

# **Betrieb von Mittelspannungsnetzen mit hoher Blockheizkraftwerk-Einspeisung**

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

vorgelegt von  
Diplom-Ingenieur Guido Daniëls  
aus Maastricht, Niederlande

Referent: Univ.-Prof. Dr.-Ing. H.-J. Haubrich  
Korreferent: Prof. Dr.-Ing. H. Rijanto

Tag der mündlichen Prüfung: 5. Juli 1996

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung .....</b>	<b>i</b>
1.1	Netzeinspeisung aus Kleinkraftwerken	1
1.2	Folgen für den Betrieb von Mittelspannungsnetzen	4
1.3	Ziel der Arbeit	7
<b>2</b>	<b>Analyse der Aufgabenstellung .....</b>	<b>9</b>
2.1	Systemabgrenzung	9
2.2	Analyse der Teilsysteme	10
2.2.1	Mittelspannungsnetz	10
2.2.1.1	Struktur	10
2.2.1.2	Netzschutz	11
2.2.2	Blockheizkraftwerke	13
2.2.2.1	Quasistationäres Verhalten	13
2.2.2.2	Dynamisches Verhalten	14
2.2.2.3	Generatorschutz	17
2.2.3	Hoch-/Mittelspannungstransformator	19
2.2.4	Elektrische Last	20
2.3	Einteilung in Normalbetrieb und Störfallverhalten	21
2.4	Nebenbedingungen	22
2.4.1	Nebenbedingungen im Normalbetrieb	22
2.4.1.1	Spannungshaltung	22
2.4.1.2	Statische Stabilität	24
2.4.2	Nebenbedingungen im Störfall	26
2.4.2.1	Kurzschlußbeanspruchung	26
2.4.2.2	Transiente Stabilität der Blockheizkraftwerke	28
2.4.2.3	Selektivität des Netzschutzes	29
2.5	Freiheitsgrade	30
2.5.1	Optimierung des Normalbetriebes	30
2.5.2	Verbesserung des Störfallverhaltens	31

---

<b>3</b>	<b>Modelle und Verfahren .....</b>	<b>35</b>
3.1	Methodisches Vorgehen	35
3.2	Optimierung des Normalbetriebes	37
3.2.1	Zielfunktion und Vorgehensweise	37
3.2.2	Zustandsreduktion	39
3.2.2.1	Notwendigkeit der Zustandsreduktion	39
3.2.2.2	Einfluß des Hoch-/Mittelspannungstransformators	40
3.2.2.3	Einfluß dezentraler Einspeisung	43
3.2.3	Berechnung von Zielfunktion und Nebenbedingungen	43
3.2.4	Optimierungsalgorithmen	45
3.2.4.1	Lage der Trennstellen im Netz	45
3.2.4.2	Leistungsfaktoren der BHKW	48
3.2.4.3	Reglersollwert am Hoch-/Mittelspannungstransformator	49
3.3	Verbesserung des Störfallverhaltens	50
3.3.1	Vorgehensweise	50
3.3.2	Überprüfung der Nebenbedingungen	50
3.3.3	Verfahren zur Schutzparametrierung	51
<b>4</b>	<b>Ergebnisse.....</b>	<b>55</b>
4.1	Gliederung der Untersuchung	55
4.2	Untersuchung eines Modellnetzes	56
4.2.1	Ländliches Netz mit hoher dezentraler Einspeisung	56
4.2.2	Verifikation der Zustandsreduktion	57
4.2.3	Verlustoptimierung im Normalbetrieb	59
4.2.4	Verbesserung des Verhaltens im Störfall	60
4.3	Untersuchung realer Netze	62
4.3.1	Ländliches Netz	62
4.3.2	Städtisches Netz	66
4.4	Erkenntnisse	69
<b>5</b>	<b>Zusammenfassung .....</b>	<b>73</b>
<b>6</b>	<b>Literatur .....</b>	<b>77</b>

---

<b>Anhang .....</b>	<b>87</b>	
A1	Dezentrale Einspeisung auf Basis regenerativer Primärenergieträger	87
A1.1	Direkt gekoppelter Windenergiekonverter	87
A1.2	Indirekt gekoppelte Anlage	88
A2	Modell eines Blockheizkraftwerkes für Stabilitätsuntersuchungen	90
A2.1	Verbrennungsmotor mit Abgasturbolader	90
A2.2	Drehzahlregelung	92
A2.3	Spannungsregler	92
A2.4	Parametrierung der Regeleinrichtungen	93
A3	Vollständiges Datenmodell	96
A3.1	Lastflußdaten	96
A3.2	Ergänzende Daten für Kurzschluß- und Stabilitätsuntersuchungen	100