

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	5
Inhaltsverzeichnis	7
Einleitung	11
1 Wärmekraftmaschinen für niedrige Temperaturen und regenerative Energien	13
2 Der Stirlingprozess	17
2.1 Prinzip	17
2.2 Wirkungsgrad des Idealprozesses	21
2.3 Arbeit des Idealprozesses	23
2.4 Arithmetischer Mitteldruck des Prozesses.....	23
2.5 Der Bewegungsablauf in der Maschine	24
2.6 Wärmekraft- oder Arbeitsmaschine.....	25
2.7 Drehrichtung und deren Umkehr	25
2.8 Der Regenerator.....	25
2.8.1 Temperaturprofil	26
2.8.2 Wärme im Regenerator	26
2.8.3 Regeneratorverlust/-wirkungsgrad.....	27
2.9 Verdichtungsverhältnis	28
2.9.1 Verdichtungsverhältnis von Alpha-Maschinen.....	28
2.9.2 Verdichtungsverhältnis von Gamma-Maschinen	30
2.9.3 Verdichtungsverhältnis von Beta-Maschinen	30
2.10 Arbeitsgase	31
3 Grundtypen	33
3.1 Unterscheidung nach der Art der Kolbenführung.....	33
3.2 Unterscheidung nach der Art der Arbeitsraumkonfiguration	33
3.3 Alpha-Maschine	34
3.4 Gamma-Maschine.....	34
3.5 Beta-Maschine.....	35
4 Doppelt wirkende Stirlingmaschinen	37
4.1 Zweizylinder doppelt wirkender Stirling nach FRANCHOT	37
4.2 Drei- bis Sechszylinder doppelt wirkender Stirling nach SIEMENS	37
5 Eigenschaften und Konstruktionsmerkmale von Stirlingmotoren	39
5.1 Eigenschaften von Stirlingmotoren	39
5.2 Aufladung und Abdichtung des Arbeitsraums.....	39
5.2.1 Die Rollmembran-Dichtung.....	40
5.3 Kurbeltriebe für kinematische Stirlingmotoren	41
5.3.1 Das Rhombengetriebe	41
5.3.2 Das Schiefscheibengetriebe	42
5.3.3 Das Taumelscheibengetriebe	43
5.4 Erhitzer-Wärmetauscher.....	44
5.4.1 Werkstoff-Beanspruchung von Erhitzer-Wärmetauschern	44
5.4.2 Wärmerohr(Heat-Pipe)-Erhitzer	44

5.4.3	Geometrische Bauformen von Erhitzer-Wärmetauschern	45
5.5	Verdrängerkolben für Hochtemperaturmotoren	47
5.5.1	Qualitative Abschätzung der Strahlungswärmeverluste im Verdränger	47
6	Freikolben-Stirlingmotoren	51
6.1	Mathematische Beschreibungen zum Freikolben-Stirling	52
6.2	Übertragungsverhalten gedämpfter Feder-Masse-Schwinger	53
7	Die Luftvorwärmung für Stirlingmotor-Brennersysteme	55
7.1	Temperaturerhöhung durch Luftvorwärmung	56
7.2	Effizienzsteigerung durch Luftvorwärmung	57
7.3	Stickoxide	59
8	Beispiele realer Maschinen.....	61
8.1	Die Solo-161	61
8.2	Die Sunmaschine® von Weber Solartechnik	70
8.3	Biomasse-Stirlingmotor von Stirling DK, Dänemark	72
8.4	Der ST 05 G von Viebach	75
8.4.1	Der ST 05 G-G.....	77
8.5	Der Niedertemperatur-Solar-Stirling Sunwell 50® von Weber Solartechnik.....	79
8.6	Das Freikolben-Stirlingmotor-Energiemodul der Stirling Systems AG	80
8.7	Mini-BHKW mit Freikolben-Stirlingmotor von Bosch Thermotechnik	82
8.8	WhisperGen™ – Mini-BHKW mit 4-Zylinder-Stirlingmotor	84
9	Berechnungsverfahren und deren Klassifizierung.....	89
9.1	Klassische Einteilung der mathematischen Analysemethoden	89
9.2	Klassifizierung nach Organ	90
9.2.1	Kasseler Klassifizierung	90
9.3	Faustformeln.....	90
9.3.1	Der Beale-Faktor.....	90
9.3.2	Der West-Faktor	91
10	Schmidt-Analyse.....	93
10.1	Schmidt-Analyse für Alpha-Maschine	94
10.1.1	Formelzeichenlegende	94
10.1.2	Funktionen der Volumina	94
10.1.3	Effektive Totraumtemperatur.....	94
10.1.4	Effektive Regenerator-Gastemperatur	95
10.1.5	Druck als Funktion des Kurbelwinkels	98
10.1.6	Arbeit und Leistung	100
10.1.7	Extremdrücke.....	101
10.1.8	Beispielrechnung	101
10.2	Schmidt-Analyse für Gamma-Maschine	104
10.3	Schmidt-Analyse für Beta-Maschine.....	106
10.3.1	Ermittlung des Überlappungsvolumens	106
11	Auslegungsdiagramme.....	111
11.1	Normierung der Arbeit	111
11.2	Schmidt-Arbeit als Funktion der Expansionstemperatur	113
11.3	Schmidt-Arbeit als Funktion des Totvolumens	114
11.4	Schmidt-Arbeit als Funktion des Phasenverschiebungswinkels.....	115
12	Massenströme in der Stirlingmaschine	117
13	Regeneratorberechnung	121
13.1	Der Wirkungsgrad von Rekuperatoren	122
13.2	Wirkungsgrad des Regenerators	123
13.3	Wärmeübergangsberechnung nach MIYABE	126
13.4	Wärmeübergangsberechnung	128
13.5	Wärmeleitung in der Regenerator-Matrix.....	128

14	Verluste und Wirkungsgrad	131
14.1	Shuttle-Verluste	131
14.2	Wärmeströme	132
15	Leistungssteigerung und -regelung	133
15.1	Aufladung	133
15.2	Leistungsregelung.....	135
16	Niedertemperaturmotoren	137
16.1	Verdichtungsverhältnis und Reibung	138
16.1.1	Bestimmung der Reibarbeit	141
17	Messungen an einer solaren Niedertemperatur-Stirling-Versuchsmaschine	147
18	Geschichtlicher Rückblick	151
18.1	Geschichte der Wärmekraftmaschinen	151
18.2	Geschichte der Stirlingmotoren	152
19	Thermodynamische Grundlagen konzentrierender Solarkollektoren	155
	Formelzeichen und griechisches Alphabet	159
	Quellen- und Literaturverzeichnis	165
	Stichwortverzeichnis	169