

Martin Werdich
Kuno Kübler

Stirling-Maschinen

Grundlagen - Technik - Anwendungen

Den Findern gewidmet:
James & Robert Stirling

Über Anregungen freut sich

Kuno Kübler
Mutter-Teresa-Str. 20
81829 München
Email: kuno.kuebler@maxi-dsl.de

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Angaben sind im Internet unter <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

ISBN 978-3-936896-73-2

- 1.- 10. Auflage 1991 -2005
- 11. überarbeitete, erweiterte Auflage 2007
unter ISBN 978-3-936896-29-9
- 13. überarbeitete und neu gestaltete Auflage 2013

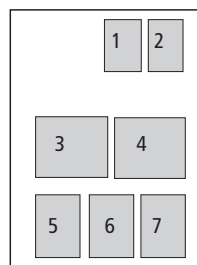
© ökobuch Verlag, Staufen b. Freiburg, 1991, 2013
<http://www.oekobuch.de/>

Alle Rechte der Verbreitung, auch durch Funk, Fernsehen, fotomechanische Wiedergabe, Einspeicherung in EDV-Anlagen, Tonträger jeder Art und auszugweisen Nachdruck, sowie die Rechte der Übersetzung sind vorbehalten.

Karikaturen: W. Wesinger, München, www.waldah.de
Druck: Beltz Bad Langensalza GmbH, Bad Langensalza

Bilder auf der Titelseite

- 1 Historische Zeichnung
- 2 Microgen Stirling, aufgeschnitten. Quelle: ÖkoFen
- 3 Solarskulptur Sunwash. Photo: O. Hein
- 4 SM 34 von Stirling Danmark 2013. Photo: Wudag
- 5 Pelletmatic Smart_e mit Stirlingm. Photo: ÖkoFen
- 6 Dish-Stirling-System. Photo: E. Weber
- 7 Vitotwin 300 W Brennwerttherme. Photo: Viessmann



Inhaltsverzeichnis

Vorwort	5
1 Grundlagen der Heißgas- und Stirlingmaschinen	6
1.1 Geschichtliche Entwicklung	6
1.2 Das Funktionsprinzip des Stirlingmotors	16
1.3 Thermodynamische Grundlagen	17
1.3.1 Begriffserläuterungen	17
1.3.2 Ideale Prozesse / Vergleichsprozesse	18
1.3.3 Der reale Stirlingprozess	22
1.4 Vorzüge des Heißgasmotors	25
2 Typologie der Heißgasmaschinen	28
2.1 Einfach wirkende Motoren	28
2.2 Doppelt wirkende Motoren	29
2.3 Freikolben-Stirling-Maschinen	30
2.4 Freizylinder-Stirling-Maschinen	33
2.5 Hybridmotoren	34
2.6 Der Flachplatten-Stirlingmotor (Kolin)	35
2.7 Flüssigkolbenmaschinen	36
2.8 Die Vuilleumiermaschine (regenerative Wärmepumpe)	37
2.9 Ericsson-Maschinen	38
3 Ausführung des Triebwerks	39
3.1 Kurbeltriebwerke	39
3.2 Das Taumelscheibentriebwerk	42
3.3 Das Schiefscheibentriebwerk	43
3.4 Das Rhombentriebwerk	44
3.5 Rotationskolbenmaschinen	45
3.6 Hydrostatisches Verdrängertriebwerk	46
4 Wärmequellen	47
4.1 Feste Brennstoffe	47
4.2 Flüssige Brennstoffe	50
4.3 Gasförmige Brennstoffe	51
4.4 Sonnenenergie	52
4.5 Abwärmenutzung	54
4.6 Energie aus Niedertemperaturwärme	54
4.7 Thermische Energiespeicher	57
4.8 Thermochemische Speicher	57
4.9 Energie aus radioaktiven Isotopen	58
4.10 Metallverbrennung	58
5 Allgemeine Probleme der technischen Realisierung	59
5.1 Dichtungen	59
5.1.1 Kolbenstangendichtung	59
5.1.2 Kolbendichtungen	60
5.1.3 Abdichtung von Freikolbenmotoren	60

5.2	Arbeitsdruck	60
5.3	Wärmetauscher	60
5.4	Arbeitsmedium	62
5.5	Materialien	63
5.6	Temperatur- und Leistungsregelung	64
6	Einsatz der Heißgasmaschinen	65
6.1	Wärmepumpen und Kaltwassersätze	65
6.1.1	Kältemaschinen nach dem Stirlingprozess	66
6.1.2	Stirlingmotor treibt Wärmepumpe an	67
6.1.3	Fremdmotor treibt Stirlingwärmepumpe an	67
6.1.4	Stirlingmotor treibt Stirlingwärmepumpe an	68
6.1.5	Wärmemaschine nach dem Vuilleumier-Prinzip	68
6.2	Der Heißgasmotor und seine Anwendung	69
6.2.1	Stirlingmotor als Fahrzeugantrieb	69
6.2.2	Stirlingmotoren für Schiffe	69
6.2.3	Pumpen und Verdichter	72
6.2.4	Stromerzeugung	73
6.2.5	Kombination von stationärer und mobiler Verwendung.....	74
7	Entwicklung und Marktüberblick	77
7.1	Nutzmotoren	77
7.2	Von der Kleinserie zur Großserie.....	85
7.3	Wechselvolle Zeiten für Stirling-Entwickler	89
7.4	Motoren für Ausbildung, Schule und Hobby	97
7.4.1	Modellmotoren	97
7.4.2	Experimentalmotoren	100
7.5	Hinweise zum Bau eines Stirlingmotor-Modells von G.Eith	103
8	Zusammenfassung	109
8.1	Einteilung	109
8.2	Ergebnisse	111
8.3	Erwartungen	112
9	Anhang	114
9.1	Verwendete Literatur	114
9.2	Adressenverzeichnis	119
10	Stichwortverzeichnis	124

Vorwort

Die Neuauflage dieses Buches wendet sich in allgemein verständlicher Form an den breiten Leserkreis, der sich für das Thema „Stirling-Maschinen“ interessiert. Das Buch gibt eine Übersicht über Stirlingmaschinen, ihre systematische Einteilung, Anwendung und den Stand der Technik heute (2013). Es ist im Wesentlichen eine Literaturrecherche, bei der auch die umfangreiche englischsprachige Literatur soweit wie möglich berücksichtigt wurde.

Ich widme diese Arbeit Herrn Willi Ried und seiner Frau, die mir nach seinem viel zu frühen Tod eine große Menge Unterlagen zukommen ließ, mit denen Herr Ried 25 Jahre lang an einer Rotationskolben-Stirlingmaschine gearbeitet hat, aber nie den erhofften Durchbruch erreichte.

An dieser Stelle möchte ich mich herzlich bei allen bedanken, die mir durch Korrespondenz und Übersendung von Unterlagen halfen, diese Arbeit so umfassend auszuführen:

Mr. Cooke-Yarborough, Michael Novi (Joanneum), H. Aschenbrenner (PTB Braunschweig), Department of Energy, W.A. Tomazic (NASA), Dipl.-Ing. C. Müller, (IHK), Dr.-Ing. Hörler (ETH-Zürich), A.J. Organ (Uni Cambridge), H. Carlsen (TU-Dänemark), R.M. Schaubach (Thermacore), H. Schager, H. Meschendorf, H. Beck (ECOS), H. Vieweg (Autor), H. Viebach, Klaus Kramer, Eckhart Weber, Ing. P. Lista, Hubert Eckl, Ferdinand Waldkircher, Gerhard Eith.

Ein ganz besonderes Dankeschön möchte ich auch folgenden Damen und Herren sagen, die mir aktiv mit Rat und Tat zur Seite standen:

dem Team von Prof. Dr. H. Krauch, Walter Arn, Dipl.-Ing. Walter Kufner, Dipl.-Ing. Günter Banholzer, Friedrich Munzinger und Dr.-Ing. Blumenberg, sowie meinen beiden Professoren, Herrn Prof. Dipl.-Ing. Benno Kirchgäßner und Herrn Dipl.-Ing. Heinz Schnell sen.

Die Überarbeitung der vorliegenden 13. Auflage war erforderlich geworden, um die Fortschritte in der Stirlingmotorentwicklung festhalten zu können (z.B. Beginn der Serienfertigung für Stirling-Mikroheizkraftwerke). Diese Aufgabe wie auch die Bearbeitung ab der 7. Auflage im Jahr 1999 hat dankenswerter Weise Kuno Kübler übernommen.

Für diese aktualisierte Fassung möchte ich außerdem Tim Lohrmann und Georg Harhaus danken. Sie haben mit sehr großem Engagement über mehrere Monate hinweg und mit fundiertem Fach- und Sachverstand diese vorliegende Fassung zu etwas Besonderem gemacht und trotz der hohen Bandbreite zu größter Fachtiefe verholten.

Die 1.Auflage 1991 bis zur 12.Auflage 2011 dokumentiert die Entwicklung der Stirlingmotor-Technologie bis 2007. In der vorliegenden Überarbeitung sind einige früher beschriebene Einzelentwicklungen entfallen.

Im Juni 2013

Martin Werdich