

U. E. Stempel

FRANZIS
EXPERIMENTE



Experimente mit Heißluftmotoren

DAS STIRLINGPRINZIP

Stempel

Experimente mit Heißluftmotoren

Das Stirlingprinzip

Bibliografische Information der Deutschen Bibliothek

Die Deutsche Bibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte Daten sind im Internet über <http://dnb.ddb.de> abrufbar.

© 2009 Franzis Verlag GmbH, 85586 Poing

Alle Rechte vorbehalten, auch die der fotomechanischen Wiedergabe und der Speicherung in elektronischen Medien. Das Erstellen und Verbreiten von Kopien auf Papier, auf Datenträgern oder im Internet, insbesondere als PDF, ist nur mit ausdrücklicher Genehmigung des Verlags gestattet und wird widrigenfalls strafrechtlich verfolgt.

Die meisten Produktbezeichnungen von Hard- und Software sowie Firmennamen und Firmenlogos, die in diesem Werk genannt werden, sind in der Regel gleichzeitig auch eingetragene Warenzeichen und sollten als solche betrachtet werden. Der Verlag folgt bei den Produktbezeichnungen im Wesentlichen den Schreibweisen der Hersteller.

Satz: DTP-Satz A. Kugge, München

art & design: www.ideehoch2.de

Druck: Bercker, 47623 Kevelaer

Printed in Germany

ISBN 978-3-7723-5788-6

Vorwort

Einer der Gründe, warum wir Menschen uns auf dieser Welt befinden, ist meiner Meinung nach, um zu erfahren und zu begreifen, wie unser Sein und diese Welt funktionieren. Dafür gibt es viele unterschiedliche Wege und Möglichkeiten, die jeder Mensch auf seine Art ergründet.

Für mich ist es immer wieder total spannend, mit meinen Händen und Sinnen die Dinge zu begreifen. Um mich darin üben zu können – und auch Sie in dieser Möglichkeit zu unterstützen – beschäftige ich mich mit interessanten Technologien und schreibe darüber Bücher.

Im vorliegenden Buch sind einfache Bauanleitungen von Heißluftmaschinen, wie z.B. Stirling-Motoren beschrieben, um unter anderem auch Erfahrungen und das Wissen für den Bau von größeren Motoren zu vermitteln. Das Buch hat deshalb den Titel »Heißluft«, da das Arbeitsmedium der beschriebenen Modelle und Maschinen »heiße Luft« ist.

Doch es geht keineswegs um Dampfmaschinen.

Die Heißluftmotoren, oft auch unter dem Oberbegriff »Stirling-Motoren« zusammengefasst, haben ein Grundprinzip gemeinsam. Es gibt eine warme und eine kalte Seite!

Dadurch, dass beide Seiten im Wechsel genutzt werden, kann mechanische Energie bereitgestellt werden.

Ich benutze absichtlich nicht den Begriff »erzeugt«, denn es findet immer nur eine Umwandlung der Energieform statt. Seit Stirling – und eigentlich auch schon viel früher – wurden zahlreiche Maschinen, denen dieses Prinzip zugrunde liegt, erfunden und entdeckt.

Es wurden immer wieder neue, speziellere Formen ausgetüfelt, sowie mit unterschiedlichen Arbeitsmedien wie Luft, Wasserstoff, Helium, Gasgemischen und sogar mit flüssigen Medien experimentiert. Die Fülle der Möglichkeiten hat vielleicht die Verwirklichung des Antriebsprinzips »Stirling-Motor« eher behindert als gefördert.

Einige der Forscher und Entwickler suchen immer neue, noch bessere Bauarten und vergessen dabei manchmal die grundsätzlichen Hauptprobleme und Detaillösungen. So wie ein sehr begabter Mensch, der sich aufgrund seiner vielen Interessen verzettelt und so nichts wirklich zustande bringt. Die Patentbücher sind voll von Konstruktionen, von denen manche nur auf dem Papier existieren und darauf warten, endlich realisiert zu werden.

Für mich ist es eine Quelle der Freude, mit einfachsten Materialien, geringem finanziellen Budget und mit meiner Kreativität etwas zu erschaffen, was dann auch noch von Nutzen sein kann und vielleicht ein bisschen zum Heil aller und unserer Welt beitragen kann.

Die Materialien bei den vorliegenden Bauanleitungen und Vorschlägen sind so gewählt, dass sie preiswert und einfach zu beschaffen sind (siehe auch Liefernachweise im Anhang). Und wie in meinen bisherigen Büchern lege ich Wert darauf, dass viele Komponenten, z.B. vom Computer-Edelspermmüll, kreativ weiterverwendet werden können.

Manchmal braucht es natürlich auch ein Stück Edeltechnik. Was dann auch wieder Spaß macht, wenn im Großen und Ganzen so viele Ressourcen und Geld eingespart werden konnten.

Die Bauanleitungen wurden bewusst so ausgearbeitet, dass Spezialwerkzeuge und nicht für jeden zugängliche Arbeitsverfahren, z.B. Schweißen oder die Herstellung von feinmechanischen Drehteilen, nicht erforderlich sind.

Wer aufwendigere Bearbeitungsmethoden zur Verfügung hat, kann die hier angebotenen Anregungen auf jeden Fall weiterentwickeln und im Sinne des höheren Wirkungsgrades perfektionieren.

Ein weiterer Teil des Buches sind auch die möglichst einfach gehaltenen elektronischen Schaltungen, die zu Mess- und Regelzwecken in Verbindung mit den Konstruktionen verwendet werden können. Für die Überwachung der Messwerte am Computer sind ebenfalls Lösungsvorschläge aufgezeigt.

Auf zu viel trockene Theorie, Fremdwörter und komplizierte Erklärungen habe ich hier bewusst verzichtet.

Ich wünsche Ihnen viel Spaß beim Durchlesen und Experimentieren.

Im Juni 2006 Ulrich E. Stempel

Wichtige Hinweise:

- Viele Konstruktionen, Schaltungen und technische Angaben in diesem Buch wurden vom Autor mit großer Sorgfalt erforscht und entwickelt, getestet, verbessert und zusammengestellt. Leider sind Fehler nicht ganz auszuschließen. Der Verlag und der Autor müssen daher darauf hinweisen, dass sie weder eine Garantie noch die juristische Verantwortung oder irgendeine Haftung für Folgen, die auf fehlerhafte Angaben oder Experimente zurückzuführen sind, übernehmen können. Für die Mitteilung eventueller Fehler sind Autor und Verlag jedoch sehr dankbar.
- Dem Autor können Sie Ihre Anregungen, Erfahrungen oder entdeckte Fehler unter folgender Mailadresse (bitte unbedingt mit Angabe eines Betreffs) mitteilen: *u.stempel@web.de*

- Einige der Anwendungen und Verfahren in diesem Buch sind vom Autor selbst entwickelt oder weiterentwickelt worden. Weitere wiedergegebene Konstruktionen, Schaltungen und Verfahren werden ohne Rücksicht auf die Patentlage mitgeteilt. Sie sind ausschließlich für Amateur- und Experimentierzwecke bestimmt und dürfen nicht gewerblich genutzt werden. Bei gewerblicher Nutzung ist vorher die Genehmigung des Autors oder der möglichen Lizenzinhaber einzuholen.
- Ich bitte Sie, sich bei den entsprechenden Arbeiten zu schützen. So ist es wichtig, eine Schutzbrille bei Bohr- und Sägearbeiten und Handschuhe bei Arbeiten mit heißen Metallen und scharfen Blechen zu verwenden.
- Lötdämpfe können giftig sein! Es gibt aber auch »umweltfreundliches« Lötzinn, z.B. mit der Bezeichnung: Sn 60 Pb32 Cu2 oder weitere bleifreie Lötzinne.
- Beim Umgang mit Maschinen sollten die Sicherheitshinweise berücksichtigt werden. So ist es z.B. sinnvoll, kleinere Metallteile beim Bohren in einen Maschinenschraubstock einzuspannen oder mit einer Zange zu fixieren.
- Beim Umgang mit Spannung und Strom, vor allem ab 42 Volt Gleichspannung und bei der 230-Volt- Wechselfspannung aus dem Stromnetz sowie im Umgang mit Feuer lassen Sie bitte die notwendige Sorgfalt und Vorsicht walten.

Danksagung:

Dank gebührt allen Mitstreitern für eine lebenswerte Zukunft. Namentlich möchte ich mich bei meiner Partnerin Antje Heußner und bei meinem Lektor Herrn Wahl für das Vertrauen und die Unterstützung in meine Arbeit bedanken.

Widmung

Dieses Buch widme ich meinem Sohn Jonathan, dessen ungetrübte kindliche Neugierde mir immer wieder zeigt, was ein wahrer Forschergeist sein kann.

Inhaltsverzeichnis

1	Grundlagen zum Heißluftmotor	11
1.1	Das Prinzip.....	12
1.2	Eigenschaften des Heißluftmotors	20
1.2.1	Vorzüge.....	21
1.2.2	Spezifische Verluste	21
2	Demo-Modell 1, Heißluftmotor – Durch Experimentieren zur Erkenntnis	23
3	Die Komponenten des Heißluft-Modellmotors	43
3.1	Gehäuse.....	44
3.2	Zylinder.....	45
3.3	Basisplatte.....	47
3.4	Verdrängerkolben	51
3.5	Regenerator.....	59
3.6	Gleitlager und Dichthülsen	64
3.7	Kurbelwelle.....	69
3.8	Pleuel	78
3.9	Arbeitskolben und -zylinder	89
3.9.1	Membran.....	89
3.9.2	Kolben.....	96
3.9.3	Balg	98
3.10	Schwungrad	101
3.10.1	Holzschwungrad	102
3.10.2	Metallschwungrad	109
3.10.3	Schwungrad aus Holz/Metall.....	111
3.11	Heizuntersatz	113
4	Arbeits- und Experimentiermodelle (Schnellanleitung)	117
4.1	Herstellungsschritte Heißluftmotor	117
4.2	Galerie der Modelle	124
4.2.1	Modell 02.....	125
4.2.2	Modell 03.....	128
4.2.3	Modell 03a	131
4.2.4	Modell 04.....	135
4.2.5	Modell 05.....	138
4.2.6	Modell 06.....	141

5	Problembewältigung und Checkliste	145
6	Messlabor am Heißluftmotor	149
6.1	Einfache Messungen.....	150
6.2	Messungen mit dem PC.....	155
7	Tuning am Heißluftmotor	161
8	Elektronische Steuerungen – Starterelektronik	163
9	Heißluft und freie Energie – Membran-Freikolben	167
10	Thermoelektrische Generatoren	169
10.1	Einleitung.....	169
10.2	Versuche und Experimente mit dem Thermogenerator	179
10.2.1	Versuche und Experimente mit der Wärmepumpe im Taschenformat	179
10.2.2	Thermoelemente in Reihenschaltung	181
10.3	Spannungswandler – Sperrwandler	181
11	Experimente mit Wärmepumpe/Kühlmaschine	185
11.1	Kühlmaschine	194
11.2	Wärmepumpe.....	196
11.3	Auswertung.....	196
12	Solartechnik und Heißluftmaschine – Parabolspiegel, selbstgemacht	199
12.1	Plastikschüssel	199
12.2	Satellitenschüssel.....	200
12.3	Kosmetikspiegel	205
12.4	Sonnennachführung	205
13	Materialien und Liefernachweise	211
13.1	Kaufmaterialien	211
13.2	Materialien vom Schrott/Recycling.....	212
13.3	Adressenverzeichnis Lieferfirmen (Komponenten)	213
13.4	Adressen und Internetadressen	214
13.5	Bauanleitungen – Modellmotoren	214
	Stichwortverzeichnis	215

4 Arbeits- und Experimentiermodelle (Schnellanleitung)

Im Folgenden werden die Basisarbeiten für die Anfertigung eines Heißluftmodells in einzelnen Schritten beschrieben. Damit, und anhand des Kapitels »Komponenten«, können Sie ein für Ihre Vorstellungen und Bedürfnisse zugeschnittenes Modell selber entwickeln und anfertigen.

4.1 Herstellungsschritte Heißluftmotor

1. Die Dose auf einer Seite mit einem guten Büchsenöffner öffnen (mit Rändelrädchen). Inhalt genüsslich auslöffeln.
2. Die Basisplatte aus einem Stück Alublech, 1,5 mm bis 2 mm dick, entsprechend des Dosendurchmessers anzeichnen (Außendurchmesser der Dose (= D1) plus 10 mm).
3. Blechstreifen mit Breite D1 plus 2 x 10 mm aus einem Alublechstück mit Stichsäge sägen. Mit einer Blechschere geht es auch, bewirkt aber, dass sich das Blech verzieht, das heißt, es muss danach erst wieder plan gerichtet werden.
4. Rechts und links am Blechstreifen die 12 mm anzeichnen und auf jeder Seite zwei Löcher mit Durchmesser 3 mm bohren. In der Mitte des Blechs ein Loch mit 1 mm Durchmesser für den Zirkelschlag bohren und später für die Durchführung der Verdrängerachse.
5. Radius der Dose ermitteln (Durchmesser/2) und Zirkelspitze jeweils auf Vorderseite und Rückseite in die 1-mm-Mittelbohrung stechen und einen Zirkelschlag machen. Dort, wo die Diagonalen und der Zirkelschlag sich kreuzen (+ weitere circa 0,5 mm außerhalb des Dosenrandes), je 1-mm-Löcher bohren (vier Stück) und weitere vier Löcher mit 3 mm Durchmesser circa weitere 5 mm außerhalb des Dosenrandes. Diese Bohrungen sind für die Gewindestangen bzw. die Schrauben, die die Dose und die Basisplatte zusammen drücken sollen.
6. Die mittleren Bohrungen (bisher 1mm) auf 6 mm aufbohren (für Messingröhrchen entsprechend Kapitel 3.6 »Gleitlager und Dichthülsen«)



Abb. 4.1 Anfertigen der Basisplatte

7. Außendurchmesser des Arbeitszylinders (entsprechend Kapitel 3.9) mit Schieblehre messen und Bohrungen für diesen auf dem Alublech anreißen und mit Schälbohrer abwechselnd von beiden Seiten herstellen. Die Bohrungen anhand des Außendurchmessers des Arbeitszylinders immer wieder überprüfen. Der Arbeitszylinder sollte genau in die Bohrung passen.
8. Basisblech in den Schraubstock einspannen und die beiden Enden möglichst ohne Hammer rechtwinklig abkanten. Die Basisplatte wird dadurch stabiler.
9. Mit dem Dosenrand auf der Unterseite der Basisplatte prüfen, ob die Platte noch plan ist, ansonsten mit einem harten Holz als Vorlage und einem Hammer die Basisplatte wieder eben herrichten. Sämtliche Grade mit Metallfeile und Schmirgelpapier entfernen.
10. Durchführungshülse entsprechend Kapitel 3.6 anfertigen.

11. Verdrängungskolben entsprechend Kapitel 3.4 anfertigen. Dazu zuerst die Gesamthöhe der Dose messen (z. B. 110 mm Höhe). Der Pflanzensteckschwamm hat eine Höhe von maximal 80 mm. Davon sollte aber oben und unten noch ein bisschen abgeschmirelt werden können, so dass etwa 75 mm übrig bleiben werden. 110 mm abzüglich 75 mm ergeben im Beispiel einen Hub von 35 mm, das ist brauchbar. Der Bereich von 28 mm bis 40 mm ist als Hub (Verdränger) für unseren Heißluftmotor gut geeignet.
12. Als Nächstes nehmen Sie vier kleine Nägel mit 1 mm Durchmesser und stecken sie durch die 1-mm-Löcher (dort wo der Kreisschlag des Zirkels die Diagonalen gekreuzt hat, siehe Punkt 5). Dann probieren Sie bitte, ob die Dose durch diese Nägel exakt zentriert wird. Ist der Abstand zwischen den Nägeln und dem Dosenrand zu groß, so können Sie ein Stück Kabelisolierung auf die Nägel schieben. Die Zentrierung ist für das spätere Einpassen im Zusammenhang mit dem Verdrängerkolben wichtig (damit dieser nicht am Dosenrand schleift).
13. Der Verdrängerkolben mit seiner Achse in die Dose ganz herein stecken und die Länge der Achse abmessen. Die Achse sollte 1 bis 2 cm über das Ende des Messingröhrchens (Durchführungshülse) reichen. Dann die Achse in entsprechender Länge abzwicken (mehrere Ansätze im Kreis herum beim Abzwicken, sodass kein Grad entsteht).
14. Das Führungs- und Dichtlager (Durchführungshülse) unten mit Schmirgelpapier aufrauen und am äußeren Rand mit Zweikomponentenkleber bestreichen, auf die Achse stecken und vorsichtig nach unten schieben, so dass der untere Rand in die 6-mm-Bohrungen der Basisplatte hineinragt. Dann weiteren Kleber ringsherum angeben. Der Verdrängungskolben muss genau im Zentrum der Dose sein. Die Führungshülse wird damit durch die Achse des Verdrängers in der Senkrechten ausgerichtet. Sie sollten also nicht in eine Richtung drücken oder in eine andere schieben. Für den Fall, dass der Verdränger nach dem Festwerden des Klebers am Dosenrand kratzt, so muss vom Verdränger in der Ständerbohrmaschine ein wenig im Durchmesser abgenommen werden. Dabei sollten Sie aber die Verdrängerachse nochmals gegen die »Abdreh-Achse« austauschen oder Sie mit einem Schrumpfschlauch schützen. Ansonsten gibt es durch das Bohrmaschinenfutter einen Grat auf die Achse, welcher später in der Durchführungshülse für größere Reibung sorgt.



Abb. 4.2 Montage der Durchführung für die Verdrängerstange

15. Jetzt die Bohrungen für den Arbeitszylinder von unten her mit Klebeband abkleben und den Arbeitszylinder von oben her mit Zweikomponentenkleber oder Silikonkleber einkleben. Dabei den Arbeitszylinder in die Bohrung stecken bis er am Klebeband anschlägt, senkrecht ausrichten und den Kleber ringsherum antragen, sodass dieser am Rand des Zylinders herunterläuft und sich mit der Basisplatte verbindet. Alternativ eine abgesägte Telefonbuchse als Schlauchanschluss für einen separaten Arbeitszylinder einschrauben.

16. Nach dem Trocknen des Klebers die Basisplatte von unten schwärzen. Vorher die Öffnungen des Arbeitszylinders und der Achsendurchführung mit einem runden Klebestreifen abdecken.
17. Einen Dichtungsring aus einem Stück 1 mm dickem Gummimaterial (vom Schlauch eines Fahrrades, Pkw, Lkw) oder einem Rest einer Gummidichtungsbahn (Dachbegrünung oder Teichbau) anfertigen. Dazu die Dose auf das Gummi drücken, sodass sich ein Rand abzeichnet (eventuell mit einem Schraubenzieher darum herumfahren) und dann im Abstand von 5 mm zu diesem Rand die Gummischeibe kreisrund mit der Schere oder dem Messer ausschneiden. Dann die Scheibe in der Mitte zusammenfallen und innen eine Scheibe herauschneiden, sodass ein Gummiring mit etwa 1,5 cm Ringbreite entsteht.

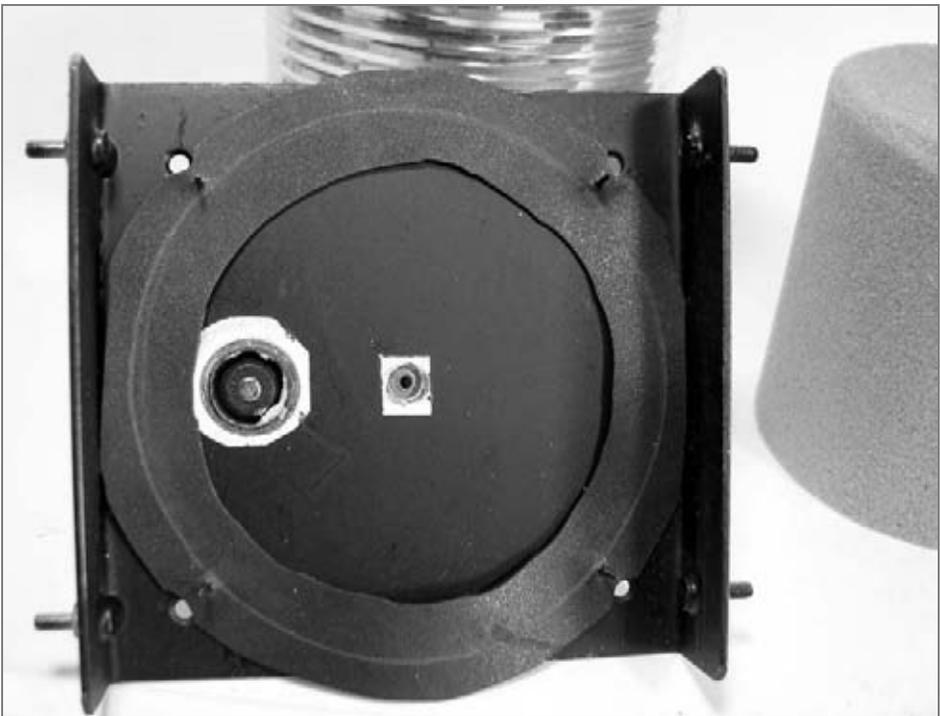


Abb. 4.3 Geschwärzte Basisplatte von unten

18. Für die luftdichte Befestigung der Basisplatte auf der Dose gibt es mehrere Möglichkeiten:
 - Vier Stück Gewindestangen M3 entsprechend der Länge der Dose zuzüglich 2,5 cm absägen und die Enden entgraten. Vor dem Absägen 1 bis 2 Muttern auf diesen Abschnitt schrauben. Das Gewinde wird durch das Sägen verdrückt. Durch die Muttern kann von innen her das Gewinde wieder gangbar gemacht werden. Außerdem helfen

die Muttern beim Einspannen der Gewindestange im Schraubstock. Abgesägte Gewindeabschnitte am einen Ende mit Gasflamme erhitzen und, wenn es leicht glüht, mit der Zange zu einem halbrunden Haken biegen. Anschließend im Wasser abschrecken. Die halbrunden Haken werden dann am unteren Dosenrand eingehängt, das obere Ende durch die Basisplatte geschoben und mit einer Beilagscheibe und Mutter verschraubt.



Abb. 4.4 Verschraubung von Dose und Basisplatte mit Gewindestangen

- Eine andere Möglichkeit – vor allem für kleinere Dosen geeignet – ist folgende: Eine größere Schlauchschelle – für die Dose passend – wird unterhalb des oberen Dosenrandes montiert. Da hinein werden von unten 4 Winkel mit Bohrungen jeweils 90°, passend zu der Basisplatte, hineingesteckt und die Schlauchschelle ein wenig angezogen, aber gerade so viel, dass sich die Dose nicht verbiegt. Nun können 4 längere Schrauben durch die Winkel und die Basisplatte gesteckt werden. Die Basisplatte und der Gummiring können dann mit Beilagscheiben und Muttern auf den Dosenrand geschraubt werden. Beim Anziehen sollten Sie darauf achten, dass zuerst diagonal und dann im Kreis herum immer ein Stück mehr angezogen wird, damit sich die Basisplatte nicht verspannt. Diese Montageart hat den Vorteil, dass z.B. auch zusätzliche Kühlrippen – auf der »kalten« Seite – durch die Schlauchschelle befestigt werden können.



Abb. 4.5 Verschraubung mit Schlauchschelle

- Eine weitere Möglichkeit ist das Verkleben der Basisplatte auf den Dosenrand mit Silikon. Das geht zwar schnell, ist aber schlecht, wenn Sie am Verdrängerkolben etwas ändern möchten oder es sonst einen Grund gibt, die Dose wieder zu öffnen. Außerdem hält das Silikon allein die Verbindung nicht stabil genug. Zu Beginn meiner Experimente habe ich mich gewundert, warum der mit Silikon geklebte Heißluftmotor so schlecht läuft, bis ich durch den Reinblastest entdeckt habe, dass sich die Dose unter Druck von der Basisplatte wegbewegt, ohne jedoch undicht zu sein. Diese »Vergrößerung« des Volumens hat dann aber dem Arbeitszylinder an Druck gefehlt. Abhilfe schafft eine stramme Drahtverspannung, die Dose und Basisplatte zusammendrückt.

Bei den weiteren Schritten geht es um die im Kapitel 3 beschriebenen Komponenten. Die Verwendung der Ausführungsart bleibt Ihrer Kreativität und Entscheidung überlassen. Die technische Anleitung dafür ist im Detail in Kapitel 3 beschrieben.

Die Schritte bei der Anfertigung der Heißluftmaschine können in folgender Reihenfolge fortgesetzt werden. In Klammer das jeweilige Kapitel:

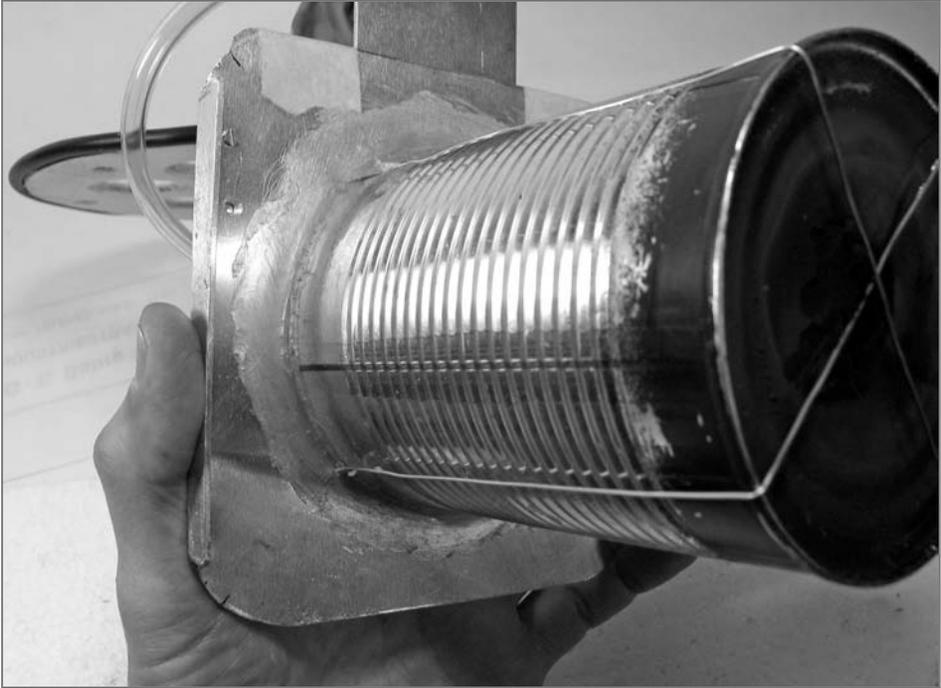


Abb. 4.6 Verbindung mit Silikon und Drahtverspannung

- 19. Seitenteile (je nach Modell)
- 20. Kurbelwelle (Kapitel 3.7)
- 21. Pleuel (Kapitel 3.8)
- 22. Arbeitskolben und Zylinder (Kapitel 3.9)
- 23. Befestigung auf der Membran (Kapitel 3.9)
- 24. Schwungrad (Kapitel 3.10)
- 25. Schwungradmasse (Kapitel 3.10)
- 26. Ausgleichgewicht (Kapitel 3.10)
- 27. Heizuntersatz (Kapitel 3.11)

4.2 Galerie der Modelle

Im Folgenden stelle ich Ihnen ein paar Modellbeispiele vor, die aus den verschiedenen Komponenten, wie oben beschrieben, entstanden sind. Sie zeigen nur einen kleinen Teil der möglichen Varianten mit einer kurzen Beschreibung der damit gewonnenen Erfahrungen. Die Drehzahlen wurden mit einer Teekerze und einem kleinen Spiritusbrenner und bei

einem Modell auch mit Sonnenwärme ermittelt. Als Spiritusbrenner sind solche geeignet, wie sie für Fondue, Warmhalteplatten oder Raclette verwendet werden, am besten mit Brennpaste. Flüssiger Spiritus sollte mit großer Vorsicht und nur nach Gerätevorschrift verwendet werden. Der Spiritusbetrieb ist in der Bauweise (Verdränger) mit Blumensteckschwamm nur kurzzeitig empfehlenswert. Bei dauerndem Betrieb fängt der Blumensteckschwamm an zu verkohlen. Kerzen oder Spiritusbrenner nie ohne Aufsicht betreiben!

4.2.1 Modell 02



Abb. 4.7 Modell 02 in Betrieb

Komponenten	Art
Verdrängerzylinder	»Maisdose« D 83 mm H 83 mm
Verdrängerkolben	Blumensteckschwamm D 81 mm H 40 mm
Pleuel Verdrängerkolben	Flachalu ohne besondere Lagerung
Befestigung an Verdrängerstange	Stelling/Schraube
Basisplatte	Alu mit seitlichen Lagerflügeln
Befestigungsart Dose/Basisplatte	Silikon und Draht
Arbeitszylinder/Arbeitskolben	Filmdose mit Alternativen wie a) Kondom b) Luftballonmembran
Montageort Arbeitszylinder	in Basisplatte mit Silikon eingeklebt
Pleuel Arbeitszylinder	Kaufteil: Spannschloss von Rudermaschine (Modellbau)
Verbindung Pleuel mit Arbeitszylinder	Stelling mit doppelseitigem Klebeband auf Membran geklebt
Dichthülse	Lager vom Kassettenrekorder
Kurbelwelle	Fahrradspeiche 2 mm, seitliche Begrenzung durch halbierte Lüsterklemmen
Kurbelbucht Verdränger	12 mm, Hub 22 mm
Kurbelbucht Arbeitszylinder	6,5 mm, Hub 12 mm
Lagerung Kurbelwelle	in Alubohrung der Seitenteile
Schwungrad	Sperrholz, voll D = 160 mm
Schwungmasse	Litze, schwarz 6 mm ²
Ausgleichsmasse	Mutter M8
Nabe Schwungrad	Antriebsrad vom Walkman
Zusätzlich	Riemenrad, Motor vom Walkman als Generator
Drehzahl mit Teekerze	135 U/min
Drehzahl mit Teekerze und Generator	75 U/min, 200 mV
Drehzahl mit Spiritusbrenner	200 U/min
Drehzahl mit Spiritusbrenner und Generator	130 U/min, 400 mV

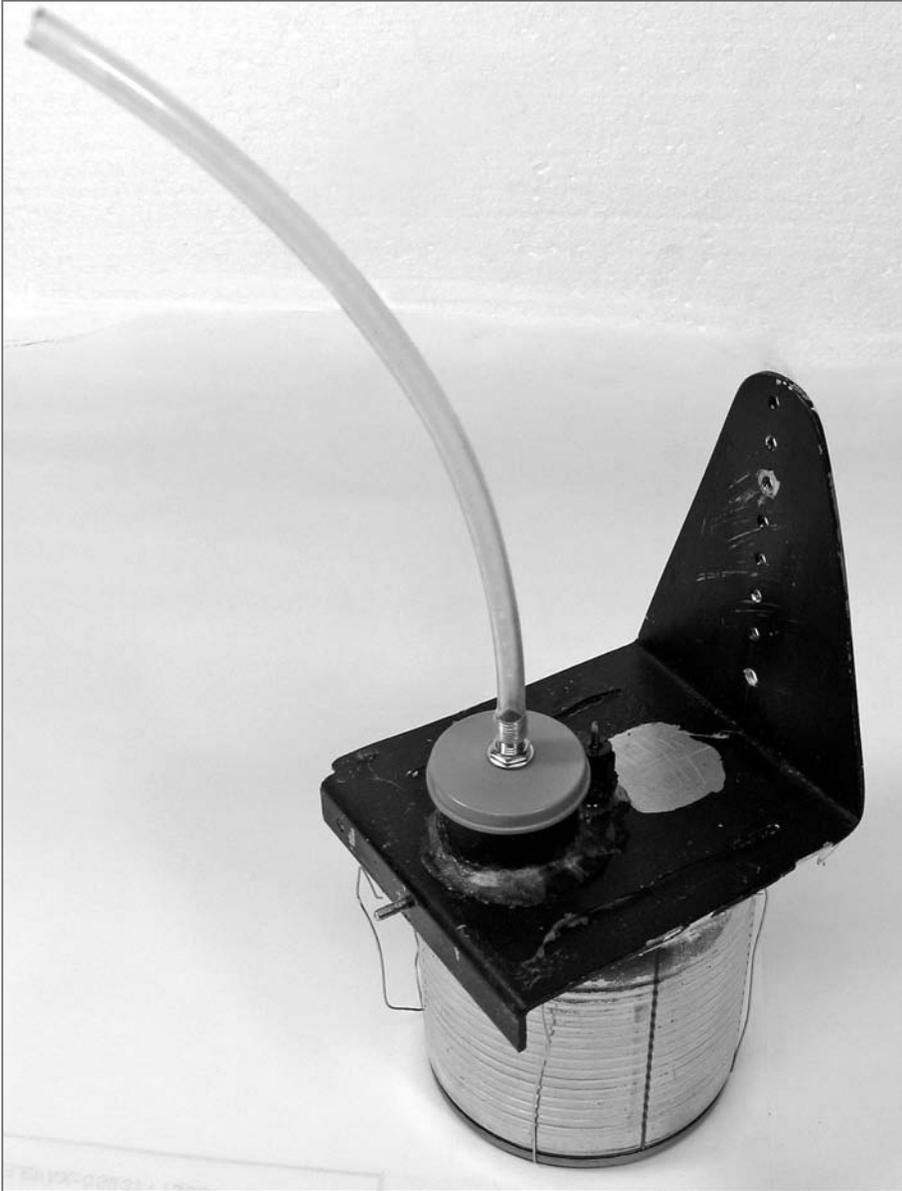


Abb. 4.8 Dichtigkeitsprüfung mit Filmdosendeckel und Schlauch

Modell 02 läuft sehr problemlos. Die Drehzahl lässt nach längerem Betrieb etwas nach. Zur Verbesserung der Leistung kann im oberen Bereich der Dose noch weitere Kühlfläche angebracht werden. Fast alle Komponenten sind vom Schrott, dadurch ist die Anfertigung sehr einfach und preiswert. Zusätzlich wurde der Heißluftmotor mit einem Eisenläufer-

motor aus dem Walkman ausgestattet. Die mechanische Kraftübertragung wird mit dem Originalriemen (aus dem Walkman) vorgenommen. Dieser kann ein- oder ausgehängt werden. Der kleine Motor wurde an der Rückseite mit doppelseitigem Klebeband an eines der seitlichen Alubleche geklebt. Die Spannung des Riemens darf nicht zu stramm sein, sonst wird die Reibung zu hoch und die Drehzahl zu gering. Die erzeugte elektrische Spannung (bedingt durch die niedrige Drehzahl) eignet sich leider nur für Messzwecke. Eine höhere Spannung kann durch ein größeres Riemenrad auf der Schwungradseite gewonnen werden.

4.2.2 Modell 03

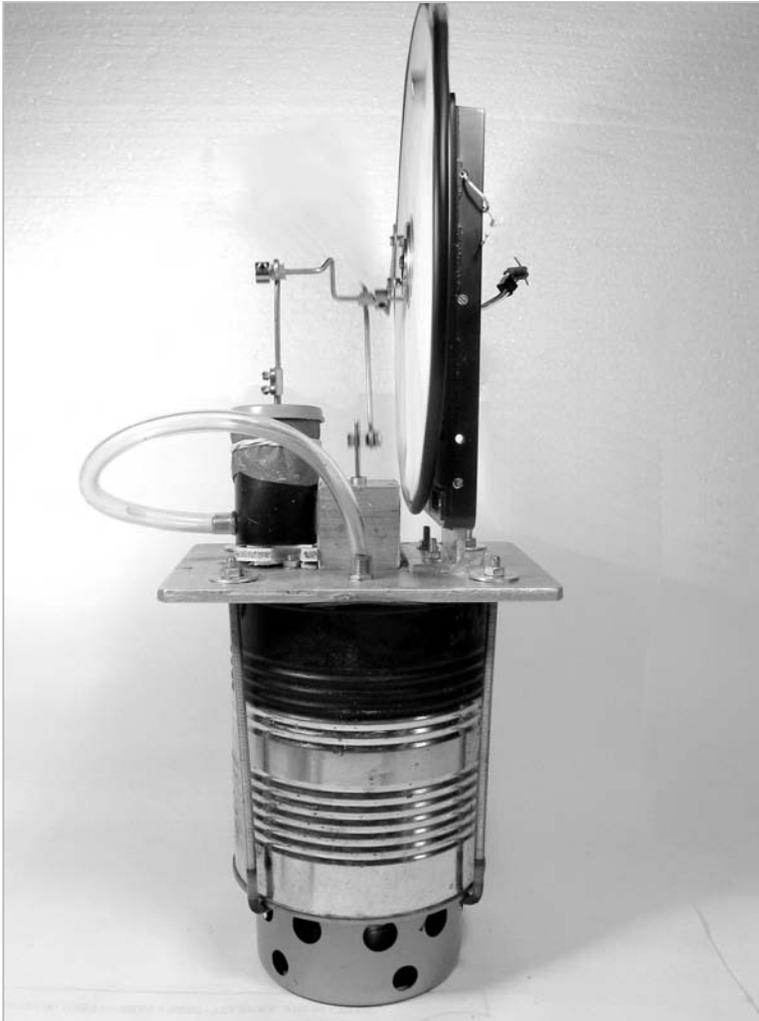


Abb. 4.9 Modell 03 in Betrieb

<i>Komponenten</i>	<i>Art</i>
Verdrängerzylinder	1-l-Dose D 100 mm, H 107 mm
Verdrängerkolben	Blumensteckschwamm D 95 mm, H 66 mm
Pleuel Verdrängerkolben	2-mm-Schweißdraht, Polyamidlager an der Kurbelwelle
Befestigung an Verdrängerstange	Stelling/Schraube
Basisplatte	4 mm dicke Aluplatte
Befestigungsart Dose/Basisplatte	Gewindestangen M 4
Dichtung Dose/Basisplatte	Gummiring
Arbeitszylinder/Arbeitskolben	Filmdose, Luftballonmembran
Montageort Arbeitszylinder	auf die Arbeitsplatte geklebt, Schlauchverbindung zum Verdrängungszyylinder, abgesägte Telefonbuchsen als Schlauchstutzen
Pleuel Arbeitszylinder	1-mm-Messingdraht, Polyamidlager, Lüsterklemme als Verbindung zur Membranschraube
Verbindung Pleuel mit Arbeitszylinder	M3-Schraube mit Gummiringen durch Membran
Dichthülse	entsprechend Kapitel 3.6 mit Messingrohr und Polyamid
Kurbelwelle	Fahrradspeiche 2 mm
Kurbelbucht Verdränger	20 mm, Hub 38 mm
Kurbelbucht Arbeitszylinder	9 mm, Hub 17 mm
Lagerung Kurbelwelle	Festplattenlager + Messingstreifen und Stelling
Schwungrad	Festplatte und Sperrholz ohne Bohrungen in der Fläche D = 180 mm
Schwungmasse	Litze, schwarz 6 mm ²
Ausgleichsmasse	Mutter M6 + Magnet
Nabe Schwungrad	Festplattenlager
Sonstiges	Teil des Festplattengehäuses als Lagerhalterung
Zusätzlich	Festplattenmotor
Drehzahl mit Teekerze	50 U/min
Drehzahl mit Spiritusbrenner	125 U/min



Abb. 4.10 Modell 03, Ansicht von vorn

Durch das einseitige Festplattenlager läuft der Heißluftmotor sehr leicht und ruhig, obwohl die Masse des Verdrängers groß ist. Die Drehzahl ist mit der Teekerze gemächlich. Durch den über einen Schlauch angeschlossenen Arbeitszylinder ist eine gute Dichtigkeitsprüfung möglich. Dadurch ist es auch möglich, unterschiedliche Arten von Arbeitszylindern und deren Wirkungsgrade mit diesem Modell auszuprobieren.

4.2.3 Modell 03a

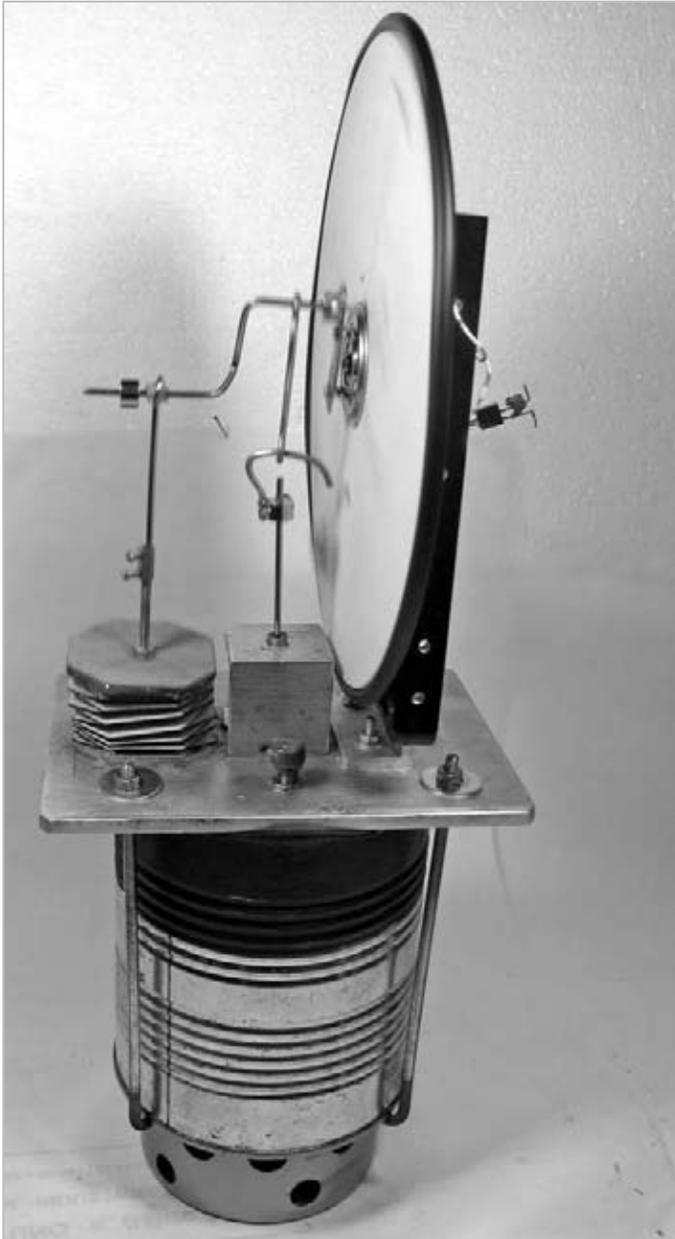


Abb. 4.11 Modell 03a in Betrieb

<i>Komponenten</i>	<i>Art</i>
Verdrängerzylinder	1-l-Dose D 100 mm, H 107 mm
Verdrängerkolben	Blumensteckschwamm D 95 mm, H 66 mm
Pleuel Verdrängerkolben	2-mm-Schweißdraht in S-Form gebogen
Befestigung an Verdrängerstange	Stelling, angelöteter Bügel
Basisplatte	4 mm dicke Aluplatte
Befestigungsart Dose/Basisplatte	Gewindestangen M4
Dichtung Dose/Basisplatte	Gummiring
Arbeitszylinder/Arbeitskolben	Faltenbelag nach D. Viebach
Montageort Arbeitszylinder	auf der Arbeitsplatte, direkte Verbindung zum Verdrängungszyylinder mit abgesägter Telefonbuchse
Pleuel Arbeitszylinder	2-mm-Schweißdraht sowie Polyamidlager. Lüsterklemme als Verbindung zur M3-Schraube zum Faltenbelag
Verbindung Pleuel mit Arbeitszylinder	M3-Schraube durch 2-mm-Sperrholz als oberer Abschluss des Faltenbelages
Dichthülse	entsprechend Kapitel 3.6 mit Messingrohr und Polyamid
Kurbelwelle	Silberstahl 2 mm
Kurbelbucht Verdränger	20 mm, Hub 38 mm
Kurbelbucht Arbeitszylinder	14 mm, Hub 26 mm
Lagerung Kurbelwelle	Festplattenlager + Messingstreifen und Stelling
Schwungrad	Festplatte und Sperrholz ohne Bohrungen D = 180 mm
Schwungmasse	Litze, schwarz 6 mm ²
Ausgleichsmasse	Mutter M6 + Magnet
Nabe Schwungrad	Festplattenlager
Sonstiges	Teil des Festplattengehäuses als Lagerhalterung
Zusätzlich	Festplattenmotor
Drehzahl mit Teekerze	120 U/min

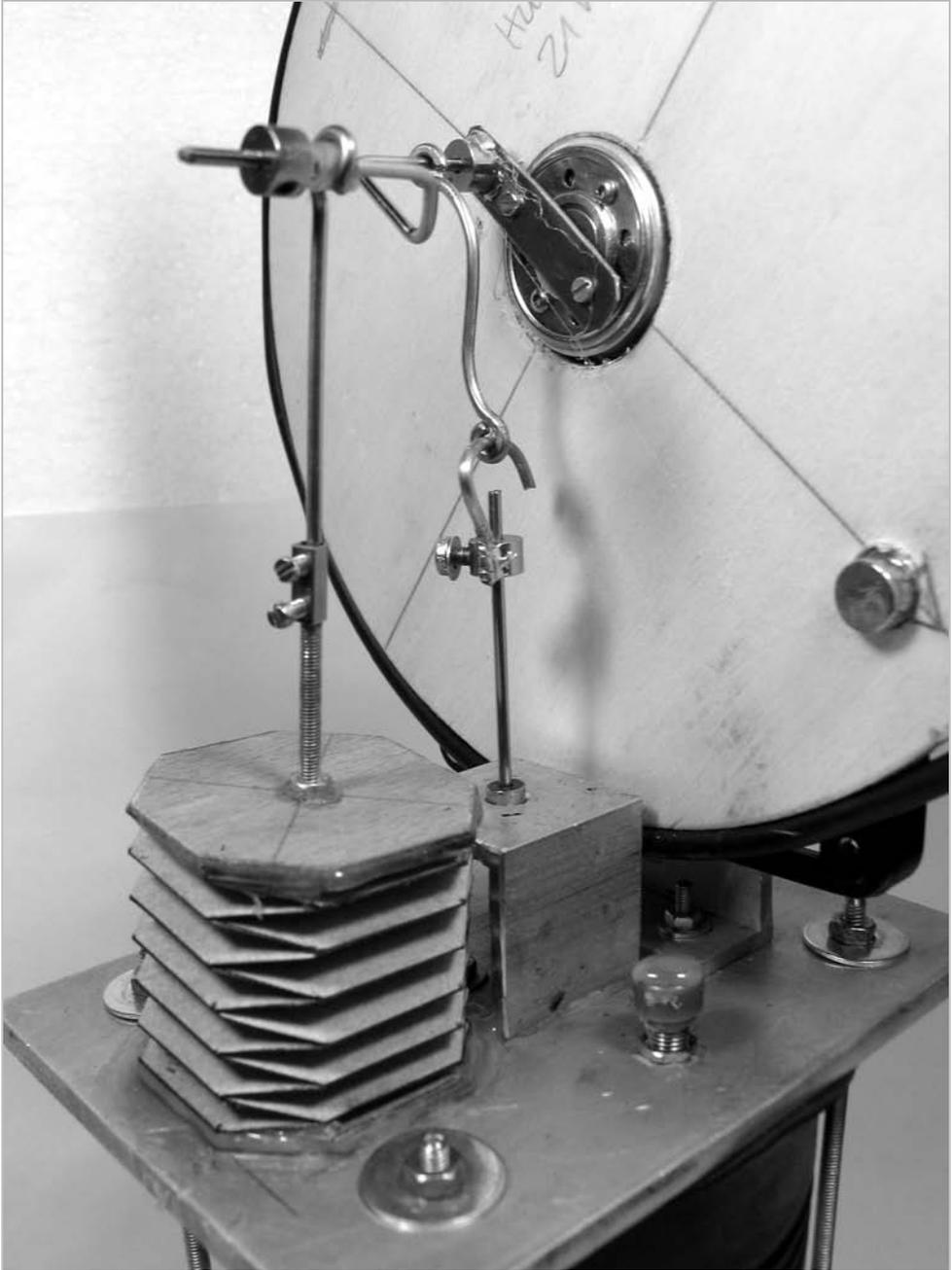


Abb. 4.12 Modell 03a mit Faltenbelag. Die Buchse stammt vom Anschluss des Arbeitszylinders (Modell 03) mit zusätzlicher Kappe zur Abdichtung.



Abb. 4.13 Pleuel in S-Form

Wie beim Modell 03 läuft das Modell 03a durch das einseitige Festplattenlager sehr leicht und ruhig, obwohl die Masse des Verdrängers groß ist. Die Drehzahl ist mit dem Faltenbelag mehr als doppelt so hoch wie beim Modell 03, obwohl ansonsten zum Modell 03 wenig verändert wurde. Lediglich das Pleuel zum Verdränger wurde bei diesem Modell in S-Form ausgeführt. Dadurch bewegt sich der Verdrängerkolben etwas diskontinuierlich,

was eine weitere Leistungssteigerung bewirkt. Der Faltenbelag als Arbeitszylinder ist auf jeden Fall eine sehr leistungsfähige Komponente.

4.2.4 Modell 04

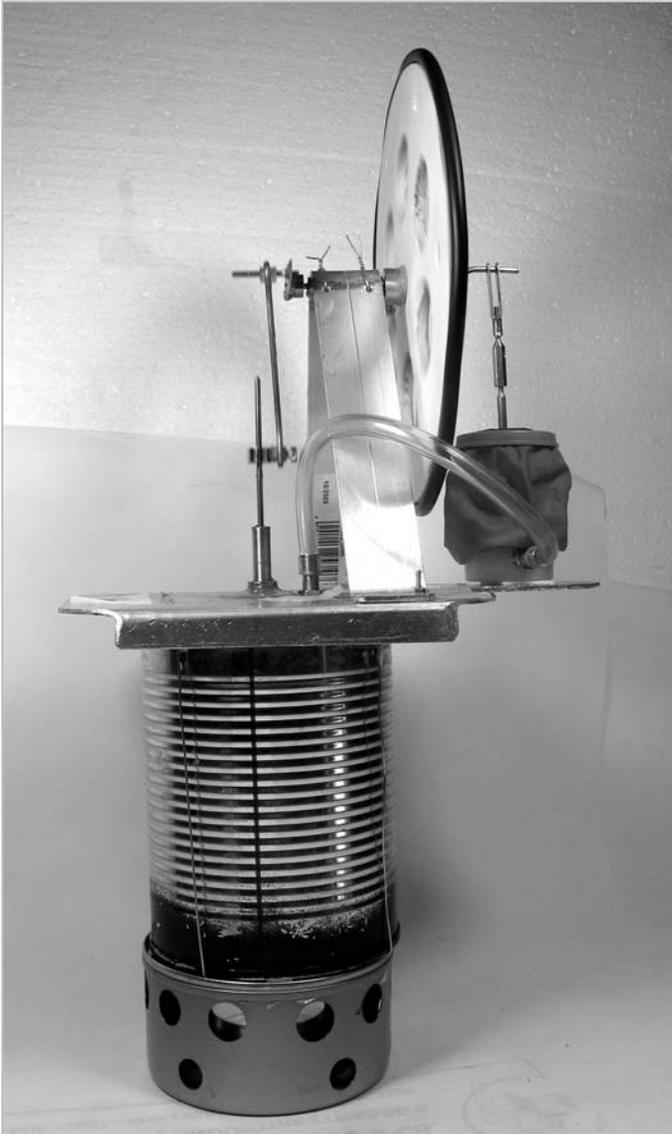


Abb. 4.14 Modell 04 im Betrieb

<i>Komponenten</i>	<i>Art</i>
Verdrängerzylinder	1-l-Dose D 83 mm, H 110 mm
Verdrängerkolben	Blumensteckschwamm D 80 mm, H 80
Pleuel Verdrängerkolben	Messingdraht, Polyamidlager
Befestigung an Verdrängerstange	Stelling/Schraube
Basisplatte	Aluplatte 130 x 130 mit seitlichen Winkeln nach unten
Befestigungsart Dose/Basisplatte	Silikon und Draht
Arbeitszylinder/Arbeitskolben	Filmdose, Luftballonmembran
Montageort Arbeitszylinder	seitlich an der Dose auf extra Halteblech, Schlauchverbindung zum Verdrängungszyylinder, abgesägte Telefonbuchsen als Schlauchstutzen
Pleuel Arbeitszylinder	Kaufteil: Spansschloss Rudermaschine (Modellbau)
Verbindung Pleuel mit Arbeitszylinder	M2-Schraube mit Gummiring
Dichthülse	entsprechend Kapitel 3.6 mit Polyamid und Messingrohr
Kurbelwelle	austauschbare Kurbeln aus 2-mm- Silberstahl, Messingblech und Stelling, verlötet.
Kurbelbucht Verdränger	15 mm, Hub 28 mm, variabel
Kurbelbucht Arbeitszylinder	8 mm, Hub 15 mm, variabel
Lagerung Kurbelwelle	entsprechend Kapitel 3.6 mit Messingrohr und Polyamid
Schwungrad	Sperrholz mit 6 x 30 mm Bohrungen, D = 150 mm
Schwungmasse	Litze, schwarz 6 mm ²
Ausgleichsmasse	Mutter M6 + Schraube + Magnet
Nabe Schwungrad	Kaufteil: Einsatzstück 2 mm
Drehzahl mit Teekerze	60 U/min
Drehzahl mit Spiritusbrenner	200 U/min



Abb. 4.15 Detail der Kurbel und des Pleuels beim Arbeitszylinder

Durch die Mittellagerung der Schwungradachse können die Kurbeln (Hub) für den Verdrängerkolben und den Arbeitskolben gut ausgetauscht werden. Dadurch, dass der Arbeitszylinder außerhalb der Dose angebracht ist, neigt das Modell zum Kippen und braucht auf der anderen Seite ein Ausgleichsgewicht. Durch den über einen Schlauch angeschlossenen Arbeitszylinder ist eine gute Dichtigkeitsprüfung möglich. Dadurch ist es auch möglich, unterschiedliche Arten von Arbeitszylindern und deren Wirkungsgrade mit diesem Modell auszuprobieren.

4.2.5 Modell 05

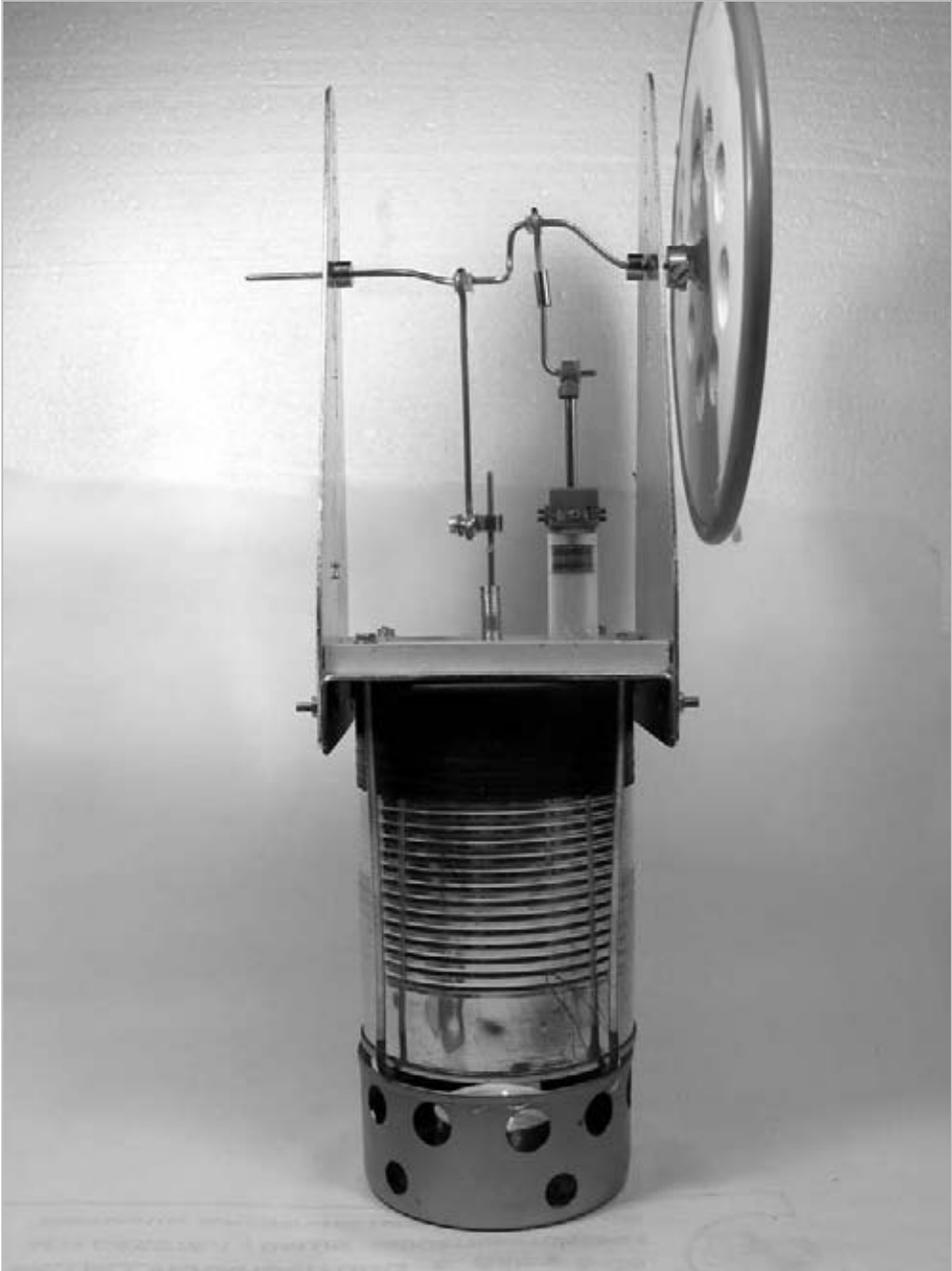


Abb. 4.16 Modell 05 in Betrieb

<i>Komponenten</i>	<i>Art</i>
Verdrängerzylinder	1-l-,Dose D 83 mm H 110 mm
Verdrängerkolben	Blumensteckschwamm D 82 mm, H 81 mm
Pleuel Verdrängerkolben	2-mm-Schweißdraht, Polyamidlager
Befestigung an Verdrängerstange	Stelling/Schraube
Basisplatte	Alu mit seitlich angeschraubten Lagerflügeln und Verstärkung aus Alu U-Profil
Befestigungsart Dose/Basisplatte	mit M3-Gewindestangen an der Basisplatte durch die U-Profile stabilisiert
Dichtung Dose/Basisplatte	Gummiring
Arbeitszylinder/Arbeitskolben	Fischertechnik-Kolben 38 mm Hub
Montageort Arbeitszylinder	In die Basisplatte eingeklebt
Pleuel Arbeitszylinder	2-mm-Schweißdraht, Lüsterklemme, Polyamidlager
Verbindung Pleuel mit Arbeitszylinder	Fischertechnik + Heißkleber zur Aufnahme des Schweißdrahtes
Dichthülse	entsprechend Kapitel 3.6 mit Messingrohr und Polyamid
Kurbelwelle	Silberstahl 2 mm, seitliche Begrenzung mit Stelling
Kurbelbucht Verdränger	15 mm, Hub 28 mm
Kurbelbucht Arbeitszylinder	15 mm, Hub 28 mm
Lagerung Kurbelwelle	seitlich in den Alublechflügeln
Schwungrad	Sperrholz mit 8 x 20 mm Bohrungen, D = 155 mm
Schwungmasse	Litze, blau 10 mm ²
Ausgleichsmasse	Mutter M6
Nabe Schwungrad	Kaufteil: Einsatzstück 2 mm
Sonstiges:	
Zusätzlich	Riemenrad, Motor vom Walkman
Drehzahl mit Teekerze	45 U/min
Drehzahl mit Spiritusbrenner	150 U/min

Die Ausführung eines Heißluftmotors mit einem Hubkolben, wie er zum Beispiel von Fischertechnik (Pneumatik) angeboten wird. Da der Kolben transparent ist, können Sie die Kolbenbewegung sehr schön mitverfolgen. Der Zylinder des Hubkolbens wurde unten mit der Metallsäge abgesägt und mit Zweikomponentenkleber in die Basisplatte eingeklebt. Durch die durchgehende Kurbelwelle eignen sich diese Modelle gut für einen Fremdantrieb über ein Riemenrad oder mit dem Akkuschauber. Damit und mit dem Arbeitskolben (Fischertechnik) ist dieses Modell auch gut geeignet für weitere Experimente wie Wärmepumpe und Kältemaschine.

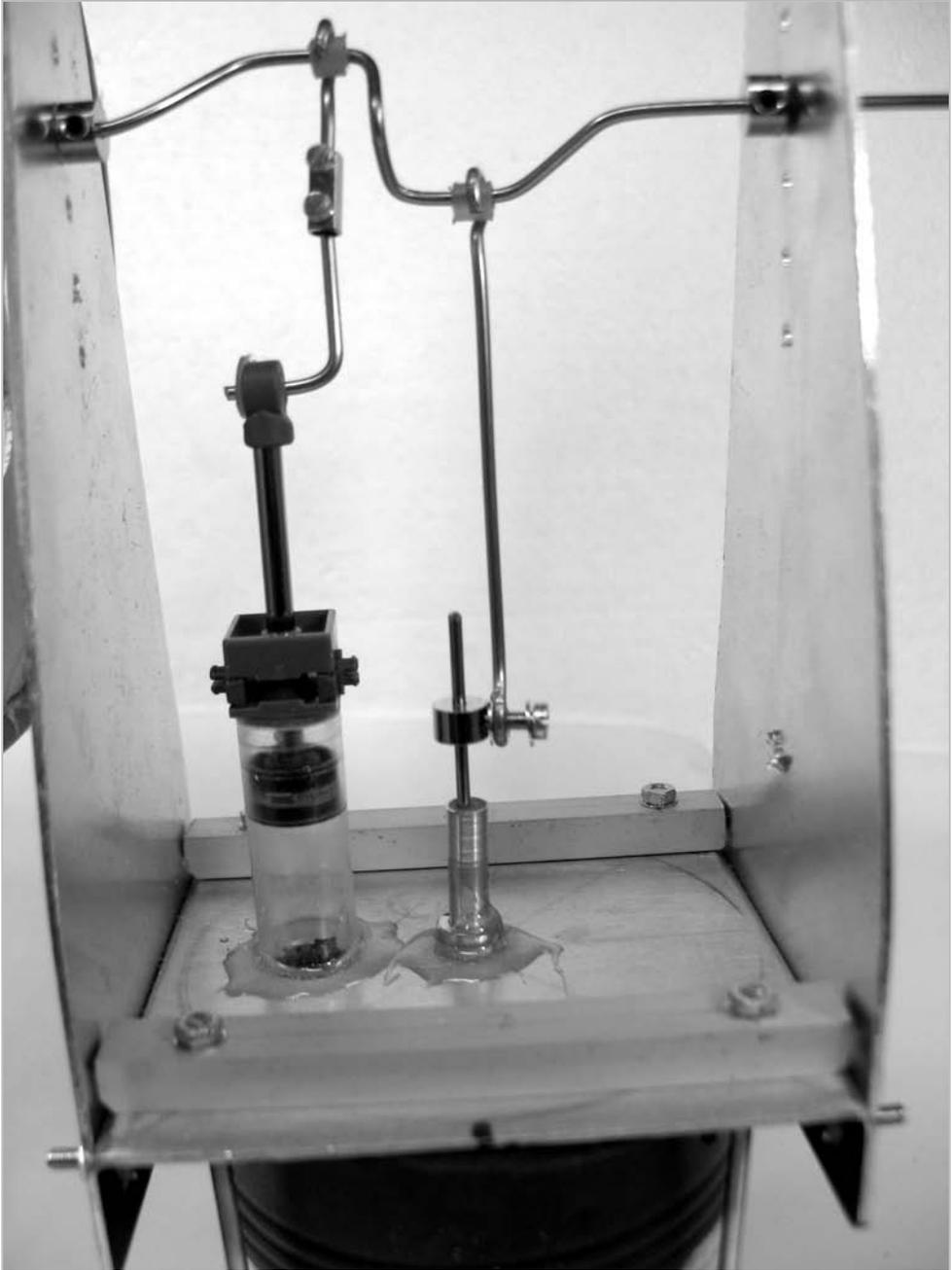


Abb. 4.17 Detail der Kurbelwelle und der Pleuel von Modell 05

4.2.6 Modell 06

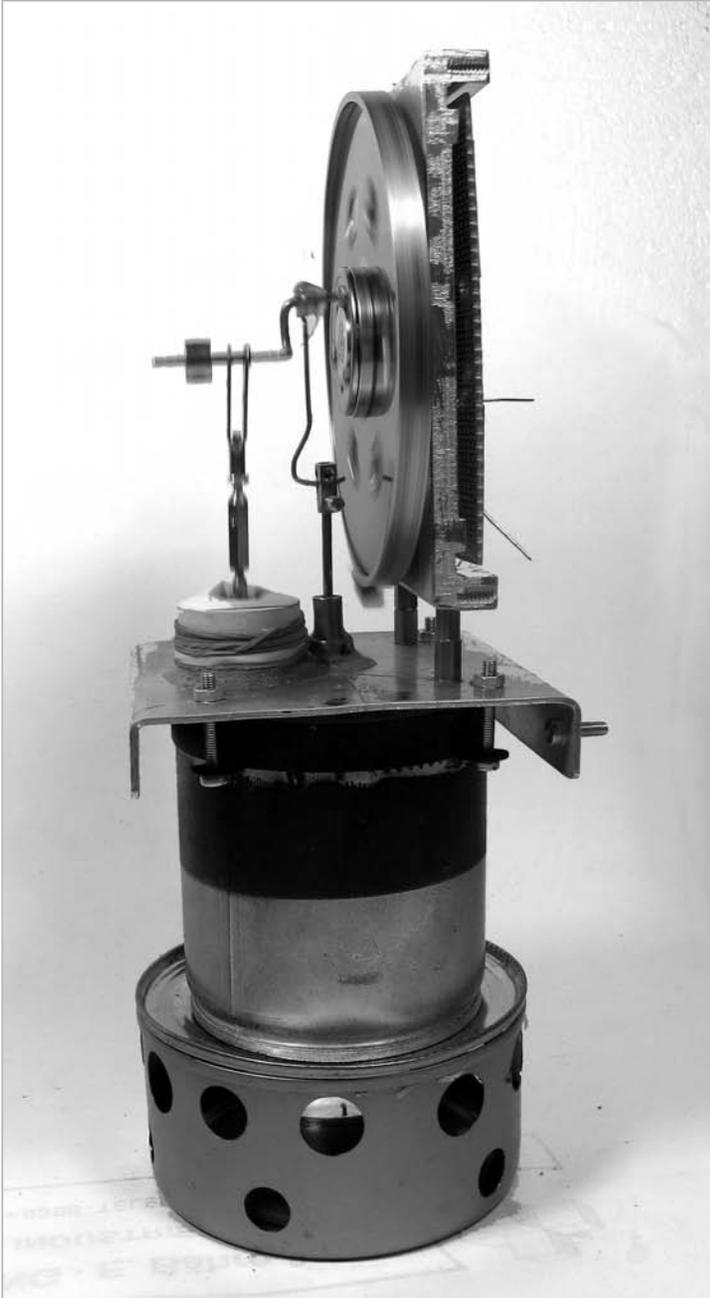


Abb. 4.18 Modell 06 in Betrieb

<i>Komponenten</i>	<i>Art</i>
Verdrängerzylinder	kleine Dose D 64 mm, H 70 mm
Verdrängerkolben	Blumensteckschwamm D 63 mm, H 52 mm
Pleuel Verdrängerkolben	0,8-mm-Messingdraht, Polyamidlager
Befestigung an Verdrängerstange	Lüsterklemme mit 1-mm- Querbohrungen
Basisplatte	Aluplatte 80 x 80 mm mit seitlichen Winkeln nach unten
Befestigungsart Dose/Basisplatte	Schlauchselle mit Winkel und M3-Schrauben
Arbeitszylinder/Arbeitskolben	Messingrohr 25 mm Durchmesser, Membran vom Latexhandschuh
Montageort Arbeitszylinder	In der Basisplatte
Pleuel Arbeitszylinder	Kaufteil: Spannschloss von der Rudermaschine (Modellbau)
Verbindung Pleuel mit Arbeitszylinder	M2-Schraube durch Membran, angelötet an Spannschloss
Dichthülse	entsprechend Kapitel 3.6 mit Messingrohr und Polyamid
Kurbelwelle	Kaufteil: Schubstange mit M2-Gewinde und Kontermutter, eingeschraubt in Festplattennabe
Kurbelbucht Verdränger	10,5 mm, Hub 21 mm
Kurbelbucht Arbeitszylinder	7 mm, Hub 14 mm
Lagerung Kurbelwelle	Festplattenlager
Schwungrad	Festplatte (Alu) mit 6 Stück 12-mm-Bohrungen
Schwungmasse	Messingprofil 6 x 1,5 mm
Ausgleichsmasse	Magnet
Nabe Schwungrad	Lager einer Festplatte
Sonstiges	Festplattenmotor, Gleichrichter, Teil vom Festplattengehäuse
Zusätzlich	Verdränger wahlweise mit Regenerator
Drehzahl mit Teekerze	180 U/min
Drehzahl mit Spiritusbrenner	340 U/min
Drehzahl mit Sonne	ab 350 U/min
Drehzahl mit Teekerze und Regenerator	180 U/min



Abb. 4.19 Modell 06 in Betrieb, mit Schwungmasse aus Lautsprecherkabel und Luftballonmembran

Sehr edles, kompaktes Modell für Vorführungen und zahlreiche Experimente. Läuft auch sehr gut mit der Sonnen-SAT- Schüssel. Höchste Drehzahlen und sehr geräuscharmer, ruhiger Lauf.

U. E. Stempel



Experimente mit Heißluftmotoren

DAS STIRLINGPRINZIP

Der Autor zeigt, wie mit einfachen Materialien und Werkzeugen funktionierende Motormodelle gebaut werden können. Die benötigten Bauteile können preiswert beschafft werden. Auf spielerische Weise lernen Sie so das Funktionsprinzip kennen. Der „Heißluftmotor“ ist auch unter dem Begriff „Stirlingmotor“ bekannt. Der Autor zeigt, dass es auch ohne Drehbank sowie Hartlöten und Schweißen geht.

Es ist ein faszinierendes Erlebnis für Jung und Alt, wenn sich mit heißer Luft ein Motor in Bewegung setzt. Obwohl die Funktion nicht leicht zu erklären ist, fasziniert dieses Antriebssystem. Die Bauanleitungen sind einfach und verständlich gehalten. Wer sich auf diesem Gebiet als Erfinder betätigen will, erhält mit dem Buch das Rüstzeug für eigene Aktivitäten.

Aus dem Inhalt:

Schritt-für-Schritt-Bauanleitungen • Einzelkomponenten der Heißluftmotoren • Heißluftmaschinen als Motor, Kühlmaschine und Wärmepumpe • Thermogeneratoren als Stromerzeuger und Wärmepumpe • Messvorrichtungen • Spannungswandler und Starterelektronik

ISBN 978-3-7723-5788-6



9 783772 357886

EUR 19,95 [D]