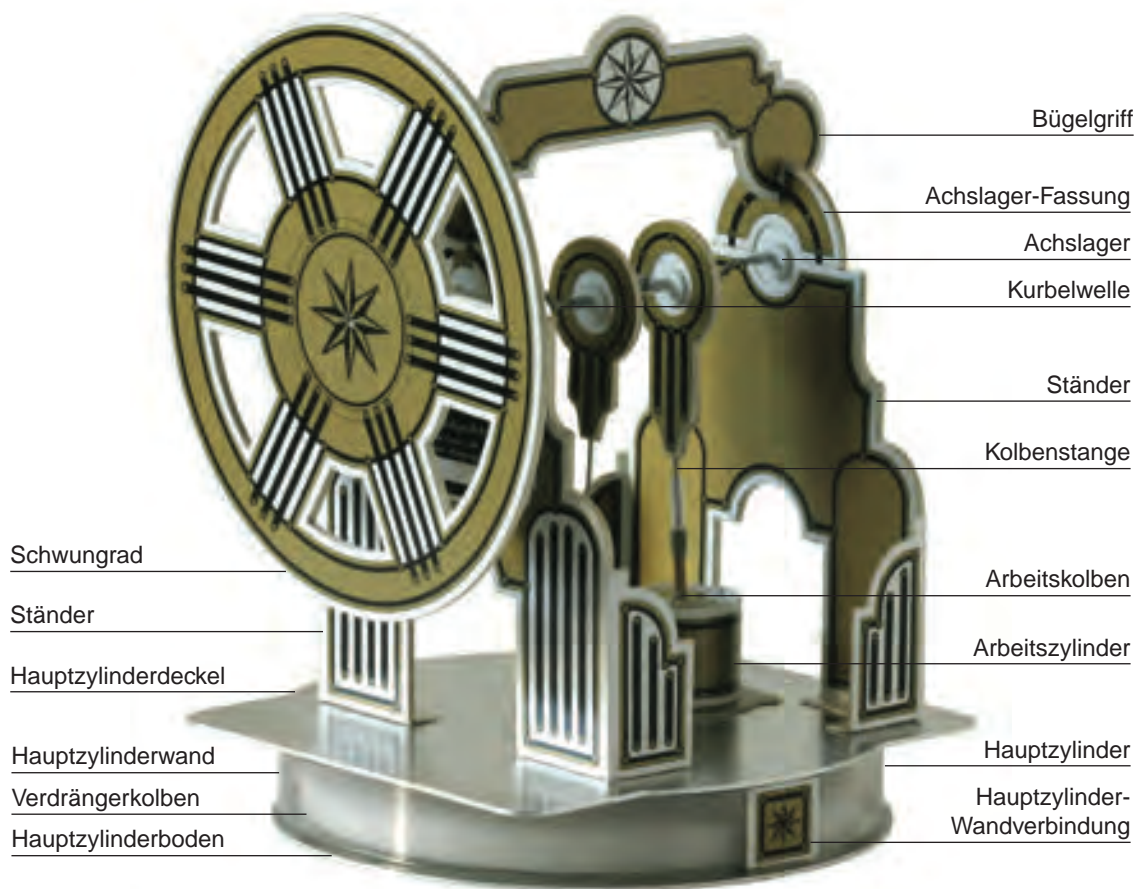


Klaus Hünig

Der Stirling-Motor

Bauanleitung



AstroMedia 

Der Verlag der Wissen schafft

AstroMedia Verlag Waltrop • Grafik Nils Rhode • Artikel Nr. 228.STM



Robert Stirling

Robert Stirling (1790 bis 1878) war Pfarrer der Presbyterianischen Kirche in Schottland und zugleich ein leidenschaftlicher Bastler und Tüftler. Seine Lebenszeit fällt in die erste Hochblüte der Industrialisierung, deren Energiehunger durch abertausende der von James Watt 1776 erfundenen Dampfmaschinen gestillt wurde. Das Mitleid mit den Opfern der immer wieder explodierenden Dampfkessel ließ in ihm die Vision einer Maschine reifen, die auch ohne hohen Dampfdruck arbeiten sollte.

Am 27. September 1816 meldete er das Patent für einen Heißluftmotor an, den er 1818 so weit fertig gestellt hatte, dass er in einem Bergwerk in Ayrshire als Wasserpumpe eingesetzt werden konnte. Zusammen mit seinem Bruder entwickelte er seine Maschine weiter, mit der er zuletzt einen noch nie dagewesenen Wirkungsgrad von 18% erreichen konnte. Er starb am 6. Juni 1878 im Alter von 87 Jahren.

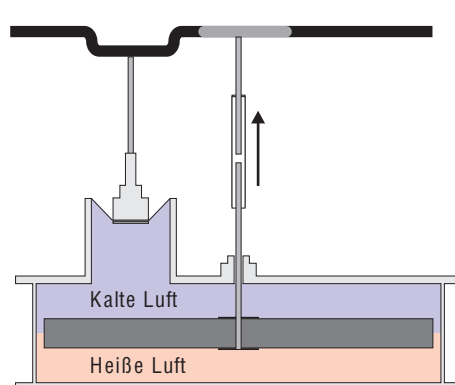
Zu Anfang des 20. Jahrhunderts gab es weltweit ca. 250.000 Stirlingmotoren, die als Tischventilatoren, Wasserpumpen oder Antriebe für Kleingeräte ihre Arbeit verrichteten und Privathaushalte und kleine Handwerksbetriebe mit mechanischer Energie versorgten. Als sich Otto-, Diesel- und Elektromotoren immer weiter verbreiteten, wurden die Stirlingmotoren zunehmend vom Markt verdrängt.

Erst in unserer Zeit mit ihrem wachsenden Umweltbewusstsein und den endlos steigenden Erdölpreisen beginnt eine Rückbesinnung auf den genügsamen und leisen Stirling-Motor. Inzwischen wurden zahlreiche immer sparsamere, leisere und vibrationsärmere Varianten erfunden, die umweltfreundlich mit beliebigen Wärmequellen, darunter auch Solarenergie, beheizt werden können.

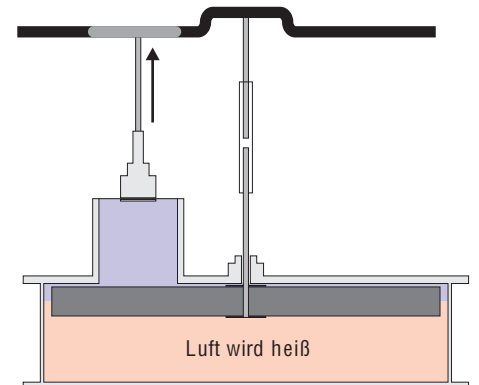
So funktioniert ein Stirling-Motor:

Das Prinzip ist so genial wie einfach und kann in vier Sätzen erklärt werden:

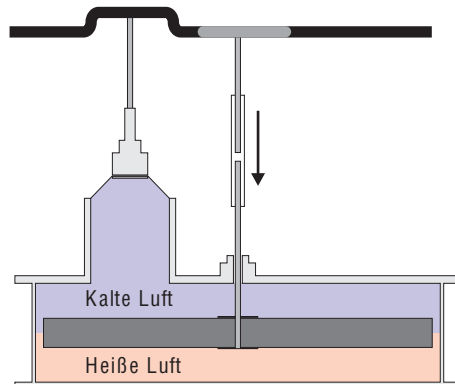
- In einem abgedichteten, auf einer Seite beheizten oder abgekühlten Zylinder („Hauptzylinder“) schiebt ein Kolben („Verdrängerkolben“) die eingeschlossene Luft im ständigen Wechsel zwischen der heißen und der kalten Seite hin und her.
- Die Luft wird dadurch abwechselnd erwärmt und abgekühlt, was zu einer abwechselnden Ausdehnung und Zusammenziehung und damit auch zu einem abwechselnd höheren und niedrigeren Druck der Luft führt.
- Dieser pulsierende Luftdruckwechsel wird über einen mit dem Hauptzylinder verbundenen Kolben („Arbeitskolben“) in die Bewegung einer Kurbelwelle mit Schwungrad umgesetzt: Überdruck schiebt ihn weg, Unterdruck saugt ihn heran.
- Mit einem kleinen Teil der dabei erzeugten Energie wird auch der Verdrängerkolben bewegt, das System hält sich auf diese Weise selber in Gang.



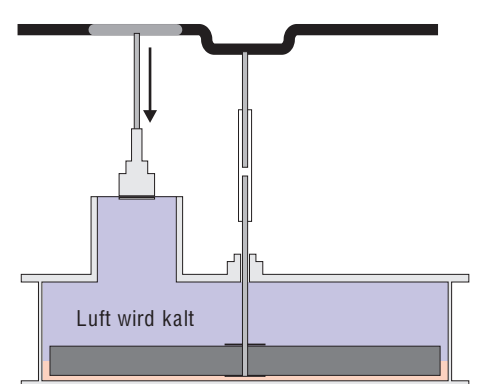
Phase 1: Der Verdrängerkolben geht nach oben. Die Luft wird vom kalten in den heißen Bereich verschoben. Vorübergehend ist der Luftdruck innen und außen gleich. Der Arbeitskolben ist am unteren Ruhepunkt („Totpunkt“) angekommen.



Phase 2: Der Verdrängerkolben ist am oberen Totpunkt angekommen. Die ganze Luft ist im heißen Bereich, erhitzt sich und entfaltet ihren Druck. Der Luftdruck ist innen größer als außen. Der Arbeitskolben muss ihm nachgeben und geht nach oben.



Phase 3: Der Verdrängerkolben geht nach unten. Die Luft wird vom heißen in den kalten Bereich verschoben. Vorübergehend ist der Luftdruck innen und außen gleich. Der Arbeitskolben ist am oberen Totpunkt angekommen.



Phase 4: Der Verdrängerkolben ist am unteren Totpunkt angekommen. Die ganze Luft ist im kalten Bereich, kühlt sich ab und verliert ihren Druck. Der Luftdruck ist außen größer als innen. Der Arbeitskolben muss ihm nachgeben und geht nach unten.

Der AstroMedia* Stirling-Motor gehört zur Familie der Stirling-Flachplattenmotoren. Sie haben einen extrem flachen Hauptzylinder und laufen schon bei sehr geringen Temperaturdifferenzen, manche sogar schon, wenn man sie auf die Handfläche legt. Das Prinzip wurde erstmals 1983 durch Prof. Ivo Kolín von der Universität Zagreb beschrieben.

Einige Anwendungsgebiete moderner Stirling-Motoren sind z.B. Solarstromanlagen, bei denen die heiße Seite des Hauptzylinders im Brennpunkt eines Parabolspiegels liegt, Einfamilienhaus-Blockheizkraftwerke und, erstaunlicherweise, die Raumfahrt: Stirling-Motoren erzeugen in Raumsonden Strom aus mitgeführten radioaktiven Energiequellen. Ebenfalls schon genutzt wird die Möglichkeit, den Stirling-Motor als Wärmepumpe und sogar als Kälteaggregat zu verwenden: Wenn man ihn von außen mechanisch in Bewegung versetzt, verschiebt er die Wärme von der einer Seite des Hauptzylinders zur anderen, was zur Abkühlung bzw. Erwärmung führt.

Industriell eingesetzte Stirling-Motoren verfügen über einen sogenannten Regenerator, der die Leistung noch einmal enorm steigert: Ein im Verdrängerkolben angebrachtes Drahtgeflecht, das der vorbeiströmenden heißen Luft einen Teil der Wärme entzieht und ihr dann wiedergibt, wenn sie abgekühlt erneut vorbeiströmt.

Hinweise für einen erfolgreichen Zusammenbau *Bitte vor Baubeginn lesen!*

1. Die Bauanleitung wurde in viele kleine Schritte gegliedert. Das sieht zunächst nach sehr viel Text aus, aber dafür bleibt der Zusammenbau übersichtlich und führt auf unkomplizierte Weise zu einem erfolgreichen Ergebnis. Bitte lesen Sie jeden Schritt vor seiner Ausführung ganz durch. Einen Link zu einem bebilderten Baubericht finden Sie unter www.astromedia.de auf der Artikelseite des Stirling-Motors.

2. Jedes Teil ist mit einem Namen und einer Nummer gekennzeichnet. Die Buchstaben in den Nummern folgen der Reihenfolge des Zusammenbaus und sind innerhalb einer Baugruppe weitgehend gleich. **Lösen Sie immer nur die Teile heraus, die Sie gerade benötigen, oder schreiben Sie die Teilenummer auf die Rückseite.**

3. Reißen Sie die Teile nicht aus dem Karton, sondern schneiden Sie die kleinen Haltestege mit einem Messer durch, damit die Schnittkanten glatt bleiben.

4. Wo der Karton gefalzt werden muss, ist er durch kleine Einschnitte perforiert, was eigentlich zum Falzen schon genügt. Die Falze werden aber schöner, wenn man vorher mit einem Lineal und einer stumpfen Spitze (siehe rechte Spalte) eine Rille in den Karton drückt. Die Perforationslinien werden fast alle „nach vorne“ gefalzt, einige wenige auch „nach hinten“. „Nach hinten falzen“ bedeutet: Ich falze weg von mir, wenn ich auf die bedruckte Vorderseite des Kartons blicke. „Nach vorne falzen“ bedeutet: Ich falze zu mir hin.

5. Die Stellen, auf die etwas geklebt wird, sind in der Regel durch graue Flächen gekennzeichnet. Wenn kleine Klebestellen schneller trocknen sollen: Bestreichen Sie eine Seite nicht zu dünn mit Alleskleber, drücken Sie die Teile zusammen, so dass sich der Kleber auf beiden Seiten flächig verteilt, und ziehen Sie sie wieder auseinander. Blasen Sie 2- bis 3-mal darüber und drücken Sie die Teile passgenau und kräftig zusammen - die Klebung hält sofort. Bei der Verwendung von UHU Alleskleber „Super Strong & Safe“ erübrigt sich diese Methode.

6. Insbesondere größere ebene Klebungen sollten beim Trocknen leicht gepresst werden, z.B. mit ein paar Büchern auf einer ebenen Fläche, damit sie sich nicht versehentlich verwölben.

Das benötigen Sie für den Zusammenbau:

- Einen **Zwei-Komponenten-Kleber**, z.B. Uhu Plus Schnellfest (Verarbeitungszeit 5 Minuten, fest nach 20 Minuten) oder Uhu Plus Endfest 300 (Verarbeitungszeit 2 Stunden, fest nach 12 Stunden. Achtung: Lange Wartezeiten!). Damit wird die transparente Zylinderwand aus PVC auf die Aluminiumbleche geklebt. Bewährt hat sich auch Weißleim und der Montagekleber PETEC Power Fix (ACHTUNG: Beide sind nicht transparent und haben eine sehr lange Abbindezeit).
- Einen guten **Alleskleber**, möglichst mit einer spitzen Dosierdüse, um auch kleine Klebstoff-Tröpfchen verteilen zu können (z.B. Tesa Alleskleber). Lösungsmittelhaltiger Alleskleber hat den Vorteil gegenüber einem lösungsmittelfreien Kleber auf Wasserbasis, dass er den Karton nicht wellt und viel schneller trocknet. Besonders schnell trocknet UHU Alleskleber „Super Strong & Safe“ (für geübtere Bastler).
- Etwas feines **Sandpapier** (oder z.B. die AstroMedia* Sandblatt-Bastelfeile), um Klebekontakte leicht aufzurauen und, falls nötig, überstehende Kartonränder abzuschleifen.
- **Spiritus** o.ä. zum Entfetten der Klebestellen auf dem Metall.
- Etwas dünnflüssiges, nicht harzendes Maschinen- oder **Silikon-Öl** („Nähmaschinen-Öl“, kein Speise-Öl!). Praktisch ist eine Spritze mit Kanüle zum punktgenauen Aufbringen der Öltröpfchen.
- Ein **Holzstäbchen**, z.B. einen Zahnstocher, mit dem sich Klebstoff- und Öltröpfchen punktgenau aufbringen lassen.
- Eine große **Tasse** oder ein anderes Gefäß mit ca. 10 cm Durchmesser, auf dem sich der Hauptzylinder während der Montage abstellen lässt.
- Eine kleine **Schere** und ein scharfes **Bastelmesser** („Cutter-Messer“, z.B. das AstroMedia* Bastelmesser) oder ein Skalpell mit schlanker Spitze zum Durchschneiden der kleinen Stege, mit denen die Teile in den Kartonplatten gehalten werden und zum Durchschneiden der nur angestanzten Linien.
- Ein **Falzbein** oder ein sonstiger Gegenstand mit stumpfer Spitze zum Rillen der Falzlinien. Es geht auch mit einem **stumpfen Messer** oder einer leergeschriebenen **Kugelschreibermine**.
- Eine **Schneideunterlage** z.B. aus fester Pappe (ohne Welle) oder Kunststoff oder Holz.
- Ein **Geodreieck**, um rechte Winkel zu überprüfen. Ersatzweise ist das auch mit den rechtwinkligen Ecken eines Papierblattes möglich.
- Ein dicker **Filzstift** (Ø ca. 17 mm), ein Rundholzstab oder ein ähnlicher Gegenstand mit glattem, nicht gewölbtem Ende. Er dient zum Rundbiegen einiger kleiner Kartonstücke und zur Herstellung des Latex-Arbeitskolbens.
- Eine kleine spitze **Kombizange** oder kräftige Pinzette für die Feinjustierung am Schluss
- Ein paar Wäsche- oder **Büroklammern**, ein **Bleistift**, etwas **Klebefilm** (Tesafilm), ein **Gummiring** und etwas dünnes **Nähgarn**.

Dieser Bausatz enthält:

- 4 bedruckte und gestanzte Platten aus 0,5 mm starkem Karton
- 1 runde Platte Ø 126 mm aus Aluminiumblech (Boden des Hauptzylinders)
- 1 Platte 126 x 126 mm aus Aluminiumblech mit 2 Löchern (Deckel des Hauptzylinders)
- 2 Streifen transparente 0,5 mm starke PVC-Folie, 18 mm breit 8Wand des Hauptzylinders)
- 2 dünne 18 mm lange Röhrchen aus Messing (Führung der Verdränger-Kolbenstange und Halterung für die Arbeitskolbenstange)
- 1 Silikon Schlauch, 110 mm lang (zur Verbindung der Kolbenstangen und zur Fixierung der Achslager-Scheiben)
- 1 Latex-Handschuh (Latexdichtungen für den Arbeitskolben)
- 1 Schaumstoff-Scheibe 113 x 8 mm mit einem Loch (Verdrängerkolben)
- 3 Drahtbiegeteile aus Federstahl Ø 1,0 mm mit einem kurzen Haken (Kolbenstangen)
- 1 Drahtbiegeteil aus Federstahl Ø 1,5 mm mit 2 Auskragungen, 117 mm lang (Kurbelwelle)
- 4 große Scheiben mit Loch aus Hart-PVC (Achslager-Scheiben für Kurbelwelle, Verdrängerkolben und Arbeitskolben)
- 8 kleine Scheiben mit Loch aus Hart-PVC (Führungs-Scheiben für die Achslager-Scheiben)

Wichtige Vorbemerkung: Wie jeder Motor muss auch dieser Stirling-Motor sehr sorgfältig zusammgebaut werden, damit er am Ende problemlos läuft, zumal mit der geringen Wärmezufuhr einer Tasse heißen Wassers. Die beiden wichtigsten Voraussetzungen für ein Gelingen sind die **Dichtigkeit** von Haupt- und Arbeitszylinder und die **Leichtgängigkeit** bzw. Reibungsarmut aller beweglichen Teile. Bitte achten Sie besonders auf diese beiden Punkte.

Lassen Sie sich ausreichend **Zeit** und haben Sie **Geduld**, insbesondere bei der Feinabstimmung am Ende des eigentlichen Zusammenbaus. Sie werden dafür mit einem schönen Modell mit einer besonders langen Kaffeetassen-Laufzeit belohnt. Bauschritte und Tests von besonderer Wichtigkeit sind wie dieser Absatz durch Unterlegung hervorgehoben.

Bauanleitung

Der Zusammenbau erfolgt in **64 Schritten**, die sich in die Abschnitte **A** bis **N** gliedern:

Abschnitt A:

Das Schwungrad

Das Schwungrad wird zwar erst ganz zum Schluss am Motor befestigt, es wird aber beim Aufkleben der Hauptzylinderwand als Hilfswerkzeug benötigt und deshalb gleich zu Anfang zusammengesetzt.

Schritt 1: Bringen Sie auf der grauen Vorderseite der beiden Mittenteile des Schwungrades [A1] und [A2] sowie auf der unbedruckten Rückseite des Außenteils [A3] und des Innenteils [A4] jeweils einen Bleistiftstrich in vertikaler Richtung an. Lösen Sie erst dann die Teile aus dem Karton und die Zwischenräume aus den Scheiben. Heben Sie die Kartonteile der Zwischenräume auf, sie können später beim Tuning des Motors verwendet werden (s. Kapitel „Tuning-Tipps“ am Ende der Bauanleitung).

Hinweis: Der Bleistiftstrich markiert die Laufrichtung des Kartons. Druckpapier und -karton hat immer eine Laufrichtung, in der das Material flexibler ist als in der um 90° versetzten Richtung. Wenn man die Laufrichtung beim Zusammenkleben berücksichtigt, kann man aus Karton einen verwindungssteifen Verbund herstellen.

Schritt 2: Das Loch im Zentrum der 4 Teile zur Aufnahme der Kurbelwelle ist wegen seines kleinen Durchmessers nur angestanzt. Stoßen Sie es mit dem Ende der Kurbelwelle von der Rückseite her durch. Falls nötig können Sie vorher die kreisförmige Schnittlinie durch kleine Einstiche mit der Spitze Ihres Cuttermessers vertiefen.

Schritt 3: Kleben Sie die beiden Mittenteile des Schwungrades [A1] und [A2] mit ihren unbedruckten Rückseiten passgenau so gegeneinander, dass die Bleistiftstriche in die gleiche Richtung zeigen, also die Laufrichtung beider Teile gleich ist. Nach dem Antrocknen werden auf die Mittenteile das Außenteil [A3] und das Innenteil [A4] geklebt, und zwar mit um eine Radspeiche verdrehter Laufrichtung. Pressen und gut trocknen lassen.

Abschnitt B:

Wand und Boden des Hauptzylinders

Der Boden des Hauptzylinders ist das kreisrunde der beiden Bleche, das andere Blech wird der Deckel. Aus technischen Gründen kann es vorkommen, dass die Blechzuschnitte nur eine Schauseite und auf der anderen Kratzer o.ä. haben. In diesem Fall erfolgt der Zusammenbau so, dass die weniger schönen Seiten im Inneren des Hauptzylinders liegen. Die Wand des Hauptzylinders besteht aus 2 Streifen transparenter PVC-Folie, die zu einem Ring verbunden und zunächst auf den Boden geklebt werden.

Um diesem Ring beim Aufkleben auf das Blech eine perfekte runde Form zu geben, wird das Schwungrad benötigt.

Schritt 4: Entfernen Sie, falls vorhanden, die Schutzfolie von den beiden Aluminiumblechen. Entfetten und reinigen Sie mit einem Lappen und etwas Spiritus die kreisrunde Blechscheibe, den künftigen Boden des Hauptzylinders. Wenn Sie den Motor auch für den Betrieb mit Solarenergie vorbereiten wollen (s. Abschnitt O, Tuning-Tipps), können Sie die Bleche schon jetzt schwarz lackieren, und zwar auf den künftigen Außenseiten des Hauptzylinders (also den ansehnlicheren). Achten Sie darauf, dass keine Farbe in das kleine Loch gerät und lassen Sie die Farbe gut trocknen. Legen Sie das Schwungrad genau mittig auf die weniger ansehnliche Seite, die dann allseitig ca. 3 mm übersteht, und fahren Sie mit einem dünnen Bleistift oder Kugelschreiber außen entlang, so dass ein kreisförmiger Strich auf dem Blech entsteht. Rauhen Sie das Blech entlang und innerhalb dieses Striches mit dem Schleifpapier leicht auf. Das verstärkt die Haftung des Klebers, und die aufgeraute Oberfläche wird die Wärme besser an die Luft im Zylinder abgeben. Erneuern Sie dann den Strich. Er wird Ihnen helfen, den 2-Komponenten-Kleber richtig aufzubringen. Reinigen und entfetten Sie bei dieser Gelegenheit auch gleich den anderen Blechzuschnitt, den künftigen Deckel des Hauptzylinders, sowie die beiden PVC-Streifen, die spätere Wand des Hauptzylinders.

Schritt 5: Kleben Sie das Mittelteil der Hauptzylinder-Wandverbindung [B2] mittig auf die Rückseite des Außenteils [B1]. Da das Mittelteil die gleiche Höhe, aber nur ein Drittel der Breite des Außenteils hat, entsteht auf beiden Seiten eine 6 mm breite Stufe. Achten Sie darauf, dass in diese Stufe kein Kleber austritt. Kleben Sie dann darauf das andere Außenteil [B3]. Es ist jetzt ein quadratisches Verbindungsstück entstanden, das auf 2 gegenüberliegenden Seiten einen 6 mm tiefen Schlitz hat, in den die Enden der PVC-Streifen genau passen (s. Abb. 1). Verfahren Sie mit den Teilen [B4], [B5] und [B6] der anderen Wandverbindung ebenso.

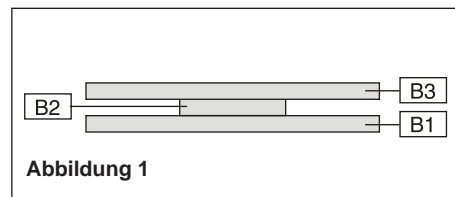


Abbildung 1

Schritt 6: Schleifen Sie die zwei transparenten PVC-Streifen der Zylinderwand an beiden Enden und auf beiden Seiten in etwa 4 mm Breite mit dem Schleifpapier leicht an. Die angeraute Oberfläche wird dem Klebstoff genügend Halt auf dem ansonsten zu glatten Kunststoff geben.

Hinweis: Bei den folgenden zwei Schritten kommt es darauf an, den Ring der Zylinderwand gerade so groß zu machen, dass das Schwungrad als provisorische Stütze knapp hinein passt.

Schritt 7: Geben Sie etwas Klebstoff in die beiden seitlichen Schlitzlöcher der einen Hauptzylinder-Wandverbindung, stecken Sie in beide je einen Zylinderwand-Streifen mit seinem angerauten Ende etwa 5 mm tief (also nicht ganz) hinein und wischen Sie ggf. überstehenden Klebstoff weg. Das quadratische Kartonstück verbindet jetzt die beiden Teile der Zylinderwand zu einem ca. 37 cm langen Gesamtstreifen. Kleben Sie dann an eines der beiden freien Enden die andere Wandverbindung, aber verbinden Sie den Streifen noch nicht zu einem Ring. Um sicher zu gehen, dass sich an den Verbindungsstellen kein Winkel bildet, sondern die beiden Einzelstreifen in einer geraden Linie fortlaufen, stoßen Sie das Ganze mit der Kante auf eine gerade Fläche auf. Fixieren Sie, falls nötig, die Klebungen bis zum Trocknen mit Büro- oder Wäscheklammern. Gut trocknen lassen.

Schritt 8: Legen Sie das Schwungrad auf Ihre Arbeitsfläche und verbinden Sie zunächst noch ohne Klebstoff die beiden Enden der Hauptzylinderwand zu einem Ring. Er sollte sich dicht um das Schwungrad schließen. Falls nötig, müssen Sie einen der PVC-Streifen etwas kürzen. Merken Sie sich, wie tief die Enden der Zylinderwand in die Schlitzlöcher des Verbindungsstückes eingeführt werden müssen, damit das Schwungrad ganz knapp darin sitzen und festgeklemmt werden kann, und kleben Sie das Ganze ohne das innen liegende Schwungrad zu einem Ring zusammen. Achten Sie wieder darauf, dass sich in der Kante der Zylinderwand weder Stufe noch Winkel befindet. Fixieren Sie die Klebstelle mit Klammern und lassen Sie sie wieder gut trocknen.

Schritt 9: Schieben Sie das Schwungrad so in den Ring der Zylinderwand, dass es darin fest verklemt. Evtl. müssen Sie es mit kleinen Kartonstückchen verkeilen. Es sollte etwas oberhalb der Mitte liegen und darf keine der beiden Kanten der Zylinderwand berühren. Das Schwungrad gibt der flexiblen Zylinderwand eine feste kreisrunde Form. Es wird erst in Schritt 15 entfernt, wenn die Zylinderwand fest mit dem Zylinderboden verklebt ist.

Schritt 10: Kleben Sie auf der weniger ansehnlichen Seite des Hauptzylinder-Deckels ein Stück Klebefilm über das kleine Loch in der Mitte und legen Sie den Blechzuschnitt mit dem Klebstreifen nach unten auf Ihre Arbeitsfläche. Runden Sie bei den beiden Messingröhrchen jeweils am einen Ende die Kante mit Schleifpapier leicht ab. Das macht es später leichter, den Silikon Schlauch darüber zu ziehen. Legen Sie das eine Röhrchen beiseite und stecken Sie das andere in das Loch des Hauptzylinder-Deckels. Es gehört zur Kolbenstangen-Führung des Verdrängerkolbens. Es wird jetzt noch nicht festgeklebt, erst nach dem nächsten Schritt.

Schritt 11: Rühren Sie eine ausreichende Menge 2-Komponenten-Kleber an und bringen Sie auf dem Boden des Hauptzylinders einen mehrere Millimeter breiten und nicht zu dünnen Strang Klebstoff auf, der beidseits des Bleistiftstrichs verläuft, also dort, wo die Zylinderwand hinkommt. Setzen Sie die Zylinderwand mit dem eingespannten Schwungrad darauf und drehen Sie sie ein paar Millimeter nach links und rechts, um sicher zu stellen, dass der Rand der Zylinderwand vollständig von Klebstoff benetzt wurde. Stellen Sie durch einen Blick aus der Nähe sicher, dass sich in dem äußeren umlaufenden Winkel zwischen Zylinderwand und Zylinderboden durchgehend Klebstoff befindet und schließen Sie evtl. noch vorhandene Lücken mit einem Klebstofftröpfchen. Um sicher zu gehen, dass die Zylinderwand überall dicht auf dem Blech aufliegt, können Sie vorsichtig ein Buch o.ä. darauf legen und sie so beschweren.

Test: Vergewissern Sie sich dann noch einmal, bevor Sie das Ganze zum Abbinden auf die Seite stellen, dass sich die Zylinderwand nicht verschoben hat und sich nach wie vor genau mittig auf dem Zylinderboden befindet bzw. dass der überstehende Rand der Blechscheibe allseitig gleich groß ist.

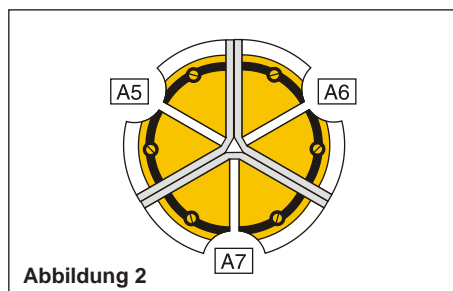
Schritt 12: Tupfen Sie mit einem Zahnstocher eine kleine Menge 2-Komponenten-Kleber in den Winkel zwischen dem Messingröhrchen der Verdrängerkolbenführung und dem Zylinderdeckel, in dem es steckt. Drehen Sie das Röhrchen vorsichtig und heben und senken Sie es dabei etwas, so dass der Klebstoff zwischen Blech und Röhrchen gut verteilt wird. Auf der Unterseite schließt das Röhrchen wegen des Klebefilms mit der Oberfläche des Zylinderdeckels ab, es steht nicht über.

Test: Prüfen Sie vor dem Abbinden des Klebers mit Hilfe des Geo-Dreiecks oder auch einer rechtwinkligen Papierecke den Winkel zwischen Röhrchen und Zylinderdeckel. Er muss auf allen Seiten 90° betragen. Die Kolbenstangen-Führung muss genau senkrecht auf dem Zylinderdeckel stehen, sonst würde später der Verdrängerkolben im Hauptzylinder nicht parallel zu Zylinderboden und -deckel laufen.

Schritt 13: Entfernen Sie nach dem Abbinden das Schwungrad aus dem Hauptzylinder und nehmen Sie noch einmal eine Sichtprüfung vor. Der Klebstoff soll innen und außen eine lückenlose Verbindung zwischen Zylinderwand und Zylinderboden bilden. Entfernen Sie auch den Tesafilm vom Deckel des Hauptzylinders und prüfen Sie von oben mit einer der 3 Kolbenstangen aus dünnem Draht, ob diese sich auch ganz frei darin bewegen kann. Stoßen Sie eventuell vorhandene Klebstoffreste mit dem Draht heraus.

Schritt 14: Jetzt hat das Schwungrad als Hilfswerkzeug ausgedient und kann fertig

gestellt werden. Lösen Sie die 3 Teile der Achsenhalterung des Schwungrades [A5], [A6] und [A7] aus dem Karton, nutzen Sie die mit kleinen Schnitten markierten Falzlinien und falzen Sie sie nach vorne. Die beiden eng beieinander liegenden angestanzten Linien sind ebenfalls Nutlinien, auch sie werden nach vorne gefalzt. Die keilförmigen Laschen der Achsenhalterungen mit dem schwarzen Strich und dem aufgedruckten Schraubchen werden später auf das Schwungrad geklebt. Von den 2 anderen Laschen mit dem doppelten Schwung wird jeweils eine auf das entsprechende Gegenstück einer anderen Achsenhalterung geklebt. So entsteht am Ende eine Art dreistrahliger Stern, an dessen unterer Kante die Klebelaschen mit dem Strich und dem Schraubchen hängen (s. Abb. 2).

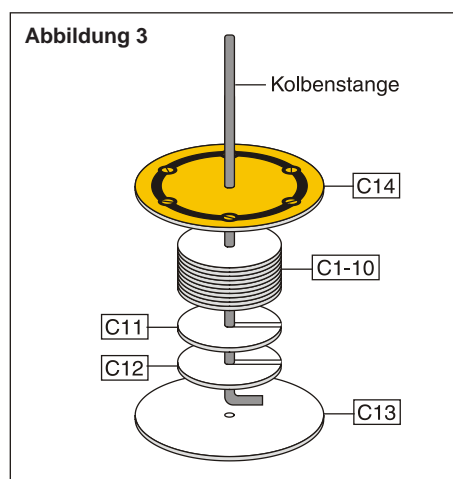


Schritt 15: Stecken Sie das lange Ende der Kurbelwelle zunächst von unten her ins Zentrum der drei Strahlen, wo die eng beieinander liegenden angestanzten Nutlinien sind, und machen Sie so den Kanal für den Draht frei. Ziehen Sie dann die Achsenhalterung wieder ab, stecken Sie die Kurbelwelle von der anderen Seite wieder hinein und bestreichen Sie die Klebelaschen mit Klebstoff. Stecken Sie dann die Kurbelwelle in das Loch im Zentrum des Schwungrades, und zwar auf der Seite, wo sich die Klebemarkierungen für die Laschen der Achsenhalterung befinden. Schieben Sie jetzt die Halterung auf der Kurbelwelle gegen das Schwungrad und kleben Sie die drei Klebelaschen-Paare auf den markierten Stellen fest. Achten Sie dabei darauf, dass das Schwungrad in einem rechten Winkel zur Kurbelwelle steht, damit es später beim Drehen nicht eiert. Ziehen Sie die Kurbelwelle nach dem Trocknen wieder heraus, das Schwungrad wird erst ganz zum Schluss am Motor befestigt.

Hinweis: Bevor der Hauptzylinder ganz zusammengeklebt werden kann, müssen erst noch in den folgenden Abschnitten der Verdrängerkolben und der Arbeitszylinder mit dem Arbeitskolben zusammengebaut werden.

Abschnitt C: Der Verdrängerkolben

Der Verdrängerkolben besteht aus der 8 mm dicken Schaumstoff-Scheibe und einer Halterung aus Karton [C1 bis C14] (s. Abb. 3), die in dem Loch in ihrer Mitte angebracht wird. In der Halterung ist die Kolbenstange aus Draht befestigt.



Schritt 16: Stoßen Sie bei den Scheiben [C1] bis [C10] mit dem Ende einer der 3 Kolbenstangen das kleine Kartonplättchen aus dem Loch heraus. Die Scheiben [C11] und [C12] haben statt des Loches einen schmalen, nur angestanzten Schlitz, der vom Zentrum zum Rand geht. Schneiden Sie den Schlitz ganz durch, entfernen Sie den Kartonspan und kleben Sie alle 12 Scheiben so aufeinander, dass die Schlitze an einem Ende übereinander liegen (s. Abb. 3). Gehen Sie gleich zum nächsten Schritt.

Schritt 17: Stecken Sie noch vor dem Trocknen des Klebers das lange Drahtende einer Kolbenstange so in den Block aus Kartonscheiben, dass der kleine Haken am Ende der Scheibe im Schlitz zu liegen kommt, und kleben Sie mittig darauf die bedruckte größere Scheibe [C13], wobei Sie dabei das kleine Loch in ihrem Zentrum ignorieren können. Stecken Sie dann zur Probe das lange Drahtende von unten in das Messingröhrchen in der Mitte des Hauptzylinder-Deckels und stellen Sie durch Drücken und Schieben des Kartonblocks sicher, dass er glatt auf dem Blech aufliegt und beim Drehen der Kolbenstange nicht eiert. So können Sie sich vergewissern, dass die Kolbenstange rechtwinklig aus dem Kartonblock ragt.

Wichtig: Das lange Drahtende muss senkrecht aus dem Block herausstehen. Die Kolbenstange muss rechtwinklig auf dem Block stehen.

Schritt 18: Schieben Sie nun wie in Abb. 3 die Scheibe [C14] über die Kolbenstange, noch ohne Klebstoff, und prüfen Sie die Gesamtdicke der Kartonhalterung, indem Sie sie neben die Schaumstoff-Scheibe stellen. Sie wird je nach Klebstoffauftrag etwas schwanken und darf nur ca. 7 bis max. 7,5 mm betragen, in jedem Fall etwas weniger als die 8 mm des Schaumstoffs. Falls nötig wird die letzte der kleinen Kartonscheiben mit dem Messer wieder entfernt. Kleben Sie dann die große Scheibe [C14] fest. Die Schaumstoff-Scheibe wird erst im nächsten Schritt nach dem Trocknen der Kartonhalterung darüber gezogen.

Schritt 19: Stecken Sie nach dem Trocknen die Kartonhalterung in das Loch der Schaumstoff-Scheibe, das dafür etwas gedehnt werden muss. Die Kolbenstange sitzt nun genau in der Mitte des Schaumstoffs.

Test: Stecken Sie die Kolbenstange des Verdrängerkolbens von unten in das Messingröhrchen im Deckel des Hauptzylinders. Halten Sie das Ganze vertikal und drehen Sie den Verdrängerkolben um seine Achse, indem Sie den Draht der Kolbenstange zwirbeln. So können Sie sofort sehen, ob die Schaumstoff-Scheibe wirklich senkrecht auf der Kolbenstange steht oder ob sie eiert. Nehmen Sie, falls nötig, Korrekturen vor. Bei dieser Gelegenheit lässt sich auch noch einmal der rechte Winkel zwischen dem Messingröhrchen und dem Hauptzylinder-Deckel überprüfen und notfalls korrigieren.

Schritt 20: Entfernen Sie den Verdrängerkolben wieder aus der Kolbenstangen-Führung und fixieren Sie die Kartonhalterung endgültig mit ein paar Klebstofftropfen, die mit einem Hölzchen zwischen den äußeren Kartonscheiben und dem Schaumstoff angebracht werden. Sicherheitshalber sollte dann noch einmal wie oben der Winkel überprüft werden – die einwandfreie Funktion des Motors wird auch davon abhängen.

Schritt 21: Stoßen Sie die kleinen Kartonreste aus den Löchern in den Teilen [D1] bis [D12], der Halterung der Kolbenstangen-Führung. Kleben Sie zunächst die große Kartonscheibe [D1] auf den Deckel des Hauptzylinders, indem Sie sie auf das Messingröhrchen aufädeln. Wenn sie wegen des 2-Komponenten-Klebstoffs zwischen dem Röhrchen und dem Deckel nicht glatt aufliegen kann, muss das Loch im Karton etwas erweitert werden. Kleben Sie dann darüber die restlichen größeren Scheiben [D2] bis [D8] und danach die etwas kleineren Teile [D9] bis [D12]. So entsteht ein massiver kleiner Block, der die Kolbenstangen-Führung stabilisiert.

Abschnitt D: Der Arbeitszylinder

Die Teile des Arbeitszylinders [E1] bis [E6] befinden sich auf dem Kartonblatt 3/4. Da für Blatt 4/4 die gleiche Stanze benutzt wird, befinden sich dort Dubletten dieser Teile, die nicht benötigt werden und deshalb mit „Reserve“ gekennzeichnet sind. Wenn Sie sie aufbewahren, können Sie damit evtl. beschädigte Originalteile ersetzen.

Der Arbeitszylinder (Abb. 4) besteht aus einem kleinen Kartonzylinder [E2, E3] auf einer Grundplatte [E1], der oben auf der Außenseite einen Randwulst [E4] trägt und über dem größeren Loch im Deckel des Hauptzylinders angebracht werden wird. Der Arbeitskolben (Abb. 5) besteht aus einem kleinen Block aus Kartonscheiben [F1 bis F10] mit einer Latexdichtung, die aus einem Finger des Latexhandschuhs gewonnen wird. Der Kolben klebt oben auf der Latexdichtung, und diese wird über den Arbeitszylinder gestreift und festgebunden und sorgt so zugleich für Dichtigkeit und Beweglichkeit. Um das Latex zu verdecken, wird nach Fertigstellung des Motors in Schritt 64 noch die Außenwand [E5 + E6] um den Arbeitszylinder herum geklebt.

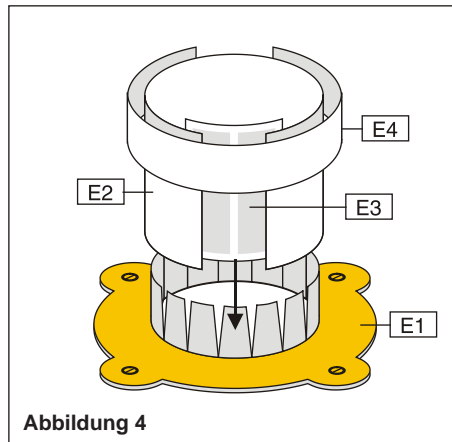


Abbildung 4

Schritt 22: Ziehen Sie die Innenwand des Arbeitszylinders [E2] über eine Kante und / oder wickeln Sie sie um einen dicken Filzstift, Holzstiel o.ä., so dass er eine gleichmäßige zylindrische Rundung bekommt. Die graue Klebemarkierung für den Randwulst liegt dabei außen. Runden Sie auch das Verbindungsstück der Innenwand [E3]. Kleben Sie dann das Verbindungsstück so hinter die beiden Enden der Innenwand, dass es verborgen im Inneren liegt und die Kanten der Zylinderwand bündig aufeinander stoßen. Biegen und drücken Sie den Kartonzylinder vorsichtig, um ihm eine gleichmäßige Rundung zu geben.

Schritt 23: Lösen Sie die kleine Scheibe aus der Grundplatte des Arbeitszylinder [E1] und falzen Sie die 14 nach innen weisenden Zahnlaschen kräftig nach vorne (evtl. die Stanzlinien noch einmal nachschneiden). Setzen Sie zur Probe die Innenwand des Zylinders so auf den Kranz von Zahnlaschen, das sich diese im Inneren des Zylinders befinden und die graue Klebemarkierung auf der Zylinder-Innenwand dabei oben liegt, nicht bei den Zahnlaschen. Kleben Sie die Zylinderwand in dieser Position mit reichlich Klebstoff auf den Zahnlaschen fest.

Wichtig: Die Zylinderwand muss spaltfrei auf der Grundplatte aufsitzen. Damit es keine luftdurchlässige Stelle zwischen Zylinderwand und Grundplatte gibt, wird nach dem Trocknen noch einmal von innen reichlich Klebstoff auf und zwischen die Zahnlaschen und den Übergang von Wand zu Grundplatte gegeben. Gut trocknen lassen und nach dem Trocknen des Klebstoffs sicherheitshalber nochmals mit Klebstoff abdichten.

Schritt 24: Geben Sie dem Randwulst [E4] wie in Schritt 22 eine gleichmäßige Rundung und kleben Sie ihn zunächst nur zur Hälfte auf die graue Klebemarkierung außen am Rand der Zylinder-Innenwand, aber nicht genau dort, wo die Kanten der Zylinderwand aneinander stoßen, denn der Wulst soll diesen Stoß überbrücken. Wickeln Sie ihn dann zur Probe ganz herum und schneiden Sie einen eventuellen Überstand so genau ab, dass beide Enden spaltfrei aneinander stoßen. Dann wird er festgeklebt. Eventuelle kleine Lücken werden mit Klebstoff, größere mit einem Span aus Karton geschlossen.

Abschnitt E: Der Arbeitskolben

Schritt 25: Schneiden Sie den Zeigefinger des Latexhandschuhs auf ca. 3,5 bis 4 cm Länge ab, gemessen ab Fingerspitze. Streifen Sie diesen Latexfinger so über die Spitze eines Bleistifts o.ä., dass sie sich genau an der obersten Stelle der Fingerspitze abdrückt. Fassen Sie den Latexfinger unterhalb der Spitze so an, dass diese wie eine kleine Knospe zwischen Ihren Fingern herausausschaut, und entfernen Sie den Bleistift. Schneiden Sie dann mit einer Schere gerade so viel von dem Latex ab, dass genau an der obersten Stelle des Fingers ein Loch von etwa 4 bis 6 mm Durchmesser entsteht.

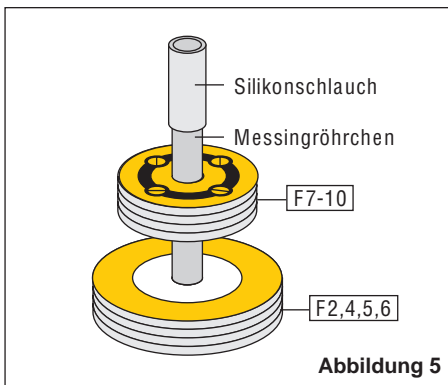
Hinweis: Aus den anderen Fingern und dem Daumen lässt sich jederzeit ein Ersatz herstellen. Bei Bedarf erhalten Sie für wenige Cent einen frischen Ersatzhandschuh in der Apotheke. Die Kartonscheiben [F1] und [F3] des Arbeitskolbens haben kein Loch. Sie werden in den nächsten Schritten von innen und außen auf die Latexdichtung geklebt, wodurch das Loch wieder verschlossen wird.

Schritt 26: Streifen Sie die Latexdichtung über das glatte, stumpfe Ende eines dicken Filzstiftes o.ä. mit ca. 17 mm Durchmesser und fixieren Sie sie dort leicht mit einem herum geschlungenen Gummiring. Ziehen und spannen Sie die Latexdichtung auf allen Seiten vorsichtig nach unten, bis ihre Spitze mit dem Loch glatt auf dem flachen Ende des Filzstiftes liegt. Kleben Sie die Kartonscheibe [F1] mittig auf die Fingerspitze. Sollte dabei das Loch nicht genau in der Spitze des Fingers gelegen haben, macht das nichts, die Scheibe deckt das Loch ja ab. Gut trocknen lassen.

Wichtig: Es ist nötig, dass die Spitze des ehemaligen Latex-Fingers genau oben liegt, weil sonst die Kartonscheibe schräg auf der Latexdichtung sitzen würde. Es darf kein Kleber außerhalb der Scheibe auf das Latex auslaufen. Er würde den Latexfilm mit einer harten Oberfläche überziehen und ihm die Flexibilität nehmen.

Schritt 27: Wegen des Loches klebt die Kartonscheibe auch auf dem Stift, lässt sich aber leicht lösen. Ziehen Sie die Latexdichtung vom Filzstift ab, wenden Sie sie und ziehen Sie sie erneut darauf, so dass jetzt die Kartonscheibe [F1] innen liegt. Kleben Sie die Scheibe [F3] deckungsgleich zur Scheibe [F1] darauf. So sind jetzt beide Scheiben nicht nur mit dem Latex, sondern auch über das Loch miteinander verbunden.

Schritt 28: Entfernen Sie die Kartonreste aus den Löchern der übrigen Kartonscheiben des Arbeitskolbens, z.B. indem Sie sie von der Rückseite her mit dem zweiten kleinen Messingröhrchen durchstoßen. Kleben Sie zunächst die größeren Scheiben [F2], [F4], [F5] und zuletzt [F6] aufeinander, dann auf diesen Block die kleineren Scheiben [F7], [F8], [F9] und zuletzt [F10], immer mit den Löchern genau übereinander. Prüfen



Sie, ob sich das Messingröhrchen auch durch den gestuften Block stecken lässt.

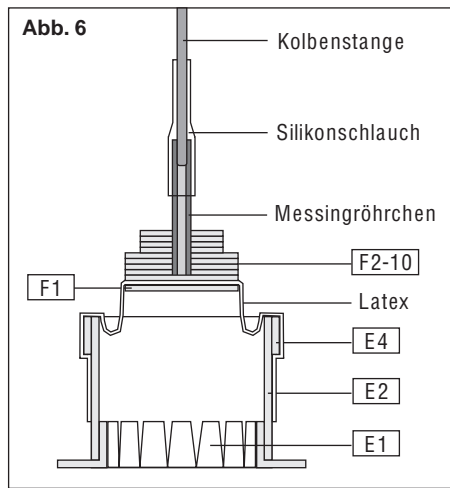
Schritt 29: Schneiden Sie ein 16 mm langes Stück vom Silikonschlauch ab und schieben Sie sein Ende etwa 5 mm weit auf das Messingröhrchen. Er wird später als Kuppelungsstück zwischen dem Arbeitskolben und der Kolbenstange dienen. Sie tun sich dabei leichter, wenn Sie eine der beiden verbliebenen Kolbenstangen als Hilfswerkzeug durch das Röhrchen stecken und den Schlauch zunächst über den Draht und dann weiter über das Röhrchen schieben. Entfernen Sie die Kolbenstange wieder und ziehen und drehen Sie den Schlauch, bis er ganz gerade auf dem Röhrchen sitzt. Reinigen Sie das Röhrchen sicherheitshalber noch einmal innen mit dem langen Drahtende der Kolbenstange. Kleben Sie es in den Kartonblock und dann den Kartonblock auf die Scheibe [F3], die auf der Latexdichtung sitzt.

Damit ist der Arbeitskolben fertig und kann auf den Arbeitszylinder montiert werden.

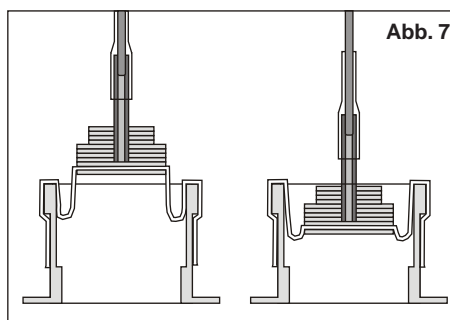
Abschnitt F:

Montage von Arbeitszylinder und Arbeitskolben

Schritt 30: Ziehen Sie die Latexdichtung des Arbeitskolbens nach dem Trocknen über den Wulst [E4] um die Öffnung des Arbeitszylinders (s. Abb. 6). Zupfen und ziehen Sie die Latexfolie von allen Seiten, bis der Arbeitskolben mit dem Messingröhrchen genau über der Mitte des Arbeitszylinders steht und senkrecht nach oben ragt. Das Kartonblöckchen des Arbeitskolbens soll dabei zwischen 6 und 8 mm oberhalb des Arbeitszylinders stehen. Wenn man es in den Arbeitszylinder drückt, sinkt es etwa um die gleichen 6 bis 8 mm hinein, der Hub beträgt dann also insgesamt z.B. $6 + 6 = 12$ mm. Er kann auch etwas mehr oder weniger betragen, nicht aber weniger als 10 mm. Wenn Sie den Arbeitszylinder waagrecht über ein liegendes cm-Maß halten und den Arbeitskolben hinein- und herausbewegen, können Sie den Hub genau überprüfen und falls nötig korrigieren.



Erster Funktionstest Arbeitskolben: Prüfen Sie sorgfältig, ob sich der Kartonblock mit dem Messingröhrchen leicht und ohne Widerstand heraus- und hereinbewegen lässt. Der Block muss in der Mitte der Latexdichtung sitzen und diese muss auf allen Seiten gleich locker sein. Es sollte sich kein unförmiger Wulst bilden, der die Bewegung des Kolbens erschwert, was sich meistens durch ein Schnappergeräusch verrät. Probieren Sie in diesem Fall, den frei beweglichen Teil der Latexdichtung zu vergrößern und den Block höher oder tiefer zu verlegen, so dass er während einer Hub-Phase mehr im Zylinder oder auch mehr oberhalb läuft, bis die gewünschte widerstandsarme Beweglichkeit des Arbeitskolbens erreicht ist. Am Ende muss der Hub aber immer noch etwas über 10 mm betragen. Falls Sie die Latexdichtung erneuern müssen, gibt es dafür ja noch Ersatz.



Schritt 31: Wickeln und verknoten Sie mehrere Lagen dünnes Nähgarn um die Latexdichtung unterhalb des Wulstes am Arbeitszylinder, um sie in dieser Lage zu fixieren und zusätzlich luftdicht zu machen. Schlagen Sie das eventuell zu weit nach unten überstehende Ende des Latex hoch. Setzen Sie dann den Arbeitskolben mittig auf das Loch im Deckel des Hauptzylinders, so wie er später festgeklebt werden soll, und markieren Sie den Umriss seiner Grundplatte, die künftige Klebefläche, mit einem Bleistift.

Abschnitt G:

Die Endmontage des Hauptzylinders

Schritt 32: Schneiden Sie ein weiteres 16 mm langes Stück Silikonschlauch ab und schieben Sie es 5 mm weit auf das Messingröhrchen der Verdrängerkolben-Führung, das aus der Mitte des Hauptzylinder-Deckels ragt. Gehen Sie dabei so vor wie oben, indem Sie von der Unterseite her eine der Kolbenstangen als Hilfswerkzeug hindurch stecken, den Schlauch von oben her zunächst auf den Draht und dann weiter auf das Röhrchen schieben und zuletzt die Kolbenstange wieder herausziehen.

Schritt 33: Stellen Sie sich ein ausreichend großes Gefäß (Tasse, Dose) auf Ihre Arbeitsfläche und legen Sie den Deckel des Hauptzylinders so darauf, dass das Messingröhrchen mit dem soeben darüber gezogenen Schlauchstück nach unten in das Gefäß ragt. Schieben Sie nun den Verdrängerkolben mit seiner Kolbenstange von oben in das Ende des Messingröhrchens. Die Kolbenstange lässt sich nur so weit hinein schieben, bis sie in dem Silikonschlauch auf der anderen Seite des Messingröhrchens stecken bleibt, der Schaumstoff-Teller des Verdrängerkolbens bleibt dadurch etwa 14 mm oberhalb des Zylinderdeckels stehen. Setzen Sie den Boden des Hauptzylinders mit der aufgeklebten Zylinderwand nach unten auf den Verdrängerkolben und drücken Sie diesen damit so weit herunter, bis der Rand der Zylinderwand den darunter liegenden Deckel des Hauptzylinders berührt.

Wichtig: Der Verdrängerkolben muss einerseits tief genug stehen, weil sonst die Zylinderwand nicht auf den Deckel geklebt werden kann, andererseits aber auch hoch genug, damit er auf keinen Fall den 2-Komponenten-Kleber berührt, der jetzt gleich zum Einsatz kommt.

Schritt 34: Drehen Sie den Zylinderboden so, dass die Karton-Verbindungsstücke der Zylinderwand in die gewünschten Richtungen zeigen, z.B. zu den Rundungen am Zylinderdeckel, und richten Sie ihn so aus, dass die Zylinderwand nach allen Seiten den gleichen, symmetrischen Abstand zu den Kanten des Zylinderdeckels hat. Vergewissern Sie sich, dass der Verdrängerkolben im Inneren nach allen Seiten etwa gleich viel Abstand zur Zylinderwand hat (ca. 3 mm) und nirgendwo seitlich anstößt. Fahren Sie mit einem Bleistift um die Zylinderwand und machen Sie eine Markierungslinie auf dem Zylinderdeckel. Heben Sie den Zylinderboden wieder vom Zylinderdeckel ab, rauhen Sie wie schon in Schritt 4 das Blech entlang und innerhalb des Bleistiftstriches an und erneuern Sie den Strich wieder.

Hinweis: Der Blechzuschnitt des Zylinderdeckels ist nicht kreisrund wie der Zylinderboden, er besteht aus einer Verschmelzung von einem Kreis und einem Rechteck. Er hat aber mit 126 x 126 mm die gleichen Außenmaße, und seine Rundungen decken sich mit denen des Zylinderbodens.

Schritt 35: Rühren Sie eine ausreichende Menge 2-Komponenten-Kleber an und bringen Sie einen gut bemessenen Strang auf dem Zylinderdeckel auf, entlang und leicht innerhalb des Bleistiftstrichs, also dort, wo die Zylinderwand den Deckel berühren wird. Achten Sie darauf, dass kein Klebstoff auf dem Verdrängerkolben kommt, er könnte sonst im Inneren festkleben und unbeweglich werden. Setzen Sie nun den Zylinderboden vorsichtig wieder auf den Deckel auf, so dass der Rand der Zylinderwand in den Klebstoff eintaucht. Drehen Sie den Boden ein wenig hin und her, damit der Klebstoff die Zylinderwand gleichförmig benetzt, und prüfen Sie, ob sich auch überall Klebstoff in dem Winkel zwischen der Zylinderwand und dem Deckel befindet. Tupfen Sie bei Bedarf mit einem Hölzchen etwas nach. Beschweren Sie, falls nötig, den Zylinderboden mit einem Buch o.ä. und lassen Sie den Kleber in Ruhe aushärten, nachdem Sie noch einmal überprüft haben, dass der Boden nicht verrutscht ist und die Zylinderwand allseitig den gleichen Abstand von den Außenkanten des Bleches hat. Die Luftdichtigkeit der Verklebungen zwischen der Wand, dem Boden und dem Deckel des Hauptzylinders ist eine wesentliche Voraussetzung dafür, dass der Motor später funktioniert. Gut aushärten lassen.

Schritt 36: Kleben Sie die Grundplatte des Arbeitskolbens über das Loch im Deckel des Hauptzylinders.

Wichtig: Verwenden Sie reichlich Klebstoff, damit die Klebung auch luftdicht wird. Die Dichtigkeit wird im folgenden Test geprüft. Es ist nicht nötig und auch nicht sinnvoll, den Arbeitskolben mit 2-Komponenten-Kleber auf dem Deckel des Hauptzylinders zu befestigen. Normaler Alleskleber bietet genügenden Halt und Dichtigkeit zwischen Karton und Aluminium und hat zugleich den Vorteil, dass der Arbeitszylinder bei Bedarf mit einem scharfen Messer auch wieder vom Blech abgesprengt werden kann.

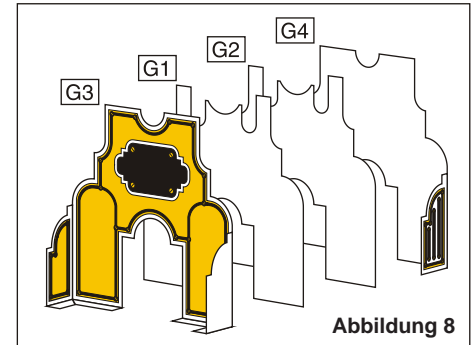
Dichtigkeitstest: Nach dem Aushärten des Klebers kann die Dichtigkeit des Systems überprüft werden. Nehmen Sie dazu Boden und Deckel des Hauptzylinders zwischen Daumen und Zeigefinger und drücken Sie die Bleche nahe der Mitte mit schnellem, kurzem Druck zusammen, wodurch sich der Druck der eingeschlossenen Luft erhöht. Da die Luft nirgendwo entweichen kann, muss sie den Arbeitskolben nach oben schieben. Wenn alles dicht ist, wird er beim Drücken auf die Bleche hochsteigen und so stehen bleiben. Erst beim Loslassen sinkt er wieder zurück. Steigt er nicht hoch oder bleibt er bei anhaltendem Druck nicht stehen, ist irgendwo eine Undichtigkeit, die beseitigt werden muss. In Frage kommen dafür alle mit Klebstoff verschlossenen Öffnungen (s. a. Abschnitt zur Fehlersuche am Ende der Bauanleitung).

Schritt 37: Ziehen Sie den Silikonschlauch vom Messingröhrchen in der Mitte des Hauptzylinders so weit ab und schieben Sie ihn auf der Kolbenstange des Verdrängerkolbens so weit hoch, dass er nur noch auf den letzten 5 mm sitzt. Später wird in sein freies Ende die andere Hälfte der Verdränger-Kolbenstange gesteckt, die mit der Kurbelwelle verbunden ist. Der Schlauch verbindet die beiden dann zur Gesamt-Kolbenstange und wirkt zugleich als bewegliches Gelenk. Der andere Schlauch auf dem Messingröhrchen des Arbeitskolbens wird nicht entfernt, er bleibt immer an dieser Stelle.

Erster praxisnaher Funktionstest: Setzen Sie den Hauptzylinder auf eine Tasse mit kochendem Wasser, warten Sie ca. 20 Sekunden, bis sich das untere Blech erhitzt hat, und bewegen Sie dann den Verdrängerkolben an seiner Kolbenstange auf und ab, so wie es später im normalen Betrieb über die Kurbelwelle geschehen wird. Wenn alles dicht ist, springt der Arbeitszylinder im gleichen Rhythmus, nur leicht zeitversetzt, auf und ab. Das ist dann auch noch einmal eine gute Gelegenheit, die Leichtgängigkeit der Verdränger-Kolbenstange und vor allem der Latexdichtung im Arbeitskolben zu überprüfen. Wenn Sie den Eindruck haben, Sie müssten diese Dichtung ersetzen, dann ist jetzt die beste Zeit dazu: Lösen Sie den Kartonblock mit dem Messingröhrchen so von der Latexdichtung ab, dass nur eine dünne Papierschicht verbleibt, schneiden Sie sich ein neues Kartonscheibchen für das Innere sowie eine neue Latexdichtung zurecht. Der Rest erfolgt genau so wie in Abschnitt E. Dieser Austausch lässt sich zwar auch später noch vornehmen, aber der Arbeitszylinder wird dann nicht mehr so gut zugänglich sein wie jetzt.

Abschnitt H: Die Ständer

Schritt 38: Kleben Sie die Mittenteile von Ständer 1 [G1] und [G2] mit den Rückseiten gegeneinander. Achten Sie dabei darauf, dass die Konturen exakt übereinander liegen. Falls nötig können Sie die Teile beim Trocknen etwas pressen, damit sie ganz plan werden.



Schritt 39: Die Falzlinien des Innenteils von Ständer 1 [G3] sind mit kleinen Schnitten markiert. Wie in der Einleitung beschrieben, wird der Falz sauberer, wenn Sie zusätzlich zu den Einschnitten mit Lineal und einem geeigneten Werkzeug eine kleine Rille in den Karton drücken (nicht schneiden!), z.B. mit einem stumpfen Messer. Falzen Sie entlang aller Nutlinien nach vorne. Bestreichen Sie dann nicht das Ständer-Innenteil [G3], sondern die eine Seite des Mittenteils [G1+G2] mit Klebstoff und kleben Sie sie auf die unbedruckte Rückseite des Ständer-Innenteils. Achten Sie wieder auf passgenauen Sitz der Konturen.

Hinweis: Der Grund dafür, den Klebstoff auf das Mittenteil und nicht auf die Rückseite des Innenteils aufzutragen, sind die Aussparungen an der Oberkante, die das Mittenteil im Vergleich zum Innen- und zum Außenteil hat. Aus ihnen ergeben sich nach dem Zusammenkleben eine halbrunde und zwei längliche taschenartige Vertiefungen für die Achslager-Scheibe der Kurbelwelle und die Steckfüße der Achslager-Fassung, in die kein Klebstoff auslaufen sollte.

Schritt 40: Nuten Sie auch die Falzlinien des Außenteils von Ständer 1 [G4] und falzen Sie die beiden Seitenstützen nach hinten. Bestreichen Sie wieder das Mittenteil mit Klebstoff und kleben Sie es passgenau auf die unbedruckte Rückseite des Ständer-Außenteils.

Schritt 41: Kleben Sie zuletzt die beiden Seitenstützen von Innen- und Außenteil so zusammen, dass sie nach dem Trocknen rechtwinklig zum Ständer stehen und die Konturen passgenau aufeinander liegen.

Schritt 42: Bauen Sie in gleicher Weise auch den Ständer 2 aus den Teilen [G5], [G6], [G7] und [G8] zusammen und schreiben Sie Ihren Namen in das Eigentümer-Feld.

Abschnitt I:

Der Bügelgriff und die Montage der Ständer

Um den Ständern beim Aufkleben gleich den richtigen Abstand zu geben, wird der Zusammenbau des Bügelgriffs vorgezogen.

Schritt 43: Kleben Sie die beiden Mit-tenteile des Bügelgriffs [H1] und [H2] mit den Rückseiten gegeneinander und dann auf jede Seite eines der Außenteile [H3] und [H4]. Achten Sie auch hier wieder auf Passgenauigkeit.

Hinweis: Die beiden Schlitzlöcher unten rechts und links sind genau 2 mm (4 Kartonschichten) breit und werden später in die entsprechenden Schlitzlöcher der Achslager-Fassungen geklebt.

Schritt 44: Stellen Sie die beiden Ständer so auf, dass sie mit den Seitenstützen zueinander zeigen, und stecken Sie provisorisch und ohne Klebstoff den Bügelgriff mit seinen Schlitzlöchern von oben in die beiden halbrunden Ausschnitte. Auf diese Weise haben die Ständer oben genau den Abstand voneinander, den sie später benötigen. Stellen Sie sie zunächst noch ohne Klebstoff auf den Deckel des Hauptzylinders. Auf der Seite, in deren Nähe der Arbeitszylinder sitzt, muss der Abstand zwischen der Blechkante und der Ständer-Außenseite genau 10 mm betragen, auf der anderen Seite 31 mm (s. Abb. 9). Der Abstand ist auf dieser Seite größer, weil sich dort später das Schwungrad drehen wird. Auf dieser Seite sollte (muss aber nicht) der Ständer stehen, auf dem sich der Name des Eigentümers befindet. Der Bügelgriff liegt dann genau mittig über dem Arbeitszylinder.

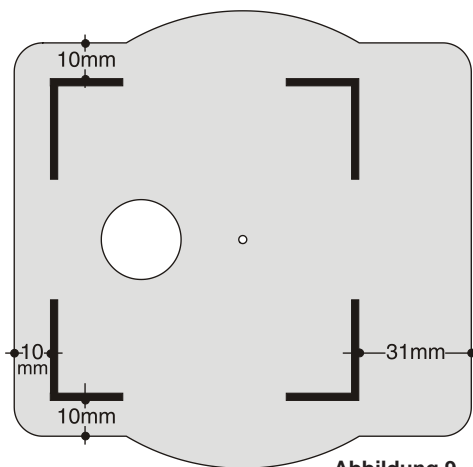


Abbildung 9

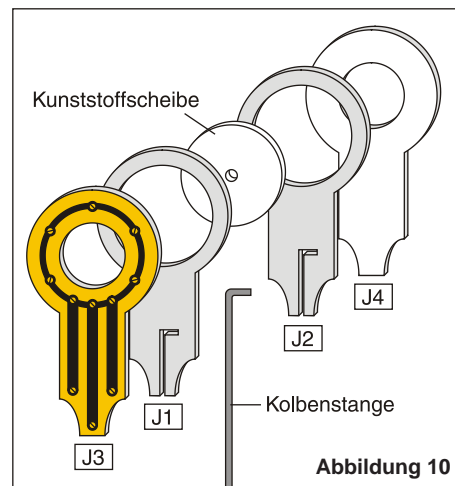
Schritt 45: Bringen Sie auf dem Blech mit Bleistift und Geodreieck Hilfslinien für das Aufkleben an, Abstände wie oben angeführt 10 bzw. 31 mm von der Kante des Aluminiumbleches. Kleben Sie die Ständer in dieser Position fest, wobei die Stützflügel zu den Seiten hin jeweils den gleichen Abstand haben. Gut trocknen lassen.

Hinweis: Auch hier genügt normaler Alleskleber für den benötigten Halt der Ständer. Sollte die Verklebung später einmal lose oder mit Absicht gelöst werden (z.B. für eine Reparatur), lässt sie sich jederzeit problemlos erneuern. Bei Bedarf lässt sich auch die Aluminium-Oberfläche an den Klebestellen mit Sandpapier etwas anrauen, um dem Kleber mehr Halt zu geben.

Abschnitt J:

Die Achslager von Arbeitskolben und Verdrängerkolben

Die Achslager für die beiden Kolben (s. Abb. 10) bestehen aus 4 Schichten Karton. In ihren beiden Mittenschichten werden je eine Achslager-Scheibe und eine Kolbenstange eingeklebt. Die sehr nahe beieinander liegenden Stanzlinien des Schlitzes, in den die Kolbenstange mit ihrem Haken eingeklebt werden soll, sind nur angestanzt und müssen noch mit einem Cuttermesser nachgeschnitten werden.



Schritt 46: Lösen Sie aus dem runden Kopf der beiden Mit-tenteile [J1] und [J2] des Arbeitskolben-Achslagers die 20 mm große Scheibe heraus und entfernen Sie den angestanzten, dünnen Kartonspan aus dem Hals. Lösen Sie aus dem Außenteil [J3] die kleine Kartonscheibe und kleben Sie auf seine unbedruckte Rückseite erst das eine Mit-tenteil und dann darauf das andere. Bestreichen Sie die runde Vertiefung, die im Kopf des Achslagers entstanden ist, mit Klebstoff und legen Sie eine der 4 Achslager-Scheiben aus Hart-PVC hinein. Legen und kleben Sie eine der 2 verbliebenen Kolbenstangen so in den schmalen Schlitz, dass der Haken am Ende des Drahtes im Haken des Kartonschlitzes liegt. Kleben Sie dann darauf das zweite Außenteil [J4].

Schritt 47: Verfahren Sie mit den Teilen des Verdrängerkolben-Achslagers [K1] bis [K4] ebenso.

Abschnitt K:

Die Achslager-Fassungen der Kurbelwelle

Die Fassungen der Kurbelwellen-Achslager haben oben einen Schlitz, der den Schlitz im Bügelgriff entspricht, in der Mitte eine halbrunde Tasche wie in den Oberkanten der Ständer und unten zwei längliche, abgerundete Steckfüße aus 2 Schichten Karton, mit denen sie später in den Ständern verankert werden. In die Tasche und auf die Steckfüße sollte kein Kleber kommen.

Schritt 48: Kleben Sie die Mit-tenteile der Achslager-Fassung [L1] und [L2] mit den Rückseiten gegeneinander. Streichen Sie dann auf die eine Seite Klebstoff, aber nur auf das grau markierte Feld, nicht auf die weißen Steckfüße, und kleben Sie darauf das Innenteil der Achslager-Fassung [L3]. Kleben Sie dann auf die andere Seite das Außenteil [L4]. Es soll dabei möglichst kein Klebstoff in die entstandene halbrunde Tasche auslaufen.

Schritt 49: Verfahren Sie mit den Teilen der anderen Achslagerfassung [L5] bis [L8] genau so.

Schritt 50: Prüfen Sie nach dem Trocknen, ob sich die Steckfüße der Fassungen auch gut in ihre Schlitzlöcher in den Ständern stecken lassen. Die Ausrichtung der Innen- und Außenseite der Achslager-Fassungen entspricht dem Design der Ständer.

Damit sind alle Kartonteile des Bausatzes bis auf die Außenwand des Arbeitszylinders verarbeitet. Der Stirling-Motor kann jetzt fertig montiert werden.

Abschnitt L:

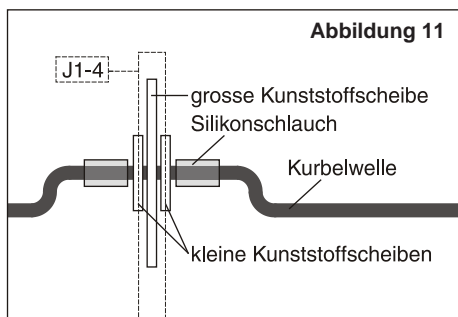
Die Montage der Kurbelwelle

Schritt 51: Schneiden Sie 8 Stückchen Silikon-schlauch von 5 mm Länge ab. Legen Sie sich außerdem noch folgende Teile zurecht: Die restlichen 2 Achslager-Scheiben, die 8 kleinen Führungsscheiben, das Arbeitskolben- und das Verdrängerkolben-Achslager mit den eingebauten Kolbenstangen sowie die Kurbelwelle. Diese hat zwei rechteckige Auskragungen von 22 mm Länge und 4 mm Breite, die um 90° gegeneinander versetzt sind, und zwei ungleich lange gerade Enden: 45 mm und 22 mm.

Prüfen Sie, ob die 1,5 mm starke Kurbelwelle durch die Löcher der 4 Achslagerscheiben passt und auch etwas Spiel in ihnen hat. Falls das Loch zu eng ist und bremst, drücken Sie die Kurbelwelle mit einem Ende kraftvoll durch das Loch und bewegen Sie sie drehend hin und her, bis es genügend geweitet ist.

Hinweis: Die Achslager-Scheiben sowie die Achslager der beiden Kolben werden alle in folgender Weise auf der Kurbelwelle montiert (s. Abb. 11): In der Mitte ist die große Achslager-Scheibe bzw. das Achslager, auf beide Seiten kommt je eine kleine Führungsscheibe und außen neben diese je ein kleines Stück Silikonschlauch. Diese Montage-Gruppe aus [Schlauch > Führungsscheibe > Achslager-Scheibe < Führungsscheibe < Schlauch] macht es möglich, den Ort eines Achslagers an jeder beliebigen Stelle der Kurbelwelle zu fixieren, weil sich die Schlauch-Stückchen zwar leicht mit dem Finger verschieben lassen, sich dann aber nicht mehr von selbst verschieben können. Die lose mitlaufenden Führungsscheiben verhindern, dass die große Achslager-Scheibe mit dem Silikonschlauch in Berührung kommt und von ihm gebremst wird.

Schritt 52: Schieben Sie eines der kleinen Schlauchstückchen über das kurze Ende der Kurbelwelle um zwei Biegungen herum bis in die erste Auskrugung hinein. Schieben Sie dann zuerst eine kleine Führungsscheibe, dann das Arbeitskolben-Achslager mit Kolbenstange, dann eine weitere Führungsscheibe und dann noch ein Schlauch-Stück auf die Kurbelwelle, immer vom gleichen Ende her (s. Abb. 11). Verschieben Sie die ganze Montage-Gruppe so lange, bis sie in der Mitte der Auskrugung sitzt und die Führungsscheiben gerade so nahe bei der Achslager-Scheibe stehen, dass sie noch gut beweglich sind.



Wichtig: Das Achslager muss gerade so viel Spiel haben, dass es sich frei und ohne Reibungswiderstand drehen kann. - Die beiden Achslager mit Kolbenstange dürfen nicht verwechselt werden. So können Sie sie leicht auseinander halten: Das Achslager des **Arbeitskolbens**, das Sie gerade eingebaut haben, ist mit Kolbenstange 76,5 mm lang und damit 7 mm länger als das des **Verdrängerkolbens** mit nur 69,5 mm, der im nächsten Schritt eingebaut wird.

Schritt 53: Bringen Sie vom langen Ende der Kurbelwelle her auf der anderen Auskrugung eine gleiche Achslager-Montagegruppe an, nur diesmal mit dem Verdrängerkolben-Achslager in der Mitte. Justieren Sie auch hier die Gruppierung so, dass das Achslager in der Mitte der Auskrugung steht und sich ungehindert bewegen kann.

Schritt 54: Bringen Sie die gleiche Montagegruppe auf beiden geraden Enden der Kurbelwelle an, nur dass jetzt die verbliebenen 2 Achslager-Scheiben in der Mitte stehen. Am kurzen Ende der Kurbelwelle sitzt das äußere Schlauch-Stück fast am Ende des Drahtes, der nur ein paar Millimeter aus ihm herauschaut. Am langen Ende der Kurbelwelle wird die Gruppierung so weit nach innen geschoben, dass die Achslager-Scheibe ca. 83 mm von der anderen Achslager-Scheibe am kurzen Ende entfernt ist.

Schritt 55: Setzen Sie nun die beiden Achslager-Scheiben in die Taschen ein, die sich oben in den Kanten der Ständer befinden. Prüfen Sie, ob sich alle Achslager-Scheiben wirklich frei drehen können und die Achslager von Arbeitskolben und Verdrängerkolben direkt über ihren jeweiligen Messingröhrchen stehen. Verschieben Sie die Montage-Gruppen, wo es nötig ist.

Schritt 56: Heben Sie die Achslager-Scheiben der Kurbelwelle noch einmal aus den Ständern. Bevor Sie sie erneut einsetzen, stecken Sie die beiden Kolbenstangen von Arbeitskolben und Verdrängerkolben in ihre jeweiligen Schläuche. Dazu kann man den Schlauch mit einer Hand anfassen und mit der anderen das Achslager leicht hin- und her drehen, so dass sich der Draht hinein schieben lässt.

Die Kolbenstange des Arbeitskolbens: Sie muss bis in das Messingröhrchen auf dem Latexstrumpf versenkt werden. Um beim Hin- und Herdrehen des Achslagers die Latexfolie des Arbeitskolbens nicht zu verzerren, halten Sie am Besten das Messingröhrchen mit einer kleinen spitzen Zange oder einer kräftigen Pinzette fest (oder mit ihren Fingerspitzen, wenn sie spitz genug sind). Achten Sie darauf, dass am Ende das Achslager nicht verkantet auf der Kurbelwelle sitzt.

Die Kolbenstange des Verdrängerkolbens: Sie kommt zunächst nur so tief in den Schlauch, dass noch etwa 5 mm Abstand zwischen ihrem Ende und dem der entgegen kommenden Kolbenstange des Verdrängerkolbens bleiben. Da der Verdrängerkolben frei drehbar ist, kann das Achslager nicht verkantet – der Kolben wird sich immer mitdrehen. Falls die Schaumstoff-Scheibe des Verdrängerkolbens aber nicht ganz parallel zu Boden und Deckel des Hauptzylinders liegt, können Sie das möglicherweise etwas ausgleichen, indem Sie den Verdrängerkolben gegenüber dem Achslager etwas verdrehen.

Schritt 57: Schieben Sie nun die Steckfüße der Achslager-Fassungen in die dafür bestimmten Schlitze in den Ständern. Dabei nehmen sie die obere Hälfte der Achslager-Scheiben in sich auf und geben ihnen so einen festen Halt. Es ergibt sich aus dem Design, welche Seite nach außen ist und welche nach innen zeigt.

Hinweis: Es ist nicht nötig, die Steckfüße in ihren Schlitzen fest zu kleben, die Reibung zwischen den Kartonflächen ist ausreichend. Es wäre auch nicht sinnvoll, denn so lässt sich der Motor wieder leicht zerlegen, falls einmal etwas nachjustiert oder repariert werden muss.

Abschnitt M: Die Montage von Bügelgriff und Schwungrad

Schritt 58: Schieben Sie den Bügelgriff mit seinen Schlitzen zunächst probeweise vollständig auf die Schlitze in den Achslager-Fassungen. Kleben Sie ihn dann in den Schlitzen fest.

Schritt 59: Geben Sie etwas Klebstoff auf das Loch in der dreistrahligen Achsenhalterung des Schwungrades und stecken Sie das Schwungrad mit der Achsenhalterung voran auf das freie Ende der Kurbelwelle.

Hinweis: Die Klebung zwischen dem dünnen Federstahl-Draht der Kurbelwelle und dem Karton ist nicht sehr fest, die Reibung zwischen ihnen reicht aber völlig für die Bedürfnisse des Motors aus. Das Schwungrad kann auf diese Weise bei Bedarf auch wieder leicht von der Kurbelwelle abgezogen werden.

Abschnitt N: Die Feinjustierung und der erste Probelauf

Haben Sie Geduld! Wie bei jedem Motor ist auch bei diesem Stirling-Motor die Feinabstimmung das A und O für einen problemlosen Lauf. Seien Sie nicht enttäuscht, wenn es nicht gleich beim ersten Versuch klappt. Robert Stirling hat Jahre gebraucht, bis er seinen ersten Motor vorführen konnte!

Schritt 60: Drehen Sie die Kurbelwelle langsam mit Hilfe des Schwungrades. Der Hub beträgt bei beiden Auskrugungen der Kurbelwelle 8 mm während einer ganzen Umdrehung (4 mm nach oben, 4 mm nach unten). Prüfen Sie, ob die Länge der Kolbenstange des Arbeitskolbens stimmt und verändern Sie sie, falls nötig, indem Sie wieder das Messingröhrchen mit der spitzen Zange festhalten und das Achslager hin und her drehen. Der Arbeitskolben muss das ganze Auf und Ab der Kurbelwelle locker mitmachen, ohne dass sich die Latexdichtung in der unteren oder oberen Position dabei verspannt – sie würde die Bewegung der Kurbelwelle sonst bremsen. Das Latex darf aber auch keinen Wulst bilden, der sich der Bewegung entgegen stellt und schnappt, wenn sich der Arbeitskolben an ihm vorbei bewegt.

Wichtig: Lassen Sie sich ausreichend Zeit, um die optimale Lage des Arbeitskolbens herauszufinden, d.h. seine Höhe oder Tiefe im oder über dem Arbeitszylinder, die den geringsten Widerstand verursacht. Falls nötig, müssen Sie auch noch einmal die Latexdichtung zurechtzupfen und ihr freies Spiel vergrößern oder verringern. Vergewissern Sie sich zum Schluss, dass sich das Achslager auf der Kurbelwelle nicht verdreht hat.

Schritt 61: Auch beim Verdrängerkolben beträgt der Hub 4 mm nach oben und 4 mm nach unten. Die Schaumstoff-Scheibe des Verdrängerkolbens selber hat eine Höhe von 8 mm, damit beträgt ihr Bewegungsspielraum insgesamt 16 mm (8 + 4 + 4), das sind 2 mm weniger als die lichte Höhe des Hauptzylinders. Der Abstand der beiden Kolbenstangen-Enden im Silikonschlauch muss deshalb so eingestellt werden, dass der Verdrängerkolben während einer vollen Umdrehung der Kurbelwelle weder am Deckel noch am Boden des Hauptzylinders aufschlägt. Im Idealfall sollte die Schaumstoffscheibe in ihrer Höchst- oder Tiefstellung mit ihrem Rand das Aluminiumblech nicht berühren. Auf keinen Fall aber darf die Kartonhalterung im Zentrum des Verdrängerkolbens den Boden oder den Deckel des Hauptzylinders berühren, das würde zu einer massiven Abbremsung führen.

Test: Drehen Sie das Schwungrad sehr vorsichtig und feinfühlig. So können Sie spüren, ob der Verdrängerkolben bei seiner höchsten oder tiefsten Position noch einen Widerstand produziert. Prüfen Sie außerdem, ob sich der Verdrängerkolben bei Höchst- und Tiefstellung etwas verdreht und mitschwingt, wenn Sie sein Achslager hin und her bewegen. Das ist dann ein gutes Zeichen, dass er in diesen Positionen immer noch einen ganz kleinen Abstand zum Aluminiumblech hat. Achten Sie auch darauf, dass das Stückchen Silikonschlauch nicht zu tief sitzt. Es darf das Messingröhrchen nicht berühren.

Schritt 62: Bringen Sie mit einem Zahnstocher in den Spalt zwischen der Kolbenstange des Verdrängerkolbens und dem Messingröhrchen einen kleinen Tropfen Öl, um ihn auf diese Weise völlig luftdicht zu machen. Auch überall da, wo eine Achslager-Scheibe mit der Kurbelwelle oder der benachbarten Führungsscheibe Kontakt hat, kann man etwas Öl hingeben, um die Reibung zu reduzieren.

Letzte Kontrolle vor dem Start: Prüfen Sie noch einmal, ob sich die beiden Achslager auch genau über dem Arbeits- bzw. dem Verdrängerkolben befinden, ob sie auch nicht verkantet sind, ob sich die Kurbelwelle in ihren beiden Achslager-Scheiben ein paar Bruchteile von Millimetern hin- und her bewegen lässt und nicht etwa von ihnen gebremst wird usw.

Wichtig: Kinder sollten den Stirling-Motor nicht ohne Aufsicht in Betrieb nehmen. Auch wenn die Menge einer Kaffeetasse nicht sehr groß ist, sie genügt, um sich sehr unangenehme Verbrühungen zuzuziehen.

Schritt 63: Füllen Sie eine große Tasse mit kochendem Wasser und setzen Sie den Motor darauf. Warten Sie etwa eine halbe Minute, bis sich der Boden des Hauptzylinders gut erwärmt hat, und werfen Sie das Schwungrad sanft an. Sie werden merken, dass es sich nur nach links leicht drehen lässt, nach rechts bremsst es bald ab. Wenn alles richtig eingestellt ist, beginnt der Motor sich immer rascher zu drehen, bis er die optimale Geschwindigkeit für die momentane Temperaturdifferenz zwischen dem Boden und dem Deckel des Hauptzylinders erreicht hat. Er wird dann wieder langsamer, aber nur unmerklich.

Wenn der Motor läuft: Herzlichen Glückwunsch! Wenn die Einstellung auf Anhebelungen ist, sollte der Motor etwa 20 Minuten lang laufen. Wenn Sie zufrieden sind, nehmen Sie sich den letzten Schritt 64 vor und bringen Sie die Außenwand des Arbeitszylinders an. Vielleicht wollen Sie den Motor aber auch durch weitere Feinabstimmungen noch „tunen“ und damit seine Kaffeetassen-Laufzeit verlängern - es wurden immerhin schon Zeiten von über einer Stunde erreicht! Dann sollten Sie mit Schritt 64 noch etwas warten und alle Möglichkeiten probieren, wie sie in den vorangehenden Schritten und den nachstehenden Tipps genannt sind.

Schritt 64: Runden Sie die Außenwand des Arbeitszylinders [E5] und das Verbindungsstück [E6] durch Ziehen über eine Kante oder Rollen um einen Filzstift o.ä. und kleben Sie das Verbindungsstück knapp zur Hälfte auf das eine Ende der Außenwand, aber gerade nur so viel, dass die graue Klebemarkierung verdeckt ist. Legen Sie es dann um den Arbeitszylinder und kleben Sie das Verbindungsstück so auf der anderen Seite fest, dass sich die Zylinder-Außenwand noch leicht hochheben und so bei Bedarf problemlos wieder entfernen lässt. Sie wird also nicht am Arbeitszylinder festgeklebt, sie soll nur die Latexdichtung mit ihrer Verschnürung abdecken. Runden Sie auch das Verzierungsstück [E7] und kleben Sie es als symmetrisches Gegenstück zu [E6] auf die gegenüberliegende Seite der Zylinderwand.

Abschnitt O: Tuning-Tipps: Laufzeit-Verlängerung und alternative Energiequellen

Hier sind ein paar Tipps, wie Sie die Laufzeit des Stirling-Motors verlängern können, wenn Sie die Feinabstimmung schon bis zum Optimum gesteigert haben, und wie Sie auch Sonnenenergie als Energiequelle nutzen können:

- Nehmen Sie eine größere Tasse und wärmen Sie sie vor.
- Stellen Sie den Motor auf eine Isolierkanne mit viel Inhalt und einer ausreichend großen Öffnung.
- Stellen Sie den Motor über ein Teelicht. Aber Vorsicht: Nicht überhitzen! Der 2K-Kleber würde dann weich werden! Am Besten legen Sie etwas dazwischen (Blech, Kachel).
- Nehmen Sie zwei kleine Blechhüllen von Teelichtern, füllen Sie sie mit Eiswürfeln und stellen Sie sie auf den Deckel des Hauptzylinders zwischen die Ständer. Das erhöht die Temperaturdifferenz zwischen den beiden Blechen, was wiederum die Laufzeit verlängert.
- Setzen Sie den Motor auf eine Kältequelle, z.B. einen Kühlakku, einen dicken Eisklotz oder eine Kältekompressen aus dem Tiefkühlfach. Das Schwungrad muss sich dann in die andere Richtung drehen, weil jetzt die Temperaturdifferenz der beiden Aluminium-Platten in umgekehrter Richtung ausgeglichen wird.
- Wenn die Bleche auf der Außenseite schwarz bemalt sind (s. Schritt 4), nehmen sie die Wärme leichter auf und geben sie auch leichter wieder ab.
- Die schwarze Bemalung ermöglicht auch den Betrieb mit Solarenergie: Lenken Sie das Sonnenlicht mit Hilfe eines Spiegels auf die Unterseite. Voraussetzung für ein Gelingen ist starke Sonnenstrahlung, z.B. im Hochsommer und/oder um die Mittagszeit, und eine Abschattung der Oberseite, die so kühl wie möglich bleiben muss.
- Wuchten Sie das Schwungrad aus, indem Sie entweder Büroklammern auf einer Seite anbringen oder die zusammengeklebten Kartonabfälle der Zwischenräume in zwei bis drei nebeneinander liegende Leerfelder drücken. Verdrehen Sie dann das Schwungrad auf der Kurbelwelle, bis der Motor am ruhigsten läuft.

Für längeren Betrieb: Stellen Sie den Stirling-Motor auf eine leere Konservendose, die mit der Öffnung nach unten über einer kleinen Kerze steht. In die Wand der Konservendose müssen vorher oben und unten Be- und Entlüftungsöffnungen angebracht werden. Der Motor wird so lange laufen, wie er genug Wärme bekommt.

Wenn der Motor nicht oder nur ganz kurz läuft:

Nehmen Sie sich Zeit und überprüfen Sie in aller Ruhe und der Reihe nach die möglichen Fehlerquellen. Es kommen eigentlich nur zwei Arten von Ursachen in Frage, die jede für sich oder auch beide zusammen verantwortlich sein können:

Die eine Ursache: Undichtigkeit

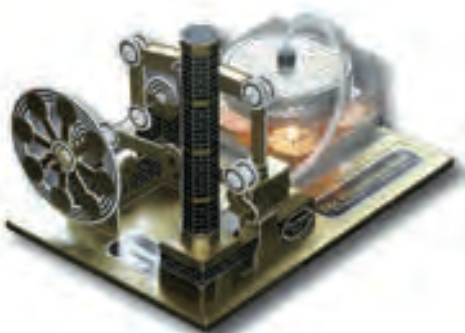
- Gibt es irgendwo an den **Klebenähten des Hauptzylinders** eine undichte Stelle? In der Regel sieht man, notfalls mit Hilfe einer Lupe, ob es im Klebstoff zwischen der Zylinderwand und dem Deckel bzw. dem Boden eine Lücke gibt. Wenn man die Bleche aufeinander drückt und mit dem Mund an den Klebenähten entlang fährt, verraten sich undichte Stellen durch einen an den sehr empfindlichen Lippen gut spürbaren Lufthauch. **Wenn ja:** Mit Klebstoff, evtl. auch 2-Komponenten-Kleber abdichten.
- Ist die Kante zwischen dem **Arbeitszylinder und der Grundplatte** aus Karton undicht? Ein stecknadelgroßes Loch wäre schon zu viel! Da hier die Verbindung auf der Innenseite über einen Kranz von zahnförmigen Klebelaschen erfolgt, könnte es zwischen zwei solcher Zähne noch eine Lücke geben, die vorher im Abschnitt D nicht richtig mit Klebstoff verschlossen wurde. **Wenn ja:** Mit Klebstoff von außen die Kante auffüllen und so abdichten.
- Ist die Klebung zwischen der **Arbeitszylinder-Grundplatte und dem Aluminiumblech** undicht? Das ist zwar sehr unwahrscheinlich, aber nicht undenkbar. **Wenn ja:** Entweder die Außenkante mit Klebstoff abdichten (sieht aber nicht so schön aus) oder den Arbeitszylinder vorsichtig mit einem Messer vom Aluminium lösen (evtl. davor auch die Ständer, um besseren Zugriff zu haben) und neu verkleben.
- Gibt es eine Undichtigkeit zwischen dem **Arbeitszylinder und der Latexdichtung**? **Wenn ja:** Die Verschnürung der Latexdichtung erneuern und verstärken und dabei auch darauf achten, dass keine Luft entlang der Kartonnaht in der Zylinderwand entweichen kann.
- Fehlt vielleicht noch das **Öltröpfchen**, das den Spalt zwischen der **Verdränger-Kolbenstange** und dem **Messingröhrchen** der Kolbenstangen-Führung abgedichtet? **Wenn ja:** Nachholen.
- **Wenn alles nicht hilft und sich immer noch irgendwo eine Undichtigkeit versteckt:** Entfernen Sie die Ständer, schieben Sie den Silikonschlauch der Verdränger-Kolbenstange nach unten, bis er über das Messingröhrchen rutscht und dieses dadurch luftdicht abgeschlossen wird, und ziehen Sie den Arbeitskolben mit seiner Latexdichtung ganz nach oben. Führen Sie dann zunächst noch einmal die Prüfung mit den Lippen durch. Wenn auch das nichts bringt, bestreichen Sie mit einem kleinen Pinsel die in Frage kommenden Stellen mit Seifenwasser und bewegen Sie den Arbeitskolben auf und ab, bis sich die undichte Stelle durch Bläschen verrät. Wenn Sie den Karton dann rasch wieder abtrocknen, nimmt er keinen Schaden.

Die andere Ursache: Reibungswiderstand

- Muss der **Arbeitskolben** zu viel Widerstand überwinden, wenn er sich auf und ab bewegt? **Wenn ja:** Schieben Sie die Latexdichtung nach oben oder nach unten und probieren Sie, wo der Arbeitskolben am leichtesten läuft, tiefer im Zylinder drin oder höher über ihm, mit mehr oder mit weniger frei beweglichem Latex. Notfalls die Latexdichtung erneuern.
- Befinden sich auf dem frei beweglichen Teil der **Latexdichtung** möglicherweise Klebstoffreste, die das Latex verhärtet haben? **Wenn ja:** Latexdichtung erneuern.
- Steckt der Draht der **Arbeits-Kolbenstange** zu tief oder zu wenig tief im Arbeitskolben, so dass er sich nicht frei auf und ab bewegen kann? **Wenn ja:** Korrigieren wie in Schritt 60 beschrieben.
- Steht das **Achslager des Arbeitskolbens** verkantet auf der Kurbelwelle? **Wenn ja:** Den Draht der Kolbenstange im Messingröhrchen des Arbeitskolbens entsprechend verdrehen.
- Klebt oder klemmt der **Verdrängerkolben** im Hauptzylinder? **Wenn ja:** Da hilft nur Eines: Entfernen Sie den Arbeitskolben, falls nötig auch den ganzen Arbeitszylinder, und versuchen Sie, durch die Öffnung im Blech den Verdrängerkolben frei zu bekommen.
- Sind die Achslager mit den Kolbenstangen möglicherweise vertauscht? Zur Erinnerung: Das längere Teil sitzt über dem Arbeitskolben. **Wenn ja:** Vertauschung rückgängig machen.
- Sitzt der **Silikonschlauch** zu tief auf der **Kolbenstange des Verdrängerkolbens**, so dass er am Messingröhrchen anschlägt? **Wenn ja:** Korrigieren.
- Ist die **Gesamtlänge** der durch den Silikonschlauch verbundenen Drähte der **Verdränger-Kolbenstange** zu kurz (Kolben schlägt oben an) oder zu lang (Kolben schlägt unten an)? **Wenn ja:** Korrigieren Sie die Länge wie in Schritt 61 beschrieben.
- Gibt es bei einer oder mehreren der vier **Achslager-Scheiben auf der Kurbelwelle** zu viel Reibung? **Wenn ja:** Verschieben Sie die kleinen Silikonschlauch-Stücke, bis alle Lager ausreichend Spiel haben. Alle Lager der Kurbelwelle sollten geölt sein.
- Stehen die beiden **Achslager mit den Kolbenstangen** vielleicht nicht genau über dem Arbeitszylinder bzw. dem Hauptzylinder? **Wenn ja:** Die Schlauchstückchen entsprechend verschieben.

Weitere Bastel- und Einstellungstipps, bebilderte Bauanleitungen, oder Bauanleitungen in anderen Sprachen finden Sie im Internet unter www.astromedia.de

Technik und Astronomie entdecken mit Bausätzen von AstroMedia ✨



Die Dampfmaschine



Das Kopernikus-Planetarium



Das Newton-Spiegelteleskop