

Inhaltsverzeichnis

Kurzfassung	I
Abstract	II
Abbildungsverzeichnis	VI
Tabellenverzeichnis	X
Verzeichnis der verwendeten Abkürzungen, Formelzeichen und Indizes	XI
1 Einleitung	1
1.1 Hintergrund	1
1.2 Motivation	5
1.3 Zielsetzung	9
2 Modellierung der Systemkomponenten	12
2.1 Betriebsmittelmodelle	13
2.1.1 Passive Betriebsmittel	13
2.1.2 Aktive Betriebsmittel	16
2.2 Erregersysteme	32
2.2.1 Erregereinrichtung	34
2.2.2 Erregerregelung	35
2.2.3 Schutzeinrichtungen	37
2.2.4 Pendeldämpfungsgerät	39
2.3 Leistungs-Frequenz-Regelung	40
2.3.1 Regelleistungsbereitstellung	42
2.3.2 Sekundärregelleistungsabruf	43
2.4 Sekundärregelleistungsoptimierung	45
2.4.1 Integration in die bestehende Regelstruktur	45
2.4.2 Problemformulierung und technische Umsetzung	47
3 Simulationsmodell mit verteilten Schwungmassen	52
3.1 Algebraisches Netzgleichungssystem	52
3.2 Zustands-Differentialgleichungssysteme der Betriebsmittel	53
3.2.1 Synchrongeneratoren	54
3.2.2 Motorische Lasten	57
3.2.3 Ersatznetze	58
3.3 Berücksichtigung algebraischer Abhängigkeiten	58
3.4 Berücksichtigung von Störleistungen	59
3.5 Sekundärregelleistungsabruf und Sekundärregelleistungsoptimierung	60
3.6 Verknüpfung der Teilmodelle	61
4 Simulationsmodell mit aggregierter Schwungmasse	64
4.1 Algebraisches Netzgleichungssystem	64
4.1.1 Definition der Knotenleistungen	65
4.1.2 Leistungsflussberechnung	67

4.1.3	Aufbau der Jacobi-Matrix	68
4.2	Zustands-Differentialgleichungssystem des Netzes	70
4.2.1	Synchronegeneratoren	71
4.2.2	Motorische Lasten	72
4.2.3	Kopplung der Knotengleichungen	73
4.2.4	Berechnung der dynamischen Knotenleistungen	74
4.3	Berücksichtigung algebraischer Schleifen	77
4.4	Verknüpfung der Teilmodelle	79
5	Bewertung und Entwicklung von Engpassmanagementkonzepten	80
5.1	Technische Zielsetzung	81
5.1.1	Berücksichtigung des (n-1)-Kriteriums	81
5.1.2	Zerlegung der Klemmenleistungen	81
5.1.3	Definition des zulässigen Betriebsbereichs bei SRL-Optimierung	83
5.1.4	Anmerkungen zum Einfluss des Engpassmanagements auf Nutzung der Optimierungspotentiale	84
5.2	Linearisierung der Leistungsgleichung	85
5.2.1	Linearisierung auf Basis des knotenorientierten Netzgleichungssystems	86
5.2.2	Linearisierung auf Basis der Leistungsgleichung	87
5.2.3	Linearisierung auf Basis von Leistungsflussberechnungen	88
5.3	Aggregation der linearisierten Leistungsgleichung	89
5.3.1	Elimination der nicht relevanten Betriebsmittelklemmen	89
5.3.2	Gewichtete Zuordnung der regelzonenscharfen Wirkleistungsänderungen zu den Netzknoten	90
5.3.3	Bestimmung der aggregierten Verteilungsmatrix	91
5.4	Konzepte für das lastflussbasierte Engpassmanagement	92
5.4.1	Statisches Engpassmanagementkonzept	92
5.4.2	Dynamisches Engpassmanagementkonzept	95
6	Ansatz zur Integration von HGÜ-Systemen in den Netzregelverbund	100
6.1	Potentiale von HGÜ-Systemen	100
6.2	Erweiterung des SRL-Optimierers	101
6.2.1	Definition der zusätzlichen Ausgangssignale	101
6.2.2	Betrachtung der geänderten Eingangssignale	102
6.2.3	Erweiterung des linearen Optimierungsproblems	103
6.3	Allgemeine Anmerkungen zu den vorgestellten Varianten	107
7	Fallstudien	109
7.1	Fallstudie A	110
7.1.1	Aufbau und Parametrierung	110
7.1.2	Untersuchungsschwerpunkt 1: Netzregelverbund	111
7.1.3	Untersuchungsschwerpunkt 2: Modellierung	116
7.2	Fallstudie B	121

7.2.1	Aufbau und Parametrierung.....	121
7.2.2	Untersuchungsschwerpunkt 1: Netzregelverbund	121
7.2.3	Untersuchungsschwerpunkt 2: Modellierung	128
7.3	Fallstudie C	134
7.3.1	Aufbau und Parametrierung.....	134
7.3.2	Untersuchungsschwerpunkt 1: Netzregelverbund	134
7.3.3	Untersuchungsschwerpunkt 2: Modellierung	144
7.4	Zusammenfassung der Ergebnisse	146
7.4.1	Untersuchungsschwerpunkt 1: Netzregelverbund	146
7.4.2	Untersuchungsschwerpunkt 2: Modellierung	149
8	Zusammenfassung und Ausblick	151
9	Anhang.....	154
9.1	Modelle zur Sollwertallokation.....	154
9.1.1	Marktbasierter Abruf nach Arbeitspreis	154
9.1.2	Proportionaler Abruf nach Angebotsgröße	154
9.2	Betriebsmittelparameter	154
9.2.1	Leitungen	154
9.2.2	Transformatoren.....	155
9.2.3	Synchrongeneratoren	155
9.2.4	Motorische Lasten.....	156
9.2.5	Ersatznetze	156
9.2.6	Hochspannungs-Gleichstrom-Übertragung	156
9.3	Parametrierung der Erregersysteme	158
9.3.1	Spannungsregelung	158
9.3.2	Pendeldämpfungsgerät.....	159
9.3.3	Schutzeinrichtungen.....	159
9.4	Parametrierung der Turbinenregelung und der PI-Regler.....	160
9.5	Anhänge zu den Fallstudien.....	160
9.5.1	Fallstudie A.....	160
9.5.2	Fallstudie B.....	164
9.5.3	Fallstudie C.....	169
10	Literaturverzeichnis	175
11	Wissenschaftlicher Werdegang	186