

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Motivation und Ziel der Arbeit	4
1.2	Aufbau der Arbeit und Alleinstellungsmerkmale	5
2	Grundlagen: ferngesteuerte Leistungsreduzierungen an Windkraftanlagen	8
2.1	Leistungsbegrenzung durch Strömungsabriss (Stall)	10
2.2	Leistungsbegrenzung durch Blattwinkelverstellung (Pitch)	12
2.3	Netzsicherheitsmanagement	13
2.3.1	Gesetzliche Grundlagen des Netzsicherheitsmanagements	17
2.3.2	Einspeisemanagement in Deutschland	18
2.3.3	Entschädigungen beim Einspeisemanagement	20
2.3.4	Modellbeschreibung zur Berechnung der Ausfallarbeit	26
2.4	Leistungsreduzierungen von Windenergieanlagen in der Energiewirtschaft	36
2.4.1	Windenergieanlagen in der deutschen Energiewirtschaft	36
2.4.2	Stromhandel an der Börse	37
2.4.3	Gesetzliche Grundlagen für Windenergieanlagen in der deutschen Energiewirtschaft	42
2.4.4	Das Marktprämienmodell	44
2.4.5	Der Merit-Order-Effekt	47
2.4.6	Leistungsreduzierung von Windenergieanlagen bei negativen Börsenpreisen	50

2.4.7	Modell der Leistungsreduzierungen von Windenergieanlagen bei negativen Börsenpreisen	56
2.5	Vergleich verschiedener Leistungsreduzierungen von Windenergieanlagen	60
2.6	Leistungsreduzierungen von Windenergieanlagen in der Zukunft . . .	65
3	Elektrolyse-Systeme	67
3.1	Die Wasserelektrolyse	68
3.1.1	Die physikalische Beschreibung der Wasserelektrolyse	69
3.1.2	Die alkalische Elektrolyse	76
3.1.3	Die PEM-Elektrolyse	78
3.1.4	Die Hochtemperaturelektrolyse	81
3.1.5	Technische und wirtschaftliche Parameter der Wasserelektrolyse	83
3.2	Die Chloralkalielektrolyse	86
3.2.1	Die physikalische Beschreibung der Chloralkalielektrolyse . . .	87
3.2.2	Das Diaphragmaverfahren	88
3.2.3	Das Amalgamverfahren	90
3.2.4	Das Membranverfahren	91
3.2.5	Technische und wirtschaftliche Parameter der Chloralkalielektrolyse	92
4	Modell: zur Einbindung von potentiell leistungsreduzierten Windenergieanlagen in Elektrolyse-Systeme	97
4.1	Rahmenbedingungen zur Einbindung von überschüssigem Strom aus Windenergieanlagen und Strom aus dem öffentlichen Netz in Elektrolyse-Systeme	99
4.1.1	Netzkosten für den Strombezug aus dem öffentlichen Netz . .	99
4.1.2	Umlagen für erneuerbare Energien	100
4.1.3	Das Stromsteuergesetz	101
4.1.4	Gesetzliche Vorgaben für Elektrolyseprodukte	101

4.2	Bewertungs- und Eingangsdaten der elektrischen Arbeit für die jeweiligen Szenarien	102
4.3	Entwicklung der Szenarien	108
4.3.1	Szenario 1: Wasserstoff für die Nutzung als Kraftstoff für Automobile	108
4.3.2	Szenario 2: Wasserstoffeinspeisung in das Gasnetz	110
4.3.3	Szenario 3: Erlösmaximierung durch Zwischenspeicherung von überschüssigem Strom aus Windenergieanlagen	112
4.3.4	Szenario 4: Einspeisung von überschüssigem Strom in die Chloralkalielektrolyse	117
4.4	Ergebnisse der Berechnungen	120
4.4.1	Untersuchung und Auswertung von Szenario 1: Wasserstoff für die Nutzung als Kraftstoff für Automobile . . .	120
4.4.2	Untersuchung und Auswertung von Szenario 2: Wasserstoffeinspeisung in das Gasnetz	135
4.4.3	Untersuchung und Auswertung von Szenario 3: Optimierte Zwischenspeicherung von überschüssigem Strom aus Windenergieanlagen und Strom aus dem öffentlichen Netz	143
4.4.4	Untersuchung und Auswertung von Szenario 4: Chloralkalielektrolyse	153
5	Sensitivitätsanalyse	165
5.1	Sensitivitätsanalyse Szenario 1	166
5.2	Sensitivitätsanalyse Szenario 2	169
5.3	Sensitivitätsanalyse Szenario 3	172
5.4	Sensitivitätsanalyse Szenario 4	176
6	Zusammenfassung und Schlussfolgerung	180
	Literaturverzeichnis	187