

---

# Inhaltsverzeichnis

<b>Verzeichnis der verwendeten Symbole</b> . . . . .	IX
<b>1 Einleitung</b> . . . . .	1
1.1 Entstehung und Entwicklung der GuD-Anlagen . . . . .	1
1.2 Wirkungsgrade . . . . .	4
1.3 Derzeitige Entwicklung . . . . .	7
<b>2 Die Gasturbine</b> . . . . .	10
2.1 Bauarten . . . . .	10
2.1.1 Einwellige GT-Anlage . . . . .	10
2.1.2 Zweiturbogruppe mit Zwischenkühlung und Zwischenerhitzung . . . . .	13
2.1.3 Aeroderivative zweiwellige GT mit koaxialer Wellenanordnung . . . . .	14
2.2 Thermodynamik und Parameter des GT-Kreislaufes . . . . .	15
2.2.1 Der GT-Kreislauf . . . . .	15
2.2.2 Luftzahl und Heißgasstrom . . . . .	16
2.2.3 Kühlluft . . . . .	18
2.2.4 Wirkungsgrad . . . . .	18
2.2.5 Abgastemperatur am GT-Austritt und die spezifische Leistung . . . . .	20
2.2.6 Wirkung der Druckverluste . . . . .	22
2.2.7 Leistungsbedarf des Verdichters . . . . .	23
2.3 Teillastverhalten . . . . .	24
2.3.1 Einwellengasturbinenanlage . . . . .	24
2.3.2 Teillastverhalten der aeroderivativen Zweiwellen- turbine . . . . .	26
2.3.3 Stellgrößen der GT . . . . .	26
2.4 Einwellen-GT mit Zwischenerhitzung . . . . .	27

2.5	Verbrennungsvorgang . . . . .	30
2.5.1	Brenner . . . . .	30
2.5.2	Brennkammer . . . . .	33
2.5.3	Katalytische Verbrennung . . . . .	36
2.5.4	Stickoxidgehalt im Abgas . . . . .	37
2.6	Elemente des Heißgastemperaturbereiches . . . . .	37
2.6.1	Belastung und Werkstoffe . . . . .	37
2.6.2	Doppelschalenbauweise . . . . .	39
2.6.3	Kühlungsverfahren . . . . .	40
2.6.4	Luft- und Dampfkühlung der GT-Elemente . . . . .	41
2.7	Beschichtung der GT-Elemente . . . . .	44
2.8	Verbesserungsmöglichkeiten bei GT-Anlagen . . . . .	46
2.8.1	Luftkühlung vor Verdichter . . . . .	46
2.8.2	Zwischenkühlung der Luft . . . . .	47
2.8.3	Vorwärmung der verdichteten Luft durch Abgas . . . . .	47
2.8.4	Vorwärmung des Brennstoffes . . . . .	48
2.9	Anfahren und Abstellen der GT-Anlage . . . . .	49
2.10	Sicherheitselemente der GT . . . . .	50
2.11	Vergleich der Grenzleistung von Dampf- und Gasturbine . . . . .	51
<b>3</b>	<b>Abgasweg von der Gasturbine zum Abhitzekeessel . . . . .</b>	<b>53</b>
3.1	Abgaskanal . . . . .	53
3.2	Abgasumleitung . . . . .	55
3.3	Kamin . . . . .	59
<b>4</b>	<b>Abhitzekeessel . . . . .</b>	<b>61</b>
4.1	Aufbau und Prozesse . . . . .	61
4.1.1	Bauarten des Abhitzekeessels . . . . .	61
4.1.2	Schaltung der Massenströme und der Pinch-point . . . . .	64
4.1.3	Wärmeübertragung an das Rippenrohr . . . . .	68
4.1.4	Druckabfall auf der Abgas- sowie Arbeitsstoffseite . . . . .	71
4.1.5	Fest- und Gleitdruckbetrieb . . . . .	72
4.1.6	Massenstromdichte und Strömungsform in Siederohren . . . . .	73
4.1.7	Mehrdruckanlagen . . . . .	74
4.2	Trommelkeessel . . . . .	75
4.2.1	Steilrohrkeessel mit Naturumlauf . . . . .	75
4.2.2	Turmkessel . . . . .	78

---

4.2.3	Natur- und Zwangumlauf . . . . .	79
4.2.4	Teillastverhalten des Trommelkessels . . . . .	81
4.2.5	Umlauf bei Teillast . . . . .	83
4.2.6	Trommel . . . . .	84
4.2.7	Absalzung . . . . .	86
4.3	Durchlaufkessel . . . . .	87
4.3.1	Verdampferaufbau . . . . .	87
4.3.2	Wasserabscheider . . . . .	89
4.3.3	Abstimmung der Beheizung mit der Kesselspeisung . . . . .	91
4.3.4	Strömungsform im waagerechten Siederohr . . . . .	93
4.3.5	Aufwärtsströmung im Verdampfer . . . . .	95
4.3.6	Abwärtsströmung im Verdampfer . . . . .	100
4.3.7	Drossel am Eko- bzw. Verdampfereintritt . . . . .	102
4.3.8	Teillastverhalten des Durchlaufkessels . . . . .	104
4.4	Mehrdruckkessel . . . . .	105
4.4.1	Zweidruckkessel . . . . .	105
4.4.2	Dreidruckkessel . . . . .	107
4.4.3	Zwischenüberhitzung . . . . .	107
4.5	Heizflächen mit Einphasenarbeitsstoff . . . . .	109
4.5.1	Aufbau des Überhitzers und Zwischenüberhitzers . . . . .	109
4.5.2	Eko und Speisewassertemperaturbehälter . . . . .	111
4.6	Lage des NO <sub>x</sub> -Katalysators (Denox) . . . . .	113
4.7	Werkstoff der AK-Heizflächen . . . . .	114
4.8	Dynamik des AK . . . . .	114
4.8.1	Zweck der Dynamikuntersuchung . . . . .	114
4.8.2	Zeitverhalten der Rohrrippen . . . . .	115
4.8.3	Trommelkessel als Regelstrecke . . . . .	116
4.8.4	Durchlaufkessel als Regelstrecke . . . . .	117
4.8.5	Überhitzer und Zwischenüberhitzer . . . . .	119
4.9	Regelung . . . . .	119
4.9.1	Regelleistung . . . . .	119
4.9.2	Trommelkessel . . . . .	120
4.9.3	Durchlaufkessel . . . . .	120
4.9.4	Regelung der Dampftemperatur . . . . .	121
4.10	Anfahren und Abstellen . . . . .	122
4.10.1	Anfahren . . . . .	122
4.10.2	Abstellen . . . . .	126
4.10.3	Stillstand . . . . .	127

<b>5 Dampfkreislauf</b> . . . . .	131
5.1 Aufbau und thermischer Wirkungsgrad des Dampfkreislaufes . . . . .	131
5.2 Speisewasserbehälter und Entgaser . . . . .	133
5.3 Mehrwellige Anlage mit Dampfschiene . . . . .	133
5.4 Dampfturbine für GuD . . . . .	135
5.5 Einwellenanordnung der GT und der Dampfturbine . . .	137
5.6 Anfahren . . . . .	138
5.7 Vollastabschaltung . . . . .	139
<b>6 Nachfeuerung</b> . . . . .	141
6.1 Zweck der Nachfeuerung . . . . .	141
6.2 Wirkungsgrad der GuD mit Nachfeuerung . . . . .	143
6.3 Nachbrenner . . . . .	144
6.4 Vor- und Nachteile der Nachfeuerung . . . . .	146
<b>7 GuD-Blöcke mit großen Dampferzeugern</b> . . . . .	148
7.1 Vorliegende Verfahren . . . . .	148
7.2 Dampfblock mit vorgeschalteter GT . . . . .	150
7.3 Verbundkraftwerk . . . . .	154
7.3.1 Mögliche Wärmeschaltungen . . . . .	154
7.3.2 Betriebsverhalten . . . . .	157
<b>8 Kohle als GuD-Brennstoff</b> . . . . .	159
8.1 Mögliche Verfahren . . . . .	159
8.2 Einige Eigenschaften der Kohle . . . . .	160
8.2.1 Zusammensetzung der festen Brennstoffe . . . . .	160
8.2.2 Aschenumwandlung beim Erhitzen . . . . .	161
8.3 GuD mit Kohlevergasung . . . . .	161
8.3.1 Anforderungen an den Vergaser . . . . .	161
8.3.2 Integrierte Vergasung des Kohlenstaubes . . . . .	162
8.3.3 Gasentschwefelung . . . . .	165
8.3.4 Verdünnung und Aufsättigung des Kohlegases . .	166
8.3.5 Wirkungsgrad . . . . .	168
8.3.6 Kohlezufuhr und Ascheabfuhr unter Druck . . . .	168
8.4 GT mit Kohlefeuerung . . . . .	170
8.4.1 Wirbelschichtfeuerung . . . . .	170

---

8.4.2	Stationäre und zirkulierende Wirbelschicht . . . . .	171
8.4.3	GuD mit stationärer Wirbelschicht . . . . .	172
8.4.4	GuD mit zirkulierender Wirbelschicht . . . . .	174
8.5	Standardgasturbine im Kohlegasbetrieb . . . . .	175
8.6	Anfahren und Schutz . . . . .	178
<b>9</b>	<b>GuD-Prozess ohne Dampfturbine . . . . .</b>	<b>181</b>
9.1	Cheng-Prozess (GDT) . . . . .	181
9.2	Prozesse mit Luftsättigung . . . . .	183
<b>10</b>	<b>Wasserpflege im GuD-Dampfkreislauf . . . . .</b>	<b>185</b>
10.1	Entscheidende Faktoren . . . . .	185
10.2	Wasseraufbereitung . . . . .	186
10.3	Anforderungen an Wasser und Dampf . . . . .	187
	<b>Sachverzeichnis . . . . .</b>	<b>189</b>