

# Inhaltsverzeichnis

<b>Formelzeichen</b>	<b>IX</b>
<b>1 Einleitung</b>	<b>1</b>
<b>2 Dynamische Dampferzeugersimulation</b>	<b>3</b>
2.1 Vorangegangene Arbeiten . . . . .	3
2.2 Übertragbarkeit der Modelle . . . . .	5
2.3 Neuentwicklung des Dampferzeugermodells . . . . .	6
<b>3 Dampferzeugermodell</b>	<b>7</b>
3.1 Modellvorstellungen . . . . .	7
3.1.1 Systemanalyse . . . . .	7
3.1.2 Allgemeine Modellvorstellungen . . . . .	8
3.1.3 Bauteile des Dampferzeugers . . . . .	9
3.1.3.1 Heizflächen . . . . .	10
3.1.3.2 Nichtbeheizte Bauteile . . . . .	12
3.1.3.3 Abscheider . . . . .	13
3.1.3.4 Einspritzkühler . . . . .	14
3.1.4 Turbinen . . . . .	14
3.1.5 Ventile . . . . .	15
3.1.6 Regler . . . . .	16
3.2 Modell der Arbeitsstoffseite . . . . .	18
3.2.1 Einrohrmodell . . . . .	18
3.2.2 Erhaltungssätze . . . . .	19

3.2.2.1	Instationäre Massenbilanz . . . . .	19
3.2.2.2	Instationäre Impulsbilanz . . . . .	20
3.2.2.3	Instationäre Energiebilanz . . . . .	20
3.2.3	Lösung der Differentialgleichungen . . . . .	22
3.2.3.1	Differenzenverfahren . . . . .	22
3.2.3.2	TDMA-Lösungsverfahren . . . . .	26
3.2.3.3	Versetztes Gitter bei der Impulsbilanz . . . . .	26
3.2.3.4	Geschwindigkeitskorrektur . . . . .	28
3.2.3.5	Druckkorrektur aus der Massenbilanz . . . . .	29
3.2.3.6	Simple-Algorithmus . . . . .	29
3.2.3.7	Randwerte . . . . .	30
3.2.3.8	Quellen und Senken im Arbeitsstoffweg . . . . .	31
3.2.3.9	Toleranzen . . . . .	32
3.2.3.10	Relaxation . . . . .	33
3.3	Modell der Rohrwände . . . . .	34
3.3.1	Energieerhaltungsgleichung . . . . .	34
3.3.2	Lösungsverfahren für dünnwandige Rohre . . . . .	34
3.3.3	Lösungsverfahren für dickwandige Bauteile . . . . .	35
3.4	Modell der Rauchgaskomponenten . . . . .	37
3.4.1	Energieerhaltungsgleichung . . . . .	38
3.4.2	Lösungsverfahren für eine Rauchgaskomponente . . . . .	38
3.4.3	Verfahren bei parallelen Rauchgaskomponenten . . . . .	39
3.4.4	Brennkammerberechnung . . . . .	40
3.5	Kopplung von Arbeitstoff- und Rauchgasseite . . . . .	42
<b>4</b>	<b>Thermodynamische Beziehungen</b>	<b>44</b>
4.1	Verbrennungsrechnung . . . . .	44
4.2	Wärmeübergangskoeffizienten . . . . .	45
4.2.1	Wärmeübergang auf der Rauchgasseite . . . . .	45
4.2.2	Wärmeübergang auf der Arbeitsstoffseite . . . . .	46

4.2.2.1	Gleichungen für den Einphasenbereich . . . . .	46
4.2.2.2	Gleichungen für den Zweiphasenbereich . . . . .	47
4.2.3	Wärmeübergangskoeffizienten aus der Kesselberechnung . . .	48
4.3	Berechnung der Stoffwerte . . . . .	49
4.3.1	Stoffwerte für das Rauchgas . . . . .	49
4.3.2	Stoffwerte für den Arbeitsstoff . . . . .	49
4.3.2.1	Wasserdampfatafeln . . . . .	49
4.3.2.2	Interpolatives Verfahren . . . . .	50
4.3.3	Stoffwerte für die Rohrwände . . . . .	51
4.4	Druckverlust . . . . .	52
4.4.1	Reibungsdruckverlust . . . . .	52
4.4.1.1	Einphasengebiete . . . . .	52
4.4.1.2	Naßdampfbereich . . . . .	54
4.4.2	Statische Druckänderung . . . . .	54
4.4.3	Quellterme der Impulsbilanz . . . . .	55
<b>5</b>	<b>Simulation von Rohrströmungen</b>	<b>56</b>
5.1	Einphasige Rohrströmung . . . . .	56
5.1.1	$\kappa_D$ -Modell . . . . .	56
5.1.2	Vergleich des numerischen Modells mit dem $\kappa_D$ -Modell . . . .	57
5.1.2.1	Sprung der Eintrittstemperatur . . . . .	58
5.1.2.2	Einfluß der Elementanzahl . . . . .	58
5.1.2.3	Grenzen des $\kappa_D$ -Modelles . . . . .	60
5.1.2.4	Sprung in der Beheizung . . . . .	62
5.1.2.5	Sprung des Eintrittsmassenstromes . . . . .	63
5.2	Simulation eines Verdampfers . . . . .	63

<b>6</b>	<b>Regelung und Simulation</b>	<b>68</b>
6.1	Überhitzerregelung . . . . .	68
6.1.1	Regelung einer Einspritzstrecke . . . . .	68
6.1.2	Einspritzkaskadenregelung . . . . .	70
6.1.3	Reglerparameter der Einspritzungen . . . . .	71
6.2	Leistungsregelung . . . . .	72
6.2.1	Simulation der Leistungsregelung . . . . .	73
6.2.2	Druck- und Massenstromiteration . . . . .	74
6.3	Zwangdurchlaufbetrieb . . . . .	75
6.3.1	Speisewasserregelung im Zwangdurchlaufbetrieb . . . . .	75
6.3.2	Simulation des Zwangdurchlaufbetriebes . . . . .	76
6.4	Umwälzbetrieb . . . . .	84
6.4.1	Speisewasserregelung im Umwälzbetrieb . . . . .	84
6.4.1.1	Schwingungen im Umwälzbetrieb . . . . .	84
6.4.1.2	Sattdampfaufschaltung im Umwälzbetrieb . . . . .	88
6.4.2	Simulation der Umwälzbetriebes mit Vordruckregelung . . . . .	88
6.4.3	Simulation des Umwälzbetriebes mit Festdruckregelung . . . . .	93
6.4.4	Bemerkungen zur Umwälzregelung . . . . .	100
6.5	Übergangsvorgänge . . . . .	103
6.5.1	Theoretische Betrachtung der Übergangsvorgänge . . . . .	103
6.5.2	Simulation des Überganges vom Umwälzbetrieb zum Zwangdurchlaufbetrieb . . . . .	106
6.5.3	Simulation des Überganges vom Zwangdurchlaufbetrieb zum Umwälzbetrieb . . . . .	114
6.6	EVT-Sulzer Speisewasserregelungskonzept . . . . .	123
6.6.1	Simulation der Übergangsvorgänge mit dem EVT-Sulzer Speisewasserregelungskonzept . . . . .	125
6.6.2	Übergang vom Umwälzbetrieb zum Zwangdurchlaufbetrieb . . . . .	125
6.6.3	Übergang vom Zwangdurchlaufbetrieb zum Umwälzbetrieb . . . . .	133
<b>7</b>	<b>Zusammenfassung</b>	<b>142</b>
	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>145</b>