

**Inhaltsverzeichnis**

<b>Kurzfassung .....</b>	<b>I</b>
<b>Abstract .....</b>	<b>II</b>
<b>Abbildungsverzeichnis .....</b>	<b>VI</b>
<b>Tabellenverzeichnis .....</b>	<b>X</b>
<b>Verzeichnis der verwendeten Abkürzungen, Formelzeichen und Indizes .....</b>	<b>XI</b>
<b>1 Einleitung .....</b>	<b>1</b>
1.1 Hintergrund .....	1
1.2 Motivation .....	5
1.3 Zielsetzung .....	9
<b>2 Modellierung der Systemkomponenten .....</b>	<b>12</b>
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
<b>3 Simulationsmodell mit verteilten Schwungmassen .....</b>	<b>52</b>
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
<b>4 Simulationsmodell mit aggregierter Schwungmasse .....</b>	<b>64</b>
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	Synchrongeneratoren .....	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
<b>5</b>	<b>Bewertung und Entwicklung von Engpassmanagementkonzepten .....</b>	<b>80</b>
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
<b>6</b>	<b>Ansatz zur Integration von HGÜ-Systemen in den Netzregelverbund .....</b>	<b>100</b>
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
<b>7</b>	<b>Fallstudien .....</b>	<b>109</b>
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
<b>8</b>	<b>Zusammenfassung und Ausblick .....</b>	<b>151</b>
<b>9</b>	<b>Anhang.....</b>	<b>154</b>
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
<b>10</b>	<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>175</b>
<b>11</b>	<b>Wissenschaftlicher Werdegang .....</b>	<b>186</b>