

Inhaltsverzeichnis

1 Einführung	1
2 Nutzung der Windenergie	3
2.1 Historische Entwicklung	3
2.2 Marktwirtschaftliche Bedeutung	7
2.3 Beschreibung des Windes	8
2.3.1 Entstehung des Windes	9
2.3.2 Turbulente Luftbewegung	10
2.3.3 Windleistung	13
2.4 Technische Nutzung der Windenergie	14
2.4.1 Nutzbare Windenergie	15
2.4.2 Widerstands- und Auftriebseffekt	16
2.4.3 Leistungskennlinie von Windrotoren	18
2.4.4 Mathematische Beschreibung der Winddynamik	20
2.5 Stand der Technik	22
2.5.1 Aufbau von WEK	22
2.5.2 Betriebsverhalten von WEK	26
2.6 Aufgabenstellung und Forschungsziele	28
3 Anforderungen an moderne Regelungen	31
3.1 Allgemeine Ziele der Regelung	31
3.2 Standorteinfluss	32
3.2.1 Standortabhängigkeit der Windcharakteristik	32
3.2.2 Standortbedingungen am Netzanschlusspunkt	34
3.3 Anlagenmodellierung	36
3.4 Betriebsstrategie für drehzahlvariable WEK	41
3.5 Glättungsfähigkeit durch drehzahlvariablen Betrieb	43
3.5.1 Betriebsszenarien	43
3.5.2 Untersuchungen am WEK-Modell	50
3.6 Spezielle Anforderungen an moderne Regelungen	55
4 Stochastische Dynamische Optimierung	59
4.1 Grundlagen	59
4.1.1 Optimierungsaufgabe	59
4.1.2 Dynamische Programmierung	61
4.1.3 Stochastische Dynamische Programmierung	66
4.1.4 Prozesse mit unendlichem Zeithorizont	67
4.2 Iterativ selbst-adaptierende Betriebsführung	68
4.2.1 Windgeschwindigkeitsverlauf als stochastischer Prozess	69

4.2.2 Adoptionsalgorithmus	70
4.3 Anwendung in WEK-Regelung	71
4.3.1 Quantifizierung des Optimierungsziels	71
4.3.2 Überführung in einstufigen Optimierungsprozess	73
4.3.3 Unendlicher Zeithorizont	76
4.3.4 Anwendung und Adaption des Regelgesetzes	77
5 Methodische Bestimmung der Diskontfaktoren	81
5.1 Diskontfaktor der Restkosten	83
5.1.1 Einfluss auf Restkostenberechnung	85
5.1.2 Auslegungsmethodik	87
5.2 Diskontfaktor der Übergangswahrscheinlichkeiten	88
5.2.1 Untersuchungsbedingungen	89
5.2.2 Anpassungsdauer	91
5.3 Diskontfaktor der Leistungsmittelwertbildung	96
5.3.1 Leistungsschwankungskosten	96
5.3.2 Charakteristik der exponentiellen Glättung	98
5.3.3 Anpassungsdauer	104
5.4 Untersuchungen am WEK-Modell	106
5.4.1 Parameter für Leistungsbeiwert Maximierung	107
5.4.2 Parameter für konstante elektrische Leistung	108
5.4.3 Parameter für konstantes P und Mehrschritt-Optimierung	109
5.4.4 Parameter für ausgewogene Gewichtung	110
5.4.5 Parameter f. ausgewogene Gewichtung u. Mehrschritt-Optimierung	111
6 Netzrückwirkung und Energieertrag	113
6.1 Untersuchungsumgebung	113
6.2 Untersuchung der Netzrückwirkung	113
6.2.1 Schnelllaufzahlregelung	114
6.2.2 Leistungsmittelwertregelung	115
6.2.3 Ergebnisse und Diskussion	115
6.3 Untersuchung des Energieertrags	122
6.3.1 Drehmomentregelung	122
6.3.2 P&O-Regelung	123
6.3.3 Untersuchungsbedingungen	123
6.3.4 Ergebnisse und Diskussion	125
7 Zusammenfassung	129
Anhang	131
Literaturverzeichnis	135