

Abschlussbericht zum Förderprojekt

„Entwicklung, Konstruktion, Bau und Erprobung eines Systems zur Vermeidung von Umweltschäden durch unkontrollierten Austritt von ölhaltigen Betriebsmitteln bei Windkraftanlagen“

Gefördert unter dem AZ: 30740/01 von der
Deutschen Bundesstiftung Umwelt



Laufzeit: 03.09.2013 – 28.02.2015

durchgeführt von: Rotor Rope GmbH
Weidenweg 4
23743 Grömitz



Projektleiter: Dipl.-Ing. Ulrich Jacobs
Christian Schröder

Projektkennblatt
der
Deutschen Bundesstiftung Umwelt



Az	30740	Referat	24/0	Fördersumme	108.000 €
Antragstitel	Entwicklung, Konstruktion, Bau und Erprobung eines Systems zur Vermeidung von Umweltschäden durch unkontrollierten Austritt von ölhaltigen Betriebsmitteln bei Windkraftanlagen				
Stichworte	Umweltschutz regenerative Energie				
Laufzeit	Projektbeginn	Projektende	Projektphase(n)		
11 Monate	03.09.2013	28.02.2015	1		
Abschlussbericht					
Bewilligungsempfänger	Rotor Rope GmbH Weidenweg 4 23743 Grömitz			Tel	04562/ 225873
				Fax	04562/225875
				Projektleitung	C. Schröder/ U. Jacobs
				Bearbeiter	U. Jacobs
Kooperationspartner	Eikboom GmbH, Krischanweg7, 18069 Rostock Deurex AG, Dr.-Bergius-Str. 8-12, 06729 Elsteraue				
<p>Zielsetzung und Anlass des Vorhabens Zur Vermeidung von Umweltschäden durch austretendes Öl aus einer Windkraftanlage soll außen am Turm, unterhalb der Gondel ein OSC Auffang- und Sicherungssystem eingesetzt und erprobt werden. Das Auffang- und Sicherungssystem besteht aus einem Sicherheitskragen und den darin befindlichen mobilen Einheiten zur Abscheidung und Bindung von austretenden Ölen und ölhaltigen Betriebsmitteln. Der OSC Sicherheitskragen wird unmittelbar unterhalb der Gondel, umlaufend um den Turm der Windkraftanlage montiert. Das OSC System wird in Form von zwei Halbschalen aus GFK vorgefertigt. Direkt unterhalb der Gondel wird der Kragen dann vor Ort von außen geschlossen, fixiert und mit zusätzlichen Sicherungsbändern verankert. Um eine langfristige sichere und dichte Verbindung zum Turm herzustellen werden dauerelastische Dichtungen zwischen Kragen und Turm eingesetzt. Im unteren Bereich des Kragens sind über den gesamten Umfang Löcher als Wasserdurchlass vorgesehen. Das Bindematerial ist wasserdurchlässig, so dass Regenwasser das gesamte System frei durchströmen kann und ein Aufstauen von Wasser sicher vermieden wird. Der Freiraum zwischen dem Sicherheitskragen und der Gondel wird so gewählt, dass alle Bereiche des Kragens gut von außen erreichbar sind. Nach der Montage des Kragens werden die Bindemittel durch Servicepersonal eingelegt und die Anlage so in einen sicheren Zustand versetzt. Nach einem Schadensfall werden die gesättigten Bindemittel von außen herausgenommen und im gleichen Arbeitsgang durch neue Einheiten ersetzt.</p> <p>Darstellung der Arbeitsschritte und der angewandten Methoden Das Gesamtvorhaben beinhaltete die Herstellung und die Erprobung des Systems. Förderumfang war die Konstruktion und der Bau eines Prototyps des Sicherungssystems und die Erprobung in einem Feldversuch und an einer bestehenden, in Betrieb befindlichen Windenergieanlage. Nach der Konstruktion des Sicherungskragens wurde eine Form erstellt, mit der das endgültige GFK-Formteil des OSC Systems in Form von zwei Halbschalen hergestellt wurde. Mit einem kompletten System wurden am Boden Vorversuche mit dem Bindemittel durchgeführt und es wurde ein Ölschaden unter realistischen Betriebszuständen simuliert. Danach wurde der komplette Kragen an eine Windenergieanlage montiert und Funktion und Stabilität im Langzeitversuch getestet.</p>					
Deutsche Bundesstiftung Umwelt • An der Bornau 2 • 49090 Osnabrück • Tel 0541/9633-0 • Fax 0541/9633-190 • http://www.dbu.de					

Ergebnisse und Diskussion

Das Forschungsvorhaben konnte mit einer Verlängerung von einem halben Jahr in Bezug auf die umwelttechnischen Ziele erfolgreich abgeschlossen werden.

Unmittelbar nach Projektbeginn wurde mit der Auslegung und Konstruktion des Sicherungskragens begonnen. Ein wesentlicher Teil der Planungsleistungen waren umfangreiche Simulationsrechnungen, mit denen der Einfluss des Kragens auf das Schwingungsverhalten des Turms und auf die Umströmung des Gesamtsystems ermittelt wurde. In beiden Fällen wurde kein signifikanter Einfluss festgestellt.

Für die Dimensionierung und Auslegung der Laminatstruktur der Faserverbundteile und der Montageelemente bzw. der Transportösen wurden numerische Festigkeitsberechnungen basierend auf Finite Element Methoden unter Nutzung der Ergebnisse der Strömungssimulationen ausgeführt. Damit konnte eine Hauptforderung von der Einhaltung der maximalen Masse des Gesamtsystems von kleiner 500 kg erfüllt werden.

Ende 2013 wurde das erste komplette OSC-System gefertigt. Mit diesem komplett montierten System wurden am Boden, in einer Halle der Firma Eikboom, alle relevanten Ölversuche durchgeführt. Da dort alle verschiedenen Schadensfälle simuliert werden konnten wurde aus Sicherheitsgründen auf weitere Ölversuche an einer WEA verzichtet. Alle Versuchsziele wurden erreicht.

Nach einem abgebrochenen Montageversuch am 18.03.2014 wurde in Abstimmung mit der DBU ein zweites OSC-System gefertigt. Dieses System wurde am 01.07.2014 an eine in Betrieb befindliche WEA vom Typ DeWind D6 im Windpark Zschornowitz montiert. In der Folgezeit wurde dieses System in zweiwöchigen Abständen auf Sitz und Funktion überprüft. Die Langzeitüberwachung wurde mit einer letzten Überprüfung am 15.07.2015 beendet. Aktuell wird das OSC System vom Germanischen Lloyd in Hamburg als universell anzuwendendes Bauteil einer beliebigen WEA zertifiziert.

Die Projektkosten wurden gegenüber den Vorgaben um ca. 5.500 Euro überzogen. Die Mehrkosten wurden vom der Rotor Rope GmbH getragen

Öffentlichkeitsarbeit und Präsentation

Das OSC-System wurde auf zahlreichen Informationsveranstaltungen (u.a. Windmesse Hamburg) einem breiten Fachpublikum vorgestellt. Ansprechpartner sind neben den Genehmigungsbehörden alle Hersteller und Betreiber von WEA im In- und Ausland. Für die Messe HusumWind 2015 wurde eine Standfläche auf dem Gemeinschaftstand für junge und innovative Unternehmen gebucht.

Fazit

Alle umweltrelevanten Ziele des Projekts wurden erreicht.

Bis zu einer Marktreife des Systems ist jedoch weiterer, nicht unerheblicher Forschungsaufwand notwendig. Es muss eine Produktionsmethode gefunden werden, mit der über eine industrielle Vorfertigung von Halbzeugen und die Kombination mit Passtücken alle unterschiedlichen auf dem Markt befindlichen Turmradien mit einem OSC bestückt werden können.

Parallel dazu müssen Befestigungssysteme entwickelt werden, mit denen die Sicherungssysteme universell an allen Türmen sicher fixiert werden können.

Inhalt:

- Präambel
- 1. Vorstellung des Förderprojekts
- 1.2 Die OSC Ölschadensicherung
- 2. Kooperationspartner des Förderprojekts
- 2.1 Deurex AG
- 2.2 Eikboom GmbH
- 3. Umweltrelevanz des Förderprojekts
- 4. Entwicklungsrisiken des Förderprojekts
- 4.1 Stabilität
- 4.2 Funktion
- 4.3 Handling
- 5. Innovativer Charakter des Projektes
- 6. Produktevaluierung
- 7. Projektierung und Konstruktion
- 7.1 Rechnergestützte Simulation der strömungstechnischen Belastung
- 7.2 Konstruktion des OSC
- 7.3 Fertigung des OSC
- 8. Das Ölbindemittel Deurex PURE
- 9. Bodenversuch und Feldtest
- 9.1 Bodenversuch
- 9.1.1 Prüfung der Bauausführung des OSC
- 9.1.2. Einlagerung der Pure-Packungen
- 9.1.3. Test auf Wasserdurchlässigkeit
- 9.1.4. Test der Ölaufnahme
- 9.1.5. Test der Entnahme des ölhaltigen Bindemittels
- 9.1.6. Funktionstest „loser“ verbundener OSC-Hälften für die Turmmontage
- 9.1.7 Festlegungen für die Vorbereitungen der Praxiserprobung an einem ausgewählten Turm
- 10. 1. Montageversuch am 18.03.2014
- 11. Montage des OSC am 01.07.2014
- 12. Nachkontrolle
- 13. Zusammenfassung der Ergebnisse

Verzeichnis der Bilder und Tabellen

Bilder

Bild 1: Ölunfall an einer Windenergieanlage

Bild 2: Darstellung der Umströmung einer kastenförmigen Gondel mit darunter angeordnetem OSC-System Ansicht in Strömungsrichtung

Bild 3: Darstellung der Umströmung einer kastenförmigen Gondel mit darunter angeordnetem OSC-System Ansicht entgegen der Strömungsrichtung

Bild 4: Darstellung der Umströmung einer rotationselliptischen Gondel (Prandtl'scher Körper) mit darunter angeordnetem OSC-System Ansicht in Strömungsrichtung

Bild 5: Darstellung der Umströmung einer rotationselliptischen Gondel (Prandtl'scher Körper) mit darunter angeordnetem OSC-System Ansicht entgegen der Strömungsrichtung

Bild 6: Darstellung der Umströmung einer rotationselliptischen Gondel (Prandtl'scher Körper) ohne darunter angeordnetem OSC-System Ansicht in Strömungsrichtung

Bild 7: Darstellung der Umströmung einer rotationselliptischen Gondel (Prandtl'scher Körper) ohne darunter angeordnetem OSC-System Ansicht entgegen der Strömungsrichtung

Bild 8: Darstellung der Umströmung einer Kombination von kastenförmiger und rotationselliptischer Gondel mit darunter angeordnetem OSC-System Ansicht in Strömungsrichtung

Bild 9: Darstellung der Umströmung einer Kombination von kastenförmiger und rotationselliptischer Gondel mit darunter angeordnetem OSC-System Ansicht entgegen der Strömungsrichtung

Bild 10: Verformung des OSC-Systems bei äußeren Belastungen im Last Fall Nennleistung einer WEA

Bild 11: Spannungsverteilung in der Laminatstruktur des OSC-Systems bei äußeren Belastungen im Last- Fall Nennleistung einer WEA

Bild 12: Konstruktionsdaten des OSC

Bild 13: Layout des ersten Demonstrators

Bild 14: Öl- und Chemikalienbindemittel DEUREX PURE

Bild 15: Aufnahme von Altöl mittels DEUREX PURE

Bild 16: Verpackungsformen PURE

Bild 17: fertig montiertes OSC-System vor den Bodenversuchen

Bild 18: Wägung OSC

Bild 19: Verbindung der OSC Halbschalen im angehobenen Zustand

Bild 20 + 21: Einlegen der Bindemittel

Bild 22: Ölfluss über den Ölabweiser

Bild 23: Simulation eines Punktuellen Ölschadens

Bild 24 + 25: Ölaufnahme im Bindemittel

Bild 26: Restölfilm auf dem OSC Gehäuse

Bild 27 + 28: Tragsystem für die OSC-Halbschalen

Bild 29: DeWind D6 in Schornewitz

Bild 30: Ausladen der OSC-Halbschalen

Bild 31. Befestigung der Moosgummistreifen als Rutschhemmung

Bild 32: Montagehilfe Schwerlastgurt

Bild 33: Befestigung der Traverse

Bild 34: OSC-Halbschale unterhalb der Gondel

Bild 35: Die Halbschalen des zweiten OSC vor der Montage

Bild 36+37: Angepasste Leitbleche

Bild 38: Vormontage des Schwerlastgurts

Bild 39 + 40: Vormontage der ersten Halbschale

Bild 41: Zusammenschluss der beiden Halbschalen

Bild 42: Einlegen der Bindemittelpackungen

Bild 43: Betriebsfertig montiertes OSC-System

Bild 44: Absetzen des OSC innerhalb von vier Wochen

Bild 45+46: Farb-Veränderung des Bindemittels durch UV-Strahlung nach sechs Monaten

Bild 47:Nachkontrolle am 15.07.2015

Bild 48: Spuren der Ölverunreinigungen oberhalb des OSC

Tabellen

Tabelle 1: Morphologischer Kasten OSC-System

Tabelle 2: Ergebnisse der DEKRA-Prüfung für DEUREX PURE

:

Präambel

Seit mehr als 20 Jahren erlebt die Windenergie in Deutschland und Europa einen ungeheuren Aufschwung. Bis heute sind in der Bundesrepublik rund 25.000 Anlagen in Betrieb und es werden täglich mehr. Es werden immer effizientere und leistungsstärkere Anlagen entwickelt und gebaut, damit leistet die Windenergie den größten Anteil im Bereich der Nutzung von regenerativen Energiequellen. Die Windenergie ist populär und politisch gewollt und neue Windparks werden mittlerweile sowohl Onshore als auch Offshore mehr und mehr in sensiblen Bereichen realisiert.

Allerdings hat dieser wertvolle Beitrag zur regenerativen Energieerzeugung auch einen Fleck auf der ansonsten weißen Weste. Einen hässlichen schwarzen Ölfleck.

Allein im Anlagenbestand der Windenergie an Land in der Bundesrepublik Deutschland werden rund 7 Millionen Liter Öl gelagert – auf einer Höhe zwischen 60 und 140 Metern über dem Boden - und weitestgehend ungesichert.

Es passiert täglich, dass in einer Windenergieanlage durch einen technischen Schaden Öl freigesetzt wird, welches sich ungehindert im Umfeld der Anlage verteilen kann. Dieser Zustand ist sowohl in der Branche als auch in den Fachbehörden und der Politik durchaus bekannt, wird jedoch mangels verfügbarer Sicherungstechnik toleriert und totgeschwiegen.

Die beiden Gründer und Gesellschafter der Rotor Rope GmbH haben im Rahmen dieses durch die Deutsche Bundesstiftung Umwelt geförderten Forschungsprojekts ein erstes funktionsfähiges Schutzsystem entwickelt. Im Rahmen des Förderprojekts wurde ein erster großtechnischer Demonstrator gebaut, der zuerst am Boden und dann, montiert an einer bestehenden Windenergieanlage, mit großem Erfolg erprobt wurde

Dieses Oil-Safe-Collar (OSC) genannte Schutzsystem kann, basierend auf den Ergebnissen und Erfahrungen aus dem Forschungsprojekt, zum Schutz der Umwelt eingesetzt werden.

1. Vorstellung des Förderprojekts

Das Förderprojekt beinhaltet die Herstellung und Erprobung eines Systems zur Vermeidung von Umweltschäden durch unkontrolliert austretendes Öl aus Windkraftanlagen. Förderumfang ist die Planung, die Konstruktion und der Bau eines Sicherungssystems und die Erprobung am Boden und im Feldversuch an einer in Betrieb befindlichen Windkraftanlage.

1.1 Ölschäden an Windenergieanlagen

Bei der Mehrzahl der heutigen Windenergieanlagen befinden sich im Maschinenraum ein Getriebe und mehrere Hydrauliksysteme. Je nach Größe der Anlage sind die Getriebe mit ca. 200 bis 500 Liter Öl gefüllt (bei den großen Offshore-Anlagen sogar bis zu 1.000 Liter). Üblicherweise ist hier eine Druckumlaufschmierung eingesetzt, bei der eine Pumpe das Öl ständig umwälzt und an die Lagerstellen fördert. Weitere ölgefüllte Systeme einer Windkraftanlage mit Ölinhalten von jeweils 10 bis zu 250 Litern sind die Nachführgetriebe zur Ausrichtung der Gondel zum Wind sowie die Hydrauliksysteme für die Blattverstellung und zum Abbremsen der Rotorwelle.

Bei diesen Bauteilen gibt es zahlreiche Armaturen, Flansche und Schlauchverbindungen. Da alle technischen Elemente einer Windkraftanlage einem starken mechanischen Stress unterliegen, kommt es immer wieder zu Schäden am Öl-System dieser Anlagen. Dabei wird Öl innerhalb der Gondel freigesetzt welches dann durch den Spalt zwischen Gondel und Turm ins Freie gelangt. Das Öl läuft am Turm nach unten ab, wird durch den Wind abgelöst und in der Umgebung verteilt. Die austretende Ölmenge ist abhängig von der Art des Schadens. Im Extremfall kann die gesamte Füllmenge eines Getriebes freigesetzt werden. Bei einem Ölschaden kann das komplette Umfeld einer Windkraftanlage kontaminiert werden. Erfahrungsgemäß fallen Schäden in einem Radius von ca. 350 m an.



Bild 1: Ölunfall an einer Windenergieanlage

1.2 Die OSC Ölschadensicherung

Zur Vermeidung von Umweltschäden durch austretendes Öl aus einer Windkraftanlage soll außen am Turm, unterhalb der Gondel das OSC Auffang- und Sicherungssystem eingesetzt und erprobt werden. Das Auffang- und Sicherungssystem besteht aus dem Sicherheitskragen und den darin befindlichen mobilen Einheiten zur Abscheidung und Bindung von austretenden Ölen und ölhaltigen Betriebsmitteln. Der OSC Sicherheitskragen wird unmittelbar unterhalb der Gondel, umlaufend um den Turm der Windkraftanlage montiert. Das OSC System wird in Form von zwei Halbschalen vorgefertigt. Direkt unterhalb der Gondel wird der Kragen dann vor Ort von außen geschlossen und fixiert

Im unteren Bereich des Kragens sind über den gesamten Umfang Löcher als Wasserdurchlass vorgesehen. Das Bindematerial ist wasserdurchlässig, so dass Regenwasser das gesamte System frei durchströmen kann und ein Aufstauen von Wasser sicher vermieden wird. Der Freiraum zwischen dem Sicherheitskragen und der Gondel wird so gewählt, dass alle Bereiche des Kragens gut von außen erreichbar sind. Nach der Montage des Kragens werden die Bindemittel durch Servicepersonal eingelegt und die Anlage so in einen sicheren Zustand versetzt. Nach einem Schadensfall werden die mit Öl gesättigten Bindemittel von außen herausgenommen und im gleichen Arbeitsgang durch neue Einheiten ersetzt. Das gesättigte Bindemittel kann in einer Zentrifuge vom Öl befreit und danach wieder verwertet werden. Damit ist das komplette System zu 100% Recycling-fähig.

2. Kooperationspartner des Förderprojekts

2.1 Deurex AG

Dr.-Bergius-Str. 8 – 12, 06729 Elsteraue

DEUREX ist seit 1989 einer der wichtigsten internationalen Lieferanten für Spezialwachse. Als Erfinder der rundmikronisierten Wachse machte sich das Unternehmen weltweit einen Namen als innovativer Vorreiter. Seit 2010 wird kontinuierlich ein weiteres Geschäftsfeld aufgebaut: Wachsbasierte Öl- und Chemikalienbindemittel.

Unter dem Namen DEUREX Pure etabliert sich eine neuartige Produktreihe, die bereits in den Medien für Aufsehen sorgte. Denn im Gegensatz zu herkömmlichen Produkten zeichnen sich die Produkte der Pure-Reihe dadurch aus, dass ausschließlich Schadstoffe aufgenommen werden. Durch die hydrophobe Struktur wird keinerlei Wasser adsorbiert. Eine extreme Oberfläche sorgt weiterhin für ein überdurchschnittliches Aufnahmevermögen. Es werden bis zum 6,5-fachen des Eigengewichts an Schadstoffen gebunden.

Damit ergeben sich sowohl für Katastrophenschutz als auch industrielle Anwendungen völlig neue Einsatzmöglichkeiten. DEUREX Pure wird eine wichtige Rolle nicht nur im Katastrophenfall, sondern auch in der Prävention allgemein einnehmen.

2.2 Eikboom GmbH

Krischanweg 7, 18069 Rostock

Der Formenbau und die Produktion der beiden Versuchskragen sollen durch die Firma Eikboom erfolgen. Nach den Erfahrungen aus dem Großversuch sollen die Formen wenn nötig modifiziert und optimiert werden um dann für eine Serienfertigung der Kragen zu dienen. Auch die Serienfertigung der Kragen soll bei Eikboom erfolgen.

Eikboom ist ein traditionelles mittelständisches Unternehmen aus Rostock. Eikboom ist Plattdeutsch und heißt Eichenbaum. Im Firmennamen steht er seit über 50 Jahren für Kontinuität und Tradition.

1956 gegründet, verfügt die "EIKBOOM" GmbH über jahrzehntelange Erfahrung in der Verarbeitung von glasfaserverstärkten Kunststoffen. Kunden werden schon in der Konstruktionsphase von Kunststoffbauteilen begleitet und beraten. Modelle und Arbeitsformen werden je nach Wunsch in den technisch modernen Fertigungsstätten hergestellt. Zu den Modellen gehören aber nicht nur Formen für Windkraftgehäuse; auch Teile für Luftfahrt, Bootsbau, Auto und Kühltürme werden gefertigt. Seit über 15 Jahren dient Eikboom als Lieferant für Windkraftanlagegehäuse. Bisher wurden insgesamt ca. 2.500 Windkraftanlagegehäuse von 600 kW bis 5 MW gefertigt unter anderem für die Firma Nordex Energy GmbH.

3. Umweltrelevanz des Förderprojekts

Die Umweltschäden, verursacht durch einen Ölunfall an einer Windkraftanlage, können erhebliche Ausmaße haben. Je höher der Turm, umso großflächiger wird das austretende Öl auf die Umgebung verteilt. Da sich die Anlagen an Land üblicherweise auf landwirtschaftlichen Flächen befinden, werden in einem Umkreis von bis zu 350m sowohl die Umgebung, der Boden und auch die darauf befindlichen Nutzpflanzen kontaminiert.

Bei Offshore Anlagen ist ein Umweltschaden durch einen Ölunfall nicht reparabel. Das austretende Öl wird durch die Strömung rasch verteilt und eine lokale Sanierung ist nicht möglich. Da Offshore Anlage auch in oder an ökologisch sensiblen Bereichen betrieben werden (Naturpark Wattenmeer), kann ein solcher Schadensfall erhebliche Auswirkungen auf das Ökosystem dieser Flächen haben. Mittlerweile werden besonders bei Offshore Anlagen

biologisch abbaubare Öle und Hydraulikflüssigkeiten eingesetzt. Allerdings liegen die Abbauzeiten dieser Öle im Bereich von mehreren Wochen.

Das bei einem Ölschaden freigesetzte Öl ist bereits üblicherweise über eine längere Zeit in einer Anlage eingesetzt, häufig bereits durch Metallabrieb verschmutzt und häufig mit Additiven versetzt. Aufgrund dieser Mischung können auch biologisch abbaubare Öle kritisch für die Umwelt werden.

Das OSC-System verhindert sicher, dass ein Ölunfall automatisch zum Umweltschaden wird. Das Bindemittel im OSC-System ist immer auf die komplette in der Windkraftanlage vorhandene Ölmenge ausgelegt (+30% Sicherheitsreserve), so dass alle austretenden ölhaltigen Betriebsmittel sicher aufgehalten und gebunden werden.

Der Austausch des Bindemittels kann ohne große Betriebsunterbrechung einfach und sicher von außen erfolgen, Wartungsarbeiten am System sind aufgrund der uneingeschränkten Zugänglichkeit auch jederzeit möglich.

Das eingesetzte Ölbindemittel ist hervorragend umweltverträglich. Es ist langzeitstabil, komplett frei von Emulgatoren und Tensiden und absolut witterungsbeständig. Im Schadensfall wird austretendes Öl sicher eingebunden und auch das ölgesättigte Material bleibt wasserdurchlässig. Die gesättigten Matten können einfach ausgetauscht werden. Für die weitere Behandlung stehen zwei Wege zur Verfügung. Das gesättigte Bindemittel kann entweder mit dem eingebundenen Öl rückstandsfrei verbrannt werden oder das Bindemittel kann durch Zentrifugalkraft vom eingebundenen Öl getrennt werden. Im zweiten Fall ist nur das entfernte Öl zu entsorgen, das auf diese Weise recycelte Bindemittel kann ohne Einschränkungen wieder eingesetzt werden. Bei Rückbau einer Windkraftanlage kann der OSC-Kragen einfach vom Turm getrennt werden und vergleichbar wie die ebenfalls aus Kunststoff bestehenden Gondelgehäuse fachgerecht entsorgt werden.

4. Entwicklungsrisiken des Förderprojekts

Entwicklungsrisiken des Projekts bestehen im Wesentlichen in der Stabilität, der Funktion und dem Handling des Systems. Folgend sind für diese drei Bereiche die System-Vorgaben und die damit verbundenen, im Förderprojekt zu evaluierenden Risiken dargestellt.

4.1 Stabilität

Vorgaben: Das OSC-System muss die Schwingungen, Vibrationen und Lastwechselreaktionen sicher überstehen. Die Masse des Turms und das Schwingungsverhalten darf in keiner Weise beeinflusst werden. Der Kragen muss so leicht wie möglich sein, gleichzeitig aber auch extrem stabil, verwindungssteif und begrenzt flexibel. Das

System muss ohne Eingriff in die Statik des Turms von außen sicher und fest verankert werden.

Risiken: Der Kragen muss fest fixiert und dicht mit dem Turm verbunden werden. Besonders bei hohen Türmen treten im Betrieb starke Schwingungen und Lastwechselreaktionen auf. Die Türme bestehen in den meisten Fällen aus Stahl und/oder Beton. Das OSC-System muss als Kunststoff Formteil stabil genug sein, um dem mechanischen Stress dauerhaft zu vertragen. Es darf keinerlei Rissbildung geben und die Abdichtung zum Turm muss langfristig sicher sein. Die Masse des OSC-Systems darf keinerlei Einfluss auf das Schwingungsverhalten und die Stabilität des Turms haben

4.2 Funktion

Vorgaben: Unter normalen Betriebsbedingungen muss sichergestellt sein, dass aus dem Bereich der Gondel austretendes Öl nicht am Kragen vorbeilaufen kann, nicht oberhalb abgelöst wird und sicher innerhalb des Kragens eingebunden wird. Die Lagerung und Fixierung des Bindemittels muss auch bei mechanischer Beanspruchung des Kragens gewährleistet sein. Regenwasser und Verschmutzungen durch Staub, Laub oder andere Fremdkörper dürfen das System nicht beeinflussen. Regenwasserschutz in der Hauptanströmrichtung muss gewährleistet sein.

Risiken: Ölschäden können in der Anlage punktuell oder großflächig auftreten. Dabei kann sich das Öl innerhalb der Gondel bereits über weite Bereiche der Innenfläche verteilen und dann nach unten abtropfen. Beim Bruch eines Schlauchs oder eines Fittings kann Öl mit hohem Druck freigesetzt werden. In allen möglichen Fällen muss das austretende Öl sicher aufgefangen und gebunden werden. Abhängig von der Art des Schadens und der Form des Austritts, variiert auch die Temperatur des Öls. Hier muss sichergestellt sein, dass Öl sowohl mit Betriebstemperatur als auch abgekühlt sicher aufgefangen und gebunden wird. Der Einfluss von Witterung und Verschmutzung kann nicht am Boden simuliert werden. Diese Risiken sind nur im Langzeitversuch zu bewerten.

4.3 Handling

Vorgaben: Die Montagehöhe unter der Gondel muss den notwendigen Freiraum für den Einbau bzw. den Wechsel des Bindemittels bieten, gleichzeitig aber auch austretendes Öl sicher auffangen. Das System ist nur universell verwendbar, wenn es ausschließlich von außen montiert, aufgebaut, gewartet und mit neuem Bindemittel versorgt werden kann. Diese Zugänglichkeit muss an der Anlage getestet werden. Es wird ein Freiraum von 300 mm vorgegeben.

Risiken: Ob der gewählte Arbeitsbereich sowohl absolute Sicherheit als auch uneingeschränkter Zugang garantiert ist zu erproben. Möglicherweise sind Korrekturen nach oben oder unten notwendig.

5. Innovativer Charakter des Projektes

Aktuell gibt es kein Sicherungssystem zur Vermeidung der umweltschädigenden Folgen von Ölunfällen an Windkraftanlagen auf dem Weltmarkt. Daher wurde bisher auch weder eine Risikoanalyse noch eine Risikobewertung bezüglich dieser Problematik durchgeführt. Das Problem der Ölschäden und ihrer Umwelteinwirkungen ist in der Branche durchaus bekannt, mangels Lösungsansatz wird es aber toleriert und stillschweigend hingenommen.

Dabei gab es bisher durchaus erste Versuche.

Das OSC-System wurde bereits 2011 unter dem Zeichen PCT/DE 2012/100234 zum Patent angemeldet. Mittlerweile sind die Patenansprüche geprüft und bestätigt. Die internationale Veröffentlichung erfolgte am 14.02.2013.

Im Rahmen der Patentrecherche wurde festgestellt, dass eine Lösung für die Problematik des unzureichenden Schutzes vor Ölunfällen bei Windkraftanlagen sowohl national wie international seit Jahren gesucht wird.

In Deutschland wurde bereits 2006 ein Patent für ein Flüssigkeits-Auffangsystem erteilt und seit 2010 ist eine Patentanmeldung in den USA für ein vergleichbares Verfahren anhängig. Die beiden bekannten und publizierten Verfahren unterscheiden sich allerdings wesentlich vom OSC System. In beiden Fällen sollen die Flüssigkeiten im Bereich der Gondel aufgefangen werden um dann in den Turm und ein darin befindliches Sammelsystem geleitet zu werden. Ein solches Vorgehen ist nicht praktikabel. Zum einen sind Eingriffe in die Baustruktur und Statik des Turms nicht möglich, zum anderen wird das hochviskose und nach einem Unfall üblicherweise verschmutzte Getriebeöl nicht aufgrund der Schwerkraft durch ein Fallrohr bis zum Boden des Turms ablaufen. Die Rohrleitung würde zwangsläufig verstopfen und das Öl wieder nach außen gelangen.

Bisher kamen alle Lösungsansätze von Anlagentechnikern, die eine Lösung ausgehend von der in der Gondel befindlichen Maschinenteknik gesucht haben. Dieser Weg ist nach heutiger Erkenntnis falsch. Jeder Anlagenhersteller optimiert seine Technik auf Effizienz und Verfügbarkeit, die Form und die Konstruktion der Gondel hat sich diesen Vorgaben unterzuordnen.

Der besondere innovative Charakter des OSC-Systems ist, dass es von außen nach innen entwickelt wurde. Es ist völlig unabhängig von der installierten Technik und kann daher jede

auf dem Markt befindliche Windkraftanlage sicher schützen. Eine Nachrüstung bestehender Anlagen ist genauso einfach und sicher durchführbar, wie die Ergänzung eines Neubaus.

6. Produktevaluierung

Umweltschäden durch Ölunfälle an Windkraftanlagen sind ein bisher ungelöstes Problem bei dieser Form der Gewinnung regenerativer Energie.

Das OSC-System kann eine innovative und universell einsetzbare Sicherheitseinrichtung zur Vermeidung eines unkontrollierten Austritts von Öl und ölhaltigen Betriebsmitteln bei allen marktüblichen Windkraftanlagen darstellen. Es bietet Schutz und Sicherheit, unabhängig von der eingesetzten Technik der Energiegewinnung und von der Form und dem Material des Turms.

Die Bewertung der Funktionen der wesentlichen Einzelkomponenten Bindemittel und Sicherheitskragen ergibt bereits eine hohe Sicherheit, so dass das OSC-System die Funktion einer Ölschadenssicherung an einer Windkraftanlage erfüllen kann. Beide Komponenten sind grundsätzlich für den vorgesehenen Einsatz geeignet. Das Bindemittel Deurex Pure ist in der Lage Wasser und Öl zu trennen und besitzt eine hohe spezifische Ölaufnahmefähigkeit bei gleichzeitig sicherer Langzeitbeständigkeit. Es ist recyclingfähig und umweltneutral in Herstellung und Anwendung. Die ersten Sicherheitskragen wurden aus GFK gefertigt, einem Werkstoff, aus dem auch die Gondeln der Windkraftanlagen hergestellt werden. Bezüglich der Anwendung des Werkstoffs und der Konstruktion des Kragens kann auf umfangreiche Erfahrungen aus dem Betrieb vieler tausend Systeme national wie international zurückgegriffen werden.

Die Ergebnisse der Vor- und Feldversuche haben die Grundlagen bezüglich dem sicheren Zusammenwirken aller Komponenten geliefert und boten damit die Basis für die technische Ausführung eines funktionstüchtigen Systems, welches in der Lage ist, die aktuell noch vorhandenen Umweltrisiken aus dem Betrieb von Windkraftanlagen zu eliminieren.

Die Kosten für die Herstellung und Installation eines OSC Sicherungssystems liegen im Bereich von 1-2% der Investitionskosten einer Neuanlage, und bei <5% der Sanierungskosten eines Schadens an Land. Bei Offshore-Anlagen entfällt der Bezug zu den Sanierungskosten, da hier grundsätzlich keine Sanierung möglich ist.

7. Projektierung und Konstruktion

Der erste Arbeitsschritt war die Konstruktion inklusive der statischen Berechnungen der Kragenform. Ein OSC soll aus zwei Halbschalen bestehen, die vor Ort, bei der Montage zu einem Ring verbunden und geschlossen werden.

Auf der Grundlage der Hauptanforderungen:

- Anordnung am Turm unterhalb der Gondel mit einem maximalen Abstand der Ölabweiser von 500 mm
- Aufnahmevermögen von bis zu 500 l Öle aller in WEA zum Einsatz kommender Ölsorten
- Berücksichtigung einer punktuellen Ölaufnahme von 500 l
- maximales Gesamtgewicht ohne Öl von 500 kg

wurde eine offene Halbring Struktur entwickelt die aus einem einschaligen FVW-Massivlaminat besteht. Zur Verringerung örtlicher Verformungen wurden nach Simulationsergebnissen Versteifungsbleche eingesetzt. Für die Befestigung am Turm, wird die Selbsthemmung der Konus-förmigen Turmspitze ausgenutzt. Zur redundanten Sicherung kann ein umlaufender Spanngurt angeordnet werden. Der Transport bzw. der Montagehub wird über entsprechende Transportösen realisiert. Die Anordnung dieser Ösen ergibt sich aus den Anforderungen des vorgesehenen Montageprozesses am Turm der WEA.

7.1 Rechnergestützte Simulation der strömungstechnischen Belastung

Mit dem Einsatz von numerischen Technologien (CFD) zur rechnergestützten Simulation der strömungsmechanischen Belastungen (Strömungsgeschwindigkeiten, wirkende Kräfte und Momente infolge der Rotor, Gondel und Turm Umströmung) wurden für relevante Lastfälle, wie Windgeschwindigkeiten bei Nennleistung bzw. extreme Lasteintragungen nach entsprechenden Zertifizierungsvorschriften (bspw. Jahrhundert Böe), die äußeren Belastungen für das OSC-System ermittelt. Dabei wurde eine Anordnung direkt unterhalb der Gondel gewählt. Die Simulation wurde für drei zurzeit prägnante Gondeltypen von WEA ausgeführt.

Der durch die Anordnung des OSC-Systems am oberen Turmende entstehende zusätzliche Krafteinfluss, beträgt in Abhängigkeit der Gondelform bis zu 2% der Kraftwirkung der Strömung auf die Gondel bei Nennlastbetrieb der WEA.

Für die Dimensionierung und Auslegung der Laminatstruktur der Faserverbundbauteile und der Montageelemente bzw. Transportösen wurden numerische Festigkeitsberechnungen basierend auf Finite Element Methoden unter Nutzung der Ergebnisse der

Strömungssimulationen ausgeführt. Damit konnte eine Hauptforderung der Einhaltung der maximalen Masse des Gesamtsystems von kleiner 500 kg erfüllt werden.

Basierend auf diesen Simulations- und Berechnungsergebnissen wurde unter dem Einsatz von Leichtbaumethoden für Faserverbundstrukturen die Dimensionierung des Prototyps vorgenommen.

Darstellung ausgewählter Ergebnisse der Strömungssimulationen und Festigkeitsberechnungen:

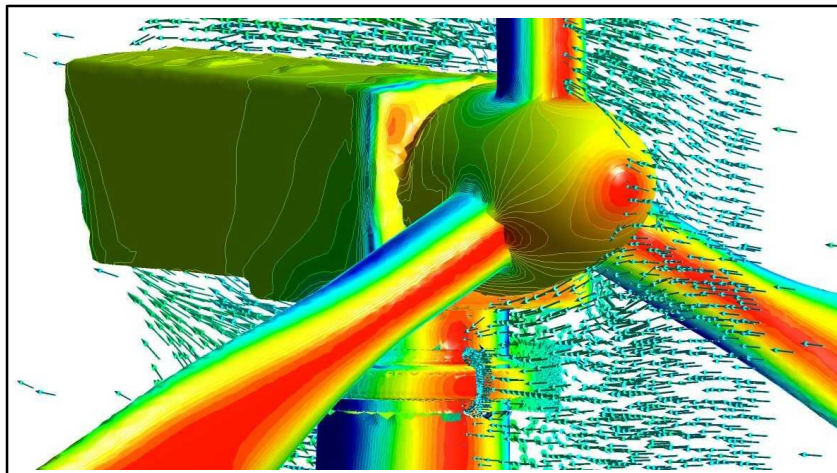


Bild 2: Darstellung der Umströmung einer kastenförmigen Gondel mit darunter angeordnetem OSC-System Ansicht in Strömungsrichtung

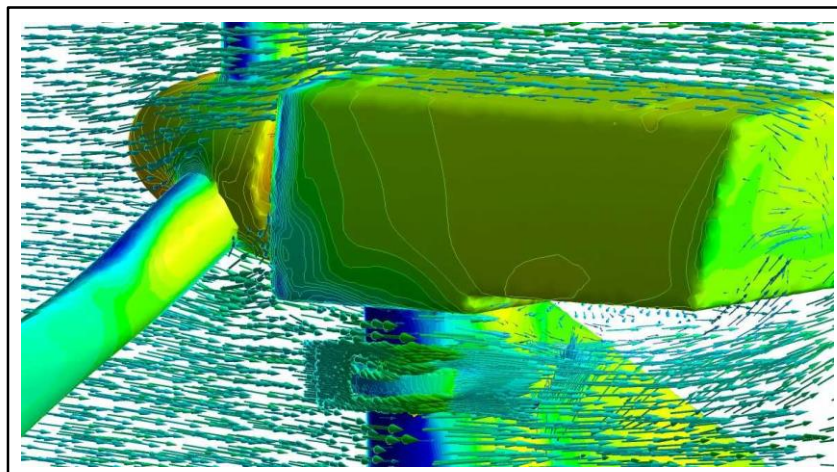


Bild 3: Darstellung der Umströmung einer kastenförmigen Gondel mit darunter angeordnetem OSC-System Ansicht entgegen der Strömungsrichtung

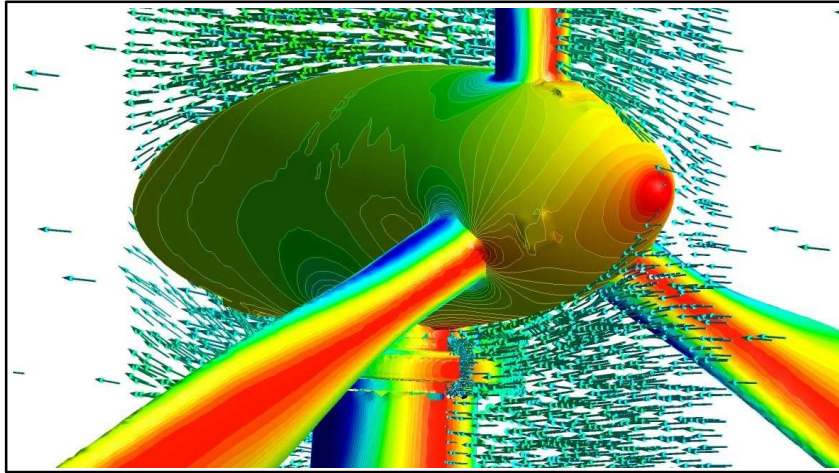


Bild 4: Darstellung der Umströmung einer rotationselliptischen Gondel (Prandtl'scher Körper) mit darunter angeordnetem OSC-System Ansicht in Strömungsrichtung

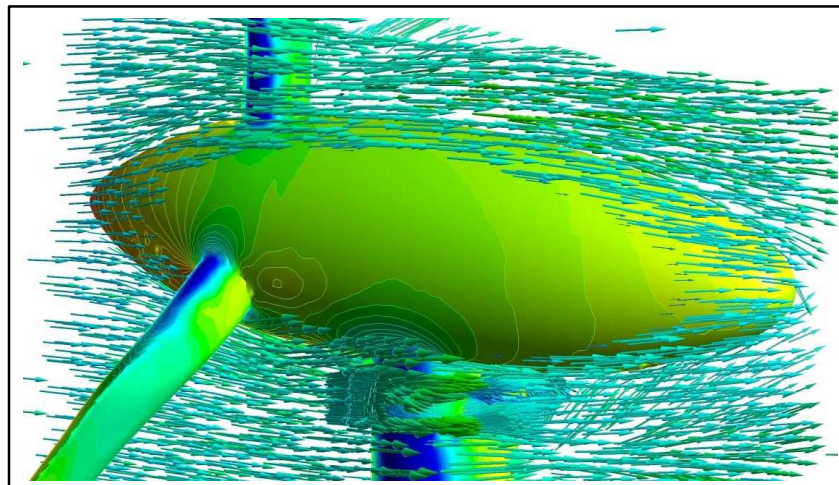


Bild 5: Darstellung der Umströmung einer rotationselliptischen Gondel (Prandtl'scher Körper) mit darunter angeordnetem OSC-System Ansicht entgegen der Strömungsrichtung

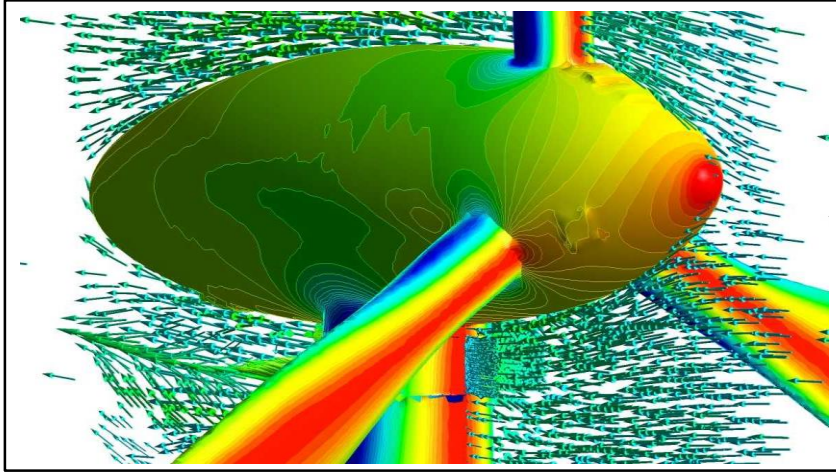


Bild 6: Darstellung der Umströmung einer rotationselliptischen Gondel (Prandtl'scher Körper) ohne darunter angeordnetem OSC-System Ansicht in Strömungsrichtung

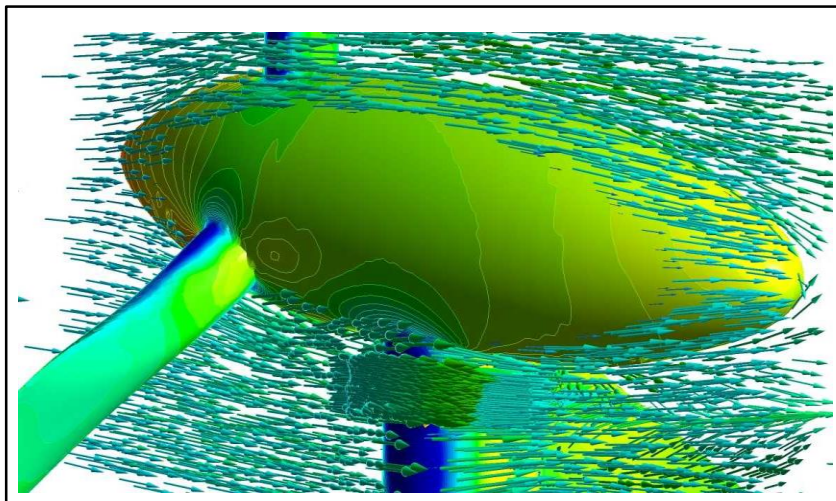


Bild 7: Darstellung der Umströmung einer rotationselliptischen Gondel (Prandtl'scher Körper) ohne darunter angeordnetem OSC-System Ansicht entgegen der Strömungsrichtung

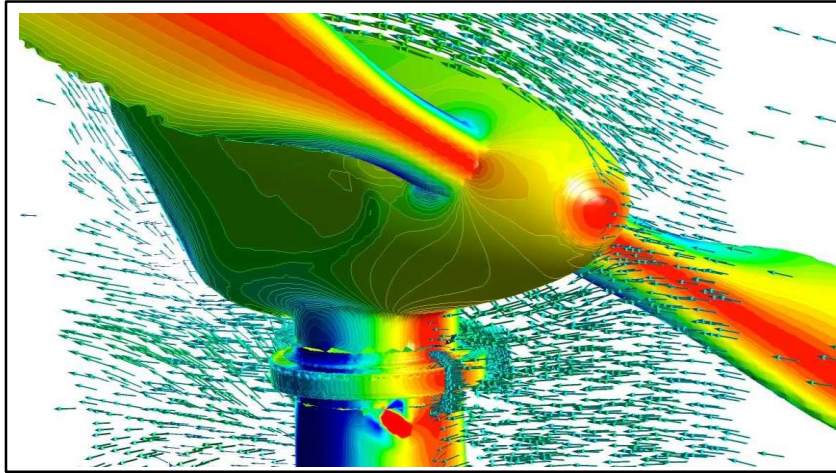


Bild 8: Darstellung der Umströmung einer Kombination von kastenförmiger und rotationselliptischer Gondel mit darunter angeordnetem OSC-System Ansicht in Strömungsrichtung

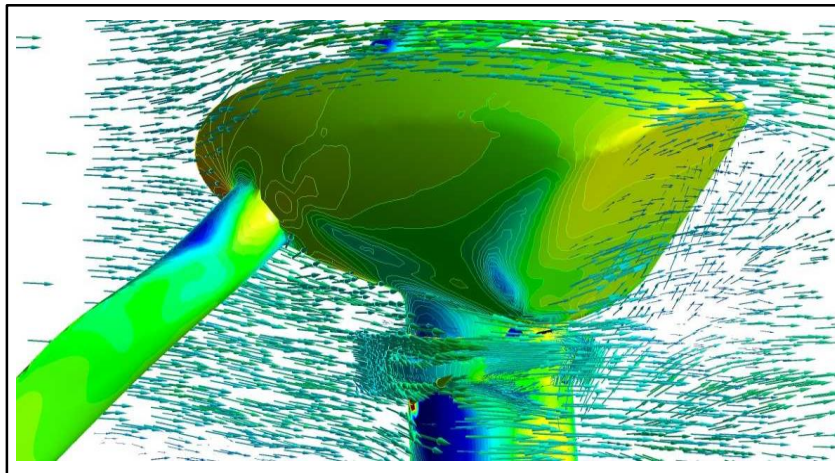


Bild 9: Darstellung der Umströmung einer Kombination von kastenförmiger und rotationselliptischer Gondel mit darunter angeordnetem OSC-System Ansicht entgegen der Strömungsrichtung

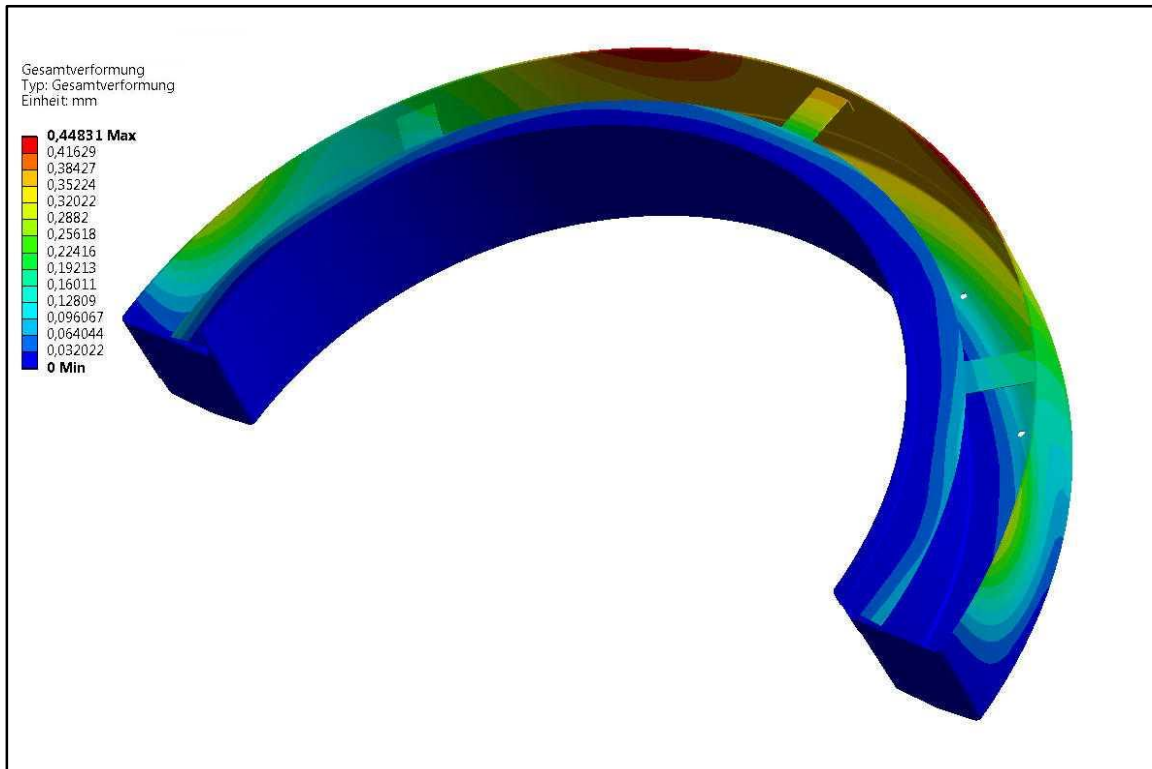


Bild 10: Verformung des OSC-Systems bei äußeren Belastungen im Last Fall Nennleistung einer WEA

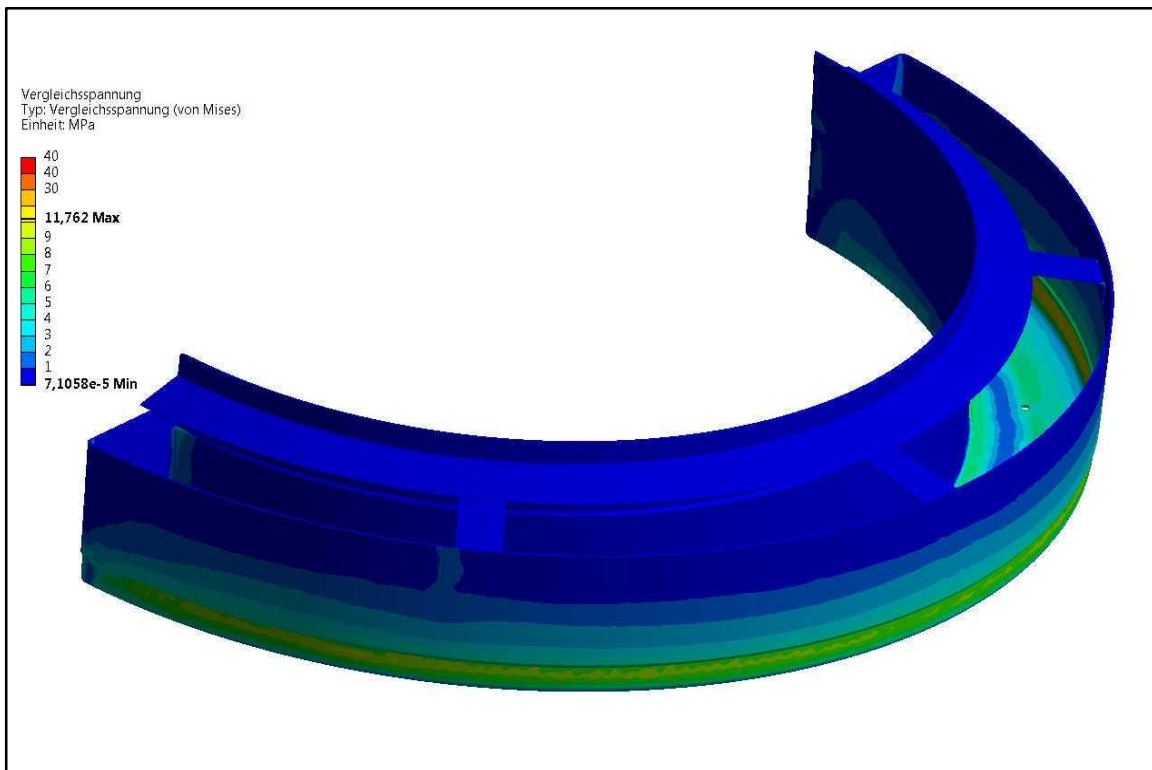


Bild 11: Spannungsverteilung in der Laminatstruktur des OSC-Systems bei äußeren Belastungen im Last Fall Nennleistung einer WEA

7.2 Konstruktion des OSC

Die Konstruktion des OSC-Systems erfolgte als offene Ringstruktur einer einschaligen Massivlaminatstruktur. Auf der Grundlage der strömungs- und festigkeitsmechanischen Untersuchungen konnte infolge der geringen inneren Belastungen der FVW-Struktur, die Selbsthemmung der Konus-förmigen Turmspitze ausgenutzt werden.

Die Verbindungselemente, Zusatzversteifungen und Transport- / Tragösen wurden mit den Sicherheitsfaktoren der entsprechenden Regelwerke (Euro Code 3, GL/DNV) für WEA und Türme ausgelegt. Als Material kommt für On-Shore Anlagen Edelstahl der Güte A2 bzw. Off-Shore Edelstahl der Güte A4 zum Einsatz.

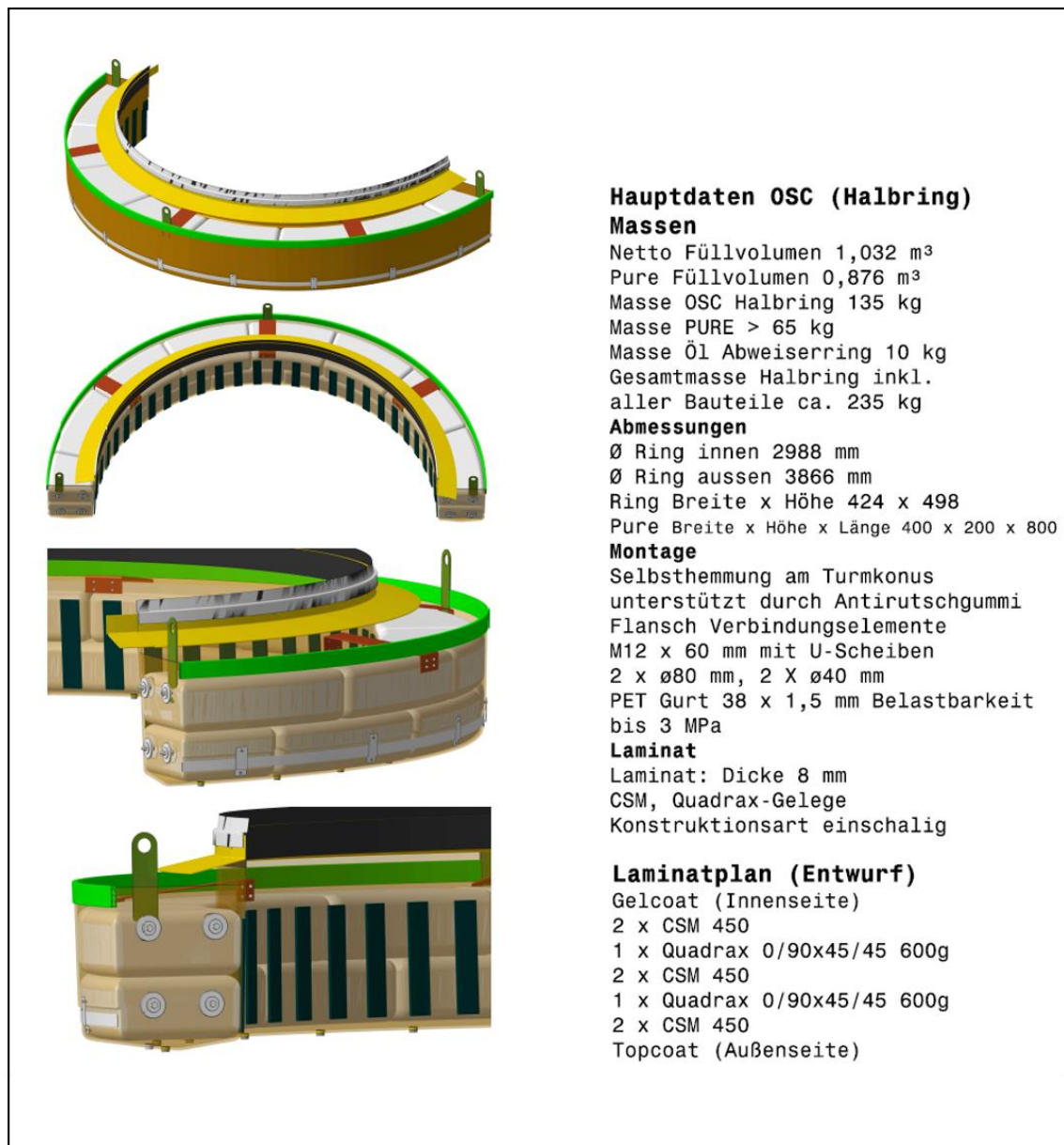


Bild 12: Konstruktionsdaten des OSC

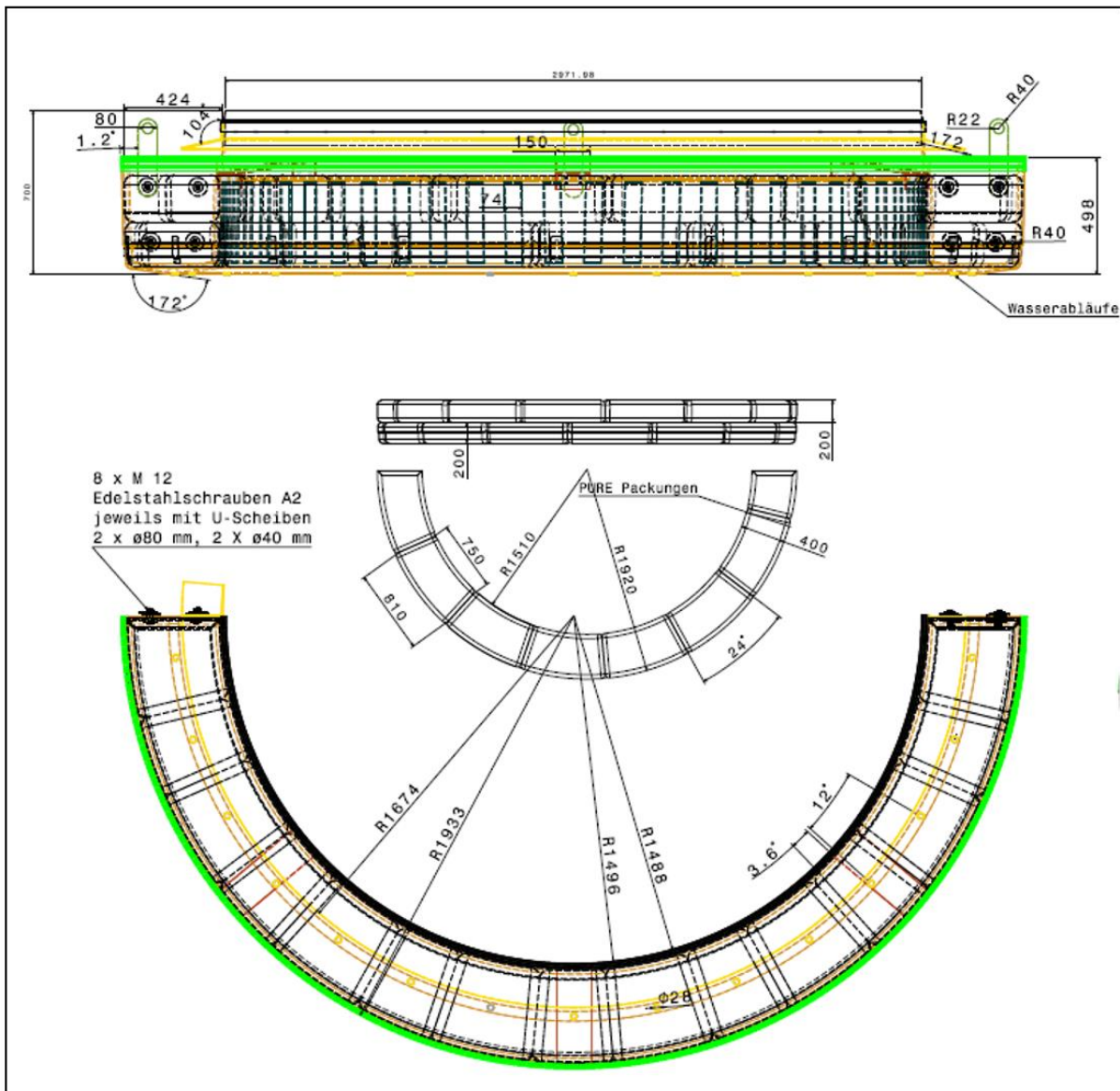


Bild 13: Layout des ersten Demonstrators

7.3 Fertigung des OSC

Für den Modellbau der tragenden Faserverbundstruktur wurde eine Holzbauweise als Positivmodell gewählt. In dem vorliegenden Fall ist dies die günstigere Variante für mögliche schnelle Änderungen. Die OSC-Ringelemente und die Ölabweiser wurden in Massivlaminat mit Wirrfaser und Roving Gelege gefertigt. Die Forderung nach dem Einsatz von Polyesterharz als Matrixwerkstoff der FVW-Struktur konnte mit dem numerischen Festigkeitsnachweis erfüllt werden. Der Bauteilbeschnitt erfolgt in der Modellform. Die Schnitt-, Montagekanten und Wasserabtropföffnungen wurden durch ein Topcoating geschützt.

Morphologischer Kasten OSC-System

Charakteristik	Lösung 1	Lösung 2	Lösung 3
Ölauffang	Abweiser	Schürze	Tropfhilfe
Halterung Ölaufnahme Material	Wanne	Winkel	Plattform
Ölmanagement im Havarie Fall	Sammelauffang	Schwallbremse	Gerinne
Halterungsteilung	2-fach	3-fach	4-fach
Befestigung am Turm	selbsthemmend	Halteseil	Verschraubung
Abdichtung zur Turmwand	Dichtpaste	Dichtband	Labyrinth Dichtung
Wasser/Öl Management	Abtropföffnungen	Fallrohr	Gerinne
Turmmontage	Transportflaschen	Traverse	Seilsystem

Tabelle 1: Morphologischer Kasten OSC-System

8. Das Öl-Bindemittel Deurex PURE

Das für den OSC eingesetzte Öl- und Chemikalienbindemittel PURE basiert auf Polyethylenwachs. Die Herstellung erfolgt bei der Firma DEUREX durch Aufschmelzen und Versprühen des Waxes in einem Sprühturm zu einem watteartigen faserigen Produkt



Bild 14: Öl- und Chemikalienbindemittel DEUREX PURE

Der Rohstoff Wachs ist völlig hydrophob. Damit wird von dem Produkt kein Wasser aufgenommen. Der Schmelzpunkt des Waxes liegt bei 115-120 °C, so dass eine thermische Beständigkeit bis zu diesem Punkt gewährleistet ist. Es wird durch Umwelteinflüsse nicht zersetzt und ist im gesättigten und ungesättigten Zustand schwimmfähig. Es können alle Ölsorten und andere hydrophoben Chemikalien aufgenommen werden (beispielhaft Abb. 2: Altöl)



Bild 15: Aufnahme von Altöl mittels DEUREX PURE

Das Produkt hat eine hohe Ölaufnahmekapazität, die durch die DEKRA mit 6,55 Liter/kg geprüft wurde. Aufgrund dieses hohen Aufnahmevermögens wird in Relation zur Ölmenge nur ein geringe Menge Bindemittel benötigt. Für die Aufnahme von 100 Litern werden nur etwa 15 kg Bindemittel benötigt.

Parameter	Einheit	Ergebnis
Ölbinderbedarf PURE		
g Ölbinder PURE/ 100 g Öl	g	19
ml Ölbinder PURE / 100 ml Öl	ml	201
1 l Ölbinder PURE bindet	g Öl	410
1 l Ölbinder PURE bindet	ml Öl	0,50
1 kg Ölbinder PURE bindet	l Öl	6,55
1 kg Ölbinder PURE bindet	kg Öl	5,40

Tabelle 2: Ergebnisse der DEKRA-Prüfung für DEUREX PURE

Je nach Anwendung kann der Ölbinder dafür in unterschiedlichsten Verpackungsformen geliefert werden:

- als lose Ware in Eimern, Big Bags und Hobbocks
- vernäht als Vlies und Matte
- als Quader
- als Schlauch



Bild 16: Verpackungsformen PURE

9. Bodenversuch und Feldtest

Die Funktion und die Stabilität des OSC-Systems wurde schrittweise, zuerst am Boden, danach in einem sechs Monate dauerndem Feldversuch an einer Anlage getestet. Dabei wurde am Boden ein Ölunfall in einer realistischen Größenordnung unter Aufsicht simuliert und dokumentiert. Durch diesem Versuch wurden sicherer Basisdaten für die Grundfunktionen der Aufnahme- und Einbindesicherheit des Systems im großtechnischen Betrieb gewonnen. Die folgende Langzeitbeobachtung gab Aufschluss bezüglich der Stabilität im Dauerstress.

9.1 Bodenversuch

Der Bodentest wurde am 09.12.2013 in einer Werkhalle der Firma Eikboom durchgeführt.

Die folgenden Prüfpunkte wurden dabei untersucht und dokumentiert:

- Prüfung der Bauausführung des OSC
- Einlagerung des Bindemittels
- Test der Wasserdurchlässigkeit (OSC aufgebockt)
- Test der Ölaufnahme
- Test der Entnahme des ölhaltigen Bindemittels

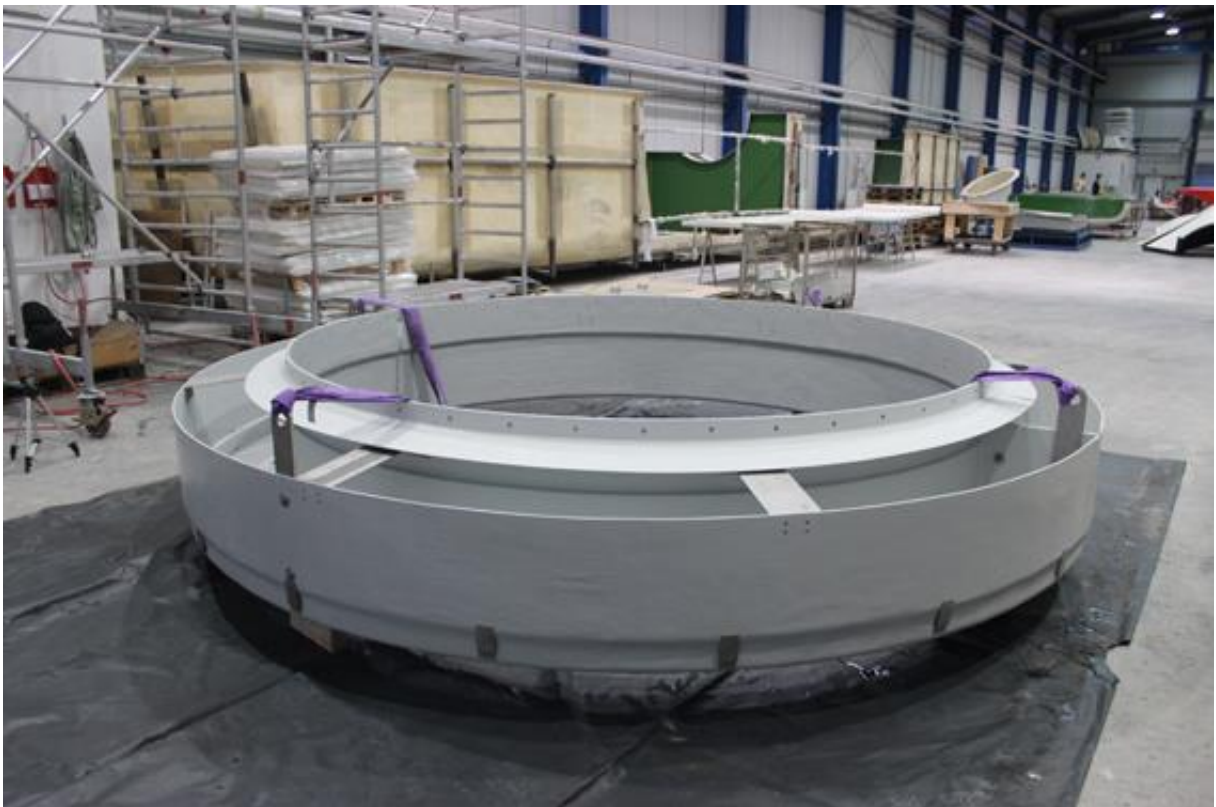


Bild 17: fertig montiertes OSC-System vor den Bodenversuchen

9.1.1 Prüfung der Bauausführung des OSC

Prüfung der Maßhaltigkeit und des Zusammenbaues entsprechend der zeichnerischen Unterlagen.

Folgende Änderungen/ Ergänzungen sind bei einer Serienfertigung zu beachten:

- jeweils das 1. Loch von der Verschraubung gesehen in den Halbringen verschließen
- Halbleche verlängern wegen der Nietführung im Radius des Haltegurt Rezesses
- Anpassung der mittleren Anschlagösen auf die Länge der äußeren Anschlagösen
- Ölabweiser an den Vorderkanten abrunden, möglicherweise zusätzliche kleine Leitbleche
- Abweiserring nur mit Spalt nebeneinander montieren, auf ausreichenden Spaltabstand ca. 2-3 mm achten (Bauteilfreiheit bei Bewegung am Turm)
- Baudifferenzen ca. 10 mm über Gesamtumfang
- Die mittlere Anschlagöse wurde in der Montage neben dem Aussteifungsblech versetzt
- Aussteifungsbleche 180° drehen und über dem Rezzess der Rutschgummilage montieren

Bestimmung des Gesamtgewichtes ohne Pure-Einlage mittels einer Kranwaage

Wägung an den 4 Anschlagpunkten im vollständig montierten Zustand

- Gewicht = 304,5 kg inkl. montierter Bauteile ohne Antirutschgummi und Butylband



Bild 18: Wägung OSC

Prüfung der mechanischen Verbindungen im angehobenen Zustand

- während des Anhebens sowie im angehobenen Zustand ergeben sich keine Spaltöffnungen an den Verbindungsbereichen
- die Verbindungselemente weisen ebenfalls keine Verformungen bzw. Druckstellen im Laminat an den Unterlegscheiben zur Lasteintragung auf



Bild 19: Verbindung der OSC Halbschalen im angehobenen Zustand

Prüfung der mechanischen Verformung durch Anheben an den 4 Anschlagpunkten mittels mechanischer Messmittel (Richtscheit, mechanische Messmittel zum Hallenboden)

- bei verschraubten Bauteil und gemeinsamen Hub nur geringfügige Verformung bis max. 5 mm über den Gesamtumfang
- eine weitere Differenz von ca. 5 mm über den Umfang ergibt sich aus dem manuellen Entnahme der OSC-Ringe aus der Bauform

9.1.2. Einlagerung der Pure-Packungen

Prüfung der Füllung von Hand der doppelagigen Pure-Einlage

- Die Einlage der Pure-Packungen von Hand ist trotz der Öl-Abweiserkante problemlos möglich
- Die Nutzung von Mattenmaterial für die Gewährleistung eines besseren Wandabschlusses lässt sich ohne weitere konstruktive Maßnahmen realisieren

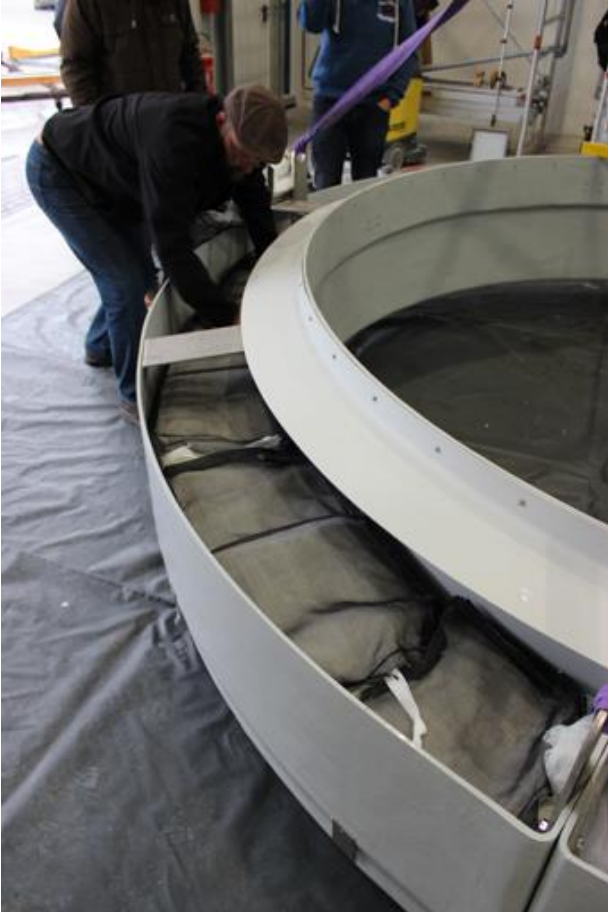


Bild 20 + 21: Einlegen der Bindemittel

Prüfung der Wanddichtigkeit, des Anliegens der Pure-Einlage am OSC Innenring

- Wanddichtigkeit wird durch eine mattenförmige Pure-Einlage ausreichend gewährleistet, die zwischen den Pure-Paketen und der Innenseite des OSC-Halbringens eingelegt wird
- als günstige Bauform werden die Abmessungen 500 x 1000 mm angesehen
- der Einsatz der neuen vorgestellten zylindrischen Packungsform wird favorisiert

Bestimmung des Gesamtgewichtes mit Pure-Einlage mittels einer Kranwaage

- Wägung an den sich ergebenden 4 Anschlagpunkten im vollständig montierten Zustand
- Gewicht = 476 kg in voll ausgerüstetem Zustand ohne Antirutschgummi und Butylband

9.1.3. Test auf Wasserdurchlässigkeit

Prüfung des Durchflusses von über den Ölabweiser eingebrachten Wassers

- Über den Abweiser aufgebracht Wasser durchläuft in ca. 2 ½ - 3 min. die Pure-Packung
- In der Sammelrinne der OSC-Halbringe verbleibt nur ein minimaler Wasserfilm

Bestimmung der mittleren Durchflusszeit durch die doppelagige Packung

- in Abhängigkeit vom Benetzungsgrad der doppelagigen Pure-Packung erfolgt der Wasserdurchfluss in 1 - 3 min.
- die Bauteilübergänge sollten ebenfalls mit einer Ableitung in Form der Überklebung mit Butylband versehen werden

9.1.4. Test der Ölaufnahme

Ermittlung des Ölflusses über den Ölabweiser bei kontinuierlichem Ölfluss

- die Funktionalität wird bei kontinuierlichem Ölfluss problemlos erreicht
- ein möglicher Windeinfluss bezüglich des Verwehens einzelner Tropfen konnte infolge des Versuchsaufbaues vorerst nicht überprüft werden
- mögliche Minderung dieses Einflusses durch zusätzliche kleine Leitbleche auf dem Ölabweiser



Bild 22: Ölfluss über den Ölabweiser

Ermittlung des Ölflusses über den Ölabweiser bei schwallartigem Ölfluss

- die Funktionalität wird bei schwallartigem Ölfluss problemlos erreicht



Bild 23: Simulation eines Punktuellen Ölschadens

Prüfung der Ölaufnahme der Pure-Einlage über den Ölabweiser bei kontinuierlichem Ölfluss

- die Funktionalität wird bei kontinuierlichem Ölfluss problemlos erreicht
- Butylband in Form einer Aufkantung um die Anschlagösen an den OSC-Halbringverbindungen setzen

Prüfung der Ölaufnahme der Pure-Einlage über den Ölabweiser bei schwallartigem Ölfluss

- die Funktionalität wird bei schwallartigem Ölfluss problemlos erreicht
- es bildet sich eine Art Lache / Pfütze auf der Pure-Packung, welche in die umgebenden Einlagen absickert

Prüfung der Ölaufnahme der Pure-Einlage über den Ölabweiser in den Randbereichen des OSC-Ringes an den Verbindungsstellen bei kontinuierlichem Ölfluss

- die Funktionalität wird bei kontinuierlichem Ölfluss problemlos erreicht
- infolge der Matteneinlage sind die Randbereiche vollständig gesichert



Bild 24 + 25: Ölaufnahme im Bindemittel

Prüfung der Ölaufnahme der Pure-Einlage über den Ölabweiser in den Randbereichen des OSC-Ringes an den Verbindungsstellen bei schwallartigem Ölfluss

- die Funktionalität wird bei schwallartigem Ölfluss problemlos erreicht
- infolge der Matteneinlage sind die Randbereiche vollständig gesichert

Prüfung des Durchflusses von eingebrachten Wassers bei ölhaltiger Pure-Einlage

- die Funktionalität wird bei kontinuierlichem bzw. schwallartigem Eintrag von Wasser über den Ölabweiser bzw. direkt problemlos erreicht
- in Abhängigkeit vom Benetzungsgrad mit Wasser der doppelagigen Pure-Packung erfolgt der Wasserdurchfluss in 1 - 3 min.
- der Grad der Ölbenetzung hat dabei nur einen geringen Einfluss

Bestimmung des Gesamtgewichtes mit ölhaltiger Pure-Einlage mittels einer Kranwaage

- Gewicht = 492 kg bei ca. 10 l Öl und 25 l Wasserdurchlauf

9.1.5. Test der Entnahme des ölhaltigen Bindemittels

Prüfung der Funktionsfähigkeit der Entnahme der ölhaltigen Pure-Einlage

- die Entnahme der Öl getränkten Pure-Packungen ist analog einfach manuell problemlos ausführbar, wie bei der Einlagerung
- verbleibende Öl-Filme können mit Pure-Matten oder Zellulose Tüchern entfernt werden
- aus den getränkten Pure-Packungen tritt während der Entnahme bei beliebiger Handhabung (drücken, biegen, knautschen, knicken) kein Öl aus

Ermittlung des verbleibenden Ölrestes in den OSC-Ringhälften

- nur auf dem Ölabweiser verbleiben Ölrückstände in Form eines Ölfilmes
- im OSC-Halbring verbleiben nur bei ungünstiger Handhabung verwischte Ölfilm Reste
- diese Ölfilmreste können mit dem dünnen Pure-Mattenmaterial rückstandslos entfernt werden



Bild 26: Restölfilm auf dem OSC Gehäuse

Prüfung der Funktionsfähigkeit der Wiedereinlage einer neuen Pure-Einlage

- Nach der Entnahme und Reinigung von verbleibenden Ölfilmen ist eine Wiedereinlage mit einer neuen Pure-Packung problemlos möglich

9.1.6. Funktionstest „loser“ verbundener OSC-Hälften für die Turmmontage

Folgende mechanische Prüfungen wurden am Boden durchgeführt:

Prüfung der Funktionsfähigkeit einer seilgestützten mechanischen Verbindung der OSC-Ringhälften im angehobenen Zustand

- Eine Ringhälfte ließ sich mit Hilfe einer Traverse problemlos und in der Waage anheben

Prüfung der Funktionsfähigkeit des Schließens von seilgestützten mechanischen Verbindungen der OSC-Ringhälften im angehobenen Zustand mit der Durchführung der Herstellung der mechanischen Schraubverbindung der OSC-Ringhälften im angehobenen Zustand; Prüfung der Funktionsfähigkeit des Öffnens einer seilgestützten mechanischen Verbindung der OSC-Ringhälften im angehobenen Zustand mit der Durchführung der Öffnung der mechanischen Schraubverbindung der OSC-Ringhälften im angehobenen Zustand

- Die Ringhälften ließen sich im angehobenen Zustand leicht und ohne zusätzliche Hilfsmittel durch eine einzelne Person verbinden und auch wieder trennen

Für die Montage an einem ausgewählten Turm, ist eine zusätzliche Transportvorrichtung, eine temporäre Montagehilfe sowie eine Traverse (massiv bzw. Seil gestützt) zu entwickeln.

9.1.7 Festlegungen für die Vorbereitung der Praxiserprobung an einem ausgewählten Turm

- ⇒ Vorbereitung und Ausführung der festgestellten technisch notwendigen Änderungen des Prototypen
- ⇒ Planung der Transportlogistik
- ⇒ Bereitstellung der Pure-Packung in den neuen Formen Matte und Zylinder

10. 1. Montageversuch am 18.03.2014

Eine wesentliche Vorgabe für die universelle Verwendbarkeit des OSC-System war, die Montage an einer bestehenden Anlage so einfach und kostengünstig wie möglich zu gestalten.

Grundsätzlich sollte die Montage ohne großtechnische Hilfsmittel wie z.B. Hubsteiger oder Montageplattformen möglich sein. Die Bearbeitung dieses Themas war ein wesentlicher Bestandteil der Vorarbeiten am Prototyp. Unmittelbar nach den Bodenversuchen mit dem Bindemittel waren daher die Entwicklung von Montagesystemen und die entsprechende Versuche der wesentliche Arbeitsschwerpunkt.

In den ersten Vorbetrachtungen war geplant, dass die beiden Hälften des OSC am Boden vormontiert werden sollten und dass dann, der komplette Kragen, einseitig offen, bis unter die Gondel gezogen und dort geschlossen wird. Diese Art der Montage stellte sich allerdings sehr schnell als nicht durchführbar dar. Der offene Ring war zu instabil und es wären mindestens zwei synchron arbeitende Fördersysteme nötig gewesen.

Daher wurde entschieden, die beiden Kragenhälften unabhängig voneinander mit nur einem Fördersystem an den vorgesehenen Montageort zu ziehen, dort vorzumontieren, danach die zweite Halbschale nach oben zu bringen, ebenfalls zu fixieren und erst dann beide Teile zu verbinden.

Bei den ersten Vorversuchen stellte sich heraus, dass die bereits am Prototyp montierten Montageösen nicht nutzbar waren. Eine Mehrpunktbefestigung benötigt zu viel Freiraum über dem System, der am Montageort, unmittelbar unterhalb der Gondel nicht zur Verfügung steht.

Jede Halbschale muss unbedingt an nur zwei Punkten Punkt fixierbar sein. Diese beiden Punkte dienen dann auch als Fixpunkte für den Krantransport. Es wurden verschiedene Lösungen simuliert und letztendlich stellte sich die Lösung mit einer spezifisch auf eine Halbschale des OSC angepassten Aluminium-Traverse und einem neu entwickeltem Tragsystem, welches in den Löchern zum Wasserablauf am Boden des OSC befestigt wurde, als ideal anwendbar heraus.

Die folgenden Fotos zeigen das neu entwickelte Tragsystem und die Fixierung des Systems in einem der Wasserabläufe am Boden der OSC-Halbschale.



Bild 27 + 28: Tragsystem für die OSC-Halbschalen

Die beiden OSC Halbschalen wurden in Rostock in einem LKW mit Ladebühne verladen und an den vorgesehenen Montageort, einem Windpark in Zschornowitz, einem in Ortsteil der Stadt Gräfenhainichen, im Landkreis Wittenberg in Sachsen-Anhalt gefahren.

Dort war für die Montage des OSC von der Betreibergesellschaft PSM eine Windenergie-Anlage zur Verfügung gestellt worden.

Betriebsdaten der WEA:

- DeWind D6 1000 kW
- Rotordurchmesser: 62 m
- Nabenhöhe: 65 m
- Doppelt gespeister Asynchrongenerator
- Windklasse: IIA/IIIA
- Installation 1999



Bild 29: DeWind D6 in Schornowitz

Aufgrund des relativ geringen Gewichts und der hohen Stabilität der Halbschalen konnten diese mit drei bis vier Personen einfach ausgeladen und zur WEA getragen werden.



Bild 30: Ausladen der OSC-Halbschalen

Vor Montagebeginn wurden die Halbschalen auf der dem Turm zugewandten Seite mit Streifen aus Moosgummi als Rutschhemmung beklebt, um einen sicheren Sitz der Systems sicherzustellen.



Bild 31. Befestigung der Moosgummistreifen als Rutschhemmung

Im nächsten Schritt wurde die temporäre Fixierung einer einzelnen Halbschale am Montageort vorbereitet. Da weder am Turm noch an der Gondel nutzbare Fixierpunkte zur Verfügung stehen, musste eine einfache und gleichzeitig sichere Montagehilfe gefunden werden.

Es wurden verschiedene Möglichkeiten der temporären Befestigung diskutiert und simuliert. Die ausgewählte Lösung ist einfach und bietet höchste Sicherheit. Vor der Montage, wird unmittelbar unter der Gondel ein textiler Hochlastgurt umlaufend um den Turm gespannt. An diesem Gurt sind Seilschlaufen befestigt, mit denen die Halbschalen fixiert werden können. Danach sollen sie ausgerichtet und dann endgültig verschraubt und verankert werden.



Bild 32: Montagehilfe Schwerlastgurt

Nach der Befestigung des Gurtes wurde eine Halbschale mit den Tragsystemen an der vorbereiteten Traverse eingehängt und mit Hilfe des Bordkrans der WEA nach oben gezogen.



Bild 33: Befestigung der Traverse

Bereits auf dem Weg dorthin konnte man sehen, dass dem Projektteam bei den vorbereitenden Arbeiten (Produktion von Negativform und Prototyp) ein folgenschwerer Fehler unterlaufen ist.



Bild 34: OSC-Halbschale unterhalb der Gondel

Der erste Projektantrag bei der DBU beinhaltete ursprünglich die Herstellung von zwei unterschiedlichen OSC-Systemen und die Erprobung an zwei Windenergieanlagen unterschiedlicher Bauart. Vorbereitend wurden von den Herstellern die Abmessungen der eingesetzten Türme nachgefragt. Nachdem das Projekt auf einen Kragen und die Anwendung an einer bestehenden Anlage beschränkt wurde, wurde auch nur ein einziger OSC gefertigt. Als dieser Kragen dann an der Anlage hing, mussten wir feststellen, dass er wesentlich zu groß war und daher nicht fixiert werden konnte.

Wir hatten die Abmessungen der Türme bei der Planung vertauscht und den für die Montage an der DeWind D60 (65m Turm) vorgesehenen OSC-Kragen passend für eine neue Nordex D100 (140m Turm) gebaut.

Die Kragenhälfte wurde wieder auf den Boden abgelassen, in den LKW verladen und zurück nach Rostock gefahren.

Es konnten zwar erste Praxiserfahrungen über den Montageablauf gewonnen werden, die endgültige Montage eines OSC-System an einer bestehenden WEA war jedoch fürs Erste gescheitert.

11. Montage des OSC am 01.07.2014

In interner Abstimmung mit den Projektpartnern wurde eine Lösung gesucht und gefunden die die Aussicht bot, das Projekt doch noch wie geplant abzuschließen. Dieser Lösungsweg wurde, gemeinsam mit der notwendigen Laufzeitverlängerung, mit der DBU abgestimmt und auch dort bestätigt.

Da im bisherigen Projektablauf sehr sparsam gewirtschaftet wurde, war es möglich im Rahmen der bewilligten Fördersummen, die bestehende Form umzuarbeiten und einen zweiten, für die DeWind D60 passenden Kragen zu fertigen. Auch die Montage und Erprobung dieses Kragen war im bestehenden Förderrahmen noch möglich.

Nach der Bestätigung der DBU wurde die bestehende Form angepasst und der zweite Prototyp bei Eikboom in Rostock gefertigt.

Am 30.06.2014 wurde das neue System in Rostock aufgeladen und nach Zschornewitz transportiert und am folgenden Tag völlig problemlos, innerhalb von 7 Stunden mit den vorab beschriebenen Montageschritten aus dem Seil montiert und mit dem Bindemittel befüllt.

Die einzelnen Montageschritte sind folgend noch einmal beschrieben und anhand von Fotos dokumentiert.



Bild 35: Die Halbschalen des zweiten OSC vor der Montage

Aufgrund des geringeren Durchmessers fällt der OSC jetzt wesentlich leichter aus und da auch die nicht mehr benötigten schweren Transportlaschen aus Edelstahl erst gar nicht montiert wurden, ließen sich die Halbschalen recht einfach mit zwei Personen handeln.

Die Leitbleche wurden von den vorhandenen Kragen übernommen. Aufgrund des geringeren Radius wurden sie eingeschnitten und konnten somit der Kragenform angepasst werden.

Vor der Montage wurden die freien Schlitze mit Alukaschiertem Klebeband überklebt.



Bild 36+37: Angepasste Leitbleche

Wie im ersten Montageversuch bereits erprobt, wurde zuerst der Schwerlastgurt als temporäre Montagehilfe am Turm fixiert.



Bild 38: Vormontage des Schwerlastgurts

Die erste Halbschale wurde mit dem Bordkran der WEA hochgezogen und am Gurt fixiert.



Bild 39 + 40: Vormontage der ersten Halbschale

Danach folgte die zweite Halbschale und nachdem auch diese mit Hilfe des Gurts fixiert war, konnte das System relativ einfach geschlossen und verankert werden.



Bild 41: Zusammenschluss der beiden Halbschalen

Nachdem der Gurt entfernt war, wurde der innere Rand des Kragens zum Turm hin mit einem Tape verklebt und abgedichtet. Im nächsten Arbeitsschritt wurde das vorkonfektionierte Bindemittel mit dem Bordkran hochgezogen und von außen in den OSC eingelegt.



Bild 42: Einlegen der Bindemittelpackungen



Bild 43: Betriebsfertig montiertes OSC-System

Das OSC System war damit betriebsbereit montiert und gesichert. Die WEA ist nun vor unkontrolliertem Ölaustritt geschützt.

Die nächsten und abschließenden Arbeitsschritte beinhalten Tests und Überprüfungen auf Funktion und Zustand in regelmäßigen Abständen und bis zum Ende der Projektlaufzeit.

12. Nachkontrolle

Nach der erfolgten Montage wurde die WEA mit dem OSC-System über einen Zeitraum von 6 Monaten, in Abständen von 14 Tagen befahren und kontrolliert.

Dabei wurde festgestellt, dass sich der Kragen, vermutlich durch Vibrationen und Schwingungen des Turms, innerhalb der ersten zwei Monaten um ca. 200 mm nach unten bewegt hat. Danach war er sicher fixiert und es fanden keinerlei Veränderungen mehr statt.

Das Absacken des Kragens ist auf dem folgenden Bild 44 deutlich zu erkennen. Das Dichtband ließ sich jedoch auch in der Endposition wieder fixieren, so dass eine sichere und dichte Verbindung zum Turm gewährleistet ist.



Bild 44: Absetzen des OSC innerhalb von vier Wochen

Auf den folgenden Bildern 45 und 46 ist festzustellen, dass die Packungen mit dem eingebrachten Bindemittel sich während der kompletten Zeit der Nachkontrolle kaum verändert haben.

Die Packungen sind sehr stabil, es waren keinerlei Veränderungen feststellbar, weder durch Niederschläge, noch durch äußere mechanische Einflüsse. Lediglich auf der Oberseite der Packungen hat sich das Bindemittel durch die UV-Strahlung leicht verfärbt. Diese Verfärbung hat jedoch keinerlei Einfluss auf das Bindevermögen.

Eindeutiges Ergebnis der Nachkontrolle ist daher, dass sowohl das OSC-System als auch die eingesetzten Bindemittel langfristig stabil sind und dass die Sicherheit von unkontrolliertem Ölaustritt unbegrenzt bestehen bleibt.



Bild 45+46: Farb-Veränderung des Bindemittels durch UV-Strahlung nach sechs Monaten

Bei einer Befahrung der Anlage im Rahmen der erweiterten Nachkontrolle im Januar 2015 wurde festgestellt, dass, verursacht durch die Sturmböen des Orkantief FELIX (09. – 11.01.2015), mehrere Bindemittelpackungen der oberen Lage aus dem OCS ausgetragen wurden. Dieses Problem muss bei der Serienfertigung der OSC Systeme berücksichtigt werden. Es ist vorgesehen, das die Bindemittel zukünftig über mehrere am OSC fixierte grobmaschige Gittersegmente aus Kunststoff oder rostfreiem Stahldraht gesichert werden.

Durch diese Gittersegmente wird sich das Gewicht des kompletten OSC-Systems je nach Anlagengröße um ca. 60 – 120 kg erhöhen, was jedoch keinen Einfluss auf die Statik der Gesamtstruktur haben wird.

Vorab werden wir mit dem bestehenden Kragen Versuche mit verschiedenen Materialien, unterschiedlichen Gitterstrukturen und alternativen Befestigungen durchführen.

Die letzte Nachkontrolle wurde am 15.07.2015 durchgeführt. Nach einem Jahr an der WEA konnten keinerlei Strukturveränderungen am OSC festgestellt werden. Das System ist sicher und fest mit dem Turm verbunden, die Abdichtung liegt fest an und nach der Befüllung mit neuen Bindemittelmatten haben sich auch mit diesem Material keine weiteren Probleme ergeben.



Bild 47:Nachkontrolle am 15.07.2015

In der Zwischenzeit hat es mehrere kleine technische Störungen in der WEA gegeben, bei denen unterschiedliche Mengen an Öl und Schmiermitteln aus der Gondel ausgetreten sind.

Auf dem unten stehenden Foto sind die Spuren dieser Störfälle oberhalb des OSC deutlich zu sehen. In allen Fällen wurden die ölhaltigen Betriebsstoffe sicher aufgefangen und im System gebunden.



Bild 48: Spuren der Ölverunreinigungen oberhalb des OSC

13. Zusammenfassung der Ergebnisse

Der Inhalt des Förderprojekts war die Planung, Herstellung und Erprobung eines Systems zur Vermeidung von Umweltschäden durch unkontrolliert austretendes Öl aus Windenergieanlagen.

Diese Inhalte wurden vollumfänglich und erfolgreich realisiert. Das OSC-System ist gebaut und erprobt. Der mit einer bestehenden Anlage verbundene Demonstrator hat alle an ihn gestellten Anforderungen erfüllt. Das System ist funktionsfähig und für die gesamte Branche, auf Land und auch auf See, universell einsetzbar.

Das System ist mittlerweile europaweit patentrechtlich geschützt und der Name OSC ist eine in Deutschland geschützte Marke.

Damit sind prinzipiell die Grundlagen für eine erfolgreiche Vermarktung gegeben und, da das System ja einen wertvollen Beitrag für den Schutz der Umwelt bietet, sollte es ja auch in diesem wichtigen Markt der regenerativen Energieerzeugung willkommen geheißen werden.

Aber, bevor der Markt erobert werden kann, gibt es noch einiges zu tun

Das Förderprojekt wurde verschiedenen Herstellern und Betreibern von Windenergieanlagen vorgestellt und es wurden zahlreiche Gespräche mit Umweltpolitikern und Genehmigungsbehörden geführt. Die Reaktionen waren durchaus unterschiedlich. Alle Fachleute, die im Bereich der Windenergienutzung tätig sind, kennen das Problem der Ölunfälle und die damit verbundenen Risiken. Da es bisher keine funktionierenden Schutzsysteme gegeben hat, wird dieses Problem aber weitestgehend ignoriert. Und an diesen bequemen Zustand hat man sich über die Jahre gewöhnt. Hier muss noch sehr viel Überzeugungsarbeit geleistet werden. In Bezug auf Politik und Behörden ist zusätzlich öffentlicher Druck aufzubauen. Erst wenn die Problematik der Ölschäden in der Öffentlichkeit bekannt gemacht wurde, ist mit Reaktionen aus diesem Bereich zu rechnen.

Vor einer Markteinführung ist auch noch einiger konstruktiver und planerischer Aufwand für die Vorbereitung einer Serienherstellung der OSC-Kragen notwendig. Die Durchmesser der Türme variieren, ja nach Größe und Einsatzort der WEA in einem relativ großen Bereich. Und ein OSC muss immer dicht am Turm anliegen. Kleinere Abstände können mit Pastsstücken ausgeglichen werden aber die Grundform lässt sich nun einmal nicht verbiegen.

Ein wesentlicher Punkt für die Marktgängigkeit eines solchen Systems ist natürlich auch der Preis. Von Seiten der Hersteller wurde signalisiert, dass die Kosten für ein fertig montiertes und gefülltes OSC-System im Bereich von maximal 5.000 bis 10.000 Euro liegen müssen.

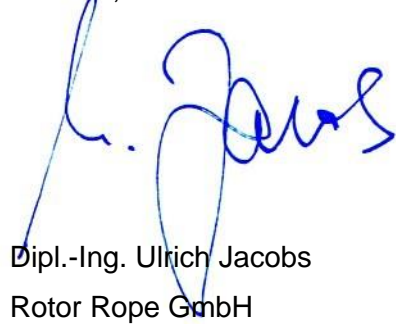
Dem stehen deutlich zu hohe Kosten bei der noch mit sehr hohem manuellem Aufwand verbundenen Fertigung der Kragen aus GFK entgegen.

Hier müssen bis zur Marktreife des OSC-Systems neue Fertigungswege bzw. -Methoden zur Erschließung von Kostensenkungen durch industrielle Fertigung und/oder alternative Werkstoffe gefunden werden.

Die Rotor Rope GmbH wird ihren Weg als umweltoptimiertes Serviceunternehmen in der Windenergie weiter gehen. Dieses Förderprojekt hat einen ganz wesentlichen Beitrag für die weiteren Entwicklungen und Tätigkeit zur Verbesserung des präventiven Umweltschutzes in diesem Bereich der regenerativen Energiegewinnung geleistet.

Die Umwelttechnischen Ziele des Vorhabens wurden vollinhaltlich erreicht.

Grömitz, 20.07.2015



Dipl.-Ing. Ulrich Jacobs

Rotor Rope GmbH

Weidenweg 4

23743 Grömitz