

Inhaltsverzeichnis

1	Theorie des Stirling-Prozesses	1
1.1	Der ideale Stirling-Prozess	1
1.2	Abweichungen vom idealen Stirling-Prozess	7
1.3	Der Schmidt-Zyklus	13
1.4	Elementare Hilfsmittel für die Stirling-Maschinen-Analyse	20
1.5	Literaturverzeichnis	25
2	Maschinentypen	27
2.1	Bauarten von Stirling-Maschinen	27
2.2	Stirling-Maschinen mit kinematischem Getriebe	35
2.3	Freikolben-Stirling-Maschinen	40
2.4	Literaturverzeichnis	47
3	Berechnung von Stirling-Maschinen	49
3.1	Klassifizierung verschiedener Berechnungsverfahren	49
3.2	Der ideale isotherme Stirling-Zyklus	51
3.3	Der ideale adiabate Stirling-Zyklus	53
3.4	Simulationsprogramme dritter Ordnung	55
3.4.1	Mathematisches Modell einer Stirling-Maschine	56
3.4.2	Bilanzgleichungen für ein Volumenelement einer Stirling-Maschine (Finite Volumen Formulierung)	57
3.4.3	Berechnung der Druckverluste in Stirling-Maschinen	59
3.4.4	Berechnung des Wärmeübergangs in Stirling-Maschinen	66
3.4.5	Berechnung der Volumenänderungen in den Arbeitsräumen	68
3.4.6	Numerische Lösungsverfahren für Stirling-Maschinen Simulationsprogramme	68
3.4.7	Ergebnisse von Stirling-Maschinen Simulationsprogrammen	70
3.5	Beispiele von Stirling-Maschinen Simulationsprogrammen zweiter und dritter Ordnung	73
3.5.1	Das Simulationsprogramm PROSA der Universität Reutlingen	74
3.5.2	Das modulare Simulationsprogramm kpsim der Universität Dortmund für regenerative Gaskreisprozesse ohne Ventilsteuerung	74
3.5.3	Die Simulationsgramme der Universität Durham	77

3.6	Zusammenfassung und Ausblick	78
3.7	Literaturverzeichnis	78
4	Bauelemente in Stirling-Maschinen	81
4.1	Getriebe- und Zylinderbereich	82
4.1.1	Elemente des Kurbelgehäuses	82
4.1.2	Elemente im Zylinderbereich	87
4.2	Wärmeübertrager in Stirling-Maschinen	98
4.2.1	Wärmeübertrager zur Wärmeabgabe	99
4.2.2	Regeneratoren	102
4.2.3	Wärmeübertrager zur Wärmeaufnahme	108
4.2.4	Vorwärmer und Vorkühler	112
4.3	Literaturverzeichnis	113
5	Stirling-Maschinen bis 1984	115
5.1	Stirling-Maschinen im 19. Jahrhundert	115
5.2	Stirling-Maschinen im 20. Jahrhundert	122
5.2.1	Stirling-Maschinen von Philips	122
5.2.2	Philips-Lizenznehmer	155
5.2.3	Andere Stirling-Maschinenhersteller	170
5.3	Abschließende Bemerkung	177
5.4	Literaturverzeichnis	178
6	Anwendungsfelder für Stirling-Maschinen	181
6.1	Der Stirling-Motor im Automobil	183
6.1.1	Das „Automotive Stirling Engine Development Program“	185
6.1.2	Die Arbeiten von STM	195
6.1.3	Die Arbeiten von TEM	196
6.1.4	Zusammenfassung und Ausblick	197
6.1.5	Literaturverzeichnis	198
6.2	Der Stirling-Motor in der Kraft-Wärme-Kopplung	198
6.2.1	Stirlingmaschinen im Leistungsbereich bis ca. 3 kW	203
6.2.1.1	Die Arbeiten von WhisperTech	203
6.2.1.2	Die Arbeiten von Sunpower	206
6.2.1.3	Die Arbeiten von Microgen	210
6.2.1.4	Die Arbeiten der Stirling-Systems AG/awtec AG	213
6.2.1.5	Die Arbeiten der Infinia Corporation	214
6.2.1.6	Die Arbeiten von ENATEC	215

6.2.1.7	Die Arbeiten von Sunmachine	216
6.2.1.8	Die Arbeiten von ENERLYT	218
6.2.1.9	Die Arbeiten der Firma Ecker/Saarberg Hydraulik	220
6.2.1.10	Die Arbeiten der Firma Herrmann	225
6.2.1.11	Die Arbeiten von Mayer & Cie	227
6.2.1.12	Die Arbeiten von Dieter Viebach	228
6.2.1.13	Die Arbeiten von Dr. Kammerich	230
6.2.2	Stirlingmaschinen im Leistungsbereich ab ca. 3 kW	232
6.2.2.1	Die Arbeiten von Sanyo	232
6.2.2.2	Die Arbeiten der Firma SOLO Stirling GmbH	235
6.2.2.3	Die Arbeiten der Firma Heidelberg Motor GmbH	240
6.2.2.4	Die Arbeiten von MTI	242
6.2.2.5	Die Arbeiten von STM Power	245
6.2.2.6	Die Arbeiten der Stirling Denmark Ltd.	253
6.2.2.7	Die Arbeiten des Joanneum Research.	259
6.2.2.8	Die Arbeiten von Stirling Technology Inc.	262
6.2.3	Zusammenfassung und Ausblick	264
6.2.4	Literaturverzeichnis	266
6.3	Wärmepumpen mit Stirling-Motor-Antrieb	270
6.3.1	Die Arbeiten von Mitsubishi und der Osaka Gas Corporation	272
6.3.2	Aktivitäten von Tokyo Gas und Aisin Seiki	280
6.3.3	Arbeiten von Toshiba	284
6.3.4	Aktivitäten der Mechanical Technology Incorporated und des Oak Ridge National Laboratory	290
6.3.5	Zukunftsaussichten des Stirling-Motors als Wärmepumpenantrieb	290
6.3.6	Literaturverzeichnis	291
6.4	Dish/Stirling-Systeme	293
6.4.1	Funktionsweise von Dish/Stirling-Systemen	295
6.4.2	Dish/Stirling-Systeme bis 1988	301
6.4.2.1	Das Vanguard I 25 kW _{el} System	301
6.4.2.2	Das McDonnell Douglas 25 kW _{el} System	308
6.4.2.3	Das Schlaich Bergermann und Partner 50 kW _{el} Dish/Stirling-System	310
6.4.3	Aktuelle Dish/Stirling-Systeme	313
6.4.3.1	Das Schlaich Bergermann und Partner 9 kW _{el} Dish/Stirling-System	313
6.4.3.2	Das Kockums/SES 25 kW _{el} Dish/Stirling System	325

6.4.3.3	Das Cummins Power Generation 7,5 kW _{el} System	327
6.4.3.4	Das Aisin Seiki Dish/Stirling-System	333
6.4.3.5	Das Stirling Thermal Motors 25 kW _{el} Solarenergie-Wandlungssystem	335
6.4.3.6	Das Dish/Stirling-System von Sunmaschine	337
6.4.3.7	Das EPAS Dish/Stirling-System S 400	338
6.4.3.8	Sunset Powerstation	339
6.4.4	Ausblick auf die Zukunft von Dish/Stirling-Systemen	341
6.4.5	Literaturverzeichnis	343
6.5	Unterseeboote mit Stirling-Motor-Antrieb	345
6.5.1	Besondere Anforderungen von U-Booten an die Antriebseinheit	346
6.5.2	Vergleich der möglichen Tauchfahrt-Antriebs- systeme für nicht nuklear betriebene U-Boote	347
6.5.2.1	Energiequellen für einen Stirling-Motor in einem U-Boot	351
6.5.2.2	Die Abgasbehandlung in einem U-Boot	353
6.5.3	Entwicklungen von U-Booten mit Stirling-Motoren	355
6.5.3.1	Japanische Stirling-U-Boot-Entwicklung	355
6.5.3.2	Die U-Boot Aktivitäten von Kockums Submarine Systems AB	359
6.5.4	Die Zukunft des Stirling-Motors im U-Boot-Einsatz	369
6.5.5	Literaturverzeichnis	369
6.6	Die Stirling-Maschine in der Kältetechnik	371
6.6.1	Miniatur-Kryokühler zur Kühlung von Sensoren und Elektronikbauteilen	373
6.6.2	Stirling-Kryokühler für die Gasverflüssigung	391
6.6.3	Stirling-Kältemaschinen für die Kältetechnik bei „umgebungsnahen Temperaturen“	405
6.6.4	Zusammenfassung und Ausblick	417
6.6.5	Literaturverzeichnis	421
6.7	Freikolben-Motoren für den Weltraumeinsatz	426
6.7.1	Literaturverzeichnis:	433
6.8	Niedertemperatur Stirling-Maschinen	433
6.8.1	Literaturverzeichnis	436
7	Ausblick	437
8	Index	451