

Leibniz Universität Hannover
Wirtschaftswissenschaftliche Fakultät
Institut für Wirtschaftsinformatik
Prof. Dr. Michael H. Breitner


Entscheidungsunterstützung für effiziente Demontagenetzwerke für Windenergieanlagen

Masterarbeit

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

vorgelegt von

Marvin Lescher



Prüfer: Prof. Dr. Michael H. Breitner

Hannover, den 02.10.2017

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	V
Tabellenverzeichnis	VI
Abkürzungsverzeichnis	VII
1 Motivation und Relevanz	1
2 Forschungshintergrund	3
2.1 Literaturübersicht	3
2.2 Forschungsdesign	18
3 Mathematische Modellierung und Implementierung	22
3.1 Strategisches Gesamtplanungsmodell	22
3.1.1 Modellannahmen	22
3.1.2 Notation und Optimierungsmodell	23
3.2 Operatives Betreiberplanungsmodell	28
3.2.1 Modellannahmen	28
3.2.2 Notation und Optimierungsmodell	28
3.3 Implementierung	31
3.3.1 Systemarchitektur	31
3.3.2 Datenbankmodell	33
3.3.3 Beschreibung der DemoNetXXL Web-Applikation	36
4 Anwendungsszenario	48
4.1 Beschreibung und Eingabeparameter	48
4.2 Ergebnisse	52
5 Kritische Würdigung	58
5.1 Diskussion	58
5.2 Wissenschaftliche Erkenntnisse	64
5.3 Implikationen für die Praxis	65
5.4 Limitationen und Handlungsempfehlungen	67
6 Fazit und Ausblick	72
Literaturverzeichnis	VIII
A Anhang	XIV
B Ehrenwörtliche Erklärung	XVII

1 Motivation und Relevanz

Im Juli des Jahres 2017 existieren in Deutschland fast 28.000 Windenergieanlagen (WEA).¹ Diese Anlagen werden nach einer durchschnittlichen Lebenszeit von 20 bis 25 Jahren demontiert und ausgetauscht.² Darüber hinaus ersetzen leistungsfähigere WEAs, aus wirtschaftlichen Gründen, die bestehenden Anlagen vor Ablauf der Lebenszeit. Die Relevanz des Abbaus von WEAs nimmt in den kommenden Jahren weiterhin zu. Dies verdeutlichen die roten Balken der Abbildung 1, die einen durchschnittlichen Anstieg der jährlich abzubauenen WEAs bis zum Jahr 2022 prognostizieren.³ Dennoch wird die vollständi-

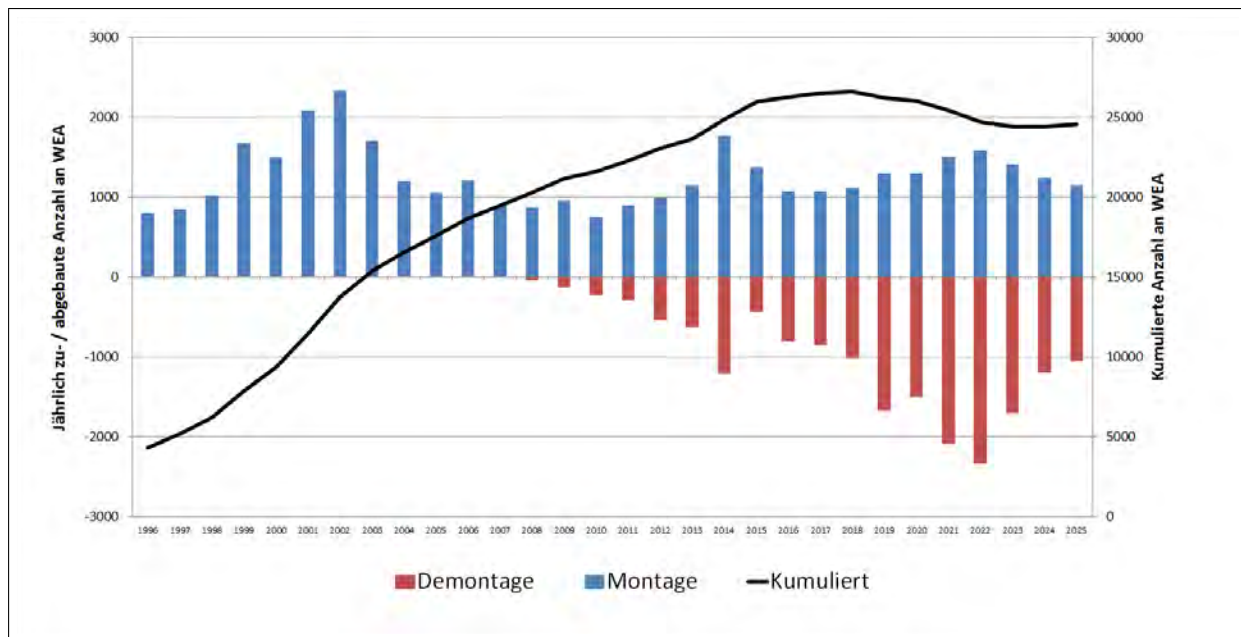


Abbildung 1: Jährlich zu- / abgebaute und kumulierte Anzahl an WEA

Quelle: Eigene Darstellung, Rohdaten von Lüers et al. (2017)

ge Zerlegung der WEAs zurzeit am Montageort durchgeführt.⁴ Diese Demontagestrategie verursacht Kosten i. H. v. ca. 120.000 € pro WEA.⁵ Aufgrund der zunehmenden Anzahl alter Anlagen müssen in den nächsten zehn Jahren kosteneffiziente Lösungen der Demontage gefunden werden.⁶ Diese Ansicht unterstützt der Hersteller von Rotorblättern Grovnielsen (2009) mit seinem Statement, dass ein Recyclingsystem entwickelt werden muss, bevor in den nächsten Jahren die großen Mengen demontiert werden müssen.⁷ Aus diesem Grund beschäftigt sich die vorliegende Forschungsarbeit mit der Frage, ob eine räumlich verteilte Demontage unter Verwendung von Demontagefabrikstandorten eine Kostenmi-

¹Vgl. Lüers et al. (2017), S. 1.

²Vgl. Albers (2013), S. 529.

³Vgl. Lüers et al. (2017).

⁴Vgl. Lüers et al. (2017), S. 1.

⁵Vgl. Enercon (2014).

⁶Vgl. Westbomke und Reichert (2016), S. 16f.

⁷Vgl. Larsen (2009), S. 72.

nimierung zulässt. Dabei soll durch das Lösen des Modells die optimale Positionierung zwischen einer teuren Demontage bei den WEAs vor Ort und einem kostenintensiven Transport von Einzelteilen zu Demontagefabrikstandorten festgelegt werden. Ziel dieser Arbeit ist es, ein entsprechendes mathematisches Modell zu entwickeln, in General Algebraic Model System (GAMS) zu implementieren und die DemoNetXXL Web-Applikation als Entscheidungsunterstützungssystem für WEA-Betreiber⁸ zu programmieren. Der Name besteht dabei aus einer Zusammensetzung von Buchstaben aus dem entsprechenden Kontext: **Demontagenetzwerke für XXL-Produkte**. Insgesamt zählt die Thematik der Demontage von WEAs im Jahr 2017 zur Grundlagenforschung. Implementierungen mathematischer Modelle, welche das Problem einer effizienten Demontage von WEAs abbilden, existieren nicht. Daher ist es notwendig Implementierungen in unterschiedlichen Systemarchitekturen zu fördern und zu vergleichen, um somit gute Lösungen für eine praktische Umsetzung zu finden.

Nach der Darstellung der Motivation für die Thematik sowie der Relevanz für Theorie und Praxis erfolgen in Kapitel 2 eine Literaturrecherche nach Webster und Watson und das daraus resultierende Forschungsdesign.⁹ Im Hauptteil der Arbeit wird die mathematische Modellierung und Implementierung des Optimierungsmodells erläutert (3. Kapitel). Dabei beschreiben die Unterkapitel 3.1 und 3.2 das strategische Gesamtplanungsmodell und das operative Betreiberplanungsmodell. Nach der Darstellung der mathematischen Modelle folgen die Kernaspekte der Implementierung (3.3). Zuerst wird die Systemarchitektur beschrieben. Danach folgt das Datenbankmodell, um anschließend mit der Beschreibung der DemoNetXXL Web-Applikation das Kapitel abzuschließen. Im Anschluss an die Implementierung wird anhand eines Anwendungsszenarios der praktische Bezug hergestellt und das Modell evaluiert (4. Kapitel). Die praxisbezogenen Daten sollen Aufschluss darüber geben, wie realistisch und umsetzbar die vorgenommenen Implementierungsschritte für den späteren praktischen Einsatz sind. Den Abschluss des Prozesses bildet Kapitel 5 mit der kritischen Würdigung der Implementierung. Die Diskussion der Ergebnisse, die Darstellung der wissenschaftlichen Erkenntnisse und Implikationen für die Praxis sind Bestandteile des genannten Kapitels. Weiterhin werden Grenzen aufgezeigt und in zukünftige Handlungsempfehlungen eingebunden. Die vorliegende Arbeit wird schließlich mit einem Fazit und Ausblick abgeschlossen.

⁸In folgender Forschungsarbeit wird aus Gründen der besseren Lesbarkeit die männliche Form verwendet. Sie schließt jedoch gleichermaßen die weibliche Form mit ein.

⁹Vgl. Webster und Watson (2002).

6 Fazit und Ausblick

Anhand der Forschungsfrage bestand die Aufgabe darin, die Vorteilhaftigkeit einer verteilten Demontage in Demontagefabriken anhand eines mathematischen Modells herauszuarbeiten. Dabei muss die Annäherung anhand einer Positionierung zwischen der Demontage am WEA-Standort und der Demontage in den Demontagefabrikstandorten erfolgen.

Nach der Literaturrecherche in Anlehnung an Webster und Watson (2002) wurde das Forschungsdesign festgelegt.¹²¹ Die Methodik für die Entwicklung des Entscheidungsunterstützungssystems für effiziente Demontagenetzwerk für WEAs wurde daraufhin nach Peffers et al. (2007) durchgeführt.¹²² Während der Literaturrecherche wurden 40 relevante Forschungsbeiträge zum Thema RLNs gefunden. Jedoch existierte lediglich ein Forschungsbeitrag aus dem Jahr 2017 zu RLNs für WEAs. Dieser beachtete allerdings weder unterschiedliche WEA-Typen, noch die Demontagetiefe an den jeweiligen Standorten, weshalb diese Forschungslücke durch das in der vorliegenden Arbeit entwickelte Modell geschlossen wurde. Darüber hinaus wurde das mathematische Modell in GAMS implementiert und mit der entwickelten DemoNetXXL Web-Applikation, die auf Ruby on Rails basiert, verbunden. Die Implementierung des mathematischen Modells in GAMS hat die Komplexität der Entwicklung von Demontagenetzwerken für WEAs aufgezeigt. Aufgrund der Komplexität des Modells wurde eine Evaluierung anhand eines Anwendungsszenarios umgesetzt. Die Ergebnisse des Anwendungsszenarios wurden im Anschluss kritisch betrachtet. Infolgedessen wurden aus den Ergebnissen wissenschaftliche Erkenntnisse gewonnen und Implikationen für die Praxis aufgezeigt. Abschließend wurden die Limitationen erläutert und Handlungsempfehlungen festgehalten.

Die Machbarkeitsstudie¹²³ wurde anhand des Anwendungsszenarios erfolgreich durchgeführt. Es konnten allerdings nicht alle Daten des Praxispartners generiert werden. Fehlende Parameter wie z. B. die Vorzerlegungskosten der WEAs mussten geschätzt werden. Dies stellt eine Einschränkung bezüglich der Aussagekraft des Modellergebnisses für die spätere praktische Umsetzung dar, lässt jedoch erste Aussagen bezüglich der Beantwortung der Forschungsfrage zu. Durch Veränderungen der einzelnen Kostensätze im Umfeld des Anwendungsszenarios konnten verschiedene Ergebnisse herausgearbeitet und verglichen werden. Somit kann gesagt werden, dass das Optimierungsproblem mit GAMS gelöst werden kann und die Lösung nicht realitätsfern ist. Der Wertnachweis¹²⁴ des Entscheidungsunterstützungssystems für die unterschiedlichen Stakeholder konnte ebenfalls im Kapitel 5.3 fundiert begründet, allerdings nicht vollständig erfüllt werden, da das mathematische Modell nicht mit einem Problem aus der Realität überprüft wurde. Dies ist damit zu begründen, dass die Demontagenetzwerkplanung aktuell nur in der Theorie umgesetzt wird

¹²¹Vgl. Webster und Watson (2002).

¹²²Vgl. Peffers et al. (2007).

¹²³engl. proof-of-concept.

¹²⁴engl. proof-of-value.

und somit keine Daten der verteilten Demontage aus der Praxis verfügbar sind. Daher zählt das Themengebiet zur Grundlagenforschung und muss sich durch eine Vielzahl an Tests und Veränderung der Modellannahmen zunächst einen geeigneten Datensatz generieren. Der Benutzungsnachweis¹²⁵ für einen Betreiber, der das Entscheidungsunterstützungssystem kontinuierlich nutzt, um seinen WEA-Abbau zu planen und umzusetzen konnte nicht erbracht werden. Folglich ist in zukünftigen Forschungen das Modell mit einem Problem aus der Praxis zu überprüfen. Darüber hinaus ist langfristig die erfolgreiche Wertschöpfung durch die Unterstützung des Systems beim Benutzer zu kontrollieren und zu quantifizieren.

Die Forschungsfrage kann anhand der Ergebnisse und der Betrachtung von annähernd praxisnahen Daten positiv beantwortet werden. Die Ergebnisse der Kostenminimierung zeigen, dass mindestens ein Demontagefabrikstandort zu eröffnen ist. Somit kann die implizite Aussage getroffen werden, dass eine Demontage ohne Demontagenetzwerk (bzw. ohne Demontagefabrikstandort) im Vergleich zur verteilten Demontagestrategie teurer ist. Insgesamt kann festgehalten werden, dass es nicht das Ziel eines mathematischen Modells ist, alle Aspekte der späteren praktischen Verwendung gleichzeitig zu betrachten und umzusetzen. Viel wichtiger ist die Festlegung unterschiedlicher Annahmen und Grenzen im Rahmen der Implementierung, um durch den Vergleich dieser verschiedenen Optimierungen eine kosteneffiziente Lösung für ein Demontagenetzwerk zu erhalten. Durch weitere Implementierungsvorgänge und Kooperationen mit Unternehmen aus der Praxis kann die Behauptung der Forschungsfrage, einer Gesamtkostenreduzierung durch die verteilte Demontage detaillierter beantwortet werden. Zudem ist ein Vergleich zwischen einem heuristischen Lösungsverfahren und dem verwendeten Verfahren der vorliegenden Arbeit anzustreben.

¹²⁵engl. proof-of-use.

