



## **Risikointegriertes Prozess Engineering am Beispiel Offshore Windpark**

Dissertation zur Erlangung des Grades  
eines Doktors der Ingenieurwissenschaften

vorgelegt von

**Saskia Greiner M.Sc.**

Gutachter:

**Prof. Dr.-Ing. Jorge Marx Gómez**

**Prof. Dr.-Ing. Henning Albers**

**Prof. Dr.-Ing. Jens Pöppelbuß**

Tag der Disputation: 10.05.2017

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Zugl.: Oldenburg, Univ., Diss., 2017

Copyright Shaker Verlag 2017

Alle Rechte, auch das des auszugsweisen Nachdruckes, der auszugsweisen oder vollständigen Wiedergabe, der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen und der Übersetzung, vorbehalten.

Printed in Germany.

ISBN 978-3-8440-5358-6

ISSN 1863-8627

Shaker Verlag GmbH • Postfach 101818 • 52018 Aachen

Telefon: 02407 / 95 96 - 0 • Telefax: 02407 / 95 96 - 9

Internet: [www.shaker.de](http://www.shaker.de) • E-Mail: [info@shaker.de](mailto:info@shaker.de)

## **Danksagung**

Mein ganz besonderer Dank gilt meinem Doktorvater Herrn Prof. Dr.-Ing. Jorge Marx Gómez der Universität Oldenburg. Er gab mir die Möglichkeit als externe Doktorandin an der Universität Oldenburg zu promovieren. Er stand mit Rat und Tat bei der Durchführung und Fertigstellung zur Seite.

Mein ganz besonderer Dank geht auch an Herrn Prof. Dr.-Ing. Henning Albers der Hochschule Bremen. Er hat mich in unserer langjährigen Zusammenarbeit immer gefördert und mit Rat und Tat unterstützt. Danke für die fachliche und emotionale Unterstützung und die Freiheit mich in dem Forschungsgebiet Windenergie an der Hochschule Bremen austoben zu dürfen.

Herrn Prof. Dr.-Ing. Jens Pöppelbuß danke ich für seine kritischen Anmerkungen und konstruktiven Ratschläge sowie für die Tätigkeit als Gutachter.

Der Hochschule Bremen möchte ich für die Unterstützung zur Durchführung meines Promotionsvorhabens und meiner Forschungstätigkeiten danken. Dies geht insbesondere an Frau Prof. Dr.-Ing. Silke Eckardt und meine Kolleginnen Vanessa Spielmann, Mandy Ebojie und Susanne Meyer. Angelika Finkenzeller danke ich für die fleißige Korrektur meiner Arbeit.

Ein weiterer Dank gebührt Herrn Dr. rer. nat. Philip Joschko für die unermüdlichen fachlichen Diskussionen und seine Unterstützung im Umgang mit dem Modellierungstool IYOPRO der Intellivate GmbH.

Bei der Intellivate GmbH bedanke ich mich für die Nutzung des Modellierungstools IYOPRO und die interessanten und aufschlussreichen Diskussionen.

Ein weiterer Dank geht an die vielen Gesprächspartner aus der Offshore Windenergie. Sie standen, trotz großem Arbeitspensums, für Gespräche und Diskussionen rund um das Thema Instandhaltung von Offshore Windparks zur Verfügung.

Mein größter Dank aber gilt meiner Familie. Mein Mann Volker und meine Tochter Alea haben die arbeitsintensiven Phasen und die Höhen und Tiefen, die mit der Dissertation einhergingen nun überstanden. Meine Eltern haben mich immer auf allen Wegen und Entscheidungen unterstützt. Sie alle haben an mich und meinen Erfolg geglaubt. Danke.

*Saskia Greiner*

Oldenburg, Juni 2017

## Zusammenfassung

Der Betrieb von Offshore Windparks ist risikoreich, nicht nur aufgrund der eingesetzten Technik und des wechselhaften Wetters. Auch die Vielzahl der unterschiedlichen am Betrieb beteiligten Akteure birgt Risiken, denn ihre Kooperation ist für einen reibungslosen Ablauf auf dem Meer unerlässlich. Zur Verfügung stehende Informationen und Daten über die Prozesse reichen für eine datengestützte Optimierung nicht aus, sodass Experten der verschiedenen Fachdisziplinen hinzugezogen werden müssen. Es sind geeignete Vorgehensweisen zur Optimierung dieser Prozesse gefordert. Mit der Betrachtung von Risiken in Prozessen werden in ihnen Schwachstellen und Störungen identifiziert und bewertet, darauf aufbauend können geeignete Maßnahmen ausgewählt werden, um sie zu beseitigen, rechtzeitig zu entdecken oder zu verhindern.

Vor diesem Hintergrund ist das Ziel der Arbeit die Entwicklung aufeinander abgestimmter Methoden mit denen Prozesse auf Basis von Risiken untersucht und gestaltet werden können.

Kern dieses Methodenbaukastens ist die Integration von Prozessrisiken in Prozessmodelle, die das wichtigste Kommunikationsmittel über Prozesse zwischen den verschiedenen Akteuren sind. Die Darstellung von Risiken in Prozessmodellen unterstützt das Auffinden von Schwachstellen und deren Folgeabschätzung sowie die Risikodokumentation. Basis ist die Charakterisierung von Prozessrisiken, die neben dem klassischen Risikomerkmals Ursache-Ereignis-Folge-Verknüpfung auch Einflussfaktoren und Risikobeziehungen umfasst. Hierfür werden unter anderem risikospezifische Datenobjekte und angeheftete Zwischenereignisse als neue Risiko-Modellierungselemente für die *Business Process Model and Notation (BPMN 2.0)* vorgeschlagen. Sie gehen über die reine Dokumentation von Risiken hinaus und können durch die Visualisierung von Risikoereignissen und Risikobeziehungen das Gesamtrisikosystem transparent abbilden. Des Weiteren stellen sie die Grundlage für die Simulation von Prozessen unter Risikoeinfluss dar.

Um die Risikomodellierung möglichst auf Basis praxistauglicher Risikoparameter zu entwickeln, werden Verfahren zur Identifikation und Bewertung von Prozessrisiken, Einflussfaktoren und Risikobeziehungen vorgeschlagen. Es kommen die *Fehlermöglichkeits- und Einflussanalyse*, die *Bow-Tie-Analyse* und die *Cross-Impact-Analyse* zur Anwendung.

Über die Einbindung der Risikoerhebung und -bewertung, sowie der risikointegrierten Prozessmodellierung in die Abläufe des Prozessmanagements wird das Vorgehensmodell zum risikointegrierten Prozess Engineering entworfen.

Der Methodenbaukasten wird am Beispiel ausgesuchter Prozesse des Offshore Windpark-Betriebs demonstriert und seine Funktionalität bestätigt. Anhand von Interviews mit Experten der Prozessmodellierung, des Prozessmanagements und Prozessexperten des Offshore Windpark-Betriebs werden der Nutzen und die Anwendbarkeit des

Methodenbaukastens gezeigt. Das risikointegrierte Prozess Engineering kann vielfältig in Unternehmen eingesetzt werden. Es hilft Prozesse zu verbessern und transparent zu dokumentieren.

## **Abstract**

The operation of offshore windfarms is risky, not only due to the technique applied and due to changing weather conditions. The multiplicity of the actors involved is risky too, as their cooperation is indispensable for a trouble-free process at sea. Information and data available about processes of the different enterprises involved are not sufficient for a data-supported optimization. Experts of the different subject areas have to be called in. Suitable procedures for the optimization of these processes are required. Considering risks in processes will help to identify and evaluate weaknesses and interferences and to select appropriate measures in order to eliminate, to discover in time or to prevent them.

Against this background, the objective of the work is to develop coordinated methods for the investigation and engineering of processes based on risks.

The core of this methodology toolbox is the integration of process risks in process models, which are the most important communication tools about processes between the different actors involved. Depicting risks in process models supports the identification of weaknesses and their impact assessment as well as the risk documentation. The scientific foundation of this is characterizing process risks, including – apart from the typical risk feature cause-event-effect-interconnection - also influencing factors and risk relationships. For this purpose new risk modelling elements for the Business Process Model and Notation (BPMN 2.0) are proposed such as risk specific data objects and intermediate events attached to an activity. They go beyond mere risk documentation and depict the overall risk system transparently by visualizing risk events and risk relationships. Furthermore these risk elements are the basis for a simulation of processes influenced by risks.

In order to develop risk modelling preferably based on practicable risk parameters, methods for the identification and evaluation of process risks, their factors of influence and risk relationships are proposed. The failure mode and effect analysis, the bow-tie-analysis and the cross-impact-analysis are applied.

A procedure model for risk integrated process engineering is designed by the integration of risk surveys and risk evaluation as well as the risk integrated process modeling in the process management.

The methodology toolbox will be demonstrated on selected processes of offshore windfarm operation and its functionality will be confirmed. The benefit and applicability of the toolbox are demonstrated through interviews with experts of process modelling and process management as well as process experts of offshore windfarm operation. The risk integrated process engineering can be applied in enterprises in various contexts. It supports the improvement of processes and documents processes transparently.

## Inhaltsverzeichnis

|   |      |
|---|------|
| Abkürzungsverzeichnis.....  | VII  |
| Abbildungsverzeichnis .....   | IX   |
| Tabellenverzeichnis .....   | XIII |
| Symbolverzeichnis.....  | XV   |
| 1 Einführung .....  | 1    |
| 1.1 Ausgangslage und Problemstellung.....                                 | 1    |
| 1.2 Offene Punkte bisheriger Lösungen .....                               | 3    |
| 1.3 Ziel und Lösungsansatz .....  | 4    |
| 1.4 Forschungsmethodik.....   | 5    |
| 1.5 Aufbau der Arbeit .....   | 7    |
| 2 Unternehmensübergreifende Prozesse und ihre Modellierung.....           | 10   |
| 2.1 Charakterisierung unternehmensübergreifender Prozesse.....            | 10   |
| 2.1.1 Allgemeine Definition und Beschreibung.....                         | 10   |
| 2.1.2 Strukturierung und Klassifikation von Prozessen .....               | 13   |
| 2.2 Auswahl einer Prozessmodellierungssprache.....                        | 17   |
| 2.2.1 Anforderungen an die Prozessmodellierungssprache .....              | 17   |
| 2.2.2 Auswahl der Prozessmodellierungssprache .....                       | 19   |
| 2.3 Beschreibung des Modellierungsstandards BPMN 2.0 .....                | 23   |
| 2.3.1 Entwicklungsziel und Historie .....                                 | 24   |
| 2.3.2 Modellierungselemente der BPMN 2.0.....                             | 25   |
| 2.3.3 Modellierung von Ausnahmesituationen .....                          | 26   |
| 2.3.4 BPMN-Metamodell.....  | 28   |
| 2.4 Zwischenfazit.....  | 29   |
| 3 Beschreibung und Analyse von Prozessrisiken .....                       | 31   |
| 3.1 Charakterisierung von Prozessrisiken.....                             | 31   |
| 3.1.1 Von Schwachstellen in Prozessen zu Prozessrisiken .....             | 31   |
| 3.1.2 Definition von Prozessrisiken .....                                 | 32   |
| 3.1.3 Merkmale von Prozessrisiken .....                                   | 33   |
| 3.1.3.1 Prozessziele .....  | 33   |
| 3.1.3.2 Risikoereignis .....  | 34   |
| 3.1.3.3 Risikoursache .....   | 36   |
| 3.1.3.4 Risikofaktoren .....  | 36   |
| 3.1.3.5 Auswirkung .....  | 38   |
| 3.1.3.6 Maßnahmen zur Entdeckung der Ursache.....                         | 38   |
| 3.1.3.7 Maßnahmen zur Verhinderung des Ereignisses .....                  | 39   |
| 3.1.3.8 Maßnahmen zur Verminderung der Auswirkung.....                    | 39   |
| 3.1.3.9 Risikomaß.....  | 39   |
| 3.1.4 Hemmende und verstärkende Einflussfaktoren auf Prozessrisiken ..... | 40   |
| 3.1.5 Abhängigkeiten und Interdependenzen von Prozessrisiken.....         | 41   |
| 3.1.6 Taxonomie der Prozessrisiken .....                                  | 43   |
| 3.1.7 Aggregation von Prozessrisiken.....                                 | 46   |
| 3.2 Zusammenhänge zwischen Prozessrisiken und Prozessmerkmalen.....       | 46   |
| 3.3 Methoden zur Analyse der Prozessrisikoinformationen.....              | 49   |
| 3.3.1 Identifikation und Bewertung von Prozessrisiken .....               | 49   |
| 3.3.1.1 Ermittlung der Prozessziele und -kennwerte.....                   | 49   |

|         |   |     |
|---------|---|-----|
| 3.3.1.2 | Ermittlung der Risikoursache, Risikofolge und<br>Wahrscheinlichkeiten .....           | 50  |
| 3.3.1.3 | Fehlermöglichkeits- und Einflussanalyse in Prozessen.....                             | 54  |
| 3.3.2   | Identifikation und Bewertung von Einflussfaktoren .....                               | 58  |
| 3.3.2.1 | Auswahl geeigneter Methoden .....   | 58  |
| 3.3.2.2 | Bow-Tie-basierte Methode zur Analyse von Einflussfaktoren .....                       | 61  |
| 3.3.3   | Identifikation und Bewertung von Risikobeziehungen .....                              | 64  |
| 3.3.3.1 | Auswahl geeigneter Methoden .....   | 64  |
| 3.3.3.2 | Erweiterte Cross-Impact-Methode zur Analyse von<br>Risikobeziehungen .....            | 67  |
| 3.4     | Entwicklung des Methodenportfolios .....  | 75  |
| 3.5     | Zwischenfazit.....  | 76  |
| 4       | Integration von Prozessrisiken in BPMN 2.0 - Prozessmodelle.....                      | 78  |
| 4.1     | Bestehende Ansätze risikointegrierter Geschäftsprozessmodelle in BPMN .....           | 78  |
| 4.1.1   | Integration von Risiken in BPMN-Prozessmodelle nach COPE et al.....                   | 78  |
| 4.1.2   | Integration von Risiken in BPMN-Prozessmodelle nach DE QUEIROZ..                      | 80  |
| 4.1.3   | Integration von Risiken in BPMN-Prozessmodelle nach<br>HELLINGSWORTH.....             | 81  |
| 4.1.4   | Integration von Risikominderungsmaßnahmen nach BHUIYAN et al.....                     | 81  |
| 4.1.5   | Sonstige Erweiterungsansätze der BPMN-Prozessmodelle .....                            | 82  |
| 4.1.6   | Bewertung der Erweiterungsansätze .....   | 83  |
| 4.2     | Modellierungsanforderungen zur Risikointegration .....                                | 84  |
| 4.3     | Risikointegrierte BPMN 2.0 – Prozessmodelle .....                                     | 85  |
| 4.3.1   | Prozessziele und Prozesskennwerte .....   | 85  |
| 4.3.1.1 | Modellierung .....  | 85  |
| 4.3.1.2 | Überprüfung der BPMN-konformen Modellierung .....                                     | 88  |
| 4.3.2   | Risikoursache, Auftrittswahrscheinlichkeit und<br>Entdeckungswahrscheinlichkeit ..... | 90  |
| 4.3.2.1 | Modellierung .....  | 90  |
| 4.3.2.2 | Überprüfung der BPMN-konformen Modellierung .....                                     | 93  |
| 4.3.3   | Risikoereignis.....   | 94  |
| 4.3.3.1 | Modellierung .....  | 94  |
| 4.3.3.2 | Überprüfung der BPMN-konformen Modellierung .....                                     | 100 |
| 4.3.4   | Risikofolge, Eintrittswahrscheinlichkeit und Schadensausmaß .....                     | 101 |
| 4.3.4.1 | Modellierung .....  | 101 |
| 4.3.4.2 | Überprüfung der BPMN-konformen Modellierung .....                                     | 103 |
| 4.3.5   | Hemmende und verstärkende Einflussfaktoren.....                                       | 104 |
| 4.3.5.1 | Modellierung .....  | 104 |
| 4.3.5.2 | Überprüfung der BPMN-konformen Modellierung .....                                     | 105 |
| 4.3.6   | Beziehungen zwischen Prozessrisiken .....   | 106 |
| 4.3.6.1 | Modellierung .....  | 106 |
| 4.3.6.2 | Überprüfung der BPMN-konformen Modellierung .....                                     | 107 |
| 4.3.7   | Gegenmaßnahmen .....  | 109 |
| 4.3.7.1 | Modellierung .....  | 109 |
| 4.3.7.2 | Überprüfung der BPMN-konformen Modellierung .....                                     | 111 |
| 4.3.8   | Zusammenfassung.....  | 112 |
| 4.4     | Anforderungen an die risikointegrierte Modellierung von Prozessen .....               | 113 |
| 4.5     | Informationstechnische Umsetzung von Prozessrisiken .....                             | 113 |
| 4.6     | Zwischenfazit.....  | 114 |



|         |  |     |
|---------|--|-----|
| 5       | Vorgehensmodell zum risikointegrierten Prozess Engineering.....  | 115 |
| 5.1     | Einführung .....   | 115 |
| 5.2     | Einordnung in den Problemlösungskreislauf des Prozessmanagements .....   | 116 |
| 5.3     | Vorgehensweise zum risikointegrierten Prozess Engineering.....   | 117 |
| 5.3.1   | Prozessrisiken erheben und bewerten .....  | 118 |
| 5.3.2   | Einflussfaktoren bestimmen und bewerten .....  | 122 |
| 5.3.3   | Risikobeziehungen bestimmen und bewerten .....   | 122 |
| 5.3.4   | Risiken in Prozessmodelle integrieren .....  | 123 |
| 5.3.5   | Gegenmaßnahmen entwickeln und bewerten.....  | 124 |
| 5.3.6   | Prozesse gestalten und umsetzen.....   | 124 |
| 5.4     | Zwischenfazit.....   | 125 |
| 6       | Anwendung am Praxisbeispiel Offshore Windpark .....  | 126 |
| 6.1     | Allgemeine Vorgehensweise .....  | 126 |
| 6.2     | Risikointegriertes Prozess Engineering am Beispiel der Instandsetzung von<br>Kleinkomponenten an einer Offshore Windenergieanlage..... | 126 |
| 6.2.1   | Prozessziele und Prozessleistungsparameter.....  | 126 |
| 6.2.2   | Prozessdokumentation.....  | 127 |
| 6.2.2.1 | Akteure, Infrastruktur und logistische Ressourcen .....  | 127 |
| 6.2.2.2 | Prozessstrukturen.....   | 128 |
| 6.2.2.3 | Prozessbedingungen .....   | 132 |
| 6.2.3   | Analyse instandhaltungsspezifischer Prozessrisiken .....   | 134 |
| 6.2.3.1 | Auswahl risikorelevanter Prozesse.....   | 134 |
| 6.2.3.2 | Auswahl risikorelevanter Aktivitäten.....  | 135 |
| 6.2.3.3 | Erstellen der Zustandsänderungsmatrix .....  | 136 |
| 6.2.3.4 | Methodisches Vorgehen der Prozessrisikoanalyse.....  | 137 |
| 6.2.3.5 | Ergebnisse der Prozessrisikoanalyse .....  | 139 |
| 6.2.4   | Analyse der Einflussfaktoren .....   | 140 |
| 6.2.4.1 | Methodisches Vorgehen .....  | 140 |
| 6.2.4.2 | Ergebnisse der Analyse der Einflussfaktoren.....   | 143 |
| 6.2.5   | Analyse der Risikobeziehungen .....  | 144 |
| 6.2.5.1 | Methodisches Vorgehen .....  | 144 |
| 6.2.5.2 | Ergebnisse der Analyse der Risikobeziehungen.....  | 147 |
| 6.2.6   | Risikointegrierte Prozessmodelle des Instandsetzungsprozesses an einer<br>Offshore Windenergieanlage.....                              | 148 |
| 6.2.6.1 | Erstellen der Risikomatrix .....   | 148 |
| 6.2.6.2 | Erstellen der Einflussfaktorenmatrix .....   | 150 |
| 6.2.6.3 | Erstellen der Risikobeziehungsmatrix .....   | 150 |
| 6.2.6.4 | Risikointegrierte BPMN-Prozessmodelle .....  | 151 |
| 6.2.7   | Auswahl relevanter Risiken .....   | 152 |
| 6.2.8   | Entwicklung von Gegenmaßnahmen und Gestaltung von Prozessen .....  | 153 |
| 6.3     | Evaluation .....   | 154 |
| 6.3.1   | Ziele und Vorgehensweise .....   | 154 |
| 6.3.2   | Auswertung der Interviewergebnisse .....   | 157 |
| 6.3.2.1 | Risikoanalyseverfahren .....   | 158 |
| 6.3.2.2 | Risikointegrierte Prozessmodellierung.....   | 159 |
| 6.3.2.3 | Vorgehensmodell des risikointegrierten Prozess Engineering .....   | 160 |
| 6.3.2.4 | Zukunftsperspektive .....  | 161 |
| 6.4     | Zwischenfazit.....   | 161 |

|     |   |     |
|-----|---|-----|
| 7   | Schlussbetrachtung .....  | 163 |
| 7.1 | Bewertung und Grenzen der Arbeit .....  | 163 |
| 7.2 | Beitrag der Arbeit .....  | 166 |
| 7.3 | Anwendungsszenarien .....   | 167 |
| 7.4 | Ausblick .....  | 170 |
|     | Literaturverzeichnis .....  | 172 |
|     | Anhang .....  | 187 |
| A   | Gegenüberstellung der BPMN- und eEPK-Prozessmodelle am Beispiel der Freigabe des Antrags auf Arbeitserlaubnis („work permit“) aus der Instandhaltung eines Offshore Windparks ..... | 188 |
| B   | Beschreibung der BPMN – Elemente .....  | 190 |
| C   | Beziehungen zwischen Prozessrisiko und Prozess.....   | 193 |
| D   | Vergleich der Modellierungsansätze .....  | 196 |
| E   | Auswahl risikorelevanter Instandhaltungsprozesse im Offshore Windpark ...   | 197 |
| F   | Zustandsänderungsmatrizen der Aktivität „Durchführung der Instandsetzungstätigkeiten“ des Teilprozesses „Durchführung“ .....  | 198 |
| G   | Auszug aus der Risikoanalyse der Instandsetzung von Kleinkomponenten an einer OWEA .....  | 199 |
| H   | Berechnung der Schadensausmaße bei Einwirkung von Einflussfaktoren an einem Beispiel aus der Einsatzplanung von Kleinkomponenten an einer OWEA .....                                | 201 |
| I   | Risikointegriertes Prozessmodell „Hinfahrt mit Personnel Transfer Vessel“ .....   | 203 |
| J   | Auswahl relevanter Risiken zur Entwicklung von Gegenmaßnahmen .....   | 205 |
| K   | Entwicklung von Gegenmaßnahmen.....   | 206 |
| L   | Abhängigkeitsmatrizen der Evaluationskriterien .....  | 207 |
| M   | Methodenbezogene Zielkataloge der Evaluationskriterien .....  | 209 |
| N   | Beispiel für expertenbezogene Fragenkataloge.....   | 211 |
| O   | Auswertung der Evaluationsgespräche zu den Risikoanalyseverfahren aus fachlicher Sicht .....  | 216 |
| P   | Auswertung der Evaluationsgespräche mit OWP-Experten zum Integrationsansatz von Prozessrisiken in BPMN-Prozessmodelle aus fachlicher Sicht.....                                     | 218 |
| Q   | Auswertung der Evaluationsgespräche mit Prozessmanagern zum Integrationsansatz von Prozessrisiken in BPMN-Prozessmodelle aus fachlicher Sicht.....                                  | 219 |
| R   | Auswertung der Evaluationsgespräche mit OWP-Experten zum Vorgehensmodell aus fachlicher Sicht .....   | 221 |
| S   | Auswertung der Evaluationsgespräche mit Prozessmanagern zum Vorgehensmodell aus fachlicher Sicht .....  | 223 |

|   |  |     |
|---|--|-----|
| T | Auswertung der Evaluationsgespräche zum Integrationsansatz von Prozessrisiken in BPMN-Prozessmodelle aus technischer Sicht ..... | 225 |
| U | Auswertung der Evaluationsgespräche zur Zukunftsperspektive .....  | 227 |