

Strategische Ausbauplanung für elektrische Netze unter Unsicherheit

Von der Fakultät für Elektrotechnik und Informationstechnik
der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen
zur Erlangung des akademischen Grades
eines Doktors der Ingenieurwissenschaften
genehmigte Dissertation

vorgelegt von
Diplom-Ingenieur Tobias Paulun
aus Frechen

Berichter: Universitätsprofessor Dr.-Ing. Hans-Jürgen Haubrich
Universitätsdozent Dipl.-Ing. Dr. techn. Alfons Sillaber

Tag der mündlichen Prüfung: 9. Februar 2007

„D 82 (Diss. RWTH Aachen)“

Inhaltsverzeichnis

Verzeichnis der verwendeten Abkürzungen und Formelzeichen	vii
1 Einleitung	1
1.1 Neue Herausforderungen für Netzbetreiber	1
1.2 Rechnergestützte Netzplanung	2
1.3 Stand der Forschung	4
1.4 Ziel der Arbeit	6
2 Analyse	7
2.1 Analyse der Optimierungsaufgabe	7
2.1.1 Eingangsdaten der Ausbauplanung	7
2.1.2 Ziele der Ausbauplanung	9
2.2 Abgrenzung des Betrachtungsbereichs	10
2.2.1 Technischer Betrachtungsbereich	10
2.2.2 Zeitlicher Betrachtungsbereich	12
2.3 Bewertung von Ausbauplänen	15
2.3.1 Technische Kriterien	15
2.3.2 Ökonomische Kriterien	18
2.4 Planungsunsicherheiten	23
2.4.1 Technische Planungsunsicherheiten	23
2.4.2 Wirtschaftliche Planungsunsicherheiten	25
2.4.3 Politische und juristische Planungsunsicherheiten	25
2.4.4 Bewertung der Planungsunsicherheiten	26
2.5 Freiheitsgrade der Ausbauplanung	28
2.6 Anforderungen an Modelle und Verfahren	29
3 Modelle und Verfahren	31
3.1 Systemmodell	31
3.1.1 Technisches Netzmodell	31
3.1.2 Modellierung der Planungsprojekte	33
3.1.3 Modellierung unsicherer Randbedingungen	34
3.1.4 Auslösende Ereignisse für Planungsprojekte	43
3.2 Verfahrensauswahl	44
3.2.1 Algorithmen für kombinatorische Optimierungsprobleme	45
3.2.2 Auswahl des Optimierungsverfahrens	48
3.3 Heuristisches Verfahren zur Ausbauplanung	49
3.3.1 Ameisenalgorithmus	49

3.3.2	Anwendung des Ameisenalgorithmus in der Ausbauplanung	53
3.3.3	Erläuterung der Verfahrensbestandteile	58
4	Exemplarische Untersuchungen	69
4.1	Bestehende Netze	69
4.2	Randbedingungen der Planungsaufgabe	71
4.3	Zielnetze der Ausbauplanung	72
4.4	Ergebnisse der Ausbauplanung	75
4.4.1	Zyklische Erneuerung der bestehenden Netze	75
4.4.2	Optimaler Ausbauplan	76
4.4.3	Bewertung des erreichten Netzzustandes	80
4.4.4	Analyse des Fehlers durch vereinfachte Bewertung	83
4.5	Sensitivitätsanalysen	85
4.5.1	Auswirkungen von Planungsunsicherheiten	85
4.5.2	Parametrierung des Optimierungsverfahrens	91
4.5.3	Parallele Optimierung von Ausbaustrategien	94
5	Zusammenfassung	97
	Literaturverzeichnis	99
A	Modellsystem der exemplarischen Untersuchungen	105
A.1	Stationen und Trassen	106
A.1.1	Stationslasten zum Beginn des Betrachtungszeitraums	106
A.1.2	Trassenlänge und -belegung	107
A.2	Errichtungszeitpunkte der Betriebsmittel im Basisnetz	110
A.2.1	Schaltanlagen	111
A.2.2	Transformatoren	111
A.2.3	Freileitungen	112
A.3	Betriebsmitteldaten	115
A.3.1	Elektrische Kenndaten	115
A.3.2	Wirtschaftliche Kenndaten	115
A.4	Nicht betriebsmittelbezogene wirtschaftliche Daten	116
B	Ergebnisse der Ausbauplanung	117
B.1	Optimale Ausbaustrategie	117