Berichte aus der Energietechnik

Christiane Eping

**Energiemanagement-System
für Offshore-Windparks**

D 17 (Diss. TU Darmstadt)

**Shaker Verlag
Aachen 2007**

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Motivation und Zielsetzung	1
1.2	Übersicht	2
2	Entwicklung der Windenergie	3
2.1	Grundbegriffe	4
2.2	Rechtliche Rahmenbedingungen: Das Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG)	5
2.2.1	Ziel des Gesetzes	5
2.2.2	Förderungskonzept	5
2.2.3	Vergütung für Strom aus Windkraft	6
2.3	Entwicklung der Förderung von Windenergie	6
2.4	Entwicklung der Kostenstruktur für WKA	7
2.5	Offshore-Windenergie	8
2.6	Regel- und Ausgleichsenergie	9
3	Grundlagen der Windprognose	11
3.1	Windgeschwindigkeitsprognose	11
3.2	Weibullverteilung und Normalverteilung	12
3.3	Windverhältnisse	14
3.4	Fluktuierende Einspeisung	17
4	Windkraftanlagen	19
4.1	Technik der Windkraftanlagen	20
4.1.1	Doppelt gespeister Asynchrongenerator	21
4.1.2	Steuerung von Windkraftanlagen	22
4.2	Geometrie des Modell-Windparks	24
4.3	Wartung von Windkraftanlagen	25
4.4	Abschattungseffekte im Windpark	26
5	Energiemanagement-System	29
5.1	Fahrplan für einen Windpark	31
5.1.1	Prognose und Leistungsabschätzung	31

5.1.2	Der optimale Fahrplan	34
5.2	Planung der Wartung unter Ausnutzung des Fahrplans	42
5.2.1	Einflussgrößen auf die Wartung	42
5.2.2	Planungsansatz	44
5.2.3	Algorithmus zur Wartungsplanung	47
5.3	Sturmabschaltung	52
5.3.1	Berechnung des Sturmfahrplans	53
5.3.2	Auswirkungen der Sturmabschaltung	55
6	Modellierung eines Wind-Jahres-Leistungsverlaufes	57
6.1	Datenmaterial für die Erstellung des Jahres-Leistungsverlaufes	57
6.2	Aufbau der Jahres-Leistungsverläufe	60
6.3	Erstellung der Leistungsverläufe	61
6.3.1	Aufteilung der Häufigkeitsverteilung der Leistung und der Leistungsänderung auf die 8 Leistungsverläufe	62
6.3.2	Anordnung der Leistungswerte innerhalb einer Windleistungsverlaufes	64
6.4	Ergebnis	67
7	Das Energiemanagement-System unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten	69
7.1	Einfluss des Konfidenzniveaus α auf die bereitstellbare Energie	69
7.2	Stromgestehungskosten für einen Offshore-Windpark	74
7.2.1	Stromgestehungskosten allgemein	74
7.2.2	Stromgestehungskosten für den Modellwindpark am Standort der Forschungsplattform FINO 1	75
7.3	Wirtschaftlichkeit des Fahrplans heute	76
7.4	Erweiterter Energiemarkt ohne EEG	77
7.4.1	Liberalisierter Markt für Ausgleichsenergie	78
7.4.2	Zusätzliche Marktmöglichkeiten	79
7.5	Ausgleichsenergiepreise	79
7.6	Wirtschaftlichkeit des Fahrplans auf einem erweiterten Energiemarkt	80
7.7	Fazit	82
8	Zusammenfassung und Ausblick	83
	Formelzeichen, Nebenzeichen, Abkürzungen	87
	Literaturverzeichnis	91

Anhang	97
A Effizienzdiagramme für Abschattungseffekte im Windpark	97
B Abhängigkeit des Sicherheitsabstandes vom Konfidenzniveau	101
C Zuordnung der Leistungsänderung	102
D Tages-Leistungsverläufe	103
E Fahrpläne der Tages-Leistungsverläufe	107
F Kosten bei unterschiedlichen Preisen für die Ausgleichsenergie	111
G Conclusion – Englische Zusammenfassung	113