



Rückbau, Weiterbetrieb oder Repowering: eine techno-ökonomische Analyse von Windkraftanlagen

Bachelorarbeit

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

vorgelegt von

Name: Ralfs

Vorname: Bente



Prüfer: Prof. Dr. Michael H. Breitner

Hannover, den* 08.10.2018

*(Datum der Beendigung der Arbeit)

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	III
Tabellenverzeichnis	V
Abkürzungsverzeichnis	VI
Abstrakt	VII
1 Einleitung	1
1.1 Problematik	1
1.2 Zielsetzung	1
1.3 Vorgehensweise	2
2 Stand der Forschung	3
2.1 Allgemeines zur Windenergie	3
2.2 Ausbau von Windkraftanlagen in Deutschland	4
2.3 Gesetzliche Grundlagen	6
2.4 Repowering	7
3 Rechtliche Rahmenbedingungen	10
3.1 Abstandsregelungen	10
3.2 Zivile Flugsicherung	16
4 Optionen für Windkraftanlagen nach der Entwurfslebensdauer	20
4.1 Lebensdauer einer Windkraftanlage	20
4.2 Bestand an Altanlagen	22
4.3 Weiterbetrieb von Windkraftanlagen	24
4.3.1 Kosten im Weiterbetrieb	24
4.3.2 Weiterbetriebsstrategien	27
4.3.3 Finanzierbarkeit des Weiterbetriebs	31
4.4 Rückbau von Windkraftanlagen	32

Inhaltsverzeichnis	II
4.5 Repowering von Windkraftanlagen	36
4.6 Bestimmung des Rückbau- und Repoweringpotenzials	38
5 Rückbau- und Repoweringpotenzial in Schleswig-Holstein	40
5.1 Modell zur Bestimmung der Potenziale	40
5.2 Auswertung	44
5.2.1 Weiterbetrieb	44
5.2.2 Machbarkeit eines Repowering	45
5.2.3 Gesamtergebnis	48
5.3 Sensitivitätsanalyse	50
5.3.1 Senkung des Strommarktpreises	50
5.3.2 Erhöhung des Strommarktpreises	54
5.4 Vergleich der Rückbauzeitpunkte	57
6 Diskussion	59
6.1 Limitation	59
6.2 Empfehlungen	60
7 Fazit und Ausblick	62
Literaturverzeichnis	VIII
Ehrenwörtliche Erklärung	XIII

1 Einleitung

Ziel dieses Kapitels ist es, die Struktur und Arbeitsweise der vorliegenden Arbeit transparent darzustellen. Dazu wird zunächst die zugrunde liegende Problematik erläutert. Anschließend werden die Ziele dieser Arbeit vorgestellt und die angewandte Vorgehensweise dargelegt.

1.1 Problematik

Im Zuge der Energiewende wurde in Deutschland der Ausbau von Windkraftanlagen für eine nachhaltige Entwicklung der Energieversorgung vorangetrieben. Das erklärte Ziel aus dem Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG 2017) ist, bis 2025 deutschlandweit einen Anteil von 40 bis 45 Prozent des erzeugten Stroms aus erneuerbaren Energien zu gewinnen. Jedoch steht der Windenergieausbau durch die EEG-Umlage vor neuen Herausforderungen, mit dem Risiko, sich zu verlangsamen.

„Der Bund droht gerade, die Energiewende zu verstopfen.“ Mit diesen Worten gab der niedersächsische Umweltminister Olaf Lies bei der Messe WindEnergy in Hamburg am 25.09.2018 den Ausbau für Windenergie zu bedenken (Lies 2018). Das Ziel der Energiewende würde ohne den Zubau neuer Windkraftanlagen verfehlt werden (WindEnergy Hamburg 25.09.2018).

Daraus leitet sich die Problemstellung ab, dass die erste Anlagengeneration ab dem Jahr 2020 das Ende ihrer Entwurfslebensdauer erreicht. Im Zuge der bereits erwähnten EEG-Umlage werden diese Anlagen aus der EEG-Vergütung mit festen Vergütungssätzen herausfallen. Bedenklich ist, ob die Altanlagen nach dem Auslaufen der EEG-Vergütung unter wirtschaftlichen Aspekten weiterbetrieben werden können und welche Einflussfaktoren auf den Weiterbetrieb wirken. Zudem ist das Repowering hinsichtlich des Fortschritts und des Ausbaus der Windenergienutzung von großer Bedeutung. Allerdings wird in vielen Fällen das Repowering durch Abstandsregelungen und Höhenbegrenzungen verhindert.

1.2 Zielsetzung

Das übergeordnete Ziel dieser Bachelorarbeit ist es, anhand der bestehenden Problematik die Herausforderungen des Weiterbetriebs von Altanlagen zu identifizieren und die Machbarkeit eines Repowerings aufzuzeigen. Unter Bezugnahme der

raumplanerischen Rahmenbedingungen eines Bundeslandes sollen die Einflussfaktoren auf den Weiterbetrieb und das Repowering festgestellt werden. Darüber hinaus werden die wirtschaftlich optimalen Weiterbetriebsdauern und Repoweringzeitpunkte für Altanlagen in Schleswig-Holstein ermittelt.

1.3 Vorgehensweise

Die Vorgehensweise knüpft an die Zielsetzung dieser Arbeit an. Im ersten Schritt werden die Grundlagen erläutert, die für die Analyse von Windkraftanlagen notwendig sind. Dazu wird auf die Verteilung der Standortqualität in Deutschland und auf die gesetzlichen Grundlagen eingegangen.

Im zweiten Schritt werden die raumplanerischen regionalen Abstandsregelungen zu Windkraftanlagen detailliert dargestellt. Zusätzlich wird auf die Abstandsflächen um Funknavigationsanlagen und Wetterradares eingegangen, die den weiteren Windenergieausbau beeinträchtigen können. Diese Rahmenbedingungen sind nicht nur bei der Planung neuer Windenergievorhaben, sondern auch bei Repowering-Projekten zu beachten.

Unter Berücksichtigung von technischen, wirtschaftlichen und strategischen Aspekten wird im dritten Schritt die individuelle Lebensdauer einer Windkraftanlage beschrieben. Im Anschluss werden die Perspektiven einer Altanlage nach ihrer geplanten Lebensdauer von 20 Jahren aufgezeigt. Dazu werden die Strategien im Weiterbetrieb erläutert, die unterschiedliche Weiterbetriebsdauern aufweisen. Zudem wird zwischen den Möglichkeiten des Rückbaus mit und ohne nachfolgendes Repowering differenziert und das der Analyse zugrunde gelegte Weiterbetriebsmodell von HERBST (2018) und das Repowering-Modell von HEUMANN (2018) dargelegt.

Die im nächsten Schritt angewandte Weiterbetriebsanalyse und die Auswertung des Rückbau- und Repoweringpotenzials konzentrieren sich auf den Untersuchungsraum Schleswig-Holstein. Dieses Bundesland grenzt sich aufgrund einer hohen Standortqualität von den anderen Ländern in Deutschland ab. Mithilfe von Sensitivitätsanalysen werden durch die Variation der potenziellen Strommarktpreise die Auswirkungen auf den Weiterbetrieb, den Rückbau und das Repowering ausgewertet. Anschließend werden diese Ergebnisse mit der realen Anzahl an zurückgebauten Anlagen in Schleswig-Holstein bis Juni 2018 verglichen.

7 Fazit und Ausblick

Diese Arbeit beschäftigt sich mit den Möglichkeiten des Weiterbetriebs, des Rückbaus und des Repowerings von Windkraftanlagen nach dem Ende ihrer Entwurfslebensdauer. Dazu wurde als erstes die neuste Entwicklung des EEG aufgezeigt, wodurch die Altanlagen nach 20 Jahren Betrieb aus der EEG-Vergütung herausfallen. In Folge dessen werden die Strommarktpreise im Weiterbetrieb ab dem Jahr 2020 durch Ausschreibungsverfahren ermittelt.

Des Weiteren wurden die regionalen Abstandsregelungen von Anlagen zu Siedlungen, zu der Infrastruktur und dem Naturschutz zusammengetragen, die bei der Durchführung von Repowering-Projekten beachtet werden müssen. Unter Berücksichtigung dieser Abstandsregelungen und der Abstände zu Radaranlagen wurde eine techno-ökonomischen Analyse von Altanlagen in Schleswig-Holstein vorgenommen. Der betrachtete Datensatz umfasst Anlagen in Schleswig-Holstein, die einschließlich bis 2025 aus der EEG-Vergütung herausfallen werden. Das Ziel dieser Analyse war, den optimalen Rückbauzeitpunkt und das zeitabhängige Repoweringpotenzial der Standorte alter Anlagen in Schleswig-Holstein zu bestimmen. Durch eine Standortanalyse wurden die Ausschlussgebiete und die für ein Repowering geeigneten und ungeeigneten Standorte auffindig gemacht. Mithilfe der Wirtschaftlichkeitsanalyse wurde eine hohe Weiterbetriebmöglichkeit mit dem Low Budget-Konzept aufgrund der sehr guten Standortqualität Schleswig-Holsteins festgestellt. Das Repoweringpotenzial wird durch die räumlichen Einschränkungen stark begrenzt. Die resultierenden optimalen Rückbauzeitpunkte nach dem Weiterbetriebsende und aufgrund der optimalen Repoweringzeitpunkte liegen in einem Zeitraum von 2017 bis 2029.

Diese Ergebnisabschätzung wurde anhand von drei Szenarien dargestellt, bei denen die Höhe der potenziellen Marktpreise variiert wurde. Die Marktpreisveränderungen führten innerhalb des optimalen Rückbauzeitraumes zu einer Verschiebung der jährlich betrachteten Rückbauzeitpunkte. Insgesamt wurde festgestellt, dass bereits eine zehnpromtente Veränderung des Marktpreises große Abweichungen hinsichtlich der Weiterbetriebmöglichkeit und des zeitpunktabhängigen Repoweringpotenzials bewirkte. Um eine realistische jährliche Schätzung der optimalen Weiterbetriebsdauer und des Repoweringpotenzials zu erhalten, ist es für die weitere Forschung erforderlich, die Modellierung der Marktpreisprognosen zu präzisieren.

Durch den Vergleich der tatsächlichen Rückbauzeitpunkte mit den berechneten optimalen Rückbauzeitpunkten der Szenarien wurden für das Jahr 2017 und bis Juni 2018 Differenzen in der Anzahl zurückgebauter Anlagen festgestellt. Die Zahl tatsächlich zurückgebauter Anlagen übersteigt die nach den Szenarien wirtschaftlich optimale Anzahl an Stilllegungen, da trotz vorhandener Rentabilität vom Weiterbetrieb abgesehen wird. Aufgrund des erhöhten finanziellen Risikos des Low Budget-Konzeptes im Weiterbetrieb, wurden viel Anlagen bereits nach dem Ende der Entwurfslebensdauer repowert. Um den Weiterbetrieb attraktiver zu gestalten, sollte auch für diese Weiterbetriebsstrategie ein erweitertes Versicherungskonzept entwickelt werden.

Die Abweichungen in der Anzahl zurückgebauter Anlagen zeigen, dass sich der Weiterbetrieb von Altanlagen und das Repowering zurzeit in der Ausbauphase befinden. Die wirtschaftlichen Optionen werden in den nächsten Jahren einen neuen und für die Erzeugung von Strom aus erneuerbaren Energien bedeutenden Markt erschließen. Im Hinblick auf das Ziel der Energiewende und der begrenzten Ausbaumöglichkeiten ist es notwendig, den wirtschaftlich profitablen Weiterbetrieb als alternative Lösung zum Repowering zu sehen.