

Abschlussbericht

Förderprojekt:

Entwicklung eines innovativen, verzweigten Antriebsstrangs einer Windkraftanlage für den optimalen Offshore-Betrieb

Laufzeit des Vorhabens: 01.07.08 – 30.12.09

Das diesem Bericht zugrunde liegende Vorhaben wurde mit Mitteln des *Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit* unter dem Förderkennzeichen 0325066 gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt beim Autor.



**Bundesministerium
für Umwelt, Naturschutz
und Reaktorsicherheit**

Zuwendungsempfänger:

Schuler Pressen GmbH & Co. KG
Bahnhofsstr. 41
73033 GÖPPINGEN

Projektleitung:

Dipl.-Ing. (FH) Rainer Krauss
Leiter Produktmanagement Windenergie VBWP
Business Unit Mechanische Großanlagen
Tel.: +49 (7161) 66-1554
E-Mail: rainer.krauss@schulergroup.com

Inhaltsverzeichnis

1	KURZDARSTELLUNG DES VORHABENS	4
1.1	AUFGABENSTELLUNG.....	4
1.2	VORAUSSETZUNGEN, UNTER DENEN DAS VORHABEN DURCHGEFÜHRT WURDE.....	4
1.3	PLANUNG UND ABLAUF DES VORHABENS:.....	5
1.4	ANGABEN ZUM WISSENSCHAFTLICHEN UND TECHNISCHEN STAND, AN DEN ANGEKNÜPFT WURDE	7
1.5	ZUSAMMENARBEIT MIT ANDEREN STELLEN:.....	9
2	EINGEHENDE DARSTELLUNG	10
2.1	DARSTELLUNG DER VERWENDUNG DER ZUWENDUNG UND DES ERZIELTEN ERGEBNISSES IM EINZELNEN, MIT GEGENÜBERSTELLUNG DER VORGEgebenEN ZIELE,.....	10
2.1.1	DEFINITION UND AUSWAHL DES ANTRIEBSSTRANGS	10
2.1.2	CONDITION MONITORING SYSTEM	21
2.1.3	KORROSIONSSCHUTZTECHNOLOGIE FÜR OFFSHORE-ANWENDUNGEN.....	23
2.2	DARSTELLUNG DER WICHTIGSTEN POSITIONEN DES ZAHLENMÄßIGEN NACHWEISES	27
2.3	DARSTELLUNG DER NOTWENDIGKEIT UND ANGEMESSENHEIT DER GELEISTETEN ARBEIT	28
2.4	DARSTELLUNG DES VORAUSSICHTLICHEN NUTZENS, INSBESONDERE DER VERWERTBARKEIT DES ERGEBNISSES IM SINNE DES FORTGESCHRIEBENEN VERWERTUNGSPLANS	28
2.5	DARSTELLUNG DES WÄHREND DER DURCHFÜHRUNG DES VORHABENS DEM ZE BEKANNT GEWORDENEN FORTSCHRITTS AUF DEM GEBIET DES VORHABENS BEI ANDEREN STELLEN.....	28

Abbildungsverzeichnis:

Abbildung 1: Evolution von Antriebsstrangkzepten für Windkraftanlagen und Einordnung der im Rahmen dieses Vorhabens untersuchten beiden Konzepte	6
Abbildung 2: Zweistufiges Stirnradgetriebe mit Leistungsverzweigung und vier permanenterregten Synchron-Torque-Generatoren.....	11
Abbildung 3: Zweigeneratorentopologie mit grobdimensionierten Hauptabmessungen	14
Abbildung 4: Eingeneratorentopologie	14
Abbildung 5: Campbell-Diagramm der Schwingungsanalyse der Zweigeneratorentopologie	16
Abbildung 6: Finite-Elemente-Simulation der Tragstrukturverformung.....	19
Abbildung 7: Finite-Elemente-Simulation der Festigkeitsanalyse des Achszapfens	20
Abbildung 8: Messaufbau zur Schwingungsanalyse an Wälzlagern	22

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Turmkopfgewichte bekannter Anlagen ähnlicher Größe im Markt	7
Tabelle 2: Vergleich des ausgearbeiteten zweistufigen Getriebekonzepts mit den Direktantriebsvarianten anhand technisch-wirtschaftlicher Kriterien.....	12
Tabelle 3: Vergleich der Ein- mit der Zweigeneratorentopologie für einen direkt angetriebenen offshore-Antriebsstrang.....	15
Tabelle 4: Nennleistung, Turmkopfmasse und leistungsspezifische Turmkopfmasse ausgeführter Prototypen von Offshore-Windkraftanlagen.....	21
Tabelle 5: Vergleich unterschiedlicher Verfahren zur Erzielung hoher Reibwerte in drehmomentübertragenden Flanschflächen und zur Grundierung großflächiger Gußoberflächen zur Erfüllung der Korrosionsanfälligkeitskategorie C4 nach DIN 12944..	25
Tabelle 6: Vergleich der Elastizitätsgrenzen möglicher Alu-Legierungen in Abhängigkeit der Temperatur.....	26
Tabelle 7: Vergleich der beiden Strukturwerkstoffe Stahl und Sphäroguss für Maschinenträger.....	27

1 Kurzdarstellung des Vorhabens

1.1 Aufgabenstellung

Ziel des Vorhabens ist die Entwicklung eines Antriebsstrangs für Offshore-Windkraftanlagen mit einer Nennleistung von mehr als 6 MW. Darüber hinaus soll das leistungsspezifische Gewicht um 20 % gesenkt und eine Verbesserung der Zuverlässigkeit erreicht werden. Dadurch wird ein Beitrag zum Ausbau der erneuerbaren Energien, zur Wettbewerbsfähigkeit von Offshore Windenergie und zur Schonung natürlicher Ressourcen geleistet werden.

Die Aufgabenschwerpunkte:

- hohe Nennleistung pro Anlage: Wegen der hohen offshore-Gründungskosten und höheren Logistikaufwendungen sind Anlagen umso wirtschaftlicher je größer ihre Nennleistung ist. Hierzu wurde von Schuler basierend auf der in [JH05] vorgestellten Methodik der Kapitalwert einer 5 MW Anlage dem einer 6,5 MW Anlage gegenübergestellt. Demnach ist bei gleicher dynamischer Amortisationszeit mit einer Steigerung des Kapitalwerts um ca. 15 % zu rechnen.
- geringes Turmkopfgewicht: Je geringer das Turmkopfgewicht (Rotor + Gondelgewicht) umso geringer sind die Kosten für Gründung, Turm und Logistik. [Erd07] nennt ca. 1 Mio. EUR pro 100 t Turmkopfmehrgewicht. Tab. 1 zeigt die Turmkopfgewichte von ausgeführten Prototypen von offshore-Windkraftanlagen.
- hohe Verfügbarkeit: Durch die im Vergleich zu onshore-Anlagen deutlich erschwerte Zugänglichkeit (längere Anfahrtswege mit Helikopter oder Schiff, starke Abhängigkeit von Witterungsbedingungen) sind Störungsunempfindlichkeit, Robustheit und Zuverlässigkeit wesentliche Erfolgsfaktoren für den wirtschaftlichen Betrieb von offshore-Windparks.

1.2 Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde

Der wachsende Energiemarkt, insbesondere der erneuerbaren Energien wird bereits mit Komponenten für WEA aus dem Hause Schuler bedient. Die weitere Ausweisung von offshore Gebieten für WEA vor der Haustüre Deutschlands macht es attraktiv, das vorhandene Know How und die vorhandenen Fertigungsanlagen auch in diesem Markt auszubauen und zu nutzen. Schuler will sich bei der Erstellung einer großen WEA aktiv einbringen.

Die Chancen zur wirtschaftlichen Verwertung der Forschungs- und Entwicklungsergebnisse dieses Vorhabens haben sich auf Grund der politischen Rahmenbedingungen seit dem Zeitpunkt der Antragsstellung grundsätzlich verbessert. Infolge der Finanzkrise ist die Bereitschaft von offshore-Windparkbetreibern zur Rückwärtsintegration in der Wertschöpfungskette hin zum offshore-Windkraftanlagenhersteller, welcher einen direktangetriebenen Antriebsstrang einsetzen möchte, jedoch gesunken. Grund hierfür sind vor allem die restriktivere Kreditvergabe seitens Fremdkapitalgebern.

1.3 Planung und Ablauf des Vorhabens:

Das geförderte Vorhaben umfasst die Vorentwicklungs- und Konzeptionsphase und gliedert sich in vier Themenschwerpunkte:

1. Konzeption des Antriebsstrangs:

Gegenüberstellung zweier Konzeptalternativen (2-stufiges Stirnradgetriebe mit Leistungsverzweigung und langsam laufenden Torquegeneratoren vs. Direktantriebsvarianten mit permanent erregtem Synchrongenerator).

Vergleich verschiedener Direktantriebstopologien. Detaillierung der technologisch und ökonomisch erfolgversprechenderen Alternative.

2. Strukturwerkstoffe zur Gewichtsreduzierung: Sphäro- und Aluminiumgußlegierungen, geschweißter Stahl
3. Condition Monitoring
4. Korrosionsschutz

Die Anwendung der erarbeiteten Ergebnisse zum Antriebsstrang erfolgt innerhalb der Detailkonstruktion in Abstimmung mit dem Auftraggeber für den Prototyp.