

Inhaltsverzeichnis

Vorwort V

Dissertation VIII

Inhaltsverzeichnis IX

Kapitel 1 - Einleitung und Zielsetzung 1

Kapitel 2 - Bausteine einer erneuerbaren Stromversorgung 3

2.1 Strombedarf	3
2.2 Windenergie	5
2.2.1 Benutzungsgrad von Windenergieanlagen	15
2.2.2 Ladungsabweichung der Windenergie in Europa.....	19
2.3 Solarenergie.....	24
2.4 Kombination von Wind- und Solarenergie	34
2.5 Biomasse zur Stromerzeugung.....	35
2.6 Weitere erneuerbare Energien.....	37
2.6.1 Wasserenergie aus Fließgewässern	37
2.6.2 Wasserenergie aus Wellenenergie.....	38
2.6.3 Wasserenergie aus Gezeitenkraftwerken.....	38
2.6.4 Geothermie	39
2.6.5 Aufwindkraftwerke	39
2.6.6 Fallwindkraftwerke	39
2.7 Energiespeicher für die Stromwirtschaft	40

X Inhaltsverzeichnis

2.7.1 Pumpspeicherkraftwerke	42
2.7.1.1 Ringwallspeicher	46
2.7.2 Druckluftkavernenspeicher.....	54
2.7.3 Wasserstofftechnologie	55
2.7.4 Chemische Speicher.....	56
2.8 Stromexport, -Import und Prioritätsregeln.....	57
2.8.1 Speicherpriorität.....	58
2.8.2 Exportpriorität.....	60
2.8.3 Speicherpriorität und Exportpriorität im Vergleich.....	61
2.8.4 Fernübertragung elektrischer Leistung.....	62
2.9 Zusammenfassung zu den Bausteinen	64
Kapitel 3 - Ausgleich ohne Stromspeicher	67
3.1 Ausgleich von Windenergie innerhalb Deutschlands.....	67
3.2 Ausgleich durch kontinentale Stromnetze	69
Kapitel 4 - Ausgleich volatiler Erzeugung mit Speichern.....	83
4.1 Volatile Stromerzeugung und Speicherbedarf	83
4.1.1 Windstromeinspeisung in Deutschland und Speicherbedarf.....	83
4.2 Grundszenarien zum Speicherbedarf in Europa	87
4.2.1 Analyse der Speichernutzung	99
4.3 Kombinationen von Wind- und Solarenergie.....	105
4.3.1 Strategie zur Auffindung eines niedrigen Speicherbedarfs.....	106
4.3.2 Speichernutzung bei der Kombination von Wind- und Solarenergie	108

4.4 Erzeugungsreserve und Speicherbedarf.....	111
4.4.1 Erzeugungsreserve bei Windenergie mit 50% Benutzungsgrad.....	111
4.4.1.1 Speicherladeleistung begrenzt, Fernübertragung nach Bedarf..	111
4.4.1.2 Speicherladeleistung nach Bedarf, Fernübertragungleistung begrenzt.....	113
4.4.1.3 Speicherladeleistung und Fernübertragungsleistung begrenzt..	115
4.4.2 Erzeugungsreserve bei Kombination von Wind- und Solarenergie..	117
4.5 Einfluss von Speicherwirkungsgrad und Prioritätsregeln.....	118
4.5.1 Windenergie bei niedrigem Speicherwirkungsgrad	119
4.5.1.1 Verbundnetz mit Windenergie bei Speicherpriorität.....	119
4.5.1.2 Verbundnetz mit Windenergie bei Exportpriorität.....	122
4.5.2 Volatile Kombination und Speicherwirkungsgrad	125
4.5.3 Leistungsinfrastruktur bei Speichern niedrigen Wirkungsgrads	127
4.6 Einfluss des Fernübertragungswirkungsgrads.....	128
4.7 Zusammenfassung zum Speicherbedarf	130
Kapitel 5 - Zusammenfassung.....	133
5.1 Was ist neu zum Stand der Technik?.....	133
5.2 Ergebniszusammenfassung.....	135
5.3 Schlussbemerkung	137
Danksagungen	139
Literatur	141
Anhang	145

XII Inhaltsverzeichnis

A Durchschnittsbezogene Leistung.....	145
B Ladung.....	145
C Leistungs- und Ladungsabweichung	146
D Datenaufbereitung, Simulation und Optimierung.....	147
E Kombinationen aus Wind- und Solarenergie.....	152
Sachverzeichnis	157