

Industrialisierung der Windindustrie

Horst Wildemann

Horst Wildemann

Industrialisierung der Windindustrie

Copyright by TCW Transfer-Centrum GmbH & Co. KG, 2019

2. Auflage 2020

Bibliografische Information der Deutschen Bibliothek

Die Deutsche Bibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie:

Detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.ddb.de> abrufbar.

Wildemann, Horst:

Industrialisierung der Windindustrie

1. Auflage, München: TCW Transfer-Centrum, 2019

2. Auflage, München: TCW Transfer-Centrum, 2020

ISBN: 978-3-947730-04-9

Verlag:

TCW Transfer-Centrum GmbH & Co. KG, München

Das Werk einschließlich aller Abbildungen ist urheberrechtlich geschützt. Alle Rechte, auch die der Übersetzung in fremde Sprachen, sind dem Verlag vorbehalten. Kein Teil dieses Werkes darf ohne schriftliche Genehmigung des Verlages in irgendeiner Form, auch nicht zum Zwecke der Unterrichtsgestaltung, reproduziert oder unter Verwendung elektronische Systeme verarbeitet werden.

Vorwort zur 2. Auflage

Wer sich Gedanken über den Klimawandel macht, konzentriert sich zunächst auf die Reduzierung der Emissionen. Jeder Fortschritt muss aber durch einen deutlichen Anstieg erneuerbaren Energien ergänzt werden. Die Windenergie ist dabei die Schlüsseltechnologie. Bereits heute werden 25% des Stromes in Deutschland aus On- und Offshore-Windenergieanlagen gewonnen. Ein Grund hierfür ist die signifikante und nachhaltige Kostensenkung der Windenergie. Bis 2030 möchte die Bundesregierung 65% der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien gewinnen.

Unternehmen der Windindustrie sind in der Verantwortung ihre Technologieführerschaft zu nutzen und die rasante Entwicklung der Technologie fortsetzen, damit die Windturbinen in der Leistungskapazität weiter wachsen. Dazu ist es notwendig, dass die Regierung den Weg für den Ausbau der Windenergie ebnet, indem sie eine langfristige Vision liefert, die für die Entwicklung von Windprojekten und deren Verbindung mit Stromnetzen erforderlich sind. Eine sorgfältige Marktgestaltung, die Sicherstellung kostengünstiger Finanzierungen sowie der Ausbau der Netzinfrastruktur sind dazu notwendig. Es ist offensichtlich, dass eine intelligente Planung jetzt nicht nur zur Lösung des Problems der globalen Erwärmung beitragen wird, sondern auch Arbeitsplätze schaffen und die Energieversorgung diversifizieren wird. Ohne die Windenergie gelingt der Klimawandel nicht.

München, Januar 2020

Horst Wildemann

Vorwort

Wir können die Zukunft der Windindustrie nicht wirklich vorhersagen. All die in diesem Buch entworfenen Szenarien sollten als Möglichkeiten und weniger als Prognosen verstanden werden. Wir sollten uns aber hüten, vergangene Ereignisse zu recyceln und sie als alternative Zukunft zu betrachten. Vielmehr spüren wir der Entwicklung der Windindustrie nach, um uns in die Lage zu versetzen, fantasievoller als bisher vor Augen zu führen, dass es ein breites Spektrum an Möglichkeiten gibt, auf die es sich zu konzentrieren gilt. Denn in der Windindustrie zeichnen sich radikale Strukturbrüche ab, welche die Branche besonders prägen und verändern werden:

1. CO₂ Reduzierung und Klimawandel: Der Klimawandel wird die Welt, in der wir leben, verändern. Der Preis für den Klimawandel ist hoch. Wird nichts getan, könnte ein Fünftel der Weltwirtschaft zusammenbrechen. Doch auch die Klimarettung ist nicht billig und wird nicht nur Entwicklungsländer empfindlich treffen. Bei einem Temperaturanstieg um vier Grad Celsius gehen Experten von weltweiten Ernteaussfällen von bis zu 10 % aus. Insgesamt, so das Ergebnis des Berichts, könnte die Welt in Folge des Klimawandels 5-20 % ihrer Wirtschaftsleistung einbüßen.

2. Atom- und Kohleausstieg: Die Atomkraft hat ausgedient - zumindest in Deutschland. Das letzte deutsche Kernkraftwerk soll 2022 abgeschaltet werden. Bei der Kohle wird es noch ein bisschen länger dauern, jedoch ist auch hier der Ausstieg absehbar. Der Druck auf Erneuerbare Energien nimmt zu, denn das Land steckt in einer Zwickmühle: Woher soll der Strom kommen, wenn es dunkel ist und kaum Wind weht? Noch fehlen die Technologien, um ausschließlich auf Erneuerbare Energien setzen zu können.

- 3. Digitalisierung:** Die neuen Informationstechnologien bieten eine Vielzahl an Möglichkeiten, von der Optimierung der Betriebsführung bis hin zu einem dezentralen Stromvertrieb. Die Windindustrie in Deutschland gilt mit ihren führenden Technologien und einer breiten Akteursvielfalt seit Jahren international als Innovationsmotor. Die Digitalisierung, als stetiger Begleiter der Energiewende, verspricht weiteres Innovationspotenzial entlang der gesamten Wertschöpfungskette der Branche.
- 4. Neue Geschäftsmodelle:** Im zunehmenden Wettbewerb um Marktanteile, den sich ständig erhöhenden Wettbewerbsdruck und die digitale Transformation rücken Geschäftsmodellentwicklungen als strategischer Wettbewerbsvorteil immer weiter in den Vordergrund. Unternehmen sind gezwungen ihr bestehendes Geschäftsmodell immer wieder neu zu überdenken. Digitale Technologien ermöglichen die eigenständige Kommunikation von Maschinen, Sensoren und Menschen. Eine ständige Anpassung der Geschäftsfelder wird somit Voraussetzung, um im Wettbewerb bestehen zu können.
- 5. Endliche Ressourcen:** Die Nachfrage einer weltweit wachsenden Konsumentenschicht wird stärker und individueller. Die globalen Vorräte an Rohstoffen, die Energiequellen und Anbaugelände sind jedoch endlich, wodurch die Industrien unter Druck geraten. Aus diesem Grund sind einschneidende Anpassungen in der Konzeption der Städte, Energiesysteme oder in der Bodennutzung unumgänglich.
- 6. Disruptive Technologien:** Die Automatisierung in der Industrie, hoch entwickelte Robotik und steigende Integration von autonomen Fahrzeugen und Maschinen haben sich bereits in unserer Gesellschaft etabliert und werden unser Leben sowie unsere Arbeit aber auch ganze Industrien noch weiter verändern.

7. Renaissance des Staates: Bisher etablierte Erfolgsmodelle der klassischen institutionellen Einflussnahme auf die Industrie durch den Staat zeigen keine Wirkung mehr. Die volatilen, hochkomplexen Verbindungen in einer globalen Wirtschaft fordern neue, zeitgemäße Ansätze. Insbesondere die Windindustrie braucht eine durchdachte Regulierung, die die Entwicklung der Energiewirtschaft unterstützt und nicht beengt.

Diese Strukturveränderungen für die Windindustrie sind zum Teil miteinander verknüpft, bedingen und verstärken sich gegenseitig. Es reicht nicht, die Entwicklung der Macht des freien Marktes oder der Weisheit der Cloud und Algorithmen zu überlassen. Wenn wir in Monaten denken, müssen wir unser Augenmerk auf die Kostenposition, die aktuelle Gesetzgebung und die Wettbewerber richten. Wenn wir in Jahrzehnten denken, spielt der Klimawandel für die Windindustrie eine entscheidende Rolle. Aus diesem Spannungsfeld lassen sich Anhaltspunkte finden, sich nicht mit Nebenaspekten zu beschäftigen, sondern zu wissen, was man ignorieren kann.

Für die Unterstützung der Forschungsarbeit und die sehr gute Zusammenarbeit bedanken wir uns vielmals. Mein Dank gilt auch unseren Unternehmen des projektbegleitenden Ausschusses, allen Experten sowie meinen Mitarbeitern Herrn Justus Bunk, Herrn Fabian Fischer, Herrn Dr. Christopher Hellmann, Herrn Jan-Hauke Helmts, Frau Sabine Kuhn, Herrn Manuel Lutz, Herrn Nicolas Seitz sowie Herrn Dr. Stefan Zetzmann für die Unterstützung bei der Forschungsarbeit und für die Erstellung des Berichts. Das Forschungsvorhaben wurde unter der Nummer 30EWN vom BMFT gefördert.

München, Juli 2019

Horst Wildemann

Inhaltsverzeichnis

0	Zusammenfassung	10
1	Die Windenergie ist gut entwickelt, aber ist sie gut vorbereitet?	19
2	Die Entwicklung der Windindustrie	56
2.1.	Entwicklungslinien für Windräder	56
2.2.	Spezielles Equipment zur Installation	73
2.3.	Vergleich der Windindustrie zu anderen Energieträgern	81
2.4.	Markt der Energieerzeugung	92
2.5.	Fazit	102
3	Branchenstrukturanalyse der Windindustrie in Deutschland	104
3.1.	Marktüberblick in Deutschland	104
3.1.1.	Strommix und installierte Leistung	105
3.1.2.	Investitionen und Finanzierungen	114
3.1.3.	Wettbewerbsfähigkeit der Windindustrie	125
3.2.	Die wichtigsten Exportmärkte	135
3.2.1	Dänemark	135
3.2.2	Großbritannien	137
3.2.3	Spanien	140
3.2.4	Frankreich	142
3.2.5	Belgien	144
3.2.6	Niederlande	146
3.2.7	USA	148
3.2.8	China	151
3.2.9	Indien	156
3.2.10	Taiwan	160
3.2.11	Marktausblick	163

3.3. Marktteilnehmer.....	169
3.3.1. Hersteller.....	170
3.3.2 Lieferantenstrukturen.....	175
3.3.3 Betreiber.....	180
3.4 Fazit	190
4 Trends in der Windindustrie	193
4.1. Wertschöpfungskette	194
4.2. Spezialisierung.....	197
4.3. Automatisierung.....	204
4.4. Digitalisierung.....	215
4.5. Entscheidungsverhalten der Betreiber	224
4.6. Local Content.....	227
4.7. Strukturveränderung in der Energiebranche.....	236
4.8. Fazit	243
5 Maßnahmen zur Steigerung der Wettbewerbsfähigkeit	246
5.1. Modularisierung der Produkte	246
5.2. Spezialisierung der Lieferanten.....	259
5.3. Industrieparks	272
5.4. Speicherung und Transport.....	283
5.5. Serienproduktion	292
5.6. Materialsubstitutionen	302
5.7. Digitalisierung	308
5.8. Logistik.....	334
5.9. Geschäftsmodelle.....	343
5.10. Kosteneinsparpotenziale.....	353
5.11. Fazit	364
6 Szenariobasierte Reifegradanalyse der Windindustrie	367
6.1. Reifegradmodelle.....	367

6.2. Szenarien	401
6.3. Reifegradabschätzung der Szenarien	426
6.4. Fazit	430
7 Handlungsempfehlungen für die Windindustrie.....	433
7.1. Hersteller und Zulieferer.....	433
7.2. Betreiber von Windkraftanlagen	452
7.3. Verbände	457
7.4. Staat	465
7.5. Fazit	471
8 IT-Tool zum Self-Assessment für Unternehmen	474
8.1. Aufbau und Nutzung des IT-Tools	474
8.2. Nutzung des IT-Tools	476
Literaturverzeichnis	484
Abbildungsverzeichnis.....	538
Anhang	542
Stichwortverzeichnis.....	573
Der Autor	579

0 Zusammenfassung

Wind ist eine unendliche Ressource, die praktisch kostenlos, weltweit und nahezu jederzeit zur Verfügung steht. Der von der Politik beschlossene Ausstieg aus der Kernenergie und das Ziel, den Energiemix erheblich auf Erneuerbare Energien auszurichten, beschert der Windindustrie großes Wachstumspotenzial. Mit Blick auf die Klimaziele der Bundesregierung und die Bestrebungen der Europäischen Union ist die Windenergie ein bedeutender Baustein. Die Windindustrie beschäftigt in Deutschland direkt über 160.000, indirekt über 280.000 Personen. Die Subventionen der Bundesregierung für die Windindustrie können im Gegensatz zu denen der Solarindustrie, die chinesische und indische Hersteller förderte, als gelungen angesehen werden. Windkraftanlagen erzeugen während ihres Betriebes keine CO₂-Emissionen und stellen damit die Quelle mit dem geringsten Fußabdruck dar. Die Hauptkomponenten von Windkraftanlagen sind im Falle eines Rückbaus wiederverwertbar. Beton, Stahl und kleinere Teile an Kupfer und Aluminium können wieder in den Produktkreislauf von neuen Windkraftanlagen einfließen. Mit einem Anteil von 17,5 % an der deutschen Stromerzeugung und über 6.300 Megawatt (MW) Windleistung auf See am Netz muss die Windindustrie im Energiemix eine tragende Rolle wahren. Bis zum Jahr 2030 soll nach den Plänen der Bundesregierung eine Leistung von 15.000 MW am Netz sein. Insgesamt zählt die „installed base“ über 59.000 MW in Deutschland.

Die Technologie der Windkraftanlagen ist noch längst nicht ausgereift. Die Zyklen in denen neue Innovationen am Markt vorgestellt werden, verkürzen sich, sodass Windparks nach 10 Jahren schon wieder veraltet sind. Die Turbinengröße nimmt weiter zu und größere, jedoch leichte und flexible Rotorblätter erhöhen die Leistungsausbeute der Anlagen. Die Nabenhöhe heutiger Onshore-Anlagen beträgt bereits

200 Meter und mehr. Vorteil der hohen Türme ist eine höhere Effizienz, denn mit jedem Meter Nabenhöhe steigt der jährliche Stromertrag um 0,5 bis 1 %. Betrug der Rotordurchmesser der Anlagen in den 1980er Jahren noch 15 m, übertreffen die heutigen Rotorblätter die Spannweite des Airbus A380 und erreichen Längen von 75 - 80 m. Flügel für Rotoren von dieser Länge ermöglichen es, mehr Windfläche abgreifen zu können. Auch haben die Nabenhöhe und die Länge der Rotorblätter einen positiven Effekt auf die Umwelt und Bevölkerung. Große Rotorblätter drehen sich langsamer ohne Leistungseinbußen zu verzeichnen und verursachen dadurch weniger Geräusche, auch verringern sich Effekte wie Schattenwürfe.

Ein Maß für die Wirtschaftlichkeit und den Vergleich zu anderen Energieträgern ist der Levelized Cost of Electricity oder auch Levelized Cost of Energy (LCOE), im deutschen Sprachraum häufig Stromgestehungskosten genannt. Die Kennzahl LCOE beschreibt den Preis einer bestimmten Energie-/Strom-Quelle über die gesamte Lebensdauer. Sie berücksichtigt unterschiedliche Investitionen, Kosten, Ergebnisstrukturen und Lebensdauern. Die LCOE von Onshore-Windkraftanlagen liegen abhängig von den spezifischen Anlagenkosten und Onshore-Windstandorten im Jahr 2018 zwischen 3,99 und 8,23 Cent/kWh. Damit gehören Offshore-Anlagen neben freistehenden Photovoltaikanlagen im Mittel zu den kostengünstigsten Energieerzeugungstechnologien in Deutschland. Sie sind damit sogar günstiger als konventionelle Kohlekraftwerke. In der Vergangenheit konnte eine Reduzierung der LCOE für Onshore-Anlagen von durchschnittlich 14 % jährlich seit 1984 erreicht werden. Die Gründe für die sinkenden LCOE-Werte liegen in der zunehmenden Größe der Windräder sowie Effizienzsteigerungen der Turbinen. Ein weiterer Grund sind die seit einigen Jahren sehr niedrigen Finanzierungskosten. Offshore-Windkraftanlagen errei-

chen trotz höherer durchschnittlicher Volllaststunden deutlich schlechtere LCOE von 7,49 bis 13,78 Cent/kWh im Vergleich zu Onshore-Anlagen. Grund hierfür sind neben höheren Fundament-, Anlagen- und Installationskosten insbesondere auch höhere Betriebs- und Finanzierungskosten. Für Offshore-Windkraft ist der Handlungsdruck somit offensichtlich noch deutlich höher als für Onshore-Anlagen. Dieser Handlungsdruck äußert sich im Wesentlichen in 5 Bereichen: Der Trend von kürzeren Innovationszyklen und neuen Technologien zeigt das Beispiel der Rotorblätter. Die Entwicklung der Rotorblätter hat sich von vier Jahren auf nur noch zwei Jahre reduziert. Dabei sind die Rotorblätter aber auch technologisch weiterentwickelt worden und erreichen nun eine Länge von 75 m bei einem Gewicht von 25 Tonnen. Je länger und aerodynamischer die Blätter sind, desto höher ist die Energieausbeute. Länge und Aerodynamik sind dabei entscheidend für die Wettbewerbsfähigkeit der Anlage. In den kommenden Jahren werden bei Onshore-Anlagen von Siemens Gamesa aeroelastische Rotorblätter eingesetzt, die Windturbulenzen durch ein flexibles Blatt abfedern. Die Kraftübertragung erfolgt ohne Getriebe per Direct Drive. Ferner wird angestrebt, das Design zu vereinheitlichen, um mehr Gleichteile verwenden zu können und das Produkt zu modularisieren. Neue und bessere Services erhöhen die Lebensdauer und auch die Verfügbarkeit der Windkraftanlagen. Die Wartung von Windkraftanlagen ist aufwendig. Laut dem Ressourcenload-Index ist ein Arbeitsaufwand pro MW für Onshore-Anlagen von 100 Stunden und von Offshore-Anlagen von 160 Stunden anzunehmen. Dabei ist zu beachten, dass insbesondere das Arbeitsumfeld auf den Offshore-Anlagen sehr schwierig ist. Die Anlagenhersteller arbeiten bereits an High-End Services und wollen dabei auf lokale Wertschöpfung zurückgreifen. Die Digitalisierung unterstützt die Bestrebungen, denn viele Komponenten sind bereits mit Sensoren ausgestattet, sodass die notwendigen Eingriffe der

Mechaniker schneller verortet und im Vorfeld bereits geplant werden können. Ebenso können die Betreiber im Sinne der prädiktiven Instandhaltung genau erkennen, welche Komponenten kurzfristig ausgetauscht werden müssen, ohne dass es zu einem unvorhersehbaren Anlagenstillstand kommt. Bei Offshore-Anlagen sollen zusätzlich die Wartungsintervalle auf zwei Jahre ausgedehnt werden. Einfachere Konstruktionen und Fundamente sollen den Installationsaufwand und damit die Stromgestehungskosten weiter reduzieren.

Die Digitalisierung wird ähnliche Veränderungen in der Windindustrie hervorrufen wie sie es in der Automobilindustrie getan hat. Die mittlerweile verfügbaren Rechnerkapazitäten und -leistungen können genutzt werden, die Windkraftanlagen vollständig zu simulieren, von der Entwicklung über die Produktion bis hin zur Montage auf der Baustelle. Die Umfeldbedingungen können somit im virtuellen Raum berücksichtigt werden, um die Risiken in der realen Welt zu reduzieren. Kontrolliert wird dies durch den digitalen Zwilling, der ein 1:1-Abbild der realen Windkraftanlage darstellt. Es läuft parallel zum Betrieb und kann vorzeitig Hinweise auf Probleme geben. Neben den Vorteilen für die Produktion bringt die Digitalisierung auch Vorteile für den laufenden Betrieb und trägt zur Wirtschaftlichkeit bei. Denn einzelne Windparks können zu virtuellen Kraftwerken zusammengeschlossen und individuell je nach Windverhältnissen und Nachfrage gesteuert werden. Siemens erfasst mittels Sensoren zahlreiche Daten zum Betriebszustand seiner Anlagen. Sie sollen Fehler frühzeitig erkennen und es ermöglichen, die Anlagen aus der Ferne zu warten. Die Hersteller streben an, vom reinen Maschinenlieferanten durch Software und digitale Dienste zum Lösungsanbieter aufzusteigen.

Eine zunehmende Automatisierung ist ebenfalls ein Faktor, um Prozesse und Produkte wirtschaftlicher zu gestalten. Ein Beispiel ist die

Turmfertigung. Der Tower ist bislang die kosteneffizienteste Lösung für große Turmhöhen. Der Turm besteht aus verschraubten Stahlsegmenten, die vollautomatisch in der Fabrik hergestellt werden. Die Bauteile sind belastungsgeprüft und werden in standardisierten Containern zur Baustelle transportiert. Im Vergleich zu herkömmlichen Stahltürmen kann etwa bei einer Nabenhöhe von 115 m eine Kosteneinsparung von 15 % erreicht werden.

Auch zeichnet sich eine zunehmende Spezialisierung der Marktteilnehmer ab. Wenige große Hersteller wie Siemens Gamesa, Vestas, Enercon oder Goldwind konzentrieren sich auf die Herstellung der Windkraftanlagen und siedeln jeweils Zulieferspezialisten für die einzelnen Komponenten an. Die Spezialisierung der Zulieferer hat sich in drei Bereiche strukturiert.

Im ersten Cluster sind Zulieferer, die elektrische und elektronische Komponenten herstellen, etwa Condition-Monitoring-Systeme, Generatoren oder Messgeräte. Im zweiten Cluster sind Zulieferer, die sich auf die Produktion von Großkomponenten spezialisiert haben, wie etwa Fundamente oder Rotorblätter. Im dritten Cluster finden sich Zulieferer für mechanische Komponenten, wie etwa Getriebe, hydraulische Komponenten oder Kupplungen. Ähnlich wie in der Automobilindustrie werden sich die Lieferanten in Industrieparks ansiedeln. Insbesondere die Fabriken für Offshore-Anlagen werden aufgrund der komplexen Logistik direkt an den Küstengebieten errichtet, um die einzelnen Baugruppen auf die Transportschiffe verladen zu können. Eine solche Entwicklung begünstigt auch die Anforderungen an Local Content, welche zunehmend von vielen Ländern gefordert werden und Teil der Anforderungen für Subventionen sind.

In der Windindustrie zeichnet sich bei den Herstellern ein Konzentrationsprozess ab. Der Zusammenschluss von Siemens und Gamesa ist

hierbei ein Beispiel. Experten gehen davon aus, dass vier bis sieben große Hersteller in Zukunft 80 % des Marktes bedienen werden. Die Konsolidierung der großen Hersteller wird auf der Seite der Zulieferer mehr Umsatz generieren, ähnlich wie es in der Automobilindustrie zu sehen war. Zusammengeschlossene Unternehmen werden nach einem Aufstieg zum Tier-1 Lieferanten streben, um so in eine aktive Kommunikation mit dem Hersteller eintreten zu können. Von der Know-how-Bündelung können die System- und Modullieferanten profitieren. Sie können sowohl in der Projektkommunikation als auch im Bereich der Finanzierung erhebliche Synergien für sich nutzbar machen.

In allen Handlungsfeldern der Windindustrie lassen sich Einsparpotenziale auf LCOE realisieren. Die Modularisierung der Produkte ermöglicht ein Potenzial zur Reduzierung der LCOE um 6 - 10 %. Eine Spezialisierung der Lieferanten besitzt ein Kostensenkungspotenzial von etwa 3 % der Hauptinvestitionskosten und etwa 5 % der Nebeninvestitionskosten. Die Nebeninvestitionskosten setzen sich aus den Kosten für Planung, Erschließung, Netzanbindung und sonstigen Kosten zusammen.

Auch die Wartungs- und Reparaturkosten als Bestandteil der Betriebskosten werden beeinflusst. Die Betriebskosten umfassen die Kosten für Wartung und Reparatur, für Pacht, die kaufmännische und technische Betriebsführung, Kosten für Versicherungen und Rücklagen sowie sonstige Kosten. Durch die Spezialisierung der Lieferanten ergibt sich ein Potenzial zur Senkung der LCOE um 5 %. Industrieparks beeinflussen vor allem die Investitionskosten. Dabei kann ein Potenzial zur Senkung der Hauptinvestitionskosten um 12 - 15 % erreicht werden. Der Effekt auf die LCOE beläuft sich auf 10 - 12 %. Die Maßnahmen zur Speicherung und zum Transport wirken sich erst einmal ne-

gativ auf die Investitionskosten, insbesondere die Kosten im Kostenelement Elektrik, aus. Durch Maßnahmen wie die Installation von Windrädern mit Stromspeichern zum Eigenverbrauch sinken Kosten für die Erschließung und Netzanbindung.

Dennoch können sich durch Hinzunahme der Kosten für Speicherung und Transport die LCOE um bis zu 3 % erhöhen. Eine verstärkte Serienproduktion durch eine konsequente Gleichteile- und Standardteilstrategie kann die Investitionskosten insgesamt um 10 - 20 % reduzieren, wodurch sich ein Effekt von 11 - 12 % auf die LCOE ergibt. Durch Materialsubstitution könnten die Innovationskosten um bis zu 20 % gesenkt werden. Damit ergibt sich ein Potenzial zur Reduzierung der LCOE um 3 %. Auch wenn in einzelnen Bereichen Produktivitätspotenziale von 12 - 15 % identifiziert werden konnten, bietet die Digitalisierung ein verhältnismäßig geringes Potenzial durch Effizienzgewinne in der Entwicklung und Planung von 1 % der Investitionskosten. Durch Predictive Maintenance und neue Möglichkeiten der Fernüberwachung ergibt sich ein Kostensenkungspotenzial bei Wartung, Reparatur und Betriebsführung von 3 - 5 %. Der Effekt auf die LCOE bemisst sich dabei auf etwa 1 %.

Die Kosten für Transport und Installation sind ein wesentlicher Faktor mit nach wie vor erheblichen Einsparpotenzialen. Somit wirken sich die identifizierten Maßnahmen im Bereich Logistik auf sämtliche Investitionskosten je nach Kostenelement um 10 - 15 % aus. Das Potenzial zur Senkung der LCOE beziffert sich dabei auf 13 %. Neue Geschäftsmodelle wirken sich hingegen nicht direkt auf die LCOE aus. Sie bergen aber ein Einsparpotenzial.

Über alle Maßnahmen hinweg ergibt sich, wie in Abbildung 0-1 dargestellt, ein Gesamtpotenzial zur Reduzierung der LCOE um 43 - 54 %. Die Windenergie ist aus dem Energiemix nicht mehr wegzudenken und wird eine feste Größe bleiben, wenn es darum geht, die Klimaziele in Deutschland aber auch weltweit zu erreichen. Insbesondere im Bereich der Onshore-Anlagen werden die Stromgestehungskosten mittelfristig im Vergleich zu fossilen Kraftwerken wettbewerbsfähig sein. Die Auswertung der Delphi-Befragung zeigt, dass die Unternehmen die Branchenentwicklung sehr positiv einschätzen. Die Mehrheit der Befragten geht davon aus, dass die Windbranche sowohl im Onshore-, wie auch im Offshore-Bereich weiterwachsen wird und dabei die maximalen Nennleistungen der Windkraftanlagen weiter steigen werden. Auch sehen die Teilnehmer in den Bereichen Digitalisierung, Automatisierung, Modularisierung, Standardisierung und Serienfertigung die größten Stellhebel, um den LCOE weiter zu senken und die Industrialisierung des eigenen Unternehmens voranzutreiben. Um wei-

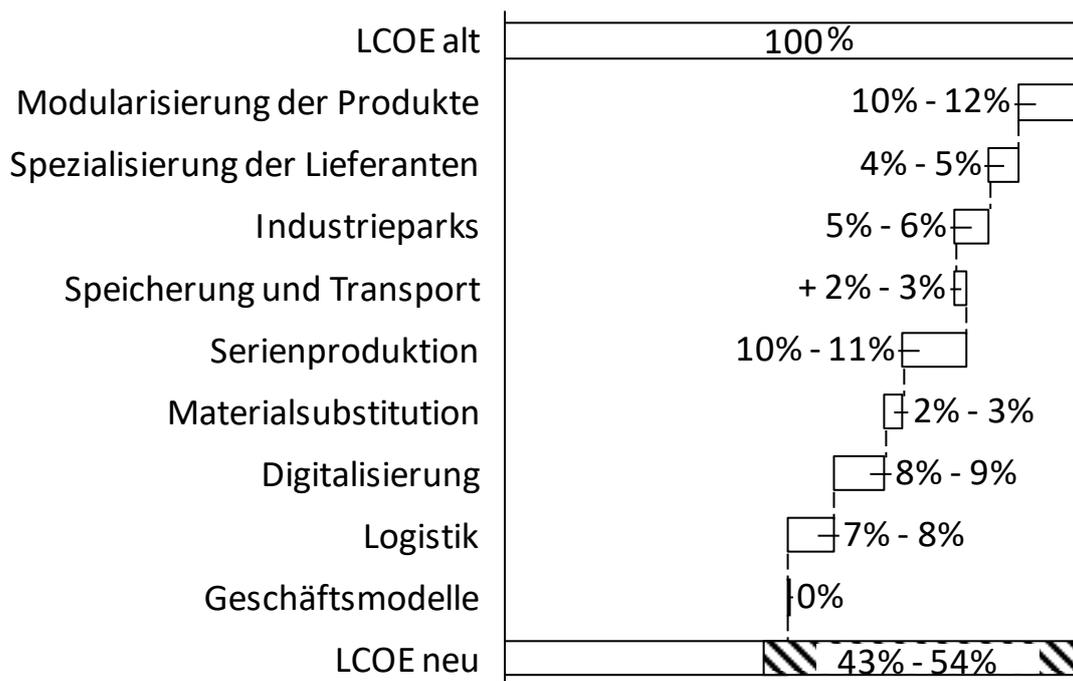


Abbildung 0-1: Einsparpotenziale in der Windindustrie

tere Stellhebel zur Senkung der Stromgestehungskosten im Unternehmen zu identifizieren, wurde ein Reifegradmodell entwickelt, welches Unternehmen über eine Selbsteinschätzung ermöglicht, weitere Potenziale zur Senkung der LCOE aufzudecken. Der Reifegrad wurde entlang der Handlungsfelder Local Content, Genehmigungsverfahren, Produktion und Logistik, Technologiesprünge, Digitalisierung und Geschäftsmodelle entwickelt. Je nach Reifegradeinstufung, werden den Unternehmen spezifische Handlungsempfehlungen aufgezeigt, damit diese ihren Reifegrad und damit ihre Wettbewerbsfähigkeit verbessern können. Die Anwendung des Reifegradmodells erfolgt in einem IT-Tool, welches unter www.tools.bwl.wi.tum.de/industrialisierung-windindustrie abrufbar ist. Die Unternehmen können kostenlos teilnehmen und eine Auswertung der Ergebnisse abspeichern.

1 Die Windenergie ist gut entwickelt, aber ist sie gut vorbereitet?

Die Windindustrie wurde in den letzten 25 Jahren zu einer bedeutenden Branche in Deutschland. Der von der Politik beschlossene Ausstieg aus der Kernenergie und das Ziel, den Energiemix erheblich auf Erneuerbare Energien (EE) auszurichten, beschert der Branche großes Wachstumspotenzial. Auch die europäische und internationale Politik begünstigte mit ihren Förderungen die Entwicklung der Windindustrie (vgl. Beinke/ Quandt 2013). So lag die weltweit zusätzlich installierte Leistung der Windenergie in 2017 bei 53 GW nach 55 GW im Vorjahr 2016 und 64 GW im Rekordjahr 2015. Nachdem Deutschland zur Jahrtausendwende den Zubau der Windenergie anführte, hat sich mittlerweile der Markt zugunsten von China verschoben. So findet seit einigen Jahren dort der größte Zubau von Windenergie statt und betrug in 2017 mit 20 GW 38 % der Windleistung. Die USA bewegen sich mit 7 GW leicht unter dem Niveau der Vorjahre. Beide Länder zeichnet eine hohe Konstanz bei den Installationen aus (vgl. BWE 2018b).

Die weltweiten Förderungen der Windenergie werden jedoch zurückgefahren. Daher müssen die Anbieter und Betreiber von Windkraftanlagen um die Vergütungen konkurrieren. Es ist zu erwarten, dass das Wachstum der installierten Leistung abflacht. So ist in Deutschland in 2018 die installierte Leistung der Onshore-Anlagen von über 5 GW in 2017 um 55 % auf 2,4 GW gesunken, für 2019 werden nur noch 2 GW oder weniger erwartet, was einen Einbruch um 70 % gegenüber 2017 bedeutet (vgl. Hubik 2017; BWE 2018b, 2017a). Dies verdeutlicht das Kernproblem der gesamten Branche: Die Stromgestehungskosten sind im Vergleich zu anderen Energieträgern noch zu hoch, es besteht eine Abhängigkeit von Subventionen, welche derzeit noch in Form von hohen Einspeisevergütungen aus dem Erneuerbare-Energien-Gesetz

(EEG) von 2014 gewährt werden. Offshore-Windenergieprojekte, die nach 2021 in Betrieb gehen, müssen sich hingegen nach dem Erneuerbare-Energien-Gesetz von 2017 in Ausschreibungen um eine Förderung bewerben. Bei einer solchen Ausschreibung wird eine feste Leistungshöhe angegeben und anschließend für die Anbieter eröffnet. Das günstigste Gebot erhält den Zuschlag. Feste Vergütungen, welche über Jahre gewährt werden, existieren damit nicht mehr und verändern die Erlössituation der Anbieter fundamental.

Denn im Erneuerbare-Energien-Gesetz von 2014 erfolgt eine Anfangsvergütung für Offshore-Anlagen von 15,4 Cent je kWh und wird in den ersten zwölf Jahren ab Inbetriebnahme gezahlt. Die Grundvergütung liegt anschließend bei 3,9 Cent pro kWh. Die im Basismodell vorgesehene Degression beträgt 0,5 Cent je kWh ab dem 1. Januar 2018 und 1 Cent je kWh ab dem 1. Januar 2020 sowie 0,5 Cent nach jedem weiteren Jahr. Optional können Betreiber von Offshore-Anlagen, die vor dem 1. Januar 2020 ans Netz gehen, eine erhöhte Anfangsvergütung von 19,4 Cent pro kWh in den ersten acht Jahren ab Inbetriebnahme erhalten. Die Absenkung der Vergütung in diesem Stauchungsmodell beträgt 1 Cent je kWh zum 1. Januar 2018. Die erste Ausschreibungsrunde fand im März 2017 statt. Bis 2018 werden 3,1 GW installierter Leistung mit Betriebsbeginn in den Jahren 2021-2025 ausgeschrieben. Ab 2021 sollen dann jährlich nur noch 700 bis 900 MW für die Inbetriebnahme zwischen 2026 und 2030 ausgeschrieben werden. Das Ziel sind 15 GW installierte Leistung im Jahr 2030 (vgl. BWE 2017a). Diese Vergabeform führt zu einem intensiven Wettbewerb unter den Anbietern. Denn anstatt hoher Vergütungen verzichten die Energieversorger, das heißt die Betreiber der Windparks, zum Teil gänzlich auf die Subvention des eingespeisten Stroms. Das Gebot lag damit bei 0 Cent je kWh und erhielt den Zuschlag. Dies bedeutet aber