

Qualitative Analyse des volkswirtschaftlichen Nutzens von Repowering in der Stromproduktion aus Windkraft

Martin BARESCH*, Sebastian GOERS, Robert TICHLER

Energieinstitut an der JKU Linz, Altenbergerstr. 69, A-4040 Linz, +43 732 2468 5677,
baresch@energieinstitut-linz.at

Kurzfassung:

Ziel dieser Studie ist die Definition und ausführliche qualitative Diskussion der volks- bzw. gesamtwirtschaftlichen Zweckmäßigkeit von vorzeitigem Repowering von Windkraftanlagen und damit auch der generellen ökonomischen Vor- und Nachteile der Stromproduktion aus Windenergie. Das Repowering von Windkraftanlagen bedeutet, bestehende Windkraftanlagen durch neue, größere und effizientere Anlagen zu ersetzen. Möglich ist dies durch einen technologischen Fortschritt in der Stromproduktion basierend auf Windenergie, der in den vergangenen Jahrzehnten vollzogen wurde. Bei der Analyse der volkswirtschaftlichen Aspekte, die durch Repowering entstehen, wurden insbesondere die fünf wesentlichen Marktteilnehmer (Windkraft-Anlagenbetreiber, Energieunternehmen, öffentliche Hand, Anwohner und Konsumenten) und die Auswirkungen auf diese betrachtet. Fokus der Studie ist auch ein mögliches, vorzeitiges Repowering von Windkraftanlagen in Österreich. Dieses wird hinsichtlich seiner volkswirtschaftlichen Zweckmäßigkeit untersucht und es wird erörtert, welche Gegebenheiten für solche Realisierungen erfüllt sein müssen.

Keywords: Windkraft, Windkraftanlagen, Repowering, Volkswirtschaftliche Zweckmäßigkeit

1 Einleitung

Dieser Beitrag enthält Teile der Langfassung der Studie „Qualitative Analyse des volkswirtschaftlichen Nutzens von Repowering in der Stromproduktion aus Windkraft“, welche im Auftrag der Energie Burgenland Windkraft GmbH vom Energieinstitut an der Johannes Kepler Universität Linz im Jahr 2017 erstellt wurde.

1.1 Studieninhalt

Bei der Stromproduktion aus Windenergie wurden in den vergangenen Jahrzehnten deutliche Steigerungen in der installierten Leistung erreicht. Innerhalb der letzten 20 Jahre hat sich alleine in Österreich die installierte Nennleistung von damals ca. 0,4 MW pro Anlage hin zu einer Leistung von heute fast 3 MW pro Anlage entwickelt. Moderne Anlagen haben mit ihren Vorgängergenerationen nur noch wenig hinsichtlich Leistungsfähigkeit und Effizienz gemein. Zusätzlich ergeben sich, neben den betriebswirtschaftlichen Vorteilen für Anlagenbetreiber, auch Vorteile für die Allgemeinheit. Moderne Anlagen laufen leiser,

gleichmäßiger und stabilisieren das Netz. Doch potentielle Bebauungsflächen für Windkraftanlagen sind beschränkt. Um dieser Verknappung entgegenzuwirken, wird deshalb die Möglichkeit erwogen, die Standorte alter Windanlagen zu nutzen und sie mit neuen, modernen und leistungsfähigeren Anlagen zu bebauen. Diese Form der erneuten Nutzung von Standorten für Stromproduktionsanlagen nennt man „Repowering“.

Die im Juni 2017 im Nationalrat beschlossene Ökostromnovelle impliziert Investitionsimpulse für die Windenergiebranche durch den Ausbau der Windkraftkapazität und Sonderkontingente für die Umsetzung von bereitstehenden Windkraftprojekten. Wie mit etwaigen Repoweringprojekten umgegangen werden soll, kann der aktuellen Novelle nicht entnommen werden. Diese könnten zum Erreichen der Ausbauziele zusätzliche Potentiale darstellen. Durch Repowering von Windkraftanlagen werden alte Windkraftanlagen durch moderne, effizientere Anlagen mit einem höheren Wirkungsgrad ersetzt. Somit kann bei einer Beibehaltung der Anlagenanzahl und gleichzeitiger Erhöhung der Leistung durch effizientere Nutzung der Standorte eine Steigerung des Ertrags erreicht werden.

Kalkulationen zeigen, dass Maßnahmen zum Repowering vor Erreichen ihrer technischen Lebensdauer aus betriebswirtschaftlicher Sicht sinnvoll sein können [2, 11, 14, 19]. Für die Prüfung der Förderwürdigkeit sind Bestätigungen zur volkswirtschaftlichen Zweckmäßigkeit in Diskussion. Ziel dieser Studie ist die Definition und ausführliche qualitative Diskussion der volks- bzw. gesamtwirtschaftlichen Zweckmäßigkeit von vorzeitigem Repowering von Windkraftanlagen.

Die folgenden beiden Unterkapitel bilden eine kurze Einleitung zum Thema Windkraft in Österreich sowie zur bisherigen Förderung durch das Ökostromgesetz. In Kapitel 2 folgt eine Diskussion des Begriffs „Volkswirtschaftlichen Zweckmäßigkeit“. Die volkswirtschaftlichen Aspekte der Stromproduktion aus Windkraft sowie von Repowering von Windkraftanlagen werden in Kapitel 3 und 4 beschrieben. In Kapitel 5 wird schließlich die volks- bzw. gesamtwirtschaftliche Zweckmäßigkeit eines vorzeitigen Repowering von Windkraftanlagen gegenüber Neubauprojekten an bisher ungenutzten Standorten erörtert.

1.2 Bisheriger Ausbau von Windkraft in Österreich

1998 wurde erstmals mit dem Elektrizitätswirtschafts- und –organisationsgesetz (EIWOG) für Ökostromanlagen eine Abnahmepflicht zu festen Einspeisetarifen geschaffen. Dieses wurde 2002 mit dem Ökostromgesetz (ÖSG) weiter ausgebaut. Beide Gesetze lösten einen Investitions- und Bauboom in der Windkraft aus. Seit einer Novelle des Ökostromgesetzes im Jahr 2006 werden Einspeisetarife nur mehr an jene Windkraftbetreiber vergeben, welche einen Vertrag mit der Abwicklungsstelle für Ökostrom (OeMAG) erhalten. Durch die Novelle ist für Neuanlagen nur ein beschränktes jährliches Kontingent an Fördermitteln vorhanden. Sobald dieses erschöpft ist, werden von der OeMAG keine weiteren Verträge ausgegeben. In Kombination mit äußerst niedrigen Einspeisetarifen führte dies dazu, dass der vorhergegangene starke Ausbau gedrosselt wurde.

Durch die 2009 und 2012 in Kraft getretene Änderung des Ökostromgesetzes (z.B. einer Anhebung für den verordneten Einspeisetarif in Höhe von 9,7 ct/kWh für 2010) kam es zu einem erneuten Anstieg des Windkraftausbaus in Österreich. Durch die konstanten, höheren Tarife (siehe Tabelle 1) wurden für Anlagenbetreiber entgegenkommende Rahmenbedingungen für neue Projekte geschaffen und führten so zu einem erneuten

Wachstumsimpuls. Ende 2016 reihten sich bereits 260 bewilligte Windkraftanlagen auf einer Warteliste für einen Einspeisevertrag mit der OeMAG ein [17].

Insgesamt erzeugten 2017 in Österreich 1.260 Windkraftanlagen mit einer Gesamtleistung von 2,8 GW¹ ca. 6,1 TWh Strom. Dies entspricht 9,9 Prozent des heimischen Strombedarfs bzw. dem Stromverbrauch für über 1,75 Mio. Haushalte (d.h. ca. 45 Prozent aller österreichischen Haushalte) [17]. Im Jahr 2016 waren in der österreichischen Windbranche 4.668 Personen beschäftigt. Davon entfielen 2.929 Beschäftigte auf die Bereiche Betrieb, Errichtung, Rückbau und Wartung und 1.739 auf die zuliefernde Industrie [4].

Unter der Annahme einer Verdrängung von Importstrom (ohne Atomstromanteil) ergibt sich - aus der potentiellen Jahresstromproduktion aller im Jahr 2017 in Betrieb befindlichen Windkraftanlagen in Österreich - eine Einsparung von ca. 3,9 Mio. Tonnen CO₂ [17]. Berücksichtigt man dagegen eine Verdrängung von rein fossilen Energiequellen², ergibt sich eine Einsparungen von ca. 4,8 Mio. Tonnen CO₂ für das Jahr 2016 [4].

1.3 Förderung von Stromproduktion aus Windkraft

Neben topografische Bedingungen und Windverhältnissen spielen für einen strukturierten Ausbau der Windkraft vor allem rechtliche und wirtschaftliche Rahmenbedingungen eine wesentliche Rolle. Zur Erreichung der Energie- und Klimazielvorgaben der Europäischen Union wurde in Österreich im Jahr 2010 die Energiestrategie mit Zielen bis zum Jahr 2020 vorgestellt. Diese Strategie basiert auf drei Dimensionen: Steigerung der Energieeffizienz, Ausbau erneuerbarer Energie und Sicherung der Versorgung. Für den Ausbau erneuerbarer Energie wurde u.a. ein starker Zuwachs bei der Leistung von Windkraft (10 PJ) bis zum Jahr 2020 festgelegt [3]. Der Ausbau von erneuerbaren Energien, insbesondere im Stadium der technologischen Entwicklung, benötigt stabile und langfristige Rahmenbedingungen. Diese wurden und werden in Österreich mittels eines Mindestpreissystems als Fördermodell garantiert.

Das ÖSG sieht für Strom aus erneuerbaren Energiequellen eine Abnahmepflicht zu festen Einspeisetarifen vor. Die Förderung erfolgt über die Ökostromabwicklungsstelle OeMAG, die zur Kontrahierung (Abschluss von Förderverträgen) verpflichtet ist, solange die gesetzlich vorgesehenen Mittel für neue Anlagen noch nicht ausgeschöpft sind. Für die Vergabe der Förderverträge durch die Ökostromabwicklungsstelle OeMAG gilt wie bisher das first-come-first-serve-Prinzip. Der Vertragsabschluss erfolgt zu jenem Tarif, der zum Zeitpunkt der Antragstellung in Geltung war. Anträge, die nicht zum Zug kommen, erlöschen nach Ablauf des vierten Folgejahres (seit der Ökostromnovelle 2017 [22], davor nach Ablauf des dritten Folgejahres) nach Einlangen des Antrags. Ökostromanlagen, die einen Vertrag erhalten, liefern ihren Strom zu festgelegten Einspeisetarifen an die OeMAG. Die Dauer der Tariflaufzeit beträgt für Windkraft 13 Jahre [21].

Für die Abnahme elektrischer Energie aus Windkraftanlagen ergeben sich die in Tabelle 1 dargestellten Einspeisetarife gemäß Ökostrom-Einspeisetarifverordnungen.

¹ Die im ÖSG 2012 gesetzten Ziele für Windkraft, bis 2020 eine Errichtung von zusätzlich 2.000 MW gegenüber 2010, könnten bereits in den kommenden Jahren erreicht werden (siehe Tabelle 1).

² Durch EU-Richtlinie ist der Vorrang erneuerbarer Energien gesichert, d.h. vermehrte heimische Produktion aus erneuerbaren Energien kann keine erneuerbaren Energien aus anderen EU-Staaten verdrängen.

Tabelle 1: Einspeisetarife gem. Ökostrom-Einspeisetarifverordnungen in Österreich, 2003-2017

	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Einspeisetarif (ct/kWh)	7,80	7,80	7,80	7,65	7,55	7,54	7,53	9,70	9,70	9,50	9,45	9,36	9,26	9,04	8,95

Quelle: *Einspeisetarifverordnungen.*

Die Kontrahierungspflicht der Ökostromabwicklungsstelle OeMAG besteht nur in jenem Ausmaß, als das jeweilig zur Verfügung stehende zusätzliche jährliche Unterstützungsvolumen nicht überschritten wird. Dieses für neue Ökostromanlagen vorgesehene Unterstützungsvolumen beträgt jährlich 50 Mio. €, wovon 11,5 Mio. € allein für Windkraft zur Verfügung stehen. Zusätzlich gibt es eine verbleibende Rest-Fördermenge von 19 Mio. €, der von Photovoltaik zum Netztarif, Wasserkraft und Windkraft ansprechbar ist. Aufgebracht werden die Fördermittel über Ökostrompauschale und Ökostromförderbeitrag, die von den Endverbrauchern einzuheben sind [21]. Bisher gelten für Anlagen, für welche bereits einmal ein Vertrag mit der Ökostromabwicklungsstelle abgeschlossen wurde, der Tarif und die Laufzeit gemäß den Konditionen des erstmaligen Vertragsabschlusses.

Durch die Ökostromnovelle 2017 wurde beschlossen, dass 45 Millionen € zusätzliche Mittel (30 Mio. € 2017 und 15 Mio. € 2018) für den Abbau der Warteschlange zum Windkraftausbau zur Verfügung gestellt werden. Diese Mittel reichen nach Angaben von IG Windkraft für circa 120 Windkraftanlagen mit 350 MW Leistung [22].

2 Diskussion des Begriffs „Volkswirtschaftliche Zweckmäßigkeit“

Wie in der Einleitung bereits angeführt, wird für die zukünftige Vergabe von Förderungen eine Bestätigung zur volkswirtschaftlichen Zweckmäßigkeit diskutiert. In diesem Kapitel wird der Begriff „Volkswirtschaftliche Zweckmäßigkeit“ eingehend erörtert sowie auf dessen Relevanz für die folgenden Kapitel eingegangen.

Allgemein kann Zweckmäßigkeit als ein Prinzip des Handelns definiert werden, nach dem von mehreren Alternativen diejenige gewählt werden sollte, die eine Erreichung eines angestrebten Ziels am besten sichert. Unter einem volks- bzw. gesamtwirtschaftlichen Kontext gilt es demzufolge so zu handeln, dass das Verhältnis zwischen Ressourceneinsatz (z.B. Finanzmittel, Bauland, Technologie) und Zielgröße (z.B. Energieproduktion, Reduktion von fossilen Brennstoffen und CO₂-Austoß, etc.) optimiert wird. Grundsätzlich wird beim Ressourceneinsatz meistens von Kosten ausgegangen, die in monetären Einheiten bewertet werden können. Die Zielgröße muss dagegen nicht in monetären Einheiten definiert sein. In einer volkswirtschaftlichen Betrachtung handelt es sich häufiger um Nutzen- oder Mengengrößen [9]. Unter dem Begriff „Volkswirtschaftliche Zweckmäßigkeit“ wird in weiterer Folge das Verhältnis vom volkswirtschaftlichen Nutzen zu den volkswirtschaftlichen Kosten gesehen und als Kosten-Nutzen-Analyse behandelt.

Die Kosten-Nutzen-Analyse (Cost-Benefit Analysis) wird in der Ökonomie als Instrument zur Evaluation von Markteingriffen des Staates benutzt. Wohlfahrtstheoretisch begründet muss in diesem Zusammenhang eine staatliche Maßnahme durch einen gesamtwirtschaftlichen Wohlfahrtsgewinn gerechtfertigt sein. Zur Analyse, ob es zu einem gesamtwirtschaftlichen Wohlfahrtsgewinn kommt, wird eine Aktion (Nutzen) mit deren Aufwand (Kosten) in

Verhältnis gesetzt. Ein Wohlfahrtsgewinn bedeutet nach gängigem, utilitaristischen Ansatz³, dass die Kosten für den Staat durch den dadurch entstehenden Gesamtnutzen einer Intervention kompensiert werden. In diesem Fall, kann bei einer Durchführung mit einer potentiellen gesamtwirtschaftlichen (Pareto-⁴) Verbesserung gegenüber dem Anfangszustand gerechnet werden [8].

Konkret untersucht dabei die Kosten-Nutzen-Analyse staatlich geförderte Vorhaben (die von öffentlichem Interesse sind) und evaluiert bzw. vergleicht die Kosten sowie den Nutzen in monetären Einheiten [9]. Bei nicht sicher eintretenden Nutzen und Kosten verwendet man geschätzte Erwartungswerte. Durch einen daraus resultierenden Nutzenüberschuss, erfüllt ein solches staatliches Vorhaben die Anforderungen der utilitaristischen Wohlfahrtstheorie. Es sollte in diesem Fall durchgeführt werden, ansonsten unterbleiben. Zur Bestimmung von Netto-Gegenwartswerten in mehr als einer Zeitperiode eines Projekts erfolgt eine Abzinsung der Kosten und Nutzen [8].

Sofern möglich, werden erwartete Nutzen sowie Kosten in monetären Einheiten gemessen. Dies ist vor allem notwendig, um die beiden Parameter vergleichbar zu machen. Schwierigkeiten für Kosten-Nutzen-Analysen entstehen überwiegend bei nicht in monetären Einheiten quantifizierbaren Nutzen. Diese entstehen zum einen bei Bewertungen von Waren und Dienstleistungen, die nicht auf gewöhnlichen Märkten gehandelt werden (u.a. verschiedenste Umweltgüter oder Gesundheitsaspekte), zum anderen bei qualitativen Nutzen (z.B. sozio-ökonomischem oder -ökologischem Nutzen). Für die Analyse wird entweder ein Schattenpreis des Effekts eingesetzt oder eine andere Art der Kosten-Nutzen-Analyse (z.B. Kosten-Wirksamkeits- oder Kosten-Nutzwert-Analyse⁵) verwendet [8, 9].

In der vorliegenden Studie wird eine ausführliche qualitative Diskussion der volks- bzw. gesamtwirtschaftlichen Zweckmäßigkeit von vorzeitigem Repowering von Windkraftanlagen angestrebt. Aus diesem Grund wird qualitativ auf die entstehenden Kosten und Nutzen dieser Maßnahme eingegangen bzw. die Kosten und Nutzen des Repowering mit jenen einer Erstinstallation einer Windkraftanlage (auf bisher unbenutzten Flächen) verglichen.

3 Volkswirtschaftliche Aspekte der Stromproduktion aus Windkraft

Auf (Onshore-)Standorten mit hohem Windpotential sind Windkraftanlagen heute gegenüber konventionellen Kraftwerken wettbewerbsfähig [5, 12, 13, 23]. In der wissenschaftlichen Literatur wird davon ausgegangen, dass sich die Windenergie langfristig zur günstigsten Form der Energiegewinnung entwickeln wird [1, 24]. Aufgrund ihrer Verfügbarkeit, niedrigen Kosten sowie dem technologischen Entwicklungsstandes gilt Windenergie als eine der aussichtsvollsten regenerativen Energiequellen weltweit [23, 29]. Zusätzlich gilt Windenergie als eine der sichersten und umweltfreundlichsten Stromarten. Dennoch bedeuten die Errichtung und der Betrieb von Windkraftanlagen Eingriffe in die Umwelt (z.B. Bebauungsfläche, Vogelwelt). Diese Eingriffe sind bei der Windenergie generell als sehr gering einzustufen, treten überwiegend lokal auf und sind gut kontrollierbar. Verglichen mit

³ Bei diesem wird der aggregierten Gesamtnutzen, d.h. die Summe des Wohlergehens aller Betroffenen, maximiert.

⁴ Wenn ein Nutznießer besser gestellt wird, ohne den Zustand eines andere Nutznießers zu verschlechtern.

⁵ Dabei wird der Nutzen z.B. in physischen Größen oder Präferenzen dargestellt.

konventioneller Energieerzeugung sind Umweltbelastungen durch Stromproduktion aus Windenergie gering [2, 16].

Die Österreichisch Energiestrategie stellt klare volkswirtschaftliche Ziele und damit eine zentrale Basis zur Einordnung zukünftiger Ausbaupläne von Windkraftanlagen für Österreich dar (siehe auch Kapitel 1.3). Unter dem volkswirtschaftlichen Aspekt der Versorgungssicherheit soll die Erzeugung aus erneuerbaren inländischen Energieträgern forciert werden. Zusätzlich werden dadurch die Importabhängigkeit und der Ausstoß von CO₂-Emissionen durch die Verbrennung von fossilen Energieträgern reduziert [3]. Die Energieerzeugung aus Windkraft trägt in diesem Zusammenhang einen wertvollen Beitrag zur inländischen Diversifizierung der Energieträger und Stromproduktion bei. Dies ist auch deshalb nötig, da aufgrund einer zunehmenden Elektrifizierung unseren Energiesystems, ein steigender Strombedarf gedeckt werden muss. Dieser erhöhte Stromverbrauch musste in den letzten Jahren oft durch Nettoimporte von Strom bedient werden (Österreichische Nettoimporte Strom 2013: 7,3 TWh, 2014: 9,3 TWh, 2015: 10,1 TWh) [10, 26].

Neben Versorgungssicherheit profitiert die österreichische Volkswirtschaft aus ökonomischer Perspektive vor allem durch Investitionen in Windkraftanlagen. Durch die Investitionsimpulse, die durch den Bau und Betrieb neuer Windkraftanlage in Österreich entstehen, ist mit einem positiven Effekt in Form einer Steigerungen des Bruttoinlandsprodukts und der Beschäftigung⁶ zu rechnen. Die Annahme eines steigenden Bruttoinlandsprodukts erklärt sich aus dem voraussichtlich positiven Einfluss der Investitionen auf [27]:

- die heimische Wertschöpfung in den Wirtschaftssektoren (insbesondere in der Energiebranche, dem Bausektors und der Zulieferindustrie),
- die Nettoimporte (ausgelöst durch eine Reduktion der energetischen Importe wie Strom und fossilen Brennstoffen zur Stromproduktion) und
- den privaten Konsum als Sekundäreffekt (ausgelöst durch zusätzliche Arbeitsplätze und damit zusätzlichem Einkommen).

Vorteilhafte Aspekte der Windenergie-technik hinsichtlich des Arbeitsmarkts wurden bereits empirisch untersucht. Diesbezüglich ergibt sich gemäß Heier (2016) [15] in Deutschland bei gleicher Stromerzeugung ein Mehrfaches an Arbeitsplätze als bei konventionellen Kraftwerken.⁷ Bei einem Vergleich der Arbeitsplatzgenerierung von Windkraft und Kohlekraft (die mit importierter Steinkohle betrieben werden) ergibt sich nach Angaben von Heier ein positiver Arbeitplatzeffekt um den Faktor 4 (pro generierter kWh) für Windkraft, beim Vergleich mit Kernkraftwerken ein positiver Faktor von ca. 10 [15].

Zusätzlich erfolgt aus volkswirtschaftlicher Perspektive eine Internalisierung externer Kosten, die andernfalls durch nicht erneuerbare Technologien, in Form von CO₂-Emissionen, entstehen würden [27].

⁶ Neben Anlagenbetreibern, Konstruktions- und Wartungsbetrieben sind vor allem auch österreichische Unternehmen, die als Zulieferer für große Windkraftanlagenhersteller fungieren, als konstante Wirtschafts- und Beschäftigungsfelder in der Windenergiebranche zu nennen.

⁷ Von Heier (2016) [16] werden insbesondere die Branchen Elektroindustrie sowie der Anlagen- und Maschinenbau hervorgehoben, die neue Arbeitsfelder mittels Windkraftanlagenbau erschließen konnten. Arbeitsplätze wurden vor allem für die Herstellung von Getrieben, Generatoren sowie Steuerungs- und Regelungstechnik, im Turmbau oder der Rotorblattfertigung geschaffen. Zusätzlich ist der Bau- und Betriebsaufwand von Windkraftanlagen verhältnismäßig arbeitsintensiv, da zur Nutzung der kleinen Energiedichte des Windes, sehr viele Windkraftanlagen im MW-Bereich entstehen und nicht einzelne Großkraftwerksanlagen im GW-Bereich. Des Weiteren erfolgt eine Förderung von Arbeitskräften in der Zulieferindustrie. In Deutschland ist die Windenergieindustrie bereits nach den Automobilherstellern der zweitgrößte Stahlabnehmer.

Herausforderungen in Hinblick auf volkswirtschaftliche Aspekte von Windkraftanlagen sind der Anspruch der Wirtschaftlichkeit und der Raumplanung. Um diesen Genüge zu tun, kommen nur Gebiete mit hoher Windgeschwindigkeit und genügend räumlicher Abgrenzung zu Siedlungsgebieten in Frage. Hierbei ist anzuführen, dass Österreich hohe Potentiale zur Windenergienutzung aufweist [4].

Starke natürliche Schwankungen in der Stromproduktion durch Windkraftanlagen stellen eine weitere volkswirtschaftliche Herausforderung dar. Diese benötigen, neben einem Ausgleich durch andere Erzeugungstechnologien, auch einen Ausbau von Speicherkapazitäten. Damit setzen Windkraftanlagen eine Integration eines verstärkten Einsatzes von Strom aus anderen erneuerbaren Energieträgern voraus. Zusätzlich werden Speicherkapazitäten in Kombination zur Windenergieproduktion benötigt. Als Technologien mit großem Speicherpotential werden Pump-Speicherkraftwerken und Power-to-Gas-Anlagen gesehen. Windkraftanlagen in Kombination solcher Speichertechnologien werden als optimaler Stromerzeugungsverbund gesehen, da im Falle von verstärkter Windkraft-Stromerzeugung die Speicherkapazität genutzt werden können. In windschwachen Perioden findet eine Kompensation der Stromerzeugungsdefizite durch die Speicher statt [3, 28].

4 Volkswirtschaftliche Aspekte des Repowering von Windkraftanlagen

Wie die meisten technischen Anlagen sind Stromerzeugungsanlagen zumeist für eine bestimmte Lebensdauer ausgelegt. Nach Ablauf der Lebensdauer erfolgt entweder eine Stilllegung der Anlage oder es kommt zum Repowering.

Unter Repowering wird das Austauschen alter Kraftwerke durch neue Anlagen bzw. Anlagenteile, beispielsweise mit höherem Wirkungsgrad verstanden, wobei Teile der schon vorhandenen Anlagen und der Infrastruktur weiterverwendet werden [25]. Der günstigste Zeitpunkt für das Repowering einer Anlage hängt von verschiedenen Faktoren ab. Darunter fällt u.a. die Höhe der Betriebskosten der alten Anlage, der Aspekt ob in naher Zukunft größere Reparaturen oder Wartungsarbeiten anstehen, die Höhe der Finanzierungskosten einer neuen Anlage, das generelle Zinsumfeld, die Weiterentwicklung der eigenen und alternativen Technologie seit Inbetriebnahme der Anlage sowie der erwartete technologische Fortschritt. Repowering wird in der konventionellen Energieerzeugung schon seit längerer Zeit angewandt. Durch technologischen Fortschritt und Alterung der bestehenden Anlagen steigt seit einigen Jahren aber auch dessen Bedeutung in der Windenergiebranche [19, 24].

Aus volkswirtschaftlicher Perspektive entsteht durch Repowering eine große Bandbreite an vorteiligen Aspekten, es beinhaltet aber auch nachteilige Aspekte. Diese erstrecken sich auf fünf wesentliche Marktteilnehmer: Windkraftanlagen-Betreiber, Energieunternehmen, öffentliche Hand, Anwohner und Konsumenten. In den folgenden beiden Unterkapiteln werden zuerst die volkswirtschaftlichen Vorteile der einzelnen Marktteilnehmer qualitativ analysiert. Anschließend wird auf potentielle negative Aspekte von Repowering von Windkraftanlagen eingegangen.

4.1 Positive volkswirtschaftliche Teil-Aspekte von Repowering

Von Interessenvertretungen der Windbranche wird Repowering gegenüber einem Erhalt der Altanlagen meist unter den folgenden Schlagwörtern zusammenfasst:

„Halbierung der Anlagenzahl; Verdoppelung der Leistung; Dreifacher Stromertrag; Hälfte der Umdrehungszahl; Steigerung der Volllaststunden; Deutlich verbesserte Netzverträglichkeit moderner Anlagen“, BWE (2012) [6]

Diese Auflistung signalisiert bereits, warum insbesondere von Seiten der **Windkraftanlagen-Betreiber** erhebliches Interesse an Repowering besteht. Technologische Entwicklung, Änderungen in der konstruktiven Auslegung (z. B. höhere Nabenhöhe und größere Rotorflächen) und effizientere Nutzung der Standorte ermöglichen es neuen Windrädern, zumeist mehr Volllaststunden zu erreichen. Dabei wird bei Verdopplung der Nennleistung meist mit einem dreifachen Stromertrag (im Vergleich zu einem alten Windrad) gerechnet. Zusätzlich sind neue Windkraftanlagen durch den technologischen Fortschritt zuverlässiger und wartungsärmer geworden. Betreiber profitieren somit durch Repowering von höheren Winderträgen, einer höheren Effizienz sowie geringeren Ausfalls- und Wartungskosten und können damit insgesamt höhere Gewinne erzielen [6, 11, 23, 24].

Beim Repowering von Windkraftanlagen werden alte Anlagen meist an gleicher oder nahegelegener Stelle durch neue Anlagen vollständig ersetzt. Für Betreiber von Windkraftanlagen ergibt sich damit der Vorteil gegenüber Anlagen auf bisher unbebauten Standorten, dass Teile der Infrastruktur, beispielsweise Stromnetze, Umzäunungen und Zufahrten, oft weiter verwendet werden können und ihnen bereits Daten zum Standort und den Windgegebenheiten zur Verfügung stehen [14, 23, 25]. Dagegen müssen neue Standorte, die bislang nicht für Windkraftanlagen genutzt wurden, oft lange Planungsverfahren abwarten. Dies erzeugt Unsicherheit bei Neuprojekten, wohingegen vorhandene Standorte meist Bestandsschutz und Anrainerakzeptanz genießen [19, 23].

Abschließend muss für Windkraftanlagen-Betreiber die Möglichkeit des Verkaufs der gebrauchten Anlagen, die Funktion als Ersatzteillager oder deren Verschrottungserlöse miteinbezogen werden. Für gebrauchte Anlagen gibt es bereits einen internationalen Markt, da Entwicklungsländer oft an der Förderung günstiger erneuerbarer Energiequellen interessiert sind [23].

Nach einem Repowering stehen in einem Windpark meistens deutlich weniger Anlagen. Grund dafür sind größere Rotoren, die durch ihren Umfang mehr Platz und Abstand benötigen und dadurch die Gesamtanzahl an Windrädern sinken lassen. Für **Anwohner** ergibt sich damit der Vorteil, dass die Zahl der Windkraftanlagen durch Repowering abnimmt. Zusätzlich laufen moderne Windanlagen (durch besser Körperschallentkopplung, Aerodynamik und -geometrie) leiser sowie ruhiger (da die maximale Drehzahl durch größere Rotordurchmesser sinkt) als ihre Vorgänger [11, 23, 24].

Planungsfehler der ersten Windenergieanlagen (z. B. zu geringe Abstände zur Wohnflächen) können durch Repowering korrigiert werden. Dies ist für die **öffentliche Hand** (insbesondere Gemeinden) von Interesse, da beim Repowering neue Auflagen und Gesetze (bspw. Lärm und Abstandsregeln) eingehalten werden müssen. Ebenso können problematische Einzelstandorte aufgelassen und zu Windparks zusammengelegt werden [6, 25].

Für **Energieunternehmen** und **Konsumenten**, aber auch für die öffentliche Hand und Anlagenbetreiber ermöglicht Repowering eine steigende Verträglichkeit für Stromnetze durch moderne Anlagen. Diese können besser in das elektrische Netz integriert werden, da sie konstanter produzieren und regelbare Blindleistung zur Verfügung stellen [6, 14, 23, 25].

4.2 Negative volkswirtschaftliche Teil-Aspekte von Repowering

Damit Repowering für **Windkraftanlagen-Betreiber** attraktiv ist, müssen eine mögliche Finanzierung und die Wirtschaftlichkeit eines solchen Projektes gegenüber dem Erhalt der Altanlagen gegeben sein. Grundsätzlich ist anzunehmen, dass bei Eigentümern von Windparks das Interesse vorherrscht, mit bestehenden Anlagen weiter Strom zu produzieren. Die bestehenden, alternden, aber immer noch leistungsfähigen Windkraftanlagen, erzielen weiterhin Einnahmen (aus meistens bereits abgeschrieben Anlagen). Somit besteht für sie wenig wirtschaftlicher Anreiz für Repowering, da dieses neue Investitionen erfordert. Entscheidender Punkt bei dieser Annahme ist, dass es weiterhin eine hohe Verfügbarkeit von Standorten mit gutem Windpotential gibt, die, als Alternative zum Repowering, bebaut werden können (auf diese Problemstellung wird im Detail in Kapitel 5 eingegangen) [23].

Sollten sich Windkraftanlagen-Betreiber für Repowering entscheiden, entsteht für sie (und damit gesamtwirtschaftlich) während der Abbauphase der alten- bzw. Errichtungsphase der neuen Anlage eine vorübergehende Reduktion von Einnahmen. Zusätzlich können sich gegenüber der Beibehaltung der alten Anlagen weitere Probleme ergeben: Da die Anlagengröße steigt, benötigen Repowering-Projekte oft aufwändigere Fundamente. Bei ungünstigen Bodenverhältnissen kann dies die Investitionskosten stark erhöhen. Des Weiteren erfordern Repowering-Projekte (insbesondere solche, die zu erheblichen Kapazitätserhöhungen führen) möglicherweise neue Übertragungslizenzen und/oder Umweltgenehmigungen, sodass hohe administrative Kosten für die Betreiber oder Verzögerungen beim Bau entstehen. Auch kann die Anlieferung großer Komponenten aus infrastrukturellen Gegebenheiten unmöglich bzw. sehr aufwändig sein [23].

Nicht immer ist es möglich, bestehende Windkraftanlagen durch größere und damit in der Regel höhere Anlagen zu ersetzen. Die **öffentliche Hand** kann, wenn z.B. eine Gefährdung des Luftverkehrs besteht, keine neuen höheren Repowering-Anlagen genehmigen oder muss diese in ihrer Höhe beschränken. Des Weiteren geht durch größere Anlagen auf alten Standorten auch meist eine Notwendigkeit der Kennzeichnung (Befeuerung) einher.⁸ Die Vogelwelt wird durch höhere Windräder ebenfalls zusätzlich gefährdet. Durch die Reduktion der Gesamtanzahl von Windkraftanlagen bei Repoweringprojekten ergibt sich aber eine gleichzeitige Entlastung [7, 19].

Für **Anwohner** ergeben sich neben den oben genannten Vorteilen auch Nachteile. Repowering führt zu weniger, aber dafür höheren (und damit besser und weiter sichtbaren) Windkraftanlagen auf alten Standorten. Werden ältere, kleine Anlagen durch große, moderne ersetzt, geht damit auch die Notwendigkeit der Kennzeichnung einher. Die vor allem gegen den Nachthimmel weithin sichtbare Anlagenbeleuchtung wird häufig als störend empfunden. Darunter leidet unter anderem die Akzeptanz von Repowering-Projekten [20, 23].

⁸ Als Luftfahrthindernisse werden in Österreich Bauten mit über 100 m Höhe bezeichnet.

Für **Energieunternehmen** (und **Konsumenten**) entsteht durch Repowering während der Abbauphase der alten- bzw. Errichtungsphase der neuen Anlage ein vorübergehender Entfall an Stromproduktion. Da es sich bei einzelnen Windkraftanlagen aber um relativ kleine Stromquellen handelt, entsteht dadurch nur ein schwach ausgeprägter negativer Aspekt.

4.3 Zusammenfassung und Fazit

Tabelle 2 stellt eine Zusammenfassung der volkswirtschaftlichen Vorteile und potentiellen negative Aspekte von Repowering von Windkraftanlage gegenüber Altanlagen sowie gegenüber Anlagen an neuen Standorten dar.

Tabelle 2: Zusammenfassung der positiven und negativen volkswirtschaftliche Teil-Aspekte von Repowering

a) Gegenüber Altanlagen:		
	Positive Aspekte	Negative Aspekte
Windkraftanlagen-Betreiber	<ul style="list-style-type: none"> • Effizientere Nutzung der Standorts • Höhere Winderträge • Zuverlässigere und wartungsärmere Windkraftanlagen • Verkauf oder Ersatzteile von Alt-Anlagen 	<ul style="list-style-type: none"> • Vorübergehende Reduktion von Einnahmen • Unsicherheiten (Fundamente, Übertragungslizenzen, etc.)
Anwohner	<ul style="list-style-type: none"> • Geringerer Eingriff ins Landschaftsbild • Leiser • Ruhiger / langsamer 	<ul style="list-style-type: none"> • Neue Windkraftanlagen größer, d.h. besser sichtbar und evtl. Beleuchtung notwendig
Öffentliche Hand	<ul style="list-style-type: none"> • Geringerer Eingriff ins Landschaftsbild • Planungsfehler beheben • Einzelstandorte auflassen 	<ul style="list-style-type: none"> • Herausforderungen durch höhere Windkraftanlagen
Energieunternehmen und Konsumenten	<ul style="list-style-type: none"> • Höhere Verträglichkeit für Stromnetze • Konstantere Produktion • Regelbare Blindleistung 	<ul style="list-style-type: none"> • Produktionsentfall während Umbauarbeiten
b) Gegenüber Anlagen an neuen Standorten:		
	Positive Aspekte	Negative Aspekte
Windkraftanlagen-Betreiber	<ul style="list-style-type: none"> • Besseres Windpotential • Weiterverwendung von Infrastruktur • Vorhandene Daten • Vorhandene Akzeptanz • Kürzere Planungsverfahren • Verkauf oder Ersatzteilmutzung von Alt-Anlagen 	<ul style="list-style-type: none"> • Alte abgeschriebene Anlagen profitabel • Vorübergehende Reduktion von Einnahmen
Anwohner	<ul style="list-style-type: none"> • Weniger Windkraftanlagen 	
Öffentliche Hand	<ul style="list-style-type: none"> • Besseres Landschaftsbild • Planungsfehler beheben • Einzelstandorte auflassen 	
Energieunternehmen und Konsumenten	<ul style="list-style-type: none"> • Höhere Verträglichkeit für Stromnetze 	<ul style="list-style-type: none"> • Produktionsentfall während Umbauarbeiten

Quelle: Eigene Darstellung

Zusammenfassend kann aus der zuvor gezogenen Gegenüberstellung aus möglichen positiven und negativen Aspekten von Repowering von Windkraftanlagen abgeleitet werden, dass für ältere Windkraftanlage die positiven Aspekte von Repowering überwiegen. Für eine genauere Analyse, ab welchem Alter und unter welchen Bedingungen (z.B. Volllaststunden, Größe des Windparks, etc.) Repowering volkswirtschaftlich zweckmäßig ist, müsste eine empirische Untersuchung zu den österreichischen Gegebenheiten durchgeführt werden. Dies übersteigt den Umfang dieser qualitativen Analyse.

5 Diskussion eines vorzeitigen Repowerings

Wie bereits in Kapitel 4.1 hervorgehoben, ist es durch erhebliche Entwicklungen der Windkrafttechnologie in den letzten Jahren in vielen Fällen rentabel, schon vor Ablauf der technischen Lebensdauer Repowering zu betreiben. Ein solch frühzeitiges Repowering kann man als „vorzeitiges Repowering“ ansehen. Der Begriff vorzeitiges Repowering wird hierbei folgendermaßen definiert: „Vorzeitiges Repowering erfolgt durch den Ersatz einer bestehenden Windkraftanlage nach Ablauf der Förderung durch den Staat (13 Jahre nach ÖSG) und vor einer neuen technischen Zertifizierung (20 Jahre).“ Das Repowering würde somit deutlich vor der technischen Lebensdauer (ca. 30 Jahre [18]) erfolgen.

Mittels dieser Definition ergibt sich für Österreich (ab 2018) die Möglichkeiten für vorzeitiges Repowering von ca. 500 Windrädern (= Anzahl an Windrädern, die vor 2006 errichtet wurden, abzüglich der bisherigen Rückbauten). Diese erbringen eine Leistung von ca. 780 MW und eine Stromproduktion von ca. 1,3 TWh. Bezogen auf die Annahmen verschiedener Studien zu Repowering (siehe Kapitel 4: Halbierung der Anlagenzahl / Verdoppelung der Leistung / Verdreifachung des Stromertrags) ergibt sich für Österreich ein Potential durch Repowering für ca. 250 neue Windräder (auf bisherigen Standorten) mit einer Leistung von ca. 1.600 MW und einer Stromproduktion von ca. 3,8 TWh.

Insgesamt würde sich für Österreich, nach einem erfolgreichen Repowering und mit dem verbleibenden Bestand an Windkraftanlagen (2006-2016), die Anzahl an Windkraftanlagen auf 915 reduzieren (- 23 Prozent) sowie die Leistung und Stromproduktion auf 3.400 MW (+ 28 Prozent) bzw. 8,2 TWh (+ 44 Prozent) erhöhen. Zur Basis 2016 würde damit Windkraft ca. 13,4 Prozent des österreichischen Strombedarfs decken.

Ein solches Szenario scheint nur dann volkswirtschaftlich zweckmäßig, wenn eine weitere Verfügbarkeit von guten Standorten (Windpotential, Baufläche, Akzeptanz, etc.) für neue Windanlagen nicht mehr gegeben ist. Sollten diese weiterhin vorhanden sein, könnten die neuen Anlagen zusätzlich zu den bestehenden Anlagen errichtet werden. Die Anlagen, die für ein vorzeitiges Repowering verwendet würden, könnten so bis zu ihrer ursprünglich geplanten Lebensdauer weiter verwendet werden, sofern Wartungs-, Betriebs- und Zertifizierungskosten betriebswirtschaftlich gedeckt sind. Repowering würde zu nicht gewünschten Opportunitätskosten⁹ führen, da die alten Windkraftanlagen in der profitablen Betriebsphase abgebaut werden. Diese Opportunitätskosten, die auch einen Entfall von (zuvor geförderter) Stromproduktion für den österreichischen Staat bedeuten, müssen bei Kalkulationen von Repowering-Projekten immer miteinbezogen werden [19].

Bei genauerer Betrachtung der Verfügbarkeit von guten Standorten ergibt sich die Annahme, dass die besten Standorte mit den größten Windpotentialen auch historisch als erste bebaut wurden [11, 14]. Somit würde sich für Repowering eine volkswirtschaftliche Zweckmäßigkeit ergeben, wenn die Opportunitätskosten durch einen besseren Windertrag (als auf ungenutzten Standorten mit weniger Windpotential) kompensiert werden.

Um wieviel höher das Windpotential bei bereits bebauten Standorten in Österreich ist, konnte bisherigen österreichischen Studien nicht entnommen werden und übersteigt den Umfang dieser qualitativen Analyse. Nach Angaben anderer Studien ist aber von relativ großen Potentialunterschieden auszugehen. Beispielsweise ist in Spanien das Windpotential in den

⁹ Bezeichnen entgangene Erlöse aus vorhandenen Möglichkeiten die nicht wahrgenommen werden.

vor 1998 installierten Windparks im Durchschnitt zwischen 25 und 30 Prozent besser als in den Windkraftanlagen, die derzeit gebaut werden [23]. In Indien ergeben Benchmarks für Windkraftpotentiale, dass für neue Standorte ein kumulativer Nutzungsfaktor von etwa 20 Prozent besteht, wohingegen an alten Standorten ein kumulativer Nutzungsfaktor im Bereich von 28-32 Prozent erreicht wird [14]. In Deutschland zeugten vorteilhafte Einspeisetarife für Repowering-Anlagen (Repoweringbonus) gegenüber neuen Windkraftanlagen ebenfalls von einer gewünschten, effizienteren Nutzung der alten Standorte.¹⁰

Aus der Analyse der qualitativen volkswirtschaftlichen Aspekte des Repowerings von Windkraftanlagen (Kapitel 4, insbesondere Tabelle 2 b) sowie der Erörterung in diesem Kapitel zeigt sich, dass die positiven Aspekte eines vorzeitigen Repowerings überwiegen können. Voraussetzung dafür ist, dass Altanlagen auf Standorten mit besseren Windpotentialen stehen und damit bei vorzeitigem Repowering ein besserer Windertrag erreicht wird (und damit Opportunitätskosten gedeckt werden). Welche Unterschiede der Windpotentialen zwischen den bisherigen und neuen Standorten herrschen müssen, damit vorzeitiges Repowering volkswirtschaftliche zweckmäßig ist, muss in einer empirischen Studie untersucht werden.

6 Zusammenfassung und Fazit

Durch die Energie- und Klimazielvorgaben der EU ist auch Österreich zur Forcierung erneuerbarer Energie, Steigerung der Energieeffizienz und Reduktion von Treibhausgasen aufgefordert. Stromproduktion aus Windkraft wird hierbei (neben andere erneuerbaren Energiearten) als eine Technologie mit hohen Potentialen und zahlreichen volkswirtschaftlichen Vorteilen angesehen. Deshalb wurde sie in den letzten Jahren durch Förderprämien (Einspeisetarife) unterstützt und damit Stromproduktion aus Windkraft in Österreich weiter ausgebaut. Die Technologie ist heute soweit ausgereift, dass sie an günstigen Standorten wettbewerbsfähig ist gegenüber konventionellen Kraftwerken.

Um den Ansprüchen der Wirtschaftlichkeit und Raumplanung Genüge zu tun, ist Windkraft nur in Gebieten mit hoher Windgeschwindigkeit und ausreichend räumlicher Abgrenzung zu Siedlungsgebieten möglich. Diese Beschränkung, sowie die sinkende Lebensdauer und die steigenden Betriebs- und Wartungskosten der ersten Generationen an Windrädern führen zur Diskussion einer weiteren Nutzung der alten Windkraftanlagen. Für diese besteht die Möglichkeit zur Weiternutzung, dem Abbau (an ungünstigen Lagen) oder des Repowerings. Beim Repowering werden alte Anlagen durch neue, leistungsstärkere und in der Windausbeutung effizientere Windräder ersetzt.

Die qualitative Analyse hat gezeigt, dass die Rahmenbedingungen für Repowering volkswirtschaftliche Vor- und Nachteile mit sich bringen. Für Windkraftanlagen, deren Betrieb durch erneute Zertifizierungs- oder zusätzliche Wartungs- und Reparaturkosten eingeschränkt wird, kann Repowering überwiegend technische, ökologische und ökonomische Vorteile gegenüber dem Erhalt bringen. Beispielsweise können Betreiber durch neue, größere und effizientere Anlagen ihre Produktion und Stromerlöse vermehren, es kann der Anteil an erneuerbaren Energien an der gesamten Stromerzeugung erhöht werden und

¹⁰ Das EEG 2009 sah erstmals einen um 0,5 ct/kWh höheren Einspeisepreis für Repowering-Projekte vor. Durch das EEG 2017 wurde in Deutschland das Fördersystem von Einspeisevergütungen auf ein Ausschreibungssystem umgestellt. Es wird von der Regierung eine feste Menge an Leistung ausgeschrieben und die günstigsten Gebote bekommen den Zuschlag. Somit entsteht eine direkte Konkurrenzsituation zwischen Neubauprojekten (an neuen Standorten) und Repowering.

die gesellschaftliche Akzeptanz, durch Entlastung des Landschaftsbildes, steigen. Das Fazit dieser qualitativen Analyse lautet deshalb, dass für ältere Windkraftanlage die positiven Aspekte von Repowering überwiegen.

Bei einem vorzeitigen Repowering, d.h. einem Repowering vor Ablauf der ersten technischen Zertifizierung (ca. 20 Jahre), entstehen gesamtwirtschaftliche Opportunitätskosten. Neue Windräder werden nicht an neuen Standorten gebaut, sondern verdrängen weiterhin produktive Windkraftanlagen. Damit ergeben sich volkswirtschaftliche Verluste an möglicher Stromproduktion und -erträgen (Opportunitätskosten). Unter dem Aspekt, dass die ersten und damit ältesten Anlagen auf Standorten mit den höchsten Windpotentialen gebaut wurden, sind aus ökonomischer Perspektive Repowering-Projekte dann zweckmäßig, wenn diese durch größere Winderträge die Opportunitätskosten ausgleichen können.

7 Literatur

- [1] **Armaroli, N., und V., Balzani (2011):** Towards an electricity-powered world. *Energy and Environmental Science* 4, S. 3193–3222.
- [2] **Ardente F., M., Beccali, M., Cellura und V., L., Brano (2008):** Energy performances and life cycle assessment of an Italian wind farm. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 12, S. 200–217.
- [3] **BMWFJ (Bundesministerium für Wirtschaft, Familie und Jugend) und Lebensministerium (2010):** EnergieStrategie Österreich.
- [4] **BMVIT (Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie) (2017):** Innovative Energietechnologien in Österreich - Marktentwicklung 2016. *Berichte aus Energie- und Umweltforschung* 13.
- [5] **Böttcher, J. (2012):** Handbuch Windenergie. Onshore-Projekte: Realisierung, Finanzierung, Recht und Technik.
- [6] **BWE (Bundesverband Windenergie) (2012):** Repowering von Windenergieanlagen. Effizienz, Klimaschutz, regionale Wertschöpfung.
- [7] **Cohen, J., J., J., Reichl und M., Schmidthaler (2014):** Re-focussing research efforts on the public acceptance of energy infrastructure: A critical review. *Energy* 76, S. 4-9.
- [8] **Dreze, J. und N., Stern (1987):** The Theory of Cost-Benefit Analysis. S. 911-989 In: *Handbook of Public Economics*, Vol. II, edited by A.J. Auerbach und M. Feldstein, 1987, Elsevier Science Publishers B. V. (North-Holland).
- [9] **Europäische Kommission (2014):** Guide to Cost-Benefit Analysis of Investment Projects - Economic appraisal tool for Cohesion Policy 2014-2020.
- [10] **E-Control (2015):** Monitoring Report - Versorgungssicherheit Strom.
- [11] **Filgueira, A., Seijo, M., A., Munoz, E., Castro, L., und Piegari, L. (2009):** Technical and Economic Study of Two Repowered Wind Farms in Bustelo and San Xoán, 24.7 MW and 15.84 MW, respectively. 2009 International Conference on Clean Electrical Power, Capri, S. 545-549.
- [12] **Fraunhofer ISE (Institut für Solar Energiesystem) (2013):** Stromgestehungskosten Erneuerbare Energien.

- [13] **Gasch, R., und J., Twele (2013):** Windkraftanlagen. Grundlagen, Entwurf, Planung und Betrieb. Springer, Wiesbaden. ISBN 978-3-322-99446-2.
- [14] **Goyal, M., (2010):** Repowering - Next big thing in India. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 14, S. 1400–1409.
- [15] **Heier, S. (2016):** Nutzung der Windenergie. 7. aktualisierte Auflage, Bonn.
- [16] **Herbert, G., M., J., S., Iniyan und D., Amutha (2014):** A review of technical issues on the development of wind farms. *Renew. and Sust. Energy Reviews* 32, S. 619–641.
- [17] **IG Windkraft (2018):** Windkraft in Österreich. Jahrespressekonferenz.
- [18] **Jacobson, M., Z., (2009):** Review of solutions to global warming, air pollution, and energy security. *Energy and Environmental Science* 2, S. 148–173.
- [19] **Madlener, R. und M., Schumacher (2011):** Ökonomische Bewertung des Repowering von Onshore-Windenergieanlagen in Deutschland. *Z. für Energiew.* 35, S.297–320.
- [20] **Meyerhoff, J., C., Ohl, und V., Hartje (2010):** Landscape externalities from on-shore wind power. *Energy Policy* 38, S. 82–92.
- [21] **Ökostromgesetz 2012 (2011):** 75. Bundesgesetz über die Förderung der Elektrizitätserzeugung aus erneuerbaren Energieträgern. BGBl. I Nr. 75/2011.
- [22] **Ökostromnovelle (2017):** 108. Bundesgesetz, mit dem das Ökostromgesetz 2012, das Elektrizitätswirtschafts- und -organisationsgesetz 2010, das Gaswirtschaftsgesetz 2011, das KWK-Punkte-Gesetz und das Energie-Control-Gesetz geändert werden, sowie das Bundesgesetz, mit dem zusätzliche Mittel aus von der Energie-Control Austria verwalteten Sondervermögen bereit gestellt werden, erlassen wird. BGBl. I Nr. 108/2017.
- [23] **Rio, P. del, A., C., Silvosa, G., I., Gómez (2011):** Policies and design elements for the repowering of wind farms: A qualitative analysis of different options. *Energy Policy* 39, S. 1897–1908.
- [24] **Santos-Alamillos, F., J., N., S., Thomaidis, J., Usaola-García, J., A., Ruiz-Arias und D., Pozo-Vazquez (2017):** Exploring the mean-variance portfolio optimization approach for planning wind repowering actions in Spain. *Renew. E.* 106, S. 335-342.
- [25] **Serria, L., E., Lemboa, D., Airoidia, C., Gellib, und M., Beccarello (2017):** Wind energy plants repowering potential in Italy: technical-economic assessment. *Renewable Energy*, Accepted Manuscript.
- [26] **Statistik Austria (2016):** Energiebilanzen Österreich 1970-2015.
- [27] **Tichler, R., C., Friedl und F. Schneider (2010):** Volkswirtschaftliche und energiepolitische Bedeutung der oberösterreichischen Zulieferunternehmen für Windkraftanlagen sowie der Errichtung neuer Windkraftparks in Oberösterreich.
- [28] **Varone, A., und M. Ferrari (2015):** Power to liquid and power to gas: An option for the German Energiewende. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 45, S. 207-218.
- [29] **Zhen-Yu Z., P.-H., Wu, B., Xia und M. Skitmore (2016):** Development route of the wind power industry in China. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 34, S. 1–7.