

**OLDENBURGER STUDIEN ZUR EUROPÄISIERUNG UND ZUR TRANSNATIONALEN REGULIERUNG  
NR. 23/2014**

# **Studie zum Windenergiesektor. Eine empirische Analyse der betrieblichen Nutzung verteilten Wissens**

**Thomas Jackwerth**

Oldenburg, im August 2014

Oldenburger Studien zur Europäisierung und zur transnationalen Regulierung  
International Standard Serial Number (ISSN): 1866-8798  
Herausgeber: Prof. Dr. T. Blanke, Prof. Dr. M. Heidenreich & Prof. Dr. H.-M. Trautwein  
Anschrift: Fakultät I • Carl-von-Ossietzky-Universität Oldenburg • 26111 Oldenburg  
Abrufbar im Internet unter: <http://www.uni-oldenburg.de/sozialwissenschaften/cetro/publikationen/oldenburger-studien/>

# Gliederung

<b>1. Einleitung .....</b>	<b>1</b>
<b>2. Theoretische Annahmen: Merkmale des Windenergiesektors.....</b>	<b>2</b>
2.1 Rolle der Windkraftanlagenhersteller .....	2
2.2 Nachfrage nach technischen Produkten .....	3
2.3 Wissen im Windenergiesektor .....	3
2.4 Herausforderung der Nutzung verteilten Wissens .....	5
<b>3. Eigener Ansatz: Unternehmen im Windenergiesektor .....</b>	<b>6</b>
3.1 Unternehmen der Windindustrie .....	6
3.1.1 Europäische Pionierunternehmen .....	7
3.1.2 Westliche Technologiekonzerne .....	8
3.1.3 Asiatische Windkraftspezialisten .....	8
3.2 Unternehmen der Zulieferindustrie.....	9
3.3 Unternehmen der Anwenderindustrie .....	9
<b>4. Empirie und Methode .....</b>	<b>11</b>
4.1 Forschungsprojekt „COLLIN – Collaborative Innovations“ .....	11
4.2 Einbezogene Experteninterviews.....	11
<b>5. Ergebnisse: Betriebliche Nutzung verteilten Wissens .....</b>	<b>13</b>
5.1 Aus- und Weiterbildung von Fachpersonal.....	13
5.2 Verbesserung betrieblicher Fertigungsabläufe.....	14
5.3 Koordination ausgewählter Entwicklungsallianzen .....	15
5.4 Vernetzte Beherrschung der Offshore-Technologie.....	16
<b>6. Zusammenfassung.....</b>	<b>19</b>
<b>7. Anhang.....</b>	<b>21</b>
<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>22</b>
<b>Internetquellen.....</b>	<b>23</b>

## 1. Einleitung

Seit dem Beginn seiner industriellen Entwicklung in den 1970er Jahren hat sich der Windenergiesektor weltweit ausgedehnt. Nicht nur in seinen Ursprungsländern Dänemark und Deutschland bildet der Windenergiesektor einen eigenständigen Wirtschaftszweig, der sich gegenüber den konventionellen Energieträgern Kohle, Erdöl, Erdgas und Atomkraft behaupten kann. Heutzutage trägt die Windenergie bereits in vielen Ländern einen erheblichen Anteil zur nationalen Stromversorgung bei<sup>1</sup> (Simmie 2012; Mautz et al. 2008; Mautz 2012).

Während in der Entstehungszeit des Windenergiesektors vor allem dänische und deutsche Pioniere Windkraftanlagen entwickelten, vertreiben mittlerweile auch westliche Technologiekonzerne und asiatische Spezialisten Windkraftanlagen für weltweite Land- und Meeresstandorte. Die Zulieferketten und Absatzmärkte im Windenergiesektor haben sich räumlich ausgedehnt und sind sozial derart ausdifferenziert, dass das Wissen um die Entwicklung und Herstellung von Windkraftanlagen immer weniger in den Grenzen der betrieblichen Arbeitsteilung einzelner Unternehmen gebunden ist; vielmehr wird das hierfür notwendige Wissen im Austausch zwischen unterschiedlichen Unternehmen der Wind-, Zuliefer- und Anwenderindustrie erzeugt. Die Unternehmen müssen daher lernen, Wissen aus verteilten Kontexten zu nutzen, um technische Produkte entwickeln und herstellen zu können. Vor diesem Hintergrund analysiert die vorliegende Studie den Windenergiesektor als sektorales Innovationssystem (Malerba 2002, 2004; Adams et al. 2011; Adams/Brusoni/Malerba 2013; Adams/Fontana/Malerba 2013) und fragt zunächst (a) nach den Unternehmen, die im Windenergiesektor an der Entwicklung technischer Produkte beteiligt sind und (b) nach den Strategien, welche diese Unternehmen verfolgen, um verteiltes Wissen für betriebliche Entwicklungs- und Herstellungsprozesse zu nutzen.

Für die Beantwortung der Frage werden zunächst die Merkmale des Windenergiesektors beschrieben (*Kapitel 2*), um anschließend diejenigen Unternehmen vorzustellen, die an technischen Entwicklungen direkt beteiligt sein können (*Kapitel 3*). Als Nächstes wird die methodische Vorgehensweise erläutert und dargestellt, welche Experteninterviews in die vorliegende Studie einbezogen wurden (*Kapitel 4*). Die Untersuchungsergebnisse werden dargestellt (*Kapitel 5*), bevor das letzte Kapitel die zentralen Ergebnisse zusammenfasst.

---

<sup>1</sup> In Deutschland trugen die erneuerbaren Energien im Jahr 2013 25,4 Prozent zur Bruttostromerzeugung bei. Davon entfielen 34,4 Prozent (d.h. ca. 8 Prozent der deutschen Bruttostromerzeugung) auf die Windenergie an Land und 0,6 Prozent auf die Windenergie auf See<sup>1</sup> (BMWi 2014).

## 2. Theoretische Annahmen: Merkmale des Windenergiesektors

Den industriellen Kern eines Sektors bilden Unternehmen, die ähnliche Technologien verwenden und technische Produkte für vergleichbare Anwendungskontexte vertreiben. In Sektoren interagieren Unternehmen, um Wissen zu erzeugen, das sie für die Entwicklung von technischen Produkten für unterschiedliche Anwendungskontexte nutzen können (Malerba 2002, 2004).

Nach diesem Verständnis kennzeichnen den Windenergiesektor folgende Merkmale: (a) Die *Rolle der Windkraftanlagenhersteller (WKA-Hersteller)*, (b) die *Nachfrage nach dem Produkt Windkraftanlage* in den Subsektoren der Windenergie an Land (Onshore) und auf See (Offshore) sowie (c) das *in den Arbeitsabläufen und Technologien gebundene technische Wissen*.

### 2.1 Rolle der Windkraftanlagenhersteller

Die großen WKA-Hersteller zählen zum industriellen Kern des Windenergiesektors, da sie die weltweite Nachfrage nach Land- und Meereswindanlagen bedienen. Das Wissen um die Entwicklung und Herstellung von Windkraftanlagen ist zunächst in den Arbeitsabläufen und Technologien der WKA-Hersteller gebunden. Darüber hinaus nutzen diese Unternehmen auch das Wissen, das in externen Kontexten erzeugt wurde. Hierfür interagieren sie mit anderen Unternehmen auf lokaler, nationaler und internationaler Ebene. Das Wissen, das in diesen Interaktionen neu erzeugt wird, nutzen die WKA-Hersteller im Rahmen betrieblicher Entwicklungs- und Herstellungsprozesse, um ihre technischen Produkte zu verbessern (Malerba 2002, 2004; Adams et al. 2011; Adams/Brusoni/Malerba 2013). Unternehmen, die das technische Produkt ‚Windkraftanlage‘ entwickeln und herstellen, zählen daher zum industriellen Kern des Windenergiesektors – eine Vorstellung, die Franco Malerba allgemein zusammenfasst:

“(…) a sectoral system of innovation and production is a set of new and established products for specific uses and the set of agents carrying out market and non-market interactions for the creation, production and sale of those products.” (Malerba 2002: 248)

Im Windenergiesektor zählen die großen WKA-Hersteller zum industriellen Kern, da sie verteiltes Wissen nutzen, um Windkraftanlagen zu entwickeln und herzustellen.

## 2.2 Nachfrage nach technischen Produkten

Unternehmen entwickeln technische Produkte, die für unterschiedliche Anwendungskontexte nachgefragt werden (Malerba 2002, 2004; Adams et al. 2011). Das Produkt Windkraftanlage, das für unterschiedliche, insbesondere europäische, nordamerikanische und chinesische Anwendungskontexte nachgefragt wird, bildet bei der Errichtung von Windparks noch immer den größten Kostenfaktor.<sup>2,3</sup> Zunehmend werden Windkraftanlagen auch in Ländern Mittelamerikas, Südamerikas und Afrikas installiert (GWEC 2013; vgl. IWES 2013; Fried et al. 2013; BWE 2014), sodass inzwischen von einem globalen Windenergiesektor gesprochen werden kann.

Für die Entwicklung und Herstellung von Windkraftanlagen im Mega- und Multimegawattbereich kommen verschiedene technische Produkte zum Einsatz. Zunächst setzen sich Windkraftanlagen aus ihren Schlüsselkomponenten zusammen (vgl. Tabelle 1). Darüber hinaus umfassen Windkraftanlagen mechanische, elektrische und informationstechnologische Komponenten. Neben diesen in Windkraftanlagen eingebauten Technologien setzen die WKA-Hersteller spezielle technische Anlagen in ihren Entwicklungs- und Fertigungsprozessen ein. Schließlich werden technische Systeme genutzt, um Windkraftanlagen zum Errichtungsstandort transportieren, dort installieren und wirtschaftlich betreiben zu können.

**Tabelle 1:** Technische Produkte im Windenergiesektor

Schlüsselkomponenten	Komponenten	Technische Anlagen	TEB-Systeme <sup>4</sup>
Rotorblätter	Bremsen	Produktionsanlagen	Spezialschiffe / Kräne
Getriebe	Sensoren	Fertigungsmaschinen	Gründungsstrukturen
Generatoren	Konverter	Werkzeuge	Überwachungssysteme
u.a.	u.a.	u.a.	u.a.

## 2.3 Wissen im Windenergiesektor

Ausgehend vom Begriff des Wissens wird in der vorliegenden Studie nachvollzogen, inwiefern Unternehmen im Windenergiesektor auch Wissen aus externen Kontexten nutzen, um

<sup>2</sup> Bei der Errichtung von Landwindparks können die Anlagen bis zu 80 Prozent der Kosten ausmachen, während dieser Anteil bei Meereswindparks bis zu 50 Prozent erreichen kann (TPWind 2014).

<sup>3</sup> 2013 wurde weltweit eine Windenergieleistung i.H.v. 35 Gigawatt in Betrieb genommen; der heute weltweit installierte Anlagenbestand erzeugt circa 318 Gigawatt (GWEC 2013).

<sup>4</sup> Transport-, Errichtungs- und Betriebssysteme

---

technische Produkte zu entwickeln und herzustellen.<sup>5</sup> Das Wissen, das Unternehmen tagtäglich nutzen, wird heutzutage kaum mehr innerhalb der formal-rechtlichen Grenzen der betrieblichen Arbeitsteilung erzeugt; vielmehr pflegen Unternehmen formale und informelle Netzwerke zu verschiedenen Unternehmen in der Zuliefer- und Anwenderindustrie. Das Wissen, das Unternehmen für technische Entwicklungen nutzen, ist daher kaum mehr allein in den innerbetrieblichen Arbeitsabläufen und Technologien gebunden; vielmehr wird auch dasjenige Wissen genutzt, das im Austausch mit anderen Unternehmen entsteht (Malerba 2002; Adams et al. 2011; vgl. Malerba/Orsenigo 2000).

Da die Interaktionen zwischen Unternehmen immer stärker die Grenzen der betrieblichen Arbeitsteilung überschreiten, sind die Kontexte, in denen Wissen ausgetauscht oder neu gebildet wird, immer schwieriger zu lokalisieren. Um den Wissensbegriff dennoch für empirische Untersuchungen nutzen können, kann festgehalten werden, dass ein Großteil des Wissens im Windenergiesektor in den Arbeitsabläufen und Technologien gebunden ist, welche die Unternehmen einsetzen, um Windkraftanlagen entwickeln, herstellen und betreiben zu können (angelehnt an Malerba 2002, 2004). Hierzu zählen die Entwicklung und Herstellung von Windkraftanlagen (*Anlagenproduktion*), deren Errichtung und Installation (*Anlagenerrichtung*), die Steuerung und Überwachung einzelner Anlagen bzw. ganzer Windparks (*Anlagensteuerung*) sowie der Anschluss von Windkraftanlagen an das elektrische Stromversorgungsnetz (*Anlagenanschluss*) gebunden.

Das Wissen des Windenergiesektors ist daher vor allem in den Arbeitsabläufen und Technologien der Anlagenproduktion, Anlagenerrichtung, Anlagensteuerung und des Anlagenanschlusses gebunden. Zwar haben einige WKA-Hersteller in diesen Wissensfeldern ausgeprägte Kompetenzen aufgebaut; es sind aber auch viele Unternehmen der Zuliefer- und Anwenderindustrie, welche hierin über komplementäre Kompetenzen verfügen. Die an der Entwicklung und Herstellung von Windkraftanlagen beteiligten Unternehmen müssen daher lernen, auch verteiltes Wissen zu nutzen.

---

<sup>5</sup> Unter dem Begriff des Wissens werden hier zunächst „lernbereite Deutungsschemata“ verstanden (Wittke et al. 2012: 5).

## 2.4 Herausforderung der Nutzung verteilten Wissens

Unternehmen im Windenergiesektor, die an der Entwicklung technischer Produkte beteiligt sind, stehen vor der Herausforderung, verteiltes Wissen aus den Kontexten der Wind-, Zuliefer- und Anwenderindustrie zu nutzen. Zwar werden Windkraftanlagen von den WKA-Herstellern entwickelt, gefertigt und montiert; darüber hinaus können aber auch Zulieferfirmen technische Komponenten fertigen, Werkstoffe liefern oder Produktionsmaschinen bereitstellen; auch Betreiber von Windkraftanlagen<sup>6</sup> können die WKA-Hersteller mit Ideen und Feedbacks versorgen, insbesondere wenn sie die konkreten Anwendungsbedarfe von Windkraftanlagen an Land und auf See besser einschätzen können. Die Tatsache, dass die Hersteller-, Zuliefer- und Anwenderunternehmen zunehmend international operieren, erschwert es den WKA-Herstellern, das verteilte Wissen für ihre betrieblichen Entwicklungs- und Herstellungsprozesse zu nutzen. Zwar ist die organisatorische Fähigkeit, Wissen aus unterschiedlichen Kontexten zu nutzen, oft auf die Herstellerunternehmen beschränkt, sie kann sich aber auch auf die beteiligten Zuliefer- und Anwenderunternehmen erstrecken (Adams et al. 2011; Adams/Brusoni/Malerba 2013; Adams/Fontana/Malerba 2013). Vor diesem Hintergrund könnte die Nutzung verteilten Wissens für Unternehmen im Windenergiesektor eine zentrale Herausforderung darstellen, um technische Produkte zu entwickeln und herzustellen.

“Knowledge stemming from different sources and having different content needs to be integrated into products and systems. Such integration requires interaction, coordination, information flows, absorptive capabilities, and suitable technological and organizational interfaces to make it work. These skills and the ability to control and coordinate the integration of knowledge from different sources as well as the processes of innovation, production and commercialization that follow may remain in the hands of only a few firms within an industry, or even in the hands of a few groups within firms.” (Adams et al. 2011: 170f.)

Aus diesen Überlegungen heraus fragt die vorliegende Studie zunächst *(a) nach den Unternehmen, die im Windenergiesektor an der Entwicklung technischer Produkte beteiligt sind und (b) nach den Strategien, welche diese Unternehmen verfolgen, um das verteilte Wissen für betriebliche Entwicklungs- und Herstellungsprozesse zu nutzen.*

---

<sup>6</sup> Forschungen zeigen, dass Akteure auf der Nachfrageseite aktiv in den Innovationsprozess eingreifen können (Adams/Fontana/Malerba 2013: 1-2; angelehnt an Mowery/Nelson 1999 für die Softwareindustrie, den Maschinenbau oder die Halbleiterindustrie; Malerba/Mani 2009 für ITK, Software, Investitionsgüter, Motorradfahrzeuge; bzw. Hippel 1998, 2005 für „Lead Users“).

### 3. Eigener Ansatz: Unternehmen im Windenergiesektor

Aus den bisherigen Überlegungen wird festgehalten, dass das Wissen im Windenergiesektor auf Unternehmen der Wind-, Zuliefer- und Anwenderindustrie verteilt ist, die an der Entwicklung und Herstellung von Windkraftanlagen beteiligt sind. Nachfolgend wird daher erläutert, um welche Unternehmen es sich hierbei handelt. Es werden drei Typen großer WKA-Hersteller beschrieben, die den Windenergiesektor dominieren und es wird erläutert, welche Zuliefer- und Anwenderunternehmen unterschieden werden können.

#### 3.1 Unternehmen der Windindustrie

Die Windindustrie wird von den großen WKA-Herstellern dominiert, welche Windkraftanlagen im Mega- und Multimegawattbereich bauen. Diese Unternehmen zählen zum industriellen Kern des Windenergiesektors, da sie über das technische Wissen verfügen, um Windkraftanlagen für Land- und Seestandorte zu entwickeln und herzustellen. Heute wird die Windindustrie von europäischen und amerikanischen WKA-Herstellern geprägt. Insbesondere Vestas, Enercon, Siemens und General Electric konnten ihre Technologieführerschaft behaupten, mit der sie die Weltmärkte für Land- und Meereswindparks derzeit dominieren (vgl. TPWind 2014: 10). Darüber hinaus gibt es eine Vielzahl anderer Hersteller, sodass allein in Deutschland der Anlagenbestand auf 40 verschiedene Unternehmen zurückgeführt werden kann (vgl. IWES 2013: 36). Vor dem Hintergrund weltweiter Absatzmärkte werden drei Typen großer WKA-Hersteller unterschieden: (1) *europäische Pionierunternehmen*; (2) *westliche Technologiekonzerne*; (3) *asiatische Windkraftspezialisten* (vgl. Tabelle 4). Diese Unternehmenstypen können dahingehend unterschieden werden, wie sie eigene Windkraftkompetenzen aufgebaut (*betriebliche Lernstrategie*) und auf welche Produkte sie ihre Entwicklungs- und Herstellungsprozesse ausgerichtet haben (*Produktstrategie*).



**Tabelle 2:** Typen von Windkraftanlagenherstellern im Mega- und Multimegawattbereich (eigene Darstellung)

	<b>Europäische Pionierunternehmen</b>	<b>Westliche Technologiekonzerne</b>	<b>Asiatische Windkraftspezialisten</b>
Typisches Merkmal	Pioniere und technologische Vorreiter in der Herstellung von WKA	Global agierende Großkonzerne insbesondere auch auf Offshore-Märkten	Neue „Player“ auf globalen Märkten der Windenergie an Land und auf See
Betriebliche Lernstrategien	Erhalt einer Technologieführerschaft durch kontinuierliche Produktinnovationen und Aufbau hoher Entwicklungs- und Fertigungstiefen	Globale Marktdominanz durch Übernahmen, strategische Kooperationen und Aufbau eigener Entwicklungs- und Fertigungskapazitäten	Schneller Aufbau einer Windkraftkompetenz durch Übernahmen, Kooperationen und Technologietransfers mit westlichen Spezialisten
Produktstrategie	Entwicklung von Anlagen für ausgewählte internationale Absatzmärkte	Anbieter von Anlagen auf globalen Absatzmärkten insbesondere auch im Offshore-Bereich	Flexibel anpassbare Anlagen für weltweit unterschiedliche Anwendungskontexte
Beispielunternehmen	Enercon, Vestas, Bard	Siemens, General Electric, Areva	Senvion, Goldwind, United Power, Sinovel

### 3.1.1 Europäische Pionierunternehmen

Die europäischen Windkraftpioniere umfassen Unternehmen, die bereits in den 1980er Jahren meist in ländlichen Regionen Dänemarks und Deutschlands erste Landwindanlagen herstellten und seither mit innovativen Lösungen ihre Technologieführerschaft behaupten konnten (vgl. Simmie 2012; Garud/Karloe 2003; Mautz et al. 2008; Mautz 2012). Hierzu zählen zum Beispiel Unternehmen wie Enercon und Vestas, die den deutschen Windenergiemarkt dominieren und zusammen circa 65 Prozent der 2013 neu installierten Windenergieanlagen ausgeliefert haben (vgl. Tabelle 5 im Anhang; vgl. TPWind 2014; IWES 2013; Simmie 2012). Die Pioniere haben eine hohe Fertigungs- und Entwicklungstiefe aufgebaut, um ihre Kernkompetenzen besser kontrollieren zu können (Anlagenzulieferer-LE; vgl. BWE 2014). Zu dieser Gruppe wird auch der mittlerweile insolvente Offshore-Pionier Bard gezählt, der sich seit 2003 auf den Bau und die Errichtung von Meereswindparks spezialisierte und zehn Jahre

später den mit 80 Anlagen und einer Gesamtleistung von 400 MW bis dato größten deutschen Meereswindpark ‚Bard Offshore 1‘ in Betrieb nahm<sup>7</sup> (vgl. IWES 2013).

### **3.1.2 Westliche Technologiekonzerne**

Westliche Technologiekonzerne umfassen den zweiten Typ von WKA-Herstellern. Gegenüber den Pionierunternehmen spezialisierten sie sich erst im Verlauf der 1990er Jahre darauf, Windkraftanlagen für globale Absatzmärkte zu entwickeln, herzustellen und zu betreiben. Hierfür übernahmen sie andere WKA-Hersteller, spezialisierte Zulieferbetriebe oder schlossen strategische Partnerschaften, um Windkraftanlagen oder einzelne Komponenten selbst entwickeln und fertigen zu können. Wie auch einige Pionierunternehmen haben sie teilweise umfangreiche Kompetenzen in der Projektierung und Wartung von Windparks aufgebaut. Heute dominieren Konzerne wie General Electric oder Siemens die Weltmärkte der Windenergie, wobei der letztgenannte deutsche Technologiekonzern seine Marktführerschaft im Offshore-Bereich weiter ausbauen konnte (vgl. Mautz et al. 2008; Mautz 2012; vgl. IWES 2013; vgl. Tabelle 5 im Anhang).

### **3.1.3 Asiatische Windkraftspezialisten**

Die dritte Gruppe umfasst asiatische Windkraftspezialisten, welche in den letzten Jahren durch Unternehmensübernahmen, Kooperationen oder Technologietransfers den technologischen Rückstand auf westliche Konkurrenten reduzieren konnten. Zu diesen Unternehmen zählt beispielsweise Senvion (vormals REpower), das zur indischen Suzlon-Gruppe gehört und Anlagen für Land- und Meereswindparks herstellt. Im Geschäftsfeld für Meereswindanlagen zählt Senvion weltweit zu einen der drei größten Hersteller (IWES 2013; vgl. Tabelle 5 im Anhang). Dieser Unternehmenstyp umfasst auch alle chinesischen Hersteller wie zum Beispiel Goldwind, United Power oder Sinovel, die seit Beginn des 21. Jahrhunderts eigene Windkraftkompetenzen aufbauten, indem sie Forschungs-, Entwicklungs- und Produktionsprozesse im Heimatland zentralisierten und durch Technologietransfers vor allem von westlichen Spezialisten lernen konnten (Klagge et al. 2013; Lema et al. 2011).

---

<sup>7</sup> Nach der Insolvenz von Bard wird der Windpark heute von einer Nachfolgegesellschaft betrieben (vgl. IWES 2013; Bard Engineering 20.11.2013).

### 3.2 Unternehmen der Zulieferindustrie

Die Zulieferindustrie setzt sich meist aus kleinen und mittleren Betrieben zusammen, welche in den Branchen des Maschinenbaus, der Elektrotechnik, der Informationstechnologie oder des Groß- und Anlagenbaus angesiedelt sind. Die Anlagenkonzepte der WKA-Hersteller sehen vor, dass einzelne Komponenten oder ganze technische Systeme von externen Spezialisten bezogen werden, sodass die WKA-Hersteller teilweise enge Entwicklungspartnerschaften mit Unternehmen der Zulieferindustrie pflegen. In Deutschland stammen viele Zulieferbetriebe aus dem klassischen Mittelstand (vgl. Mautz et al. 2008; Mautz 2012; Simmie 2012).

### 3.3 Unternehmen der Anwenderindustrie

Das technische Produkt Windkraftanlage wird heutzutage auf internationalen Absatzmärkten für Land- und Meeresstandorte nachgefragt, sodass sich der Windenergiesektor aus den Subsektoren der Windenergie an Land (Onshore) und auf See (Offshore) zusammensetzt. In beiden Subsektoren profitieren die Betreiber oft von institutionalisierten Förderprogrammen, um den Windstrom gegenüber konventionellen Energieträgern leichter vertreiben zu können. In Deutschland werden Landwindanlagen meist von Landwirten, aber auch meist von regionalen Energieversorgern, Genossenschaften oder kleinen und mittelständischen Dienstleistungsunternehmen betrieben (vgl. Mautz et al. 2008; Mautz 2012).

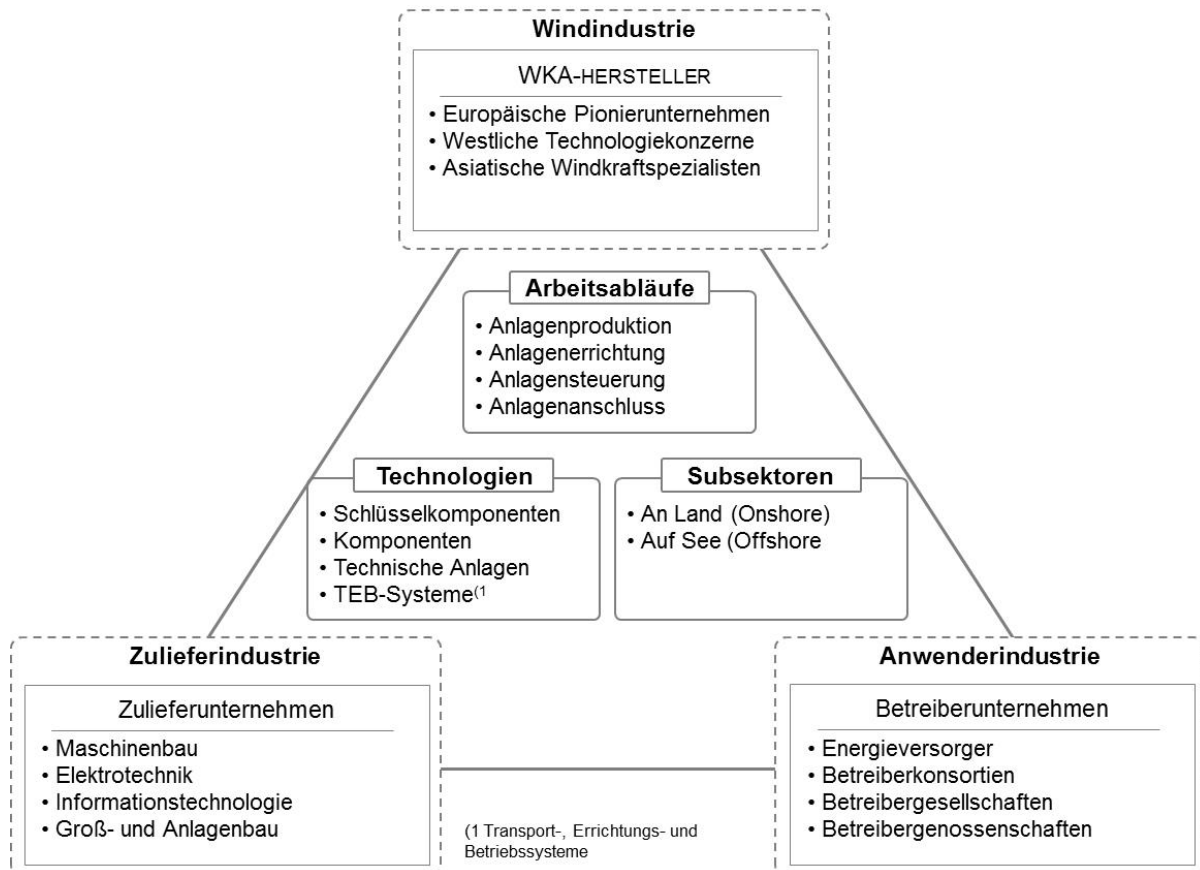
Im Subsektor der Offshore-Windenergie hat sich eine eigene Anwenderindustrie entwickelt. Die heute in der deutschen Nord- und Ostsee kommerziell genutzten und im Bau befindlichen Windparks werden meist von großen Energieversorgungsunternehmen oder Industriekonsortien betrieben, welche internationale Energieversorger, Stadtwerke, Projektierungsgesellschaften, Banken und Investoren umfassen können.<sup>8</sup> Die letzten Jahre haben gezeigt, dass große Unternehmen eher in der Lage sind, die hohen Unsicherheiten von Offshore-Windparks zu beherrschen. Diese ergeben sich aus den entlang der gesamten Wertschöpfungskette unzureichend verfügbaren Fachkräften, den milliardenschweren Kos-

---

<sup>8</sup> Die Stiftung Deutsche Offshore-Windenergie informiert über den Stand des Ausbaus deutscher Meereswindparks; vgl. [www.offshore-windenergie.net/windparks](http://www.offshore-windenergie.net/windparks).

ten<sup>9</sup> sowie den hohen logistischen und infrastrukturellen Herausforderungen, die bei der Errichtung von Meereswindparks, ihrem Anschluss an das Stromnetz und ihrer Hafenanbindung zu bewältigen sind (Jacobsson/Karltorp 2013). Die bisherigen Erläuterungen werden schematisch in Abbildung 1 zusammengefasst.

**Abbildung 1** Schematisierter Aufbau des Windenergiesektors (eigene Darstellung)



Festgehalten wird, dass die großen WKA-Hersteller zwar zum industriellen Kern des Windenergiesektors gehören; das große Teile des Wissens, das in die Entwicklung und Herstellung von Windkraftanlagen einfließt, offenbar erst im Austausch mit Unternehmen der Zuliefer- und Anwenderindustrie erzeugt werden. Die vorliegende Studie fragt daher, wie Unternehmen das verteilte Wissen nutzen, um Windkraftanlagen zu entwickeln und herzustellen. Aus dem empirischen Datenmaterial, das nachfolgend kurz vorgestellt wird, leitet das fünfte Kapitel vier Strategien ab, wie Unternehmen im Windenergiesektor verteiltes Wissen nutzen.

<sup>9</sup> Die Gründung, Verkabelung, Installation und Betriebsführung von Meereswindparks kann je nach dessen Größe und Standort die Kosten für Landwindparks um ein Drei- bis Vierfaches übersteigen (vgl. IWES 2013: 40f., 62f.; vgl. Windguard 2013, 2014).

## 4. Empirie und Methode

### 4.1 Forschungsprojekt „COLLIN – Collaborative Innovations“

Von April 2013 bis März 2016 untersucht das Forschungsprojekt „COLLIN – Collaborative Innovations“ überbetriebliche Innovationsprozesse im Windenergiesektor.<sup>10</sup> Es wird der Frage nachgegangen, unter welchen Voraussetzungen Unternehmen zusammenarbeiten, um verteiltes Wissen für die Entwicklung technischer Produkte zu nutzen. Anhand konkreter Entwicklungsprojekte wird untersucht, inwiefern solche Interaktionen zwischen Unternehmen, die allgemein als Wissenstransferbeziehungen bezeichnet werden können, koordiniert werden. Hierfür werden verschiedene Experteninterviews durchgeführt (vgl. Wittke et al. 2012). In den Forschungsarbeiten bilden Unternehmen, die an der Entwicklung und Herstellung von Windkraftanlagen oder deren technischen Komponenten beteiligt sind, die zentrale Untersuchungsebene. Hierzu zählen in erster Linie die großen WKA-Hersteller, aber auch Unternehmen der Zuliefer- und Anwenderindustrie.

### 4.2 Einbezogene Experteninterviews

Um einen allgemeinen Überblick über die Unternehmen im Windenergiesektor zu gewinnen und weiter einzugrenzen, welche Unternehmen in technischen Produktentwicklungen direkt beteiligt sein können, wurden zunächst leitfadengestützte Interviews mit unterschiedlichen Experten durchgeführt. Hierzu zählen Gespräche auf (a) der *betrieblichen Ebene* mit Mitarbeitern von WKA-Herstellern, Zulieferbetrieben und Windanlagenbetreibern sowie (b) auf der *überbetrieblichen Ebene* mit Mitarbeitern von Netzwerkorganisationen, Verbänden, Stiftungen und Dienstleistern (vgl. Tabelle 3). Es wurden erste Interviews, die im Zeitraum August 2013 bis März 2014 durchgeführt wurden, in die vorliegende Studie einbezogen.

---

<sup>10</sup> COLLIN wird auf Vorschlag des Niedersächsischen Ministeriums für Wissenschaft und Kultur von April 2013 bis März 2016 von der Volkswagenstiftung gefördert. Das Verbundprojekt wird vom Jean Monnet Centre for Europeanisation and Transnational Regulations Oldenburg (CETRO) der Universität Oldenburg sowie vom Soziologischen Forschungsinstitut an der Universität Göttingen (SOFI) koordiniert, wobei die Göttinger Arbeitsgruppe den Sektor der Informationstechnologie untersucht.

**Tabelle 3** In die Studie einbezogene Experteninterviews (Erhebungszeitraum: August 2013 bis März 2014)

<b>Unternehmen und andere Akteure</b>	<b>Befragungsebene</b>	<b>Kürzel im Text</b>
<b>a) Betriebliche Ebene</b>		
<i>Windindustrie</i>		
Westlicher Technologiekonzern	Leitung	WKA-Konzern-LE
Windkraftpionier	Leitung	WKA-Pionier-LE
	Arbeitsebene	WKA-Pionier-AE
<i>Zulieferindustrie</i>		
Komponentenzulieferer [A]	Leitung	Komponentenzulieferer-LE-A
	Arbeitsebene	Komponentenzulieferer-AE-A
Komponentenzulieferer [B]	Leitung	Komponentenzulieferer-LE-B
Anlagenzulieferer	Leitung	Anlagenzulieferer-LE
<i>Anwenderindustrie</i>		
Projektierungsgesellschaft (Onshore)	Leitung	Projektierung-LE
Betreiber eines Bürgerwindparks (Onshore)	Leitung	Bürgerwindpark-LE
<b>b) Überbetriebliche Ebene</b>		
Verband	Leitung	Verband-LE
Stiftung	Leitung	Stiftung-LE
Dienstleister	Leitung	Maritime-Wirtschaft-LE
Netzwerk [A]	Leitung	Netzwerk-LE-A
Netzwerk [B]	Leitung	Netzwerk-LE-B
Landespolitik	Leitung	Landespolitik-LE
	Arbeitsebene	Landespolitik-AE

Die Interviews dauerten zwischen einer und zweieinhalb Stunden. Das Datenmaterial wurde transkribiert und mit MaxQDA kodiert.

## 5. Ergebnisse: Betriebliche Nutzung verteilten Wissens

Da das Wissen, das für die Entwicklung und Herstellung von Windkraftanlagen notwendig ist, in unterschiedlichen Kontexten erzeugt werden kann, müssen die entwickelnden bzw. herstellenden Unternehmen lernen, verteiltes Wissen besser zu nutzen. Aus den im Rahmen des Forschungsprojekts COLLIN erfolgten empirischen Erhebungen können induktiv vier Strategien abgeleitet werden, wie Unternehmen im Windenergiesektor mit dieser Herausforderung umgehen: (1) *Aus- bzw. Weiterbildung von Fachpersonal*; (2) *Verbesserung betrieblicher Fertigungsabläufe*; (3) *Koordination ausgewählter Zulieferbeziehungen*; (4) *vernetzte Beherrschung der Offshore-Technologie*.

### 5.1 Aus- und Weiterbildung von Fachpersonal

Im Windenergiesektor arbeiten viele Unternehmen daran, Industrie- und Ausbildungsstandards zu definieren, um die notwendigen Kompetenzen entlang der gesamten Wertschöpfungskette aufzubauen. So wurde in den Gesprächen auf der betrieblichen Ebene oft der Bedarf an definierten Ausbildungsstandards und qualifiziertem Fachpersonal genannt, um die Entwicklungs- und Herstellungsprozesse besser umsetzen zu können. Viele Unternehmen suchen Fachpersonal sowohl für spezialisierte als auch für generalistische Aufgabenfelder (WKA-Konzern-LE). Zwar existieren ähnliche Aufgabenprofile teilweise auch in anderen Industrien, auf welche manche Unternehmen auch zurückgreifen; viele Aufgabenfelder stellen jedoch vollständig neue Berufsbilder dar, sodass die Unternehmen ihre Mitarbeiter oft selbst anlernen, umschulen oder ausbilden (WKA-Pionier-LE; WKA-Pionier-AE). In den letzten Jahren wurden daher neue berufsbildende und akademische Ausbildungsprogramme eingeführt, um den Fachkräftebedarf besser bedienen zu können (Netzwerk-LE-B; WKA-Hersteller-LE; WKA-Pionier-LE; WKA-Pionier-AE; vgl. Jacobsson/Karltorp 2012, 2013).

„[Durch die Windenergietechnologie] haben sich Berufsbilder verändert. (...) Wir haben ungefähr über 100 neue Jobprofile geschaffen (...) In der Regel handelt es sich um eine mechanisch oder elektrisch geprägte Basisqualifikation, auf die eine recht umfangreiche Qualifizierung draufgesattelt wird. (...) Neben Mitarbeitern auf der technischen Seite haben wir auch sehr viele Fach- und Führungskräfte im Vertrieb und im Projektmanagement eingestellt.“ (WKA-Konzern-LE)

*Strategie A:* Aufgrund unzureichend ausgeprägter Fachkompetenzen entlang der gesamten Wertschöpfungskette führen Unternehmen neue Qualifizierungs- und Weiterbildungsprogramme ein.

## 5.2 Verbesserung betrieblicher Fertigungsabläufe

Unternehmen im Windenergiesektor arbeiten an der Verbesserung betrieblicher Fertigungsabläufe. Dies betrifft insbesondere die Herstellung von Rotorblättern, die im Vergleich zu anderen Schlüsselkomponenten zu großen Teilen manuell gefertigt werden. So wird in der Rotorblattfertigung nach Ansätzen gesucht, um die zu großen Teilen manuellen Produktionsabläufe weiter zu automatisieren.

Rotorblätter zählen zu den Schlüsselkomponenten im Windenergiesektor. Sie werden kontinuierlich vergrößert, um die Leistungseffizienz von Anlagen zu steigern. Aktuell erreichen Rotorblätter eine Länge von bis zu 55 m, während längere Ausfertigungen bereits erprobt werden. Die Herstellung von Rotorblättern ist noch immer stark manuell geprägt. Viele Schritte in der Verarbeitung von Faserverbundwerkstoffen oder der Beschichtung von Oberflächen werden immer noch händisch ausgeführt. Mit der zunehmenden Größe der Rotorblätter steigt auch deren Gewicht, sodass besondere Transportwege und -mittel eingesetzt werden, um die Blätter zur Endmontage bzw. zum Errichtungsstandort zu bringen. Viele Herstellerfirmen arbeiten daher daran, die Fertigungsabläufe zu standardisieren, um Verarbeitungsqualität, Prozessdurchlaufzeiten, Materialverbrauch oder Produktionskapazitäten zu optimieren. Diese Anstrengungen erstrecken sich offenbar nicht nur auf die Herstellungsprozesse, sondern auch auf Ausbildungsprogramme, Arbeits- bzw. Sicherheitsvorschriften oder Qualitätsrichtlinien (WKA-Pionier-LE; WKA-Pionier-AE; Anlagenzulieferer-LE).

Das Beispiel der Rotorblattfertigung verdeutlicht, dass es sich bei vielen Fertigungsprozessen im Windenergiesektor noch um industrielles Neuland handelt. Offenbar sind viele Unternehmen gerade dabei, die nötigen Kompetenzen aufzubauen, um Windkraftanlagen für die weltweite Nachfrage fertigen zu können. Zwar deutet sich am Beispiel der Rotorblattfertigung an, dass die Hersteller auf komplementäres Wissen im Automobil-, Flugzeug- und Schiffbau theoretisch zugreifen könnten; praktisch jedoch stellt die Fertigung von Rotorblättern gänzlich andere Anforderungen, sodass das Wissen aus anderen Industrien nicht eins zu eins übernommen werden kann. So sind Rotorblätter gegenüber Autodächern, Flugzeugtragflächen oder Schiffsrümpfen größer und schwerer, sie wachsen kontinuierlich an, werden in höheren Stückzahlen gefertigt und unterliegen geringeren Sicherheitsstandards als beispielsweise Flugzeugbauteile. Wie aus den bisherigen Gesprächen deutlich wurde, sind es daher vor allem die Rotorblatthersteller selbst, die versuchen, Fertigungsabläufe zu standar-



disieren und weitestgehend zu automatisieren, wofür spezialisierte Hersteller die notwendigen Anlagen liefern. Ein Informations- und Wissensaustausch mit anderen Industrien ist eher lose ausgeprägt (WKA-Pionier-LE; WKA-Pionier-AE; Anlagenzulieferer-LE).

„Da wir keine Maschinenbau sind, spielen erfahrene Hersteller für uns eine große Rolle, wenn es darum geht, neue Fertigungsanlagen zu entwickeln (...) Interessant ist es, nach Ideen aus anderen Industrien zu schauen, was beispielsweise die Standardisierung von Fertigungsabläufen in der Automobilindustrie oder die Verarbeitung von Faserverbundwerkstoffen in der Luft- und Raumfahrtindustrie anbelangt. (...) In der Fertigung gibt es Aspekte, bei denen Unternehmen aus anderen Industrien viel weiter sind. (...) Wir versuchen zwar einzelne Konzepte zu übernehmen, stehen hier aber noch ziemlich am Anfang, denn es ist ein Unterschied, ob ich ein 55 Meter langes, tonnenschweres Rotorblatt oder ein KFZ-Blech verarbeite.“ (WKA-Pionier-AE)

*Strategie B:* Da viele Fertigungsprozesse industrielles Neuland betreten, arbeiten Unternehmen daran, die Abläufe zu standardisieren und mit Hilfe technischer Lösungen von spezialisierten Herstellern weitestgehend zu automatisieren.

### 5.3 Koordination ausgewählter Entwicklungsallianzen

Neben den Schlüsselkomponenten bestehen Windkraftanlagen aus einer Vielzahl mechanischer, elektrotechnischer und informationstechnologischer Komponenten, welche die WKA-Hersteller von unterschiedlichen Zulieferbetrieben beziehen. So kommen für die Anlagensteuerung Hardware- und Software-Systeme zum Einsatz, welche von spezialisierten Herstellern oder IT-Dienstleistern entwickelt werden. Um Meereswindanlagen im Boden zu verankern, werden spezielle Gründungsstrukturen von Herstellerfirmen geliefert, die teilweise auch über Kompetenzen aus der Öl- und Gasindustrie verfügen. Auch für den Transport von Großkomponenten zum Errichtungsstandort werden technische Anlagen entwickelt, die auf Spezialschiffen oder an Hafenstandorten eingesetzt werden (Komponentenzulieferer-LE-A; Netzwerk-LE-A; WKA-Hersteller-LE; Netzwerk-LE-A; vgl. IWES 2012, 2013; vgl. Schaffarczyk 2010). Diese Ergebnisse unterstreichen zunächst, wie sehr das in einer Windkraftanlage inkorporierte technische Wissen auf unterschiedliche Zulieferkontexte verteilt ist.

Die Art und Weise, wie WKA-Hersteller ihre Zulieferbeziehungen koordinieren, hängt stark von der jeweiligen Anlagenkonzeption ab. Das Anlagenkonzept eines WKA-Herstellers gibt vor, welche Komponenten er selbst fertigt oder von Zulieferbetrieben bezieht. So setzen die WKA-Hersteller zum Beispiel unterschiedliche Antriebssysteme ein, welche direktangetriebene, getriebevermittelte oder hybride Konzepte mit speziellen Getriebe-Generator-

Designs umfassen können und deren Einsatz teilweise auch besondere Rohstoffe wie seltene Erden erforderlich macht (vgl. Schaffarczyk 2010). Aus den bisherigen Interviews geht hervor, dass die Schlüsselkomponenten meist von den WKA-Herstellern selbst entwickelt und gefertigt werden, während die Zulieferbeziehungen, sofern möglich, auf technisch weniger komplexe Komponenten begrenzt werden. Die WKA-Hersteller organisieren ihre Zulieferbeziehungen daher so, dass die eingekauften technischen Komponenten leicht in die Windkraftanlagen eingebaut werden können. Offenbar werden Komponenten vorzugsweise von ausgewählten, spezialisierten Herstellerfirmen als eher technisch „eingekapselte“ Lösungen eingekauft, um sie baukastenartig in den Anlagen zu montieren. Auf diese Weise bleibt das Detailwissen um Konstruktionsdesign, Fertigungsabläufe oder Materialeinsatz eher in den Händen der WKA-Hersteller. Demgegenüber können die Entwicklungs- und Herstellungsprozesse der WKA-Hersteller und Zulieferbetriebe technisch derart stark ineinander „verschachtelt“ sein, dass die Unternehmen eng zusammenarbeiten, sodass sie tiefere Einblick in das jeweilige Detailwissen zulassen (Komponentenzulieferer-LE-A; Komponentenzulieferer-AE-A; Komponentenzulieferer-LE-B; Anlagenzulieferer-LE; WKA-Pionier-LE; WKA-Pionier-AE).

„Der Kunde [ein Windkraftanlagenhersteller] baut unser Produkt als relativ simple Komponente in seine Anlagen ein, da er über eine sehr komplizierte Turmsteuerung verfügt. Andere WKA-Hersteller haben eine einfachere Steuerung und denen können wir unsere Komponente nun anbieten (...), denn wir haben sie so weiterentwickelt, dass sie Bestandteil der Steuerung sein könnte.“ (Komponentenzulieferer-LE-B)

*Strategie C:* Abhängig von der jeweiligen Anlagenkonzeption koordinieren die WKA-Hersteller Entwicklungsallianzen mit ausgewählten Zulieferbetrieben.

#### **5.4 Vernetzte Beherrschung der Offshore-Technologie**

Seit mittlerweile über zehn Jahren spezialisieren sich im Windenergiesektor Unternehmen auf den Bau, die Errichtung und den Betrieb von Windparks auf See. Mit öffentlicher Unterstützung wurden an norddeutschen Hafenstandorten wie Bremerhaven, Cuxhaven, Emden oder Wilhelmshaven neue Infrastrukturen aufgebaut und Unternehmensansiedlungen gefördert, welche die Entwicklung der Offshore-Industrie unterstützen sollten (Landespolitik-AE; Netzwerk-LE-B; Netzwerk-LE-B). Lange Zeit steckte diese Industrie allerdings in der Krise. Unsichere institutionelle Rahmenbedingungen drückten die Auftragslage von Unternehmen, was teilweise mit betrieblichen Kosteneinsparungen und Insolvenzen einherging (Landespoli-

tik-LE; Landespolitik-AE). Insgesamt handelt es sich um eine junge Industrie, die im Windenergiesektor einen eigenständigen Subsektor darstellt.

Bei Meereswindparks handelt es sich um industrielle Großprojekte. Aufgrund ihrer hohen Kosten und Risiken werden sie vor allem von Industriekonsortien geplant, finanziert, errichtet und betriebsgeführt. Solche Unternehmensverbände verfügen eher über die notwendigen Ressourcen, um die mehrjährigen Planungshorizonte, milliardenschweren Investitionen, technologischen Risiken und logistischen Voraussetzungen der Errichtung und Betriebsführung von Meereswindparks zu bewältigen (Landespolitik-AE; vgl. Jacobsson/Karltorp 2013). Insgesamt finden in der gesamten Offshore-Industrie derzeit industrielle Lernprozesse statt: Die hierin involvierten Unternehmen lernen gerade erst, die immensen Herausforderungen dieser Pionertechnologie zu beherrschen.

Die Herausforderungen der Offshore-Industrie betreffen technologische, organisatorische, logistische und hafeninfrastrukturelle Abläufe. Gegenüber der Errichtung von Landwindparks sind die Zulieferketten in der Offshore-Industrie wesentlich ausdifferenzierter. Um Meereswindparks installieren, anschließen und betreiben zu können, werden WKA-Hersteller, Komponentenzulieferer, Produzenten von Stromkabeln, Spezialschiffbauer, Projektentwickler, Energieversorger, Logistikunternehmer, Wartungsspezialisten und Hafensterndorte miteinander verknüpft (Jacobsson/Karltorp 2013). Darüber hinaus greifen mitunter extreme Wetter- und Witterungsverhältnisse die Materialien, Oberflächen und Komponenten von Offshore-Windkraftanlagen an (WKA-Pionier-LE). Gründungsstrukturen müssen für unterschiedliche Boden- und Strömungsverhältnisse sowie Wassertiefen in Nord- und Ostsee entwickelt werden (Stiftung-LE). Windparks müssen an das elektrische Stromversorgungsnetz angeschlossen werden, was die Planung von Stromtrassen, die Verlegung von Seekabeln und die Regelung der Stromübertragung voraussetzt (WKA-Hersteller-LE; Stiftung-LE; Landespolitik-AE). Hinzu kommt, dass Meereswindparks nur innerhalb weniger Monate im Jahr errichtet werden können. Daher müssen die logistischen Abläufe und hafeninfrastrukturellen Voraussetzungen bereitgestellt werden, um Großkomponenten wie Gründungsstrukturen, Turmstrukturen, Maschinenhäuser oder Rotoren innerhalb kurzer Zeitfenster verladen, transportieren und montieren zu können (Maritime-Wirtschaft-LE; Stiftung-LE).

Die in der Offshore-Industrie aktiven WKA-Hersteller bauen gerade das Wissen auf, das für die Entwicklung und Fertigung von Meereswindanlagen benötigt wird. Hierfür haben sie teilweise neue Geschäftsbereiche errichtet und ihre Forschungs-, Entwicklungs- und Ver-

triebsaktivitäten an wenigen Standorten gebündelt (WKA-Hersteller-LE). Sie haben sowohl Spezialhersteller übernommen, um Schlüsselkonzepte selbst zu fertigen, als auch Herstellungs- und Entwicklungsallianzen mit Zulieferbetrieben etabliert, um fertige Lösungen einkaufen zu können (Landespolitik-AE; WKA-Hersteller-LE). Teilweise wurde mit Unternehmen der maritimen Wirtschaft kooperiert, in denen die infrastrukturellen und logistischen Voraussetzungen bereitgestellt wurden, um alle Komponenten eines Offshore-Windparks von der Kaikante zum Errichtungsstandort zu transportieren (Netzwerk-LE-A); nur selten greifen die Unternehmen hierfür auf das komplementäre Wissen zurück, das Unternehmen im Groß- und Anlagenbau oder der Öl- und Gasindustrie aufgebaut haben (Landespolitik-AE; Maritime-Wirtschaft-LE). Zudem ergeben sich viele technische und logistische Fragestellungen erst während der Errichtungsarbeiten (Stiftung-LE; Landespolitik-AE; WKA-Hersteller-LE; vgl. Jacobsson/Karltorp 2013), sodass die gesamte Offshore-Industrie derzeit stark von industriellen Lernprozessen geprägt ist.

„Es handelt sich um eine Pionierbranche, in der wir gerade dabei sind, erste Erfahrungen zu sammeln und vielleicht auch Kostendegressionen zu erzielen (...) Rückblickend ist erkennbar, dass [bei der Entstehung der Offshore-Branche] keine ausreichende Strukturierung erfolgte, was die Planung von Windparks und die Unternehmensstrukturen anbelangt. (...) Die Branche hatte damals noch wenige Vorstellungen von den Größenordnungen, um Windparks planen, bauen und finanzieren zu können. (...) Bei der Planung der Windparks wurde anfangs versäumt, eine bessere Vernetzung zwischen Unternehmen und Behörden herzustellen. (...) Es wäre auch hilfreich gewesen, wenn es eine bessere Vernetzung mit der Öl- und Gasbranche gegeben hätte. Auch mit der Onshore-Branche hätte man sich enger vernetzen können, um bei der Planung das eine oder andere zu erkennen.“ (Landespolitik-AE)

*Strategie D:* Um die organisatorischen, technischen und logistischen Herausforderungen der Offshore-Technologie zu bewältigen, lernen vor allem große Unternehmen der Hersteller-, Zuliefer- und Anwenderindustrie, industrielle Netzwerke zu koordinieren, um Meereswindparks planen, errichten und betreiben zu können.

## 6. Zusammenfassung

Die Entstehung des Windenergiesektors geht auf das Engagement von Pionierunternehmen in Dänemark und Deutschland zurück. Bis heute prägen Unternehmen den Windenergiesektor, die bereits in den 1980er Jahren Windkraftanlagen herstellten. Von staatlichen Förderregimen unterstützt, bauten die europäischen Windkraftpioniere eine Technologieführerschaft auf und behaupten sich bis heute gegenüber globalen Konkurrenten.

In Deutschland, einem Gründungsland der Windenergieindustrie, werden heute zwar Windkraftanlagen an Land und auf See errichtet; dennoch befindet sich die Industrie noch im Aufbau. Während die gesetzten institutionellen Rahmenbedingungen öffentlich debattiert werden, arbeiten viele Unternehmen an Industrie- und Ausbildungsstandards sowie Ausbildungsprogrammen, um Kompetenzen entlang der gesamten Wertschöpfungskette aufzubauen. Im Subsektor der Offshore-Industrie lernen die Unternehmen gerade erst, mit Unternehmen auch aus anderen Industrien zusammenzuarbeiten, um derartige industrielle Großprojekte zu beherrschen.

In den letzten Jahren hat sich der Windenergiesektor weltweit ausgedehnt. In vielen Ländern steigt der Beitrag der Windenergie zur nationalen Stromversorgung; dabei werden Windkraftanlagen an unterschiedlichsten Standorten an Land und auf See installiert. Vor diesem Hintergrund haben sich auch westliche Technologiekonzerne und asiatische Unternehmen auf die Herstellung von Windkraftanlagen spezialisiert. Zusammen mit europäischen Windkraftspezialisten gehören sie zum industriellen Kern des weltweiten Windenergiesektors, da sie die Schlüsselkomponenten einer Windkraftanlage mit technisch weniger komplexen Komponenten verknüpfen, die sie von Zulieferbetrieben beziehen (angelehnt an Malerba 2002, 2004). Das Wissen des Windenergiesektors ist allerdings nicht ausschließlich in seinem industriellen Kern lokalisiert; vielmehr wird es auch im Austausch mit Unternehmen der Zuliefer- und Anwenderindustrie erzeugt.

Es zeichnet sich ab, dass die Hersteller-, Zuliefer- und Anwenderindustrien im Windenergiesektor zunehmend international verteilt sind. Die hierin involvierten Unternehmen müssen daher lernen, Wissen aus verteilten Kontexten zu nutzen, um Windkraftanlagen entwickeln und herstellen zu können. Über diese organisatorische Fähigkeit dürften die WKA-Hersteller kaum allein verfügen; vielmehr scheint sie in überbetrieblichen Netzwerken gebunden zu sein. Insbesondere in der Offshore-Industrie müssen Spezialkompetenzen entlang

---

der gesamten Wertschöpfungskette miteinander verknüpft werden. Aus den bisher durchgeführten empirischen Erhebungen im Rahmen des Forschungsprojekts COLLIN wurden vier Strategien abgeleitet, mit denen Unternehmen im Windenergiesektor verteiltes Wissen nutzen, um technische Entwicklungs- und Herstellungsprozesse umzusetzen:

- A) Aus- und Weiterbildung von Fachpersonal;*
- B) Verbesserung betrieblicher Fertigungsabläufe;*
- C) Koordination ausgewählter Entwicklungsallianzen;*
- D) Vernetzte Beherrschung der Offshore-Technologie.*

Diese Strategien der betrieblichen Nutzung verteilten Wissens sollen im Verlauf der weiterführenden empirischen Erhebungen näher untersucht werden.

## 7. Anhang

**Tabelle 4:** Marktanteile von WKA-Herstellern

<b>WKA-Hersteller<sup>11</sup></b>	<b>Marktanteil in Deutschland (2013; in %)<sup>12</sup></b>	<b>Marktanteil weltweit (2012; in %)</b>
Enercon	41,4	8,2
Vestas	10,7	14
Senvion (Suzlon)	13,5	7,4
Siemens	9,8	9,5
Nordex	7	k. A.
Bard	5,6	k. A.
Areva	2,5	k. A.
General Electric	1	15,5

<sup>11</sup> Windkraftanlagenhersteller (WKA-Hersteller)

<sup>12</sup> Gemessen an neu installierter Windenergieleistung

## Literaturverzeichnis

- Adams, Pamela; Brusoni, Stefano; Malerba, Franco (2013):** The long-term evolution of the knowledge boundaries of firms. In: Giovanni Dosi und Louis Galambos (Hg.): Third Industrial Revolution in Global Business. West Nyack, NY, USA: Cambridge University Press, S. 91–118.
- Adams, Pamela; Brusoni, Stefano; Malerba, Franco (2011):** Knowledge, supply and demand in industrial development: a sectoral systems perspective. In: Innovation and Development 1 (2), S. 167–185.
- Adams, Pamela; Fontana, Roberto; Malerba, Franco (2013):** The magnitude of innovation by demand in a sectoral system: The role of industrial users in semiconductors. In: Research Policy 42, S. 1–14.
- Bard Engineering (20.11.2013):** Offshore Wind Solutions GmbH (OWS) to take over operation and servicing of the offshore wind farm BARD Offshore 1. 300 jobs secured / operational shutdown of BARD companies in 2014. Emden, Axel Bahr
- Bötcher, Jörg (Hg.) (2011):** Handbuch Windenergie. Onshore-Projekte: Realisierung, Finanzierung, Recht und Technik. 1. Aufl. München: Oldenbourg Verlag.
- BMWi (2014):** Erneuerbare Energien im Jahr 2013. Erste vorläufige Daten zur Entwicklung der erneuerbaren Energien in Deutschland auf der Grundlage der Angaben der Arbeitsgruppe Erneuerbare Energien-Statistik (AGEE-Stat). Hg. v. Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi). Berlin.
- BWE (2013a):** Windindustrie in Deutschland. 3. Aufl. Unter Mitarbeit von Hildegard Thüring Thorsten Paulsen Marcus Franken. Hg. v. Bundesverband Windenergie e.V. (BWE). Berlin (BWE Branchenreport).
- BWE (Adams/Fontana/Malerba 2013):** BWE Marktübersicht 2013. Jahrbuch Service, Technik und Märkte. 23. Aufl. Unter Mitarbeit von Ferdinand Eggert, Andrea Bittelmeyer und Franz-Josef Tigges. Hg. v. Thorsten Paulsen Hildegard Thüring Bundesverband Windenergie e.V. (BWE). Berlin.
- BWE (2014):** Windindustrie in Deutschland. 4. Aufl. Unter Mitarbeit von Hildegard Thüring Thorsten Paulsen Marcus Franken. Hg. v. Bundesverband Windenergie e.V. (BWE). Berlin (BWE Branchenreport).
- EAWE (Hg.) (2008):** EAWE - European Academy of Windenergy. 2008 - Unique European Network of Excellence. Kassel. Online verfügbar unter <http://www.eawe.eu/>, zuletzt geprüft am 08.02.2014.
- EEG (20.12.2012):** Gesetz für den Vorrang Erneuerbarer Energien (Erneuerbare-Energien-Gesetz - EEG). Fundstelle: Bundesministeriums der Justiz und für Verbraucherschutz. Online verfügbar unter [http://www.gesetze-im-internet.de/bundesrecht/eeg\\_2009/gesamt.pdf](http://www.gesetze-im-internet.de/bundesrecht/eeg_2009/gesamt.pdf), zuletzt geprüft am 28.04.2014.
- Fagerberg, Jan (2006):** Innovation. A guide to the literature. In: Jan Fagerberg, Richard R. Nelson und David C. Mowery (Hg.): The Oxford handbook of innovation. Oxford: Oxford University Press, S. 1–26.
- Fried, Lauha; Sawyer, Steve; Shukla, Shruti; Qiao, Lining (2013):** Global Wind Report. Annual market update 2013. Hg. v. Global Wind Energy Council. Belgien.
- Garud, R.; Karnoe, P. (2003):** Bricolage versus breakthrough. Distributed and embedded agency in technology entrepreneurship. In: Research Policy 32, S. 277–300.
- Hughes, Thomas P. (2012):** The evolution of large technological systems. In: W. Bijker, Thomas P. Hughes und T. Pinch (Hg.): The Social Construction of Technological Systems. New Directions in the Sociology and History of Technology. Anniversary Edition. Cambridge: M.I.T. Press, S. 45–76.
- IWES (2013):** Windenergie Report Deutschland 2013. Unter Mitarbeit von Stefan Faulstich u. a. Volker Berkhout. Hg. v. Dr. Kurt Rohrig. Fraunhofer-Institut für Windergie und Energiesystemtechnik (IWES). Kassel.
- Jacobsson, S.; Karltorp, K. (2012):** Formation of competences to realize the potential of offshore wind power in the European Union. In: Energy Policy 44, S. 374–384.
- Jacobsson, S.; Karltorp, K. (2013):** Mechanisms blocking the dynamics of the European offshore wind energy innovation system - Challenges for policy intervention. In: Energy Policy 63, S. 1182–1195.
- Joerges, Bernward (1988):** Large technical systems: concepts and issues. In: Renate Mayntz und Thomas P. Hughes (Hg.): The Development of large technical systems. Frankfurt am Main: Campus Verlag, S. 9–36.
- Klagge, Britta; Liu, Zhigao; Campos Silva, Pedro (2012):** Constructing China's wind energy innovation system. In: Energy Policy 50 (370–382).
- Lema, Rasmus; Berger, Axel; Schmitz, Hubert; Song, Hong (2011):** Competition and cooperation between Europe and China in the Wind Power Sector. IDS WORKING PAPER, Volume 2011, Nr. 377, pp. 3–45.
- Malerba, F.; Orsenigo, L. (2000):** Knowledge, innovative activities and industry evolution. In: Industrial and Corporate Change 9, S. 289–314.
- Malerba, Franco (2002):** Sectoral systems of innovation and production. In: Research Policy 31, S. 247–267.



- Malerba, Franco (2004):** Sectoral systems of innovation. Concepts, Issues and Analyses of Six Major Sectors in Europe. Cambridge: Cambridge University Press.
- Malerba, Franco (2005):** Sectoral systems of innovation: a framework for linking innovation to the knowledge base, structure and dynamics of sectors. In: *Econ. Inno. New Techn.* 14 (1-2), S. 63–82.
- Malerba, F. (2006):** Sectoral Innovation Systems. How and why innovation differs across sectors. In: Jan Fagerberg, Richard R. Nelson und David C. Mowery (Hg.): *The Oxford handbook of innovation*. Oxford: Oxford University Press
- Mautz, Rüdiger; Byzio, Andreas; Rosenbaum, Wolf (2008):** Die Entwicklung der Stromproduktion aus erneuerbaren Energien in Deutschland. Eine Studie aus dem Soziologischen Forschungsinstitut Göttingen (SOFI): Universitätsverlag Göttingen.
- Mautz, Rüdiger (2012):** Sozioökonomische Dynamik der Energiewende. In: Peter Bartelheimer, Sabine Fromm und Jürgen Kädtler (Hg.): *Berichterstattung zur sozioökonomischen Entwicklung in Deutschland*: VS Verlag für Sozialwissenschaften, S. 223-241.
- Mayntz, Renate; Hughes, Thomas P. (Hg.) (1988):** *The Development of large technical systems*. Frankfurt am Main: Campus Verlag.
- Schaffarczyk, Alois (2010):** Technische Rahmenbedingungen. Techniksysteme und Entwicklungstendenzen. In: Jörg Bötcher (Hg.): *Handbuch Windenergie. Onshore-Projekte: Realisierung, Finanzierung, Recht und Technik*. 1. Aufl. München: Oldenbourg Verlag, S. 163–174.
- Simmies, James (2012):** Path dependence and new technological path creation in the Danish wind power industry. In: *European Planning Studies* 20 (5), S. 754–772.
- Wallasch, Anna-Kathrin; Rehfeldt, Knud; Ekkert, Martha (2012):** Status des Windenergieausbaus in Deutschland. Zusätzliche Auswertungen und Daten für das Jahr 2012. Hg. v. Deutsche WindGuard GmbH. Varel.
- Wittke, Volker; Heidenreich, Martin; Mattes, Jannika; Hanekop, Heidemarie; Feuerstein, Patrick; Jackwerth, Thomas (2012):** Kollaborative Innovationen. Die innerbetriebliche Nutzung externer Wissensbestände in vernetzten Entwicklungsprozessen. In: *Oldenburger Studien zur Europäisierung und zur transnationalen Regulierung*, Bd. 22, S. 2–37. Online verfügbar unter <http://www.uni-oldenburg.de/cetro/31251.html>.

## Internetquellen

- ForWind (2012):** ForWind - Annual Report 2012. Unter Mitarbeit von Elke Seidel Matt Podgorski Stephan Barth. Hg. v. ForWind – Center for Wind Energy Research. Oldenburg. Online verfügbar unter <http://www.forwind.de>.
- HMC (2012):** Ihr Tor zur Welt der Windenergie. Hamburg, 23-26 September 2014. Hg. v. Hamburg Messe und Congress GmbH. Hamburg. Online verfügbar unter <http://windenergyhamburg.com/fuer-aussteller/die-windenergy-hamburg/>, zuletzt geprüft am 02.11.2013.
- IWES (2012):** Jahresbericht 2012/2013. Unter Mitarbeit von Britta Rollert Tanja Ellinghaus Uta Werner Renate Rothkegel Uwe Krengel. Hg. v. Fraunhofer-Institut für Windenergie und Energiesystemtechnik IWES. Hannover, Kassel. Online verfügbar unter <http://www.iwes.fraunhofer.de>, zuletzt geprüft am 07.02.2014.
- IWES (2012):** Windenergie Report Deutschland 2012. Unter Mitarbeit von Stefan Faulstich u. a. Volker Berkhout. Hg. v. Dr. Kurt Rohrig. Fraunhofer-Institut für Windenergie und Energiesystemtechnik (IWES). Felsberg.
- TPWind (Hg.) (2014):** Strategic Research Agenda / Market Deployment Strategy. SRA / MDS. European Wind Energy Technology Plattform.
- Windguard (2013):** Kostensituation der Windenergie an Land in Deutschland. Hg. v. Deutsche WindGuard GmbH. Varel. Online verfügbar unter [www.windguard.de](http://www.windguard.de), zuletzt geprüft am 23.05.2014.
- Windguard (2014):** Kostensituation der Windenergie an Land. Internationaler Vergleich. Hg. v. Deutsche WindGuard GmbH. Varel. Online verfügbar unter [www.windguard.de](http://www.windguard.de), zuletzt geprüft am 23.05.2014.