

# Inhaltsverzeichnis

<b>Verzeichnis der verwendeten Formelzeichen</b>	<b>ix</b>
<b>Verzeichnis der verwendeten Abkürzungen</b>	<b>xi</b>
<b>1 Einleitung</b>	<b>1</b>
1.1 Entwicklung der Versorgungsaufgabe von Verteilnetzen . . . . .	1
1.2 Unsicherheiten in der Netzplanung . . . . .	2
1.3 Flexibilitätsbereitstellung durch betriebliche Maßnahmen . . . . .	4
1.4 Kombinierte Betrachtung von Mittel- und Niederspannungsnetzen .	5
1.5 Stand der Forschung . . . . .	7
1.6 Ableitung der Fragestellung . . . . .	8
1.7 Ziel und Aufbau der Arbeit . . . . .	8
<b>2 Analyse</b>	<b>11</b>
2.1 Versorgungsaufgabe . . . . .	12
2.1.1 Netzkunden . . . . .	13
2.1.2 Berücksichtigung der Netzkunden in der Netzplanung . . .	16
2.2 Netzplanung . . . . .	18
2.2.1 Grundsatz- und Ausbauplanung . . . . .	18
2.2.2 Einflussgrößen der Regulierung . . . . .	19
2.2.3 Freiheitsgrade in der Netzplanung . . . . .	20
2.2.4 Spannungsebenenübergreifende Planung . . . . .	28
2.3 Betriebliche Maßnahmen . . . . .	29
2.3.1 Regelbare Ortsnetztransformatoren . . . . .	29
2.3.2 Blindleistungsmanagement . . . . .	30
2.3.3 Einspeise- und Lastmanagement . . . . .	32
2.3.4 Speicher . . . . .	33
2.4 Behandlung von Unsicherheiten in der Netzplanung . . . . .	33
2.4.1 Daten zur Erstellung von Prognosen . . . . .	33
2.4.2 Modelle zur Abbildung von Unsicherheiten . . . . .	35

2.4.3	Berücksichtigung von Unsicherheiten in der Netzplanung . . .	36
2.5	Technische Randbedingungen . . . . .	38
2.5.1	Spannungshaltung . . . . .	38
2.5.2	Thermische Belastbarkeit . . . . .	39
2.5.3	Kurzschlussstrom . . . . .	39
2.5.4	Zuverlässigkeit . . . . .	40
2.6	Wirtschaftliche Bewertung . . . . .	41
2.6.1	Bewertung der Investitions- und Betriebskosten . . . . .	42
2.6.2	Bewertung der Kosten für Flexibilität . . . . .	43
2.6.3	Bewertung der Kosten unter Unsicherheiten . . . . .	47
<b>3</b>	<b>Modelle und Verfahren</b>	<b>49</b>
3.1	Modelle der Versorgungsaufgabe . . . . .	49
3.1.1	Modellierung von Haushaltskunden . . . . .	50
3.1.2	Modellierung von Gewerbe- und Industriekunden . . . . .	51
3.1.3	Modellierung der Elektromobilität . . . . .	52
3.1.4	Modellierung von dezentralen Erzeugungsanlagen . . . . .	52
3.1.5	Modellierung der Speicher . . . . .	53
3.1.6	Modellierung des überlagerten Hochspannungsnetzes . . . . .	54
3.2	Modell zur Überprüfung technischer Randbedingungen . . . . .	54
3.2.1	Modelle der Betriebsmittel . . . . .	54
3.2.2	Lastflussrechnung . . . . .	57
3.2.3	Kurzschlussstromberechnung . . . . .	58
3.3	Betriebssimulation . . . . .	59
3.3.1	Blindleistungsmanagement dezentraler Erzeugungsanlagen . . . . .	60
3.3.2	Regelbare Ortsnetztransformatoren . . . . .	62
3.3.3	Last-, Speicher- und Einspeisemanagement . . . . .	63
3.4	Abbildung der Unsicherheiten . . . . .	66
3.5	Kombinierte Mittel- und Niederspannungsnetzplanung . . . . .	67
3.5.1	Erstellung von Niederspannungsnetzentwürfen mit Ortsnetz- stationen . . . . .	70
3.5.2	Erstellung von Mittelspannungsnetzen . . . . .	80
<b>4</b>	<b>Exemplarische Untersuchungen</b>	<b>91</b>
4.1	Vorstellung der Versorgungsaufgabe . . . . .	91

4.2	Kombinierte MS- und NS-Planung . . . . .	94
4.2.1	Variation der Anzahl der Ortsnetzstationen . . . . .	94
4.2.2	Variation des Standorts der Ortsnetzstationen . . . . .	96
4.3	Auswirkungen betrieblicher Maßnahmen auf die Netzplanung . . . . .	98
4.4	Auswirkungen von Unsicherheiten auf die Netzplanung . . . . .	100
4.5	Wechselwirkungen zwischen Unsicherheiten und betrieblichen Maßnahmen . . . . .	103
4.6	Diskussion der Ergebnisse . . . . .	105
<b>5</b>	<b>Zusammenfassung</b>	<b>107</b>
	<b>Literatur</b>	<b>109</b>
	<b>Abbildungsverzeichnis</b>	<b>121</b>
	<b>Tabellenverzeichnis</b>	<b>123</b>
	<b>Studentische Arbeiten</b>	<b>125</b>
	<b>Veröffentlichungen</b>	<b>127</b>
	<b>Anhang</b>	<b>129</b>
A	Technische Kenndaten . . . . .	129
B	Wirtschaftliche Kenndaten . . . . .	130
C	Detaillergebnisse . . . . .	132