das Risiko von internen Abschattungseffekten wird dabei betrachtet. Ein Modell zur Erfassung von systematischen Risiken liefern Zitrou et al. (2014), um den Ausfall von Baugruppen vermindern zu können. Aufgrund von Risiken für Personal und Material stellen Sobiech et al. (2012) einen prozessorientierten Modellansatz vor, der die Betriebsplanung und Risikominderung unterstützt. Shafiee (2014) verwendet ein analytisches Netzwerkprozessmodell, um die

² Aus linguistischen Gründen werden die Komponenten als Eigennamen angesehen.

³ Gesamtverband der Deutschen Versicherungsgesellschaft e. V.

Risiken in allen Projektphasen des Offshore-Windparks mildern zu können. Eine Dreiecksverteilung zeigt das Ausmaß eines potentiellen Risikoereignisses an.

Autor	Jahr	Fokus auf					Inhalt
		Planung & Errichtung			Betrieb	Rückbau	
		OWEA	POU	IPK			
Dai et al.	2012				X		Kollisionsgefahr zwischen Versorgungsschiffen und OWEA
Dalgic et al.	2014a				X		Optimale Befrachtungsstrategie von Hubschiffen für Offshore-Windparks für Instandhaltung und Reparatur
Dalgic et al.	2014b				X		Erweiterte Logistikplanung für Offshore-Windparks im Betrieb und bei Wartungsarbeiten
Dolman&Simmonds	2009	X	X		X	X	Umweltauswirkungen von erneuerbaren Energien im schottischen Meer
Exizidis et al.	2015				X		Thermisches Verhalten von Stromkabeln durch fluktuierende Windgeschwindigkeiten
GDV	2008				X	X	Leitfaden für den Brandschutz von Windenergieanlagen (WEA)
GDV	2014	X	X	X			Leitlinie zum Risikomanagementprozess von Offshore-Windparks
GDV	2016				X		Schadensverhütung von OWEA
iit&dsn	2012	X	X		X		Bericht: Plattform Zukunftsberufe Offshore-Windenergie
Kaiser&Snyder	2011					X	Modellierung der Stilllegungskosten von Offshore Windparks vor der Küste der USA
Liu et al.	2014				X		Optimierung und Anwendung crashsicherer Vorrichtung für den Monopile einer OWEA gegen Kollisionen mit Schiffen
Masden et al.	2013				X		Analyse der Auswirkungen von Offshore-Windparks auf Vögel in Großbritannien
Myers et al.	2014				X		Auslegung eines Monpiles von OWEA an Standorten der US-Atlantikküste
Ossai et al.	2015				X		Modellierung der Auswirkungen von Wartung auf Ausfallzeiten und -risiko
Prada Gil et al.	2013				X		Technische und wirtschaftliche Bewertung von OWEA auf der Basis von variabler Frequenz

Shafiee	2014	X	X		X	Prozessmodell um die Risiken eines Offshore Windparks zu mildern
Sinha&Steel	2014				X	Risikobasierte Fehleranalyse unter Verwendung eines zustandsorientierten Prognosewartungsplans
Smyth et al.	2014				X	Stilllegungsoptionen für die Offshore-Wind Energiewirtschaft
Sobiech et al.	2012	X	X		X	Prozessorientierter Modell-Ansatz zur Risikominderung
Zitrou et al.	2014	X	X		X	Modell für die Steigerung der Verfügbarkeit mit Anwendung auf Offshore Windparks

Tabelle 2 Literaturüberblick in Anlehnung an Webster und Watson

Der Artikel von Sinha und Steel (2014) legt den Schwerpunkt auf die Fehleranalyse als Basis für einen zustandsorientierten Prognosewartungsplan, um Kosten zu kontrollieren und die Wartung effizienter zu machen. Ferner werden Risikoprioritätszahlen verwendet, die bei der Gestaltung des Wartungsplans helfen. Die Autoren Myers et al. (2014) befassen sich mit den Anforderungen für einen Monopile, der bis zu 50 Jahre den Wetterbedingungen standhalten muss. Der Artikel von Exizidis et al. (2015) beschäftigt sich mit dem thermischen Verhalten von Stromkabeln in einem Offshore-Windpark angesichts fluktuierender Windgeschwindigkeiten. Kaiser und Snyder (2011) setzen sich mit dem Kostenrisiko beim Rückbau von Offshore-Windparks vor der Atlantikküste der USA auseinander. Der Fokus liegt bei Smyth et al. (2014) auf den Risiken und Chancen, die sich beim Rückbau ergeben. Die Auswirkungen der Entfernung von Fundamenten und Gründungsstrukturen, die künstliche Riffe für das marine Ökosystem darstellen, werden angeführt. Der Bericht vom iit⁴ und dsn⁵ (2012) befasst sich mit den Risiken und Perspektiven entlang der Wertschöpfungskette in Norddeutschland für die Bereiche Personal und Weiterbildung. Die Ergebnisse wurden mit Hilfe von Interviews erbracht. Die Nutzen-Kosten-Analyse der Prognos AG (2011) hinterfragt die Potenziale des Standortes Bremerhaven für ein Offshore Terminal. Zusätzlich werden Risiken und Hemmnisse für einen Offshore-Hafen betrachtet.

Der Artikel von Gatzert und Kosub (2014) bietet eine ausführliche Systematisierung von Risiken und deren Auswirkungen auf Sach- und Verzögerungsschäden für Offshore-Windparks. In Tabelle 1 ist dieser Artikel nicht aufgeführt, da im Rahmen dieser Arbeit kein direktes Risiko aus diesem stammt. Umfassende Methoden für einen Risikomanagementprozess von Projekten der erneuerbaren Energien bietet das Papier von Michelez et al. (2010). Einige der verwendeten Methoden meiner Arbeit basieren auf dieser Literatur. Jedoch wurden die dort im Rahmen eines Fallbeispiels vorgestellten Risiken nicht

⁴ Institut für Innovation und Technik

⁵ Dialog-, Strategie- und Netzwerkprojekte

bei der Risikoidentifikation verwendet. Dieses Papier ist deshalb nicht in Tabelle 1 eingeordnet.

Dennoch ordnet keine der identifizierten Literatur den Auswirkungen, die sich in Sach- und Verzögerungsschäden äußern, den Risiken konkrete Werte aus einem Fallbeispiel zu. Michelez et al. (2010) benutzen ein Beispielprojekt eines Offshore-Windparks anhand der vorgestellten Methoden, jedoch ist der Umfang der identifizierten Risiken für eine ganzheitliche Risikoanalyse nicht ausreichend. Diese Arbeit beruht besonders auf diesen Methoden von Michelez et al. (2010), wobei einige im Rahmen dieser Arbeit weiterentwickelt und angepasst wurden. Als Grundlage für einen Großteil der identifizierten Risiken wurde beim GDV (2014) der Leitfaden zum Risikomanagementprozess von Offshore-Windparks verwendet.

1.3 Aufbau der Arbeit

Meine Bachelorarbeit ist wie folgt aufgebaut: Im Anschluss an die Einleitung werden in Kapitel 2 die verwendeten Methoden, die zur Analyse von Risiken eines Offshore Windpark-Projektes verwendet werden, allgemeingültig eingeführt. Eine detaillierte Erläuterung dieser Methoden wird in den Kapiteln angeführt, in denen sie Verwendung finden. In Kapitel 3 werden Kenngrößen zur Risikobewertung eingeführt und auf die verwendeten Risiken nach Aufteilung in die unterschiedlichen Projektphasen angewandt. Das Kapitel 4 stellt ein Beispielprojekt eines Offshore-Windparks vor und liefert für das fünfte Kapitel den Zeit- und Kostenrahmen. In Letzterem wird auf Grundlage der vorangegangenen Kapitel ein Risikoregister erstellt, das auf einer Methodik im zweiten Kapitel sowie der identifizierten Risiken im dritten Kapitel und dem Fallbeispiel aus dem vierten Kapitel beruht. Das Risikoregister ist das Kernergebnis dieser Arbeit. Schlussfolgerungen, eine Abgrenzung und eine sich daraus ergebende Handlungsempfehlung werden in Kapitel 6 ausgesprochen, bevor in Kapitel 7 ein Fazit und ein kurzer Ausblick folgen. Der Anhang A sichert die Nachvollziehbarkeit des Risikoregisters und die Anhänge B und C stellen eine eindeutige Verwendung dessen sicher.

2. Risikomanagement - Methodik in Projekten für erneuerbare Energien

„A key challenge in obtaining financing at a reasonable cost is the ability to quantify and manage the different elements of risk (i.e. organizational, political, technical, commercial) associated with RES [Renewable Energy Systems] projects” (Michelez et al. 2010, S.6). Den Autoren Michelez et al. folgend, besteht die zentrale Herausforderung darin, dass Risiken

Risikoregister auf weitere Fallbeispiele an anderen Standorten zu übertragen, indem die Werte für die Parameter angepasst werden. Hierfür sind ein anderer Zeitrahmen und eine andere Kostenstruktur nötig. Mit Hilfe der Formel 12 lassen sich die Werte der Spalte „sehr wahrscheinlich“ bestimmen und somit die Wahrscheinlichkeitsverteilungen der Risiken auf ein anderes Projekt übertragen. Dies ist möglich, da sich die Wahrscheinlichkeitsverteilungen auf das jeweilige Risiko beziehen und nicht an ein bestimmtes Offshore Windpark-Projekt geknüpft sind. Es ist jedoch zu beachten, dass die Risiken keine Allgemeingültigkeit besitzen und auf grundlegend andere Projekte angepasst werden müssen. Kein Offshore Windpark-Projekt gleicht dem anderen (vgl. GDV 2014, S.7). Bei anderen Projekten sollte besonders darauf geachtet werden, ob durch die veränderten Anforderungen z. B. latente Risiken hinzukommen. Allgemein ist das Risikoregister nicht als starres Ergebnis anzusehen. Es muss aufgrund von neuen Erkenntnissen über Risiken und technischen Fortschritt auf die neuen Herausforderungen angepasst werden. Hierzu ist es empfehlenswert, das Risikoregister auf einem aktuellen Stand zu halten.

7. Fazit und Ausblick

Das Ziel der vorliegenden Arbeit bestand darin, die Risiken eines Offshore Windpark-Projektes hinsichtlich der Auswirkungen auf Sach- und Verzögerungsschäden methodisch zu analysieren. In einem ersten Schritt wurde hierfür die relevante Literatur, welche sich mit der Identifikation von Risiken auseinandersetzt, in einem Literaturüberblick nach Webster & Watson (2012) dargestellt.

Im folgenden Schritt wurde der Risikomanagementprozess erläutert und es wurde definiert, dass sich diese Arbeit auf die Risikoidentifikation und -bewertung konzentriert. Anknüpfend daran konnten verschiedene Methoden eingeführt werden, welche diese Aufgaben speziell in Projekten für erneuerbare Energien erfüllen. Die Unterteilung der Risiken nach der Lage im Produktlebenszyklus des Offshore Windpark-Projektes kann als entscheidende Möglichkeit angesehen werden, die identifizierten Risiken abzubilden. Für die Risikobewertung stellt das Gewichten der Risiken mit Hilfe der Relevanz einen Meilenstein dar, um entscheidende Phasen im Produktlebenszyklus mit besonders hohem Risikopotenzial aufzudecken. Das im Anschluss vorgestellte Risikoregister ist die zentrale Methodik im Rahmen dieser Arbeit, das dem eingangs erwähnten Ziel gerecht wird. Anschließend daran konnten Wahrscheinlichkeitsverteilungen beschrieben werden, welche die Sach- und Verzögerungsschäden beim Eintritt eines Risikos angemessen verteilen.

Im folgenden Abschnitt wurde die Risikostruktur eines Offshore Windpark-Projektes dargelegt. Diese lässt sich grob in drei Phasen des Produktlebenszyklus einteilen. Die Planungs- und Errichtungsphase, die Betriebsphase und die Phase des Rückbaus. Weiterhin wurden Kennzahlen zur Risikobewertung eingeführt, mit denen die im vorherigen Abschnitt beschriebene Methodik zur Risikoidentifikation angewandt werden konnte. Hierfür wurden die identifizierten Risiken nach der Lage im Produktlebenszyklus aufgeteilt und ihre Auswirkungen beim Eintritt des Risikos mit der Relevanz gewichtet. Hiermit konnten die entscheidenden Prozessschritte deutlich gemacht werden, die besonders relevante Risiken enthalten. Im weiteren Verlauf wurde ein Fallbeispiel eines typischen Offshore Windpark-Projektes etabliert, um für die Folgekosten der Risiken einen praxisbezogenen Kontext zu erhalten. Dieses enthält Kosten- und Zeitparameter, welche die verschiedenen Projektphasen bzw. Komponenten beschreiben. Unsicherheiten bezüglich der Höhe eines Parameters werden ebenfalls eingeführt.

Auf Grundlage dessen wurde das Risikoregister erstellt, das alle identifizierten Risiken enthält und die beim Eintritt eines Risikos bedingten Sach- und Verzögerungsschäden darstellt. Die Höhe der Auswirkungen basieren auf dem Fallbeispiel. Weiterhin werden den Risiken die Parameter und Wahrscheinlichkeitsverteilungen zugeordnet, sowie eine Basis für das Anwenden dieser Wahrscheinlichkeitsverteilungen geliefert. Zudem wurden die Relevanzen für jedes Risikos und die als latent eingestuften Risiken zugeordnet. Die Wahrscheinlichkeitsverteilungen gewährleisten die angemessene Abbildung der Sach- und Verzögerungsschäden. Die zur eindeutigen Beschreibung benötigten charakteristischen Werte liefert das Risikoregister, wobei diese nachvollziehbar zugeordnet wurden und das Risikoregister damit auf andere Projekte übertragbar ist und um andere Risiken erweitert werden kann. Das Risikoregister sollte damit nicht als starres Endergebnis verstanden, sondern viel mehr auf neue Erkenntnisse und eine sich damit verändernde Risikobewertung angepasst werden. Die Auswirkungen von Risiken bei Offshore Windpark-Projekten sind somit angemessen abgebildet, da die Analyse hierfür in einem methodischen Kontext umgesetzt wurde und weiterhin Anpassungen an sich verändernde Bedingungen möglich sind.

Der Fokus der identifizierten Risiken liegt im Rahmen dieser Arbeit auf denen der Planungs- und Errichtungsphase. Es können weitere in der Betriebs- und Rückbauphase identifiziert werden, damit ein ausgeglichenes Risikomanagement gewährleistet werden kann. Für die Verwendung der Normalverteilung im Risikoregister ist es nötig, die Sigmas der angesprochenen Risiken zu errechnen. Für die Poisson-Verteilung müssen die Lambdas für das jeweilige Risiko bestimmt werden. Dies bedarf einer genaueren Untersuchung, welche sich mit den zu erwartenden Ausfällen von Material und Equipment befasst. Weiterhin

können die zu erwartenden Ausfallzeiten während des Betriebes mit einer Funktion besser bestimmt werden, anstatt diese für jedes Betriebsjahr als konstant anzunehmen. Weiterhin könnte das Augenmerk besonders auf den Veränderungen der latenten Risiken liegen und diese gegebenenfalls neu bewertet werden.

Im Anschluss an diese Arbeit kann das Risikoregister nach Risiken differenziert werden, die für Investoren entscheidend sind. Diese Risiken können in das INRIAN-WE-Tool übertragen werden und dort mit den angeführten Wahrscheinlichkeitsverteilungen simuliert werden, um quantitative Aussagen über die Wirtschaftlichkeit des Projektes zu erhalten. Das Risikoregister ermöglicht über die Parameter eine Zuordnung der Risiken in das INRIAN-WE-Tool. Zusätzlich können die Parameter untereinander korreliert werden, um die Interaktion von Risikogruppen zu beschreiben. Hierfür ist eine weiterführende Analyse nötig. Weiterhin können die Schutzmaßnahmen der Risiken untersucht werden, wobei der OCoP bereits eine Zuordnung vornimmt. Dies betrifft im Rahmen des Risikomanagementprozesses die Risikosteuerung. Durch eine Minderung der Sach- und Verzögerungsschäden ist es möglich, dass sich der NPV zum Positiven verschiebt. Dies könnte dazu führen, dass Investitionen eher getätigt werden und somit dazu beitragen, die Finanzierungslücke bei Offshore Windpark-Projekten zu schließen.