



## Diplomarbeit Auslegeexemplar

Name:	Vorname:	Matr.Nr
Gehart	Christina	1729354
Studiengang:	vorgelegt am:	
Produktionsmanagement	08.02.2012	
Erstprüfer:	Zweitprüfer:	
Prof. Dr.-Ing. Randolph Isenberg Produktionsmanagement HAW Hamburg	Dipl. Ing Sven Noack SLV Nord gGmbH, Geschäftsführer/ Leiter	

Thema:

Erstellung einer Marktstudie zur Erfassung der Bedarfe an schweiß- und fügetechnischen Lehrgängen, Seminaren und Dienstleistungen im Bereich der Windenergiebranche am Beispiel einer Schweißtechnischen Lehr- und Versuchsanstalt.

## INHALTSVERZEICHNIS

<b>INHALTSVERZEICHNIS</b> .....	<b>I</b>
<b>ABBILDUNGSVERZEICHNIS</b> .....	<b>III</b>
<b>TABELLENVERZEICHNIS</b> .....	<b>IV</b>
<b>AUFGABENSTELLUNG</b> .....	<b>V</b>
<b>ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS</b> .....	<b>VI</b>
<b>1 EINLEITUNG</b> .....	<b>1</b>
<b>2 VORSTELLUNG DER SLV NORD</b> .....	<b>3</b>
2.1 Das Unternehmen .....	3
<b>3 WINDKRAFTANLAGEN – GRUNDLAGEN UND TECHNIK</b> .....	<b>5</b>
3.1 Grundlagen von Windkraftanlagen .....	5
3.1.1 <i>Geschichte</i> .....	5
3.1.2 <i>Bezeichnungen</i> .....	7
3.1.3 <i>Aktueller Stand der Technik</i> .....	8
3.2 Anforderungen an Windkraftanlagen .....	9
3.3 Rotor .....	10
3.3.1 <i>Anforderungen</i> .....	10
3.3.2 <i>Berechnungsgrundlagen</i> .....	10
3.3.3 <i>Zusammenfassende Erkenntnisse der „Betz’schen Theorie“</i> .....	11
3.3.4 <i>Auslegung</i> .....	11
3.3.5 <i>Fertigungs- und Reparaturtechniken</i> .....	14
3.4 Turm .....	16
3.4.1 <i>Turmkonzepte</i> .....	16
3.5 Fertigung Turm .....	18
3.5.1 <i>Beispiel Fertigungsablauf</i> .....	19
3.6 Fundament / Gründung .....	20
3.6.1 <i>Gründungen</i> .....	20
3.7 Triebstrang und Hilfsaggregate .....	21
3.7.1 <i>Triebstrang</i> .....	21
3.8 Technische Besonderheiten der Offshore-Industrie .....	22
3.8.1 <i>Offshore-Gründungen</i> .....	22
3.8.2 <i>Rückbau</i> .....	24
3.8.3 <i>Korrosionsschutz</i> .....	24
3.8.4 <i>Spezialtechnik für Offshore Windparks</i> .....	25
3.9 Betrieb und Wartung .....	27
3.9.1 <i>Zustandsüberwachung</i> .....	29
3.9.2 <i>Typische Überwachungsarbeiten</i> .....	30
<b>4 BEDEUTUNG DER WINDENERGIE</b> .....	<b>31</b>
4.1 Aktuelle Zahlen .....	32
4.2 Netzinfrastruktur und Einspeisemanagement .....	33
4.3 Windkraft Onshore .....	34
4.3.1 <i>Repowering</i> .....	34
4.3.2 <i>Technologischer Fortschritt</i> .....	35
4.4 Windkraft Offshore .....	36
4.4.1 <i>Entwicklung der Offshore-Industrie in Europa</i> .....	36

4.4.2	<i>Europäischer Vorsprung</i> .....	37
4.4.3	<i>Wertschöpfung Offshore</i> .....	38
4.5	Internationale Windkraft .....	39
4.5.1	<i>EU-Zahlen und Fakten</i> .....	39
4.5.2	<i>Weltmarkt und Exportchancen</i> .....	40
<b>5</b>	<b>BESCHÄFTIGUNGSSITUATION</b> .....	<b>41</b>
5.1	Beschäftigungssituation der Branche .....	42
5.2	Beschäftigung Offshore .....	43
5.2.1	<i>Ausblick Export</i> .....	43
5.3	Aktuelle Ausbildungssituation in Deutschland .....	44
5.4	Qualifizierungs- und Kompetenzanforderungen .....	45
5.4.1	<i>Allgemein</i> .....	45
5.4.2	<i>Offshore</i> .....	46
5.4.3	<i>Studien zur Qualifikation</i> .....	48
<b>6</b>	<b>STÄRKUNG DER REGION NORD</b> .....	<b>50</b>
6.1	Maßnahmen und Ziele .....	50
6.2	Hamburg .....	52
<b>7</b>	<b>UNTERNEHMENSBEFRAGUNG</b> .....	<b>54</b>
7.1	Das Fragebogenprogramm GrafStat 4 .....	54
7.1.1	<i>Ein kurzer Überblick</i> .....	55
7.2	Erstellung des Fragebogens .....	57
7.2.1	<i>Übersicht</i> .....	57
7.3	Ergebnisse .....	59
7.3.1	<i>Aus und Weiterbildung</i> .....	60
7.3.2	<i>Forschung und Entwicklung</i> .....	62
7.3.3	<i>Dienstleistung</i> .....	64
<b>8</b>	<b>ZUSAMMENFASSENDE ERKENNTNISSE</b> .....	<b>66</b>
8.1	Geeignete Angebote Aus und Weiterbildung.....	66
8.2	Ergebnisse Werkstoffkunde und Qualitätssicherung .....	67
8.3	Standort/ Technologischer Vorsprung/ Markt .....	68
8.4	Unterstützen der Energiewende .....	68
<b>9</b>	<b>AUSBLICK</b> .....	<b>69</b>
<b>ANHANG I:</b>	<b>DER FRAGEBOGEN</b> .....	<b>A</b>
<b>ANHANG II:</b>	<b>GRUNDAUSWERTUNG DER BEFRAGUNG</b> .....	<b>E</b>
	Freie Antworten .....	I
<b>ANHANG III:</b>	<b>STATISTIKEN</b> .....	<b>K</b>
<b>ANHANG IV:</b>	<b>QUALIFIZIERUNGSBEGRIFF</b> .....	<b>M</b>
<b>ANHANG V:</b>	<b>LITERATURVERZEICHNIS</b> .....	<b>N</b>

**ABBILDUNGSVERZEICHNIS**

Abbildung 1: ELBCAMPUS, Hamburg,.....	3
Abbildung 2: Vertikale Windkraftanlagen.....	6
Abbildung 3: Schematische Darstellung einer Windkraftanlage.....	7
Abbildung 4: Größenentwicklung der Windkraftanlagen seit 1980.....	8
Abbildung 5: Vereinfachte Modelldarstellung (Quelle: eigene Darstellung nach Gasch).....	11
Abbildung 6: Luftkräfte an einem umströmten Tragflügelprofil.....	12
Abbildung 7: Winddreiecke.....	13
Abbildung 8: Vakuum Infusionsverfahren.....	14
Abbildung 9: Schichtaufbau eines Reparaturlaminates (GL-Verfahren).....	15
Abbildung 10: Schichtaufbau eines Reparaturlaminates (Amerikanisches Verfahren).....	15
Abbildung 11: Gitterturm.....	17
Abbildung 12: Außen und Innen Unterpulverschweißen.....	19
Abbildung 13: Gründungsstrukturen.....	22
Abbildung 14: Tripod und Jacket Transport.....	23
Abbildung 15: Errichterplattformen Eemshaven Thialf.....	25
Abbildung 16: Kabelverlegerschiff und Errichterplattform Testfeld.....	26
Abbildung 17: Servicetechniker; Windpark Goodnoe Hills.....	27
Abbildung 18: Schadenshäufigkeit und Ausfallzeit je Schaden.....	28
Abbildung 19: Entwicklung der installierten kumulierten Leistung.....	33
Abbildung 20: Repowering, Vorher / Nachher ©BWE.....	34
Abbildung 21: durchschnittliche Küstenentfernung und Wassertiefe.....	37
Abbildung 22: Wertschöpfungskette; erste Ebene.....	38
Abbildung 23: GL Entwicklung Offshore.....	40
Abbildung 24 : Entwicklung der Bruttobeschäftigung durch EE in Deutschland.....	41
Abbildung 25: Entwicklung der Beschäftigung in der Windbranche in Deutschland.....	42
Abbildung 26: GrafStat 4 Hauptbildschirm.....	54
Abbildung 27: HTML-Formular und Eingabemöglichkeiten.....	56
Abbildung 28: Verteilung Unternehmenssegmente.....	58
Abbildung 29: Erwartete Bedarfe in der Aus- und Weiterbildung.....	60
Abbildung 30: Gesteigerte Bedarfserwartung der einzelnen Sparten.....	61

---

Abbildung 31: Bevorzugte Weiterbildungsstrategie .....	62
Abbildung 32: Bedarfe in Forschung und Entwicklung .....	63
Abbildung 33: Schwerpunkte der Forschung und Entwicklung nach Sparten .....	63
Abbildung 34: Bedarf an bau- und fertigungsüberwachenden Tätigkeiten .....	64
Abbildung 35: Bedarf an Werkstofftechnischen Untersuchungen .....	65
Abbildung 36: Zertifizierungsbedarfe .....	65
Abbildung 37: bau- und fertigungsüberwachende Tätigkeiten im Detail:.....	J
Abbildung 38: Aussicht des Repowering On- und Offshore in MW .....	L

## **TABELLENVERZEICHNIS**

Tabelle 1: Energiekonzept in Zahlen, eigene Darstellung .....	31
Tabelle 2: Die wichtigsten Zahlen zur Windenergie in Deutschland.....	32
Tabelle 3: Installierte Leistung .....	K
Tabelle 4: Entwicklung der Windstromeinspeisung .....	K
Tabelle 5: Windenergieanlagen in Deutschland .....	K

## **AUFGABENSTELLUNG**

Erstellung einer Marktstudie zur Erfassung der Bedarfe an schweiß- und fügetechnischen Lehrgängen, Seminaren und Dienstleistungen im Bereich der Windenergiebranche am Beispiel einer Schweißtechnischen Lehr- und Versuchsanstalt.

Schwerpunkte:

Zunächst sollen das Unternehmen SLV Nord und sein Produktportfolio mit Hinblick auf die Eignung in der Windenergiebranche vorgestellt und untersucht werden.

Beim Einblick in die Technologie von Windkraftanlagen wird der Fokus auf den schweiß- und fügetechnischen Gegebenheiten, verbunden mit der Definition der für die SLV in Frage kommenden Kompetenzbereiche liegen.

Beispielhaft sollen die technischen An- und Herausforderungen der Branche dargestellt werden. Es ist zu klären, in wie weit das derzeitige Lehrgangs-, Seminar- und Dienstleistungsangebot die speziellen Anforderungen des Marktes abdeckt und die notwendigen Fachkräfte für das zu erwartende Wachstum in der Branche vorhanden sind.

Handlungsempfehlungen, in wie weit sich die SLV Nord in der Branche positionieren kann, sind daraus abzuleiten.

## ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

AWZ	Ausschliessliche Wirtschaftszone
BSH	Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie
BMU	Bundesministerium für Umwelt- und Reaktorsicherheit
BWE	Bundesverband WindEnergie e.V.
BZEE	Das Bildungszentrum für Erneuerbare Energien BZEE e.V.
CFK	Kohlefaserverstärkte Kunststoffe
DIN	Deutsches Institut für Normung e.V.
DVS	Deutscher Verband für Schweißen und verwandte Verfahren e.U
EE	Erneuerbare Energien
EEG	Erneuerbare-Energien-Gesetz
EN / EU	Europäische Norm / Europäische Union
EWEA	European Wind Energy Agency
FTP	File Transfer Protocol
GFK	Glasfaserverstärkte Kunststoffe
GL	Germanischer Lloyd
GSI	Gesellschaft für Schweißtechnik International mbH
GW	Gigawatt
HAW	Hochschule für Angewandte Wissenschaften
HTML	Hyper Text Transfer Protocol
IHK	Industrie- und Handelskammer
ISO	Internationale Organisation für Normung
kW / kWh	Kilowatt / Kilowattstunde
MAG	Metallaktivgasschweißen
MtP	Mechanisch technologische Prüfung
MIG	Metallinertgasschweißen
MW / MWh	Megawatt / Megawattstunde
SCC	Sicherheits Zertifikat Contractors
SLV	Schweißtechnische Lehr- und Versuchsanstalt
sm	Seemeile
TCP	Transmission Control Protocol
TWh	Terawattstunde
TU	Technische Universität
UP	Unterpulver Schweißen
VDI	Verein Deutscher Ingenieure
VDMA	Verein deutscher Maschinen- und Anlagenbauer
WAB	Windenergie-Agentur Bremerhaven/Bremen e.V.
WEA / OWEA	Windenergieanlage / Offshore-WEA
OWP	Offshore Wind Park
WIG	Wolfram-Inertgasschweißen
WKA	Windenergieanlage / Windkraftanlage
ZEWU	Zentrum für Energie-, Wasser- und Umwelttechnik
ZfP	Zerstörungsfreie Prüfung

## 1 EINLEITUNG

Als erneuerbare Energien werden Energiequellen bzw. Energieträger bezeichnet, die kurzfristig und nach menschlichen Maßstäben unerschöpflich zur Verfügung stehen.<sup>1</sup>

Energie kann nicht erzeugt, sondern nur in eine andere Erscheinungsform gewandelt werden. Der Begriff „erneuerbar“ bezieht sich somit auf die jeweilige Erscheinungsform, die entnommen werden kann, aber von einer anderen Energiequelle wieder ersetzt wird.<sup>2</sup>

Die wichtigsten Treiber des Marktes der erneuerbaren Energien sind der Klimawandel; Erschöpfung von Öl- und Gas Reserven, hohe Spritkosten und unvorhersehbare Engpässe sowie CO<sub>2</sub>

Die wichtigsten Beweggründe der Bevölkerung für einen Wechsel zu erneuerbaren Energien sind die Unabhängigkeit von fossilen Brennstoffen wie Kohle, Uran, Öl und Gas sowie positive Auswirkungen auf die Umwelt und das Klima, die Schaffung von Arbeitsplätzen und neue Aufträge, und langfristig sinkende Energiepreise und natürlich der Atomausstieg.

- Die Unternehmen in den Branchen der erneuerbaren Energien benötigen ständig neue Fachkräfte, um ihr Wachstum auch qualitativ zu sichern.
- Die speziellen Einsatzgebiete erfordern dabei Erfahrungen, die in anderen Branchen nicht hinreichend erworben werden können.

An der Wertschöpfungskette einer Windkraftanlage sind sowohl Hersteller, Service-Dienstleister, Planungsbüros, Sachverständige und Gutachter leben von der sauberen Energie. Ebenso die Zulieferfirmen, zu denen vielfach alt eingesessene Unternehmen aus dem Maschinen- und Anlagenbau, der Metallindustrie und der Elektrobranche gehören. Ihre Zentren finden sich größtenteils in Norddeutschland, Nordrhein-Westfalen, Baden-Württemberg und Sachsen.

Die Fachkräftebedarfe bei den norddeutschen Zulieferindustrien sind zurzeit einer starken Anpassung an die Erfordernisse der Errichtung der Offshore-Windenergieparks in der Nord- und Ostsee ausgesetzt. Besonders in den Küstennahen Standorten wird in den nächsten Jahren eine ausgeprägte Infrastruktur entstehen die Arbeitsplätze absichert und wird die Wirtschaftskraft der oftmals strukturschwachen Regionen nachhaltig gestärkt

Eine Windenergieanlage stellt ein Bauwerk bzw. eine Anlage im Außenbereich dar. Alle Hauptkomponenten werden erst auf der Baustelle während der Errichtung zusammengefügt..

Weltweit wird bis zum Jahr 2010 mit 750.000, bis zum Jahr 2020 sogar mit 2,3 Mio. Beschäftigten in der Windwirtschaft gerechnet. Dabei soll es in Europa eine Steigerung von ca. 130.000 auf etwa 220.000 Beschäftigte geben.<sup>3</sup>

---

<sup>1</sup> Schwarmkraft

<sup>2</sup> Schwarmkraft

<sup>3</sup> Grundmann 2005

Auf eine Erklärung zur Entstehung und Nutzung des Windes wird im Rahmen dieser Arbeit verzichtet, da es ihren Umfang sprengen würde.

Die vorliegende Analyse bildet eine mögliche Grundlage für die Bewertung der Marktattraktivität des Marktes für Windenergie insgesamt sowie ausgewählte Teilmärkte mit Blick auf die Leistungen einer Schweißtechnischen Lehr- und Versuchsanstalt.

Es stand die Überlegung an, die vielfältigen vorhandenen Kompetenzen der SLV Nord zu ergänzen, um flexibel auf die Qualifikationsanforderungen in der Windenergiebranche, sowohl Onshore als auch im Offshorebereich reagieren zu können.

## 2 VORSTELLUNG DER SLV NORD

### 2.1 Das Unternehmen

Die Schweißtechnische Lehr- und Versuchsanstalt Nord gGmbH (SLV Nord) ist eine Tochtergesellschaft der Handwerkskammer Hamburg, Geschäftssitz der SLV Nord ist seit 2008 das Kompetenzzentrum der Handwerkskammer, der ELBCAMPUS.

Die SLV Nord wurde 1992 gemeinnützige Gesellschaft mit beschränkter Haftung in Hamburg gegründet und ist über einen Kooperationsvertrag mit der GSI - Gesellschaft für Schweißtechnik International mbH in einen Verbund mit allen Schweißtechnischen Lehr- und Versuchsanstalten in Deutschland und darüber hinaus international eingebunden. Die GSI ist ein Unternehmen des DVS - Deutscher Verband für Schweißen und verwandte Verfahren e.V., bündelt dessen operatives Geschäft und entwickelt es weiter.



Abbildung 1: ELBCAMPUS, Hamburg,  
Bildquelle:©Elbcampus, HWK Hamburg

Die Hauptbetätigungsfelder der SLV sind:

- Aus- und Weiterbildung
- Qualitätssicherung
- Werkstofftechnik
- Forschung und Entwicklung
- Kunststofftechnik

Das Leistungsspektrum der SLV im Bereich der Aus- und Weiterbildung umfasst sowohl theoretische wie praktische Ausbildungen, zum Beispiel von Schweißern und Schweißaufsichtspersonen oder von Fachkräften für Faserverstärkte Kunststoffe.

Neben den klassischen und kundenorientierten Angeboten der Aus- und Weiterbildung im Stahl- und Kunststoffbereich bietet die SLV Nord Leistungen in den Bereichen der Qualitätssicherung, Werkstofftechnik, der Forschung und Entwicklung und der Kunststofftechnik an.

In den Bereichen Qualitätssicherung und Werkstofftechnik liegen die Kernkompetenzen der SLV Nord maßgeblich in Beratung und Zertifizierungen von Schweißfachbetrieben verbunden mit der integrierten Werkstoffprüfung im eingegliederten akkreditierten Werkstoffprüflabor.<sup>4</sup> Das Labor kann unter anderem Kundenaufträge, wie beispielsweise Verfahrensprüfungen und Werkstoffuntersuchungen genutzt werden sowie im Rahmen von Projekten mit Industrie, Handwerk und ortsansässiger Hochschullandschaft Verbundprojekte auf dem neuesten Stand der Schweißtechnik durchführen.

Der Markt für Weiterbildung im Bereich der Windenergie wächst stark (*vgl. Kapitel 5 Beschäftigungssituation*). Die Handwerkskammer in Hamburg ist mit dem Zentrum für Energie-, Wasser- und Umwelttechnik (ZEWU) und der Schweißtechnischen Lehr- und Versuchsanstalt SLV bereits im Bereich der Servicetechnikerausbildung für Windenergieanlagen und der Schweißtechnik tätig.

Von Seiten der SLV Nord befinden sich damit bereits zwei Maßnahmen im Angebot für die Branche. Der „Schweißer für Offshorekonstruktionen“ läuft in Kooperation mit der edwin Academy für einen Hersteller von Fundamentstrukturen im Offshorebereich. Weitere modulare Standardausbildungen im schweißtechnischen Bereich kann die Zulieferindustrie anfragen. Diese umfassen, zum Beispiel die Weiterbildung von klassischen Handschweißern mit Schweißerprüfungen nach DIN EN 287-1 verbunden mit mechanisierten Schweißverfahren mit abschließender Bedienerprüfung nach DIN EN 1418 für den sich zügig entwickelnden Markt der Fundament- und Turmhersteller, (*vgl. Kapitel 6 Standort*).

Für Laminierkurse, Schweißkurse sowie Ausbildung in Elektrotechnik und Hydraulik existieren Praxiswerkstätten. Für die Weiterentwicklung und praxisnahe Ausbildung im Bereich des Schweißens und Laminierens bedarf es jedoch einem Ausbau des Standortes Hamburg. Die spezielle Verarbeitung von kohlefaserverstärkten Kunststoffen sowie dickwandiges Schweißen sind in den jetzigen Werkstätten nicht möglich.

Zurzeit bildet die Handwerkskammer gemeinsam mit dem BZEE etwa 50 Servicetechniker pro Jahr aus. Die meisten Teilnehmer besitzen einen Gesellenbrief in einem Elektro- oder Mechanikbereich. Die Ausbildung dauert etwa sieben Monate und wird in den meisten Fällen über Bildungsgutscheine der Arbeitsagentur finanziert. Zulassungsvoraussetzungen sind unter anderem ein persönliches Vorstellungsgespräch am Elbcampus mit anschließendem Hörentauglichkeitstest und Gesundheitsprüfung.

---

<sup>4</sup> SLV Nord

### 3 WINDKRAFTANLAGEN – GRUNDLAGEN UND TECHNIK

#### 3.1 Grundlagen von Windkraftanlagen

##### 3.1.1 Geschichte

Die Anfänge der Windkraftanlagen wie wir sie heute kennen gehen auf einfache Windmühlen im arabischen Raum zurück. Der erste, der den Wind dazu nutzte um elektrischen Strom zu erzeugen war der Däne Poul La Cour (1846 - †1908). Er wandelte im Jahre 1881 eine herkömmliche Windmühle in eine Windkraftanlage um, um die ländlicheren Gebiete Dänemarks mit Strom zu versorgen. Hierbei wurde das Speicherungsproblem auch direkt angegangen.<sup>5</sup> Der Gleichstrom, den die Windkraftanlage generierte, wurde zur Elektrolyse genutzt um Wasserstoffgas zu erzeugen. Im Jahre 1885 wurde eine Schule mit einer windbetriebenen Beleuchtungsanlage mit Gaslampen ausgestattet und auch bis ins Jahr 1902 erfolgreich genutzt.

Um die Leistung seiner Windkraftanlage zu verbessern, führte LaCour Versuche in einem eigens dafür errichteten Windkanal durch. Die damalige Leistung betrug zwischen 10-35 kW bei einem Rotordurchmesser von 20 m mit 4 Flügeln. Jährliche lieferte sie 40 kWh Energie.

Die erste Anlage, die prinzipiell dem heutigen Stand der Technik entspricht, wurde 1941 von Smidth „Aeromotor“ gebaut. Die Windturbine hatte zwei Rotorblätter und erbrachte eine Leistung von 50 kW die von zwei Gleichstromgeneratoren aufgenommen wurde.<sup>6</sup>

Die ersten großen Pläne für Windkraftanlagen in Deutschland entstanden während des ersten Weltkrieges. Zu der damaligen Zeit wurde auch der „Maximalwert nach Betz“ entwickelt, der bis heute als Grundlage der aerodynamische Formgebung der Rotorblätter zählt.(vgl. dazu Kapitel 3.3.2) Der Physiker Albert Betz (1885 - †1968) war Leiter der aerodynamischen Versuchsanstalt in Göttingen und veröffentlichte 1920 einen Artikel in der Zeitschrift für das gesamte Turbinenwesen. In diesem Artikel wies er nach, dass das physikalisch mögliche Maximum der Ausnutzung von Windkraft durch einen scheibenförmigen, turbinenartigen Windenergiewandler bei 59,3% der im Wind enthaltenen Leistung liegt. Im Jahre 1925 veröffentlichte Betz das Buch „Windenergie und ihre Ausnutzung durch Windmühlen“, in welchem die bis heute gültige Theorie für „die aerodynamische Formgebung der Rotorblätter“ veröffentlicht wurde. Ende der 20´er Jahre wurden mit diesem Wissen die ersten Flugzeuge mit Leichtbauweise gefertigt.

Die Art des konstruktiven Aufbaus einer Windkraftanlage ist stark von ihrer jeweiligen Anwendung geprägt. Man unterscheidet zwischen direktem mechanischen Einsatz, wie in Mahl- und Sägewerken und zum Entwässern der Deiche in Holland. und der Wandlung der kinetischen Energie des Windes in andere Energieformen, wie zum Beispiel in hydraulische Energie, thermische Energie oder elektrische Energie. Heutzutage ist die Wandlung in

---

<sup>5</sup> Hau 2008:1

<sup>6</sup> Hau 2008:29–32

elektrische Energie die am häufigsten genutzte Form, weshalb auf die Ausführung der anderen Wandler im Detail verzichtet wird.

Konstruktiv unterscheiden sich Windkraftanlagen nach ihrer Bauweise. Windkraftanlagen mit vertikaler (vgl. *Bild 2 Vertikale Windkraftanlagen* © 2010 Windspire Energy Inc. All rights reserved) und horizontaler Achsausrichtung und machen sich entweder das aerodynamische Prinzip des Widerstandes oder das des Auftriebes zu Nutze.



**Abbildung 2: Vertikale Windkraftanlagen** <sup>7</sup>  
**Bildquelle:** © 2010 Windspire Energy Inc. All rights reserved

Die ersten Maschinen zur Wandlung von Wind in Energie waren, laut Überlieferung, Windräder mit vertikaler Achse und wurden im Orient eingesetzt. In Persien stehen Ruinen aus dem Jahre 700 vor Christus, die man heute noch besichtigen kann. Damals wurden Tücher an die Rotoren gespannt und gegen den Wind gehalten und von diesem „mitgenommen“. Ihr Vorteil liegt eindeutig darin, dass ohne zwischengeschaltetes Getriebe der Mahlstein direkt an die senkrecht stehende Antriebswelle befestigt werden kann.<sup>8</sup>

Windräder mit horizontaler Achsausrichtung wurden erst wesentlich später gebaut und sind das bis heute vorherrschende Konstruktionsprinzip der an das Stromnetz gekoppelten Windkraftanlagen. Der wissenschaftliche Durchbruch kam nach dem ersten Weltkrieg (1914 –1918). Damals stützten sich Wissenschaftler auf die Erfahrungen der Propellerauslegung für Militär- und Zivilflugzeuge.

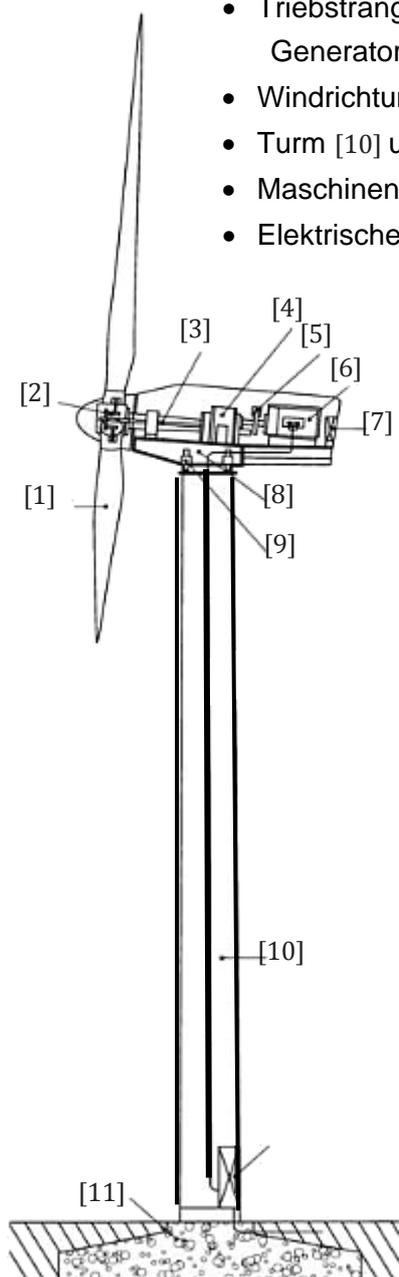
<sup>7</sup> <http://www.windspireenergy.com/windspire/photos-and-videos/>

<sup>8</sup> Gasch 2011:17–19

### 3.1.2 Bezeichnungen

In der Literatur finden sich viele Begriffe für Windkraftanlagen. Zum Beispiel: Windenergieanlage, Windenergiekonverter, Windenergiewandler, Windkraftwerk, Windgenerator, Windturbine, Windrad, Windmühle. Wie in dem Buch von Erich Hau wird für diese Arbeit die Bezeichnung Windkraftanlage gewählt, da in der deutschen Sprache Energiegewinnung oft mit der Vorsilbe Kraft- definiert wird.<sup>9</sup> Die wichtigsten Komponenten aus denen eine Windkraftanlage besteht sind im Folgenden aufgezählt:

- Rotor mit Rotorblättern [1], aerodynamischer Bremse und Nabe [2]
- Triebstrang mit Rotorwelle, Rotorlagern [3], Bremse [5], Getriebe [4] und Generator [6]
- Windrichtungsnachführung mit Azimutlager und Azimutantrieb [9]
- Turm [10] und Fundament [11]
- Maschinenhaus [8]
- Elektrische Komponenten für Steuerung und Netzaufschaltung [7]



Der eigentliche Energiewandler wird als Rotor bezeichnet, welcher über mehr oder weniger Rotorblätter (Blades) verfügt. Die Verbindung erfolgt über die Nabe (Hub). In ihr sind die Blattlager bei Anlagen mit Blatteinstellwinkelregelung und der Blatteinstellmechanismus (Pitch) enthalten. Im Triebstrang wird die mechanische Energie in elektrische umgewandelt.

Im engeren Sinn besteht der Triebstrang aus der Rotornabe mit Blatteinstellmechanismus, der „langsamen Welle“, dies ist die Rotorwelle, dem Getriebe und der „schnellen Welle“, der Generatorantriebswelle. Der Triebstrang befindet sich im Maschinenhaus (Nacelle) oder der Maschinengondel. Die Ausrichtung nach dem Wind nennt sich Windrichtungsnachführung oder Azimutverstellantrieb (Yaw-Drive).

Die soeben genannten Komponenten befinden sich auf der Spitze von Mast (Tower) oder Turm, welcher im Fundament gelagert ist. (vgl. *Abbildung 1*)

Abbildung 3: Schematische Darstellung einer Windkraftanlage<sup>10</sup>

<sup>9</sup> Hau 2008:77–78

<sup>10</sup> Eigene Darstellung in Anlehnung an Hau 2008

### 3.1.3 Aktueller Stand der Technik

In den letzten Jahrzehnten ist die technologische Entwicklung rasant vorangeschritten. Allein in den letzten zwanzig Jahren hat sich die Anlagengröße ungefähr ver Hundertfacht.

Heutige Anlagen werden im Allgemeinen in drei Kategorien unterteilt: kleine, mittlere und große Anlagen. Von großen Windkraftanlagen spricht man ab einem Durchmesser des Rotors über 50 m. Diese Art der Windkraftanlage besitzt eine Kapazität von mehr als einem Megawatt und findet vor allem im Rahmen von On- und Offshore Windparks Verwendung. Kleine und mittlere Anlagen haben einen Rotordurchmesser von 10 bis 20, beziehungsweise 20 bis 50 Metern. Die Kapazitäten liegen ungefähr bei 100 kW bei den mittleren und 50 bis 100 kW bei den kleinen Anlagen, zu denen auch die vertikalen Anlagen zählen. (vgl. Abb.3)

Zum Vergleich der Leistungswerte würde der Stromverbrauch des Landes Berlin bei etwa 13 Milliarden kWh pro Jahr liegen, unter der Annahme, dass ein 3-Personen-Haushalt im Jahr 3500 kWh verbraucht.<sup>11</sup>

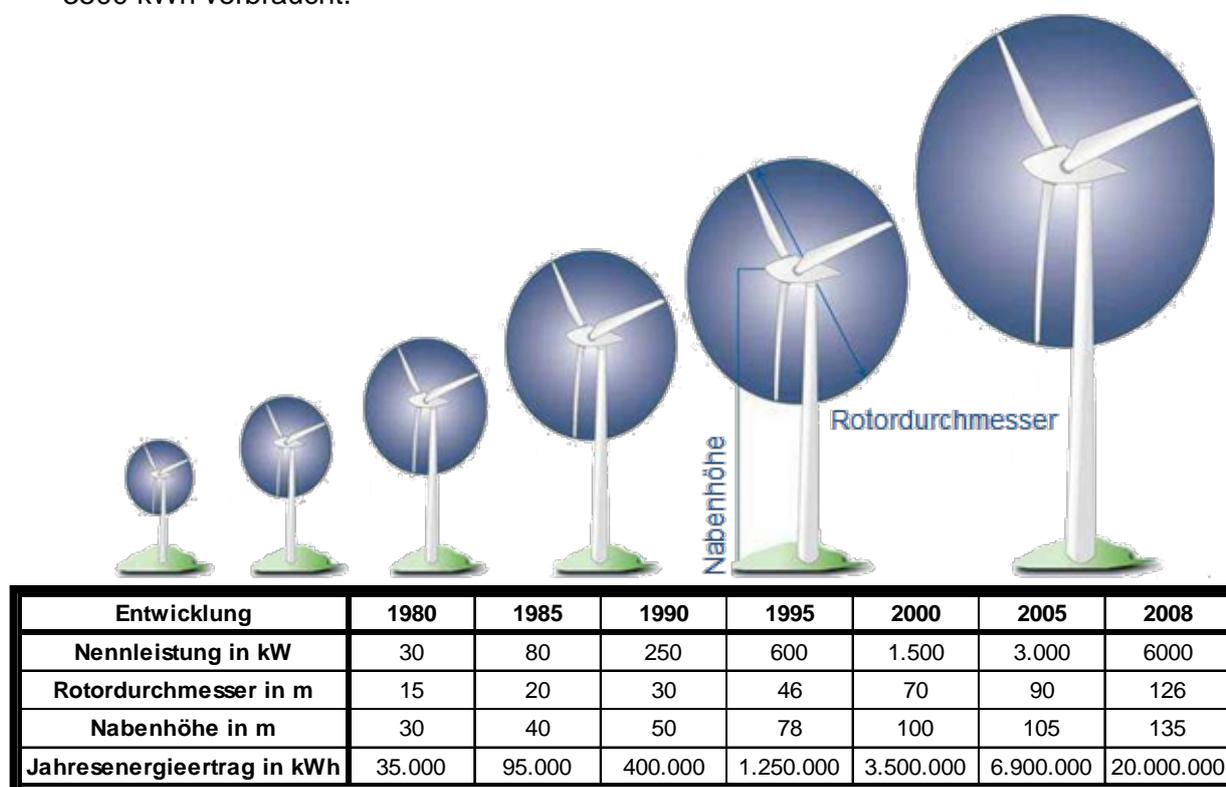


Abbildung 4: Größenentwicklung der Windkraftanlagen seit 1980<sup>12</sup>

Die durchschnittliche Anlagengröße der Offshore-Windkraftanlagen in Europa im Jahr 2011 lag bei ungefähr 2 MW, das ist ein Zuwachs von 45 kW im Vergleich zum Vorjahr.<sup>13</sup> Die Energieausbeute liegt nach Schätzungen etwa 40 % höher als an bei Anlagen an Land.

<sup>11</sup> Klemisch & Bühler 2006

<sup>12</sup> Bundesverband Windenergie e. V. 2012

<sup>13</sup> Guillet, Wilczek & EWEA 2012

Die größte Anlage welche zur Zeit weltweit an ein öffentliches Stromnetz angeschlossen ist, eine 7,5 MW Anlage, zum Beispiel E-126 von Enercon<sup>14</sup> mit einer Nabenhöhe von 135 m bei einem Rotordurchmesser von 127 m. Man sieht sie zum Beispiel in Hamburg, wenn man mit dem Auto über die Elbbrücken stadteinwärts fährt.

### 3.2 Anforderungen an Windkraftanlagen

Zu aller erst muss neben den Umweltaspekten die Standfestigkeit der Anlage gewährleistet sein. Das betrifft die Anlage sowohl bei extremen Beanspruchungen wie Orkane oder Jahrhundertwellen, als auch bei stetig andauernden, Wechselbeanspruchung während des Betriebs. Ausgangspunkt der Belastungen ist maßgeblich der Rotor, da er die auf ihn wirkenden Kräfte auf die restliche Anlage überträgt.<sup>15</sup>

Dabei sind die an Land auftretenden Belastungen einer Anlagen die stationären und instationären Belastungen von Rotor, Gondel, Turm und Fundament. Offshore kommen zusätzliche Belastungen der Fundament-Struktur durch Seegang, Strömung und Eisbildung dazu sowie Veränderung der Steifigkeit der Gründungsstruktur durch Auskolkung des Meeresbodens (vgl. Kapitel 3.8.1 Offshore-Gründungen).

zu einem die stationären Belastungen der Rotorblätter durch anströmen des Windes und der Zentrifugalkraft, die bei Drehung des Rotors entsteht. Und zum anderen die auftretenden instationären Belastungen. Diese werden zum Beispiel verursacht durch Windböen (kurzfristige Änderung der Windgeschwindigkeit), durch Turbulenzen des Windes allgemein oder der benachbarten Windkraftanlagen und Belastungen aus relativ schnellen Änderungen der Betriebszustände.

Windenergieanlagen sind sehr langlebige Investitionsgüter, an die während der gesamten Laufzeit von ca. 20 bis 30 Jahren extrem hohe Anforderungen gestellt werden. Für diesen Zeitraum gilt:

- es treten erhebliche, unterschiedlich große Belastungen auf (sogen. "Lastkollektive")
- die Gesamtlastwechselzahlen liegen in der Größenordnung von mehr als 108
- die Korrosionsbelastung kann erheblich sein, insbesondere bei Offshore- oder in Küstennähe stehenden Anlagen, da Meerwasser und Salzlufte sehr aggressiv sind
- die Anlagen sollen während ihrer ganzen Lebensdauer wirtschaftlich arbeiten

Für die Ermittlung der Strukturbelastung und der Belastungsarten einer Windkraftanlage sind im Allgemeinen die Rotorblätter, die Gondel, der Turm und das Fundament zu betrachten. Die Belastungen der elektro-mechanischen Komponenten wie Rotorwelle, Getriebe, Generator usw. sollen hier nicht weiter behandelt werden. Es ist aber zu beachten, dass diese Komponenten das Gesamtsystem zu Schwingungen anregen.<sup>16</sup>

---

<sup>14</sup> ENERCON 2011

<sup>15</sup> Hau 2008

<sup>16</sup> Gasch 2011

### 3.3 Rotor

#### 3.3.1 Anforderungen

Der Rotor steht am Anfang der Wirkungskette des Systems und beeinflusst somit die gesamte Anlage. Er bildet sozusagen die „windkraftanlagenspezifische“ Komponente und muss deshalb ohne Beispiel aus anderen Bereichen der Technik berechnet und konstruiert werden. Die Fähigkeit des Rotors, einen möglichst hohen Anteil der die Rotorkreisfläche durchströmenden Windenergie in mechanische Arbeit umzusetzen, ist eine direkte Folge seiner aerodynamischen Eigenschaften und die Hauptanforderung, die es zu erfüllen gilt. Ebenso wie die Eigenschaft unstete Belastungen des Windes in ein möglichst gleichmäßiges Drehmoment umzusetzen und die dynamische Belastung der Anlage so gering wie möglich zu halten.<sup>17</sup> Aber auch die aerodynamisch bedingten Geräuschemissionen gering zu halten ist eine Anforderung, welche eine optimale Auslegung des Rotors erfordert.

Die Rotordrehzahl gehört zu den wichtigsten Auslegungsparametern für eine Windkraftanlage. Die Leistung einer Windturbine ergibt sich aus dem Produkt von Rotorwinkelgeschwindigkeit  $\omega$  und dem Rotordrehmoment  $M$ .

$$P = M\omega = M * 2 * \pi * n$$

Drehzahl und Windgeschwindigkeit sind durch die Schnelllaufzahl  $\lambda$  verknüpft.

$$\lambda = 2 * \pi * n * \frac{R}{v_1} = \omega * \frac{R}{v_1}$$

Die Schnelllaufzahl gibt das Verhältnis von Blattspitzengeschwindigkeit zur ungestörten Windgeschwindigkeit an. Bei Langsamläufers liegt die Schnelllaufzahl bei  $\lambda=1$ . Bei den Netzgekoppelten Windkraftanlagen werden mit Schnelllaufzahlen von  $\lambda=5 \dots 8$  ausgelegt.<sup>18</sup>

#### 3.3.2 Berechnungsgrundlagen

Für die Berechnung der Rotorblätter ist die Lage von vier, über die Flügelänge laufenden Spannungslinien, von großer Bedeutung.

- Die radiale Linie ist die Drehachse der Blattwinkelverstellung, bzw. die Senkrechte durch die Flanschmitte auf die Maschinenachse.
- Die elastische Linie ist die Lage des Schubmittelpunktes der tragenden Konstruktion. Von hier aus zählt man die elastischen Verformungen der Schlag- und Schwenkbewegungen und die Torsionsverdrillung des Flügelschnittes.
- Die Schwerelinie stellt die Angriffspunkte der Trägheits- und Gewichtskräfte dar.
- Die Drucklinie besteht aus den Angriffspunkten der Auftriebs- und Widerstandskräfte, sie befindet sich bei anliegender Strömung etwa bei 30 % der Flügeltiefe.

<sup>17</sup> Hau 2008:89–90

<sup>18</sup> Gasch 2011:53

### 3.3.3 Zusammenfassende Erkenntnisse der „Betz’schen Theorie“

- Die einem Energiewandler durch einen Windstrom erzeugte, maximale Leistung steigt mit der dritten Potenz der Windgeschwindigkeit.
- Die Leistung nimmt linear mit der Querschnittsfläche des durchströmten Wandlers zu, steigt also quadratisch mit seinem Durchmesser.
- Das Verhältnis von entziehbarer mechanischer Leistung zu der im Windstrom enthaltenen Leistung ist auch bei idealer Strömung und verlustloser Umwandlung auf den Zahlenwert  $c_p = 0,593$  begrenzt. Es können also nur ungefähr 60% der Windenergie in Arbeit umgesetzt werden.
- Beim Höchstwert des idealen Leistungsbeiwertes  $c_p = 0,593$  beträgt die Windgeschwindigkeit am Wandler zwei Drittel der ungestörten Windgeschwindigkeit und verringert sich hinter dem Wandler auf ein Drittel.

### 3.3.4 Auslegung

Ein Widerstandsläufer zieht seine gesamte Leistung aus dem Widerstand, der entsteht, wenn eine Fläche  $A$  quer zum Wind gestellt wird.

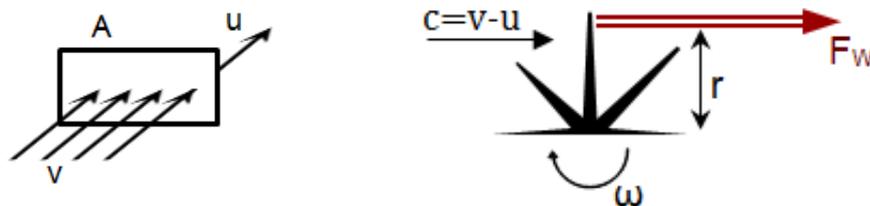


Abbildung 5: Vereinfachte Modelldarstellung (Quelle: eigene Darstellung nach Gasch)

Entscheidend für die Leistung ist die auf die Platte wirkende Anströmgeschwindigkeit  $c$ . Diese resultiert aus der Windgeschwindigkeit  $v$  und der Umfangsgeschwindigkeit  $u = r * \omega$  der Widerstandsfläche  $A$  am Radius  $r$ .

$$P = F_w * u$$

In Relation zum Luftstrom ergibt sich der einfache Leistungsbeiwert  $c_p$  mit:

$$\Rightarrow c_{p_{\max, \text{Widerstandsläufer}}} = \frac{4}{27} c_w \approx 0,2$$

## Auftriebnutzung – Tragflügeltheorie

Die Tragflügeltheorie bildet die Grundlage zur Errechnung einer Windkraftanlage. Da sie die Grundlage zur Auslegung und Beanspruchungsberechnung des Rotors bildet.

Das Prinzip ist das eines Flugzeugtragflügels. Dieses Prinzip wird für die Stromerzeugung bei großen Windkraftanlagen genutzt. Durch die aerodynamische Formgebung können wesentlich höhere Leistungsbeiwerte als beim Widerstandsläufer erzielt werden.

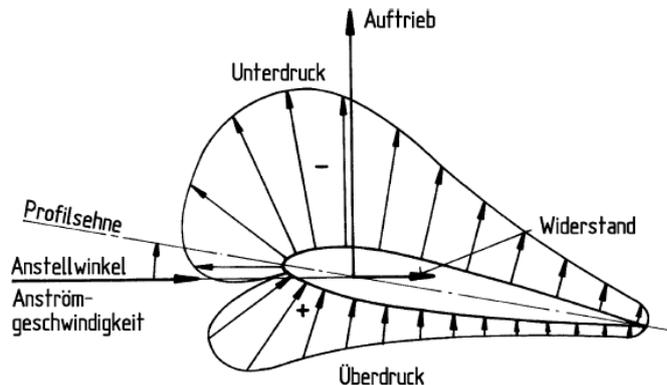


Abbildung 6: Luftkräfte an einem umströmten Tragflügelprofil

## Betz'sche Optimalauslegung

Mit Hilfe des Betz'schen Leitwertes kann die Profiltiefe bei gegebenem Anstellwinkel und gegebener Schnelllaufzahl im Auslegungspunkt berechnet werden.

$$\varepsilon(\alpha_A) \frac{F_A}{F_W} = \frac{c_A(\alpha_A)}{c_W(\alpha_A)}$$

Das Verhältnis von Auftrieb zu Widerstandskraft wird als Gleitzahl  $\varepsilon$  bezeichnet. Diese kann einen Wert von bis zu  $\varepsilon = 200$  annehmen. Zum Vergleich hat ein Brett eine Gleitzahl von  $\varepsilon_{\max}=10$ . Die Gleitzahl beschreibt die Güte eines Profils.<sup>19</sup>

Betrachtet wird ein symmetrisches Profil, das von vorne mit der Geschwindigkeit  $v$  angeströmt wird. Ist der Anstellwinkel gleich Null ( $\alpha_A = 0^\circ$ ), so entsteht nur die Widerstandskraft  $F_W$ . Stellt man den Flügel um einige Grad an, so entsteht die Auftriebskraft

$$\text{Schnelllaufzahl } \lambda = \frac{u}{v_w} = \frac{\text{Umfangsgeschwindigkeit der Blattspitzen}}{\text{Windgeschwindigkeit}}$$

<sup>19</sup> Gasch 2011:185–190

Blattelement - Ein Blattelement bezeichnet einen Querschnittsanteil des Rotorblattes, welches sich am Radius  $r$  befindet. Wie in Kapitel 2.4.2 erläutert, bestehen folgende Widerstands- und Auftriebskräfte.

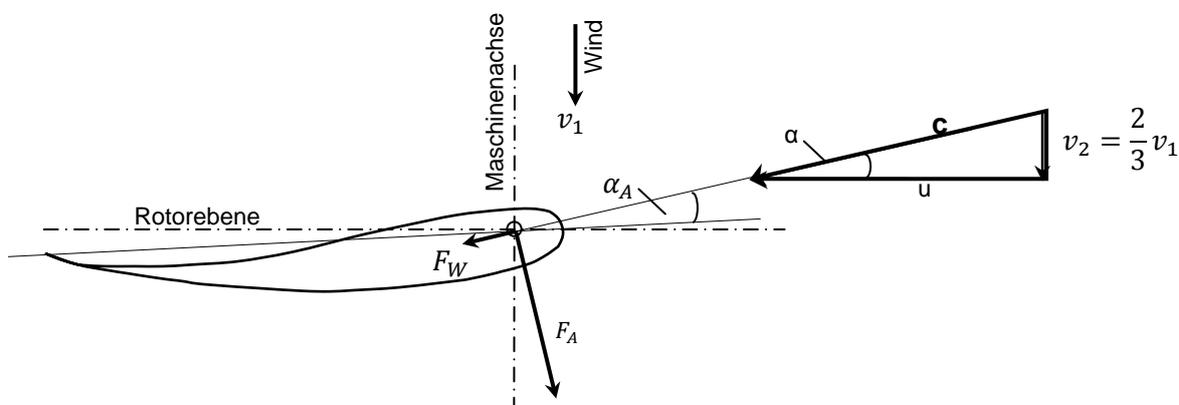


Abbildung 7: Winddreiecke<sup>20</sup>

An den Winddreiecken kann die Anblasung  $c$  aus der geometrischen Überlagerung von Windgeschwindigkeit  $v_2$  und Umfangsgeschwindigkeit  $u$ , die durch Eigendrehung des Flügels entsteht, abgelesen werden

### Verluste

Der ideale Betz'sche Leistungsbeiwert:  $c_{P_{Betz}} = 0,593$  wurde für ideale Bedingungen errechnet, die so in der Realität so gut wie niemals vorkommen. Ein Windrotor ist mit einigen Verlustquellen behaftet. Dazu gehören unter anderem:

- die Profilverluste
- Tip-Verluste – Verluste durch Umströmung der Blattspitze von Druck- zu Saugseite
- Drallverluste

Bei der Auslegung der Turbine können diese Werte vernachlässigt werden. Möchte man tatsächlichen Belastungswerte errechnen müssen diese Werte in die Rechnung miteinfließen. Eine detaillierte Erklärung hierzu findet sich in (Gasch 2011:180–263)

Mit Hilfe der Blattelementtheorie lässt sich die Luftkraftverteilung über die Blattlänge, die Rotorleistung und die stationäre Luftbelastung errechnen. Für andere Schnelllaufzahlen als die Auslegungszahl sind dies sehr komplexe Rechnungen. Dieses Verfahren vereinfacht und verallgemeinert die Berechnung.

<sup>20</sup> Eigene Darstellung in Anlehnung an Gasch 2011:191

### 3.3.5 Fertigungs- und Reparaturtechniken

Die Fertigungstechniken nehmen einen hohen Stellenwert ein und sind einer von Hersteller Seite aus erhöhten Qualitätskontrollen unterzogen. In den vergangenen Jahren haben sich die drei Fertigungsverfahren Handauflegeverfahren, Prepregs und das Vakuum-Infusionsverfahren durchgesetzt.

**Handauflegeverfahren:** Dieses einfachste und älteste Verfahren eignet sich nur für kleinere Bauteile, die in geringen Stückzahlen gefertigt werden. Hierbei werden die Fasermatten (auch Gewebe und Gelege) manuell im Harz getränkt und schichtweise in die Form gelegt. Die Qualität hängt sehr vom Geschick und der Zuverlässigkeit der ausführenden Person ab.

**Prepregs:** Mit der Verwendung von Prepregs, das heißt vorgetränkter Fasermatten wird eine gewisse Mechanisierung und ein Schritt zu einer reproduzierbaren Qualität getan. Die Prepregs werden in Verbindung mit Epoxidharz als Halbzeuge geliefert. Sie werden in die Form gelegt und härten bei relativ hohen Temperaturen (100-150°C) aus. Dazu muss die Form beheizt werden. Auch dieses Verfahren ist arbeitsintensiv und teuer. Dafür bietet es gute Voraussetzungen eine gute Qualität zu erreichen. Die Verwendung von Prepregs bietet besonders dann Vorteile, wenn die Bauteile aus Kohlefaser hergestellt werden. Prepregs kommen daher häufig bei Rotorblättern in Gemischtbauweise zum Einsatz.

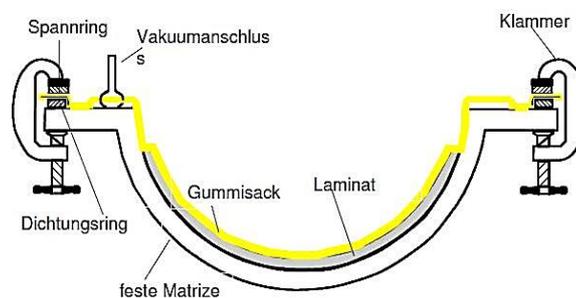


Abbildung 8: Vakuum Infusionsverfahren <sup>21</sup>

**Vakuum-Infusionsverfahren:** Eine Alternative zur Verwendung von Prepregs ist das heute vielfach angewendete Vakuum-Infusionsverfahren. Die Rotorblattform wird nach dem Einlegen der Fasermatten mit Kunststofffolien abgedichtet und dann evakuiert. Das Harz wird mit Hilfe einer „Pumpe“ in die Form eingebracht und durch das Vakuum eingesaugt. Auf diese Weise werden festigkeitsmindernde Lufteinschlüsse weitgehend verhindert. Außerdem werden gesundheitsschädigende Ausdünstungen des Harzes verringert. Das Vakuum-Infusionsverfahren hat sich bei den meisten Rotorblattherstellern heute durchgesetzt, vermutlich vor allen Dingen aus Kostengründen.

<sup>21</sup> Flemming 1995-2003

Die Rotorblätter sind im Gebrauch enormen Belastungen ausgesetzt. Auf sie wirken Feuchtigkeit, Temperaturwechsel, Hagel, Blitzeinschläge, Umwelteinflüsse und hohe Wechselbelastungen. All diese Einwirkungen und noch häufig vorkommende Fertigungsfehler führen zu notwendigen Reparaturarbeiten, die meist durch Spezialteams bzw. Servicetechniker ausgeführt werden.

Im Allgemeinen muss vor jeder Reparatur der Schaden begutachtet und bewertet werden. Ist beispielsweise nur die äußere Schicht (Gelcoatschicht) beschädigt, so kann der Schaden gespachtelt werden. Wenn jedoch der Schaden in die Struktur der Glasfasern hineinreicht, müssen spezielle Reparaturverfahren angewandt werden. Der derzeitige Stand der Technik weist zwei Reparaturverfahren auf: das „GL-Verfahren“ (vgl. Abb.9) vom Germanischen Lloyd und das „Amerikanische Verfahren“ (vgl. Abb.10). In beiden Verfahren wird rund um die Schadensstellen das Material angeschliffen (schäften). Der Durchmesser steht dabei im Verhältnis zur Schadentiefe. Ein typisches Schäfteverhältnis ist 1:50 für Mischlaminat, d. h. bei einer Schadens-tiefe von 1 mm werden rund um die Schadstelle 50 mm gleichmäßig angeschliffen. Nach dem Anschliff wird das Laminat entsprechend des gewählten Verfahrens wieder eingefügt

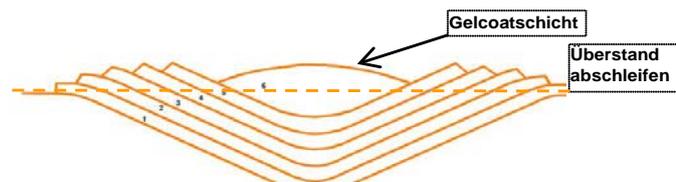


Abbildung 9: Schichtaufbau eines Reparaturlaminates (GL-Verfahren)

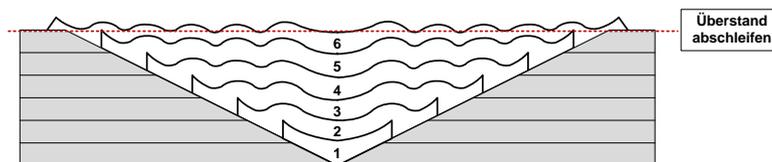


Abbildung 10: Schichtaufbau eines Reparaturlaminates (Amerikanisches Verfahren)

Das „GL-Verfahren“ hat den Vorteil, dass durch die Verwendung der großen ersten Lage (vgl. Abb.9) eine große Klebefläche entsteht, wobei das „Amerikanische Verfahren“ (vgl. Abb.10) keine Unterbrechung der Kraftlinien aufweist. Beide Verfahren haben das Ziel, die Schadensstelle so auszubessern, dass die Kräfte ohne Spannungsspitzen übertragen werden können und kein größerer Schaden mehr von diesen Stellen ausgehen kann.

Ausblick: Aufgrund der stetig wachsenden Größe der Anlagen und somit auch immer größer werdenden Rotorblättern steigen auch die Anforderungen an die Bauteile und Materialien, daher nutzen viele Hersteller heute schon CFK oder Stahlverstrebungen als Verstärkung.

### 3.4 Turm

Der Arbeitsbereich „Turm“ umfasst das Fundament, das Fundamenteinbauteil sowie den Turm selbst.<sup>22</sup> Darüber hinaus sind in der Regel der Netzanschluss und die verschiedenen Steuerungssysteme im Turm untergebracht.

Das Fundament bildet die Verankerung der Windenergieanlage im Erdreich. Um die Standfestigkeit der Windenergie-Anlage zu gewährleisten, wird je nach Festigkeit des Untergrundes eine Pfahl- oder Flachgründung vorgenommen.

Der Turm einer Windkraftanlage ist ein Bauteil, das hohen Belastungen ausgesetzt ist. Die Gondel wiegt oft mehrere hundert Tonnen. Er muss unter allen Betriebsbedingungen den Schwingungen der Gondel und den auftretenden Windkräften sicher widerstehen. Hinzu kommen Belastungen durch die Rotorblätter und die Kraft des Windes. Die spezifische Energielieferung des Rotors nimmt mit zunehmender Turmhöhe zu, da in größeren Höhen stärkere und gleichmäßigere Winde wehen. An der Küste kommen aufgrund der schnell mit der Höhe zunehmenden Windgeschwindigkeit in der Regel niedrigere Türme zur Anwendung. Im Binnenland werden wegen der größeren Bodengrenzschicht (größere Turbulenzintensität) höhere Türme verwendet. Die Nabenhöhe der derzeit größten Windkraftanlage liegt auf einer Höhe von 135 m.<sup>23</sup>

Der Turm einer Windenergieanlage (WEA) spielt mit 15-20 % Kostenanteil eine große Rolle, maßgeblich sind die Anteile an Transport- und Montagekosten. Jedoch steigen mit zunehmender Turmhöhe auch die Erträge - die Turm- bzw. Nabenhöhe ist entscheidend für den Energieertrag.<sup>24</sup>

#### 3.4.1 Turmkonzepte

Neben der Höhe ist die Steifigkeit des Turms der zweite wichtige Entwurfparameter. Vor allem die Festlegung der ersten Biegeeigenfrequenz ist für die Konstruktion, den erforderlichen Materialaufwand und damit letztlich für die Baukosten entscheidend. Ziel der Turmauslegung ist es, die gewünschte Turmhöhe mit der notwendigen Steifigkeit zu möglichst geringen Baukosten zu realisieren. Von behördlicher Seite aus muss die Standfestigkeit des Turmes als erstes nachgewiesen werden, um eine Baugenehmigung für die Windkraftanlage zu erhalten.

Theoretisch ergibt sich die optimale Turmhöhe im Schnittpunkt der Wachstumsfunktionen Baukosten und Energielieferung.<sup>25</sup>

Der Turm einer Windkraftanlage kann als Gitterturm aus *Stahl*, als Stahlrohrturm, oder als Betonturm errichtet werden, ebenso gibt es hybride Bauformen mit einem Betonsockel mit aufgesetztem Stahlrohrturm.

---

<sup>22</sup> Axhausen & Schulze 2011:23–24

<sup>23</sup> ENERCON 2011

<sup>24</sup> Hau 2008:473–479

<sup>25</sup> Gasch 2011:101–112

Prinzipiell findet man heutzutage folgende Turmkonzepte eingesetzt.

- Gittertürme
- Betontürme
- abgestagte Stahlrohtürme (nur Onshore)
- frei stehende Stahlrohtürme mit konstantem Durchmesser.
- frei stehende Stahlrohtürme mit abgestuften Durchmessern.

Am weitesten sind in Deutschland Beton- und Stahlrohtürme verbreitet.<sup>26</sup>



Abbildung 11: Gitterturm  
Bildquelle: Rothaar Wind

**Gittertürme** werden in Deutschland im wesentlichen bei Kleinwindkraftanlagen eingesetzt. In Indien sind sie sehr weit verbreitet.<sup>27</sup> Ihr Vorteil liegt darin, dass sie bei dem im Vergleich geringsten Materialeinsatz über eine sehr hohe Eigendämpfung verfügen. Nachteilig sind die Kosten, da die automatisierte Fertigung schwierig ist. Von der Bevölkerung werden sie in Deutschland zusätzlich abgelehnt, da sie als hässlich empfunden werden.<sup>28</sup> (vgl. hierzu *Abbildung 11*)<sup>29</sup>

**Betontürme** werden aus Stahlbeton gebaut. Häufig werden sie in Kletterschalung vor Ort gebaut, das erleichtert Transport und Montage (auch „in-Ort-Beton“ oder „vor-Ort-Beton“). Sie weisen wesentlich günstigere Schwingungseigenschaften als Stahlbauten auf und reduzieren so Schallemissionen.<sup>30</sup> Die einzelnen Sektionen können aber auch in Fertigteilbauweise an den Aufstellungsort gebracht werden und werden dort nur noch aufeinander gesetzt und mit Stahlseilen in der Wandung verspannt.

**Stahlrohtürme** sind die derzeit am häufigsten verwendete Bauweise. Wenn die Transportwege vom Herstellerwerk zum Aufstellort ohne große Hindernisse sind oder auch das Schweißen des Turms vor Ort möglich ist, werden gelegentlich auch **einteilige** Türme eingesetzt.<sup>31</sup> Man spart sich die relativ aufwendigen und gelegentlich auch fehlerbehafteten Schraubverbindungen der Sektionen. Zum Beispiel fertigt die Firma SAM aus Magdeburg für bestimmte Aufstellorte einteilige Stahlrohtürme für Enercon bis zu einer Höhe von 97 m. Nur das Fußstück dieser Türme mit einem Durchmesser von 5,5 m ist für den Straßentransport zu groß und kann erst direkt am Aufstellort zusammengeschweißt werden.

Höhere Türme über 80 Meter verfügen im Turminneren in der Regel über einen Fahrkorb oder einen Aufzug zur Aufstiegserleichterung.

<sup>26</sup> i.A. Bundesumweltministerium (BMU) 2011

<sup>27</sup> wwea 2009:Technik

<sup>28</sup> Hau 2008:495–497

<sup>29</sup> Rothaarwind

<sup>30</sup> Bundesverband WindEnergie e.V. 2012

<sup>31</sup> Hau 2008:473–504

### 3.5 Fertigung Turm

Die Standardbauweise von Stahlrohtürmen besteht aus mehreren, im Werk vorgefertigten Sektionen mit einer Länge von bis zu 30 m, die aus warmgewalzten Stahlplatten hergestellt werden. Die Stahlplatten bestehen meist aus S235 (St37) und/oder S355 (St52)-Stahl. Diese werden zunächst in Segmente geschnitten, später gerollt und schließlich zu Turmsektion zusammengeschnitten. Aus Kostengründen und um Fehlerquellen zu minimieren werden hierfür automatische Schweißverfahren eingesetzt. Die Bleche können eine Dicke von 8-70 mm haben. Für die meist geschmiedeten Anschlußflansche und die Fundamentsektion wird Material mit höherer Festigkeit verwendet.

An den Enden jeder Turmsektion werden die innenliegenden Flansche angeschweißt. Die Formgebung und das Anschweißen der Flansche erfordert einige Erfahrung, da es beim Schweißen sehr leicht zu einem Verziehen der Bauteile kommen kann. Die Folge sind dann nicht "plan" aufeinanderliegende Flansche bei der Montage. Die sich daraus ergebenden "Klaffungen" zwischen den Turmsektionen sind ein nicht selten auftretender Qualitätsmangel bei Stahlrohtürmen. Am Aufstellort wird bei Standardbauweisen der gesamte Turm in liegender Position aus vorgefertigten Sektionen zusammengeschnitten und anschließend mit Hilfe eines Krans in die vertikale Position gebracht.

Laut Herstellerangaben finden Schweißungen bei der Herstellung von Türmen vermehrt an Verwendung. Durch den zunehmenden Einsatz der Türme und der stetig wachsenden Größe gewinnen Normen für deren sichere Durchführung und Beurteilung von Schweißverbindungen an Bedeutung.<sup>32</sup>

Die Schweißtechnik erfordert angesichts der Belastungssituation der Türme eine besondere Aufmerksamkeit. Die Qualitätsprüfung erfolgt in der Regel mit den üblichen Verfahren wie Ultraschall, Röntgen und Oberflächenrißprüfung. Eine einheitliche Norm gibt es für Stahlrohtürme noch nicht. Deshalb wird der Normenausschuss Schweißen und verwandte Verfahren (NAS) des DIN, Deutsche Institut für Normung Anfang 2012 ein Projekt starten um die Sicherheits- und Qualitätsanforderungen an Schweißverbindungen in Windkraftanlagen definieren.<sup>33</sup>

---

<sup>32</sup> Hau 2008

<sup>33</sup> DIN

### 3.5.1 Beispiel Fertigungsablauf

Produktionsablauf nach einem Beispiel der Firma SIAG<sup>34</sup>

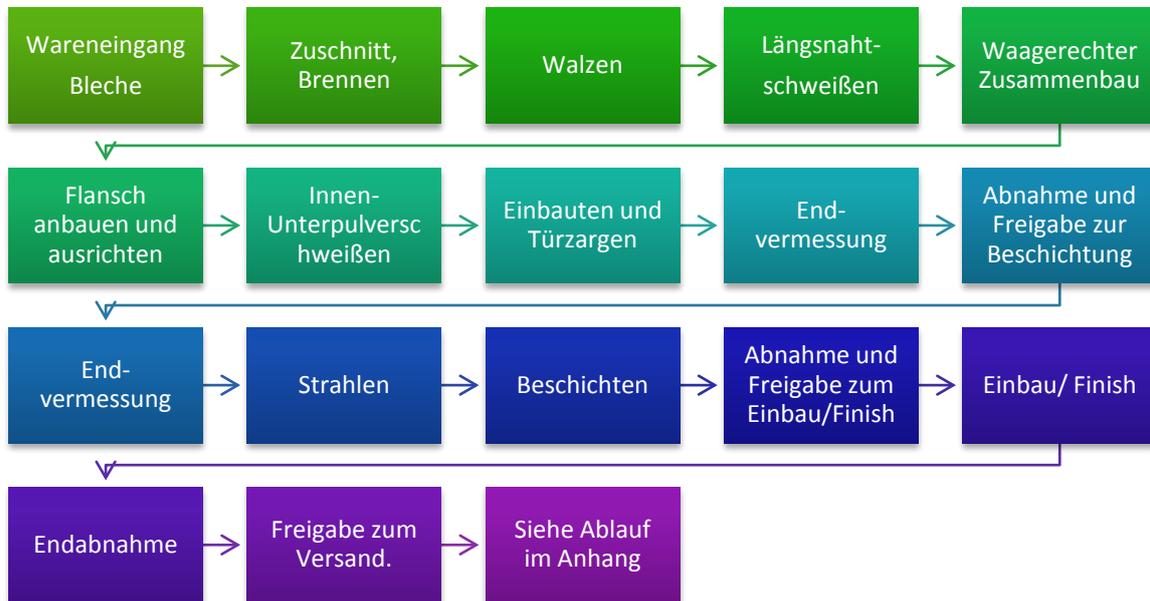


Abbildung 12: Außen und Innen Unterpulverschweißen<sup>35</sup>

- Hochgenaue, effektiv hergestellte Schweißnahtvorbereitung an den Blechen.
- Optimierung der Schweißverfahren, um effektiv fehlerfreie Nähte herzustellen.

<sup>34</sup> SIAG 2010  
<sup>35</sup> Krohn 2010

### 3.6 Fundament / Gründung

Neben der Netzanbindung ist das Fundament der Teil der Windkraftanlage, der sich am meisten in technischer und wirtschaftlicher Hinsicht bei Onshore- und Offshore-Windenergieanlagen unterscheidet.<sup>36</sup>

Das Fundament sichert die Anlage vor dem Einsinken und vor dem Umfallen. Wenn der Turm nicht abgespannt ist, müssen die Querkräfte der Anlage ebenfalls aufgenommen werden. Die Grundform kann je nach Bauart des Turms beispielsweise achteckig-, kreis- oder kreuzförmig sein. Die Anbindung des Turmes an das Fundament geschieht durch das so genannte Fundamenteinbauteil (FET), wofür es unterschiedliche Konzepte gibt: Einfachflansch oder Doppelflansch sowie das Köcher- oder Korbsystem.<sup>37</sup>

#### 3.6.1 Gründungen

An Land richteten sich die Fundamentausführungen nach der Tragfähigkeit des Bodens. Zur Beurteilung dieser Tragfähigkeit sind bodenmechanische Untersuchungen erforderlich. Der Germanische Lloyd verlangt z.B. für jeden WEA-Standort ein Bodengutachten. Die Fundamente müssen so groß sein, dass sie das Gewicht der Anlage und die Momente aus den Belastungen der Windkraftanlage übertragen können. Durch die hohen Biegemomente entstehen an den Fundamenträndern hohe Kantenpressungen, die vom Boden aufgenommen werden müssen. Prinzipiell gibt es zwei Arten um den Turm am Boden zu verankern. Bei ausreichender Tragfähigkeit des Boden, kommt die Flachgründung zum Einsatz. Hierbei bildet ein großer Stahlbetonteller unter einer Erdschicht den Fuß der Anlage. Der Teller ist um ein vielfaches größer im Durchmesser als der Turm. Um den Durchmesser zu ermitteln wird als Faustregel das drei bis vierfache Maß des Turmdurchmessers (Stahlrohrturm) für den Durchmesser der Fundamentenplatte angenommen. Für die Höhe der Platte werden ca. 30% bis 50% des Turmdurchmessers angenommen.

Bei weichem Untergrund werden muss zusätzlich eine Pfahlgründungen eingesetzt werden. Bei einer Pfahlgründung wird die Fundamentplatte (Tellerfundament) mit Pfählen im Erdboden verankert. Diese Form wird Offshore zur Zeit am häufigsten eingesetzt, vgl. Kapitel 3.8.1)

Bei der Gründung an Land besteht zusätzlich die Möglichkeit die Türme abzuspannen. Dadurch kann eine erhebliche Menge an Material, und somit auch Kosten, eingespart werden. Sie eignen sich für Anlagen bis zu 250 kW. Für die Aufstellung abgespannter Masten wird eine relativ große Bodenfläche benötigt. Dies ist vor allem in Windparks nachteilig.<sup>38</sup>

---

<sup>36</sup> DENA

<sup>37</sup> i.A. Bundesumweltministerium (BMU) 2011

<sup>38</sup> Bundesverband WindEnergie e.V. 2012

### **3.7 Triebstrang und Hilfsaggregate**

Da die Herstellung von Triebstrang und Hilfsaggregaten nicht in den strategischen Bereich der SLV spezifischen Themen fällt, werden die Komponenten nur kurz zur ihrer Funktionsweise erklärt und nicht weiter detailliert behandelt. Eine detaillierte Beschreibung findet man in (Gasch 2011) und (Hau 2008).

#### **3.7.1 Triebstrang**

Im Triebstrang befinden sich alle drehenden Teile von der Rotornabe bis zum elektrischen Generator. Im Einzelnen sind dies die Nabe, Rotorlager, Bremse, Generator und je nach Auslegung das Getriebe. Bei der Anordnung der Komponenten gibt es eine Reihe von unterschiedlichen Möglichkeiten. Prinzipiell wird zwischen integrierten und aufgelösten Bauformen unterschieden.<sup>39</sup> Die am häufigsten verwendeten Bauweisen sind der Generatorantrieb mit Übersetzungsgetriebe und der getriebelose Triebstrang.

#### **Generatorantrieb mit Übersetzungsgetriebe**

Am häufigsten findet man heutzutage den Generatorantrieb mit Übersetzungsgetriebe. Alle elektrischen Komponenten werden in direkter Linie auf dem Maschinenträger befestigt und auf dem Turm im Maschinenhaus angebracht. Durch die kompakte Bauweise werden die Übertragungswege der Rotor- und der Generatorwelle möglichst kurz gehalten, und damit die dynamischen Probleme minimiert. Eine Welle, welche man zum Beispiel auch in den Turm legen könnte, würde eine viel zu hohe Schwingungsbelastung verursachen.

#### **Getriebelose Triebstranganordnung**

Seit 1995 stellt Windkraftanlagenhersteller Enercon getriebelose Triebstranganordnungen her. Die Anlage verfügt über einen drehzahlvariablen, direkt vom Rotor angetriebenen Synchrongenerator mit nachgeschaltetem Frequenzumrichter. Dadurch muss der Generator nicht auf 50 Hz ausgelegt werden und kann damit kleiner ausgelegt werden.

Das Getriebe ist die mechanisch komplexeste Komponente einer Windkraftanlage. Es muss sehr genau ausgelegt werden, um die Anforderungen einer Windkraftanlage nach Lebensdauer und Zuverlässigkeit zu erfüllen.<sup>40</sup> Daher wird der Wegfall des Getriebes von den Vertretern dieser Bauart als Hauptvorteil gegenüber dem Generator mit Übersetzungsgetriebe genannt.<sup>41</sup>

Im allgemeinen sind die Komponenten des Triebstranges auf einem Maschinenträger befestigt und in einem geschlossenen Maschinenhaus untergebracht. Im Maschinenhaus befinden sich auch Hilfsaggregate wie Windrichtungsnachführung und Turmkopflagerung.

---

<sup>39</sup> Gasch 2011:74

<sup>40</sup> Hau 2008

<sup>41</sup> ENERCON 2011

### 3.8 Technische Besonderheiten der Offshore-Industrie

Die Errichtung, der Betrieb und die Wartung von Windenergieanlagen auf See sowie deren Anbindung an das Stromnetz sind für die Entwickler von Offshore-Windparks (OWP) eine logistische Herausforderung: Transport, Installation und Wartung der sehr großen und schweren Komponenten von Offshore-Windenergieanlagen (OWEA) erfordern spezielle Transportfahrzeuge, Schiffe und Plattformen. Auch für die Verlegung von Kabeln zur Vernetzung der einzelnen OWEAs mit der Umspannstation auf See sowie die Anbindung an das Stromnetz an Land werden Spezialschiffe benötigt. Zudem können die Arbeiten an OWPs aufgrund von Wetterschwankungen nur in engen Zeitfenstern zu bestimmten Jahreszeiten durchgeführt werden.

#### 3.8.1 Offshore-Gründungen

Die Art der Gründungen von Offshore-Windkraftanlagen ist sehr stark von der Wassertiefe, der Beschaffenheit des Meeresbodens und den Umweltbedingungen wie Strömungen, Tidenhub, Wellen, Eisgang usw. abhängig. Als Werkstoff können sie aus Beton sowie aus Stahlpilelern oder Mehrbeinstrukturen bestehen. Erfahrungen mit Ölplattformen haben gezeigt, dass die Korrosion im offenen Meer kein Hauptproblem ist und mit elektrischem Korrosionsschutz ein solches Fundament für eine Lebensdauer von 50 Jahren ausgelegt werden kann. (vgl. *Abbildung 9*)<sup>42</sup>

**Schwerkraftfundamente** bestehen aus einem oder mehreren großen und schweren Hohlkörper (meist aus Beton) die an Land vorgefertigt werden und dann schwimmend zum Aufstellort geschleppt werden. Dort werden sie dann geflutet oder mit Sand gefüllt, was sie auf den vorbereiteten Meeresboden absenkt. Sie sind so schwer und stabil, dass sie ohne weitere Verankerungen am Seeboden auskommen. Ein deutlicher Nachteil der Gründung ist die Kolkbildung.<sup>43</sup>

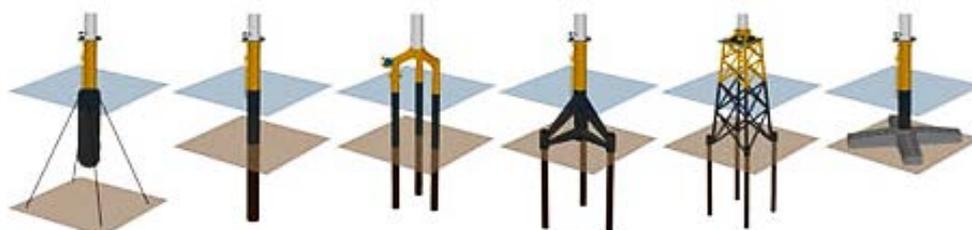


Abbildung 13: Gründungsstrukturen  
a-schwimmend; b-Monopile; c-Tripile; d-Tripod; e-Jacket; f Schwerkraftfundament  
Bildquelle: [www.hdt-essen.de](http://www.hdt-essen.de)

<sup>42</sup> QuinScape GmbH

<sup>43</sup> DENA

Am häufigsten werden in Deutschland **Monopiles** verbaut. Sie sind geeignet für Wassertiefen von 20 bis zu 25 Metern und sind bei 73 % der sich im Bau befindlichen Deutschen Offshore Windparks im Einsatz.<sup>44</sup> Monopiles bestehen aus einem zylindrischen hohlen Pfahl, der je nach Bodentragfähigkeit ca. 20-30 m tief in den Meeresboden gerammt wird und einem darauf gesetzten Stahlrohrturm. Zur Errichtung ist schweres Rammgerät notwendig. Der Vorteil liegt in einem problemlosen Schutz gegen Auskolkung, (vgl. 3.8.4) sowie einer günstigen Anlegemöglichkeit für Wartungs- und Versorgungsschiffe und einen guten Kollisionsschutz.<sup>45</sup>

Ebenfalls im Einsatz in Deutschland sind **Jacket** Fundamente. Gegenüber Monopiles sparen Jacket-Konstruktionen 40-50% an Stahl ein. Diese Gründungsstruktur ist eine vierbeinige stählerne Fachwerkkonstruktion. Die fachwerkähnliche Struktur erleichtert den Transport, da man sie in Sektionen transportieren und vor Ort verbinden kann. Als Alternative zu den Jacket-Konstruktionen gibt es Tripod-Fundamente und Tripile-Fundamente, diese unterscheiden sich nur durch die Ausprägung des Fachwerks.



Abbildung 14: Tripod und Jacket Transport  
Bildquelle: © Copyright by alpha ventus

**Tripod** (Dreibein): Die Windkraftanlage wird bei diesem Typus auf einen dreibeinigen Fuß gestellt. Der Pfeiler unterhalb des Turms ist mit einem Stahlrahmen verbunden, der die Turmkräfte auf drei Stahlpfeiler verteilt, die wiederum ca. 10-20 Meter tief im Seeboden verankert werden.

**Flachgründung mit Schürzen (Bucket)-Fundament:** Dieses besteht aus einem nach unten geöffneten Stahlzylinder, der auch zur Namensgebung beigetragen hat (bucket = Eimer). Der Zylinder wird zunächst auf den Seeboden gesetzt und anschließend leergepumpt. Der so im Inneren des Fundaments erzeugte Unterdruck drückt das Fundament in den Boden. Das Bodenmaterial im Innern des Zylinders stützt das Fundament und verankert es im Meeresgrund.

<sup>44</sup> Axhausen & Schulze 2011:Seite 11

<sup>45</sup> DENA

### 3.8.2 Rückbau

Für Gründungsstrukturen für Offshore-Windenergieanlagen gilt die Rückbaupflicht. Beim Entwurf und bei der Bemessung von Gründungsstrukturen muss dies schon entsprechend berücksichtigt werden, um den späteren Aufwand möglichst gering zu halten. Während des Rückbaus sind alle wesentlichen Teile zu entfernen.<sup>46</sup>

### 3.8.3 Korrosionsschutz

Bei Offshore- Windkraftanlagen ist die erhöhte Korrosionsbelastung von Fundament, Turm und elektromechanischen Komponenten zu berücksichtigen. Für die in Küstennähe von salzhaltigen Meeren stehenden Onshore-Anlagen gilt das ebenfalls, da bei Seewind die Luft auch salzhaltig sein kann. Die Korrosionsursachen sind:

- Aggressivität des Meerwassers und der Salzlufte (Chloride)
- hohe Luftfeuchtigkeit
- Taupunktunterschreitungen (Schwitzwasserbildung mit Salzabspülungen)
- Luft- / Wasserwechsel (Tidenhub und Seegang, teilweise Spritzwasser)

Jedes der Bauteile einer Anlage muss extra vor Korrosion geschützt werden. Besonders stark beansprucht sind die Wechselzonen Wasser / Luft (Spülsaum) und der Sprühbereich (oberhalb der Wasseroberfläche bis über die Gondel). Dem entgegenet man durch Konservierung der Anlage durch durch entsprechenden Anstrich (Grundierung und Beschichtung); Kontrollen sind regelmäßig erforderlich durch Taucher (Beschädigungen zum Beispiel durch Treibgut, Eisgang oder Anlegestöße durch Wartungsschiffe). Zusätzlicher Schutz durch Opferanoden (sogen. "Zinkmäuse").<sup>47</sup>

---

<sup>46</sup> BSH 2007

<sup>47</sup> Luttmer & Ristow 2009

### 3.8.4 Spezialtechnik für Offshore Windparks

Außerhalb der 12-sm-Zone in der deutschen Nord- und Ostsee wurden bereits 25 OWPs genehmigt und mehr als 50 weitere OWPs wurden beantragt. Auch in anderen europäischen Ländern ist der Bau von Offshore-Windparks fest geplant bzw. wurde bereits begonnen. Für jedes dieser Projekte wird spezielle Offshore-Technik benötigt. Dieser enorme Bedarf stellt eine große Chance für die deutsche Wertindustrie dar. Die Auftragsbücher der Deutschen Werften sind nach Angabe des Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie für mindestens drei Jahre mit Aufträgen für Spezialschiffe gefüllt.<sup>48</sup>

#### Schiffe und Plattformen

Laut der European Energy Agency EWEA<sup>49</sup> werden besonders Errichter-Schiffe und Plattformen in Zukunft die Wirtschaft der Schiffsindustrie beschäftigen, siehe Abb. 10.<sup>50</sup> Jedoch braucht jede Arbeit Offshore ein spezielles Gerät. Also werden Hochspezialisierte Schiffe entwickelt. Die Häfen in Mecklenburg Vorpommern,<sup>51</sup> Schleswig-Holstein<sup>52</sup> und Bremen<sup>53</sup> haben volle Auftragsbücher vermeldet.

Neben den Errichter-Schiffen braucht man im wesentlichen drei Arten von Spezialschiffen. Kabelverleger, die Kabel für die Vernetzung der OWEAs mit der Umspannstation und die Netzanbindung von OWPs verlegen. Wartungsschiffe dienen dem Transport von Personal und Material zwischen Wohnplattform und OWEAs, sie sind dafür ausgelegt, auch bei Wellengang zügig die OWEAs erreichen und an diesen anlegen zu können. Und Schlepper, kleine, leistungsstarke Schiffe, die Umspannplattformen und Pontons schleppen und präzise positionieren können.

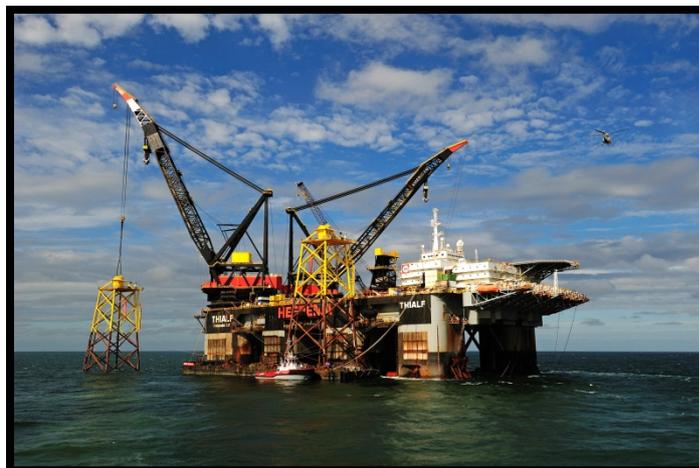


Abbildung 15: Errichterplattformen Eemshaven Thialf  
Bildquelle: : © Copyright by alpha ventus Bildarchiv

<sup>48</sup> Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi) 2009

<sup>49</sup> European Wind Energy Association & Arapogianni 2011

<sup>50</sup> Alpha Ventus

<sup>51</sup> Garrett 2011

<sup>52</sup> Pistol 2011

<sup>53</sup> Kreiszeitung 2012

Offshore-Windpark-Versorger dienen dem Transport von Personal und Material zwischen den OWPs und dem Festland. Hubschrauber kommen nur dann zum Einsatz, wenn Wartungsarbeiten schnell oder aufgrund des Wellengangs nicht per Schiff abzuarbeiten sind.

Plattformen werden als Hubplattformen zum Rammen der Fundamente und Errichten der OWEAs genutzt. Bei größeren Windparks werden zusätzlich Umspann- und Wohnplattform gebraucht. Auf dieser Plattform wird der Strom des OWPs gesammelt und gebündelt ans Festland übertragen. Sie dient als Lager für Ersatzteile und außerdem als Unterkunft für das Wartungspersonal.



Abbildung 16: Kabelverlegerschiff und Errichterplattform Testfeld  
Bildquelle: Vestas, 5M Beatrice

### Kolkschutz bei Offshore-Bauwerken

Wird ein Bauwerk, das auf dem Meeresboden steht, angeströmt, entstehen an den Grenzflächen des Bauwerkes höhere Strömungsgeschwindigkeiten und / oder Wirbel. Dadurch wird je nach Beschaffenheit des Bodens dieser teilweise weggespült (Kolkung). Dies führt bei Pfählen zu einer größeren frei tragenden Länge (Folgen: höhere Biegebeanspruchungen und niedrigere Schwingungseigenfrequenzen). Bei auf dem Boden stehenden Fundamenten können die Kanten unterspült werden (Folgen: kleinere Aufstandsflächen) und damit die Standfestigkeit des Fundamentes gefährdet und / oder die Tragfähigkeit des Bodens überschritten werden. Deswegen ist ein Schutz gegen das Auskolken erforderlich. Ursachen für Strömungen an Offshore-Bauwerken können sein:

- Normale Meeresströmungen
- Tidenströmungen
- Windinduzierte Meeresströmungen
- Strömungen infolge Wellen

### 3.9 Betrieb und Wartung

Zuständig für die Überwachung und Organisation der Wartung und Instandsetzung ist die technische Betriebsführung. Dafür sind meist die Serviceabteilung des Anlagenherstellers oder spezialisierte Dienstleistungs- und Serviceunternehmen zuständig. Vorrangiges Ziel ist es, die Kosten pro erzeugter Energieeinheit über die Lebensdauer der Anlage auf ein Minimum zu reduzieren.



Abbildung 17: Servicetechniker; Windpark Goodnoe Hills  
Bildquelle: © REpower

Aufgrund moderner Datenübertragungssysteme ist eine ständige Anwesenheit auf dem Windparkgelände zwar nicht zwingend erforderlich, regelmäßige und gründliche Inspektionen, ob alles mit der Windpark-Infrastruktur in Ordnung ist, sind jedoch obligatorisch.

Betriebsführungsleiter müssen gewöhnlich eine ganzwöchige, 24-stündige Alarmbereitschaft garantieren können. Je nach Alarmfall kann ein lokaler oder per Fernkontrolle ausgelöster Neustart notwendig werden oder es sind Techniker anzufordern, um Diagnosen vor Ort durchzuführen.

Bild 5 zeigt Servicetechniker auf der Maschinengondel einer REpower-Anlage bei der Arbeit.

Inspektionen der Windkraftanlage sollten in regelmäßigen dreimonatigen Abständen durchgeführt werden.<sup>54</sup> Der BWE empfiehlt eine halbjährliche Wartung. Baugruppen wie Getriebe, Rotor oder Generator sind hingegen selten defekt, die Reparatur ist aber aufwändiger (insbesondere wegen der Verwendung eines Krans für den Austausch). Die Ersatzteile sind teurer und es kommt zu deutlich längeren Stillstandszeiten.<sup>55</sup>

<sup>54</sup> wwea 2009:Betrieb und Wartung

<sup>55</sup> Bundesverband Windenergie e. V. 2012

Um den Produktionsausfall gering zu halten, müssen unvorhergesehene Reparaturen und Wartungen schnell und in Schwachwindzeiten ausgeführt werden. Die Fristen zur Ausführung von Diagnose und Reparatur sind in der Regel in einem Wartungsvertrag festgelegt.

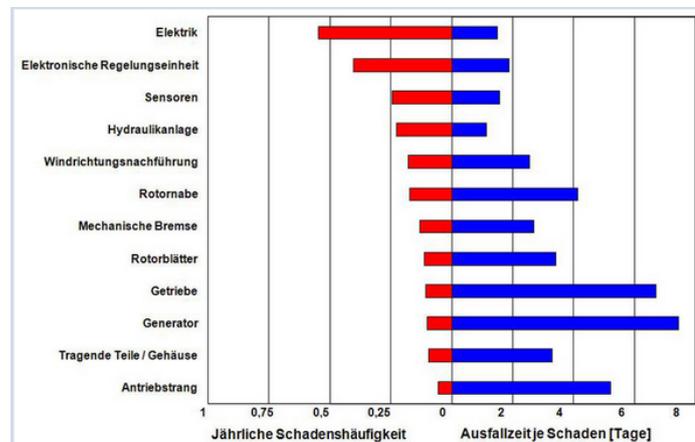


Abbildung 18: Schadenshäufigkeit und Ausfallzeit je Schaden

In Deutschland werden seit 1990 im Rahmen des „Wissenschaftlichen Meß- und Evaluierungsprogramms (WMEP)“ die Betriebsergebnisse einer repräsentativen Anzahl von Windkraftanlagen erfaßt und unter den verschiedensten Gesichtspunkten ausgewertet. Folgende Schwerpunkte wurden in der Untersuchung festgestellt.<sup>56</sup>

- Lager und Verzahnung im Getriebe
- Wälzlager in Generatoren
- Rotorlager
- Kupplung
- Azimutantrieb
- Maschinenhausbefestigung
- Rotorblätter und Welle

Schäden an Rotorblättern sind meistens auf Fertigungsfehler zurückzuführen. Die Rotorblatthersteller setzen häufig ungelernete Hilfskräfte in der Produktion ein. Eine zertifizierte Qualifizierung nach DVS 2220 stellt für die Unternehmen der Branche eine Möglichkeit dar, die Produktqualität verbessern und die Schadensfälle reduzieren.<sup>57</sup> (vgl. Kapitel 5.4)

Die Häufigkeit des Schadens und die Ausfallzeit je Schaden sind in Abbildung 11<sup>58</sup> zu sehen. Dabei kommt ein Ausfall der tragenden Struktur nur sehr selten vor.

<sup>56</sup> Fraunhofer IWES

<sup>57</sup> wwea 2009

<sup>58</sup> Fraunhofer IWES

### 3.9.1 Zustandsüberwachung

Generell kann zwischen wiederkehrenden Schwingungsmessung mittels Offline Analysen und einer permanenten Zustandsüberwachung mit einem Online Condition Monitoring System (CMS) unterschieden werden.

Durch diese Form der Schwingungsanalyse können Fehler von mechanischen Schädigungen an den wesentlichen Komponenten des Triebstranges , in diesem Fall sind das der mechanische Antriebsstrang, die Hauptwelle, das Getriebe sowie Kupplung und Generator. Anhand Veränderungen der Schwingungsamplitude, sowohl der Breitbandfrequenz als auch spezifischer Frequenzen, können Unregelmäßigkeiten frühzeitig entdeckt und entfernt werden.<sup>59</sup>

Eine weitere Form der Zustandsüberwachung ist die Ölanalyse. Für die Instandhaltung auf der Basis von Ölanalysen gilt: Wenn alle Verschleiß- und Ölwerte innerhalb der erwarteten Toleranzen liegen, dann müssen weder Maschinenteile noch das Öl ausgetauscht werden. Finden sich Fremdartige Partikel in der Stichprobe, kann davon auf eine Unregelmäßigkeit geschlossen werden.<sup>60</sup>

Werden bei Schwingungsmessungen, Begutachtungen oder in Ölanalysen Auffälligkeiten am Getriebe festgestellt, ist eine Endoskopie häufig die geeignete Maßnahme für die weitergehende Zustandsanalyse.

Video-Endoskopie wird schlecht einsehbaren Komponenten des Triebstranges (Hauptlager, Getriebe, Generator), im Allgemeinen nach einer konkreten Schadensvermutung eingesetzt. Mittels einer kleinen Sonde können Bilder von den vermuteten Schäden gemacht werden. Insbesondere im Zusammenspiel mit einer installierten Online-Schwingungsanalyse des erlaubt die Video-Endoskopie dem Betreiber im Falle einer Schädigung die frühzeitige Ersatzbeschaffung einer geschädigten Komponente, ohne dass die Anlage sofort stillgelegt werden muss.

Jüngste Technologieentwicklungen, speziell bei Windkraftanlagen, umfassen auch die Verwendung CMS von in Bauteilen wie Rotorblätter und Türme eingebettete Dehnungsmeßstreifen (einschließlich von Glasfasern), mit denen Veränderungen in der Dynamik der Bauteilreaktionen kontrolliert und beobachtet werden können. Mit ihnen können auch Aufzeichnungen über Belastungsgrößen und Frequenzveränderungen bewahrt werden, mit denen man entscheiden kann, ob ein Bauteil seine Konstruktionsparameter überschritten hat.<sup>61</sup>

---

<sup>59</sup> windstrom

<sup>60</sup> Weismann & Krethe

<sup>61</sup> wwea 2009:Betrieb und Wartung

### 3.9.2 Typische Überwachungsarbeiten<sup>62</sup>

- Gutachten zur Inbetriebnahme
  - Gutachten zum Ende der Gewährleistungszeit oder Garantiezeit
  - Wiederkehrende Prüfungen nach Baurecht
  - Zustandsorientierte Prüfungen (Versicherungsanforderung)
  - Rotorblattprüfungen
  - Schadensanalysen und -gutachten
  - Endoskopie / Videoendoskopie, z. B. vom Getriebe
  - Ölanalysen
  - Online Condition Monitoring
  - Blitzschutzprüfungen
  - Vertragsprüfung
  - Werksabnahmen
  - Anlagen- und Komponentenauswahl
  - Fullservice inkl. Rotorblätter aus einer Hand
- 
- Blattwinkelmessung
  - Rotor Unwucht Messung
  - wiederkehrende Inspektionen
  - Fernüberwachung und Berichtswesen
  - Kennzeichnung nach RDS-PP
  - Umspann Werk – Betriebsführung
  - Netzqualitätsmessung<sup>63</sup>

---

<sup>62</sup> Scherbaum 2012

<sup>63</sup> {windstrom #146}

## 4 BEDEUTUNG DER WINDENERGIE

Am 28. September 2010 wurde von der Bundesregierung ein Energiekonzept beschlossen, welches die energiepolitische Ausrichtung Deutschlands bis zum Jahr 2050 beschreibt. Als Reaktion auf das Unglück in Fukushima, Japan, wurde am 6. Juni 2011 ein zusätzliches Energiepaket von der Regierung beschlossen, welches das bestehende Energiekonzept ergänzt und beschleunigen soll. Im Rahmen des Pakets sollen die letzten Atomkraftwerke in Deutschland 2022 vom Netz gehen.<sup>64</sup>

Die wichtigsten Zahlen:	2020	2030	2040	2050
Senkung der Treibhausgasemissionen <sup>65</sup>	40%	55%	70%	80 – 95%
Anteil der erneuerbaren Energien am Bruttoendenergieverbrauch	18%	30%	45%	60%
Anteil der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien	35%	50%	65%	80%

Tabelle 1: Energiekonzept in Zahlen, eigene Darstellung

Auf Basis dieser Ziele bestehen aus Sicht der Regierung die größten Herausforderungen in

- Ausbau der Windenergie Onshore und Offshore
- Nachhaltige Nutzung und Erzeugung von Bioenergie
- Stärkere Nutzung der erneuerbaren Energien für die Erzeugung von Wärme und Kälte
- Sicherstellung eines kosteneffizienten Ausbaus
- Bedarfsgerechte Erzeugung und Nutzung der erneuerbaren Energien
- Integration der erneuerbaren Energien in die Energieversorgung
- Qualitativen und quantitativen Ausbau der Netze
- Entwicklung und Förderung der Speichertechnologien
- Stärkung des europäischen Strommarktes

Zum Endenergieverbrauch in Deutschland zählen Strom, Wärme und Kraftstoff. Der Anteil an erneuerbaren Energien lag Ende 2010 bei 10,9%. Den größten Anteil trägt die Biomasse mit 7,7%, die Windenergie trägt immerhin noch 1,5% und die Wasserkraft 0,8%, 0,9% entfallen auf die restlichen erneuerbaren Energien.

Die Anteile der erneuerbaren Energien am gesamten Stromverbrauch betragen im Jahr 2010 17%. Auf die Windenergie fallen davon 6,2%. 3,3% fallen auf die Wasserkraft, 5,2% auf Biomasse und 1,9% des Stromes wird durch Photovoltaikanlagen erzeugt. Die Offshore-Industrie liefert mit 38 GWh bereits einen geringen Anteil zum Stromverbrauch, das entspricht etwa 0,029 %. Insgesamt wurden in 2010 damit 37.793 GWh Windenergie in das öffentliche Netz eingespeist.

<sup>64</sup> i.A. Bundesumweltministerium (BMU) 2011:1 ff.

<sup>65</sup> Vergleichswert ist die Emission im Jahr 1990

## 4.1 Aktuelle Zahlen

Ein Veröffentlichung der Bundesregierung faßt die wichtigsten Zahlen der erneuerbaren Energien für das Jahr 2010 zusammen.<sup>66</sup> Das haben die EE 2010 erreicht:

- 11,3 % am Endenergieverbrauch – Strom/Wärme/Mobilität (2009: 10,2 %)
- 17,1% am Bruttostromverbrauch (2009: 16,4%)
- 5,8 % am Kraftstoffverbrauch (2009: 5,4 %)
- Treibhausgasemissionen von 120 Mio. Tonnen CO<sub>2</sub>-Äquivalenten vermieden
- Investitionen in Höhe von 27,9 Mrd. Euro ausgelöst (2009: 20,0 Mrd. Euro)
- 367.400 Menschen in der Branche beschäftigt (2009: 339.500)

Am 26. Januar 2012 wurden von dem Deutsche Wind Energie Institute (DEWI) einige vorläufigen Zahlen für das Jahr 2011 veröffentlicht. Demnach belief sich die gesamte Anzahl an Windkraftanlagen in Deutschland am 31.12.2011 auf 22.297 mit einer installierten Leistung von 29.075 MW. (vgl. *Tabelle 2*).

Bereich	2009	2010	2011
<b>Installierte Gesamtleistung</b>	25.777 MW	27.214,71 MW	29.075 MW
<b>Neubau installierter Leistung</b>	1.917 MW	1.551,03 MW	2.007,42 MW
<b>Anlagenzahl</b>	21.164	21.607	22.297
<b>Neu aufgebaute Anlagen</b>	952	754	895
<b>Stromproduktion</b>	38,7 Mrd. kWh	37,3 Mrd. kWh	∕
<b>Anteil am Endenergieverbrauch</b>	6,7%	6,2 %	9,9%
<b>Potentieller Jahresenergieertrag</b>	47,8 Mrd. kWh	50,5 Mrd. kWh	∕
<b>Vermiedene Emissionen</b>	32,1 Mio. Tonnen	31,9 Mio. Tonnen	∕

**Tabelle 2: Die wichtigsten Zahlen zur Windenergie in Deutschland**

Insgesamt wurden in Deutschland 2011, 895 Windenergieanlagen mit einer Leistung von 2.007 Megawatt installiert. Davon sind durch Repowering 95 Anlagen mit einer Leistung von 238 MW entstanden, abgebaut wurden 170 Anlagen mit 123 MW.<sup>67</sup>

Offshore wurden insgesamt sechs Anlagen mit insgesamt 30 MW errichtet. Damit sind insgesamt 55 Anlagen auf dem Meer errichtet worden. Davon sind 52 Anlagen mit einer Leistung von 200,30 MW an das öffentliche Netz angeschlossen worden, insgesamt 33 von den 52 Anlagen wurden in 2011 angeschlossen. Das liegt unter anderem daran, dass einige Anlagen angeschlossen wurden die 2010 errichtet worden sind. Im Vergleich zum Vorjahr sind das 456 MW, das ist ein Zuwachs von 30%.<sup>68</sup>

Da die Datenerhebung der europäischen Windstatistik angepasst werden soll, werden zukünftig nur noch an das Netz angeschlossene Anlagen berücksichtigt. Betrachtet man die

<sup>66</sup> Bundesumweltministerium (BMU) [www.bmu.de](http://www.bmu.de) 2011

<sup>67</sup> European Wind Energy Association, Wilkes & Kjaer 2011

<sup>68</sup> Molly 2012

an das Netz angeschlossene Leistung von 2.086 Megawatt in 2011 gegenüber 1.493 Megawatt in 2010 liegt der Zuwachs bei fast 40 Prozent.<sup>69</sup>

Historische Entwicklung der Windenergieerzeugung in Deutschland:

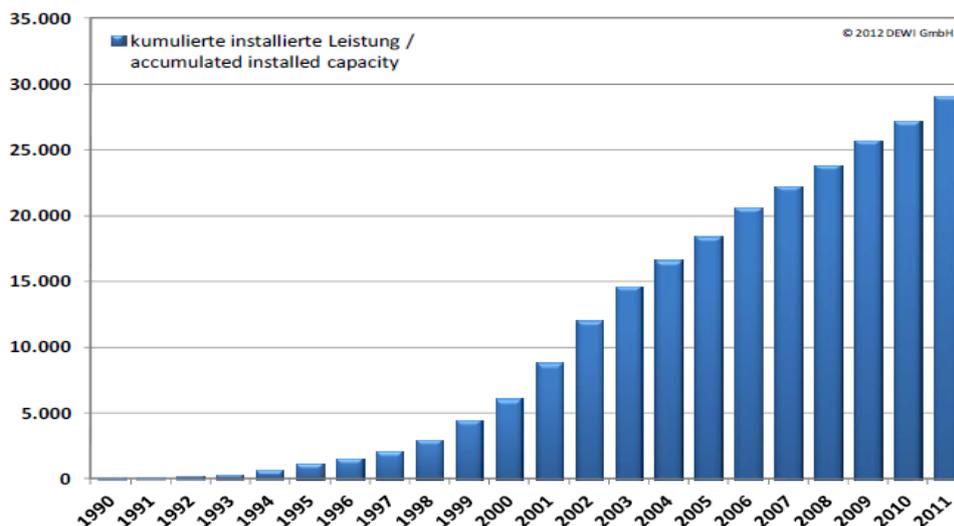


Abbildung 19: Entwicklung der installierten kumulierten Leistung

## 4.2 Netzinfrastruktur und Einspeisemanagement

Das Stromnetz in Deutschland ist geprägt durch die historisch gewachsenen Erzeugungsstrukturen. Die Stromerzeugung liegt relativ nah am Verbraucher. In Zukunft soll Strom vermehrt dezentral, also weit weg vom Endverbraucher erzeugt werden, zum Beispiel durch Photovoltaikanlagen und Biomasse, jedoch wird der größte Anteil in Küstennähe und auf dem Meer generiert. Zusätzlich wird Deutschland aufgrund seiner geographischen Lage zunehmend Strom aus Europa beziehen. Hierfür muss eine neue Netzinfrastruktur entwickelt werden, die sowohl alle Haushalte in Deutschland erreicht, als auch in einen europäischen Verbund integriert wird, Overlay-Netze (Netzautobahnen). Dies scheint für die Windenergie zur Zeit das größte Hindernis zu sein, da der Strom vom Meer bis nach Süddeutschland möglichst verlustfrei transportiert werden muss.

In einigen Regionen in Nord- und Ostdeutschland war schon 2004 so viel Leistung aus erneuerbaren Energien an die Netze angeschlossen, dass der Strom nicht mehr zu jeder Zeit vollständig abgenommen und übertragen werden konnte.<sup>70</sup> Damit sind 2010 zwischen 72 und 150 GWh aufgrund lokaler Netzengpässe verlorenggegangen. Das entspricht in etwa 0,2-0,4% der tatsächlich eingespeisten Leistung.<sup>71</sup> „Smart Grids“ – Intelligente Netze sollen zukünftig Stromerzeuger, Speicher, Verbraucher und das Stromnetz mit moderner Informationstechnik steuern.

<sup>69</sup> Schramm & Sewohl 2012

<sup>70</sup> Börner 2011

<sup>71</sup> i.A. Bundesumweltministerium (BMU) 2011:23

### 4.3 Windkraft Onshore

Deutschland und Europa gehören zu den am dichtest besiedelten Regionen auf der Welt.<sup>72</sup> Daher ist es sehr schwer geeignete Standorte zu finden. Hinzu kommt eine recht starke Ablehnung der Bevölkerung, hinsichtlich Bebauung in ihrer unmittelbaren Umgebung. Zudem müssen die Standorte auch mit naturschutzrechtlichen Regelungen, mit dem Landschaftsbild und mit Naturschutzbestimmungen verträglich gestaltet werden.

Laut Bundesregierung bietet der Ausbau an Land das kurz- und mittelfristig wirtschaftlichste Ausbaupotential im Bereich der erneuerbaren Energien. Besonders bestehende Anlagen mit neueren effizienteren Anlagen zu ersetzen, Repowering, wird von der Regierung vorangetrieben.<sup>73</sup>

#### 4.3.1 Repowering

Das sogenannten „Repowering“, bezeichnet das Ersetzen von kleinen älteren Windkraftanlagen durch moderne Leistungsstarke. Ein weiterer Vorteil des Repowering liegt in der besseren Nutzung der Flächen wodurch möglicherweise weniger Anlagen gebraucht werden, bei steigender Wertschöpfung, und langsameren Rotoren.

Allerdings steigt mit der Größe der Anlage auch die Größe des Schattenwurfs und die akustische Belastung.



Abbildung 20: Repowering, Vorher / Nachher ©BWE

Die durchschnittliche Wachstumsrate der installierten Leistung in der Windenergie lag zwischen den Jahren 1990 und 2000 bei 60,1%, diese Rate ist in den folgenden Jahren auf einen Wert von 16,1 % gesunken.<sup>74</sup> Seit diesem ersten „Boom“ der Windenergiebranche sind die ertragreichsten Windstandorte schon mit kleinen Leistungsschwachen Anlagen belegt. Damals wurden die Anlagen in Regionen mit sehr günstigen Windbedingungen errichtet.<sup>75</sup> Durch den Einsatz moderner Windenergieanlagen lassen sich diese attraktiven Standorte heute erheblich besser nutzen. Dementsprechend ist hier auch ein besonders deutlicher Effekt des Repowering (wesentlich mehr Strom mit weniger Anlagen) zu erwarten.

Der Nachteil, der „häßlichen“ Windparks kann mit Hilfe des Repowering auch zu etwas mehr Akzeptanz führen. In der Region Bremen-Oldenburg wird versucht, die Landschaftsflächen

<sup>72</sup> (vgl. Anhang III: Bevölkerungskarte Welt)

<sup>73</sup> i.A. Bundesumweltministerium (BMU) 2011

<sup>74</sup> Bundesverband Windenergie e. V. 2012

<sup>75</sup> KPMG 2009

durch Repowering neu zu strukturieren und damit die Möglichkeit zu nutzen die Landschaft „aufräumen“. <sup>76</sup> (vgl. Bild 16: Repowering, Vorher / Nachher ©BWE)

Der aktuellste Statusbericht der DEWI GmbH – (Deutsches Windenergie-Institut) und des VDMA, Verein Deutscher Maschinen- und Anlagenbauer (stand Dezember 2011) besagt, dass 170 alte durch 95 neue Windenergieanlagen ersetzt worden sind und dadurch die Installierte Leistung der Anlagen von 123 MW auf 283 MW installierten Leistung gesteigert werden konnte. <sup>77</sup> Insgesamt sind damit in Deutschland 170 älteren Anlagen ausgetauscht worden, das entspricht einer gesamten Leistung von insgesamt 1.263,2 MW. <sup>78</sup>

#### 4.3.2 Technologischer Fortschritt

Als wesentliche Auswirkungen der technologischen Entwicklung seit den 90´er Jahren der Windenergie sind folgende Aspekte zu nennen (vgl. *Kapitel 3.1*) :

- Deutliche Steigerung der Stromerzeugung pro Windenergieanlage
- Erschließung der Binnenland-Regionen für eine wirtschaftliche Nutzung
- Optimierte Betriebsweise bezüglich Schallemissionen und Schattenwurf
- Optimierung im Hinblick auf die Vermeidung von Lichtreflexionen (Discoeffekt) durch Einsatz matter, mittelreflektierender Farben für Rotorblätter und Türme
- Veränderte Landschaftsbildwirkung beim Einsatz moderner leistungsstarker Anlagen durch die geringere Rotordrehzahl und eine verminderte „Barriere- Wirkung“ aufgrund größerer Mindestabstände zwischen den Windenergieanlagen in Windparks.
- Kennzeichnungspflicht moderner Windenergieanlagen bei einer Gesamthöhe von mehr als 100 Metern
- Verbesserte Netzverträglichkeit und netzstützende Wirkung durch den Betrieb moderner Windenergieanlagen.
- Verbesserte Wettbewerbsfähigkeit der Windenergie durch deutlich reduzierte Stromgestehungskosten (bei gleichzeitig deutlich steigenden Kosten konventioneller Stromerzeugungsanlagen).

Laut des Statusberichtes des Wissenschaftsladen Bonn <sup>79</sup> lautete die Einschätzung von Ralf Bischof dem Geschäftsführer des Bundesverbandes Windenergie, im Jahre 2006 dass die Branchenziele bis zum Jahre 2020, 20% der Energiebereitstellung durch Windenergie zu ermöglichen ist und dass alleine durch Aufrüstung älterer Anlagen und auf den Flächen, für die bereits Genehmigungen bestehen.

---

<sup>76</sup> Deutsche WindGuard 2009

<sup>77</sup> Schramm & Sewohl 2012

<sup>78</sup> Molly 2012

<sup>79</sup> Klemisch & Bühler 2006

#### 4.4 Windkraft Offshore

Die Offshore-Windenergie ist eines der wichtigsten Wachstumsfelder der Windenergiebranche. Von Seiten der Regierung soll der Ausbau der Offshore-Windenergie mit einer Investition von etwa 75 Mrd. € vorangetrieben werden. Bis zum Jahr 2030 will die Regierung die Leistung auf 20 GW aufgerüstet haben.<sup>80</sup> In der deutschen Nord- und Ostsee sind dutzende Windparks mit bis zu 5.000 Windenergieanlagen geplant.<sup>81</sup>

Hersteller wie BARD Engineering GmbH, AREVA Wind GmbH und REpower Systems AG errichten ihre Produktionsstätten für die Serienfertigung der Offshore-Windenergieanlagen darum direkt an der Küste also dort, wo sie die Anlagen und Komponenten gleich auf Schiffe verladen können, um sie zu den Bauplätzen auf hoher See zu transportieren.<sup>82</sup> Ebenso rüsten Städte und Kommunen ihre Häfen als Basis auf, allen voran die Region Bremen/Bremerhaven die frühzeitig seit 2001 eine gezielte Entwicklungsstrategie eingeleitet haben um konsequent die Ansiedlung von Unternehmen der recht neu entwickelten Offshore-Technologie voranzutreiben. Dafür wurden die Rahmenbedingungen für die Produktion von Offshore Windkraftanlagen, von der Kai-Anlage bis zur Logistik, geschaffen und Flächen für Prototypen.<sup>83</sup>

Beim Bau des ersten deutschen Offshore-Windparks *alpha ventus* konnten die Erfahrungen und die Offshore-Technik aus der Öl- und Gasindustrie genutzt werden. Die konkurrierende Nutzung der verfügbaren Offshore-Technik im Bereich der Offshore-Windenergie und in der Öl- und Gasindustrie führt weltweit zu Engpässen. Offshore-Technik (vgl. Kapitel 3.8.4) ist nur beschränkt vorhanden und muss daher weltweit langfristig eingeplant werden.<sup>84</sup>

##### 4.4.1 Entwicklung der Offshore-Industrie in Europa

Der erste Offshore-Windpark wurde 1991 bei Vindeby, 2,5 km vor der dänischen Küste eröffnet. Entwickelt von DONG Energy, besteht er aus elf Turbinen mit einer Leistung von 450 kW mit einer gesamten Leistung von 4,95 MW. Zwanzig Jahre später, Ende 2010, sind in ganz Europa insgesamt 45 Windparks mit einer Gesamtleistung von 2,946 MW, installiert und speisen 10,6 TWh in das europäische Netz. Im Vergleich dazu waren in Nicht-EU-Staaten im Jahr 2010 gerade ein mal 102 MW installiert.

Bis zum Jahre 2001 war das Wachstum des Offshore Sektors unregelmäßig und auf eine Handvoll küstennaher Projekte vor der Küste Dänemarks und Hollands beschränkt. Seit Anfang des neuen Jahrtausends gehen nun jährlich neue Offshore Windparks an das Netz. Die in 2001 installierte Gesamtleistung von 50.5 MW deckt erst 1% der Möglichen Offshore Leistung für Europa ab. Die in 2010 installierten 883 MW decken schon 10% des jährlich produzierten europäischen Windmarktes ab.

---

<sup>80</sup> Meyer 2011

<sup>81</sup> Windkraft-Journal

<sup>82</sup> Pistol 2011

<sup>83</sup> Distelkamp, Bickel & Ulrich 2011

<sup>84</sup> DENA

#### 4.4.2 Europäischer Vorsprung

In Deutschland wurden im Jahr 2011 insgesamt 33 Anlagen mit 108 MW an das Netz angeschlossen. Ende des Jahres 2010 waren insgesamt 92 MW an das öffentliche Netz angeschlossen, neu installiert wurden insgesamt 50 MW.<sup>85</sup>

Auf See sind insgesamt sechs Anlagen mit 30 MW errichtet. Damit sind insgesamt 55 Anlagen auf dem Meer errichtet. Davon sind 52 Anlagen sind insgesamt mit einer Leistung von 200,30 MW die an das öffentliche Netz angeschlossen worden.

Die deutschen Offshore Windparks liegen fast alle in der ausschließlichen Wirtschaftszone (AWZ), nach Artikel 55 des Seerechtsübereinkommens der Vereinten Nationen reicht diese von der 12-sm-Zone bis 200 sm vor der Küste des angrenzenden Staates. Da die Anlagen optisch abgelehnt werden, werden sie mindestens auch außerhalb der Sichtweite von Land installiert. Daher liegen deutsche Offshore Windparks im Durchschnitt. 100 m vor der Küste und stehen in. 40 m tiefem Wasser.

In Europa liegt die durchschnittliche Entfernung der fünf Länder mit signifikanter installierter Offshore Leistung (vgl. *Abbildung 21 und Kapitel 0*) lag laut EWEA bei 23,4 km, im Vorjahr waren es 25,3 km vor der Küste, die durchschnittliche Wassertiefe lag im Jahr 2010 bei 17,4 m, in 2011 hat sich die Entfernung auf durchschnittlich 25,3 m vergrößert. Ebenfalls stetig wachsen wird auch in der Zukunft die Größe der OWP auf der ganzen Welt. Die Erfahrungen in großer Entfernung und Tiefe die Deutschland zur Zeit sammelt müssen aktiv und stetig ausgebaut werden.

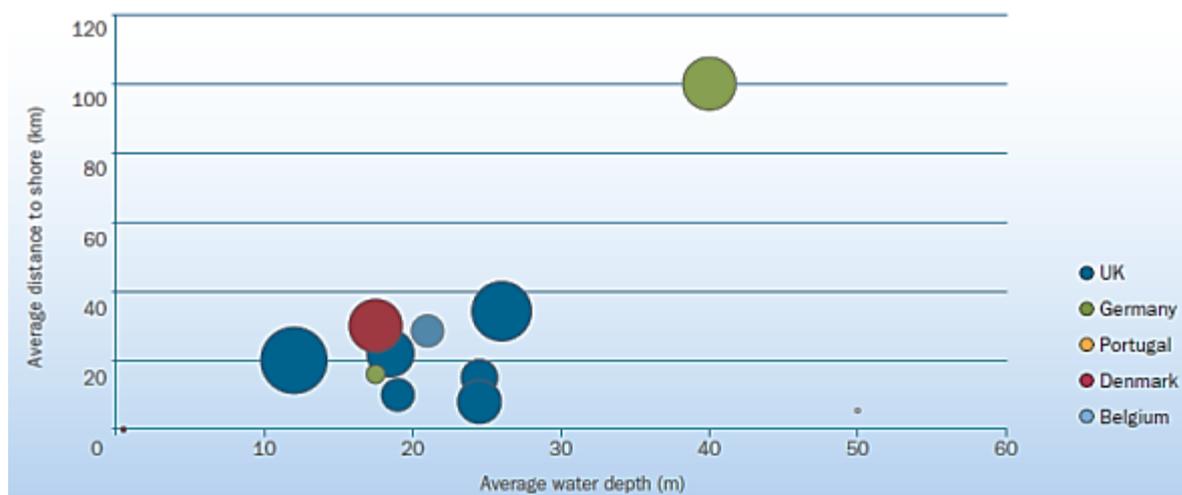


Abbildung 21: durchschnittliche Küstenentfernung und Wassertiefe spezielles Offshore know how; Quelle: {VDMA, 201}

Zusätzlich dazu, könnte Deutschland sich zum globalen Marktführer in Branche entwickeln, wenn der Vorsprung der bis jetzt besteht weiter ausgebaut wird.

<sup>85</sup> European Wind Energy Association, Wilkes & Kjaer 2011

### 4.4.3 Wertschöpfung Offshore

An dem Bau einer Windenergieanlage sowie an deren Errichtung und Betrieb sind besonders in der Offshore-Industrie eine Vielzahl an Branchen und Unternehmen beteiligt. Bisher waren im Offshore-Sektor (Stand 2010) eine vergleichsweise geringe Anzahl an Marktteilnehmern im aktiv.<sup>86</sup> Aus den besonderen Bedingungen ergeben sich erhebliche Potentiale für innovative Produkte und Leistungskonzepte in den Bereichen Errichtung, Service, Wartung, Logistik.<sup>87</sup>

Die Herstellung großer Windenergie-Anlagen für den Offshore-Betrieb erfolgt in der Regel aus logistischen Gründen nah an der Küste und dem genutzten Hafen. So können Landtransporte der großen Komponenten vermieden werden weil sie teuer und kompliziert sind. Soweit es die Anlage zulässt wird versucht den kompletten Türme an Land zusammen zu bauen und dann auf See zu transportieren.<sup>88</sup>



Abbildung 22: Wertschöpfungskette; erste Ebene  
Bildquelle: windresearch

In der ersten Ebene ist die Wertschöpfungskette der Offshore- und Onshore-Anlagen identisch.<sup>89</sup> (vgl. Abbildung 16) Wesentliche Unterschiede treten erst in den einzelnen Wertschöpfungsstufen auf.

In der Wertschöpfungskette der Offshore-Branche werden Häfen zunehmend eine zentrale Stellung einnehmen. Für den Bau von Offshore-Windparks sind Häfen der Knotenpunkt, den alle Anlagenteile passieren müssen. Dabei geht der Trend immer weiter dahin, möglichst die gesamte Anlage direkt am Hafen zu produzieren, zwischenzulagern und vormontiert. Die Werten profitieren von der Nutzung der benötigten Spezialschiffe, die für den Transport und die Montage der Anlagen auf See benötigt werden. Zusätzlich sind die Häfen der Ausgangspunkt für regelmäßige Inspektionen und Wartungs- und Reparaturarbeiten.<sup>90</sup>

Engpässe werden bei den verfügbaren Kapazitäten an Spezialtechnik erwartet. Das Vorantreiben der Regierung und die Weltweite Entwicklung erfordern die notwendige Offshore-Technik.<sup>91</sup> (vgl. Kap. 3.8.4) Die ist noch nicht ausreichend vorhanden.

<sup>86</sup> Eckardt & Vanini 2011

<sup>87</sup> Eckardt & Vanini 2011

<sup>88</sup> Hammer & Röhring 2005

<sup>89</sup> wind:research

<sup>90</sup> Windkraft-Journal

<sup>91</sup> DENA

## 4.5 Internationale Windkraft

Auf dem europäischen Markt hat Deutschland, mit 27,2 GW, neben Spanien mit 20,7 GW, jährlich die größte neu installierte Leistung. Damit decken Deutschland und Spanien 57% des europäischen Marktes ab. Am Ende des Jahres 2010 haben fünf EU-Staaten die 5 GW installierte Leistung passiert. Deutschland und Spanien haben damit neben Italien mit 5,8 GW, Frankreich mit 5,7 GW und England, mit 5,2 GW installierter Gesamtleistung die 5 GW Grenze erreicht. 25 der 27 EU-Staaten nutzen Ende 2010 die Windenergie. Am Ende 2010, belief sich die Gesamtleistung der EU auf 84,324 MW installierte Leistung.<sup>92</sup>

### 4.5.1 EU-Zahlen und Fakten

Gemäß der European Wind Energy Association (EWEA) wurden im Laufe des Jahres 2010 in der gesamten EU 9.259 MW an Windenergieleistung zugebaut, 10 % weniger als im Jahr 2009. Ende des Jahres 2010 waren damit in der EU Windenergieanlagen mit einer Gesamtleistung von 84.074 MW installiert.<sup>93</sup>

Während der Ausbau der Windenergie an Land in der EU im Vergleich zum Vorjahr um 13,9% schrumpfte, konnte der Offshore-Markt im Jahr 2010 um gut die Hälfte zulegen. Dort gingen insgesamt 308 neue Windenergieanlagen in 9 Windfarmen mit einer zusätzlichen Leistung von 883 MW ans Netz. Ende 2010 stand somit eine Gesamtleistung von knapp 3 GW zur Verfügung. Mit dieser Leistung könnten in einem „normalen“ Windjahr 11,5 TWh Strom erzeugt werden. Für das Jahr 2011 erwartet die EWEA, dass weitere 1.000 bis 1.500 MW Offshore-Windleistung in Europa ans Netz gehen werden.

Von den fünf Staaten mit einer Gesamtleistung über 5 GW wurden im ersten Halbjahr 2011, in der Zeit vom 01. Januar bis 30. Juni, 101 Offshore-Windenergieanlagen an das Netz angeschlossen. Zusammen haben sie eine installierte Leistung von 348 MW, damit erreicht die gesamte installierte Leistung Offshore in Europa 3.294 MW.<sup>94</sup>

Die gesamte installierte potentielle Leistung lag damit 4,5 % höher als im Vorjahr, in dem im ersten Halbjahr 118 Anlagen mit einer Gesamtleistung von 333 MW an das Netz angeschlossen wurden. Der Trend zu größeren Anlagen ist hier gut zu sehen, da in 2011 in dem gleichen Zeitraum mehr Leistung mit weniger Anlagen installiert worden sind.<sup>95</sup>

Der größte Offshore Windpark der Welt wurde 2010 vor der Küste Englands, vor Thanet, (Stand November 2011) an das Netz angeschlossen. Der Park besteht aus 100 Anlagen von der Firma VESTAS mit einer Leistung von je 3 MW, also einer Gesamtleistung von 300 MW.

---

<sup>92</sup> Bauer & Fischer 2011

<sup>93</sup> European Wind Energy Association, Wilkes & Kjaer 2011

<sup>94</sup> Bauer & Fischer 2011

<sup>95</sup> European Wind Energy Association & Arapogianni 2011

#### 4.5.2 Weltmarkt und Exportchancen

Der Weltmarkt zeigt sich relativ stabil. Der Rückgang der in Amerika neu installierten Leistung von 10.000 MW auf 5.115 MW konnte vom Wachstum in China zu einem großen Teil kompensiert werden. China zeigte ein Wachstum von 13.8000 MW auf 18.900 MW neu installierter Leistung. Das entspricht einem Zuwachs von 50%. Weitere Märkte mit einem Zuwachs von über 1 GW sind Indien (2.139 MW), Spanien (1.516 MW), Deutschland (1.493 MW) und Frankreich (1.086 MW).<sup>96</sup> Brasilien, Mexico, Japan und Ägypten sind im Jahr 2010 das erste Mal mit einer nennenswerten Installationsrate in Erscheinung getreten.

Vergleich zu den Vorjahren im Jahr 2010 rückläufig. Insgesamt wurden 35.802 MW an Leistung zugebaut, im Vergleich zum Jahr 2009 ist das ein Minus von 7 %.

China steht an der Spitze der Top 10 der Marktakteure der Branche. Mit einem Rekord-Zubau von 16.500 MW hält es beinahe die Hälfte des globalen Marktvolumens. Weit abgeschlagen folgen die USA, die mit 5.115 MW, die lediglich etwa die Hälfte des Zubaus 2009 realisieren konnten.

Damit waren Ende 2010 weltweit Windenergieanlagen mit einer Gesamtleistung von fast 200 GW installiert. China übernahm erstmals die Spitzenposition im Ranking der TOP 10 mit insgesamt 42.287 MW und verdrängte damit die USA und Deutschland auf den zweiten (40.180 MW) bzw. dritten Platz (27.214 MW).<sup>97</sup>

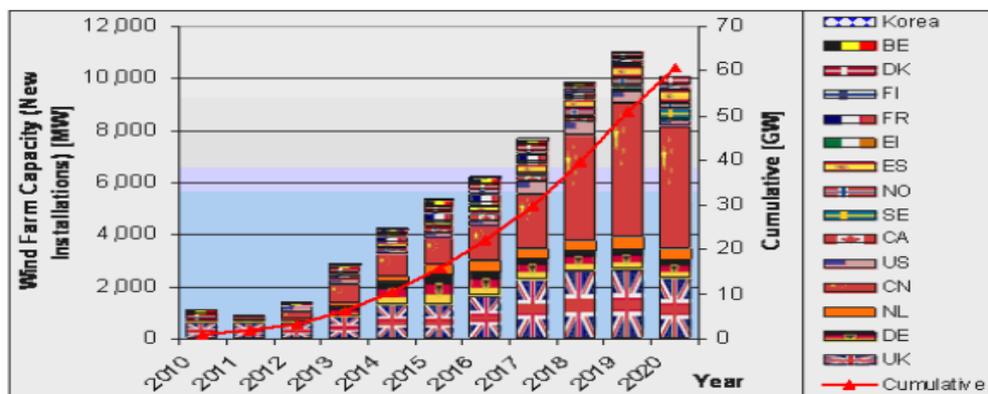


Abbildung 23: GL Entwicklung Offshore

In 2011 könnten wurde eine gesamte installierte Leistung von 40.000 MW Weltweit um rund 2.000 MW überschritten werden. Fast die Hälfte davon wurde in China installiert.<sup>98</sup>

Die Nachfrage nach deutscher Erneuerbare-Energien-Technik steigt, besonders im Ausland. Die Exportquote von Herstellern und Zulieferern deutscher Windtechnologien lag im Jahr 2007 bei über 85% Prozent. Das bedeutet der Wertschöpfungsanteil ist im Ausland bereits wesentlich höher ist als im Inland.<sup>99</sup>

<sup>96</sup> Bauer & Fischer 2011

<sup>97</sup> VDMA 2010

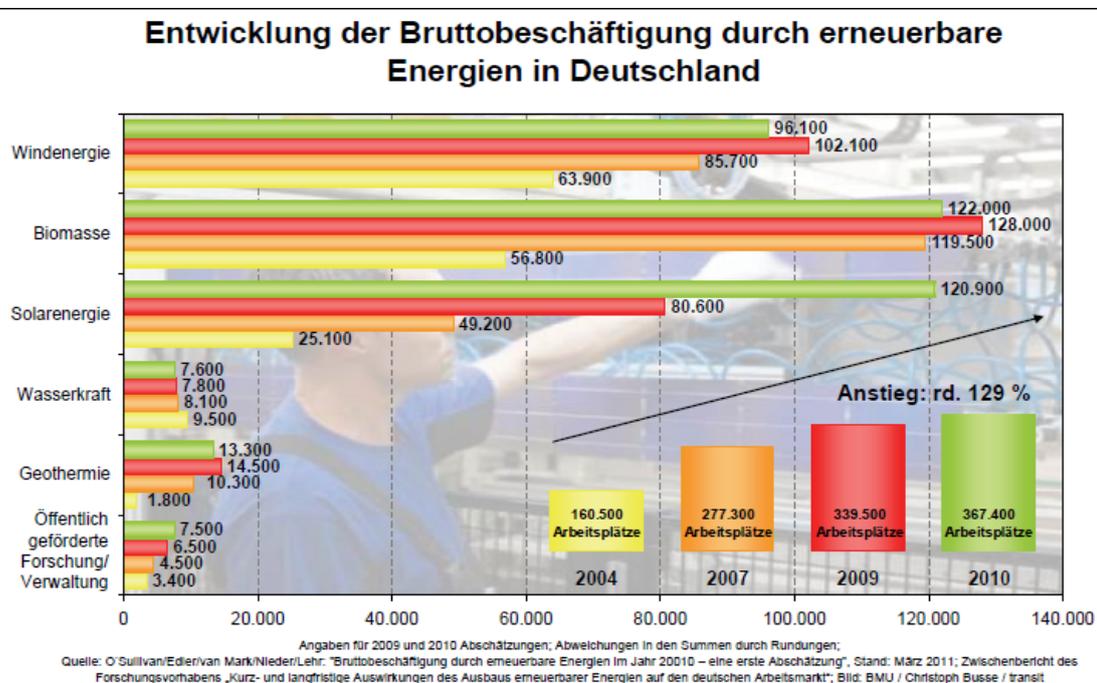
<sup>98</sup> Schramm & Sewohl 2012

<sup>99</sup> Schiel 2004

## 5 BESCHÄFTIGUNGSSITUATION

Die Beschäftigung durch die Herstellung von Anlagen zur Nutzung erneuerbarer Energien (EE) sowie durch den Betrieb und die Wartung der Anlagen und durch die Bereitstellung von biogenen Brenn- und Kraftstoffen ist seit 2006 regelmäßig Gegenstand von Forschungsvorhaben des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU 2006, 2007, 2008, 2009a, 2010). Die Abbildung zeigt die Entwicklung der Brutto-Beschäftigung in Deutschland von 1992 bis 2009 aus der Veröffentlichung von Juli 2011.

Demnach waren im Jahr 2010 insgesamt 367.000 Personen im gesamten Sektor der erneuerbaren Energien beschäftigt. Seit der ersten Abschätzung aus dem Jahre 2004, hat sich die Zahl so gut wie verdoppelt. Damals lag die Zahl der Beschäftigten um 160.500.



**Abbildung 24 : Entwicklung der Bruttobeschäftigung durch EE in Deutschland**

Insgesamt zählen 96.100 Personen zum Sektor der Windenergie. Damit nehmen sie den zweitgrößten Anteil der Beschäftigten des gesamten Sektors, mit knapp 27%, ein.<sup>100</sup> Im Jahr 2009 waren es noch 102.100 Beschäftigte. Nur der Sektor Biomasse schlägt dies mit einem prozentualen Anteil von knapp 38% Beschäftigung in der Branche.

<sup>100</sup> O'Sullivan, Lehr & Lutz 2011:20

## 5.1 Beschäftigungssituation der Branche

Generell kann die Beschäftigung in direkte und indirekt Beschäftigung aufgeteilt werden. Als direkt bezeichnet werden alle Geschäftsbereiche die direkt an der Windkraftanlage Arbeiten oder bei ihrer Herstellung beschäftigt sind, also alle Hersteller, Betreiber und Dienstleister. Zu den indirekt Beschäftigten zählen alle Vorleistungs- und Zulieferunternehmen.

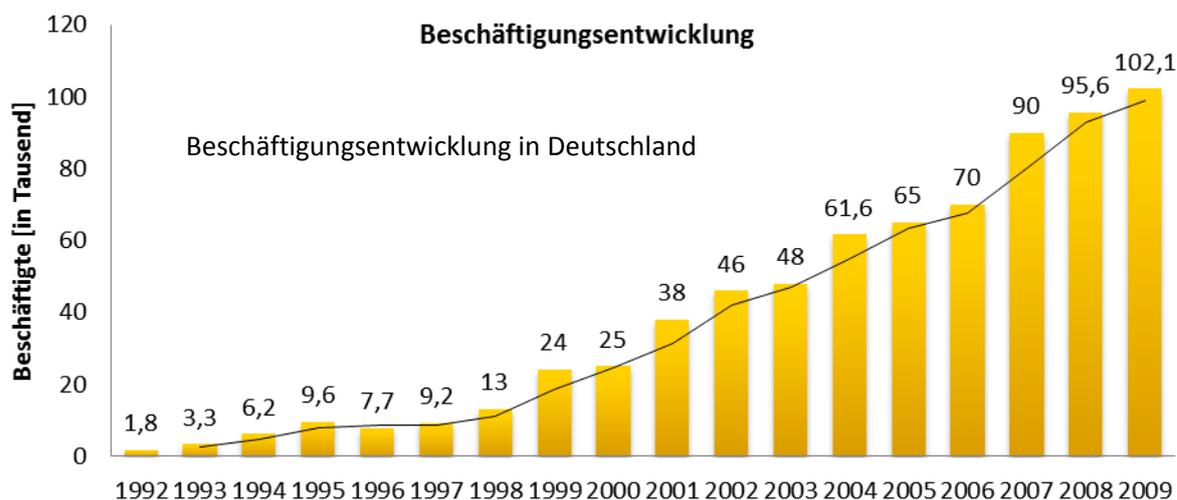


Abbildung 25: Entwicklung der Beschäftigung in der Windbranche in Deutschland

Insgesamt waren 2009 knapp 340.000 Personen direkt oder indirekt im Bereich der erneuerbare Energien beschäftigt.<sup>101</sup>

2008 stellten der Windindustrie allein etwa 37.000 direkte Arbeitsplätze bereit. Mit industriellen Vorleistungen, Installation und Infrastruktur sowie Service und Betrieb waren in 2009 in der gesamten Windbranche rund 100.000 Personen beschäftigt.

2010 zählten 96.100 Personen zum Sektor der Windenergie. Damit nahmen sie zwar den zweit größten Anteil der Beschäftigten der erneuerbaren Energien, mit knapp 27% ein im Vergleich zum Vorjahr ist jedoch ein leichter Rückgang zu verzeichnen. Der Bundesverband Windenergie und der VDMA begründen das mit dem Verlust von unqualifizierten aber leichtem Anstieg an Qualifizierten Mitarbeitern.<sup>102</sup>

Global werden die größten Beschäftigungszuwächse auf dem amerikanischen Kontinent und in Asien erwartet.<sup>103</sup>

<sup>101</sup> O'Sullivan, Lehr & Lutz 2011

<sup>102</sup> O'Sullivan, Lehr & Lutz 2011:20

<sup>103</sup> Grundmann 2005

## 5.2 Beschäftigung Offshore

Der Ausbau der Offshore-Windenergie bringt Wachstumsimpulse für die gesamte deutsche Wirtschaft. Nicht nur für Hersteller und Betreiber der Offshore-Windparks, sondern auch Zuliefer- und Kabelindustrie sowie Werften profitieren von der Entwicklung.

In den nächsten Jahrzehnten wird die Beschäftigung in der Offshore-Industrie vermehrt an Zuwachs erfahren. Nach einer Schätzung der European Wind Energy Agency<sup>104</sup> die im November 2011 veröffentlicht wurde, werden bis zum Jahr 2020 um die 462.000 Leute in der Windbranche beschäftigt sein. Der letzte Bericht des WAB prognostiziert bis zum Jahr 2021 bereits einen Anstieg der Arbeitsplätze auf über 33.000 bis zum Jahr 2030, wird erwartet, dass der Anteil der Beschäftigten in der Offshore-Branche 62% betragen kann, das entspricht 300.000 Beschäftigten von insgesamt erwarteten 480.000 Arbeitern in der ganzen Windindustrie. Besonders mittelständische Unternehmen sollen mit erheblichen Umsatz- und Beschäftigungszuwächsen rechnen können.<sup>105</sup> Nach der Studie des WAB mit der Wirtschaftsprüfungs- und Beratungsgesellschaft PwC ist von etwa 13.000 auf 28.000 Arbeitsplätzen zu rechnen wobei sich die Zahl der Beschäftigten in kleinen und mittelgroßen Betrieben verdoppelt. Der Umsatz soll von 5,9 Milliarden Euro (Stand 2010) auf 22,4 Milliarden Euro im Jahr 2021 steigen. Hierbei wurden Erlöse aus der Stromeinspeisung nicht berücksichtigt.

Den Prognosen liegt die Annahme zugrunde, dass bis 2021 vor Deutschlands Küste Offshore-Windparks mit einer Gesamtleistung von 8,7 Gigawatt errichtet worden sind. Die Bundesregierung hat im Rahmen der „Energiewende“ ein Ausbauziel von 10 Gigawatt bis 2021 vorgegeben.

Die maritime Wirtschaft rechnet bei der Realisierung der Regierungsziele von 20.000 bis 40.000 MW Offshore-Windenergie bis 2020 mit über 20.000 gesicherten und bis zu 15.000 neuen direkten und indirekten Arbeitsplätzen in ganz Deutschland.<sup>106</sup> Vor dem Hintergrund, dass der Landtransport von beispielsweise 50 m langen Rotorblättern oder einigen 100 t schweren Gondeln schon heute an seine Grenzen stößt, werden auch die Binnengewässer bzw. Binnenhäfen für den Transport von großen Anlagenteilen an Bedeutung gewinnen, da nicht alle Beteiligten der Industrie ihren Standort direkt an der Küste haben werden.

### 5.2.1 Ausblick Export

Unter allen Branchen der erneuerbaren Energien ist die Windenergiebranche, die mit den höchsten Exportwerten. Komponentenhersteller der Branche haben für 2010 ein Exportvolumen von 2,5 Mrd. € zu verzeichnen, und liegen damit weit vor dem zweiten, der Photovoltaik mit rund 0,5 Mrd.€ Umsatz durch Komponenten-Export.<sup>107</sup>

---

<sup>104</sup> European Wind Energy Association & Arapogianni 2011

<sup>105</sup> www.wab.net

<sup>106</sup> Bundesverband Windenergie e. V.

<sup>107</sup> Bundesumweltministerium (BMU) www.bmu.de 2011

Die Nachfrage nach deutscher Erneuerbare-Energien-Technik steigt nach Aussage des VDMA in Zukunft stetig an, besonders im Ausland. Die Exportquote von Herstellern und Zulieferern deutscher Windtechnologien lag im Jahr 2007 bei über 85% Prozent. Das bedeutet der Wertschöpfungsanteil ist im Ausland bereits wesentlich höher als im Inland.<sup>108</sup> Daher werden bis 2020 sogar 500.000 Jobs bei den erneuerbaren erwartet.

### 5.3 Aktuelle Ausbildungssituation in Deutschland

Brancheneigene Ausbildungsplätze gibt es nur sehr wenige, da der Großteil der direkt beschäftigten Unternehmen sehr jung ist. Ein Einstieg in die Branche wird in der Regel durch eine Ausbildung in einem klassischen Ausbildungsberuf mit anschließender Weiterbildung in dem Bereich erreicht. Am häufigsten finden sich folgende Ausbildungsberufe in der Branche wieder.<sup>109</sup>

- *Schweißer*
- *Schlosser*
- *Mechaniker,*
- *Maschinentechniker*
- *Mechatroniker*
- *Laminierfachkräfte*
- *Elektriker*

Die klassische Weiterbildung der Branche ist der Servicetechniker für Windenergieanlagen. Grundvoraussetzung für eine Teilnahme ist eine Ausbildungen zum Elektriker oder Mechatroniker.

Der Ausbildungsberuf des Mechatronikers eignet sich am besten für technische Windkraftberufe besonders im Service- und Wartungsbereich Die Hybridausbildung des Mechatronikers verbindet elektronische und mechanische Ausbildungsbestandteile und bringt damit eine der Grundvoraussetzungen zur Wartung der erforderlichen Maschinenkomponenten.(vgl. *Kapitel 3.9 Betrieb und Wartung*)

Ausbildungsberufe wie Industrieelektroniker oder Zerspanungsmechaniker eignen sich am ehesten für fertigende Zulieferbetriebe, werden aber auch in elektrotechnischen Bereichen geschult um den Servicebereich der WKA zu bedienen.<sup>110</sup>

Um der hohen Nachfrage nach qualifiziertem Nachwuchs im Bereich erneuerbare Energien zu begegnen, haben sich daher maßgeschneiderte Qualifizierungsangebote von der Aus- und Weiterbildung zum Servicetechniker für Windenergieanlagen bis zum Masterstudiengang für Ingenieure entwickelt.<sup>111</sup> Zu den Berufen die in der Branche gebraucht werden gehören Aufbautechniker, Fertigungsfachkräfte für Windenergieanlagen, Fachkräfte der Verbundwerkstoffe, Servicemonteure, Schweißfachmänner und verwandte

---

<sup>108</sup> Schiel 2004

<sup>109</sup> Klemisch & Bühler 2006

<sup>110</sup> Grundmann 2005

<sup>111</sup> Bundesverband Windenergie e. V.

Ausbildungsberufe, da sich die Branche ihren Techniken an der Technologie für Modell- und Leichtbauweise für die Rotorblätter, sowie des Tiefbaus bedient.

### **Qualifizierungsträger**

An der Hochschule für Angewandte Wissenschaften und an der TU Harburg sind bereits Windspezifische Studiengänge entstanden.

Schon jetzt denkt man über Rotorblätter aus CFK (Kohlefaserverstärkte Kunststoffe) nach und hat erste Entwicklungsprojekte realisiert. Die Weiterbildung muss demnach auch reagieren und sich mit solchen Werkstoffen tiefgründiger beschäftigen, um fachpraktische Lehrgänge zu Fertigungs- und Instandhaltungstechniken zu entwickeln.

Zertifikatslehrgang zum Fachingenieur Windenergietechnik startet vom VDI.

## **5.4 Qualifizierungs- und Kompetenzanforderungen**

### **5.4.1 Allgemein**

In den „neuen“ Sparten der EE-Branche, also den Bereichen die sich neuerer und am Anfang der Entwicklung befindlicher Technologien bedienen, ist der Anteil an qualifizierten Mitarbeitern mit abgeschlossenen Berufsausbildung am höchsten.

In der Windenergiebranche liegt der Anteil der Mitarbeiter mit abgeschlossener Berufsausbildung bei 79,7%, einen Hochschulabschluss besitzen 27,1 %. 0,9 % der Beschäftigten haben keine abgeschlossene Berufsausbildung.<sup>112</sup> (Stand Februar 2011)

Eine Studie aus dem Jahr 2004 hat Qualifizierungsbedarfe der Windenergieunternehmen<sup>113</sup> untersucht hat folgende Branchenkenntnisse ergeben.

- *Sprachkenntnisse für Export, insb. fachliches englisch, aber auch Französisch und Spanisch*
- *Vertriebs-Know-how*
- *Zusatzqualifikationen für Ingenieure, etwa zu Entwicklung und kaufmännischem Wissen*
- *Service und Montage im Facharbeiterbereich, insb. anlagenspezifische Qualifizierungen, Spezialisierung*
- *der Qualifikationen, z.B. hinsichtlich Material, Windenergieanlagentyp bzw. -größe,*
- *bestimmter technischer Fehlertypen*
- *Verantwortung der Mitarbeiter und Qualitätsorientierung*

Generell sollten die Mitarbeiter in der Lage sein, eine Windkraftanlage als vollständiges System, mit seinen elektrischen und mechanischen Komponenten, zu verstehen.

---

<sup>112</sup> O'Sullivan, Lehr & Lutz 2011

<sup>113</sup> Grundmann 2005

### 5.4.2 Offshore

Diese Qualifizierungsbausteine sind das Ergebnis einer Studie die im Rahmen des transnationalen EU-Projektes POWER (Pushing Offshore Wind Energy Regions) durchgeführt wurde. Es ist eine Zusammenfassung der Qualifikationsbedarfe aus Sicht von ca. 32 Unternehmen aus allen Branchenbereichen.<sup>114</sup>

**Projektmanagement:** Die Planung eines Offshore Projektes erfordert neben rechtlichen und kaufmännischen auch technische Kompetenzen. Im Projektmanagement ist eine Verbindung dieser Kompetenzen unerlässlich.

**Nationale und internationale Rechte:** Nicht nur das Management großer Planungsgesellschaften braucht fundierte Kenntnisse in nationalen wie internationalen Rechten, die bei der Konzeption von Offshore-Parks zu beachten sind und sich oftmals in der Kostenkalkulation abbilden. „Eine im eigenen Land unbekannteste Besteuerung von Produkten auswärts kann ein Projekt verteuern, eine hier nicht übliche Subventionierung von Energieträgern mag sich kostenentlastend niederschlagen. Rechtskenntnisse rechnen sich also auch.“

**Qualitätssicherung:** Strategien zur Qualitätssicherung werden immer mehr zum Standard. Diese richtet sich einerseits auf die Produkte. In der Regel werden im internationalen Offshore- Betrieb Qualitätsnachweise durch Gutachterinstitutionen verlangt. Da andererseits die Prozessqualität eines Unternehmens sicherzustellen ist, gilt diese Anforderung branchenübergreifend. Die Zertifizierung nach DIN ISO 9000 ff ist anzustreben, weil Unternehmen ohne entsprechende Qualitätsnachweise Nachteile im Wettbewerb erleiden.

**Fach- und Verhandlungss Englisch** für transnationale Planer und Entwickler.

**Windspezifische Zusatzmodule für Ingenieure:** Windkraftanlagen vereinen in ihrer Technik verschiedene Wissensgebiete. Mechanik, Aerodynamik und Elektrotechnik wirken zusammen. Statische und dynamische Belastungen komplexer Art treten auf. Deswegen sind windspezifische Zusatzmodule sowohl für die Aus- und Weiterbildung als auch zur Ergänzung der klassischen Studiengänge für Ingenieure gefragt.

**Schweißtechnik:** Offshore-Anlagen stellen erhöhte Anforderungen an die Qualität der Schweißnähte des Turms. Aufgrund der Stahldicke und der zunehmenden Spaltmaße tritt das Schweißen unter Pulver an die Stelle von Schutzgasverfahren.

**Verfahren der Faserverbundtechnik:** Der Anteil von Un- und Angelernten ist in der Fertigung vergleichsweise groß. Qualifizierungsbedarf besteht in der Vermittlung grundlegender Kenntnisse in der Kunststoff- und Faserverbundtechnik (manuelles Laminieren, Vakuuminjektion, Prepregs-Technologie). – Rotorblattbau

---

<sup>114</sup> Hammer & Röhring 2005:38

Industriemechaniker, Stahlbauer und Holzfacharbeiter brauchen zusätzliche Kenntnisse eines Elektromonteurs, um mechanische und elektrische Problemstellungen (Blitzableitung, Überwachungssensoren) zu lösen. Umgekehrt sind Elektriker bei der Wartung und Instandhaltung von Anlagenkomponenten auf mechanische Kenntnisse verwiesen. Mechatronische Fachkenntnisse wenigstens in Ausschnitten sind notwendig in fast allen Bereichen.<sup>115</sup>

Wie bei allen Berufen liegt ein verstärktes Augenmerk auf der Beherrschung von Softskills. Fähigkeiten wie Kundenkommunikation und Konfliktfähigkeit, spielen eine wichtige Rolle, von der sich Unternehmen der Branche wünsche, dass diese stärker in die Schulungsinhalte eingehen.<sup>116</sup>

### **Spezielle Zusatzkompetenzen Offshore**

Arbeiten auf See unterliegen hohen Sicherheitsanforderungen. Offshore-Trainings sind unverzichtbar für alle Handwerker und Techniker, die vor Ort, also auf See Tätigkeiten ausführen. Nur entsprechend ausgebildete und zertifizierte Techniker dürfen die Anlagen auf dem Meer überhaupt betreten.<sup>117</sup>

Zu der Ausbildung gehören Maßnahmen zur Unfallvermeidung bei der Arbeit an und auf Windkraftanlagen genauso, wie Spezialkurse für das Überleben auf See oder der Ausstieg aus einem notgewässerten Helikopter.<sup>118</sup>

**BOSIET** - Basic Offshore Safety Induction & Emergency Training- Grundkurs Offshore Sicherheit auf See und Verhalten im Seenotfall - dazu gehört das Überleben auf See sowie Brandschutzschulung mit Löschtraining und Erste Hilfe. Aber auch HUET und Umgang mit der Persönlichen Schutzausrüstung.

**HUET & EBS** – Helicopter Underwater Escape Training and Emergency Breathing System Training - Es wird das Verhalten bei Notlandungen und das Aussteigen aus einem sinkenden Hubschrauber, sowie Aussteigen aus einem gedreht sinkenden Hubschrauber trainiert. Dabei wird auch ein Notatemsystem eingesetzt und die Handhabung im Notfall unter Wasser einschließlich des Öffnens der Hubschrauberfenster geübt.

---

<sup>115</sup> Hammer & Röhring 2005

<sup>116</sup> Klemisch & Bühler 2006

<sup>117</sup> (<http://www.offshore-training.de/>)

<sup>118</sup> (<http://www.windguard.de/offshore/offshore-Sicherheitstraining/>)

### 5.4.3 Studien zur Qualifikation

Wie bereits erwähnt ist der Anteil an hochqualifizierten Mitarbeitern höher als der Durchschnitt in der freien Wirtschaft. Laut einer Untersuchung der EWEA haben Unternehmen erhebliche Schwierigkeiten bei der Suche nach geeignetem Personal, und heben hervor, wie wichtig es ist frühzeitig qualifiziertes Personal zu schulen um einem Fachkräftemangel zu entgehen und das dies ein fester Bestandteil der Wertschöpfungskette sein sollte.<sup>119</sup>

2004 wurde eine Qualifizierungsinitiative Windenergie von Unternehmen der Branche, dem Bundesverband Windenergie, der IG Metall und den Fachagenturen gegründet. Danach halten alle Beteiligten die Profilierung von Ausbildungsberufen in der Windbranche für ausgesprochen wichtig.

Dagegen ergab eine Umfrage des BMU bei Unternehmen der erneuerbaren Energien aus dem Jahr 2006 zur Aus- und Weiterbildung<sup>120</sup>, dass der Integration spezifischer, auf die Branche ausgerichteter Inhalte in vorhandene Ausbildungsberufe der klare Vorzug gegeben wird. Die Etablierung eines neuen Ausbildungsberufes halten die Befragten nicht für notwendig. Laut BMU liegen die Ursachen für dieses Ergebnis in der Einschätzung der Unternehmen, dass die Etablierung eines neuen Ausbildungsberufes ein zu langer Weg bevorsteht. Die Interpretation dieser Aussagen wird in ihrer Eindeutigkeit relativiert durch eine hohe Zahl von Enthaltungen. Hersteller und Dienstleister wären allerdings eher geneigt als die Zulieferer einen neuen Ausbildungsberuf für die eigenen Anforderungen in der Branche zu kreieren.<sup>121</sup>

Die Weiterbildungsumfrage 'educating' vom VDI Wissensforum aus dem Jahr 2010 hat ein großes Weiterbildungsdefizit aufgezeigt, indem 55,3% der Befragten Unternehmen angegeben haben sich mehr Fortbildungsangebote zu wünschen. Befragt wurden Fach und Führungskräfte aus der Fahrzeugindustrie, Maschinen- und Anlagenbau, Kunststoffindustrie, Chemie/Pharmaindustrie, Energie, Landtechnik und Bautechnik.

#### **Verfahrenserweiterung**<sup>122</sup>

**Schweißer:** Ein wesentliches neues Verfahren liegt hier in der Schweißtechnik unter Pulver. Schutzgasschweißverfahren halten oftmals den gewachsenen Anforderungen moderner Großanlagen nicht mehr stand. Neue Qualifikationsnachweise sind gefordert. Hier werden geeignete Fortbildungskurse zur Schweißtechnik bereits angeboten. Allerdings gibt es oft Informationsdefizite, welche Institute Fortbildungskurse mit anerkannten Zertifikaten durchführen. Hier sollten Unternehmen auf vorhandene Kurse hingewiesen werden.<sup>123</sup>

<sup>119</sup> European Wind Energy Association & Arapogianni 2011

<sup>120</sup> O'Sullivan, Lehr & Lutz 2011

<sup>121</sup> Klemisch & Bühler 2006:16

<sup>122</sup> (<http://www.offshore-training.de/>)

<sup>123</sup> Dunker & Enkelmann 2004:6

**Kunststoff- und Faserverbundtechnik:** Die unterschiedlichen Herstell-Verfahren sowie die Belastungsmechanik, die sich im Bauteil aufgrund physikalischer wie chemischer Prozesse niederschlägt, sollten nach Einschätzung der befragten Unternehmen zukünftig Aus- und Weiterbildungsinhalt werden. Giftige Dämpfe und feinsten Schleifstaub (Aerosole) stellen zudem Anforderungen an Arbeitssicherheit und Gesundheitsschutz. Atemschutztechniken und Methoden der Hallenbelüftung, die eine Einhaltung der MAK-Werte erlauben, müssen geschult werden. Nach Aussage der befragten Unternehmen sind Qualifizierungsmaßnahmen, insbesondere aber auch betriebsbegleitende Fortbildungsmaßnahmen, die dem hohen Anteil Ungelernter in dieser Branche gerecht werden, sinnvoll. In der beruflichen Erstausbildung im Bereich Kunststoff- und Faserverbundtechnik sind wesentliche Regelungen auf dem Stand der 80 er Jahre. Die beruflichen Fertigkeiten der Absolventinnen und Absolventen beschränken sich oft auf die Herstellung von Kunststoff-Kleinteilen. Die befragten Unternehmen haben daher angeregt, das Berufsbild um einen Punkt -Faserverbundtechnik für Windenergieanlagen - zu erweitern.

Aus und Weiterbildung für die On und Offshore Windenergie kommt zu dem Schluß, dass eine Reihe von Weiterbildungsangeboten nicht auf die speziellen Anforderungen der Branche ausgerichtet sind und nennt im Detail Seminare zum Schweißfachmann oder Faserverbundtechniker. Wendet jedoch ein, dass eine Ein Schätzbarkeit bezüglich der Nachfrage des Marktes von Anbieterseite aus Voraussetzung ist<sup>124</sup>

Als häufigste Organisationsform bzw. Methode der Weiterbildung wurden klassische Seminare, Wochenend- und Blockschulung genannt.

Die Chancen zur Weiterbildung werden als sehr unterschiedlich bewertet, welches mit mangelnden Kontakten zu den relevanten Marktakteuren, sowie die Befürchtung, dass Fertigungs- und Montageprozesse zukünftig verstärkt auf günstigere überregionale Ressourcen zurückgegriffen wird.<sup>125</sup>

---

<sup>124</sup> Dunker & Enkelmann 2004:14

<sup>125</sup> Dunker & Enkelmann 2004

## 6 STÄRKUNG DER REGION NORD

Dem Nord- und Ostseeraum wird bei der Entwicklung der Offshore-Windenergie voraussichtlich eine zentrale Rolle zukommen. Erstens ist hier die Landnutzung der Windenergie am weitesten vorangeschritten, Landstandorte sind zunehmend besetzt. Zweitens wird die Wettbewerbsfähigkeit der Windenergie in Nordwesteuropa durch international vergleichsweise hohe Elektrizitätskosten schneller erreicht. Drittens sind Nord- und Ostsee durch die Gewässertiefe und die Nähe zu großen Ballungszentren für diese Energieform sehr gut geeignet. Die Entwicklung der Offshore-Windenergie verspricht somit auch bedeutende Exportchancen im benachbarten Ausland und bietet Entwicklungspotentiale für Häfen.<sup>126</sup>

Regional hat die Windenergie in einigen strukturschwachen Regionen mittlerweile eine herausragende wirtschaftliche Bedeutung gewonnen. Im Hinblick auf die Schaffung und Sicherung von zukunftsorientierten Arbeitsplätze gilt dies insbesondere für die Produktionsstandorte führender Komponenten und Anlagenhersteller, wie zum Beispiel in Aurich Magdeburg, Bremerhaven, Emden und Rostock.<sup>127</sup> (vgl. Kap. 3.8.4 *Spezial Technik Offshore Häfen: Mecklenburg Vorpommern,<sup>128</sup> Schleswig-Holstein<sup>129</sup> und Bremen<sup>130</sup>*)

Die Entwicklung der Windenergiebranche hat insbesondere in der Nord-West Region in Deutschland dazu geführt, dass diese Region inzwischen auch international als „Kompetenzregion-Windenergie“ Wahrgenommen wird.<sup>131</sup>

### 6.1 Maßnahmen und Ziele

Regionale Kompetenz- und Innovationszentren gewinnen als Standortfaktor im globalen Wettbewerb zunehmend an Bedeutung. Um global konkurrenzfähig zu bleiben sollten gegebene innovative Potentiale einer Region möglichst optimal genutzt und vernetzt werden. Dies kann im Allgemeinen durch kurze Wege, informell organisierte Wissens- und Kommunikationsstrukturen, Flexibilität und die Fähigkeit zum internen Know-how-Transfer sowie die Integration des vorliegenden Wissens erreicht werden.<sup>132</sup>

Um die Regionen um Hamburg langfristig als Wirtschaftsstandorte abzusichern würde ein zentrales Technologie- und Kompetenzzentrum unterstützend dabei wirken die Regionen Nord-West und Nord-Ost mit ihren Unternehmen und Dienstleistern durch starke betriebliche Kooperation und Zusammenarbeit mit Hochschulen und Forschungsinstituten an einem Ort zu bündeln. Damit global die Region zu stärken.

---

<sup>126</sup> DENA

<sup>127</sup> Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi) 2009

<sup>128</sup> Garrett 2011

<sup>129</sup> Pistol 2011

<sup>130</sup> Kreiszeitung 2012

<sup>131</sup> ForWind

<sup>132</sup> Zagermann 2009

*„Weg von der Lehrgangorientierung der Bildungsstätte– hin zur Handlungsorientierung im Kompetenzzentrum.“<sup>133</sup>*

Hintergründe für den Aufbau von Technologiezentren liegen im Allgemeinen in einer verstärkten Tendenz hin zur Globalisierung, in der Stärkung der Region sowie der kontinuierlichen Entwicklung zur Informations- und Wissensgesellschaft aufgrund der sinkenden Halbwertszeit des Wissens. Aber auch Strukturwandel in der Berufs- und Arbeitswelt hinsichtlich veränderter Organisationskonzepte im Unternehmen Prozessorientierte Arbeits- und Geschäftsabläufe.

### **Ziele**

- Innovations- und Zukunftsfähigkeit der Gesellschaft und Wirtschaft sichern
- Regionale Wettbewerbsfähigkeit und Fachkräftebedarf sichern
- Individuelle Beschäftigungsfähigkeit sichern

### **Maßnahmen**

- Vernetzung von Lern- und Wissensprozessen
- flexible, aber verbindliche Organisations- und Kooperationsstrukturen
- enge Verzahnung von Berufsvorbereitung und –orientierung, Erstausbildung, ausbildungsbegleitender Zusatzqualifizierung und Weiterbildung
- Bildung regionaler Netzwerke
  - Regionale Kooperation von Unternehmen, Behörden, Bildungs- und Forschungseinrichtungen, Institutionen und gesellschaftlichen Gruppen
- Bildung regionaler Kompetenzzentren
  - Eckpfeiler zur Entwicklung der Wissensgesellschaft
  - Nutzung und Vernetzung überbetrieblicher Kooperation entlang der Wertschöpfungskette und Optimierung der Zusammenarbeit mit Hochschulen und Forschungseinrichtungen.
  - in Politik, Wirtschaft, Forschung und Technik sowie in der Aus- und Weiterbildung
  - Aufgaben: Forschung und Entwicklung, Planung, Beratung und Information, Koordination und Vermittlung, Öffentlichkeitsarbeit, Vermarktung, Produktion, Berufsbildung
- Region: Ein überschaubarer Gestaltungsraum, politisch, wirtschaftlich und kulturell (besitzt eigene Identität, Leitbild, Entwicklungsziele)<sup>134</sup>

### **Qualität der Bildung**

Für die Qualität der beruflichen Bildung ist entscheidend, wie gut es ihr gelingt, Qualifikationen auf dem aktuellen Stand der Technik zu vermitteln. Dabei geht es nicht mehr nur um die richtigen Inhalte, sondern immer mehr um die Geschwindigkeit, mit der die Vermittlung dem Stand der Technik angepasst wird. Für den schnellen Transfer von Innovationen aus Forschung und Entwicklung in betriebliche Anwendungen nutzen

<sup>133</sup> ESSER & Twardy

<sup>134</sup> Zagermann 2009

Unternehmen zunehmend Verfahren des Wissensmanagements. Am Beispiel der vom Bundes Institut für Berufsbildung<sup>135</sup> geförderten Kompetenzzentren wird gezeigt, wie sich durch die Anwendung von Konzepten des Wissensmanagements diese Einrichtungen zu Innovationsbeschleunigern entwickeln lassen.<sup>136</sup>

## 6.2 Hamburg

Die hohe globale Wachstumsrate der Windenergie sowie der bevorstehende Ausbau der Offshore Industrie bieten für die Region Nord-West enorme wirtschaftliche Chancen. Ebenso sind die Ansprüche an Konstruktion, Bau, Errichtung und Wartung dieser immer leistungskräftigeren Kraftwerke mit ihrer stetig wachsenden Größe und Ertragswachstum weiter gestiegen.

Die HAW-Bergedorf plant einen Wind-Technologiepark in Bergedorf. Alle Anlagen des Windparks sollen mit neuester Technik und mit der neuesten Sensorik ausgestattet werden. Labore seien dafür nötig, Leichtbau voranzutreiben. Geplant ist, dass sie gemeinsam mit der Hochschule den Wissenstransfer, technische Innovationen sowie die Aus- und Weiterbildung zukünftiger Energieexperten vorantreiben.<sup>137</sup>

Angesichts der zu erwartenden Qualifikationsbedarfe und Weiterbildungsstrategien der Unternehmen kommt den Forschungseinrichtungen und Kompetenzzentren eine doppelte Aufgabe zu.<sup>138</sup> Zum einen stehen sie an vorderster Front bei der Erforschung neuer Materialien und Verfahren. Zugleich aber sind sie gefragt bei der Konzipierung windspezifischer Wissenskerne, die für den Transfer in die Industrie geeignet sind. Nicht nur Ingenieure, auch Servicetechniker und Mechatroniker können von einem solchen Qualifizierungsangebot profitieren.

Laut einer Studie zum Supply Chain Risiko Management in der deutschen Windenergieanlagenbranche aus dem Jahr 2008:→ 2011 Kieler Branchenfokus

Bei Systemlieferanten und vor allem Anlagenherstellern wurden Risiken in der Bauteilverfügbarkeit, möglichen Lieferverzögerungen, Preisanstiegen sowie Qualitätsmängeln in der Lieferung und bei Bauteilen gesehen. Dies spricht für Chancen neuer, zusätzlicher Marktteilnehmer, die eine Kapazitätsergänzung und Qualitätssicherung bieten.

Forschungseinrichtungen:

2010 Aufstellung Offshore Trainingsturm Husum, Deutschland, WEST GmbH.  
Messmast Amrumbank  
Forschungsplattform Fino  
Bremerhaven Rotorblattprüfstand ausgelegt auf 90 Meter

---

<sup>135</sup> Hahne 2005

<sup>136</sup> Koch 2011

<sup>137</sup> Sidki-Lundius 2011

<sup>138</sup> Hammer & Röhring 2005:41

Off TEC Base hat für die technische Weiterbildung an realen Geräten Prototypen von Siemens-Rotoren erworben, Sitz ist in Nordfriesland an der dänischen Grenze.  
<http://www.offtec.de/> : Offshore Trainings und –entwicklungs-cluster

## 7 UNTERNEHMENSBEFRAGUNG

Um eine hohe Rücklaufquote zu erhalten, wurde die Befragung als Online-Fragebogen angelegt. Zur Umsetzung wurde das Fragebogenprogramm GrafStat4 genutzt.

Ziel der internetbasierten Umsetzung des Fragebogens, mittels Programmierung einer Webseite<sup>139</sup> ist es ein Portal für die dezentrale Erhebung und Verwaltung von Informationen zu schaffen. Für weitere Informationen zu dem Programm wird auf die Website ([www.grafstat.de/](http://www.grafstat.de/)) verwiesen.

### 7.1 Das Fragebogenprogramm GrafStat 4

*„Das Fragebogenprogramm GrafStat unterstützt alle Schritte für die Arbeit an Befragungsaktionen. Vom Aufbau des Fragebogens über ... die Generierung eines HTML-Formulars für Internet-Befragungen [und] ... die Erfassung der Daten ...“<sup>140</sup>*

Das Programm von Uwe Diener ist in der Grundfassung für den öffentlichen Bildungsbereich kostenfrei. Für die Diplomarbeit wurde die kostenpflichtige Lizenz *InterNet* des Programms *GrafStat* verwendet. Sie fördert durch Zusatzprogramme wie „GrafTAN“ und die Anwendung „*DSPMaker*“ eine effiziente Umsetzung internetbasierter Umfragen. GrafStat ist als Bildungsversion in seiner Grundausstattung kostenlos. Um dem Datenschutz gerecht zu werden wurde das Zusatzpaket „*InterNet*“ in einer preisreduzierten Bildungsversion dazu gekauft. Es können im Rahmen dieser Arbeit nicht alle an der Umsetzung involvierten Anwendungen, Programme und Vorgänge umfassend beschrieben werden. Vielmehr geht es darum, die wichtigsten Applikationen und ihren Beitrag zur Zielerfüllung kurz vorzustellen.

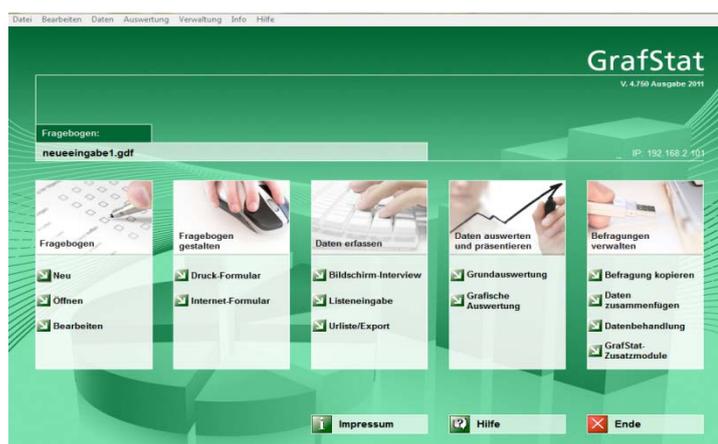


Abbildung 26: GrafStat 4 Hauptbildschirm

<sup>139</sup> [www.christina-gehart.de](http://www.christina-gehart.de)

<sup>140</sup> Diener 2010

### 7.1.1 Ein kurzer Überblick

#### Fragentypen

Jede Frage besteht aus fünf Elementen.<sup>141</sup> Die Nummer wird vom Programm automatisch vergeben. Der Fragentext kann beliebig lang sein. Der Kurztext sollte möglichst kurz sein und wird später als Überschrift benötigt. Der Fragentyp, Einfach- Mehrfachwahl, Skala, Maßzahl oder freie, bzw. offene Fragen. Und die Antwortvorgaben variieren je nach Fragentyp.<sup>142</sup>

Fragentypen können grundsätzlich in vier Typen aufgeteilt werden. Der erste Typ sind die Auswahlfragen, dies sind Fragen in geschlossener oder halboffener Form welche als Antwortmöglichkeiten entweder Einfachwahl, eine Antwort erlaubt, oder Mehrfachwahl, mehrere Antworten erlaubt, zu Verfügung stellen. Die Antworten sollten trennscharf sein und kurz und prägnant formuliert werden. Alle Antwortmöglichkeiten sollten bestmöglich abgedeckt sein, ansonsten eine ergänzende Antwort, zum Beispiel als Sonstiges einfügen. Der zweite Fragentyp sind Skalenfragen. Skalen folgen einer inneren Ordnung der Werte, einer Rangfolge ohne Zwischenwerte, es bleibt zu entscheiden ob man alle Werte benennt, oder nur die Randwerte, ob eine Skala mit einer geraden Anzahl an Werten oder mit einem „Nullpunkt“ wählt. Alle Fragen eines Typs sollten über den gesamten Fragebogen einheitlich gestaltet werden. Der dritte Typ sind Maßzahlen, sie weisen die Eigenschaft auf, meist physikalische Größen zu sein (Länge, Gewicht, etc.), sie haben einen Nullpunkt, jeder zwischenwert ist möglich und sie können bei der Auswertung klassifiziert werden. Der letzte Typ von Fragen sind die freien Fragen mit einem offenen Antwortfeld in das die befragten ihre Antwort in Textform eingeben. Die statistische Auswertung dieser Fragen ist schwierig.<sup>143</sup>

Das HTML-Formular, ist das Formular, welches die befragten auf ihrem Bildschirm sehen. Zusätzlich zu den formulierten Fragen kann man bei Grafstat hier Überschriften, Anredetext sowie Kommentare/ Anleitungen zu den einzelnen Fragen einfügen. In dem HTML-Formular werden gestalterische Aspekte, wie Formularbreite, Farben und Schriftgröße und –art festgelegt.<sup>144</sup> (vgl. Abbildung 2: HTML-Formular und Eingabemöglichkeiten)

#### Internetformular

Das HTML-Formular Ihrer Befragung muss im Internet bereit gestellt werden, damit es von anderen ausgefüllt werden kann. Das *Hyper Text Transfer Protocol* (HTTP) dient zur Kommunikation mit Webservern. Ein *Client* baut dabei eine Verbindung zum *Server* auf und stellt eine Anfrage für eine bestimmte Datei. Der *Server* sendet dem *Client* die erwünschte Information und baut dann die Verbindung wieder ab. Client-Push bezeichnet es wenn, beispielsweise das Versenden einer E-Mail, das Ausfüllen und Abschicken eines Formulars im Web oder das Hochladen von *Dateien* auf einen *Server* per *FTP* (File Transfer Protocol).

---

<sup>141</sup> Kirchhoff 2010

<sup>142</sup> Diener 2010

<sup>143</sup> Porst 2011

<sup>144</sup> Diener 2010

Zur Übertragung werden die Dateien per *TCP* (Transmission Control Protocol) jeweils in kleine Pakete geteilt, nummeriert und mit einer Prüfsumme versehen. Das TCP bestätigt anhand der Prüfsumme den Empfang und setzt die Pakete in korrekter Reihenfolge zusammen, so dass entsprechende Anwender auf angefragte Dateien zugreifen.<sup>145</sup>

Um Dateien per Client-Push von einem lokalen Rechner ins Web auf den Webserver von [www.christina-gehart.de](http://www.christina-gehart.de) zu laden, ist eine spezielle Software notwendig, die das FTP unterstützt. FileZilla FTP Client ist ein kostenloses FTP-Programm. GrafStat bietet einen internen FTP-Dienst an, der das HTML-Formular auf dem Server ablegt.



Abbildung 27: HTML-Formular und Eingabemöglichkeiten

Um die Antworten der Befragten zu erhalten muss für das Programm ein Datensammelpunkt genutzt werden. Dieser wird von unterschiedlichen Servern in Kooperation mit GrafStat bereitgestellt. Da ich die Sicherheit der Daten garantieren wollte, habe ich einen eigenen Datensammelpunkt für ein Jahr gemietet.

### TAN-Assistent

Um falsche Angaben von fremden Personen zu verhindern, wurden die Fragebögen mit TAN Nummern versehen. Dafür bietet das Programm ebenfalls einen kostenpflichtigen dienst, welcher selbständig TAN Nummern verteilt und bei der Auswertung ungültige Formulare Automatisch aussortiert.

<sup>145</sup> Bünning & Krause 2006

## 7.2 Erstellung des Fragebogens

Der Fragebogen wurde zu Beginn der allgemeinen Untersuchung erstellt und zielt in seinem Kern darauf ab, das Produktportfolio der SLV Nord auf seine Eignung als als Träger für Qualifizierung in der Windenergiebranche hin zu überprüfen, bzw. eventuelle Lücken im Bildungsbedarf aufzuzeigen. Entsprechend diente das Produktportfolio der SLV Nord als Datengrundlage zur Erstellung der einzelnen Fragen. In Erweiterung wurden Punkte ergänzt, welche in Experteninterviews mit sechs Vertretern des Elbcampus erarbeitet und für die weitere empirische Untersuchung als relevant identifiziert worden waren.

Beteiligt haben sich:

- 1 Herr Zimmermann, Leiter des Kunststoffzentrum, SLV Nord
- 2 Herr Stasiuk, Ausbilder Kunststoffzentrum, SLV Nord
- 3 Frau Renneberg, Beraterin, ZEWU
- 4 Herr Schmolls, Vertrieb, Elbcampus
- 5 Dr. Bergner, Kaufmännischer Leiter, Elbcampus
- 6 Prof. Dr. Hekmann, BWL, Schwerpunkt Marketing, Berufsakademie Hamburg

Der Fragebogen lässt sich thematisch in drei Bereiche gliedern. Allgemeine Fragen, Fragen zur Aus- und Weiterbildung und Fragen zu Forschung und Entwicklung sowie Dienstleistung. Abschließend wurde ein offenes Feld für freie Antworten gegeben.

### 7.2.1 Übersicht

Der erste Themenbereich beinhaltet Teil 1 und 2 des Fragebogens und stellt einleitende Fragen zu den befragten Unternehmen und den Mitarbeitern. Er dient der allgemeinen Übersicht und Einstufung der Unternehmen hinsichtlich Größe, Branche und Mitarbeiterorganisation. Die Frage in welchem Segment das Unternehmen tätig ist wurde als offene Frage gestellt. Anhand der Antworten wurden die Unternehmen nachträglich in die Bereiche Personaldienstleistung, Betrieb und technische Dienstleistung, chemische Industrie, Stahl- und Maschinenbau und maritime Industrie gruppiert.

Im zweiten Teil der Befragung wurde nach einer Einschätzung zu zukünftigen Bedarfen im Bereich der Aus- und Weiterbildung in der Windenergiebranche gefragt. Dazu wurden die einzelnen Handlungsbereiche der SLV Nord in der Aus und Weiterbildung gegliedert in die Bereiche Schweißtechnik und Metallverarbeitung, Werkstoffkunde und Qualitätssicherung, Kunststoffverarbeitung, hybride Werkstoffkombinationen sowie zusätzliche Bedarfe an A&W in branchenspezifische Zusatzqualifikationen. Des weiteren wurden nach der bevorzugten Organisationsform und -strategie gefragt, welche die Beteiligten in Zukunft bei wachsendem Fachkräftemangel bevorzugen würden. Zu den einzelnen Bereichen wurden Fragen mit Mehrfachantworten und je einer offenen Frage am Ende gestellt. Antwortmöglichkeiten sind unterschiedliche Qualifizierungsmöglichkeiten in den unterschiedlichen Bereichen.

Im dritten Teil wurde nach einer Einschätzung hinsichtlich Bedarfen in den Bereichen der Forschung und Entwicklung gefragt, hierzu wurde erst nach der zukünftigen Gewichtung unterschiedlicher Werkstoffe gefragt. Vertiefend wurden Fragen zu Schwerpunkten gestellt, die in Zukunft voraussichtlich ein größerer Bedarf entstehen kann. Dabei sollten unterschiedliche Prozesse den Projekttypen zugeordnet werden nach praxisnahen, anwendungsorientierten Industrieprojekten oder grundlagenorientierten Forschungsprojekten.

Als vierter Teil der Befragung wurde nach zukünftigen qualitätssichernden Dienstleistungsbedarfen gefragt. Diese wurden durch vertiefende Fragen nach Bedarfen in bau- und fertigungsüberwachenden Tätigkeiten und werkstofftechnischen Untersuchungen ermittelt, ebenso wie Bedarfe nach Zertifizierungen

Insgesamt wurden im Rahmen der Unternehmensbefragung 163 Unternehmen aus allen Bereichen der Windenergiebranche per E-Mail angeschrieben. Die Tätigkeitsfelder der befragten Unternehmen umfassen alle Bereiche der Windindustrie, sowohl direkte als auch indirekte Beschäftigte, wie zum Beispiel Hersteller, Betreiber, Zulieferer und maritime Industrie. Als Datengrundlage dienten einige öffentlichen Firmencluster-Kontaktlisten und Mitgliederverzeichnisse aus öffentlich zugänglichen Listen im Internet<sup>146</sup> sowie eigene Kontakte welche auf Messen während der Bearbeitung geknüpft wurden und vorhandene Kontakte welche die SLV Nord, für die Befragung, zur Verfügung gestellt hat.

Geantwortet haben insgesamt 61 Unternehmen, das entspricht einer Rücklaufquote von 37,42 %. Von diesen 61 Antworten haben 19 Unternehmen schriftlich geantwortet, dass sie gerne Helfen würden, der Fragebogen jedoch auf Themen abzielt, die sie nicht beantworten können. Ausgefüllt wurden 41 Fragebögen, davon drei mit zu wenig Antworten so dass diese ebenfalls nicht in die Bewertung einfließen. Damit konnten noch 93% der erhaltenen Fragebögen ausgewertet werden.

Die befragten Unternehmen wurden auf folgende Segmente verteilt:

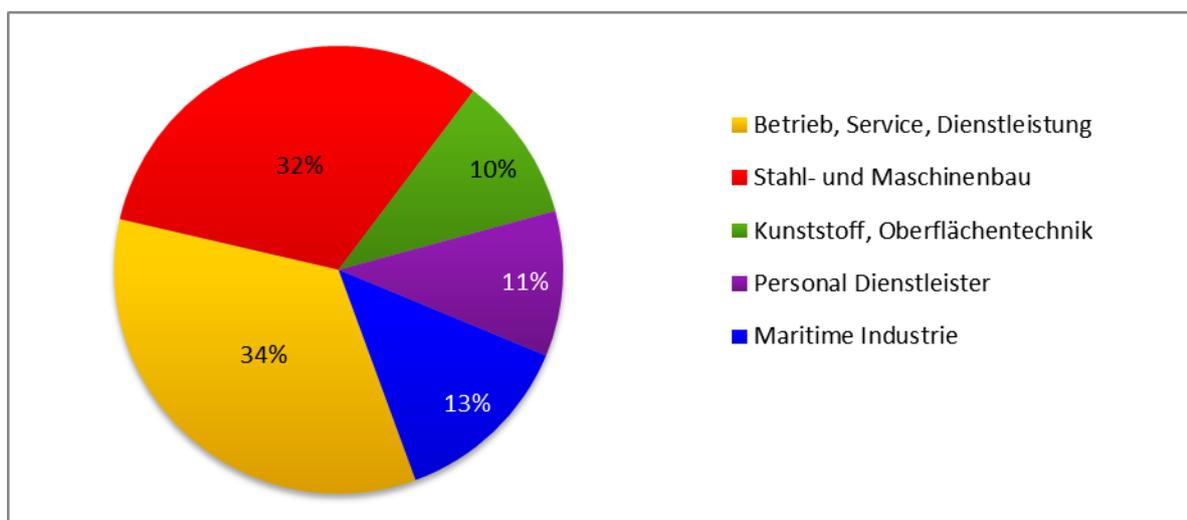


Abbildung 28: Verteilung Unternehmenssegmente

<sup>146</sup> [www.wab.net](http://www.wab.net); [www.wind-energie.de](http://www.wind-energie.de); [www.maritime-technik.de](http://www.maritime-technik.de); [www.iwr.de](http://www.iwr.de); [www.windbranche.de](http://www.windbranche.de)

Der Rücklauf aus den Bereichen Betrieb, Service und Dienstleistung von 13 Fragebögen, war am erfolgreichsten. In dem Segment des Stahl und Maschinenbaus kamen 12 Bögen zurück, Kunststoff- und Oberflächentechnik, sowie Personaldienstleister haben je 4 mal geantwortet, Unternehmen aus dem maritimen Geschäftsbereich haben mit 5 Fragebögen teilgenommen.

Erwartungsgemäß konnte kein Fragebogen ausgewertet werden, der aus dem Geschäftsbereich der Finanzierung stammt. Da der Betrieb einer Windkraftanlage oder Windparks meist in die Hand von Dienstleistungsunternehmen gegeben wird, fallen die Unternehmens-Segmente Dienstleister und Betreiber zusammen.

### **Segmente**

Die Verteilung in die verschiedenen Unternehmensbereiche erfolgte nach den Angaben die die Befragten im ersten freien Fragenfeld angegeben haben.

Zu dem Bereich Betrieb, Service und Dienstleistung kamen Unternehmen aus den Sparten technische Dienstleistung, Service und Wartung von Rotorblättern und Anlage, Errichtung und Betrieb On- und Offshore, kaufmännische und technische Betriebsführung, Projektentwicklung, Logistik, Forschung und Entwicklung sowie Prüfung und Zertifizierung

Zu dem Bereich Stahl- und Maschinenbau wurden Unternehmen aus den Sparten Stahlbau, Maschinenbau, Umwelttechnik, Bauhauptgewerbe, Versorgungstechnik, Schweißgerätehersteller, Meßtechnik und Handel mit schweißtechnischen Produkten gezählt.

In den Bereiche Kunststoff- und Oberflächentechnik, Personaldienstleister und maritime Industrie haben die Befragten das auch so angegeben.

## **7.3 Ergebnisse**

Die Zurückhaltung der Unternehmen ist unter anderem darauf zurückzuführen, dass Unternehmen aus allen Bereichen angeschrieben worden sind. Da die Befragung hauptsächlich an produzierende Unternehmen gerichtet war, konnte ein Großteil der Angeschriebenen Firmen nicht antworten.

Trotz allem kann wegen des zurückhaltenden Feedbacks der Unternehmen, mit nur 30 %, die Befragung im strengen Sinne der Statistik nicht repräsentativ angesehen werden.<sup>147</sup> Das bedeutet, dass Rückschlüsse auf alle Unternehmen der Branche nur eingeschränkt möglich sind. Die Ergebnisse sind jedoch umfangreich genug, als dass Vergleiche mit den zuvor erhobenen Marktinformationen und -trends durchaus möglich sind und einen Einblick in die aktuelle Stimmungslage der Branche bietet.<sup>148</sup>

---

<sup>147</sup> Müller-Benedict 2011:27

<sup>148</sup> Kirchoff 2010

### 7.3.1 Aus und Weiterbildung

Der erste Teil des Fragebogens beschäftigt sich mit den erwarteten Bedarfen der Befragten Unternehmen im Bereich der Aus- und Weiterbildung in der Windenergiebranche. Der Teil umfasst drei Fragenblöcke. Der erste Fragenblock ist zugleich der verhältnismäßig größte Teil des ganzen Fragebogens. Gefragt wird direkt nach zukünftigen Bedarfserwartungen im Bereich der Aus- und Weiterbildung, in fünf thematischen Bereichen. Im zweiten Fragenblock wird nach der bevorzugten Qualifizierungsstrategie gefragt. Das Interesse eine Windkraftanlage zu Schulungszwecken oder zu einem Prüfstand für Rotorblätter Zugang zu können ist das Ende dieses Teils des Fragebogens.

#### Gesteigerte Bedarfserwartung in der Aus- und Weiterbildung

Die Befragten hatten die Möglichkeit zu unterschiedlichen Bereichen der Aus- und Weiterbildung verschiedene Qualifikationen zu wählen, Mehrfachnennungen waren möglich sowie am Ende jeder Fragestellung ein offenes Feld für freie Antworten. Die Angaben in Prozent beziehen sich in diesem Teil auf die gesamte Anzahl an verwertbaren Fragebögen. Das entspricht N=38 Fragebögen.

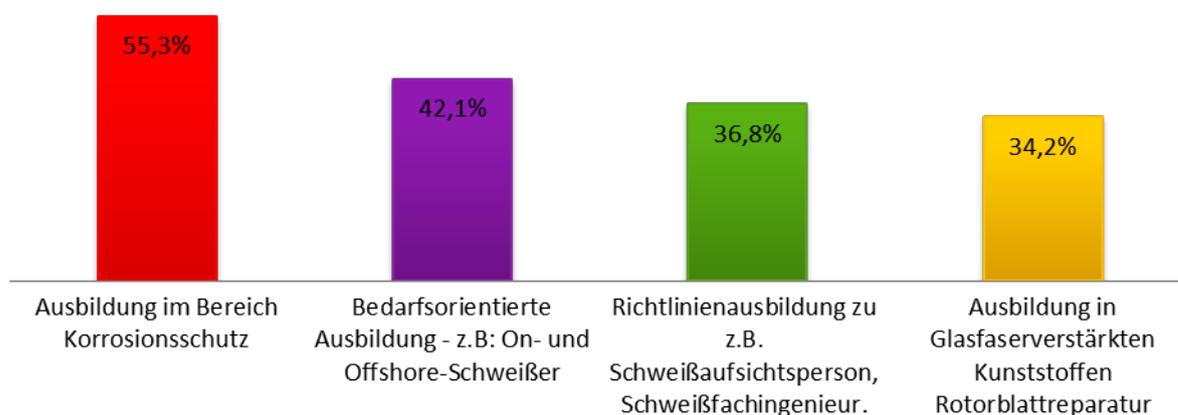


Abbildung 29: Erwartete Bedarfe in der Aus- und Weiterbildung

Abbildung 4 zeigt die Bereiche der Aus und Weiterbildung die von allen Befragten als die wichtigsten eingestuft wurden. Als wichtigste Ausbildung wurde im Bereich Qualitätssicherung und Werkstoffkunde die Ausbildung in Korrosionsschutztechniken genannt, noch vor den Ausbildungen zu einem der klassischen Schweißberufe.

Auf die Frage nach gesteigerter Bedarfserwartung in der Aus- und Weiterbildung in Bereichen der Schweißtechnik und Metallverarbeitung gaben 42% der Befragten an, eine bedarfsorientierte Ausbildung – z.B.: Schweißer für On- und Offshorebaugruppen in Zukunft zu erwarten, das entspricht einer Quote von 59% von allen ausgefüllten Fragebögen. (vgl. Anhang II)

Weitere 37% gaben an in Richtlinienausbildung zur Schweißaufsichtsperson einen gesteigerten Bedarf zu erwarten. Zusätzlich gab jeweils eine befragte Person in dem offenen Antwortfeld an, dass Qualifikationen für „Schweißer für den schweren Stahlbau“, „Maschinenbediener UP bzw. UP-Schweißer“, „GL Rules Offshore Richtlinienkompetenzen

und Wind“ sowie „der Bezug zum Thema Schiff mit Fokus auf WKA“ als interessante Bereiche zur Erweiterung des Angebots der Aus- und Weiterbildung in den Bereichen der Schweißtechnik und Metallverarbeitung in Zukunft einen gesteigerten Bedarf erfahren könnten.

Auf die Frage nach gesteigerter Bedarfserwartung in der Aus- und Weiterbildung in Bereichen der Qualitätssicherung und Werkstoffkunde gaben 55% der Befragten an, einen gesteigerten Bedarf in Korrosionsschutztechniken zu erwarten, als freie Antwort wurden wurde je; „...unter Berücksichtigung der kommenden DIN-EN 1090“; „Qualitätsmanagementbeauftragter“ und „Ausbildung im Bereich Werkstoffkunde Offshore Stähle nach DIN EN 10225“ zusätzlich einmal genannt.

Die Frage nach Aus und Weiterbildung in der Kunststoffverarbeitung nannten etwa 34%, Richtlinienausbildung der Glasfaserverstärkten Kunststoffen, bei dieser Frage gab es 58% Enthaltungen. Dies ist dadurch zu begründen, dass die Sparte Kunststoff und Oberflächentechnik mit nur 10 % einen geringen Anteil der Antworten ausmacht. Betrachtet man die Verteilung der Antworten über die Sparten, sieht man, dass 63% der Befragten Betreiber, erwarten einen gesteigerten Bedarf in Richtlinienausbildung in Glasfaserverstärkten Kunststoffen und Rotorblattreparatur, vgl. Abbildung 5: Gesteigerte Bedarfserwartung der einzelnen Sparten.

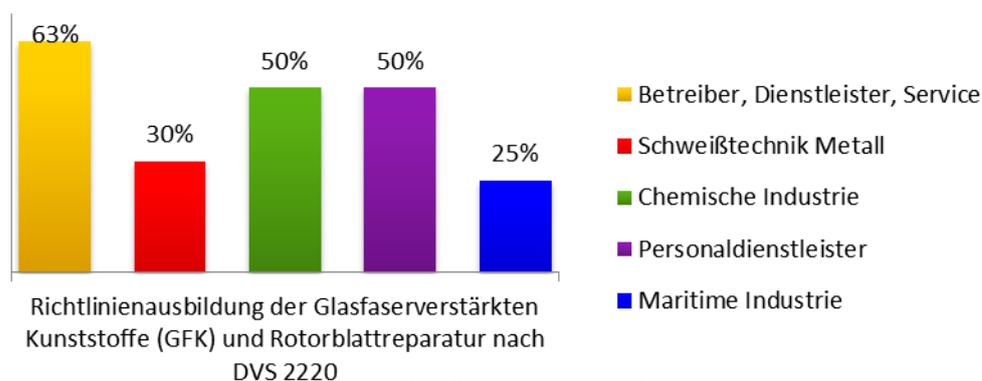


Abbildung 30: Gesteigerte Bedarfserwartung der einzelnen Sparten

Bei der letzten Frage des Themenblocks über Aus- und Weiterbildungsbedarfe in branchenspezifischen Zusatzqualifikationen nannten etwa 63% die Ausbildung im Umgang mit Persönlicher Schutzausrüstung (PSA), und technisches Englisch. Von knapp 58 % wurde Weiterbildungsbedarf in Arbeitssicherheit (SCC) angegeben, siehe Abbildung 6: Bedarfserwartung nach branchenspezifischen Zusatzqualifikationen. Zusätzlich gaben die Befragten an „Basic BOSIET“; „Sachkundenachweis, Wartungstraining“; „Für SVT am besten FISAT Level 1 und 2“; als Zusatzqualifikation zu gebrauchen.

BOSIET – Basic Offshore Safety Induction & Emergency Training

FISAT Level 1 und 2 – Seilzugangstechnik :

- Level 1 – Grundkurs Höhenarbeiter
- Level 2 – Aufbaukurs Höhenarbeiter
- Level 3 – Aufsichtsführender Höhenarbeiter (zur Info)

### Anpassungsstrategie/ Weiterbildungsformen

Kurzseminare und modulare Weiterbildung wird klar bevorzugt als alternative für die Ausbildung in den erneuerbaren Energie gesehen. (vgl. Abbildung 7: Bevorzugte Weiterbildungsstrategie)

Daneben wurde nach bevorzugten Grundlagenausbildungsbedarfen gefragt, dabei haben sich die gegebenen Antwortmöglichkeiten, Fachtheoretische Lehrgänge, wie z.B. zur Schweißaufsichtsperson oder fachpraktische Lehrgänge, z.B. Schweißen, Laminieren, Prüfen, die Waage gehalten

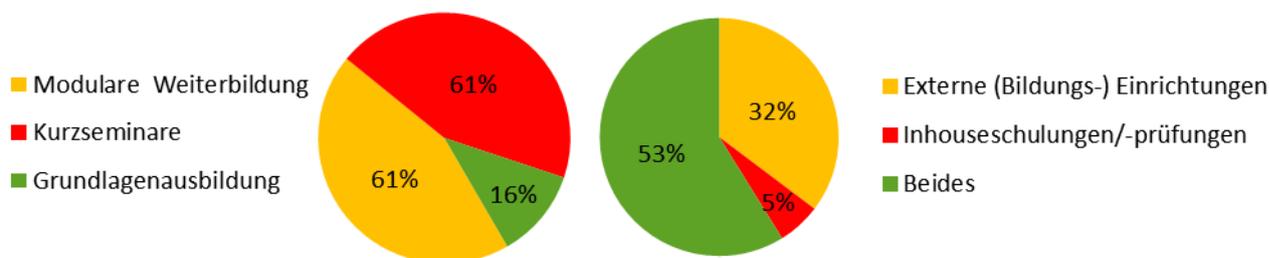


Abbildung 31: Bevorzugte Weiterbildungsstrategie

Zusätzlich wurde nach dem Bedarf gefragt, Zugang zu einem Rotorblattprüfstand oder zu einer Windkraftanlage zu Schulungsmöglichkeiten zu haben. Die Möglichkeit eines Rotorblattprüfstandes wurde als weniger wichtig erachtet, 45% der Befragten stufen ihr Interesse als „gering“ ein. Zugang zu einer realen Windkraftanlage zu Schulungszwecken zu haben, wurde von knapp 40% der Befragten als „stark“ eingestuft.

### 7.3.2 Forschung und Entwicklung

Der zweite Teil der Befragung behandelt die erwarteten Bedarfe in Forschung und Entwicklung. In zwei Fragenblöcken wird erst die Bedeutung verschiedener Werkstoffe für die Kunststoffverarbeitung gefragt, es hat ca. ein Drittel aller Befragten Personen die Bedeutung von allen drei Antwortmöglichkeiten, GFK, CFK und hybride Werkstoffe als wichtig eingestuft.

Der zweite Teil des Fragenblocks sollte für unterschiedliche Verfahren die zukünftigen Forschungsschwerpunkte aufzeigen. Die Forschungsschwerpunkte können in anwendungsorientierte, praxisnahe Industrieprojekte oder grundlagenorientierte Forschungsprojekten getestet werden. In diesem Fall waren Mehrfachnennungen möglich und zu jedem der beiden Bereiche wurde am Schluss wieder ein freies Feld gegeben.

58% der Befragten gaben an, als Forschungsschwerpunkte, Fertigungstechnik und 55% automatisierte Schweißprozesse in Form von praxisnahen, und anwendungsorientierten Industrieprojekten zu sehen.

Im Bereich der grundlagenorientierten Forschungsprojekte wird ein deutlicher Bedarf nach Werkstofftechnischen Untersuchungen von 63% der Befragten genannt, Fertigungstechnik wurde von 56% genannt.

Als freie Antworten wurden „Korrosionsschutz“ und „Metallurgie“ als weitere Verfahren mit Entwicklungsbedarfen genannt.

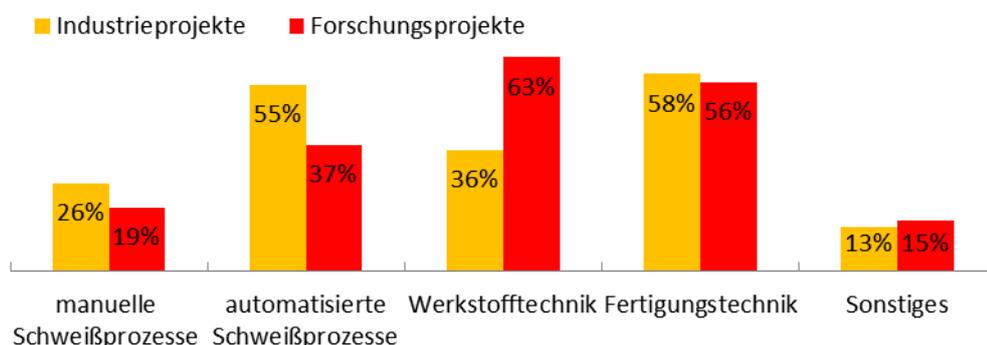


Abbildung 32: Bedarfe in Forschung und Entwicklung

Verteilt auf die einzelnen Unternehmenssparten sieht man deutlich, dass besonders Unternehmen aus der Sparte Kunststoff und Beschichtung, hier chemische Industrie genannt, einen deutlichen Bedarf an grundlagenorientierten Forschungsprojekten im Bereich der Werkstofftechnik erwarten, von allen Unternehmen aus dem Bereich Kunststoff und Beschichtung gaben 60% einen Bedarf an. Vergleiche hierzu Abbildung 9: Schwerpunkte der Forschung und Entwicklung nach Sparte, alle Prozentangaben beziehen sich auf die Verteilung in den einzelnen Sparten.

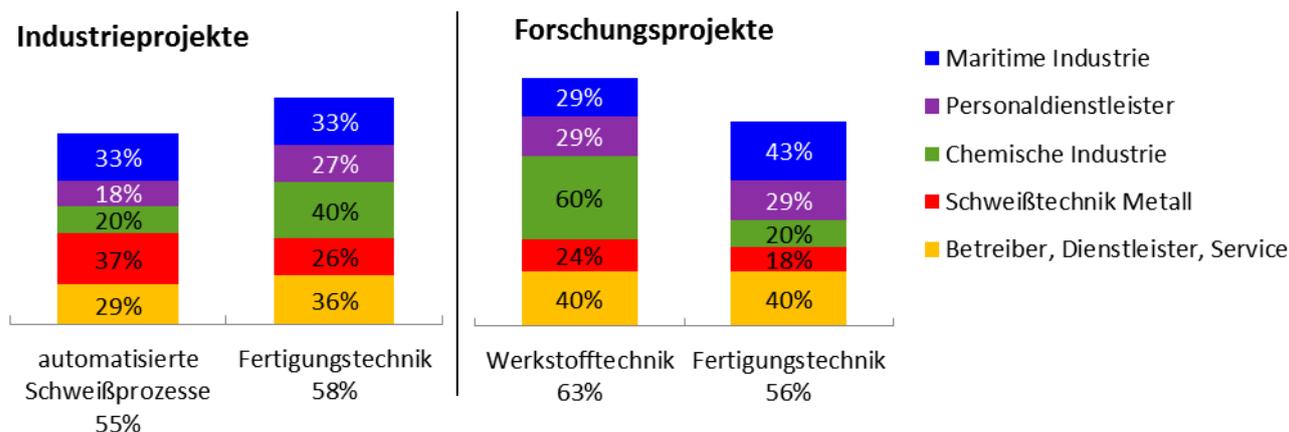


Abbildung 33: Schwerpunkte der Forschung und Entwicklung nach Sparten

### 7.3.3 Dienstleistung

Der letzte Teil der Befragung fragt nach Dienstleistungsbedarfen unterteilt in drei Fragenblöcke. Der erste Teil fragt nach bau- und fertigungsüberwachenden Tätigkeiten im Unternehmen der zweite erfragt den Bedarf nach werkstofftechnischen Untersuchungen und der abschließende Teil des Fragenblocks und des ganzen Fragebogens fragt nach Zertifizierungsbedarfen.

#### Bau und fertigungsüberwachende Tätigkeiten

Im ersten Teil des Fragenblocks sollten die Befragten den die Höhe des Bedarfs im eigenen Unternehmen nach speziellen bau- und fertigungsüberwachenden Tätigkeiten einschätzen. Im Anschluß war wieder ein offenes Feld für freie Antworten

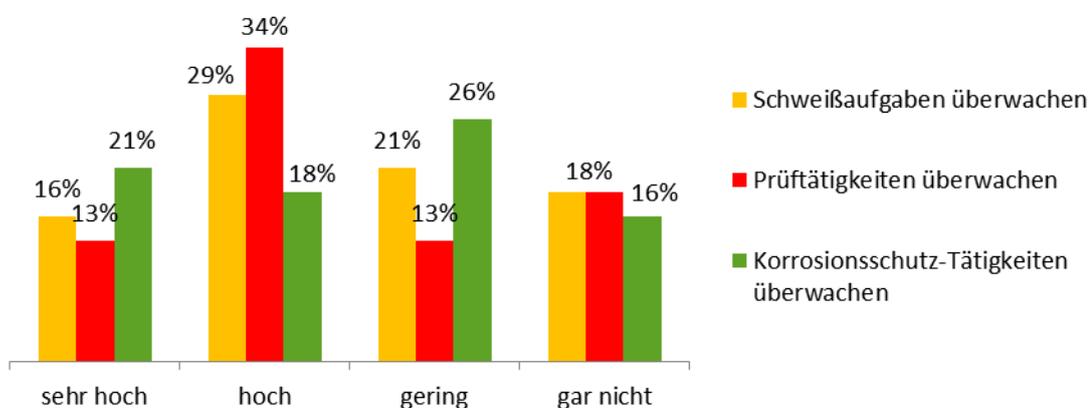


Abbildung 34: Bedarf an bau- und fertigungsüberwachenden Tätigkeiten

Der höchste Bedarf wurde für die Überwachung von Prüftätigkeiten genannt, 34% der Befragten gaben einen hohen Bedarf im Unternehmen an. Die Überwachung von Schweißaufgaben wurde von knapp 30% als hoher Bedarf genannt. Der Bedarf nach Überwachung von Korrosionsschutz-Tätigkeiten wird von 21% als sehr hoch eingestuft, von 26% als gering.

Als freie Antworten wurden zusätzlich „Beratungen“, „Konstruktion, Lagerhaltung, Werkstoffe, Dokumentation“ und „Prüfung der Konstruktion auf Fertigungsgerechtigkeit“ genannt.

#### Werkstofftechnische Untersuchungen

Niemand hat werkstofftechnische Untersuchungen als sehr wichtig angegeben, nur Zerstörungsfreie Werkstoffprüfungen wurden von 42% der Befragten unter hohem Bedarf angegeben. (vgl. Abbildung 11: Bedarf an Werkstofftechnischen Untersuchungen)

Im allgemeinen wurden Werkstofftechnische Untersuchungen unter geringem bis gar keinem Bedarf eingestuft. Abgesehen von der zerstörungsfreien Werkstoffprüfung wurden mechanisch technologische, mobile Werkstoffprüfungen und Prüfung von Verbundbauweise.

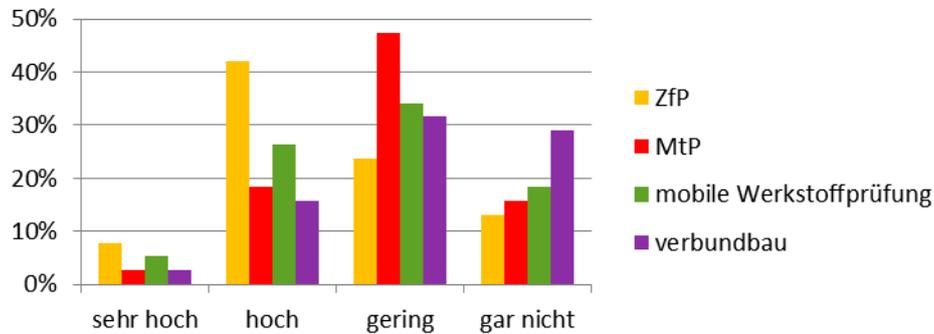


Abbildung 35: Bedarf an Werkstofftechnischen Untersuchungen

### Zertifizierungsbedarf

63% der Befragten haben angegeben einen gesteigerten zertifizierungsbedarf im Bereich der Qualitätsmanagement-Anforderungen zu haben, die restlichen Zertifizierungen in den gegebenen Antwortmöglichkeiten wurden als weniger wichtig erachtet, vergleiche hierzu Abbildung 12: Zertifizierungsbedarfe)

Insgesamt sechs Befragte, 16%, habe einen zusätzlichen Bedarf an folgenden Zertifizierungen angegeben:

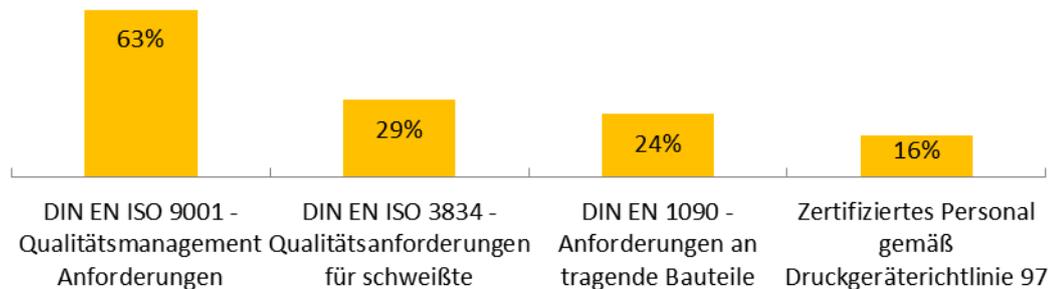


Abbildung 36: Zertifizierungsbedarfe

DIN EN 45011	–	Allgemeine Anforderungen an Stellen, die Produktzertifizierungssysteme betreiben
DIN 19704	–	Allgemeine Anforderungen an Stahlwasserbauten
EN ISO 14001	–	Allgemeine Anforderungen an Umweltmanagementsysteme
18001	–	Arbeits- und Gesundheitsschutz – Managementsysteme - Anforderungen
SCC	–	Safety Certificate for Contractors
GW 301	–	Anforderungen und Prüfungen an Unternehmen zur Errichtung, Instandsetzung und Einbindung von Rohrleitungen
FW 601	–	Zertifizierung von Rohrleitungsbauunternehmen als Fachunternehmen gemäß AGFW-Arbeitsblatt-FW 601

## 8 ZUSAMMENFASSENDE ERKENNTNISSE

Meiner Ansicht nach eignet sich eine SLV im Bereich der Aus- und Weiterbildung sehr gut dafür sich als Weiterbildungspartner für die Windenergiebranche zu etablieren. Die Analyse der aktuellen Marktsituation und –prognosen dieser Arbeit hat gezeigt, dass ein Anstieg der Beschäftigung in den Bereichen der Schweiß- und Fügetechnik hauptsächlich in der maritimen Industrie und in der Kunststoffindustrie zu erwarten sein wird. (vgl Kapitel 5) Die untersuchungsrelevanten Bereich für eine SLV liegen hauptsächlich in der indirekten Beschäftigung der Zulieferindustrie.

### 8.1 Geeignete Angebote Aus und Weiterbildung

**Schweißer** für On- und Offshore-Baugruppen → Einsetzbar in Bereichen der Öl-, Gas-, und Windindustrie. Bedienung von Unterpulver-Schweißanlagen. Selbständige Erfassung von Fehlern und fachgerechte Ausbesserung. Zusätzlich, je nach Wunsch und Anforderung: Rissprüfung mit Magnetpulver- und Farbeindring- Prüfung, an Schweißnähten, Safety Certificate for Contractors (SCC) Schulung und Prüfung und Offshore-Sicherheitstraining. **Grundlagen:** Mathematik, Physik, Chemie, Mechanik, Allgemeine Schweißtechnik, Werkstoffe und Arbeitssicherheit, On- und Offshore-Anlagen der Öl-, Gas-, und Windenergiebranche, Metall-Aktiv-Gas-Schweißen, Lichtbogenhandschweißen, UP-Schweißen, Schweißnahtvorbereitung, Sichtprüfung, Reparaturschweißen, Reparatur von Beschichtungen, Ersthelferausbildung, Rissprüfung.

**Containerschlosser** → Container finden verstärkt als mobile Raumlösungen Verwendung, zum Beispiel als Wohncontainer, Büro- oder Sanitärcontainer und Hafencontainer. Hierzu bildet die SLV Fachkräfte mit speziellen Kenntnissen im Schweiß- und Containerbau und den im Container zu verarbeitenden Materialien aus. Ebenso können diese Fachkräfte alle anfallenden Reparaturen und Umbauten erledigen. Die SLV arbeitet hierzu in Kooperation mit dem Amt für Arbeitsschutz und Hamburger Reparaturbetrieben. In Zukunft könnten einige der in diesem Kurs vermittelten Kenntnisse brauchbar werden in der Maritimen Industrie bei der Fertigung von Wohn- und Arbeitscontainer auf Offshore -Plattformen. → Die Unternehmensbefragung hat ergeben, dass die Erweiterung der Ausbildung die Offshore Spezifischen Techniken, wie zum Beispiel Spezialschiffe, Schlepper, Schwimmkäfer erwünscht ist. Diese Ausbildung könnte vertieft werden um den Bedarf an Wohncontainern auf Wohnplattformen und Umschaltcontainer auszubauen. Eventuell bietet sich hier eine Erweiterung des Angebots durch Schweißen im Schiffbau, mit besonderem Fokus auf die speziellen Installations-Schiffstypen an.

Im Bereich der Kunststoffverarbeitung ist die SLV Nord in einem guten Kooperationsvertrag mit der BUB in Bremen, dort werden Inhouse-Prüfungen von Fachkräften für Rotorblattreparatur durchgeführt.

Die Weiterbildung zum Schweißen von Betonstahl könnte im Bereich der Turmfertigung genutzt werden.

Das Werkstoffprüflabor könnte einen Schwerpunkt auf Qualitätskontrollen durch Videoendoskope und Ultraschall anbieten, welches spezifisch den Branchen der Windenergie angeboten wird.

Dem Standort Hamburg fehlen bislang die Kapazitäten, um die Weiterbildung zum Servicetechniker für Windenergie praktisch zu unterstützen oder weitere windenergiespezifische Lehrgänge mit Bezug zur maritimen Wirtschaft vollständig durchzuführen. Die wichtigsten Kontakte in der näheren Umgebung sind meiner Meinung nach vorhanden. Als Grundlagenausbildung wurde nur das Schweißen für schweren Stahlbau als fehlend angemerkt, dafür hat die SLV keine praktische Umsetzungsmöglichkeiten.

## 8.2 Ergebnisse Werkstoffkunde und Qualitätssicherung

Im Bereich der Kunststoffverarbeitung liegt viel Entwicklungspotenzial, sowohl für die Bereiche Aus und Weiterbildung, als auch in F+E und Qualitätssicherung. Wie die Marktanalyse gezeigt hat, ist die Quote an ungelerntem Personal in der Kunststoffbranche deutlich am höchsten.

Im Bereich Werkstoffkunde könnte ein zusätzlicher Fokus auf eine Früherkennung von Materialfehlerndurch geeignete Messysteme eine Erweiterung bringen. Ziel dieses neuen Forschungsvorhabens ist die Entwicklung und Realisierung eines Prototypen für ein On- und Offline-Überwachungssystem von Verbundstrukturen, um Strukturschwächungen durch Krafteinwirkung auf Rotorblätter für Propellerflugzeuge in einem möglichst frühen Stadium zu erkennen. Eingesetzt werden soll dieses Condition-Monitoring-System (CMS) zunächst in den Rotorblättern von Luftfahrzeugen. Es soll jedoch so konzipiert werden, dass ein späterer Einsatz in anderen Propellersystemen wie z. B. Windkraftanlagen oder Schiffsantrieben möglich ist. Forschung und Entwicklung in den Bereichen der Kunststoffverarbeitung<sup>149</sup>

Daneben hat die DIN<sup>150</sup> → (vgl Kapitel 3.5 Fertigung Turm) gemeinsam mit der NAS ein neues Normungsprojekt ins Leben gerufen, welches die Sicherheits- und Qualitätsanforderungen an Schweißverbindungen in Windkraftanlagen definieren soll

*Durch den zunehmenden Einsatz von Schweißungen an den Türmen gewinnen folglich Normen für deren sichere Durchführung und Beurteilung an Bedeutung. Durch die Anwendung von Normen erhalten die Hersteller eine sichere Grundlage für ihre Produkte. Prüfstellen verfügen dadurch über einheitliche Kriterien, nach denen sie die Verbindungen auf ihre Sicherheit und Festigkeit prüfen können, und Anwender können auf einheitliche Verfahren und Komponenten verweisen und zurückgreifen. Auch die Vergleichbarkeit der Schweißverbindungen wird so sichergestellt. Zitat DIN*

<sup>149</sup> Hochschule Landshut 2009

<sup>150</sup> DIN

Hierbei eröffnet sich ein klares Potential für die SLV Nord am Entstehungsprozess aktiv teilzunehmen.

### **8.3 Standort/ Technologischer Vorsprung/ Markt**

Der Offshoremkt steht noch am Anfang seiner Entwicklung. Daher besteht jetzt die Chance, durch ein bedarfsgerechtes Infrastrukturangebot und durch die Entwicklung sinnvoller qualifizierungs-Systeme gleich zu Beginn der Marktentwicklung relevante Akteure für langfristige Zeiträume an die SLV Nord zu binden.

Dank der guten Exportbedingungen (zentrale Lage, Häfen, Wasserwege) kann Deutschland eine maßgebliche Rolle bei der Deckung des globalen Bedarfs spielen, der durch die windbasierte Energieerzeugung entsteht. Deutschland eignet sich damit auch als Versorgungsbasis der nordeuropäischen Offshore-Märkte. Laut Bundesverband Windenergie (BWE) lag die Exportquote im Jahr 2008 bei 80 Prozent.

Der Offshore Markt wächst stark und Deutschland hat gute Aussichten sich global an der Spitze des Marktes zu präsentieren. Voraussetzung dafür ist eine gut funktionierende Infrastruktur. Daher ist es besonders wichtig, den technologischen Vorsprung der deutschen Unternehmen hinsichtlich Küstenentfernung und Wassertiefe, auch in Zukunft aufrecht zu erhalten und auszubauen.

Es besteht ein enormer Forschungsbedarf im Bereich der Offshore Industrie. Dies betrifft technische Fragen (Anlagenentwicklung, Anlagenverfügbarkeit etc.), Fragen der Gründung und des Korrosionsschutzes sowie Fragen der morphologischen und ökologischen Folgewirkungen. Daher ist durch den Offshore Wind Park-Betrieb zumindest mittelfristig die Ansiedlung von Forschungseinrichtungen an relevanten Standorten zu erwarten.<sup>151</sup>

### **8.4 Unterstützen der Energiewende**

Die jüngsten Ereignisse im Atomkraftwerk Fukushima in Japan erzeugen derzeit eine neue Dynamik in der Frage der Energiewende und der Energiegewinnung nach Ende des atomaren und fossilen Zeitalters.

Während der Durchführung der Arbeit, habe ich den persönlichen Eindruck bekommen, dass in dieser sehr jungen und dynamischen Industrie ein reger Austausch herrscht und schnelle Reaktionen Voraussetzung sind um daran teilzuhaben. Den sich stetig verändernden Bedarfen des Marktes kann meiner Einschätzung nach nur durch eine aktive Präsenz entgegnet werden. Vor allen Dingen das Netzwerk in Norddeutschland zu stärken und auszubauen scheint für mich für Hamburg unabdingbar.

---

<sup>151</sup> Pistol 2011

## 9 AUSBLICK

Die vorliegende Studie hat sich vertiefend mit dem Markt der Windenergiebranche beschäftigt. Hierzu wurde zunächst eine Einführung in die Grundlagen der Technik von Windkraftanlagen erläutert. Der Fokus lag hier bereits auf den Bereichen, die für eine Schweißtechnischen Lehr- und Versuchsanstalt als relevant identifiziert worden sind, die Rotorblätter im Bereich der Kunststofftechnik und der Turm im Bereich der klassischen Schweißtechnik.

Die allgemeine Marktsituation hat sich im Laufe der Untersuchung als durchweg positiv präsentiert. Die Branche der Windenergie ist sehr jung und dynamisch. Ein gewisser Einsatz an Öffentlichkeitspräsenz ist bei der sich schnell ändernden Branche unverzichtbar. Generell scheint die Windenergie ein Bereich, der von der SLV Nord gut unterstützt werden kann. Es wurden mehrere Studien gesichtet und ausgewertet und das Ergebnis war, dass alle Szenarien eine positive Entwicklung des Arbeitsmarktes mit sich bringt. Ganz besonders in Norddeutschland. Der Bereich der Offshore-Windenergie hat bereits einigen totgeglaubten Häfen zu neuen Aufträgen verholfen. Bei der Betrachtung, insbesondere des Offshore Bereichs, hat sich gezeigt, dass Norddeutschland sich zunehmend als Technologiestandort Windenergie in der globalen Wirtschaft wahrgenommen wird. Hamburg liegt in der Mitte zwischen den florierenden Häfen in Rostock, Emden und Bremerhaven. Die Lage an sich bietet sich an, Hamburg zu dem „Gehirn“ des Technologiestandortes zu machen der die Region miteinander verbindet.

Die Ansiedlung der großen Unternehmen der Branche im Hamburger Raum spricht ebenso für eine Etablierung auf dem Markt. So ist der Bedarf der Branche groß ein allgemeingültige Qualitätssystem und Normen zu entwickeln. Davon profitieren vor allen Dingen die Hersteller, welche mit einem extern zertifizierten Produkt besser aufgestellt sind und damit ein höheres Vertrauen auf dem Markt genießen.

Im Bereich der Kunststofftechnik hat die Marktanalyse gezeigt, dass hier die größten potentiale bezüglich Aus- und Weiterbildung liegen. Branchenstudien haben ergeben, dass die Kunststoffverarbeitende Industrie im Durchschnitt über die geringste Quote an Qualifizierten Mitarbeitern verfügt. Ausserdem hat die Analyse ergeben, dass Fehler an den Rotorblättern meist auf Fertigungsfehler zurückzuführen sind. Neben dem geringen Anteil an qualifizierten Arbeitern bestehen aktuelle Forschungsvorhaben zu dem Thema der elektronischen Zustandsüberwachung der Rotorblätter, hier steht die Technik am Anfang der Entwicklung und es besteht ein dringender Forschungsbedarf in welchem die SLV Nord sich etablieren kann.

Für den Bereich des Turmes hat die Analyse ergeben, dass das Verfahren des Schutzgasschweißens für die erforderlichen Blechdicken nicht mehr ausreicht, weshalb das Unterpulverschweißen sich als Standard für die Turmproduktion durchgesetzt hat. Zudem sind auch hier aktuelle Forschungsvorhaben im Bereich der Werkstofftechnik an ihren Anfängen. Die DIN fängt gerade an, eine Norm für die Schweißnähte von Windkraftanlagen

zu entwickeln. Es ist zu empfehlen von Anfang an Teil dieser Entwicklung zu sein, um sich einen gewissen Marktvorsprung zu sichern.

Die Unternehmensbefragung welche im Rahmen der Arbeit durchgeführt wurde, hat im wesentlichen ergeben, dass keine neue Ausbildungen gebraucht werden sondern sich die bestehenden Ausbildungsberufe hervorragend für die Branche eignen. So können nicht nur fremde Technologien für den Markt implementiert werden, sondern auch die Ausbildungsberufe. Vielmehr wird von den Unternehmen eine Weiterbildung in branchenspezifischen Dingen gewünscht. So waren im Bereich der Aus- und Weiterbildung die Mehrheit der Befragten für eine Zusatzausbildung in Korrosionsschutz Tätigkeiten, vorzugsweise in externen Einrichtungen. Auch der Forschung und Entwicklung liegt der Schwerpunkt der genannten Bedarfe auf grundlagenorientierten Forschungsprojekten in Bereichen der Werkstofftechnik.

Eigentlich ist die SLV Nord mit dem BZEE der Handwerkskammer nahezu optimal für die Qualifikationsbedarfe in der Branche ausgerichtet, es geht nun weniger um eine Neuerung der Produktpalette, als vielmehr um eine stärkere Marktpräsenz. Als Erweiterung des Bestehenden Angebots sind nur Möglichkeiten des dickwandigen Schweißens und die Verarbeitung von Kohlefaserverstärkten Kunststoffen.

Abschließend lässt sich sagen, dass die hohe globale Wachstumsrate der Windenergie sowie der bevorstehende Ausbau der Offshore Industrie für die Region Nord-West enorme wirtschaftliche Chancen bietet. Das vorhandene Entwicklungspotenzial der Offshore Industrie aus globaler Sicht muss in der Nord-Deutschland, als Globales-Windenergie-(Offshore)-Kompetenzzentrum gefestigt werden.

Eine qualifizierte Gesellschaft ist das Rückgrat von Innovation und Fortschritt. Daher sollte der Schwerpunkt darin liegen die Führungsrolle in der Offshore Branche für den Standort zu erhalten und zu sichern. Eine nachhaltige Ausbildungsstruktur gilt als maßgeblicher Treiber von Innovationen in der internationalen Wettbewerbssituation.

## ANHANG I: DER FRAGEBOGEN




Schweißtechnische Lehr- und Versuchsanstalt Nord  
Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg

**Willkommen zur Befragung**  
**Online-Befragung Diplomarbeit Windenergie 2011**

*Im Rahmen der Befragung werden Ihnen Fragen zu dem Thema Windenergie gestellt. Es soll analysiert werden, welche Qualifikationsbedarfe und ingenieurtechnischen Herausforderungen auf Unternehmen der Windenergiebranche in den kommenden Jahren zukommen. Die Bearbeitung der Fragen wird ca. 10 min in Anspruch nehmen. Ihre Angaben werden selbstverständlich anonym behandelt. Die Auswertung Ihrer Antworten erfolgt durch Diplomandin Frau Gehart, Studentin der Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg, im Auftrag der Schweißtechnischen Lehr- und Versuchsanstalt Nord gGmbH.*

**Vielen Dank, dass Sie sich die Zeit nehmen um an der Umfrage teilzunehmen.**

Bitte zu erst die mitgesendete TAN eingeben und schon gehts los!

Codenummer  (TAN)

### 1. ALLGEMEINE FRAGEN ZUM UNTERNEHMEN

1. In welchem Segment ist Ihr Unternehmen tätig:

2. Prozentualer Anteil der Windenergie am Unternehmensumsatz:

<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
bis 24 %	25 - 49 %	50 - 74 %	75 - 100 %

### 2. PERSONAL

#### 2.1 Mitarbeiter im Unternehmen

3. Anzahl der Mitarbeiter, gesamt:

<input type="radio"/>						
unter 10	10 - 50	49 - 100	101 - 500	501 - 1000	1001 - 5000	mehr als 5000

	<input type="radio"/>					
	bis 2	3 - 5	6 - 10	11 - 50	über 50	

4. Schweißaufsichtspersonen - Schweißfachingenieure; Schweißtechniker, Schweißfachmänner, Schweißpraktiker:

5. Schweißer:

6. Prüfpersonal Zerstörungsfreie Werkstoffprüfung (ZfP) nach DIN EN 473:

7. Sonstiges Personal:

	<input type="radio"/>					
--	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------

#### 2.2 Haben Sie in den letzten 6 Monaten schweißtechnische Fachkräfte...

	nein	ja, Fachbereich:
8. ...gesucht:	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
9. ...eingestellt:	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

#### 2.3 Beschäftigung aus Zeitarbeit

10. Beschäftigt Ihr Unternehmen Mitarbeiter aus Zeitarbeitsfirmen?

ja  nein

11. Wenn ja, welchen prozentualen Anteil machen Mitarbeiter aus Zeitarbeitsfirmen in Ihrem Unternehmen aus?

<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
bis 25 %	25 - 49 %	50 - 74 %	75 - 100 %

**3. AUS- UND WEITERBILDUNG - WINDENERGIE**



**3.1 Bitte kreuzen Sie an für welche der folgenden Bereiche Sie einen gesteigerten Bedarf erwarten:**

**12. Schweißtechnik / Metallverarbeitung (Mehrfachnennung möglich)**

<input type="checkbox"/> Richtlinienausbildung zu Schweißaufsichtspersonen - Schweißfachingenieure, Schweißtechniker, Schweißfachmann	<input type="checkbox"/> Ausbildung im Unterwasserschweißen nach DVS 1801
<input type="checkbox"/> Normative Ausbildung zum Schweißer nach DIN EN 287-1; DIN EN ISO 9606-2 bis -5	<input type="checkbox"/> Sonstiges? <input type="text"/>
<input type="checkbox"/> Bedarfsorientierte Ausbildung -- zum Beispiel: Schweißer für On- und Offshorebaugruppen	

**13. Werkstoffkunde / Qualitätssicherung (Mehrfachnennung möglich)**

<input type="checkbox"/> Ausbildung im Bereich Korrosionsschutz	<input type="checkbox"/> Sonstiges? <input type="text"/>
<input type="checkbox"/> Ausbildung in der zerstörungsfreien Werkstoffprüfung (ZfP) nach DIN EN 473	
<input type="checkbox"/> Ausbildung in mechanisch- technologischer- Werkstoffprüfung (MtP)	

**14. Kunststoffverarbeitung (Mehrfachnennung möglich)**

<input type="checkbox"/> Normative Ausbildung im Kunststoffschweißen, zum Beispiel nach DVS-Regelwerken	<input type="checkbox"/> Richtlinienausbildung von Schweißaufsichtspersonen
<input type="checkbox"/> Richtlinienausbildung im Kleben	<input type="checkbox"/> Sonstiges? <input type="text"/>
<input type="checkbox"/> Richtlinienausbildung der Glasfaserverstärkten Kunststoffe (GFK) und Rotorblattreparatur nach DVS 2220	

**15. Hybride Werkstoffkombinationen (Mehrfachnennung möglich)**

<input type="checkbox"/> zum Beispiel Ausbildung in Metall-Kunststoff- Verbindungen	<input type="checkbox"/> Sonstiges? <input type="text"/>
<input type="checkbox"/> Sonstiges?	

**16. Branchenspezifische Zusatzqualifikationen (Mehrfachnennung möglich)**

<input type="checkbox"/> Technisches Englisch	<input type="checkbox"/> Nachweis für Transport-, Anschlag- und Hebetchnik
<input type="checkbox"/> Erste Hilfe	<input type="checkbox"/> Offshore-Sicherheitstraining
<input type="checkbox"/> Arbeitssicherheit (SCC)	<input type="checkbox"/> Helikoptertraining
<input type="checkbox"/> Höhentauglichkeit (G41)	<input type="checkbox"/> Sonstiges? <input type="text"/>
<input type="checkbox"/> Umgang mit Persönlicher Schutzausrüstung (PSA)	
<input type="checkbox"/> Kenntnis und Beherrschung spezieller Sicherheitsvorschriften für WEA	

**17. Sonstiges? Ergänzungen?**

**3.2 Welche Form der Weiterbildung bevorzugen Sie in Ihrem Unternehmen?**

**18. Welches Lehrgangs- und Seminarangebot ist für Ihr Unternehmen am interessantesten? (Mehrfachnennung möglich)**

<input type="checkbox"/> Modulare spezifische Weiterbildungsmöglichkeiten	<input type="checkbox"/> Kurzseminare
<input type="checkbox"/> Umfassende Grundlagenausbildung in Lehrgängen nach Richtlinien und Normen	

**19. Grundlagenausbildung (Mehrfachnennung möglich):**

<input type="checkbox"/> Fachtheoretische Lehrgänge - Schweißaufsicht; Prüfaufsicht	<input type="checkbox"/> Fachpraktische Lehrgänge - Schweißen; Laminieren; Prüfen
--	--

**20. Welchen Ort bevorzugen Sie für Schulungen?**

<input type="radio"/> Externe (Bildungs-) Einrichtungen	<input type="radio"/> Beides
<input type="radio"/> Inhouseschulungen/ -prüfungen in Ihrem Unternehmen	

**3.3 Wie stark schätzen Sie das Interesse Ihres Unternehmens ein nachfolgende Einrichtungen zu nutzen?**

	sehr stark	stark	gering	gar nicht
21. Zugang zu einer Windkraftanlage zu Schulungszwecken:	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
22. Zugang zu einem Rotorblattprüfstand:	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

**4. FORSCHUNG UND ENTWICKLUNG - WINDENERGIE**

**4.1 Wie hoch schätzen Sie die zukünftige Bedeutung folgender Werkstoffe ein:**

	sehr hoch	hoch	etwas	gar nicht
23. Kohlefaserverstärkte Kunststoffe (CFK)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
24. Glasfaserverstärkte Kunststoffe (GFK)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
25. Hybride Werkstoffkombinationen	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

**4.2 Welche Schwerpunkte sehen Sie für den Bereich Forschung und Entwicklung:**

	Anwendung Schweißprozesse manuell	Anwendung Schweißprozesse automatisiert	Werkstofftechnik	Fertigungstechnik	Sonstiges	
26. Durchführung von anwendungsorientierten, praxisnahen Industrieprojekten (Mehrfachnennung möglich)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
27. Durchführung von grundlagenorientierten Forschungsprojekten (Mehrfachnennung möglich)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	

**5. DIENSTLEISTUNGEN - WINDENERGIE**

**5.1 Wie hoch schätzen Sie den Bedarf an bau- und fertigungsüberwachenden Tätigkeiten in Ihrem Unternehmen ein:**

	sehr hoch	hoch	gering	gar nicht
28. Schweißaufgaben überwachen:	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
29. Prüftätigkeiten überwachen:	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
30. Korrosionsschutz-Tätigkeiten überwachen:	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

31. Sonstige...

- nein
- ja, welche?

**5.2 Wie hoch schätzen sie den Bedarf nach werkstofftechnischen Untersuchungen in Ihrem Unternehmen ein:**

	sehr hoch	hoch	gering	gar nicht
32. Zerstörungsfreie Werkstoffprüfung:	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
33. Zerstörende Werkstoffprüfung:	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
34. Mobile Werkstoffprüfung:	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
35. Verbundbauweise:	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

**5.3 Zertifizierungsbedarf:**

36. An welchen der folgenden Zertifizierungen sehen Sie in Ihrem Unternehmen einen gesteigerten Bedarf? (Mehrfachnennung möglich)

- DIN EN ISO 9001 - Qualitätsmanagement Anforderungen
- DIN EN 1090 - Anforderungen an tragende Bauteile
- DIN EN ISO 3834 - Qualitätsanforderungen für schweißtechnische Fertigungsbetriebe

- Zertifiziertes Personal gemäß Druckgeräterichtlinie 97/23/EG
- Sonstige Zertifizierungen?

**6. ANMERKUNGEN**

37. Haben Sie noch Anmerkungen zu dem Thema?

26.12.11

File: diplomarbeitwindengie.htm

Der Fragebogen ist jetzt:

- noch nicht fertig  
 fertig zum Abschicken

Vielen Dank, dass Sie sich die Zeit genommen haben.

**Bitte schicken Sie den Fragebogen erst ab wenn er fertig ausgefüllt wurde, da pro Person nur ein Fragebogen abgegeben werden kann.**

Wir bedanken uns sehr herzlich für Ihre Unterstützung!

Abschicken

Eingabe loeschen

---

Autor des Fragebogens: Christina Gehart  
eMail: cgehart@slv-nord.de; christina.gehart@haw-hamburg.de  
Institution: SLV Nord; HAW-Hamburg  
Dieses Formular wurde mit GrafStat (Ausgabe 2011 / Ver 4.750) erzeugt.  
Ein Programm v. Uwe W. Diener 9/2011.  
Informationen zu GrafStat: <http://www.grafstat.de>

## ANHANG II: GRUNDAUSWERTUNG DER BEFRAGUNG

### 1.) In welchem Segment ist das Unternehmen tätig

Betrieb	9	(23,68%)
indirekte Dienstleistung	4	(10,53%)
Zuliefer Metall	6	(15,79%)
Stahl- und Maschinenbau	6	(15,79%)
Chemische Industrie	4	(10,53%)
Personaldienstleister	4	(10,53%)
Maritime Industrie	5	(13,16%)
ohne Antwort	0	(0,00%)
Summe	38	

### 2.) Anteil Wind am Unternehmensumsatz

bis 24 %	26	(68,42%)
25 - 49 %	0	(0,00%)
50 - 74 %	4	(10,53%)
75 - 100 %	8	(21,05%)
ohne Antwort	0	(0,00%)
Summe	38	
Mittelwert	1,84	
Median	1	

### 3.) Anzahl Mitarbeiter gesamt

unter 10	5	(13,16%)
10 - 50	9	(23,68%)
49 - 100	9	(23,68%)
101 - 500	4	(10,53%)
501 - 1000	3	(7,89%)
1001 - 5000	3	(7,89%)
mehr als 5000	5	(13,16%)
ohne Antwort	0	(0,00%)
Summe	38	
Mittelwert	3,53	
Median	3	

### 4.) Anzahl Schweißaufsichtspersonen, SFI ST SFM SP

bis 2	17	(44,74%)
3 - 5	5	(13,16%)
6 - 10	2	(5,26%)
11 - 50	2	(5,26%)
über 50	3	(7,89%)
ohne Antwort	9	(23,68%)
Summe	38	
Mittelwert	1,93	
Median	1	

### 5.) Anzahl Schweißer

bis 2	12	(31,58%)
3 - 5	3	(7,89%)
6 - 10	4	(10,53%)
11 - 50	2	(5,26%)
über 50	6	(15,79%)
ohne Antwort	11	(28,95%)
Summe	38	
Mittelwert	2,52	
Median	2	

### 6.) Anzahl Prüfpersonal

bis 2	17	(44,74%)
3 - 5	1	(2,63%)
6 - 10	2	(5,26%)
11 - 50	4	(10,53%)
über 50	1	(2,63%)
ohne Antwort	13	(34,21%)
Summe	38	
Mittelwert	1,84	
Median	1	

### 7.) Anzahl Sonstiges Personal

bis 2	6	(15,79%)
3 - 5	1	(2,63%)
6 - 10	1	(2,63%)
11 - 50	6	(15,79%)
über 50	16	(42,11%)
ohne Antwort	8	(21,05%)
Summe	38	
Mittelwert	3,83	
Median	5	

### 8.) Fachkräfte gesucht?

nein	25	(65,79%)
ja, Fachbereich:	12	(31,58%)
ohne Antwort	1	(2,63%)
Summe	38	

### 9.) Fachkräfte eingestellt?

nein	24	(63,16%)
ja, Fachbereich:	12	(31,58%)
ohne Antwort	2	(5,26%)
Summe	38	

### 10.) Mitarbeiter von Zeitarbeitsfirmen

ja	16	(42,11%)
nein	21	(55,26%)
ohne Antwort	1	(2,63%)
Summe	38	

### 11.) Anteilig Zeitarbeitspersonal

bis 25 %	17	(44,74%)
25 - 49 %	1	(2,63%)
50 - 74 %	0	(0,00%)
75 - 100 %	0	(0,00%)
ohne Antwort	20	(52,63%)
Summe	38	
Mittelwert	1,06	
Median	1	

**12.) A&W Schweißtechnik Metallverarbeitung**

zu Schweißaufsichtspersonen -	14	(36,84%)
Schweißer nach DIN EN 287-1;	11	(28,95%)
Bedarfsorientierte	7	(18,42%)
Sonstiges?	7	(18,42%)
ohne Antwort	11	(28,95%)

Nennungen	55
geantwortet haben	27

**13.) A&W Werkstoffkunde Qualitätssicherung**

im Bereich Korrosionsschutz	21	(55,26%)
zerstörungsfreie Prüfung	9	(23,68%)
mechanisch-technologische P	7	(18,42%)
Sonstiges?	6	(15,79%)
ohne Antwort	11	(28,95%)

Nennungen	43
geantwortet haben	27

**14.) A&W Kunststoffverarbeitung**

Kunststoffschweißen	4	(10,53%)
Richtlinienausbildung im Kleben	6	(15,79%)
Richtlinienausbildung der GFK	13	(34,21%)
Schweißaufsichtspersonen	3	(7,89%)
Sonstiges?	4	(10,53%)
ohne Antwort	19	(50,00%)

Nennungen	30
geantwortet haben	19

**15.) A&W Hybride Werkstoffkombinationen**

Metall-Kunststoff-Verbindun	8	(21,05%)
Sonstiges?	4	(10,53%)
ohne Antwort	26	(68,42%)

Nennungen	12
geantwortet haben	12

**16.) A&W Zusatzqualifikationen**

Technisches Englisch	24	(63,16%)
Erste Hilfe	18	(47,37%)
Arbeitssicherheit (SCC)	22	(57,89%)
Höhentauglichkeit (G41)	19	(50,00%)
Umgang mit PSA	24	(63,16%)
Sicherheitsvorschriften	19	(50,00%)
T. A. und H. Techniken	18	(47,37%)
Offshore-Sicherheitstraining	17	(44,74%)
Helikoptertraining	10	(26,32%)
Sonstiges?	6	(15,79%)
ohne Antwort	5	(13,16%)

Nennungen	177
geantwortet haben	33

**17.) Weiterbildungsformen**

Modulare Möglichkeiten	23	(60,53%)
Grundlagenausbildung	6	(15,79%)
Kurzseminare	23	(60,53%)
ohne Antwort	5	(13,16%)

Nennungen	52
geantwortet haben	33

**18.) Grundlagenausbildung in Form von:**

Fachtheoretische Lehrgänge	16	(42,11%)
Fachpraktische Lehrgänge -	17	(44,74%)
ohne Antwort	14	(36,84%)

Nennungen	33
geantwortet haben	24

**19.) Schulungsort**

Externe Einrichtungen	12	(31,58%)
Inhouseschulungen/ -prüfungen	2	(5,26%)
Beides	20	(52,63%)
ohne Antwort	4	(10,53%)

Summe	38
-------	----

**20.) Zugang WKA**

sehr stark	5	(13,16%)
stark	13	(34,21%)
gering	10	(26,32%)
gar nicht	8	(21,05%)
ohne Antwort	2	(5,26%)

Summe	38
-------	----

Mittelwert 2,58

Median	2
--------	---

**21.) Zugang Rotorblattprüfstand**

sehr stark	5	(13,16%)
stark	7	(18,42%)
gering	15	(39,47%)
gar nicht	7	(18,42%)
ohne Antwort	4	(10,53%)

Summe	38
-------	----

Mittelwert 2,71

Median	3
--------	---

**22.) CFK**

sehr hoch	13	(34,21%)
hoch	11	(28,95%)
etwas	4	(10,53%)
gar nicht	3	(7,89%)
ohne Antwort	7	(18,42%)

Summe	38
-------	----

Mittelwert 1,9

Median	2
--------	---

**23.) GFK**

sehr hoch	12	(31,58%)
hoch	13	(34,21%)
etwas	4	(10,53%)
gar nicht	3	(7,89%)
ohne Antwort	6	(15,79%)

Summe	38
-------	----

Mittelwert 1,94

Median	2
--------	---

**24.) Hybride**

sehr hoch	13	(34,21%)
hoch	12	(31,58%)
etwas	7	(18,42%)
gar nicht	2	(5,26%)
ohne Antwort	4	(10,53%)

Summe	38
-------	----

Mittelwert 1,94

Median	2
--------	---

**25.) Industrieprojekte**

Schweißprozesse manuell	8	(21,05%)
Schweißprozesse automatisiert	17	(44,74%)
Werkstofftechnik	11	(28,95%)
Fertigungstechnik	18	(47,37%)
Sonstiges	4	(10,53%)
ohne Antwort	7	(18,42%)

Nennungen	58
geantwortet haben	31

**26.) Forschungsprojekte**

Schweißprozesse manuell	5	(13,16%)
Schweißprozesse automatisiert	10	(26,32%)
Werkstofftechnik	17	(44,74%)
Fertigungstechnik	15	(39,47%)
Sonstiges	4	(10,53%)
ohne Antwort	11	(28,95%)

Nennungen	51
geantwortet haben	27

**27.) Schweißaufgaben überwachen**

sehr hoch	6	(15,79%)
hoch	11	(28,95%)
gering	8	(21,05%)
gar nicht	7	(18,42%)
ohne Antwort	6	(15,79%)

Summe	38
Mittelwert	2,5
Median	2

**28.) Prüftätigkeiten**

sehr hoch	5	(13,16%)
hoch	13	(34,21%)
gering	5	(13,16%)
gar nicht	7	(18,42%)
ohne Antwort	8	(21,05%)

Summe	38
Mittelwert	2,47
Median	2

**29.) Korrosionsschutz**

sehr hoch	8	(21,05%)
hoch	7	(18,42%)
gering	10	(26,32%)
gar nicht	6	(15,79%)
ohne Antwort	7	(18,42%)

Summe	38
Mittelwert	2,45
Median	3

**36.) Zertifizierung**

DIN EN ISO 9001 - Qualitätsmanagement Anforderungen	24	(63,16%)
DIN EN 1090 - Anforderungen an tragende Bauteile	9	(23,68%)
DIN EN ISO 3834 - Qualitätsanforderungen für schweißste	11	(28,95%)
Zertifiziertes Personal gemäß Druckgeräterichtlinie 97	6	(15,79%)
Sonstige Zertifizierungen?	6	(15,79%)
ohne Antwort	7	(18,42%)

Nennungen	56
geantwortet haben	31

**30.) Sonstiges**

nein	15	(39,47%)
ja, welche?	4	(10,53%)
ohne Antwort	19	(50,00%)

Summe	38
-------	----

**31.) Sonstiges)****32.) ZfP**

sehr hoch	3	(7,89%)
hoch	16	(42,11%)
gering	9	(23,68%)
gar nicht	5	(13,16%)
ohne Antwort	5	(13,16%)

Summe	38
-------	----

Mittelwert 2,48

Median 2

**33.) Zerstörende**

sehr hoch	1	(2,63%)
hoch	7	(18,42%)
gering	18	(47,37%)
gar nicht	6	(15,79%)
ohne Antwort	6	(15,79%)

Summe	38
-------	----

Mittelwert 2,91

Median 3

**34.) mobile Werkstoffprüfung**

sehr hoch	2	(5,26%)
hoch	10	(26,32%)
gering	13	(34,21%)
gar nicht	7	(18,42%)
ohne Antwort	6	(15,79%)

Summe	38
-------	----

Mittelwert 2,78

Median 3

**35.) verbundbau**

sehr hoch	1	(2,63%)
hoch	6	(15,79%)
gering	12	(31,58%)
gar nicht	11	(28,95%)
ohne Antwort	8	(21,05%)

Summe	38
-------	----

Mittelwert 3,1

Median 3

**37) Haben Sie noch Anmerkungen zu dem Thema?**

- *Schweißtechnische Fragestellungen auf dem Gebiet der Windenergie haben bei uns nur eine untergeordnete Bedeutung, da wir auf diesem Gebiet so gut wie gar nicht tätig sind. Daher können wir die diesbezüglichen Fragen nur aus entfernter Sicht beantworten. Gleichwohl beschäftigen wir uns im Hafen- und Ingenieurwasserbau intensiv mit der Verarbeitung von Stahlbauteilen und sind sehr an einem umfassenden Weiterbildungs- und Schulungsprogramm interessiert.*
- *Da wir ein reines Handelshaus sind, welches sich auf die Lieferung von Rohren und Rohrkomponenten spezialisiert hat, ist das Thema Schweißen zwar generell von Interesse, aber Ihre Fragen richten sich wohl eher an herstellende Betriebe. Darf ich vorschlagen, dass Sie sich an Eisenbau Krämer, Bergrohr und EEW wenden?*
- *Als reines Bauunternehmen, haben wir mir den Schweißarbeiten an Windkraftanlagen nicht zu tun.*
- *Als Personaldienstleister verfügen wir nicht über eigene Fertigungsstätten.*
- *Unsere Tätigkeit bezieht sich zu 100% auf Logistik - hier die gesamte SCM und Management- und Branchenlösungen. Der Fragebogen bezieht sich auf technische Fragen - hier sind wir nicht die richtige Adresse.*
- *Nein*
- *Geschäftstätigkeit wurde eingestellt*
- *Wir sind nicht in der Instandhaltung von Maschinenträger, Türmen und Rotorblätter tätig.*
- *Wir sind nicht in dem Bereich Schweißen tätig. Wir sind Meßsystem Hersteller und Entwickler.*
- *Als Entwickler und Errichter sind wir lediglich in der Fertigungsüberwachung aktiv. Einige Antworten habe ich auf Grund früherer Erfahrung in einem Unternehmen das Stahlstrukturen geliefert hat, gegeben. Alle Antworten sind auf unser Unternehmen bezogen. Generell würde ich die Fragen anders beantworten.*

**Freie Antworten****Haben Sie Fachkräfte gesucht?: Frage (8)**

- MAG 135/136 MIG 131 WIG 141
- Fertigung
- Laserschweißen
- Schweißer, Rammer
- MAG und E-Hand-Schweißen
- ALU Schweißer, MAG Schweißer, E-Schweißer, Stahlbauschweißer (schweren Stahlbau)
- MAG 135 / 136, WIG 141 und MAG 135 / 136 Rohr, WIG 141 Rohr
- MAG, WIG, E-Hand, Autogen-Schweißen
- Schweißer nach EN 287-1
- Schweißfachingenieure
- Betriebsleiter SFI
- Fachscheißer für Fundamentstrukturen und Schiffbau

**Haben Sie Fachkräfte eingestellt?: Frage (9)**

- ja
- Laserschweißen
- den Bewerbern fehlten die gültigen Prüfungen
- Schweißfachingenieur
- MAG 135 / 136 und WIG 141 Rohr
- Verkauf, Fertigung und Konstruktion
- Schweißer nach EN 287-1
- Schweißfachingenieure
- Betriebsleiter SFI
- siehe oben
- Prüfer

**A&W Schweißtechnik?: Frage (12)**

- trifft für uns nicht zu
- keinen Bedarf im Bereich der Schweißtechnik
- Schweißer für den schweren Stahlbau
- Maschinenbediener UP, bzw. UP-Schweißer
- Richtlinienkompetenz GL Rules Offshore und Wind
- entfällt
- keine Aussage möglich

**A&W Qualitätssicherung?: Frage (13)**

- Unter Berücksichtigung der kommenden DIN-EN 1090
- Qualitätsmanagementbeauftragter

- Werkstoffkunde Offshore Stähle nach DIN EN 10225
- entfällt
- keine Aussage möglich

**A&W Kunststoff?: Fragen (14) + (15)**

- trifft für uns nicht zu
- entfällt
- keine Aussage möglich

**A&W Zusatzqualifikationen?: Frage (16)**

- trifft für uns nicht zu
- BOSIET
- Sachkundenachweis, Wartungstraining
- Für SVT am besten FISAT Level 1 und 2
- entfällt
- keine Aussage möglich

**A&W Sonstiges?: Frage (17)**

- Errichtung
- %
- Bezug zum Thema Schiff fehlt, Fokus auf WKA

**Industrie- und Forschungsprojekte?:****Fragen (26) und (27)**

- Korrosionsschutz
- Metallurgie
- entfällt
- keine Aussage möglich

**Sonstige Tätigkeiten?: Frage (31)**

- Beratungen
- Konstruktion, Lagerhaltung, Werkstoffe, Dokumentation
- Prüfung der Konstruktion auf Fertigungsgerechtigkeit
- keine Aussage möglich

**Zertifizierungen?: Frage (36)**

- EN 45011
- DIN 19704
- DIN EN ISO 14001
- DIN EN 14001

- ISO 14001 + 18001, SCC, GW 301, FW 601
- DIN ISO 14001

**Bedarf nach  
Fertigungsüberwachenden  
Tätigkeiten nach Branche**

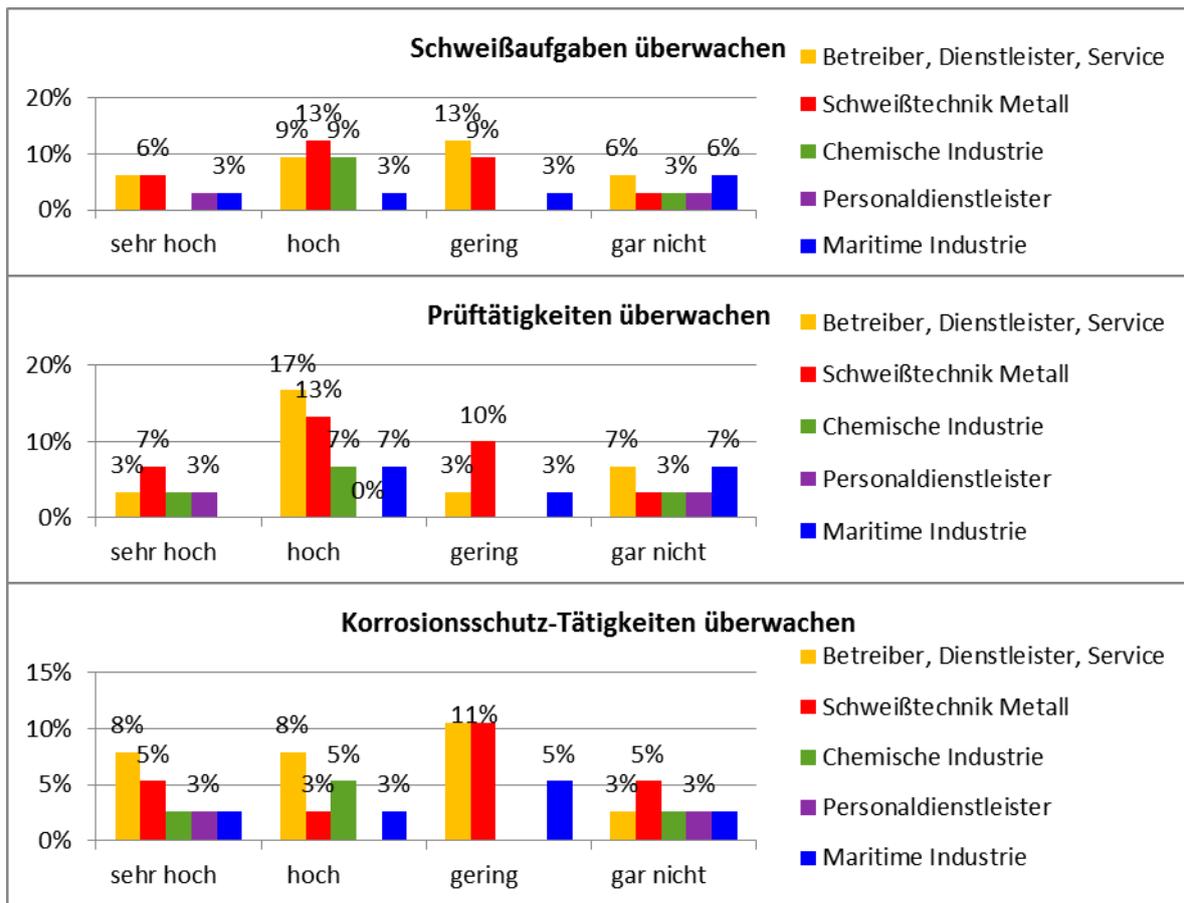
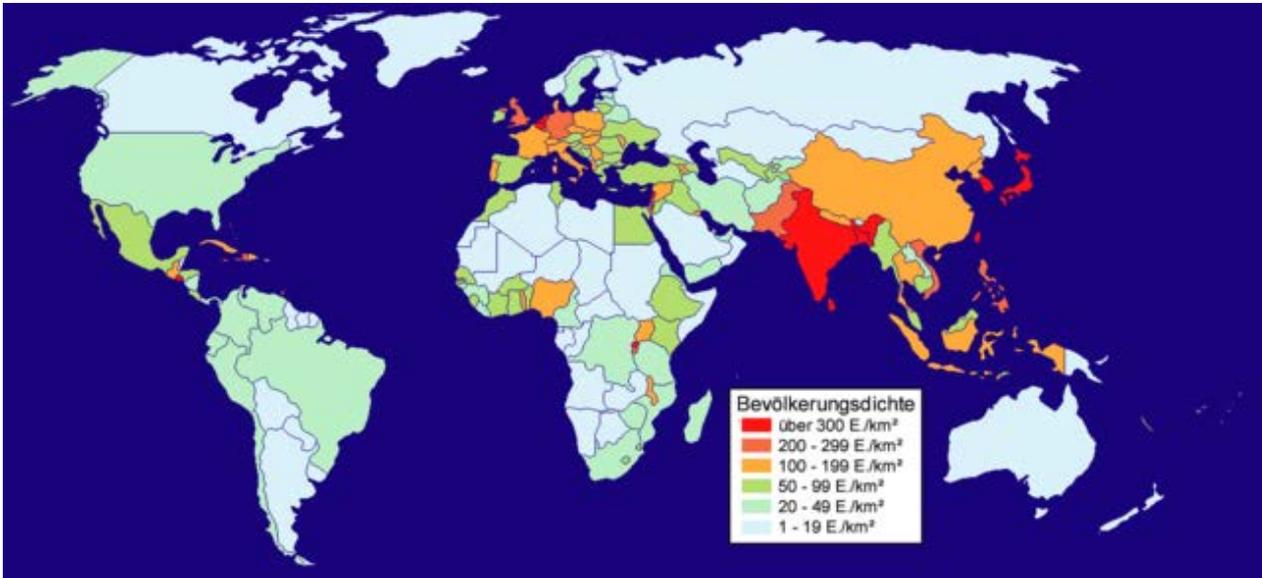


Abbildung 37: bau- und fertigungsüberwachende Tätigkeiten im Detail:

## ANHANG III: STATISTIKEN

### Anhang III: Bevölkerungskarte Welt



Marktsituation Deutschland, Europa, Welt

### Installierte Leistung in MW

Jahr	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
Zubau	793	1568	1665	2659	3247	2645	2037	1808	2233	1667	1665	1917	1551
Kumuliert	2875	4445	6095	8754	12001	14609	16629	18428	20622	22247	23903	25777	27214

Tabelle 3: Installierte Leistung

### Entwicklung der Windstromerzeugung in TWh

Jahr	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
Real	4,73	5,97	8,62	10,7	17	19,2	26	26,4	30,6	39,5	40,4	38	37,3
Pot	5,2	8,04	11,0	15,8	21,7	24,5	29,9	33,8	37,8	40,0	43,0	46,8	50,5

Tabelle 4: Entwicklung der Windstromerzeugung

### Anlagenanzahl in Deutschland Stückzahlen

Jahr	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
Neu	1010	1676	1495	2079	2328	1703	1201	1049	1208	883	866	952	754
Kumuliert	2875	4445	6095	8754	12001	14609	16629	18428	20622	22247	23903	25777	27214

Tabelle 5: Windenergieanlagen in Deutschland<sup>152</sup>

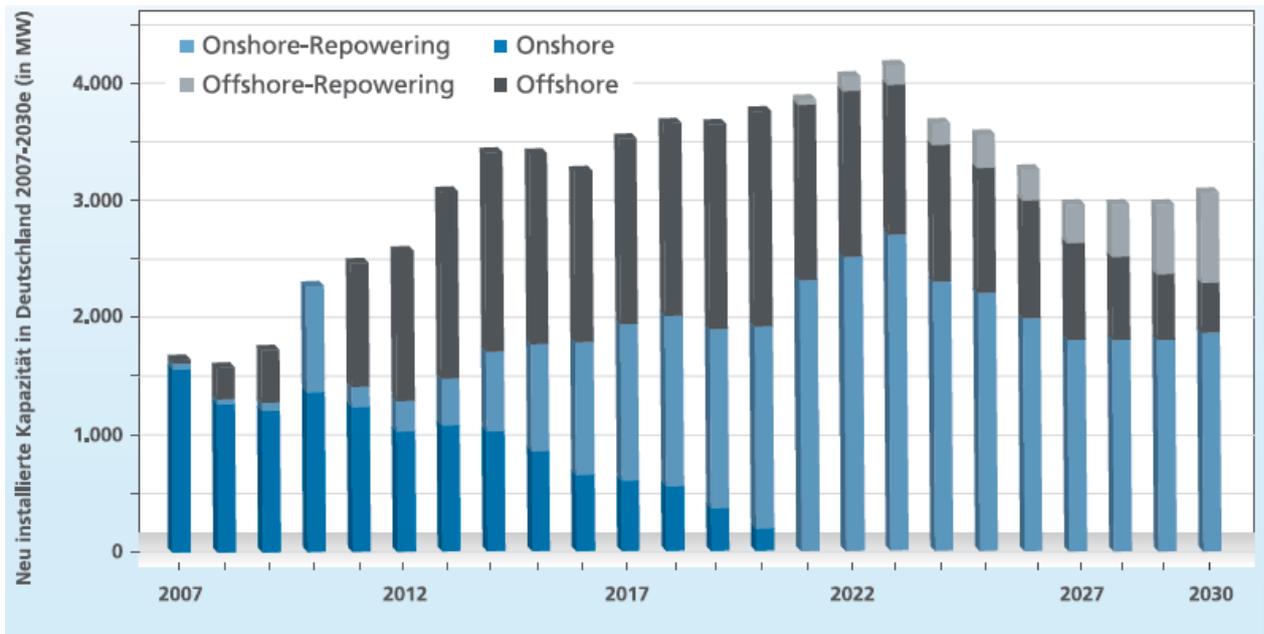


Abbildung 38: Aussicht des Repowering On- und Offshore in MW Quelle<sup>153</sup>

## ANHANG IV: QUALIFIZIERUNGSBEGRIFF

**(im Sinne des Berufsbildungsgesetzes)<sup>154</sup>**

Weiterbildung: organisiertes Lernen nach einer ersten Berufsausbildung und zwischenzeitlicher Berufstätigkeit „vierte Säule des Bildungssystems“ neben schulischer, betrieblicher und Hochschul-Ausbildung.

Fortbildung: soll dazu dienen berufliche Qualifikationen zu erhalten, zu erweitern und der technischen Entwicklung anzupassen, oder beruflich aufzusteigen.

→Anpassung                      →Aufstieg                      →Umschulung

Qualifizierung: Kompetenzerwerb für die betriebliche und berufliche Verwertung.

Nachqualifizierung: nachträglicher Abschluss in einem anerkannten Ausbildungsberuf über eine externe Prüfung.

Gemäß der Empfehlung für die Anerkennung von Ausbildungsberufen (von 1974) sind u.a. folgende Kriterien einzuhalten:

- hinreichender Bedarf an entsprechenden einzelbetriebsunabhängigen Qualifikationen,
- Ausbildung für eigenverantwortliche Tätigkeit auf möglichst breitem Gebiet,
- Anlage auf dauerhafte berufliche Tätigkeit und
- ausreichende Abgrenzung von anderen Ausbildungsberufen.<sup>155</sup>

---

<sup>154</sup> Bundesministerium für Bildung und Forschung 2007

<sup>155</sup> Bundesausschuss für Berufsbildung 1974

## ANHANG V: LITERATURVERZEICHNIS

- Alpha Ventus. *alpha ventus Bildarchiv*: © Copyright by alpha ventus Bildarchiv. URL: [http://bildarchiv.alpha-ventus.de/categories.php?cat\\_id=50](http://bildarchiv.alpha-ventus.de/categories.php?cat_id=50) [Stand 2012-02-07].
- Axhausen, Michael & Schulze, Karsten 2011. *Offshore-Wind: Potentiale für die deutsche Schiffbauindustrie* [Stand 2011-12-13].
- Bauer, Konrad & Fischer, Tibor E. A. 2011. *dena Marktstudie 2011: Status der erneuerbaren Energien weltweit. Informationen zur Nutzung und Förderung von erneuerbaren Energien für Unternehmen der EE-Branche*. Berlin. URL: [www.dena.de](http://www.dena.de) [Stand 2012-01-24].
- Börner, Jens 2011. *Abschätzung der Bedeutung des Einspeisemanagements nach EEG 2009: Auswirkungen auf die Windenergieerzeugung in den Jahren 2009 und 2010* [Stand 2012-02-06].
- BSH 2007. *Standard: Konstruktive Ausführung von Offshore-Windenergieanlagen*. Hamburg; Rostock [Stand 2012-02-05].
2007. Berufsbildungsgesetz (BBiG) vom 23. März 2005 [Stand 2012-01-28].
- Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi) 2009. *Bericht zur maritimen Koordinierung: Sechste nationale maritime Konferenz*. Hansestadt Rostock [Stand 2012-02-06].
- Bundesumweltministerium (BMU) [www.bmu.de](http://www.bmu.de) 2011. Entwicklung der erneuerbaren Energien in Deutschland im Jahr 2010: Grafiken und Tabellen: unter Verwendung aktueller Daten der Arbeitsgruppe Erneuerbare Energien-Statistik (AGEE-Stat) [Stand 2012-01-08].
- Bundesverband Windenergie e. V. Fakten zur Windenergie, A bis Z: Von der Schaffung neuer Arbeitsplätze bis zur Zukunft der Energieversorgung 2010, Oktober. Online im Internet: URL: [www.wind-energie.de](http://www.wind-energie.de) [Stand 2012-01-03].
- Bundesverband Windenergie e. V. 2012. *Statistiken | Bundesverband WindEnergie e.V.* URL: <http://www.wind-energie.de/> [Stand 2012-01-08].
- Bundesverband WindEnergie e.V. 2012. *Technik | Bundesverband WindEnergie e.V.* URL: <http://www.wind-energie.de/infocenter/technik> [Stand 2012-02-05].
- Bünning, Uwe & Krause, Jörg 2006. *Windows XP Professional: Grundlagen und Strategien für den Einsatz am Arbeitsplatz und im Netzwerk*. 4. Aufl. München: Hanser. Online im Internet: URL: [http://deposit.ddb.de/cgi-bin/dokserv?id=2820770&prov=M&dok\\_var=1&dok\\_ext=htm](http://deposit.ddb.de/cgi-bin/dokserv?id=2820770&prov=M&dok_var=1&dok_ext=htm).
- DCTI. Windenergie: CleanTech-Branche in Deutschland: Treiber im Fokus. *CleanTech Studienreihe* November 2009(Band 2). Online im Internet: URL: [www.dcti.de/studien/windenergie/de/](http://www.dcti.de/studien/windenergie/de/) [Stand 2011-12-13].
- DENA. *Fundamente Offshore Wind*. URL: <http://www.offshore-wind.de/page/index.php?id=10236> [Stand 2011-12-13].
- DENA. *Spezialtechnik Offshore Wind*. URL: <http://www.offshore-wind.de/page/index.php?id=12187> [Stand 2011-12-16].
- Deutsche WindGuard 2009. *Fallsammlung erfolgreich abgeschlossener Repoweringprojekte: 2009* [Stand 2012-01-13].
- Diener, Uwe 2010. *GrafStat: Das Fragebogenprogramm*: Diener, Uwe. URL: [grafstat.de](http://grafstat.de) [Stand 2012-01-27].
- DIN. *Sichere Schweißverbindungen in Windkraftanlagen: Neues Normungsprojekt startet*. URL: [http://www.nas.din.de/cmd?workflowname=InitCommittee&search\\_committee=nas&contextid=nas](http://www.nas.din.de/cmd?workflowname=InitCommittee&search_committee=nas&contextid=nas).
- Distelkamp, Martin, Bickel, Peter & Ulrich, Philip L. U. 2011. *Erneuerbar beschäftigt in den Bundesländern.: Ausgewählte Fallstudien sowie Pilotmodellierungen für die Windenergie an Land* [Stand 2012-01-03].
- Dunker, Babette & Enkelmann, Jürgen 2004. *Aus und Weiterbildung für die On- und Offshore-Windenergie: Handlungsempfehlungen und Analysen* [Stand 2012-01-20].
- Eckardt, Gordon H. & Vanini, Ute 2011. *Offshore-Windenergie 2010: Markt- und Erfolgspotentiale ; eine Studie für Unternehmen in der Region Kiel. Eine Studie für Unternehmen in der Region Kiel*. (Schriftenreihe des Norddeutschen Instituts für Familienunternehmen, 2). Göttingen: G H S. URL: <http://www.gbv.de/dms/zbw/66952347X.pdf> [Stand 2012-02-07].
- ENERCON 2011. *ENERCON Produktübersicht: Unsere Modelle für Ihren Erfolg* [Stand 2012-01-22].
- ESSER, F.H & Twardy, M. Handlungsorientierung ein Merkmal überbetrieblicher Ausbildung in Kompetenzzentren!? *Berufsbildung im Handwerk: Kontinuität und Perspektiven*. Paderborn, 253-269.
- European Wind Energy Association & Arapogianni, Athanasia 2011. *Wind in our Sails: The coming of Europe's offshore wind energy industry. A report by the European Wind Energy Association* [Stand 2012-01-15].
- European Wind Energy Association, Wilkes, Justin & Kjaer, Christian 2011. *Pure Power: Wind Energy Targets for 2020 and 2030. A report by the European Wind Energy Association - 2011* [Stand 2012-01-15].
- Flemming, M. (Hg.) 1995-2003. *Faserverbundbauweisen: Eigenschaften: mechanische, konstruktive, thermische, elektrische, ökologische, wirtschaftliche Aspekte*. Berlin: Springer. URL: <http://www.worldcat.org/oclc/52134454&ap=citavi>.
- ForWind. Wind Studium: Für Ihren Aufstieg in der Windenergie: Weiterbildendes Studium Windenergietechnik und -management. *Studienjahr 2011/2012* 2011, Januar. Online im Internet: URL: [www.windstudium.de](http://www.windstudium.de) [Stand 2012-01-11].
- Fraunhofer IWES. *windmonitor: gefordert durch das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit*. URL: [www.windmonitor.de](http://www.windmonitor.de).

- Garrett, Chris 2011. *Offshore: Perspektiven der Offshore Industrie in Mecklenburg-Vorpommern* [Stand 2012-01-25].
- Gasch, Robert 2011. *Windkraftanlagen: Grundlagen, Entwurf, Planung und Betrieb*. 7. Aufl. Wiesbaden: Vieweg + Teubner.
- Grundmann, Martin 2005. *Branchenreport Windkraft 2004: Arbeitsorientierte Fragestellungen und Handlungsmöglichkeiten*. Arbeitspapier 99. Januar 2005. Düsseldorf [Stand 2012-01-20].
- Guillet, Jerome, Wilczek, Paul & EWEA 2012. *The european offshore industry key trends and statistics 2011: January 2012. A report by the european energy association* [Stand 2012-01-25].
- Hahne, Klaus 2005. *Braucht nachhaltige Entwicklung neue Ausbildungsberufe?: Kompetenzen und Berufe im Bereich nachhaltiger Energienutzung und der erneuerbaren Energien*. [Bonn]: BIBB. Online im Internet: URL: <http://www.bibb.de/de/20399.htm>.
- Hammer, Gerlinde & Röhring, Ralf 2005. *Qualifikationsbedarfsanalyse: Offshore-Windenergie-Industrie. Abschlussbericht – Juli 2005*. Bremen Bremerhaven. URL: [www.offshore-power.net](http://www.offshore-power.net) [Stand 2012-01-21].
- Hau, Erich 2008. *Windkraftanlagen: Grundlagen, Technik, Einsatz, Wirtschaftlichkeit*. 4. Aufl. Berlin ;Heidelberg: Springer.
- Hemmerich 1974. Empfehlungen betr. Kriterien und Verfahren für die Anerkennung und Aufhebung von Ausbildungsberufen [Stand 2012-01-20].
- Hochschule Landshut 2009. *PropCMS: Projektstart*. URL: <http://www.fh-landshut.de/fb/et/news/archiv/ws09/10/propcms> [Stand 2012-02-06].
- i.A. Bundesumweltministerium (BMU) 2011. *Energiekonzept 2050: Das Energiekonzept der Bundesregierung 2010 und die Energiewende 2011: Energiekonzept - für eine umweltschonende, zuverlässige und bezahlbare Energieversorgung* - 28. September 2010 Oktober 2011. Online im Internet: URL: [www.bmu.de](http://www.bmu.de) [Stand 2012-01-06].
- Kirchhoff, Sabine (Hg.) 2010. *Der Fragebogen: Datenbasis, Konstruktion und Auswertung*. 5. Aufl. Wiesbaden: VS-Verl. URL: <http://www.socialnet.de/rezensionen/isbn.php?isbn=978-3-531-16788-6>.
- Klemisch, Herbert & Bühler, Theo 2006. *Windenergie - Berufsbilder und Ausbildungssituation: Auswertung einer Befragung bei Unternehmen der Windenergiebranche. Statusanalyse*. Bonn [Stand 2012-01-20].
- Koch, Johannes 2011. *Die Rolle von Kompetenzzentren für die Aktualisierung von Qualifikationen für die Aus- und Weiterbildung im Handwerk* [Stand 2012-01-25].
- KPMG 2009. *Onshore-Windenergie ... Repowering-Potentiale in Deutschland. Marktstudie.: Marktstudie* [Stand 2012-01-18].
- Kreiszeitung 2012. *Bremerhavens Rückkehr in die Liga der blühenden Städte: Bremerhaven*. URL: <http://www.kreiszeitung.de/nachrichten/bremen/bremerhavens-rueckkehr-liga-bluehenden-staedte-1550810.html> [Stand 2012-01-04].
- Krohn, Sören 2010. *Türme von Windkraftanlagen.: Schweißten. Bilder*. URL: <http://antriebstechnik.fh-stralsund.de/1024x768/Dokumentenframe/Kompendium/Windpower/de/tour/manu/towerwld.htm> [Stand 2012-01-22].
- Luttmer, Nora & Ristow, Milan 2009. *Beaufort 6: Newsletter für Kunden und Geschäftsfreunde*. 01. Aufl. [Stand 2012-02-05].
- Meyer 2011. *WAB Branchenbericht 2011: Offshore-Windenergiemarkt in Deutschland* [Stand 2012-01-12].
- Molly, J.P 2012. *Status der Windenergienutzung in Deutschland: Stand 31.12.2011* [Stand 2012-01-27].
- Müller-Benedict, Volker 2011. *Grundkurs Statistik in den Sozialwissenschaften: Eine leicht verständliche, anwendungsorientierte Einführung in das sozialwissenschaftlich notwendige statistische Wissen*. 5. Aufl. Wiesbaden: VS Verl. für Sozialwiss.
- O´Sullivan, Marlene, Lehr, Ulrike & Lutz, Christian 2011. *Kurz- und langfristige Auswirkungen des Ausbaus der erneuerbaren Energien auf den deutschen Arbeitsmarkt*. (Bd. 2011, FebruarBd) [Stand 2012-01-07].
- Pistol, Björn 2011. *Konkretisierung des Hafenkonzepthes Offshore-Häfen Nordsee SH: Endbericht* [Stand 2012-01-28].
- Porst, Rolf 2011. *Fragebogen: Ein Arbeitsbuch*. 3. Aufl. Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften / Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH Wiesbaden.
- QuinScape GmbH. *Offshoregründungen*. URL: [http://www.hdt-essen.de/web/?rq\\_AppGuid=E75D576B5558DC04319BCCE4F1A72A5C5BAC1865&rq\\_TargetPageGuid=4E02D85F572CF7C15FB0C939310E93284247B5F1&rq\\_ReclId=313437](http://www.hdt-essen.de/web/?rq_AppGuid=E75D576B5558DC04319BCCE4F1A72A5C5BAC1865&rq_TargetPageGuid=4E02D85F572CF7C15FB0C939310E93284247B5F1&rq_ReclId=313437) [Stand 2012-02-07].
- Rothaarwind. *Gitterturm: Bürgerwindpark Hilchenbach Windpark*. URL: [http://www.rothaarwind.de/windenergie/mod\\_content\\_bildlupe/bild/73/name/06130003/index.html](http://www.rothaarwind.de/windenergie/mod_content_bildlupe/bild/73/name/06130003/index.html) [Stand 2012-02-07].
- Scherbaum, Uwe 2012. *WIND-CHECK - Ingenieurbüro für technische Prüfungen und Gutachten an Windenergieanlagen (WEA) - Startseite*. URL: <http://www.windcheck.de/?Startseite> [Stand 2012-01-25].
- Schiel 2004. *Windenergie*. URL: [http://www.vdma.org/wps/portal/lut/p/c5/04\\_SB8K8xLLM9MSSzPy8xBz9CP00s3gLDx8LQwSLlyAKcJUwCnMzdXQzdTU2cDUDyfilrcwJ0a3s7ujh4m5j4GBhYubhYGRk6mZZ6CBI4GBpyk3eEg1-K3HSSPz3yQvAEO4Gig7-eRn5uqX5AbGmGGQZAOAI2zAf4!dl3/d3/L0IDU0IKSWdra0EhIS9JTIJBQUlpQ2dBek15cUEhL1ICSIAXtkMxTktfMjd3ISEvN184SEw4MTg4Mjg4R0k0MEkwR0oyTEZCMTBNMQ!!?WCM\\_PORTLET=PC\\_7\\_8HL8188288GI40I0GJ2LFB10M1000000\\_WCM&WCM\\_GLOBAL\\_CONTEXT=/wps/wcm/connect/vdma/Home/de/Branchen/W/WIND/](http://www.vdma.org/wps/portal/lut/p/c5/04_SB8K8xLLM9MSSzPy8xBz9CP00s3gLDx8LQwSLlyAKcJUwCnMzdXQzdTU2cDUDyfilrcwJ0a3s7ujh4m5j4GBhYubhYGRk6mZZ6CBI4GBpyk3eEg1-K3HSSPz3yQvAEO4Gig7-eRn5uqX5AbGmGGQZAOAI2zAf4!dl3/d3/L0IDU0IKSWdra0EhIS9JTIJBQUlpQ2dBek15cUEhL1ICSIAXtkMxTktfMjd3ISEvN184SEw4MTg4Mjg4R0k0MEkwR0oyTEZCMTBNMQ!!?WCM_PORTLET=PC_7_8HL8188288GI40I0GJ2LFB10M1000000_WCM&WCM_GLOBAL_CONTEXT=/wps/wcm/connect/vdma/Home/de/Branchen/W/WIND/) [Stand 2012-01-23].
- Schramm, Elke & Sewohl, Alexander 2012. *Jahresbilanz Windenergie 2011: Deutscher Markt wächst wieder* [Stand 2012-01-27].

- Schwarmkraft. *Windkraft – Entwicklungen* » *schwarm/kraft/*. URL: <http://schwarmkraft.at/erneuerbare-energie/windkraft/windkraft-entwicklungen/> [Stand 2011-12-13].
- SIAG 2010. *Management Präsentation*: *SIAG Anlagenbau Finsterwalde GmbH* [Stand 2012-01-22].
- Sidki-Lundius, Chan 2011. *Extrajournal HAW - Die führende grüne Hochschule werden - Extra-Journal - Ratgeber - Hamburger Abendblatt*. Hamburg. URL: <http://www.abendblatt.de/ratgeber/extra-journal/article2079080/Die-foehrende-gruene-Hochschule-werden.html> [Stand 2011-12-26].
- SLV Nord. *Schweißtechnische Lehr- und Versuchsanstalt Nord gGmbH*. URL: [www.slv-nord.de/](http://www.slv-nord.de/).
- VDMA 2010. *Komponenten und Systeme für Windenergieanlagen: Antriebstechnik, Fluidtechnik, Power Systems, Arbeitsgemeinschaft Windenergie-Zulieferindustrie*. 3. Auflage. VDMA Verlag. URL: [http://www.vdma.org/wps/wcm/connect/3ec2840044d3c2359e4bfee2f8f5d874/Windenergie\\_2010\\_de.pdf?MOD=AJPERES&CACHEID=3ec2840044d3c2359e4bfee2f8f5d874](http://www.vdma.org/wps/wcm/connect/3ec2840044d3c2359e4bfee2f8f5d874/Windenergie_2010_de.pdf?MOD=AJPERES&CACHEID=3ec2840044d3c2359e4bfee2f8f5d874) [Stand 2012-01-09].
- Weismann, Peter & Krethe, Carsten H. Schadensfrüherkennung und zustandsabhängige Ölwechselintervalle in WEA durch Ölanalysen: Schadensfrüherkennung bei Getriebe: WEARCHECK GmbH Schmierstoffanalysen, Brandenburg. Online im Internet: URL: Pfad P:\KS\PROJ\SP\9611 windwin/\_Alle wind/WiCo/2003/wc03032 Schadensfrüherkennung.pdf [Stand 2012-02-06].
- wind:research. *wind offshore geodaten*. URL: [http://windresearch.de/wind\\_offshore\\_geodaten.php](http://windresearch.de/wind_offshore_geodaten.php) [Stand 2012-02-07].
- Windkraft-Journal. *Windenergie und Erneuerbaren Energien Nachrichten*. URL: <http://www.windkraft-journal.de/> [Stand 2012-02-07].
- windstrom. *Windstrom Unternehmensgruppe*. URL: <http://www.windstrom.de/php/index.php?sid=0&id=8> [Stand 2012-02-06].
- wwea 2009. *Wissen Windenergie: Technik und Planung*. URL: <http://www.wwindea.org/technology/ch01/estructura-de.htm> [Stand 2012-01-25].
- Zagermann, Martin 2009. Nutzen stiften durch Regionale Kompetenzzentren: Wirtschaftsförderung Region Stuttgart GmbH (WRS). Vorlesungsschrift [Stand 2012-01-25].