

## **Qualifizierungsnotwendigkeiten und -ansätze für Fachkräfte im Windenergiesektor – Ein Beitrag zur Berufsbildung für eine nachhaltige Entwicklung**

---

### **Abstract**

Im Bereich der erneuerbaren Energien spielt die Energieerzeugung aus Windenergie neben der aus Biomasse eine zentrale Rolle. Doch nicht nur an Land wird in die Windkraft investiert, auch auf See werden Windenergieanlagen in den kommenden Jahren einen Beitrag zur Energiewende leisten. Diese Windenergieanlagen (WEA) müssen on- wie offshore errichtet und anschließend gewartet werden. Dafür muss entsprechend qualifiziertes Personal zur Verfügung stehen. Aber: Die Unternehmen der Montage und des Service rekrutieren bislang einen Hauptteil ihrer Mitarbeiter aus anderen Bereichen und trainieren sie an. Langfristig müssen sich die Betriebe im Windenergiesektor aber auch auf einen drohenden Fachkräftemangel einstellen und entsprechende Maßnahmen ergreifen. Außerdem wird die Technologie der Windenergieanlagen zunehmend komplexer und ihr Einsatz immer internationaler. Entsprechend sollte geklärt werden, ob ein eigener Beruf notwendig wird oder ob bestehende Ausbildungsberufe, um Inhalte der Windtechnik erweitert, eine Grundlage für die berufliche Qualifizierung im Windenergiesektor darstellen können. Dazu muss aber vorerst erarbeitet werden, welches die wesentlichen Anforderungen an die Fachkräfte im Sektor sind. Dieser Fragestellung wird im vorliegenden Artikel in Bezug auf die Qualifikationsanforderungen an Fachkräfte der Instandhaltung von WEA diskutiert. Identifiziert wurden diese anhand von Arbeitsprozessanalysen an Land. Für offshore-spezifische Inhalte wird auf durchgeführte Fallstudien und Experteninterviews zurückgegriffen.

### **1 Einleitung**

Der Umbau der Energiewirtschaft bietet gewerblich-technischen Fachkräften sowohl Beschäftigungschancen als auch Aus- und Weiterbildungsperspektiven - zum Beispiel im Sektor der Windenergie. In dem vom Bundesministerium für Bildung und Forschung und Bundesinstitut für Berufsausbildung finanzierten Projekt „Offshore-Kompetenz“ werden berufliche Kompetenzen und der resultierende Qualifikationsbedarf von Fachexperten bei der Errichtung, Inbetriebnahme und Instandhaltung von Windenergieanlagen an Land und auf See analysiert. Das Institut Technik und Bildung der Universität Bremen erforscht in diesem Verbundvorhaben zusammen mit Projektpartnern der Aus- und Weiterbildung die erforderlichen Qualifikationsprofile auf der Basis von Arbeitsprozessen.

Der vorliegende Artikel beschreibt Anforderungen an Qualifizierung und Kernarbeitsprozesse für Fachkräfte im Windenergiesektor, die sich sowohl aus qualitativer als auch quantitativer Betrachtung ergeben. Neben der Ermittlung von Inhalten beruflicher Facharbeit mittels berufswissenschaftlicher Methoden sind dabei auch Einschätzungen von

Fachvertretern zu sektorrelevanten Fragestellungen von Interesse. Die Erfassung der inhaltlichen wie organisatorischen Rahmenbedingungen der Arbeitsprozesse sowie die Positionen der jeweiligen Unternehmen bilden die Grundlage gezielter Maßnahmen zur Qualifizierung von Fachkräften.

## 2 Qualifizierungsnotwendigkeiten

Eine im Jahr 2012 durchgeführte Expertenbefragung zum Thema Fachkräftebedarf und Qualifizierung im Windenergiesektor begleitet die berufswissenschaftlichen Erhebungen im oben genannten Projekt. Dabei wurde ein standardisierter Fragebogen mit sieben Fragen eingesetzt. Insgesamt konnten 51 Antworten ausgewertet werden. Der Fragebogen wurde anlässlich von Messebesuchen, Tagungen etc. an ausgewählte Experten/-innen des Offshore-Sektors lanciert. Die Umfrage ist somit nicht repräsentativ. Mit der Befragung wollten die Forscher zunächst herausfinden, wie die Teilnehmer/-innen den Fachkräftebedarf für ihr Unternehmen in den nächsten 2 Jahren einschätzten. Hierbei wurde eine fünfstufige Skala von „Kein Fachkräftemangel“ bis hin zu „Nachfrage wird in keiner Weise gedeckt“ eingesetzt.

Wie Abbildung 1 veranschaulicht, zeigt sich ein differenziertes Bild. Mit über 60 % tendiert die Mehrzahl der Befragten einerseits dazu, von einer höheren Nachfrage an Fachkräften auszugehen als derzeit am Markt zur Verfügung stehen. Zählt man andererseits diejenigen zusammen, die so gut wie keinen Fachkräftemangel angeben beziehungsweise ihre Nachfrage weitestgehend decken können, so kommt man demgegenüber auf zusammen fast 40 % der Befragten.

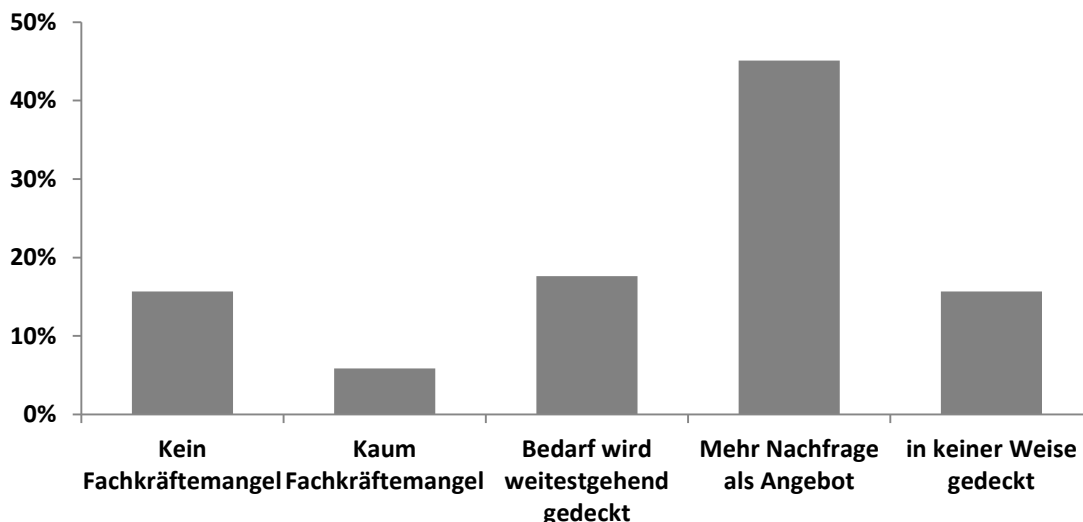


Abb. 1: Angaben zum Fachkräftebedarf der Windenergie-Unternehmen (eigene Darstellung)

Es wird somit anschaulich, dass der allenthalben betonte Fachkräftebedarf sich auch im Windenergiesektor wiederfindet. Jedes siebte Unternehmen gab an, nach geeignetem

Personal zu fahnden. In Gesprächen auf Konferenzen und Messen wurden gar Prämien auf die Vermittlung von Servicepersonal für Windenergieanlagen in Aussicht gestellt. Allerdings muss auch darauf verwiesen werden, dass Fachkräfte nicht in allen Bereichen der Sektorstruktur gleichermaßen fehlen und die Betriebe bei der Rekrutierung ihres Personals unterschiedliche Bedingungen vorfinden und entsprechende Strategien entwickelt haben.

Auf die Frage, ob ein eigener Ausbildungsberuf für Errichtung, Inbetriebnahme, Service und Wartung von WEA für notwendig ist, machten die Teilnehmer/-innen eindeutige Angaben wie in Abbildung 2 illustriert. Fast 60 % der Befragten sprechen sich für eine windspezifische Ausbildung an Land und auf See aus. Weitere 10 % finden, für Offshore müsste dediziert ausgebildet werden. Ein Viertel aller Teilnehmer/-innen vertritt hingegen die Meinung, dass die derzeit vorhandenen Ausbildungsberufe ausreichen. 6 % der Befragten könnten sich vorstellen, dass für die erneuerbaren Energien gemeinsam ausgebildet wird.

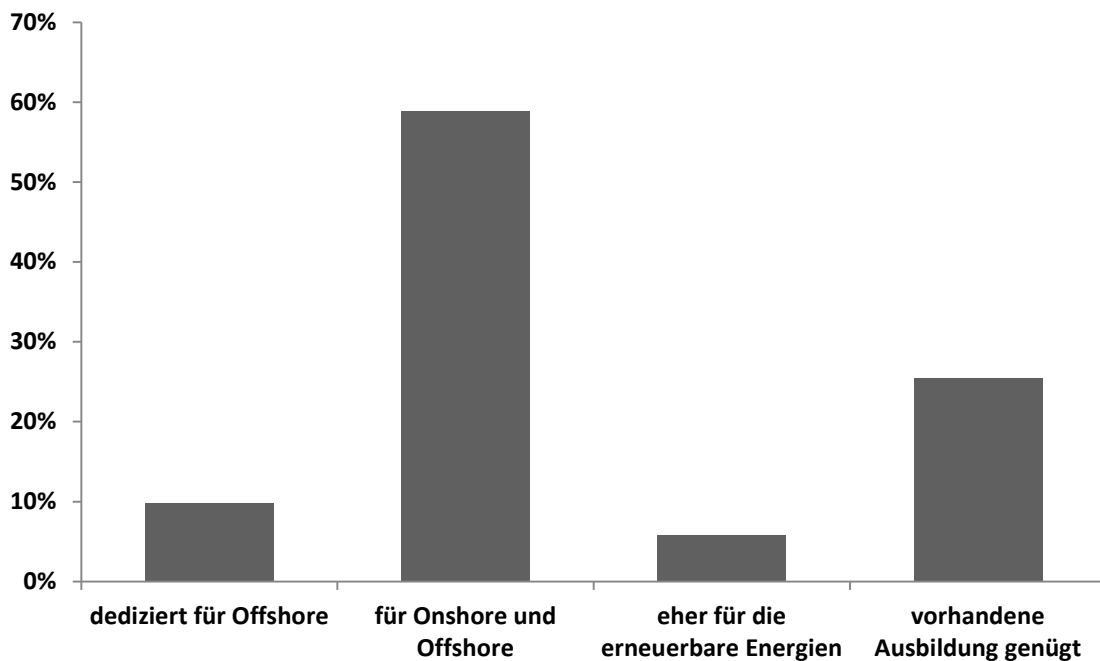


Abb. 2: Notwendigkeit eines windspezifischen Ausbildungsberufs (eigene Darstellung)

Dass 25 % der Befragten der Auffassung sind, vorhandene Ausbildungsberufe genügen, kann mehrere Gründe haben. Tatsächlich gibt es gerade im gewerblich-technischen Bereich eine Reihe windenergieaffiner Ausbildungsberufe, da es sich im Kern um Bau und Wartung technischer Anlagen handelt. Es ist auch nicht auszuschließen, dass die befragten Personen nicht über detaillierte Kenntnisse bezüglich des Alltags der Servicetechniker verfügen, um kompetente Aussagen auf Basis der Arbeitsprozesse an der Windenergieanlage treffen zu können. Im Gespräch stellten einige Teilnehmer darüber hinaus die Frage, wie eine Ausbildung zwischen Berufsschule und Unternehmen gerade bei Einsatzwechseltätigkeiten und häufigen Dienstreisen konkret zu realisieren sei.

Abschließend wollten die Forscher von den befragten Offshore-Experten wissen, welche Bedeutung sie spezifischen Weiterbildungsmodulen für die Facharbeit an WEA auf See beimessen. Dabei wurden 15 mögliche Weiterbildungsschwerpunkte zur Auswahl angeboten. Es war anzugeben, ob das jeweilige Modul „sehr wichtig“, „wichtig“ oder „unwichtig“ sei, wie Abbildung 3 darstellt.

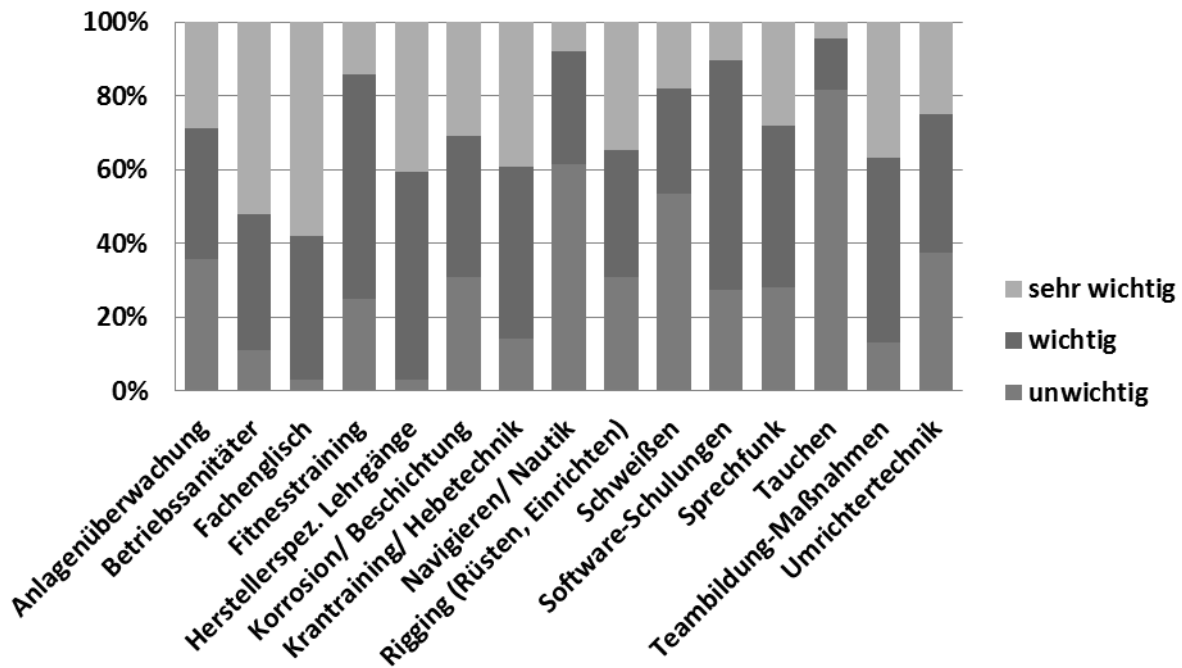


Abb. 3: Bedeutung von Weiterbildungsmodulen für Offshore-Facharbeit (eigene Darstellung)

Die im Offshore-Sektor kompetenten Experten/-innen hoben bei den überfachlichen Modulen neben der Weiterbildung zum/ zur Betriebsanitäter/-in vor allem die Kurse in Fachenglisch und teambildende Maßnahmen als „sehr wichtig“ hervor. „Wichtig“ waren der Mehrheit der Befragten bei den fachspezifischen Angeboten vor allem Trainings zu herstellereinspezifischen Lehrgängen, Kran- und Hebetchnik sowie Rüsten und Einrichten (Rigging).

Die Resultate aus der Frage nach der Bedeutung von Offshore-Weiterbildungsmodulen zeigen, dass Offshore eher übergeordnete Themen relevant sind als fachliche Weiterbildung. Ursache hierfür ist wahrscheinlich, dass für Offshore-WEA (OWEA) erfahrenes Personal von Land bevorzugt wird. Dies hat den Hintergrund, dass WEA onshore wie offshore technisch und konstruktiv grundsätzlich vergleichbar aufgebaut sind. So werden von den Befragten Schulungen zur Sicherheit und Kommunikationsfähigkeit der Mitarbeiter gegenüber fachspezifischen Angebote bevorzugt. Dies deckt sich auch mit der Aussage, dass Offshore vor allem die maritimen Rahmenbedingungen und die Arbeit in internationalen Teams von besonderer Bedeutung sind (vgl. GRANTZ et al. 2013, 323f.).

### **3 Anforderungen an die Facharbeit von Servicetechnikern/-innen an Land und auf See**

Die Expertenbefragung folgte dem Ziel, die Fachkräftesituation der Unternehmen zu beurteilen und die derzeitigen Strategien zur Qualifikationssicherung zu charakterisieren. Das hierbei entstandene Bild zeigt einen relativ jungen und dynamischen Sektor, dessen Beitrag zur nachhaltigen Entwicklung und Wende der Energiewirtschaft sich auch in der Qualifizierung der Fachkräfte widerspiegeln muss.

Die Ermittlung konkreter Inhalte beruflicher Facharbeit für eine entsprechende Aus- und Weiterbildung von Fachkräften für Errichtung, Inbetriebnahme und Instandhaltung von WEA bildet hierfür die Voraussetzung. Im Folgenden wird ein Arbeitsprozess detailliert beschrieben und die daraus resultierenden Anforderungen an die Facharbeit dargestellt. Die Ausweisung von Qualifikationsanforderungen für den Offshore-Einsatz runden die hier vorgelegten Ausführungen ab.

#### **3.1 Beispiel eines Arbeitsprozesses und Anforderungen an Onshore-Servicetechniker/-innen**

Im diesem Abschnitt werden die Arbeiten, die während einer Reparatur- und Wartungsaufgabe mittels einer Arbeitsprozessanalyse empirisch ermittelt wurden, exemplarisch beschrieben und resultierende Anforderungen an die berufliche Qualifizierung herausgestellt. Dazu waren die Forscher in einem Windpark vor Ort und analysierten zwei Arbeitsaufgaben an einer modernen WEA. Dabei wurde zuerst ein defekter Drehzahlgeber am Generator gewechselt, der in der Vergangenheit bereits des Öfteren ausgefallen ist und instandgesetzt wurde. Der Fehler trat wieder auf, was zum Stillstand der Anlage führte. Entsprechend wurde der Drehzahlgeber samt Kabelanschluss gewechselt, um das Problem abschließend zu beheben. Im Anschluss beteiligte sich das Team an der gerade stattfindenden Jahreshauptwartung. Zwei weitere Mitarbeiter eines Subunternehmens waren ebenfalls auf der Anlage tätig und zogen Drehmomente von Schraubverbindungen nach.

##### **Arbeitsprozess: Durchführung einer geplanten Reparatur**

Die Servicetechniker trafen sich zu Arbeitsbeginn um 7:30 Uhr am Lager der Serviceregion. Dort befanden sich u.a. Regalflächen für Ersatzteile und Wartungsbedarf, eine Stellfläche für ca. 4 Paletten, ein Lagerbereich für Schmierstoffe sowie eine Werkbank. Während der Fahrt von der privaten Wohnung zum Stützpunkt hatten sich die Mitarbeiter bereits bei ihren Disponenten über anliegende Störungen bzw. Arbeitsaufgaben informiert. An diesem Morgen waren zwei Teams des Anlagenherstellers, der einen Dienstleistungsvertrag mit dem Betreiber für den Service hat, und ein Team eines Sub-Unternehmens vor Ort. Die Arbeitsgruppen bestanden jeweils aus zwei Mitarbeitern und im Falle des Herstellers aus einem festen Mitarbeiter und einem Mitarbeiter einer Personalvermittlung. Diese werden häufig auf verschiedenen Anlagentypen und auch für Montage oder Wartungsarbeiten im Ausland eingesetzt, so dass zumindest Englisch als Fremdsprache beherrscht werden muss. In diesem Fall verfügten jeweils einer der Mitarbeiter über eine elektrotechnische und der

andere über eine metalltechnische Ausbildung. Die beiden Teams des Anlagenherstellers teilten sich die anstehenden Aufgaben in Abstimmung mit dem Disponenten selbstständig ein. Ein Team behob eine Störung in einem weiter entfernten Windpark. Das andere, von den Forschern begleitete Team, hatte die Aufgabe, den defekten Drehzahlgeber zu tauschen und sich anschließen an der Wartung in Zusammenarbeit mit dem Team des Sub-Unternehmens, das für die Unterstützung der Hauptwartung vorgesehen war, zu beteiligen.

Die Servicetechniker einer Region sind stets für mehrere Windenergieanlagen eines Herstellers oder eines Auftraggebers in einem Gebiet zuständig. Für die Anfahrt zum Windpark stehen den Teams jeweils Transportfahrzeuge zur Verfügung, die unter anderem mit Stauraum, Werkbank und Computerinstallationen bestehend aus Laptops mit Drucker ausgestattet sind. Ein entsprechender Führerschein ist Grundvoraussetzung für die Ausübung der Tätigkeit des Servicetechnikers.

Bei Ankunft an der WEA verblieben die Servicetechniker vorerst im Fahrzeug und meldeten ihren Einsatz beim Disponenten und beim Betreiber der Anlage per Telefon an. Ebenfalls musste der Arbeitsbeginn via Internet in der Unternehmenssoftware des Herstellers hinterlegt werden. Dafür nutzte der Servicetechniker einen Laptop, der über eine entsprechende Datenverbindung verfügte. Im Programm gab der Techniker Start- und Endzeit sowie Art und Umfang der geplanten Arbeiten an, damit von dort aus direkt die Fakturierung und eine Dokumentation der durchgeführten Arbeiten erfolgen kann. Nach der Anmeldung sicherten sich die Servicetechniker mit ihrer persönlichen Schutzausrüstung gegen Absturz.

Da die Anlage über eine Befahranlage verfügte, fuhren die Mitarbeiter zur Gondel hinauf. In den Korb des Aufzugs passten zwei Personen und das notwendige Werkzeug. Die Fahranlage fährt auf der im Turm installierten Aluminiumleiter und ist so konstruiert, dass Decke, Boden und Seitenwand zur Leiter leicht entnommen werden können, damit im Fall des Steckenbleibens aus dem Korb geklettert werden kann. Im Fahrkorb sicherten sich die Mitarbeiter mit einer Falldämpfleine. Die Fahranlage benötigt rund 10 min für eine Tour nach oben. Für den Fall, dass mehr oder größere Werkzeuge benötigt werden, können diese auch mithilfe des Bordkranes der WEA in die Gondel befördert werden. Dass das Arbeiten und Bewegen in großer Höhe für Servicetechniker zum Beruf gehört, ist evident. Hinzu kommen aber ein absolut notwendiges Bewusstsein für Arbeitssicherheit und der sichere Umgang mit der PSA ohne das Einschleifen von Routine.

Die Fahrt mit der Fahranlage endete auf einer Plattform unterhalb des Drehkranzes der Gondel. Nach dem Schließen einer Luke über der Leiter konnte in diesem Raum die persönliche Schutzausrüstung abgelegt werden. Der Aufstieg in die Gondel erfolgte durch das Maschinenbett der Anlage über verschiedene Trittstufen.

Als einen der ersten Schritte in der Gondel verband der Servicetechniker seinen Laptop mit der Anlagensteuerung. Erst damit erhielt er Zugang zu den Systemen und konnte die Anlage von der Gondel aus bedienen.

Der zu tauschende Drehzahlgeber befand sich auf der Stirnseite des Generators. Mittels eines Schaltplans wurde im Schaltschrank der Anlagensteuerung die Klemmleiste auf der der Drehzahlgeber saß, identifiziert und das Kabel abgeklemmt. Anschließend wurde der Geber demontiert und das Kabel, das im Maschinenbett verlegt lag, herausgezogen. Der neue Drehzahlgeber wurde montiert, das Kabel durch das Maschinenbett gezogen und auf der Klemmleiste angeschlossen. Abschließend wurde ein Funktionstest der Anlage durchgeführt.

### **Arbeitsprozess: Durchführung einer Erstwartung**

Nach dem Tausch des Drehzahlgebers beteiligte sich das Team der Servicetechniker des Herstellers an den Wartungsaufgaben. Dazu fuhr ein Servicetechniker im Turm nach unten und inspizierte den dort befindlichen Schaltschrank. Der Kollege in der Gondel kontrollierte im Rahmen der Wartung zunächst alle Notastaster. Der Servicetechniker unten im Turm quittierte über Funk die Betätigung anhand der dortigen Steuerungstechnik. Anschließend wurde die Funktion von Endschaltern unterschiedlicher Antriebe getestet, in dem die Anlage in verschiedene Positionen gefahren wurde, in denen die Schalter auslösten. Die geprüften Punkte wurden im Wartungshandbuch per Testat quittiert.

Anschließend wollte der Servicetechniker ein spezielles Testprogramm durchführen. Dafür musste entsprechend der Anweisungen des Wartungshandbuches eine Größe in der Anlagensteuerung von Hand angepasst werden. Die Adressierung dieses Parameters und der Parameter selbst hatten sich aber durch neue Vorschriften verändert. Diese Änderung ist im Intranet des Herstellers dokumentiert. Der Servicetechniker nahm mittels Laptop Kontakt mit dem Intranet auf und durchsuchte verschiedene Serviceinformationen.

Parallel zu den Tätigkeiten des Serviceteams des Anlagenherstellers zogen die Mitarbeiter des Subunternehmens an diesem Tag Schraubverbindungen des Azimutsystems in der Gondel nach (ca. 120 Verbindungen). Mit Hilfe eines Drehmomentschlüssels wurde je nach den Angaben des Wartungsheftes eine gewisse Anzahl von Schrauben überprüft. In der Regel waren dies 20 % - 25 % aller Schraubverbindungen. Das Wartungshandbuch gab Auskunft darüber, wie viel Prozent welcher Schrauben mit welchem Drehmoment nachgezogen werden müssen. Überprüfte Schraubverbindungen wurden farblich gekennzeichnet und ausgeführte Wartungstätigkeiten im Servicehandbuch mit Testat quittiert.

Für das Anziehen der Drehmomente („abknacken“) werden je nach Anzugsmoment verschieden Werkzeuge verwendet. Für Momente, die mit einem regulären Drehmomentschlüssel angezogen werden können, wird dieser genutzt. Für höhere Momente, wie sie bspw. bei den Bolzen zur Verbindung der Turmstöße Anwendung finden, nutzen die Servicetechniker eine hydraulische Vorrichtung (Hytorc). Ebenfalls finden bei hohen Drehmomenten so genannte Vorspannwerkzeuge Anwendung, die den Bolzen hydraulisch längen, so dass die Mutter von Hand angezogen werden kann. Nach Entfernung der Vorrichtung verfügt die Verbindung über die ausreichende Normalkraft für den Kraftschluss zwischen den Bauteilen.

Zum Abschluss der Arbeiten, musste eine Leiter wieder angebaut werden, die zum Zwecke der besseren Zugänglichkeit zu einem Azimutantrieb entfernt worden war. Es stellte sich

heraus, dass die Leiter nicht mehr ohne weiteres installiert werden konnte, da die Passung nicht einwandfrei war. Für die notwendige Montage musste ein Teil der Leiter mittels eines Winkelschleifers entfernt werden. Für den Korrosionsschutz trug der Servicetechniker anschließend eine spezielle Zinkfarbe auf.

Im Anschluss an die Durchführung der Arbeiten meldeten sich die Servicetechniker im System des Herstellers und telefonisch beim Betreiber und Disponenten wieder von der Anlage ab. Anschließend erstellten sie vor Ort in der Unternehmenssoftware eine Dokumentation der durchgeführten Arbeiten. Diese wurde sowohl online beim Hersteller und Betreiber, als auch in dem Fahrzeug über einen Drucker ausgestellt und in einem Ordner in der Anlage in Papierform hinterlegt. Nach Abschluss der Dokumentation vor Ort fuhren die Servicetechniker zum Stützpunkt zurück, entluden ihre Fahrzeuge und lösten je nach Bedarf Bestellungen für anstehende Servicearbeiten aus.

### **3.2 Anforderungen an Servicetechniker/-innen für den Offshore-Einsatz**

Gleich zu Beginn des Vorhabens wurden die Forscher während eines Expertenworkshops mit der Aussage konfrontiert, dass eine Offshore-Anlage nach Schließen der Turmtür im Grunde nichts anderes als eine Onshore-Anlage sei. Mit Blick auf die Installationen in Turm und Gondel, den grundlegenden technischen Aufbau einer drehzahlvariablen Windenergieanlage und den auf See und an Land gleichermaßen verbauten Funktionsteilen erscheint diese Aussage verständlich: Triebstrang, Regelungstechnik, Generatoren oder Antriebe sind bei aktuellen (Getriebe-)Anlagen gleich oder zumindest sehr ähnlich. Aufgrund der vergleichbaren technischen Auslegung von Offshore-Windenergieanlage unterscheiden sich viele Arbeitsaufgaben der Wartung und Instandsetzung aus rein fachlicher Sicht im Arbeitsalltag der Servicetechniker/-innen nicht und sind deckungsgleich mit den oben ausgewiesenen Kernarbeitsprozessen eines Servicetechnikers. Allerdings sind die Anforderungen für den Offshore-Einsatz zu erweitern.

Dieser Sachverhalt führt als Konsequenz zu einem absehbaren Qualifizierungspfad, bei dem in der Regel an Land erfahrene Servicetechniker durch Weiterbildungen, vor allem im Sicherheitsbereich, für den Einsatz auf See qualifiziert werden. Ein Experte in einem der durchgeführten Workshops drückte es so aus: „Offshore ist ein teures Lernfeld.“ Damit bildet eine mitunter mehrjährige Erfahrung im Bereich des Service und der Wartung von WEA an Land die derzeit bedeutsamste Voraussetzung für die Arbeit im Offshore-Bereich. Ein im Rahmen einer Fallstudie durchgeführtes Interview mit Offshore-Servicetechnikern unterstreicht diese Aussagen. Hier wurde erklärt, dass auf See kein Training-on-the-job stattfinden könne, wie dies zum Anlernen von zukünftigen Fachkräften an Land durchaus der Fall ist. Gründe dafür sind Zeitdruck, andere Formen der Arbeitsorganisation und noch größere Sicherheitsrisiken und Gefahrenquellen durch die Bedingungen auf See.

#### **Arbeitsorganisation**

Die Arbeitsorganisation für den Offshore-Einsatz unterscheidet sich deutlich von der Tätigkeit eines Servicetechnikers an Land. Zwar ist es auch onshore notwendig, dass ein



Einsatz detailliert geplant wird, da die Anfahrtswege in die Parks mitunter lang sind und auch die Arbeitseffizienz eine große Rolle spielt. Die Auswirkungen eines unzureichend geplanten Einsatzes auf See sind aber ungleich höher. Bspw. ist der Windparks Bard Offshore 1 rund 80 km vom Festland entfernt. Eine Anreise mit dem Schiff ist aufwändig und durch die Personal- und Betriebskosten entsprechend teuer. Zudem ist ein täglicher Zugang zur OWEA nicht gesichert, da nur bis zu einer bestimmten Wellenhöhe übergesetzt werden kann. Als Alternative zum Schiff kommt ein Hubschraubereinsatz in Frage, was die Betriebskosten weiter erhöht, die Personalkosten durch den schnelleren Transfer jedoch reduziert. Dies verdeutlicht, warum eine gründliche Arbeitsvorbereitung und ein unterstützendes Projektmanagement für den Offshore-Einsatz noch stärker als an Land gefordert sind.

Darüber hinaus bestimmen Wetter und Tide die Zeiten, an denen auf einer Anlage gearbeitet werden kann. Im Gegensatz zur Arbeit an Land gibt es feste Zeiten, zu denen ein Team vom Versetzungsschiff oder Helikopter von der Anlage abgeholt wird. Es liegt damit in der Verantwortung eines Servicetechnikers, welche Arbeiten in einem gegebenen Zeitfenster begonnen und vor allem abgeschlossen werden können, damit eine WEA nach Beendigung des Einsatz wieder ans Netz gehen kann. Im Rahmen von Wartungsarbeiten auf See kommen Mitarbeiter/-innen verschiedener Gewerke zum Einsatz wie bspw. Taucher, Prüfer für die Rotorblätter oder Spezialisten für Korrosionsschutz. Die Zusammensetzung dieser Teams ist oftmals international und die Sprache in der Regel Englisch. Ein großer Anbieter von OWEA gab im Zuge einer Fallstudie an, seine Teams so zusammenstellen, dass jeweils Mitarbeiter aus Deutschland, Dänemark und Großbritannien zusammenarbeiten.

### **Technische Anforderungen**

Es existieren auch technische Unterschiede von WEA an Land zu denen auf See. So hat bspw. der Turm einer Offshore-Anlage eine geringere Höhe als der einer Landanlage, somit weniger Segmentstöße und damit eine geringere Anzahl der im Rahmen einer Wartung zu überprüfender Schraubverbindungen. Des Weiteren besitzen die Anlagen bspw. besondere Befeuerungsanlagen und spezielle Reflektoren für Radarsignale. Es sind Zugangssysteme installiert, an denen das Versetzungsboot kurzzeitig andocken bzw. ein Servicetechniker aus einem Hubschrauber abgeseilt werden kann.

In den Anlagen erzeugen Umluftsysteme mit Entsalzungsanlagen eine Überdruckatmosphäre und halten so die Meeresatmosphäre für den Korrosionsschutz von den Bauteilen fern. Besonders die Offshore-Korrosionsschutzsysteme unterscheiden sich von Landsystemen. Bei fast allen Anlagenteilen ist im Rahmen der Wartung eine Prüfung des Korrosionsschutzes bzw. auf Korrosion vorgeschrieben: Triebstrang, Maschinenhaus, Hydrauliksystem, Tragstruktur, Anlagensteuerung und Zugangstechnik. Die Inspektion der Korrosionsschutzsysteme ist auf See noch bedeutsamer als an Land, da das Beschichten offshore wesentlich teurer ist als die Reparatur an Land bzw. noch während der Bauphase. Da die Schutzsysteme sehr aufwendig aufzutragen sind, nehmen die Servicetechniker keine Arbeiten daran vor. Auszubessernde Stellen werden dokumentiert und anschließend an Spezialteams übertragen.

Da die Technologie verhältnismäßig neu ist, sind noch nicht alle technischen Bedingungen die sich aus dem Standort auf See ergeben bekannt. Mitunter werden sie von den Unternehmen im Sektor durch den hohen Wettbewerb auch zurückgehalten. Der Betrieb von Offshore-Windparks wird bspw. aufzeigen, welche Auswirkungen und Fehlerbilder durch unterschiedliche Lastfälle, salzhaltige Luft oder hohe UV-Strahlung entstehen. Damit wird deutlich werden, welche Servicekonzepte sich langfristig durchsetzen und welche weiteren Arbeitsinhalte Servicetechniker/-innen zukünftig zu bewältigen haben.

## **Sicherheit**

Zum Schutz des Wattenmeeres ist es in Deutschland Voraussetzung, Offshore-Windparks relativ weit in die Nordsee zu stellen, wo Wassertiefen von 40 m und darüber erreicht werden. Derart exponiert ist es selbstverständlich, dass dort andere Witterungsbedingungen herrschen als an Land. Der Wind, der das Geschäft mit den OWEA ermöglicht, erschwert es aber auch den Serviceteams, an diesen Orten sicher zu arbeiten. Die Windgeschwindigkeiten sind höher als an Land, Böen fallen stärker aus und dazu kommen Wellengang und Gischt. Auch Gewitter sind auf See noch gefährlicher. Zum einen, weil die WEA auf weiter Fläche die einzigen Erhebungen sind und zum anderen, weil die Crews nicht einfach nach unten fahren und ein Unwetter im Fahrzeug geschützt vorbeiziehen lassen können. Personen, die auf OWEA arbeiten, müssen dementsprechend mit den maritimen Rahmenbedingungen zurechtkommen und nicht nur für die Überfahrt mit dem Schiff seetauglich sein. Das raue Klima und die Gegebenheiten vor Ort verlangen darüber hinaus eine gute gesundheitliche Verfassung sowie körperliche und mentale Belastbarkeit. Es kann bspw. vorkommen, dass bei plötzlichen Wetterstürzen ein Team auch mehrere Tage auf einer OWEA bleiben muss. Die entsprechende Tauglichkeit wird in Deutschland über arbeitsmedizinische Vorsorgeuntersuchen zu Arbeiten mit Absturzgefahr und zur Anwendung von Atemschutzgeräten sichergestellt und ist Voraussetzung für die Teilnahme an speziellen Offshore-Trainings. Dazu zählen Grundlehrgänge wie die Anwendung der persönlichen Schutzausrüstung gegen Absturz, Trainings zu Sicherheit und Überleben auf See sowie Brandschutz und Brandbekämpfung. Diesbezügliche Inhalte berücksichtigen die betreffenden Vorschriften der Berufsgenossenschaften und orientieren sich in Inhalt und Durchführung an den international eingeführten Programmen. Weitere Schulungen beinhalten beispielsweise eine erweiterte Erste-Hilfe-Ausbildung oder den Unterwasserausstieg aus Hubschraubern.

## **4 Kernarbeitsprozesse<sup>1</sup> von Servicetechnikern/-innen für die Instandhaltung von On- und Offshore-WEA**

Im Vorhaben Offshore-Kompetenz wurden wie beschrieben Arbeitsprozessanalysen auf Onshore-Windenergieanlagen durchgeführt. Dadurch konnten - in Verbindung mit Experten-Facharbeiter-Workshops, Fallstudien und Experteninterviews - Kernarbeitsprozesse der

---

<sup>1</sup> Als Kernarbeitsprozesse werden solche Arbeitsprozesse identifiziert, die sich in mehrfachen Arbeitsprozessanalysen als zentrale Aufgaben für eine Berufsgruppe herauskristallisiert haben, indem die Beobachtungen durch Clusterungen ausgewertet wurden (vgl. GRANTZ et al. 2009).

Servicefachkräfte identifiziert werden. Tabelle 1 gibt einen Überblick über die Kernarbeitsprozesse von Servicetechnikern/-innen für WEA.

Tabelle 1: **Kernarbeitsprozesse der Instandhaltung von Windenergieanlagen**

Arbeitsprozesse	Kernarbeitsprozesse
Wartung von WEA und deren Komponenten	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vorbereitung, Durchführung und Dokumentation einer Erstwartung nach ca. 300 - 500 Betriebsstunden entsprechend der Wartungsvorschriften des Herstellers der jeweiligen WEA.</li> <li>• Vorbereitung, Durchführung und Dokumentation von regelmäßig wiederkehrenden Wartungen an WEA nach Wartungsvorschriften des Herstellers der jeweiligen WEA.</li> <li>• Mitarbeit und Unterstützung von Spezialisten-Teams bei der Durchführung von Großrevisionen wie bspw. Getriebeölwechsel.</li> </ul>
Diagnose von Störungen an WEA	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Einleitung und Durchführung von Diagnosetätigkeiten zur Fehlersuche an den Baugruppen einer WEA zur Einleitung einer Entstörung und Priorisierung anstehender Diagnose- und weiterer Arbeitsaufgaben in Zusammenarbeit mit der Betriebsführung der WEA.</li> </ul>
Reparatur von WEA und Austausch von Komponenten	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Planung und Durchführung einer geplanten Reparatur von Baugruppen einer WEA nach Herstellervorschriften mit instandgesetzten oder neu beschafften Ersatzteilen.</li> <li>• Durchführen einer ungeplanten Reparatur oder Entstörung einer WEA in Abwägung zwischen Nachhaltigkeit der Lösung und Kundenwunsch an der betriebsbereiten Anlage.</li> <li>• Planung, Durchführung und Dokumentation von Retrofits und Upgrades an einer WEA nach Herstellervorschriften.</li> </ul>
Arbeiten im Servicestützpunkt	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Durchführung von Bestellungen von Material und Betriebsstoffen je nach Lagerbestand für Wartungsarbeiten und Ersatzteilbeschaffung entsprechend der Diagnose zur Durchführung einer Reparatur.</li> <li>• Prüfung, Instandsetzung und Neubeschaffung von persönlicher Schutzausrüstung sowie Prüfung und</li> </ul>

## **Wartung von WEA und deren Komponenten**

Servicetechniker/-innen planen in der Regel ihre Arbeiten weitgehend selbstständig und priorisieren täglich anstehende Tätigkeiten innerhalb der Teams einer Serviceeinheit. Dazu sind grundlegende Kompetenzen über betriebswirtschaftliche Zusammenhänge und über Kundenanforderungen notwendig. Zusätzlich sind Kompetenzen zur Arbeit in Teams gefragt. Da Techniker/-innen vor Ort auch des Öfteren mit Kunden konfrontiert werden, bspw. wenn sie sich in der Leitwarte eines Betreibers zum Begehen einer WEA anmelden, ist die Kommunikation mit Kunden ebenfalls eine unerlässliche Anforderung an die Qualifizierung.

Die Durchführung von Wartungs- und Instandhaltungsarbeiten lässt sich je nach Windenergieanlagenhersteller und korrespondierenden Wartungskonzepten in verschiedene Aufgaben unterteilen. Bspw. steht die erste Wartung nach rund 300 bis 500 Betriebsstunden nach der Inbetriebnahme einer WEA an, bei der u. a. die Drehmomente vieler Schraubverbindungen überprüft werden müssen. Im Anschluss an diese Erstwartung werden WEA an Land zweimal im Jahr gewartet. In Abgrenzung zur Zwischenwartung fallen bei der Jahreshauptwartung die umfangreicheren Arbeiten an. Beim untersuchten Anlagenhersteller waren die Fachkräfte in Summe rund 90 Stunden damit beschäftigt, entsprechend des Wartungshandbuches Drehmomente anzuziehen, Filter zu wechseln, den Verschleiß an Bauteilen zu kontrollieren o. ä.. Dabei überprüfen die Servicetechniker/-innen in der Regel die Installationen im Turm und in der Gondel.

Die im Rahmen einer Wartung durchzuführenden Arbeiten sind im Service- oder Wartungshandbuch eines Anlagenherstellers festgelegt. Die Servicetechniker/-innen führen es während der Inspektion auf der Anlage mit, überprüfen die WEA entlang der vorgeschriebenen Inhalte und zeichnen diese ab. Während einer Wartung werden verschiedene Arbeiten ausgeführt wie beispielsweise:

- Kontrollieren der Anzugsmomente von einem gewissen Prozentsatz der Schraubverbindungen,
- Austausch von Filtern und Sieben,
- Kontrolle und Austausch von Betriebsstoffen des Schmiersystems, des Ölkreislaufes oder des Kühlkreislaufes,
- Überprüfung der Kohlebürsten und Reinigung der Generatorbelüftung bzw. der Wärmetauscher,
- Kontrolle des Verschleißes der Bremsbeläge und -scheiben,

- Sicht- und Hörprüfung der Rotorblätter (vom Turmfuß),
- Anfahren von verschiedenen Schaltpositionen der Anlage,
- Austausch der Notstromversorgung in Gondel und Nabe,
- Überprüfung der Umrichter, etc..

Für Offshore-WEA sind die Hersteller bestrebt, mit einer jährlichen Hauptwartung auszukommen.

Bei der Vorbereitung einer jeden Aufgabe auf einer WEA, sei es on- oder offshore, ist die Einhaltung der Arbeitssicherheitsregularien, die Verwendung der persönlichen Schutzausrüstung gegen Absturz inkl. der Verwendung eines Steigschutzläufers und auf See die Verwendung von maritimen Ausrüstungsmitteln wie Überlebensanzügen, Live-Belts oder Rettungswesten dringliche Pflicht. Hier gilt es, ein Bewusstsein für Sicherheit und Risiken bei der Arbeit auf WEA zu schaffen. Darüber hinaus sind Erste Hilfe und die Rettung von Personen aus großer Höhe Aspekte der sicherheitstechnischen Anforderungen.

### **Diagnose von Störungen an WEA**

Dem Instandsetzen von Komponenten geht die Analyse einer Störung voraus. Die Meldung über einen Fehler an einer Anlage läuft in der Regel zunächst zentral beim Hersteller und/oder Betreiber der WEA auf. Bei der Priorisierung von anstehenden Arbeiten der Servicetechniker/-innen hat die Beseitigung einer Störung meist Vorrang vor planbaren Tätigkeiten wie Wartungen. Die Teams entscheiden weitgehend selbstständig, wer welche Arbeiten übernimmt. Für die Priorisierung der Fehler und die Entscheidung über die Reihenfolge ihrer Abarbeitung sind bei den Servicefachkräften grundlegende Kompetenzen auch über betriebswirtschaftliche und kundenspezifische Anforderungen notwendig, da sie entscheiden müssen, in welcher Reihenfolge Störungen bearbeitet werden. Dabei sind Wünsche des Kunden, des Betreibers, des Anlagenherstellers und Sicherheitsaspekte gegeneinander abzuwägen.

Für die Diagnose von Störungen an einer WEA müssen die Servicetechniker/-innen grundlegende Kenntnisse über Funktionsweise und Zusammenspiel einzelner Funktionsgruppen haben. Um dann auf einer WEA einen Fehler zu finden, müssen die Techniker diesen zunächst eingrenzen. Hierzu ziehen sie Schaltpläne, Parameterlisten technischen Zeichnungen oder sonstige technische Unterlagen auch aus dem Intranet des Herstellers zu rate. Der Laptop ist mittlererweile auf der WEA ein unverzichtbares Werkzeug bei der Störungsanalyse. Nach der Eingrenzung eines Fehlers anhand der technischen Dokumentation wird dieser durch das Erfassen von Messgrößen und dem Vergleich mit Soll-Werten verifiziert und eine Reparatur eingeleitet. Mitunter müssen im Rahmen der Diagnose auch Bauteile demontiert werden, um Zugang zu den Systemen zu erhalten. Entsprechend ist das Ab- und Anbauen von Funktionsteilen ebenfalls eine Anforderung an die Facharbeit.

## Reparatur von WEA und Austausch von Komponenten

Im besten Fall kann dann eine Störung im Anschluss an die Diagnose direkt vor Ort behoben und das defekte Bauteil instandgesetzt werden. Wenn erst noch Ersatzteile beschafft werden müssen, wird daraus eine geplante Reparatur, die ggf. auch durch ein anderes Team von Servicetechnikern/-innen durchgeführt wird. In den Aufgabenbereich eines Teams von Servicetechnikern/-innen fallen damit sowohl die geplante und ungeplante Reparatur einer WEA als auch der Austausch von Komponenten im Rahmen von Upgrades oder Retrofits:

- Bei einer geplanten Reparatur ersetzen die Mitarbeiter/-innen des Service defekte Teile durch neue oder setzen diese instand. Durch eine vorangegangene Diagnose ist die Fehlerursache bereits bekannt. Diese konnte nicht direkt im Anschluss an die Analyse behoben werden, da bspw. eine Bestellung von Ersatzteilen notwendig war. Da diese Art der Reparatur planbar ist, unterscheidet sie sich in der Arbeitsvorbereitung im Servicestützpunkt von einer ungeplanten, da spezielle Werkzeuge und Hilfsmittel in Kisten vorgepackt und mit zur WEA genommen werden, um eine effektive Instandsetzung sicherstellen zu können. Der Austausch von Großkomponenten wird meist durch spezialisierte Teams vorgenommen. Die Servicetechniker arbeiten in diesen Fällen zu und unterstützen bspw. beim Ausrichten, Laschen oder Heben der Bauteile.
- Eine ungeplante Reparatur schließt sich direkt an eine Diagnose an. Hierbei versuchen die Servicetechniker die WEA mit „Bordmitteln“ wieder ans Netz anzuschließen. Dabei muss zwischen der Nachhaltigkeit der direkten Lösung bspw. durch mögliche Folgeschäden und dem Kundenwunsch nach einer Strom produzierenden Anlage abgewogen werden. Dies gilt besonders für den Offshore-Einsatz, da Wiederholreparaturen hier deutlich teurer sind als an Land.
- Bei einem Retrofit werden ältere Systeme planmäßig durch neue Technologien ersetzt. Die Fachkräfte tauschen dabei ältere Systeme durch neue mit einem erweiterten bzw. verbesserten Funktionsumfang aus.

Bei Reparaturen müssen mitunter Bauteile gewechselt werden, deren Größe oder Gewicht für einen Transport in der Befahranlage oder am Mann an der Leiter zu groß sind. In diesen Fällen können die Servicetechniker auf einen Kran zurückgreifen mit dem in der Regel außerhalb der Anlage Objekte in die Gondel gezogen werden können. Deshalb sind das Anschlagen von Lasten und der sichere Umgang mit Kränen ebenfalls Bestandteil der Anforderungen an Servicetechniker/-innen.

Reparaturen an Rotorblättern oder die Abnahme von Leitern und Befahranlagen o. ä. werden oftmals an spezialisierte Teams bzw. Unternehmen vergeben. Bspw. muss die Prüfung der Zugangstechnik jährlich durch ein zertifiziertes Unternehmen durchgeführt werden. Der Einsatz von Spezialisten gilt verstärkt für den Offshore-Einsatz, da durch die Komplexität der WEA und die verschiedenen zuliefernden Gewerke oft Sonderteams im Einsatz sind. Dies gilt bspw. für Schweißarbeiten, Korrosionsschutz- oder Gleichrichtungssysteme.

## **Arbeiten im Servicestützpunkt**

Letztendlich werden auch unterstützende Arbeiten durch die Servicetechniker/-innen ausgeführt, die nicht auf den WEA stattfinden. Beispielsweise liegt die Organisation eines Servicestützpunktes oftmals weitgehend in den Händen der Mitarbeiter vor Ort, so dass diese selbstständig ihre Lagerverwaltung und das Bestellwesen organisieren, ihre persönliche Schutzausrüstung kontrollieren oder Kisten, die für spezialisierte Aufgaben oder die Wartung einzelner Windenergieanlagentypen vorgesehen sind, verpacken. An dieser Stelle sind Grundzüge wirtschaftlichen Handelns für die Lagertätigkeiten, Kompetenzen zur Durchführung des Bestell- und Materialwesens sowie Kenntnisse über die Arbeitsmittel für anstehende Arbeitsprozesse notwendig.

Für das Lager gibt es meist einen Verantwortlichen, die Aufgaben werden jedoch unter den Mitarbeitern/-innen eines Stützpunktes aufgeteilt. Das Bestellwesen wird über die Unternehmenssoftware des für den Service verantwortlichen Unternehmens abgewickelt. Diese Arbeiten werden meist vor dem Feierabend durchgeführt oder an Tagen, an denen es zu stark weht, als dass eine Anlage betreten werden kann (über 20 m/s). Für Tage, an denen so gute Windverhältnisse herrschen, dass kein Betreiber seine Anlagen für eine geplante Wartung abschaltet, gilt dies ebenfalls..

## **5 Schlussfolgerungen und Ausblick**

Die derzeitigen Informationen aus dem Sektor der Onshore- und vor allem der Offshore-Windenergieerzeugung zeigen ein wachsendes Feld, zukünftig potenziell sogar einen eigenen Industriezweig, mit einer wachsenden Bedeutung. In den letzten Jahren konnte für den gesamten Windenergiesektor die Marke von 100.000 Beschäftigten überschritten werden (BMU 2012a, 40). Zudem besteht Potenzial für weitere qualifizierte Fachkräfte. Allein im Bereich Wartung und Betrieb von WEA an Land und auf See weist das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) für das Jahr 2011 bereits 18.500 Bruttobeschäftigte aus (BMU 2012b, 16). Die Zahl der Offshore-Windparks wird in den nächsten Jahren ansteigen, nur die Geschwindigkeit des Wachstums ist aktuell durch die Schwierigkeiten in der Finanzierung und den technologischen wie arbeitstechnischen Herausforderungen nicht eindeutig prognostizierbar.

Die aktuelle sektorspezifische Entwicklung führt zu folgenden Schlussfolgerungen:

- Quantitative und qualitative Ergebnisse sowie die Tendenzen im Windenergiesektor legen zum aktuellen Zeitpunkt den Schluss nahe, einheitliche Aus- und Weiterbildungsstrategien für On- und Offshore zu entwickeln,
- Bestehende metall- und elektrotechnische Ausbildungsberufe sind für die Qualifizierung im Bereich der Windenergie nutzbar, erscheinen jedoch durch die Abhängigkeit von der Fachkräftesituation in anderen Branchen nicht nachhaltig,

- Verzögerung bei der Errichtung der OWP bietet die Chance zur rechtzeitigen Initiierung von Qualifizierung zukünftiger Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter, um den aktuellen Anforderungen nicht hinterher zu laufen.

Die Diskussion über die Notwendigkeit von speziellen Berufen oder die Adaptierung von bestehenden Profilen für den Windbereich auf der Basis der aktuellen Herausforderungen der Arbeitsprozesse im Sektor muss weiter konkretisiert werden. Dies ist nur auf der Basis der tatsächlichen Arbeitsprozesse möglich, die im Modellversuch mit Hilfe von Arbeitsprozessanalysen und Facharbeiter-Experten-Workshops identifiziert werden. Mit Hilfe dieser Ergebnisse können die tatsächlichen Arbeitsaufgaben und -anforderungen der Fachkräfte für den Offshore-Bereich beschrieben werden, um daraus ableitend konkrete Vorschläge für die Erweiterung von Curricula für die Aus- und Weiterbildung um spezifische Windinhalte machen zu können. Bisher findet diese Diskussion in Deutschland eher losgelöst von den tatsächlichen realen Arbeitsprozessen im Offshore-Bereich statt.

## Literatur

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) (2012a): Erneuerbare Energien in Zahlen. Nationale und internationale Entwicklung. Online: [http://www.bmu.de/fileadmin/bmu-import/files/pdfs/allgemein/application/pdf/broschuere\\_ee\\_zahlen\\_bf.pdf](http://www.bmu.de/fileadmin/bmu-import/files/pdfs/allgemein/application/pdf/broschuere_ee_zahlen_bf.pdf) (04-03-2013).

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) (2012b): Erneuerbar beschäftigt! Kurz- und langfristige Wirkungen des Ausbaus erneuerbarer Energien auf den deutschen Arbeitsmarkt. Online: [http://www.bmu.de/fileadmin/Daten\\_BMU/Pool/Broschueren/EE\\_beschaeftigt\\_bf.pdf](http://www.bmu.de/fileadmin/Daten_BMU/Pool/Broschueren/EE_beschaeftigt_bf.pdf) (04-03-2013)

GRANTZ, T./ MOLZOW-VOIT, F./ WINDELBAND, L. (2013): Inhalte beruflicher (Fach)Arbeit bei der Instandhaltung von Offshore-Windenergieanlagen. In: BECKER, M./ GRIMM, A./ PETERSEN, A. W./ SCHLAUSCH, R. (Hrsg.): Kompetenzorientierung und Strukturen gewerblich-technischer Berufsbildung. Berufsbildungsbiografien, Fachkräftemangel, Lehrerbildung. Berlin, 317 – 330.

GRANTZ, T./ SCHULTE, S./ SPÖTTL, G (2009): Lernen im Arbeitsprozess oder: Wie werden Kernarbeitsprozesse (berufspädagogisch legitimiert) didaktisch aufbereitet? In: *bwp@ Berufs- und Wirtschafts-pädagogik* – online, Ausgabe 17, 1-18. Online: [http://www.bwpat.de/ausgabe17/grantz\\_etal\\_bwpat17.pdf](http://www.bwpat.de/ausgabe17/grantz_etal_bwpat17.pdf) (17-12-2009).

## Zitieren dieses Beitrags

---

GRANTZ, T./ MOLZOW-VOIT, F. (2013): Qualifizierungsnotwendigkeiten und -ansätze für Fachkräfte im Windenergiesektor – Ein Beitrag zur Berufsbildung für eine nachhaltige Entwicklung. In: *bwp@ Spezial 6 – Hochschultage Berufliche Bildung 2013*, Workshop 10, hrsg. v. FISCHER, A./ KUHLMIEIER, W./ VOLLMER, T./ WINZIER, D., 1-17. Online: [http://www.bwpat.de/ht2013/ws10/grantz\\_molzow-voit\\_ws10-ht2013.pdf](http://www.bwpat.de/ht2013/ws10/grantz_molzow-voit_ws10-ht2013.pdf)



## Die Autoren

---



### **TORSTEN GRANTZ**

Institut Technik und Bildung  
Universität Bremen

Am Fallturm 1, 28359 Bremen

E-mail: [tgrantz@uni-bremen.de](mailto:tgrantz@uni-bremen.de)

Homepage: [www.itb.uni-bremen.de](http://www.itb.uni-bremen.de)



### **FRANK MOLZOW-VOIT**

Institut Technik und Bildung  
Universität Bremen

Am Fallturm 1, 28359 Bremen

E-mail: [molzow-voit@uni-bremen.de](mailto:molzow-voit@uni-bremen.de)

Homepage: [www.itb.uni-bremen.de](http://www.itb.uni-bremen.de)