

Inhaltsverzeichnis

Verzeichnis der Abkürzungen und Formelzeichen	v
1 Einleitung	1
1.1 Aktuelle Herausforderungen für Netzbetreiber	1
1.2 Stand der Forschung	3
1.3 Ziel und Aufbau der Arbeit	6
2 Analyse und Modellbildung	7
2.1 Betrachteter Systembereich	7
2.2 Zeitlicher Betrachtungsbereich	10
2.3 Freiheitsgrade der Netzplanung	11
2.3.1 Spannungsebene	11
2.3.2 Kabel und Freileitungen	11
2.3.3 Trassenauswahl	12
2.3.4 Netzstruktur	13
2.3.5 Schaltanlagen	16
2.3.6 Transformatoren	19
2.3.7 Sternpunktbehandlung	19
2.4 Lasten und Einspeisungen	21
2.4.1 Haushaltslasten	22
2.4.2 Heizung und Klima	22
2.4.3 Kraft-Wärme-Kopplungs-Anlagen	26
2.4.4 Gewerbekunden	28
2.4.5 Elektrofahrzeuge	30
2.4.6 Elektrische Erzeugung aus erneuerbaren Quellen	34
2.4.7 Das Energiesystem außerhalb des Betrachtungsbereiches	38
2.5 Technische Netzbewertung	42
2.5.1 Betriebsmittelbelastungen	42
2.5.2 Betriebsspannungen	43
2.5.3 Kurzschlussströme	44
2.5.4 Versorgungszuverlässigkeit	45
2.5.5 Modell primärtechnischer Betriebsmittel	46
2.5.6 Systemmodell zur Lastflussberechnung	48

2.5.7 Systemmodell zur Kurzschlussstromberechnung	49
2.6 Wirtschaftliche Bewertung	50
2.6.1 Bewertung der Netzkosten	50
2.6.2 Bewertung der Energiekosten	52
2.7 Regulierungsregime und Steuerungsstrategien	54
2.7.1 Steuerung durch Kunden	54
2.7.2 Marktbasierte Steuerung	55
2.7.3 Steuerungspriorität Netzbetreiber	56
2.7.4 Integrierte Optimierung	57
3 Verfahren	59
3.1 Methodik	59
3.1.1 Formulierung des Optimierungsproblems	59
3.1.2 Methodischer Aufbau	61
3.2 Zielnetzplanung	63
3.2.1 Verfahrensauswahl	63
3.2.2 Vorauswahl von Trassen	65
3.2.3 Analogie Ringplanung – Spannbaumplanung	68
3.2.4 Ameisenalgorithmus zur Mittelspannungszielnetzplanung	69
3.2.5 Lokale Suche	75
3.2.6 Bestimmung der Trennstellen	77
3.2.7 Verfahren zur technischen Netzbewertung	78
3.3 Steuerung von Lasten und Einspeisung	80
3.3.1 Verfahrensauswahl	80
3.3.2 Entwickeltes Verfahren	81
4 Exemplarische Untersuchungen	89
4.1 Überblick über die Untersuchungen	89
4.2 Simulation des zukünftigen Erzeugungssystems	90
4.3 Planungsanforderungen	92
4.4 Städtische Versorgungsaufgabe	93
4.4.1 Beschreibung der Versorgungsaufgabe	93
4.4.2 Validierung des Verfahrens	95
4.4.3 Lastverläufe in Abhängigkeit der Regulierungsregime	97
4.4.4 Zielnetze in Abhängigkeit der Regulierungsregime	100
4.4.5 Gesamtkosten je Regulierungsregime	102
4.4.6 Diskussion der Ergebnisse	104
4.5 Ländliche Versorgungsaufgabe	106
4.5.1 Beschreibung der Versorgungsaufgabe	106

4.5.2 Validierung des Verfahrens	107
4.5.3 Einspeisungsverläufe in Abhängigkeit der Regulierungsregime	109
4.5.4 Zielnetze in Abhängigkeit der Regulierungsregime	110
4.5.5 Gesamtkosten je Regulierungsregime	111
4.5.6 Diskussion der Ergebnisse	112
5 Zusammenfassung	115
6 Literaturverzeichnis	119
7 Abbiidungsverzeichnis	135
A Allgemeine Kenndaten	138
A.1 Wirtschaftliche Kenndaten	138
A.2 Technische Kenndaten	139
A.2.1 Kabel	139
A.2.2 Netzkundenanlagen	139
B Städtische Versorgungsaufgabe	140
B.1 Netzkundenanlagen	140
B.1.1 Haushalte und Gewerbe	140
B.1.2 E-PKWs und Wärmepumpen	143
B.1.3 Dezentrale Einspeisungen	145
B.2 Koordinaten ONS und UW	147
C Ländliche Versorgungsaufgabe	149
C.1 Netzkundenanlagen	149
C.1.1 Haushalte und Gewerbe	149
C.1.2 Dezentrale Einspeisungen	151
C.2 Koordinaten ONS und UW	153