

# Inhaltsverzeichnis

<b>Verzeichnis der Abkürzungen und Formelzeichen</b>	<b>iii</b>
<b>1 Einleitung</b>	<b>7</b>
1.1 Hintergrund	7
1.2 Chilenische Rahmenbedingungen für die WEA-Netzintegration	10
1.3 Ziele der Arbeit	11
<b>2 Analyse</b>	<b>13</b>
2.1 Betrachtungsbereich	13
2.1.1 Systembereich	13
2.1.2 Betrachtete WEA-Technologien	14
2.2 Spannungsstabilität in Übertragungsnetzen	15
2.2.1 Definition der Spannungsstabilität	15
2.2.2 Klassifizierung der Spannungsstabilität	16
2.2.3 Bestehende Methoden zur Analyse der Spannungsstabilität	17
2.2.4 Qualitätsparameter der Spannung	18
2.3 Stabilität von Asynchrongeneratoren	20
2.4 Auswirkungen der WEA auf die Netzspannung	23
2.4.1 Auswirkungen im Normalbetrieb	23
2.4.2 Auswirkungen im Fehlerfall	24
2.5 Betrachtete Windenergieanlagen-Konzepte	28
2.5.1 Asynchrongenerator mit direkter Netzkopplung (ASG)	28
2.5.2 Doppelt gespeister Asynchrongenerator (DFIG)	33
2.6 Blindstromeinspeisung durch WEA im Fehlerfall	35
2.6.1 Effekt der WEA-Blindstromeinspeisung im Fehlerfall	36
2.6.2 Blindleistungseinspeisung durch ASG im Fehlerfall	38
2.6.3 Blindleistungseinspeisung durch DFIG im Fehlerfall	40
<b>3 Modell einer WEA mit Asynchrongenerator</b>	<b>43</b>
3.1 Einleitung	43
3.2 Aerodynamisches Modell	44
3.3 Modell des mechanisch-elektrischen Triebstrangs	45
3.4 Regelung der Rotorblätter (Pitchregelung)	47
3.5 Regelung von DFIG	48

3.5.1	Überblick	48
3.5.2	Regelung des rotorseitigen Umrichters	49
3.5.3	Regelung des netzseitigen Umrichters	51
<b>4</b>	<b>Methodisches Vorgehen</b>	<b>53</b>
4.1	Programm zur Untersuchung der WEA-Auswirkungen	53
4.1.1	Zu untersuchende Energieszenarien	54
4.1.2	Zu untersuchende Strategien im Fehlerfall	55
4.1.3	Maßnahmen zur Stabilitätsverbesserung	56
4.2	Methodisches Vorgehen zur Verteilung der WEA	56
4.3	Simulierte Betriebspunkte und Fehlerfälle	59
<b>5</b>	<b>Untersuchungen</b>	<b>61</b>
5.1	Betrachtetes System	61
5.2	Optimierung der WEA Verteilung	62
5.3	Dynamische Untersuchungen	66
5.3.1	Szenario angemeldeter WEA-Projekte (Szenario SP)	68
5.3.2	Szenario 6 % WEA-Einspeisung (Szenario S6)	71
5.3.3	Szenario 4 % WEA-Einspeisung (Szenario S4)	75
5.3.4	Szenario 2 % WEA-Einspeisung (Szenario S2)	78
5.3.5	Durchschnittliche Einschwingzeiten der Netzspannung	81
<b>6</b>	<b>Zusammenfassung</b>	<b>85</b>
<b>7</b>	<b>Abbildungsverzeichnis</b>	<b>89</b>
<b>8</b>	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>93</b>
<b>A</b>	<b>Daten der Asynchrongeneratoren und der Turbinen</b>	<b>105</b>
<b>B</b>	<b>Betrachtete Fehlerfälle</b>	<b>106</b>
<b>C</b>	<b>Weitere Ergebnisse des Spannungsverlaufs in Szenario SP</b>	<b>107</b>