



Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis	iv
Nomenklatur	vii
1 Einleitung	1
1.1 Hintergrund	1
1.2 Auswirkungen auf die Stromerzeugung in Deutschland	2
1.3 Ableitung der Aufgabenstellung	4
1.4 Gliederung der Arbeit	4
2 Situation der konventionellen Kraftwerke	7
2.1 Kohlekraftwerke	11
2.2 Flexibilitätssteigernde Maßnahmen bei konventionellen Kraftwerken	13
2.2.1 Mindestlastbetrieb und dessen Grenzen	14
2.2.2 Hohe Brennstoffausnutzung im ganzen Lastbereich	20
2.2.3 Minimierung von An- und Abfahrverlusten	22
2.2.4 Hohe Lastgradienten und Lastsprünge	23
2.2.5 Betriebliche Flexibilität	27
2.3 Zusammenfassung der Anforderungen an das Kraftwerksmodell	28
3 Prozesssimulation	29
3.1 Einsatz transienter Simulationsprogramme	29
3.1.1 Wasser-Dampf-Seite	30
3.1.2 Dynamik der Gasseite	31
3.1.3 Gesamtanlagensimulation	32
3.2 Simulationsplattform APROS	34
3.2.1 Aufbau der Software	35
3.2.2 Thermohydraulisches Modell	36
4 Modellbildung	41
4.1 Referenzanlage	41
4.2 Modellierung	48
4.2.1 Modellumfang und Randbedingungen	48
4.2.2 Luft- und Rauchgasseite	49
4.2.2.1 Kanalsystem	50
4.2.2.2 Axialventilatoren	50
4.2.2.3 Radialventilatoren	52
4.2.2.4 Regenerativer Luftvorwärmer	52



4.2.2.5	Dampf-Luftvorwärmer	55
4.2.2.6	Sekundär- und Tertiärluftklappen	56
4.2.2.7	Rauchgasreinigung	56
4.2.3	Brennstoffversorgung	57
4.2.3.1	Mühlenmodell von Fan	59
4.2.3.2	Mühlenmodell von Wei	62
4.2.3.3	Mühlenmodell von Niemczyk	63
4.2.3.4	Mühlenmodell von Lee	64
4.2.3.5	Abschätzen der Modellgüte	64
4.2.4	Dampferzeuger	66
4.2.4.1	Brennkammer	66
4.2.4.2	Konvektive Heizflächen	68
4.2.4.3	Umwälzsystem	70
4.2.5	Turbine und Vorwärmersystem	71
4.2.5.1	Turbosatz	71
4.2.5.2	Kondensator	73
4.2.5.3	Vorwärmstecke	73
4.2.5.4	Speisewasserpumpen	74
4.2.5.5	Umleitstationen	75
4.2.6	Verschmutzung	76
4.2.7	Regelung	77
4.2.7.1	Blockregelung	77
4.2.7.2	Regelung der Primär- und Sekundärventilatoren	78
4.2.7.3	Regelung der Sekundär- und Tertiärluftmengen	78
4.2.7.4	Regelung der Primärluftmenge	78
4.2.7.5	Regelung des Feuerraumdrucks	79
4.2.7.6	Regelung der Abgastemperatur	79
4.2.7.7	Regelung des Speisewassers	79
4.2.7.8	Regelung der Dampftemperatur	80
4.2.7.9	Regelung des Dampferzeugerdruckes	80
4.2.7.10	Regelung der Behälterfüllstände	80
4.2.7.11	Regelung der Umwälzung	80
5	Überprüfung der Modellgüte	83
5.1	Stationäre Validierung	83
5.2	Dynamische Validierung	87
6	Flexibilisierungsmaßnahmen	93
6.1	Nutzung vorhandener Potenziale	93
6.1.1	Modifizierter Gleitdruck	93
6.1.2	Kondensatstau	94
6.1.3	Kondensatstopp	95



6.1.4	Drosselung A 5	96
6.1.5	Abschalten der Hochdruckvorwärmer	96
6.1.6	Speisewasserübersteuerung	97
6.1.7	Lastsprung von 90 auf 100 %	98
6.2	Mögliche Retrofit-Maßnahmen	100
7	Zusammenfassung und Ausblick	103
7.1	Zusammenfassung	103
7.2	Ausblick	105
	Abbildungsverzeichnis	ix
	Tabellenverzeichnis	xiii
	Literaturverzeichnis	xiv
A	Anhang: Tabellen	xxvii
B	Anhang: Abbildungen	xxix