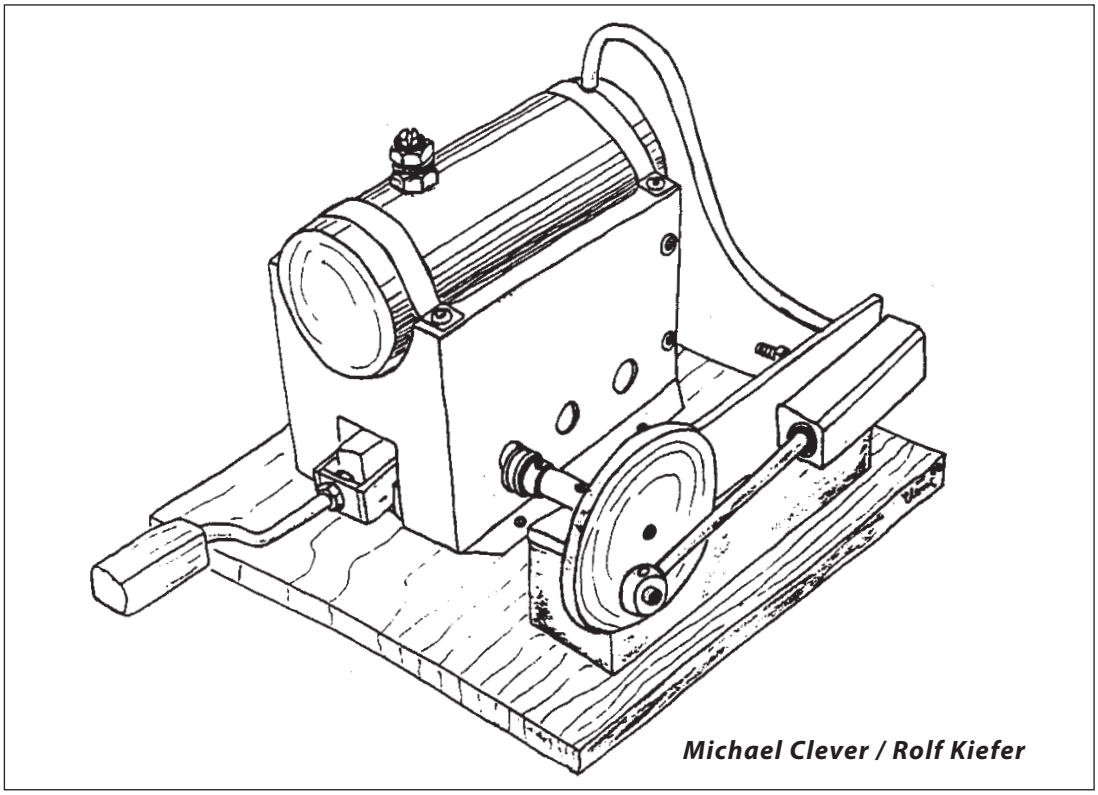
matches 21
HOME & HOBBY

M o d e l l -
d a m p f m a s c h i n e



Michael Clever / Rolf Kiefer

Technische Daten

Kessel:		**Maschine:**	
Kesselvolumen:	**110 cm^3**	**Bohrung:**	**8 mm**
Betriebsdruck:	**1,5 bar**	**Hub:**	**24 mm**
Prüfdruck:	**4,5 bar**	**Leerlaufdrehzahl:**	**ca. 800 U/min**
Wasserfüllmenge:	**50 - 60 ml**	**Baujahr:**	**.....**

Hinweis

Bei diesen Werkpackungen handelt es sich nach Fertigstellung nicht um Artikel mit Spielzeugcharakter allgemein handelsüblicher Art, sondern um Lehr- und Lernmittel als Unterstützung der pädagogischen Arbeit. Dieser Bausatz darf von Kindern und Jugendlichen nur unter Anleitung und Aufsicht von sachkundigen Erwachsenen gebaut und betrieben werden. Für Kinder unter 36 Monaten nicht geeignet. Erstickungsgefahr!

I N H A L T S V E R Z E I C H N I S **Seite**

Physikalische Grundlagen der Dampfkraftmaschine 6

Die Funktionsweise der oszillierenden Dampfmaschine 7

Werkzeug- und Geräteübersicht 9

Sicherheitsbestimmungen für den Bau und den Betrieb von Dampfkesseln 10

Konstruktion zur Fertigung des Dampfmaschinenmodells 10
Hinweise zur Fertigung des Dampferzeugers 11
- Feuerungspfanne 12
- Kesselhaus 13
- Dampfkessel 14
- Sicherheitsventil 15

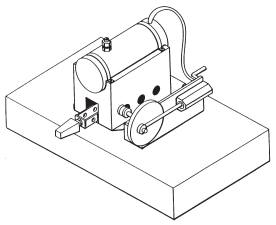
Hinweise zur Fertigung des Dampfumwandlers 16
- Konstruktionszeichnungen 17
- Stückliste und Arbeitshinweise 18
- Dampfumwandler 19
- Zylinder 20
- Festlegung der Dampflöcher 21

Inbetriebnahme und Wartung 21

Praxistipps und Sicherheitshinweise 23

matches21 GmbH - matches21.de

MATERIALSATZ - DAMPFMASCHINE
==========



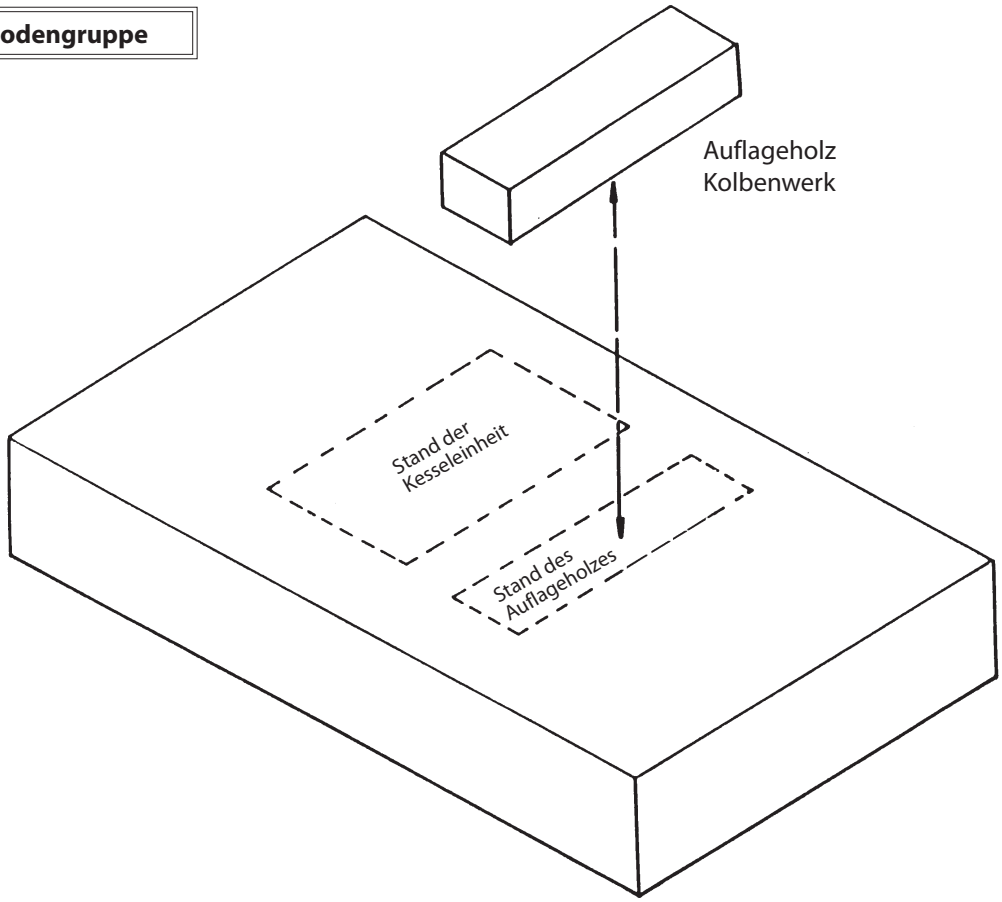
1 Einzelmaterialsatz enthält Materialien und Bauteile zur Anfertigung eines Dampfmaschinenmodells.

(Trockenbrennstoff und Silberhartlot werden gesondert angeboten.)

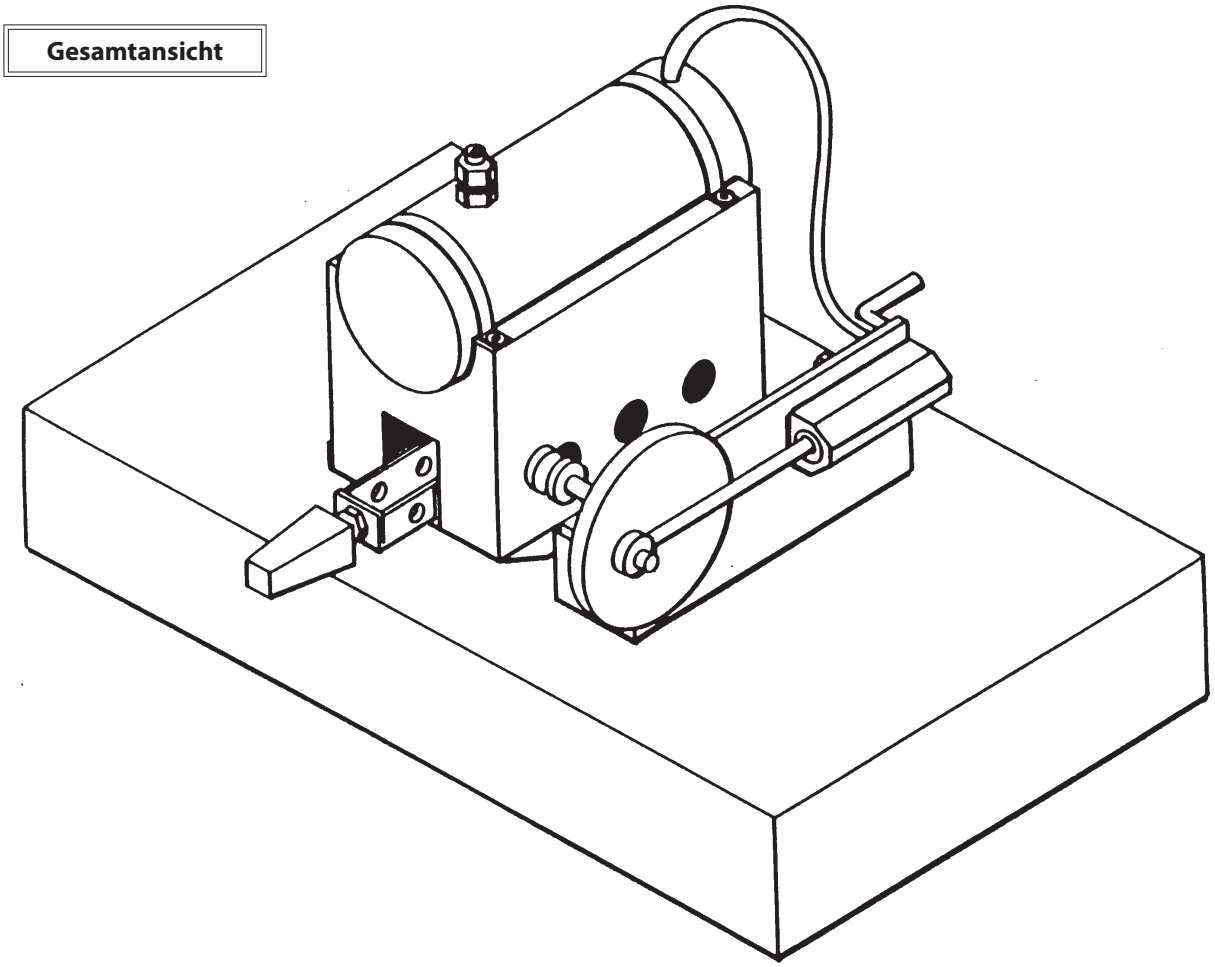
Pos.	Stück	Benennung	Maße	Verwendung
1	1	Aluminium U-Profil	16,5 x 95	FEUERUNGSPFANNE I
2	1	Aluminium U-Profil	19,5 x 95	Führungsschiene
3	2	Blechschrauben verz.	2,9 x 13	Sch.befestigung
4	4	U-Scheiben verzinkt	3,2	Sch.befestigung
5	1	Sechskantmutter	M4	Griffbefestigung
6	1	Zylinderschraube	M4 x 25	Griffbefestigung
7	2	Blechabschnitt Ms 63	0,4 x 165 x 75	K.HAUS + LASCHEN II
8	8	Blindnieten Kupfer	3 x 4	Kesselhaus + Laschenbefestigung
9	5	Blechschrauben	2,2 x 6,5	K.hausbefestigung
10	1	Rundrohr Ms 63	40 x 1 x 100	Kessel
11	2	Verschl.kappen Ms 58	40 x 3	Kessel
12	1	6-kantmutter Ms 63	M6	Kesselöffnung
13	1	6-kantschraube Ms	M6 x 10	FEDERNVENTIL III
14	1	Zylinderkopfschaftschr., rostfrei	M3 x 30	"
15	1	Mutter	M3	"
16	1	Druckfeder Nirosta	0,4 x 4 x 17,5 x 8,5	"
17	1	O-Gummidichtung	3 x 1	"
18	1	Hartpapierdichtung	10 x 5,8 x 1	"
19	1	Winkel Ms	100 x 20 x 20 x 2	M.LAGER IV
20	4	Senkkopfschrauben Ms	3 x 20	Lagerbefestigung
21	1	Zylinder Ms	40 x 15 x 15	D.WANDLER V
22	1	Kolben Ms	8 x 12	"
23	1	Druckfeder Nirosta	0,4 x 4x 17,5x 8,5	Zylinderlager
24	1	Mutter	M3	"
25	1	Gewindestift St	M3 x 20	"
26	1	U-Scheibe Ms	3,2	"
27	1	Rundstange Ms	4 x 68	Kolbenstange
28	1	Scheibe Ms	50 x 4	SCHWUNGRAD VI
29	1	Zylinderstift St	4 x 10	Exzenterachse
30	1	Stellring Ms		Pleuellager
31	1	Rohrabschnitt Ms	6 x 1 x 20	Lagerrohr
32	1	Zylinderstift St	4 x 36	Schw.radwelle
33	2	U-Scheiben Ms	4,3	Schw.radlager
34	1	Schnurrolle Ms		Antriebsrad
35	1	Kupferrohr Cu	4 x 1 x 160	DAMPFROHR VII
36	1	Holzplatte	140 x 140 x 10	GRUNDPLATTE VIII
37	1	Hartholzklotz	100 x 20 x 25	M.untersatz
38	1	Rundholz	8 x 50	Pf.griff

matches21 GmbH - matches21.de

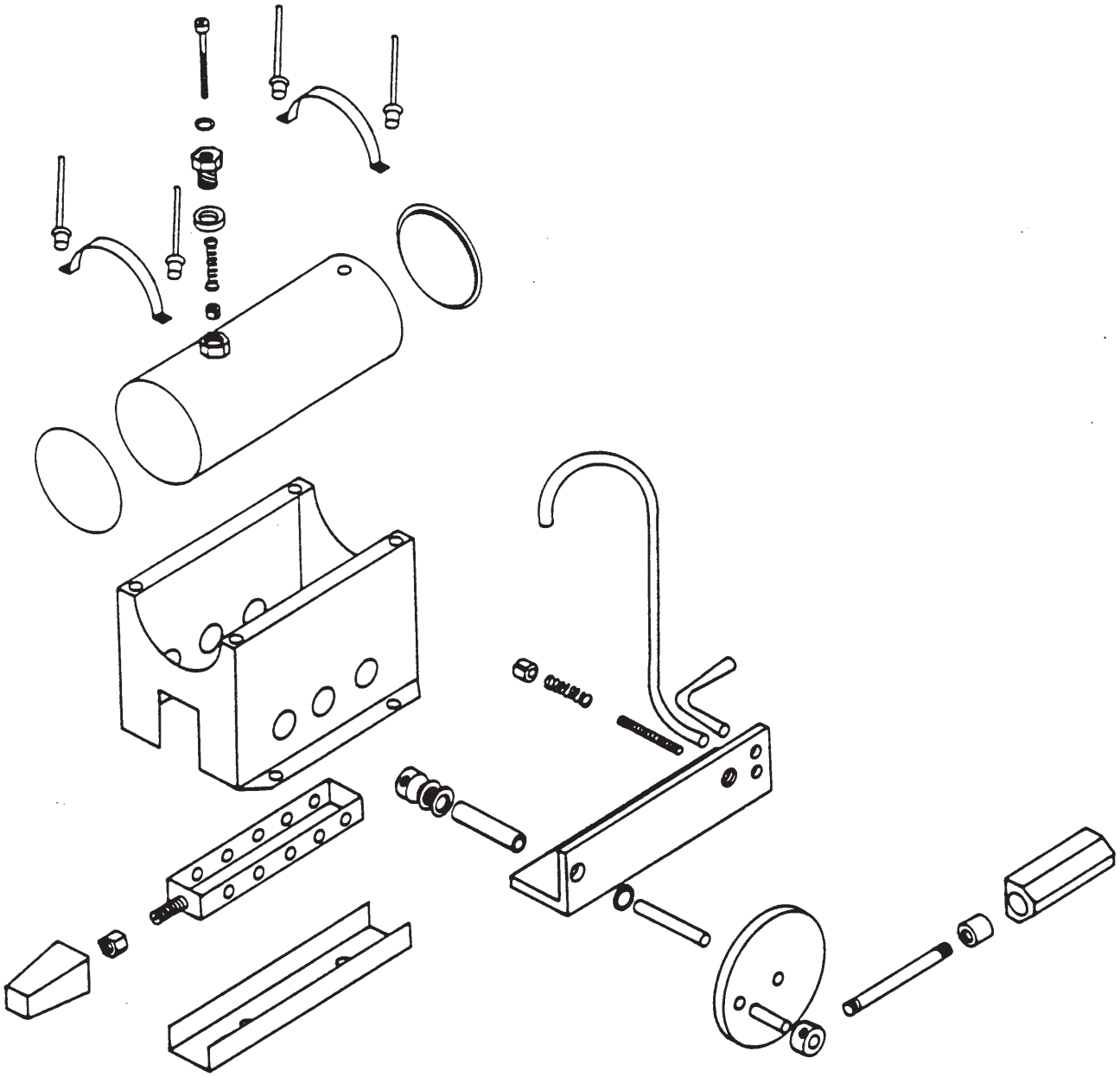
Bodengruppe



Gesamtansicht



Einzelteile



Physikalische Grundlagen der Dampfkraftmaschinen

Allgemeines:

Dampfkraftmaschinen gehören zu den Energiewandlern, die chemische Energie in Wärme und diese wiederum in mechanische Energie umwandeln.
Die Wärmeerzeugung erfolgte dabei meist durch Verbrennung fester Brennstoffe, vorwiegend Steinkohle.
Man zählt die Dampfmaschine zu den Wärmekraftmaschinen mit äußerer Verbrennung, da der Brennstoff außerhalb des Maschinenteils verbrannt wird. (Im Gegensatz zu den Verbrennungsmotoren, bei denen die Verbrennung innerhalb des Arbeitszylinders erfolgt.)
Charakteristisch für Wärmekraftmaschinen mit äußerer Verbrennung ist der Einsatz eines Arbeitsmediums (Wasserdampf), welches die Übertragung der erzeugten Wärme übernimmt.
Die Gewinnung mechanischer Energie erfolgt dabei in 2 Stufen:

1. Im Dampfkessel wird die zugeführte Wärme in Ausdehnungsarbeit des Dampfes umgewandelt.
2. Im Maschinenteil wird durch Abbau des Dampfdrucks die Ausdehnungsarbeit in mechanische Bewegungsarbeit umgeformt.

Verdampfen und Kondensieren:

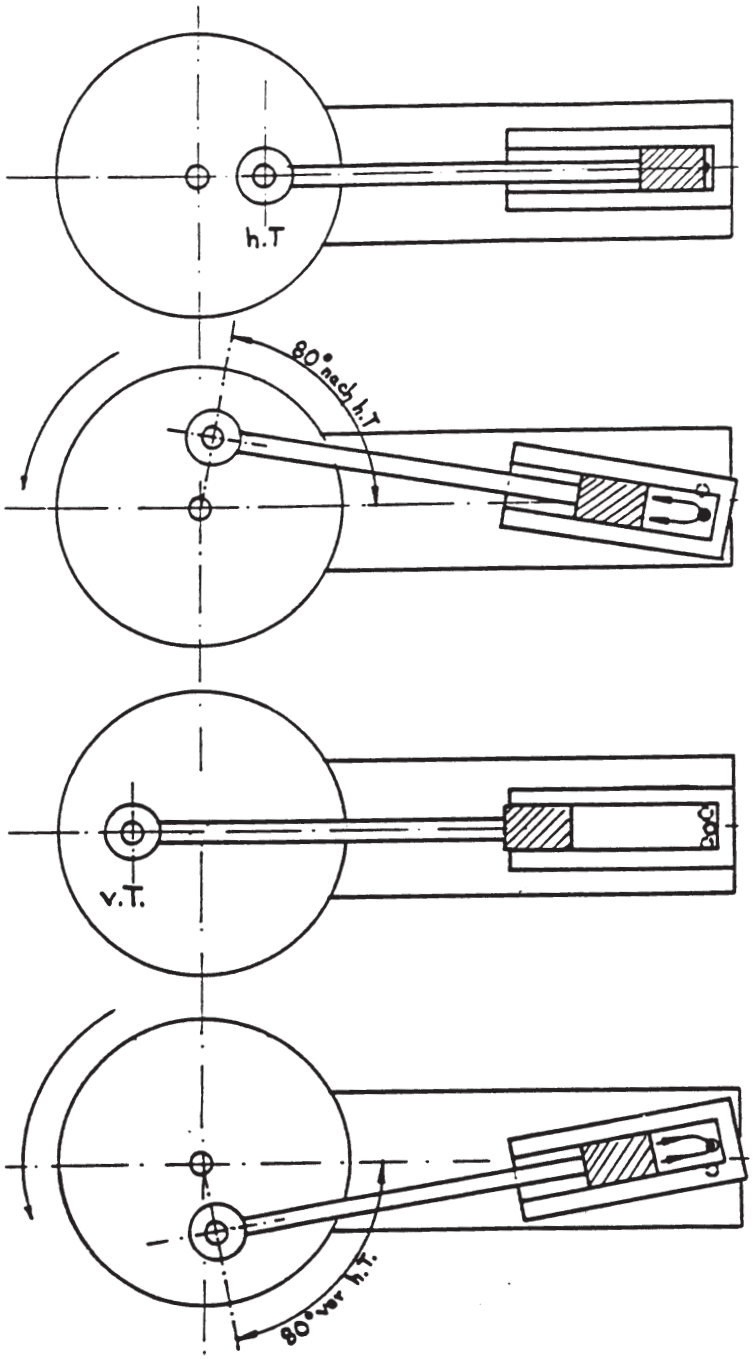
Den Übergang einer Flüssigkeit in den gas- oder dampfförmigen Zustand bei einer bestimmten Siedetemperatur nennt man Verdampfen.
Der Vorgang selbst erfordert eine artspezifische Energiemenge, die sogenannte Verdampfungswärme. Während zur Erwärmung von 1 g Wasser um 1 Grad nur 4,2 Joule notwendig sind, erfordert das Verdampfen von 1 g Wasser 2257 Joule (bei 100 Grad C und 1013 hPa).
Dieser zusätzliche Energiebedarf erklärt sich aus der enormen Volumenzunahme des Wasserdampfs gegenüber der Flüssigkeit vorher (1673-fache Volumenvergrößerung bezogen auf Normaldruck).
Steht dem erzeugten Dampf dieser Raum nicht zur Verfügung, so baut sich durch die erzwungene Verdichtung ein Druck auf, wodurch in einem Zylinder ein Kolben bewegt und Arbeit verrichtet werden kann.
Als Druck p bezeichnet man allgemein eine Kraft F, die auf eine Fläche A wirkt.
Bei Druckerhöhung verändert sich jedoch die Siedetemperatur einer Flüssigkeit. Bei 2 bar z. B. liegt die Siedetemperatur des Wassers bei ca. 120 Grad C.
Beim Dampfdrucktopf nützt man diese Erscheinung aus, um höhere Temperaturen zum Garen von Lebensmitteln zu erhalten.
Den Umkehrvorgang zum Verdampfen nennt man Kondensation. Dabei wird die gleiche Energiemenge als Kondensationswärme wieder frei, die zum Verdampfen der Flüssigkeit notwendig war. Wasserdampf kondensiert z. B. in der kühleren Luft oder an kälteren Gegenständen zu sichtbaren Wassertröpfchen, während "gasförmiger" Wasserdampf unsichtbar ist.

Die Funktionsweise der oszillierenden Dampfmaschine

Die oszillierende Dampfmaschine gehört zu den Volldruckmaschinen, bei ihr wird Dampfein- und Dampfauslass durch den Wechsel der Zylinderanlage bestimmt. Die dazu notwendige Beweglichkeit des Zylinders wird dadurch erreicht, dass man diesen in der Mitte drehbar lagert. Er wird mittels einer Spiralfeder gegen die Spiegelfläche einer Halterung gedrückt. Hierzu müssen die beiden Gleitflächen absolut plan sein. Der Zylinder ist in seinem rückwärtigen Teil mit einem Dampfloch versehen, während in der anliegenden Spiegelfläche des Haltewinkels ein Dampfzufuhrloch und ein Abdampfloch vorhanden sind. Liegt nun das Dampfloch des Zylinders über dem Dampfzufuhrloch, so strömt Dampf hinter den Kolben in den Zylinder. Der Kolben bewegt sich nach vorn, wobei die Hubbewegung über das Pleuellager und dem Kurbelzapfen in eine Drehbewegung umgeformt wird. Die Masse des Schwungrads führt den Kolben zurück, dabei kippt der Zylinder mit dem Dampfloch auf das Abdampfloch, so dass Altdampf vom rücklaufenden Kolben ins Freie gedrückt werden kann. Hat der Kolben die hintere Totlage überwunden, so befindet sich das Dampfloch wieder über der Dampfzuleitung und erneut kann Frischdampf in den Zylinder einströmen.

Funktionsweise:

OSZILLIERENDE DAMPFMASCHINE



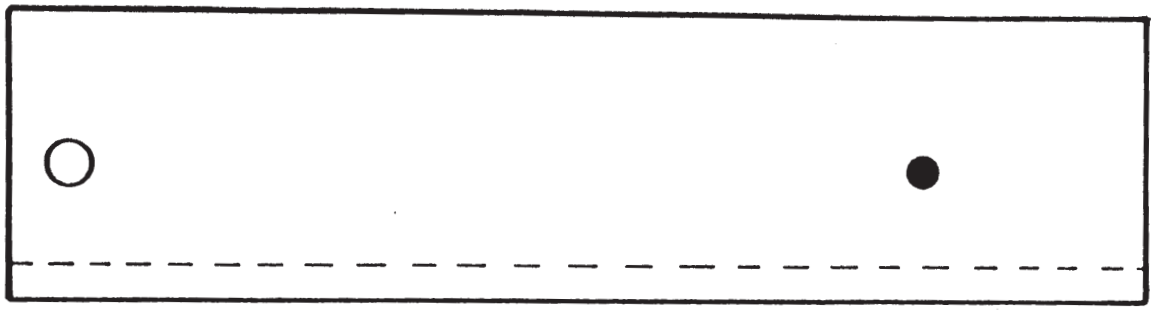
Stellung I
Kolben steht ca. 1 mm vor Zylinderende, beide Dampflöcher sind geschlossen, das Pleuellager steht im hinteren Totpunkt (h. T.)

Stellung II
Das Pleuellager steht ca. 80° nach dem h. T., das Dampfloch im Zylinder liegt nun auf dem Dampfzufuhrloch des Haltewinkels, Dampf strömt in den Zylinder (Doppelpfeil), der Kolben bewegt sich weiter nach vorne.

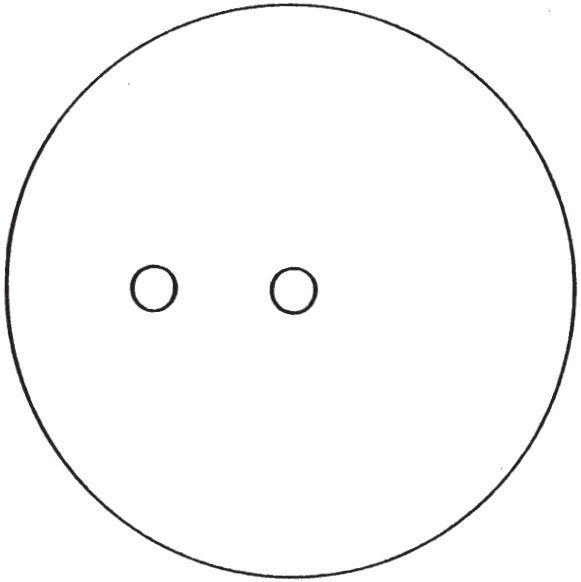
Stellung III
Das Pleuellager steht im vorderen Totpunkt (v. T.), das Dampfloch im Zylinder liegt zwischen den beiden Haltewinkellöchern, durch die Masse des Schwungrades wird der v. T. überwunden.

Stellung IV
Das Pleuellager steht ca. 80° vor dem h. T., das Dampfloch des Zylinders liegt auf dem Abdampfloch des Haltewinkels, Altdampf wird vom Kolben ins Freie gedrückt (Doppelpfeil).

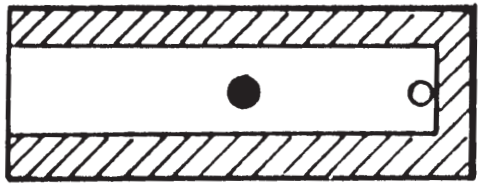
Haltewinkel



Schwungscheibe mit Exzenterlager



Zylinder



Hinweis:

Maschinenteile ausschneiden und mit Musterklammern verbinden

Tipp (für den Schulbereich):

Anfertigen eines Acrylglas -Modells

Pleuelstange mit Kolben

Kopiervorlage für das Overhead-Projektionsmodell des Dampfumwandlers

M 1,5 : 1

matches21 GmbH - matches21.de

Werkzeug- und Geräteübersicht

- Metallbügelsäge
- Gestellsäge (mit Metallsägeblatt)
- Werkstattfeile (Hieb 1, 2, 3 und 4)
- Schraubstock mit Schutzbacken
- Maschinenschraubstock
- Schlosserhammer, 200g
- Schraubendreher
- Seitenschneider
- Stahl-Winkel (kurz)
- Stahllineal
- Messschieber
- Reißnadel
- Körner
- HSS Bohrer (2; 2,5; 3,1; 3,5; 3,9; 4 und 6mm)
- Gewindebohrer (M3, M6)
- Gewindeschneider (M3, M4)
- Kegelsenker
- Reibahle (4 und 8mm)
- Schäl-Aufbohrer (3-14mm)
- Blechlocher (Durchm. 40mm) oder Dekupiersäge
- Lotblechschere (gebogen und gerade)
- Blindnietzange
- Ständerbohrmaschine
- Hartlötanlage mit Propangasflasche (5 kg)
  Brennereinsatz: mittel und fein
- Feuerfeste Unterlage (z. B. Schamotteplatte)
- Kompressor
- Ausblaspistole
- Briefwaage

Hilfsstoffe

- Holz- und Metallbeilagen
- Silberlot mit 40 % Silberanteil. Durchm. 1,5 mm
- Flussmittel für Silberlot
- Weichlot mit Lötfett
- Gewindeklebstoff (Temp.fest bis 150 Grad C)
- Schleifpapier (Körnung 100, 200, 280, 400, 500)
- Stahlwolle (00, 000)
- Metallpolitur
- Bohremulsion
- Maschinenöl
- Baumwolltuch

Sicherheitsbestimmungen für den Bau und den Betrieb von Dampfkesseln

Obwohl für Eigenbauten die Technischen Regeln für Dampfkessel TRD 801 gelten, die den Bau von wahren Höllenmaschinen zulassen, sollten wir uns im Schul- und Hobbybereich an die Sicherheitsnormen nach DIN 660 70 im Rahmen des Gesetzes über technische Arbeitsmittel bzw. an die Europa-Norm DIN EN 71 halten, um den Betrieb der selbst gebauten Dampfmaschine nicht zum "Spiel mit dem Feuer" werden zu lassen.

Nachfolgend die wichtigsten Empfehlungen und Bestimmungen nach DIN 660 70:

1. Keine scharfen Kanten und Ecken.
2. Schutz vor Korrosion
3. Temperaturbegrenzung bei Bedienungselementen
4. Beheizung nur mit ungefährlichen Brennstoffen, möglichst Trockenbrennstoffen.
5. Der Kesselinhalt darf 2 Liter und der Betriebsdruck 1,5 bar nicht überschreiten.
6. Ein unverstellbares Federnsicherheitsventil aus nichtrostendem Material, dessen Ansprechdruck unter max. 3 bar liegen muss (2-facher Betriebsdruck).
7. Der Berstdruck des Kessels muss wenigstens 4,5 bar betragen (3-facher Betriebsdruck). Berstdruckprüfungen nur unter Wasser durchführen bzw. durch professionelles "Abdrücken" der Kessel mittels Wasserdruck.
8. Der Dampfkessel muss mit einer geeigneten Einrichtung versehen sein, die den Wasserstand erkennen lässt.
9. Jede Modelldampfmaschine sollte ferner widerstandsfähig gekennzeichnet sein:
   a) mit dem Namen des Herstellers und dem Herstellungsjahr
   b) dem zulässigen Betriebsdruck
   c) dem Kesselinhalt in Litern
   d) dem Prüfdruck

Die Einhaltung von Punkt 8 lässt sich mit den Werkzeugen und Mitteln im Technikunterricht der allgemeinbildenden Schulen bzw. im Hobbybereich nicht realisieren. Hieraus erwachsen jedoch keine unmittelbaren Gefahrenmomente, denn fehlendes Wasser führt nur im Extremfall der Kesselüberhitzung zu Undichtigkeiten, nie jedoch zu eventuellen Kesselexplosionen! Darüber hinaus stellt die Weichlötung des Dampfrohres eine Sollbruchstelle bei Überhitzung dar.

Konstruktion und Herstellung des Dampfmaschinenmodells

Materialwahl - Kupfer - Messing

Die vorzugsweise Verwendung von Buntmetallen im Modellbau von Dampfmaschinen ergibt sich aus der guten Wärmeübertragung und der leichten Bearbeitung.

Als Universalmaterial für Modellkessel gilt eigentlich Kupfer, denn es ist widerstandsfähig gegen Korrosion und einer der besten Wärmeleiter (Die Wärmeleitfähigkeit von Kupfer ist ca. 4-mal höher als bei Messing).

Dieser Vorteil kehrt sich allerdings beim Löten oder Hartlöten des Kessels ins genaue Gegenteil um, was uns veranlasste, Messinghalbzeuge für Kessel und Maschinenteil zu verwenden.

Messing (Ms) ist eine Legierung aus Kupfer (Cu) und Zink (Zn) und wird im Handel in verschiedenen Profilen, als Rundstab, Blech und Rohr angeboten. Es ist leicht spanend zu bearbeiten und bietet die ausreichende Festigkeit auch bei dünneren Wandstärken.
Allerdings muss man beachten, dass Messing "altert" und der Kessel evtl. bei häufigerem Einsatz im Laufe der Jahre brüchig werden kann.

Kupfer-Zink-Legierungen gibt es in verschiedenen prozentualen Zusammensetzungen mit unterschiedlichen Eigenschaften (weich, halbhart, hart). Die Festigkeit und Härte von Messing nimmt mit steigendem Zinkanteil und anderen Legierungsbestandteilen zu und kann durch Kaltumformung noch wesentlich gesteigert werden (z. B. durch Walzen).
Beim Weichglühen (ca. 600 Grad C) wird die Festigkeit wieder herabgesetzt und die Dehnung erhöht. Zu hohe Temperaturen machen Kupfer-Zink-Legierungen spröde und brüchig.

Versuche: Ein Messing-Blechstreifen läßt sich nur schwer umbiegen.
Er federt beim Biegen zurück.
Durch Weichglühen wird der Metallstreifen weich und biegsam und behält den Biegewinkel bei.Wird das Messingblech anschließend kalt geschmiedet, läßt es sich wiederum schwerer umbiegen und federt auch wieder zurück.
Festigkeit und Härte haben zugenommen.

Technische Daten von Kupfer und Messing

Benennung	Kurzzeichen	Zusammensetzung	Dichte	Schmelztemperatur	Wärmeleitfähigkeit	Zugfestigkeit
Kupfer	Cu	99,9% Cu	8,9 $\frac{g}{cm^3}$	1083°C	372 $\frac{W}{m \cdot K}$	≈ 250 $\frac{N}{mm^2}$
Messing	Cu-Zn 33 (Ms67)	67% Cu, 33% Zn	≈ 8,6 $\frac{g}{cm^3}$	930-1100°C	93 $\frac{W}{m \cdot K}$	≈ 300-400 $\frac{N}{mm^2}$

Hinweise zur Fertigung des Dampferzeugers

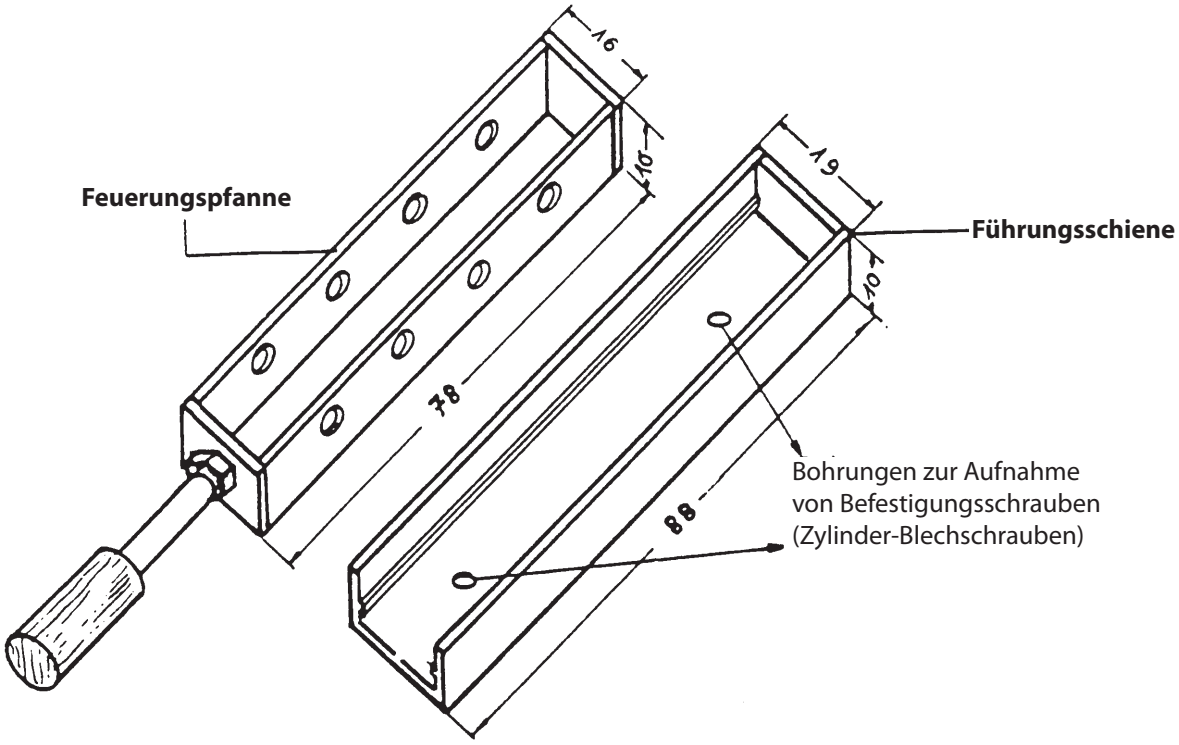
Der Bau beginnt mit der Grundplatte .
Als erste Baugruppe wird die Feuerungspfanne mit der Führungsschiene aus Aluminium-U-Profilen gefertigt.
Die Verwendung einer Führungsschiene gewährleistet den sicheren Feuerungsbetrieb ohne zusätzlichen Brandschutz und ermöglicht zudem eine sichere Führung der Pfanne.
Die Schiene darf jedoch erst nach Fertigstellung des gesamten Dampfumwandlers mit der Grundplatte verschraubt werden.

Aus den beiden Messing-Blechstreifen werden Kesselhaus und 2 Befestigungslaschen mit 5 mm Breite hergestellt. Es empfiehlt sich die vorherige Anfertigung eines maßstabgetreuen Kartonmodells, um Vorstellungsschwierigkeiten und mögliche Biegefehler auszuräumen. Die Zweiteilung des Kesselhauses ist sinnvoll, weil dadurch die Biegearbeiten erleichtert und der Arbeitsaufwand reduziert wird. Beim Übereinanderlegen beider Hälften können sämtliche Bohrungen und Aussparungen in einem Arbeitsgang ausgeführt werden. Vor dem Abkanten sind alle Bohr-, Stanz- und Zuschneidearbeiten durchzuführen.
Gegebenenfalls können die Kesselhausbleche mittels einer computergesteuerten Fräsmaschine (CAD-CAM-Kopplung) nach Erstellen einer entsprechenden Zeichnung gefräst werden, was die Fertigungszeit erheblich reduziert!
Zur Anfertigung des halbkreisförmigen Kesselausschnitts empfiehlt sich die Verwendung eines Blechlochers. Bei maßgenauem Arbeiten ist die problemlose Verbindung durch Blindnieten möglich.

Der Kessel wird aus Messingrohr hergestellt, der mit zwei Stopfen verschlossen wird. Die Bohrung zur Aufnahme des Sicherheitsventils muß wegen der Wärmeausdehnung des eingeschlossenen Luftraums unbedingt vor dem Hartlöten angebracht werden. Silberlot mit hohem Silberanteil gewährleistet eine günstige Arbeitstempertur, die auch von Gasbrennern erreicht wird.

Die Dichtigkeits- und Druckprüfung des Kessels wird mit Hilfe eines Kompressors und einer Ausblaspistole (M6-Gewindeansatz) bei maximal 4,5 bar unter Wasser durchgeführt. Erst danach erfolgt die Endmontage dieser Baugruppe.

Feuerungspfanne mit Führungsschiene



Fertigungshinweise:

a) Herstellen der Führungsschiene (aus 19 mm-Aluminium-U-Profil)

- Alu-Schiene auf einer Seite 10 mm einsägen und Boden hochbiegen (Hartholzzulage)
- Überstände absägen und verschleifen
- Zwei Bohrungen für die Befestigungsschrauben im Boden durchführen (Durchm. 3 mm)

Zur Beachtung: Die Führungsschiene sollte wegen der Wärmeübertragung nicht direkt mit dem Montagebrett verschraubt werden.
Als Abstandshalter werden jeweils 2 U-Scheiben unterlegt.

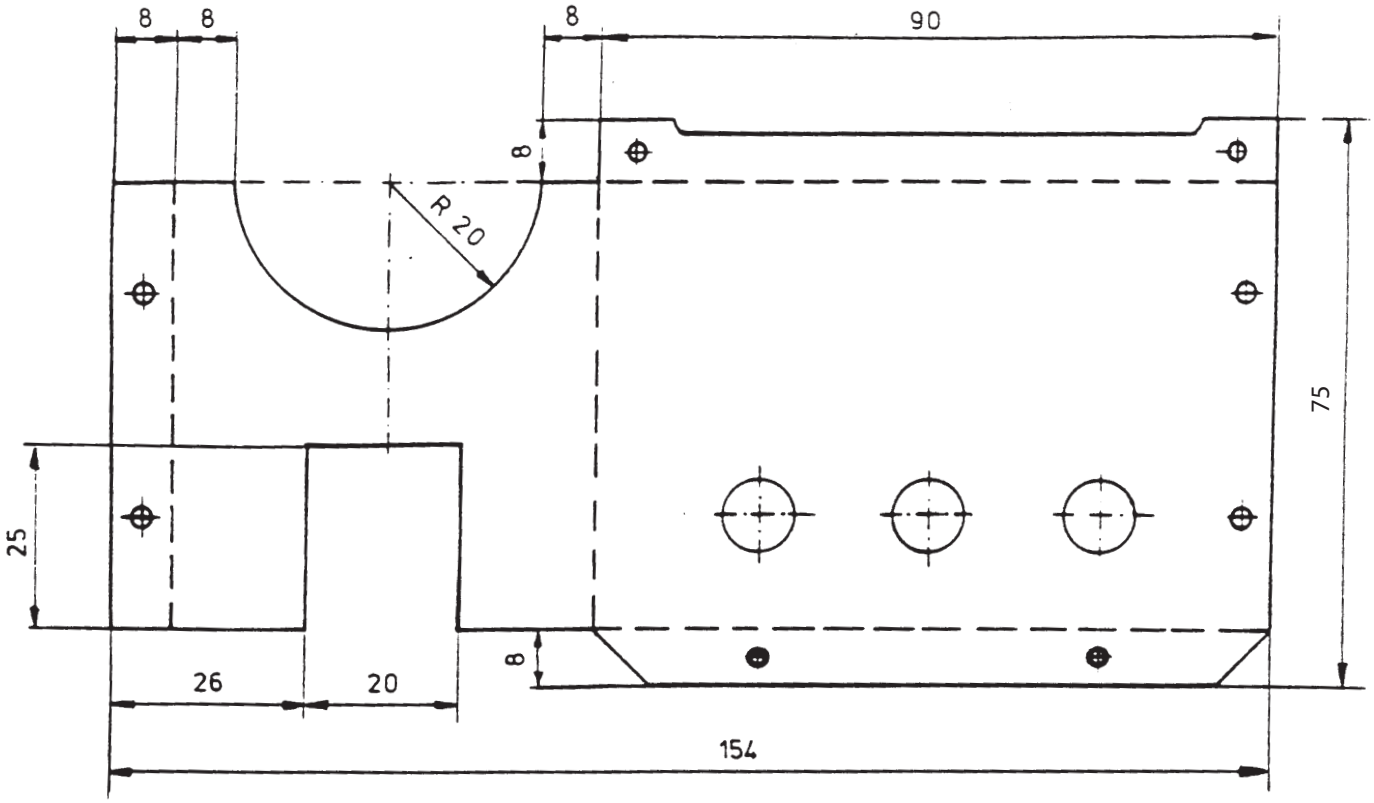
b) Herstellen der Feuerungspfanne (aus 16 mm Aluminium-U-Schiene)

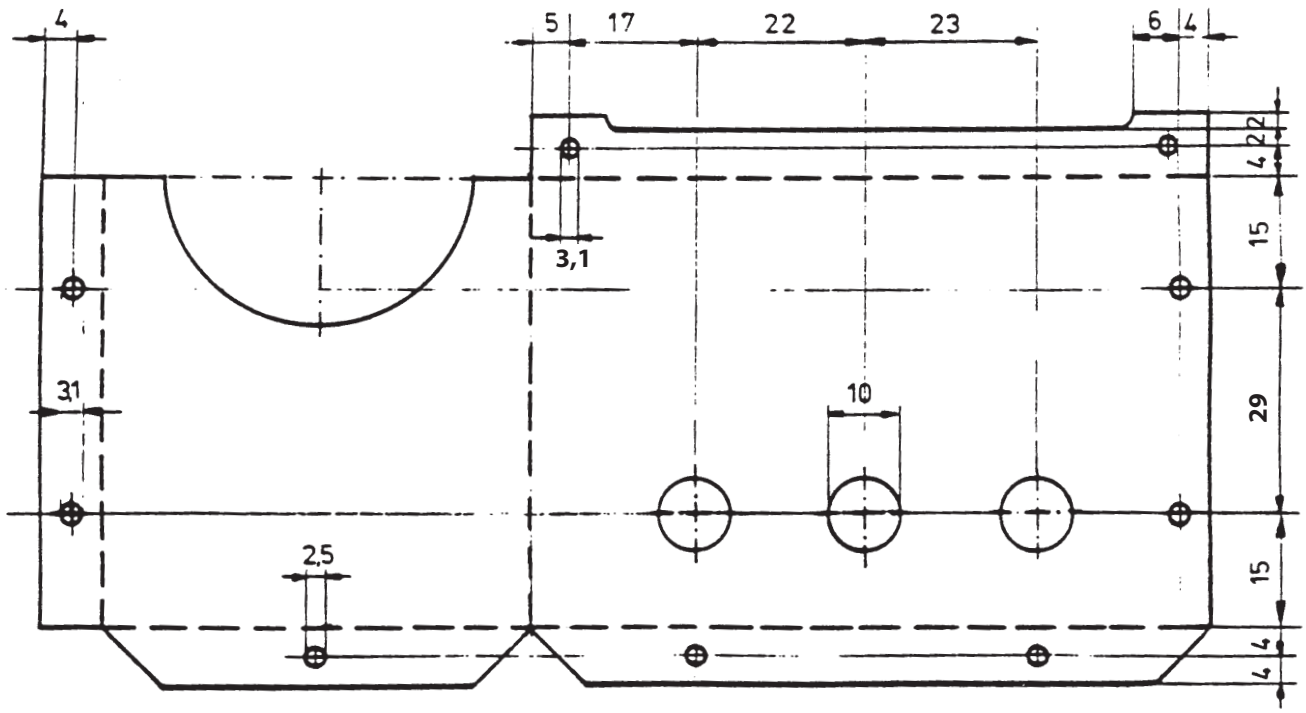
Hinweis: Die Pfanne läuft auf den beiden Graten der Führungsschiene.
Es finden zwei Brennstofftabletten hochkant stehend Aufnahme.

- Alu-Schiene an beiden Enden jeweils 10 mm einsägen
- Boden vorn und hinten hochbiegen
- Auf der Vorderseite mittig 4 mm-Bohrung zur Aufnahme der Griffstange (z. B. Zylinderkopfschraube M4 x 25) durchführen
- Vier bis fünf 4 mm-Luftlöcher seitlich außermittig bohren (gegenüberliegende Löcher in einem Arbeitsgang bohren)
- Zylinderkopfschraube mittels M4-Mutter mit Feuerungspfanne verschrauben
- Holzgriff entsprechend aufbohren, mit M4-Gewinde versehen und aufstecken
- Seiten mit einer Werkstattfeile etwas abfeilen, damit die Feuerungspfanne leicht in der Führungsschiene gleiten kann

Abwicklung Kesselhaus

M 1 : 1

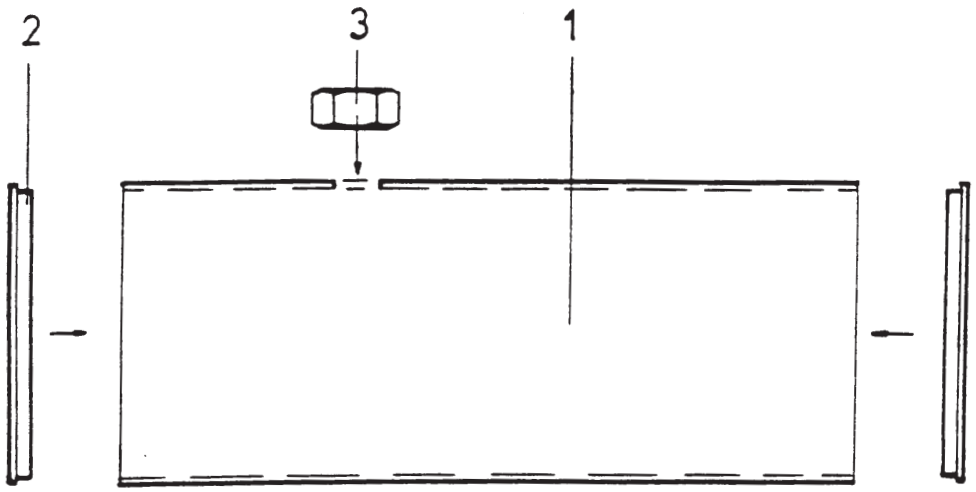




matches21 GmbH - matches21.de

Dampfkessel

M 1 : 1



Stückliste

Pos.	Bezeichnung	Material	Abmessungen
1	Kesselrohr	CuZn 37	1 x 40 x 100 mm
2	Verschlusskappe	CuZn 39 Pb 3	Außen-/Innen-ø 40/38 x 3 mm
3	Sechskantmutter	CuZn 37	M6 (DIN 934)

Fertigungshinweise:

- Kesselrohr ankörnen und mit 6 mm Bohrung versehen

- zur besseren Auflage der M6-Mutter Messingrohr um Bohrloch planfeilen

- Oxidschichten an den Lötstellen mit Stahlwolle entfernen

- Lötstellen mit Flußmittel versehen

- Verschlusskappen aufsetzen und hartverlöten

- M6-Mutter aufsetzen und hartverlöten

- Kessel nicht abschrecken, sondern langsam abkühlen lassen!

- ***Dichtigkeits- und Druckprüfung im Wasserbad bei 4,5 bar durchführen***

- Kesseloberfläche versäubern (Schmirgelleinen/Stahlwolle)

matches21 GmbH - matches21.de

Konstruktion und Berechnung des Sicherheitsventils

Das Sicherheitsventil stellt ein wichtiges Einzelteil des Dampfkessels dar und sichert die Modellanlage gegen zu hohen Betriebsdruck ab.

Das nachfolgend beschriebene Sicherheitsventil ist ein direkt wirkendes Federventil, welches gleichzeitig als Einfüllschraube dient.

Es kann aus einer M 6 Messingschraube, einer M 3 Schaftschraube, einer M 3 Messingmutter, einer Druckfeder und einer Gummidichtung selbst gefertigt werden.

Die M6-Schraube muss zentrisch mit einem 3,5 mm Bohrer durchbohrt werden.
Die M 3 Schaftschraube wird zusammen mit der Gummidichtung von oben her eingesetzt und an der Unterseite der durchbohrten M 6 Schraube mittels Druckfeder und M 3 Mutter federnd gehalten.
Vor dem Justieren des Sicherheitsventils muss die M 3 Mutter mit einer Feile abgerundet werden, da sich sonst das Ventil nicht in das M 6 Gewinde des Einfüllstutzens einsetzen lässt.

Berechnung der Federkraft zum Sicherheitsventil:

Entscheidend ist hierbei der Durchmesser der Durchlassöffnung
(d = 0,35 cm), aus dem sich die dem Dampfdruck ausgesetzte Fläche A errechnet.

$$A = \frac{\pi}{4} \cdot d^2 = \frac{3{,}14 \cdot 0{,}35^2}{4} \approx 0{,}1\ cm^2$$

Wenn wir das Sicherheitsventil auf 2 bar = $20\ \frac{N}{cm^2}$ auslegen, so ergibt sich aus der Formel

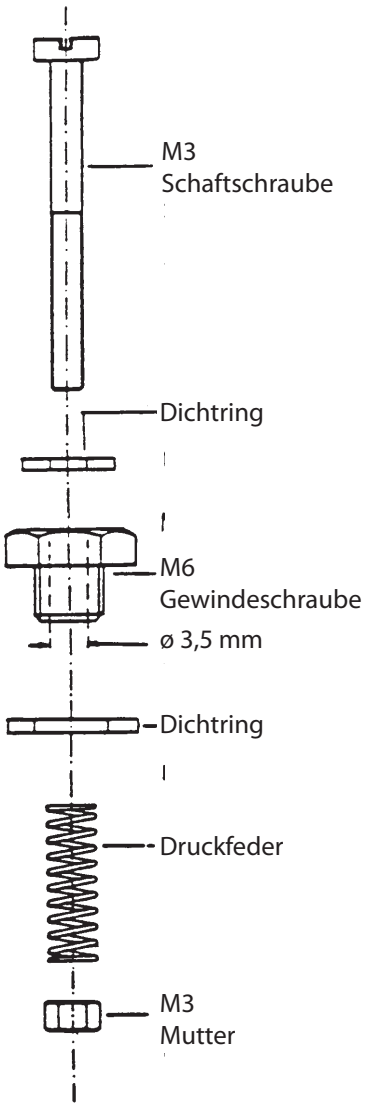
$$\text{Druck} = \frac{\text{Kraft}}{\text{Fläche}} \qquad p = \frac{F}{A}$$

eine Federkraft: $F = p \cdot A$

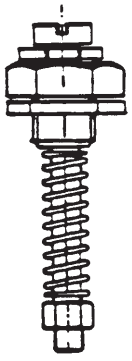
also: $F = 20\ \frac{N}{cm^2} \cdot 0{,}1\ cm^2 = \underline{2\ N}$

Dies bedeutet, dass sich das selbst konstruierte Sicherheitsventil bei einer Gewichtsbelastung von 200 g öffnet.
Die Vorjustierung kann mit Hilfe einer Küchenwaage durchgeführt werden. Zu beachten ist dabei, dass man den doppelten Betriebsdruck auf keinen Fall überschreitet. Dies würde einer Gewichtsbelastung von 300 g entsprechen.

Da der Schwingzylinder des Maschinenteils axial federnd gelagert ist, wirkt diese Vorrichtung wie ein 2. Sicherheitsventil, so dass eine maximale Betriebssicherheit gewährleistet ist.



Federventil



matches21 GmbH - matches21.de

Hinweise zur Fertigung des Dampfumwandlers

Im Dampfumwandler wird die Wärmeenergie des Wasserdampfes in Bewegungsenergie umgesetzt. Die eigentliche Maschine besteht aus

- Haltewinkel mit Zylinder- und Schwungradlager
- Zylinder und Kolben
- Pleuelstange mit Pleuellager
- Schwungrad mit Antrieb

Die Anfertigung des Dampfumwandlers erfordert Sorgfalt und genaues Arbeiten.

Nachstehend sind die einzelnen Arbeitsschritte mit entsprechenden Hinweisen aufgeführt.

I ZYLINDERHALTEWINKEL

- Kantenflächen feilen und Kanten brechen
- Bohren der beiden Löcher für die Befestigungsschrauben und Ansenken mit dem Kegelsenker
- Anreißen und Bohren der Löcher für Zylinder- und Schwungradlager (evtl. Parallelanreißer und Reißplatte verwenden)
- Herstellen einer absolut planen Spiegelfläche, an welcher der Zylinder anliegt (Schlichtfeile und Feinschliff)
- Kontrolle mit Haarlineal! (Jede Unebenheit führt zu Dampfverlusten!)
- Ablängen des Lagerrohrs für die Schwungradwelle
- Anbringen einer Ölbohrung
- Einsetzen und Ausrichten des Lagerrohrs
- Lagerrohr mit Winkel weich verlöten

II SCHWUNGRAD

- Bohrung für das Exzenterlager auf der Teilkreislinie (r = 12 mm) anbringen
- Welle (7) bei Presspassung mit dem Schwungrad rechtwinklig verpressen (Schraubstock als Presswerkzeug einsetzen) oder bei Übergangspassung mit dem Schwungrad weich verlöten.
  Achse (13) mit dem Schwungrad rechtwinklig verpressen (Schraubstock als Presswerkzeug einsetzen)
- Einführen der Welle in das Lagerrohr (Lagerrohr evtl. mit 4 mm Reibahle nachreiben)
- Schnurrolle auf 4 mm Durchmesser aufbohren
- Schwungrad mit Welle, U-Scheiben und Stellring montieren

III ZYLINDER

(siehe Arbeitsblatt mit Detailzeichnung und Fertigungshinweisen)

IV KOLBEN UND PLEUEL

- Pleuelstange (68 mm) mit M 4-Außengewinde zur Verschraubung mit Kolben und Pleuellager anbringen
- Eventuell Pleuellager (Stellring) mit Ölbohrung versehen

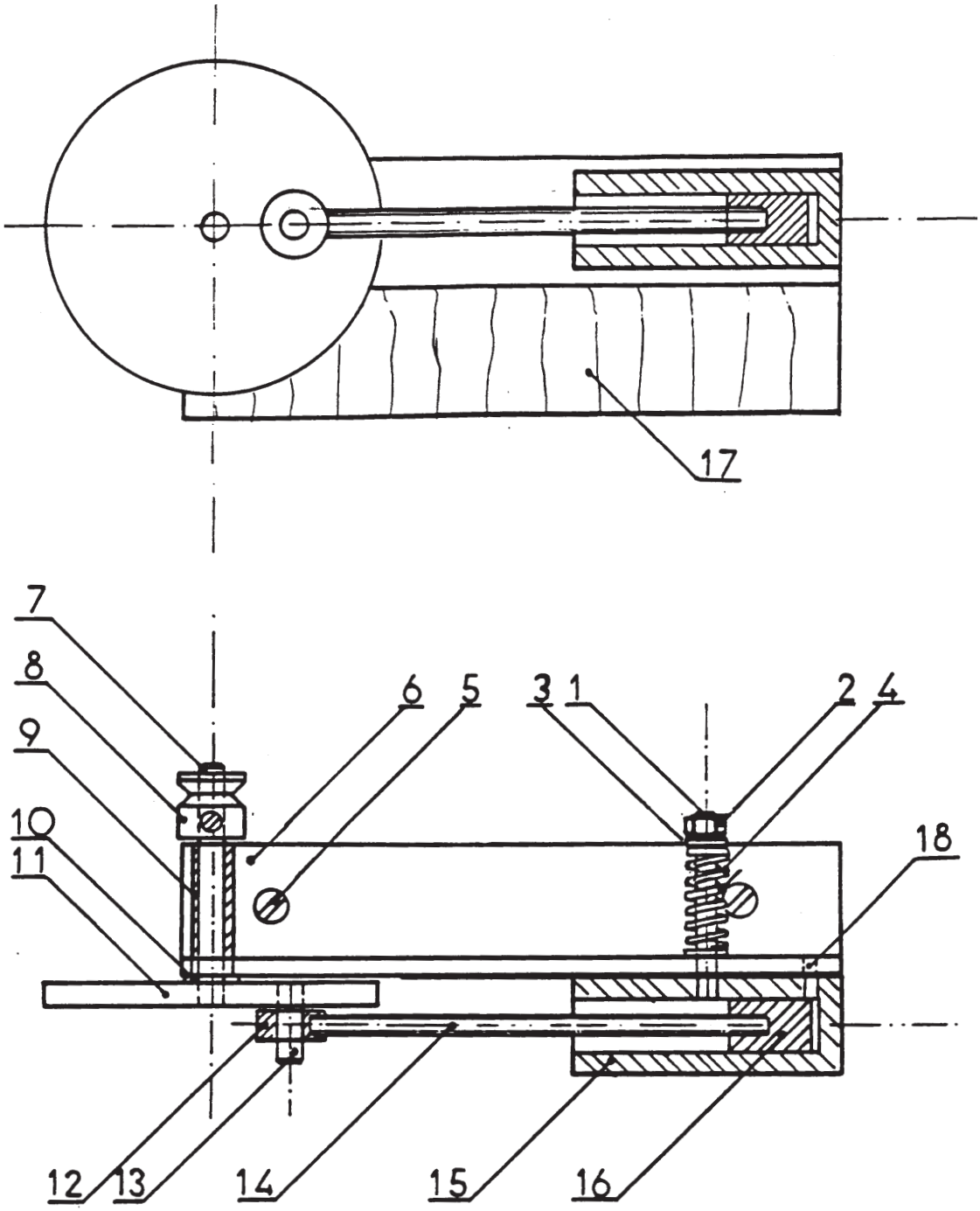
Die vorläufige Montage des Dampfumwandlers kann nach der Anfertigung und Bearbeitung aller Maschinenteile erfolgen.

Der Zylinder wird durch die Andruckfeder gegen die Spiegelfläche gedrückt. Die Verschraubung ermöglicht die Einstellung der Federkraft.

matches21 GmbH - matches21.de

Dampfumwandler (ohne Bemaßung)

M 1 : 1



Dampfumwandler

Stückliste und Arbeitshinweise

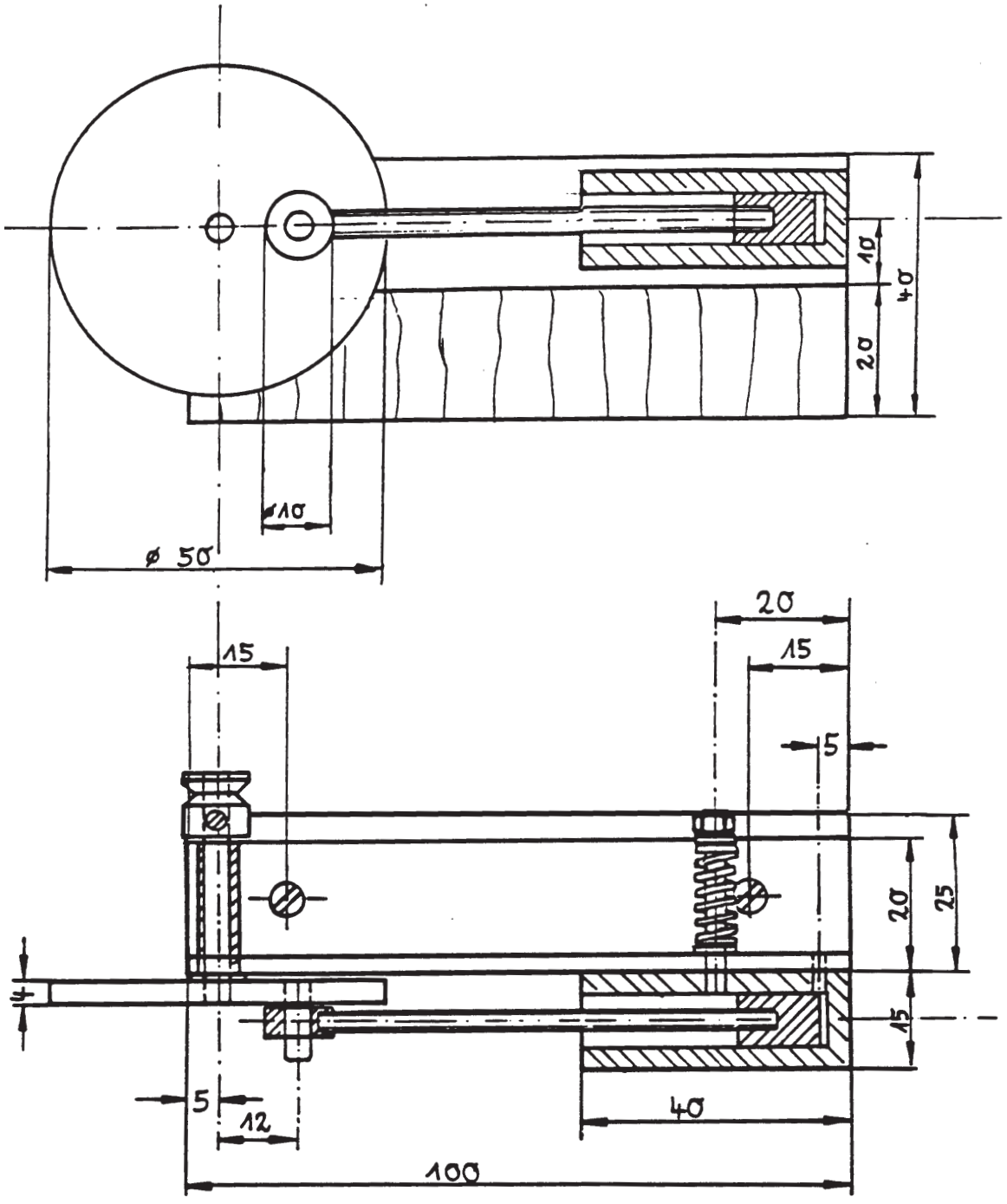
Pos.	Bezeichnung	Abmessungen	Arbeitshinweise
1	Zylinderaufhängung	M 3 x 20	Gewindestift mit Zylinder verkleben (Gewindeklebstoff)
2	Andrückmutter	M 3	
3	U-Scheibe	Innen-ø 3	
4	Druckfeder (Edelstahl)		Fertigteil
5	Befestigungs-schraube	3 x 20 (Senkkopf)	Bohrung im Lagerwinkel (ø 3,5) ansenken
6	Lagerwinkel	100 x 20/20 x 2	Spiegelfläche auf Außenseite, Zylinderlager ø 3, Bohrung für Schwungradlager ø 6
7	Schwungradwelle (Automatenstahl)	4 x 36 (Innen-ø 4)	Bei Presspassung mit Schwungrad verpressen; bei Übergangspassung mit Schwungrad verlöten
8	Antriebsrädchen (Stellring mit Schnurrolle)	Fertigteil	Auf Durchm. 4 aufbohren, Befestigung mit Madenschraube
9	Schwungradlagerrohr	ø 6 x 20 (Innen-ø 4)	Verlöten mit Lagerwinkel, 1,5 mm-Ölbohrung auf Oberseite, evtl. mit 4 mm-Reibahle aufreiben
10	U-Scheibe	Innen-ø 4	
11	Schwungrad	Fertigteil	12 mm Teilkreislinie für Exzenterlagerung beachten und Bohrung für Exzenter mit 3,9 mm durchführen
12	Pleuellager (Stellring)	Fertigteil	Auf Oberseite 1,5 mm Ölbohrung, evtl. 1 mm abnehmen
13	Exzenterachse (Automatenstahl)	ø 4 x 10	Mit Schwungrad verpressen
14	Pleuelstange	ø 4 x 68	An den Enden M 4-Gewinde mit jeweils 4 – 6 mm Länge schneiden
15	Zylinder	Fertigteil	Spiegelfläche fertigen, in der Mitte M 3-Gewinde bohren und leicht ansenken (s. Anlage)
16	Kolben	Fertigteil	mit Pleuelstange (M 4) verschrauben
17	Maschinenuntersatz (Hartholz)	100 x 20 x 25	4 – 6 mm Länge schneiden
18	Dampfzufuhr- und Abdampfloch	ø 2	Bohrungen erst nach besonderer Anleitung (siehe Anlage) ausführen!

Alle Materialien sind, soweit nicht anders angegeben, aus Messing.

matches21 GmbH - matches21.de

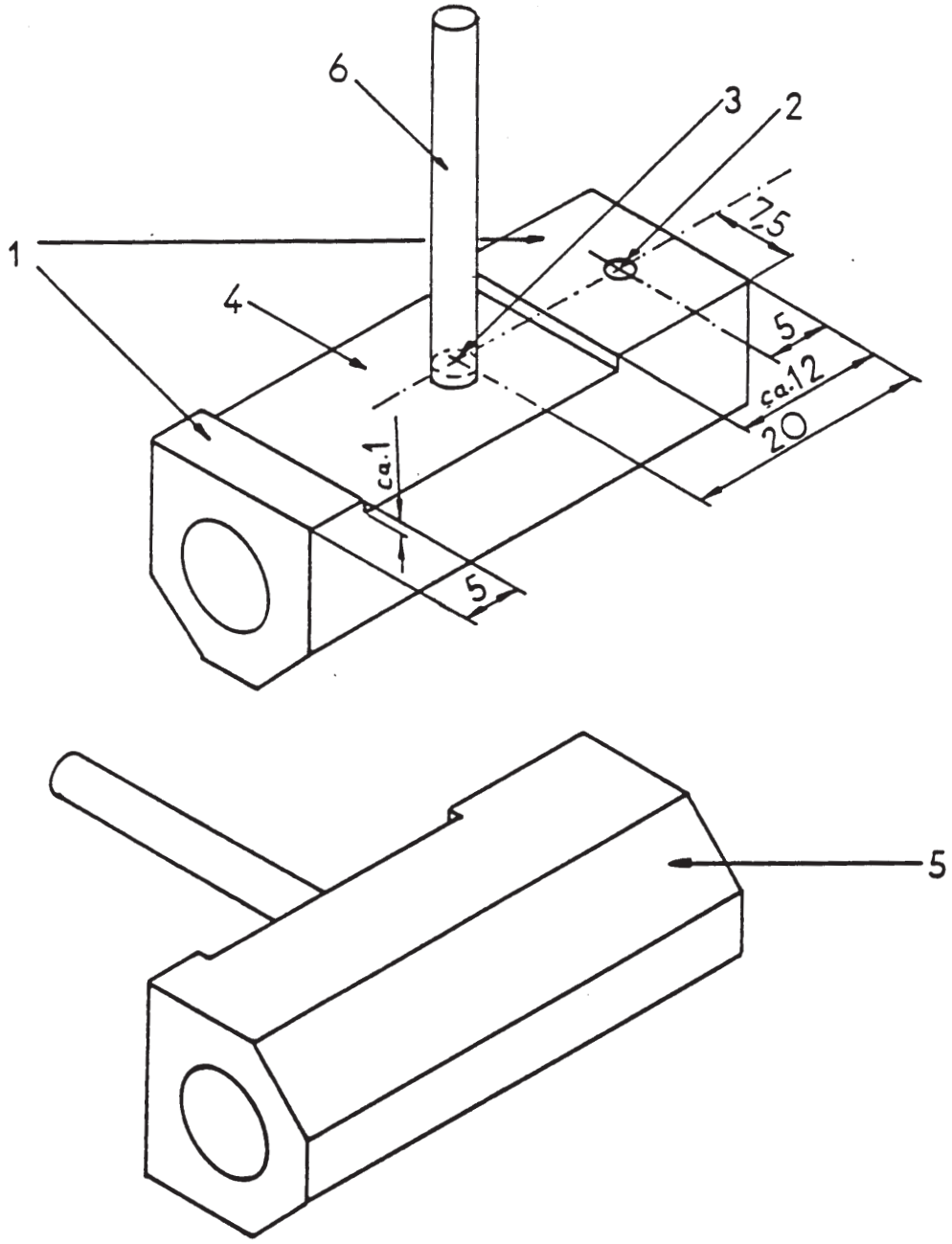
Dampfumwandler (mit Bemaßung)

M 1 : 1



Zylinder

M 1 : 1



Fertigungshinweis:

- Spiegelfläche (Pos. 1) plan feilen (Schlichtfeile)
- evtl. Materialabnahme zur Reduzierung der Reibungsfläche (Pos. 4)
- Bohrlöcher anreißen und ankörnen
  Dampfloch (Pos. 2) mit 2 mm Durchmesser bohren
  Kernloch (Pos. 3) für Zylinderachse mit 2,5 mm Durchmesser. vorbohren
- M 3 Innengewinde (Pos. 3) schneiden
- evtl. Zylinderaußenkanten (Pos. 5) abnehmen (Massenreduzierung)
- Weichverlöten oder Verkleben der Zylinderachse (Gewindestift)
  Achtung! Gewindestange darf nicht in den Zylinderinnenraum ragen!
- evtl. Nachreiben der Zylinderbohrung mit 8 mm Reibahle

matches21 GmbH - matches21.de

FESTLEGUNG VON DAMPFEINLASS UND DAMPFAUSLASS IM ZYLINDERHALTEWINKEL

Die Festlegung von Dampfein- und Dampfauslass wird durch zwei Stellungen des Zylinders bestimmt (siehe nachfolgende Abbildung).

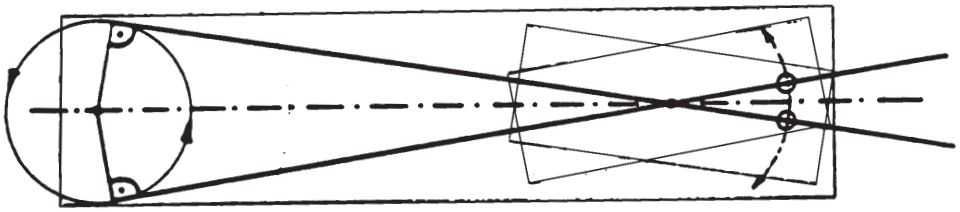
Dampf soll hinter den Kolben strömen können, wenn dieser so steht, dass das Exzenterlager (oder die gedachte Kurbelwelle) im rechten Winkel zum Schwungradius steht; hier ist das größtmögliche Drehmoment vorhanden. Entsprechend spiegelbildlich zur Mittelachse ist der Dampfauslass festgelegt.

Die einfachste Möglichkeit, Dampfeinlass und Dampfauslass im Haltewinkel festzulegen, besteht darin, aus einem Blindnietdorn (Durchm. 2 mm) eine kleine Anreißnadel zu fertigen und diese in das 2 mm-Dampfloch des Zylinders zu stecken; die Dornspitze sollte 1 - 2 mm herausstehen. Nun werden Zylinder, Kolben mit Pleuelstange und Schwungrad komplett montiert und die Maschine mehrmals von Hand durchgedreht. Dabei wird der Zylinder gut gegen die Spiegelfläche gedrückt. Durch die Kippbewegung des Zylinders wird der Weg des Dampfloches mittels des Anreißdornes direkt auf die Spiegelfläche des Haltewinkels übertragen. Die beiden Enden des Kreisbogens ergeben die Mittelpunkte der Dampflöcher (sie liegen ca. 4 - 5 mm auseinander), welche angekörnt und mit 2 mm Durchmesser gebohrt werden.

Nach Wiedermontage der Maschine kann ein Probelauf mit Druckluft erfolgen (max. 2 bar). Durch Reduzierung des Luftdrucks am Druckminderer des Kompressors können erste Aussagen über die Leistungsfähigkeit der Maschine gemacht werden.

Die Verbindung zwischen dem Kessel und dem Maschinenteil erfolgt nach dem Probelauf. Hierzu werden Kessel und Dampfeinlass aufgebohrt (4 mm Durchmesser), das zurechtgebogene Kupferrohr eingesetzt und weich verlötet.

Achtung: Vor Inbetriebnahme Kolben und Lager ölen!
Maschine nicht überdrehen!



maßstabsgetreue
Bohrschablone M 1 : 1

Inbetriebnahme und Wartung

Nach Fertigstellung aller mechanischen Arbeiten am Kessel, Feuerungskasten und Maschinenteil, nach dem Zusammenbau aller Teile, nach den Funktionskontrollen und Sicherheitsprüfungen kommt endlich der große Augenblick der ersten Inbetriebnahme des selbst gebauten Dampfmaschinenmodells.

Erfahrungsgemäß vergisst man in dieser Schlussphase alle anerkannten Regeln der Technik, und obwohl sich der hier vorgestellte Bauvorschlag durch Robustheit auszeichnet, kann das Modell bei unzulänglichem Betrieb irreparable Schäden erleiden.

An erster Stelle soll die optimale Sicherheit gewährleistet sein. So empfiehlt sich vor der eigentlichen Inbetriebnahme eine letzte Funktionskontrolle der Modelle mit Hilfe von Druckluft (ca. 2 bar), wobei gleichzeitig die Sicherheitsventile getestet werden können. Beachtet werden muss dabei nur, dass Kolben, Zylinder und alle Lagerstellen vorher gründlich mit Maschinen- oder Motorenöl abgeschmiert werden, um unnötigen Verschleiß zu vermeiden.

Nach diesem letzten Testlauf wird das Modell zur Dampferzeugung vorbereitet und hierbei spielt die Qualität und Quantität des Kesselwassers eine wichtige Rolle. Am besten verwendet man destilliertes Wasser zur Vermeidung von Kesselsteinansatz und füllt den Kessel bis zu max. 2/3 seines Gesamtvolumens. Ein geringerer Wasserstand bedeutet zwar geringere Anheizzeit, führt aber leicht zur Überhitzung des Dampferzeugers. Hingegen wird bei nahezu vollständiger Füllung des Kessels Wasser in den Zylinder gedrückt, was evtl. zur Beschädigung des Maschinenteils führt. Hält man die Kesselabmessungen des Bauvorschlags ein (Länge 100 mm, Innendurchmesser 38 mm, Kesselvolumen 113,4 cm^3), so ergibt sich eine optimale Wasserfüllung bei ca. 60 - 75 ml. Diese Wassermenge ist auch auf den Feuerungsbertieb mit 2 Trockenbrennstofftabletten ausgelegt.

matches21 GmbH - matches21.de

Berechnungsbeispiel:

Um 60 ml Wasser von 20 Grad C auf ca. 120 Grad C (bei ca. 1,5 bar) zu erhitzen, benötigt man

0,06 x 100 x 4,2 = 25,20 kJ

Um 60 ml Wasser verdampfen zu lassen, benötigt man

0,06 x 2257 = 135,42 kJ

berechneter Energieaufwand 160,62 kJ

Zum Verdampfen des Wassers benötigt man also nahezu 6-mal so viel Energie, wie zur Erwärmung!

Der Kesselwirkungsgrad liegt bei einfachen Zylinderkesseln bei ca. 60 %, so dass für das Aufheizen und Verdampfen von 60 ml Wasser ca. 267,7 kJ
notwendig werden.

Eine Esbit-Tablette mit 3,9 g hat nach Angaben
des Herstellers einen Heizwert von 110 kJ.

Bei Beheizung mit 2 Tabletten entspricht dies einer Energieabgabe von 220 kJ.

Aus diesem Berechnungsbeispiel geht hervor, dass man mit 60 ml Wasser bei Verwendung von 2 Brennstofftabletten vor der Gefahr des Überhitzens sicher ist!

Der Trockenbrennstoff kann - im Gegensatz zu Brennspiritus - gefahrlos entzündet werden. Die Verbrennungsprodukte enthalten jedoch u. a. Formaldehyd. Der Betrieb sollte deshalb nur im Freien bzw. in sehr gut belüfteten Räumen erfolgen.

Vorsicht, beim Beheizen besteht Verbrennungsgefahr durch heiße Metallteile, sowie die weit schwerwiegendere Verbrühungsgefahr durch heißen Wasserdampf aufmerksam gemacht werden (schon wenig Wasserdampf kann durch freiwerdende Kondensationswärme auf der Haut schwere Verbrühungen hervorrufen).

Nach Gebrauch des selbst gefertigten Modells versteht es sich fast von selbst, dass dieses mit großer Sorgfalt wieder gesäubert und gewartet wird. Besonders wichtig ist ein vollständiges Entleeren des Kessels, sowie eine reichliche Ölung des Kolbens, Zylinders und aller Lagerstellen.

P R A X I S T I P S

Feuerungspfanne und Führungsschiene:
- Beide Profile ineinanderstecken und gleichzeitig absägen (Gestellsäge)
- Vor dem Biegen alle Bohrungen ausführen!

Kesselhaus:
- Beide Blechstreifen mit Kreppband verbinden und auf einer Holzunterlage mit Kreppband fixieren. Bohrungen können so gefahrlos durchgeführt werden!
- Über kleinerem Rohrabschnitt (ø ca. 25 mm) Kessellaschen zur Erzeugung einer Vorspannung vorbiegen, evtl. auch 3 mm-Nieten mit Kesselhaus verbinden.

Zylinder:
- M3-Gewinde mittels Ständerbohrmaschine bohren (Bohrfutter mit Gewindebohrer von Hand drehen).
- gegebenenfalls Kolben in Zylinder mit Hilfe von Schleifpaste (evtl. auch Zahnpaste) einpassen.

Schwungrad:
- "Auswuchten" durch Materialabnahme (ausbohren) im Bereich des Pleuellagers (ø ca. 4 mm)
- Schwungradachse evtl. mit Vorrichtung (Stahlzylinder mit 4 mm Innenbohrung) im Schraubstock verpressen oder Ständerbohrmaschine als Pressvorrichtung verwenden.

Pleuelstange:
- Die Pleuelstange nicht fest verschrauben; durch seitliches Verdrehen ist optimale Justierung möglich.

Spiegelfläche:
- Feinschliff der Gleitfläche mit 500er Nassschleifpapier unter Verwendung von Maschinenöl auf einer Glasplatte ausführen.

Dampfleitung:
- Leitung sollte möglichst kurz sein, um vorzeitiges Kondensieren des Dampfes zu verhindern.
- Zur Isolierung kann die Dampfleitung evtl. mit einem Bindfaden o.ä. umwickelt werden.

N o c h m a l i g e S i c h e r h e i t s h i n w e i s e :

1. **Kesselprüfung** mit 3-fachem Betriebsdruck (4,5bar)

2. **Fixieren des Sicherheitsventils** nach dessen Eichung auf einen Auslösedruck von 1,5 bar (z. B. mittels hitzefestem Gewindeklebstoff oder Splint) und Prüfung des Sicherheitsventiles vor jeder Inbetriebnahme der Maschine!

3. **Wasserfestes Beschriften** der Maschine mit den Betriebsdaten:
   - Prüfdruck 4,5 bar
   - Betriebsdruck max. 1,5 bar
   - Wasserfüllmenge 0,06 Liter bzw. 60 ml

4. Der Kessel darf nur mit destilliertem Wasser gefüllt werden.

5. Die Maschine darf nur mit 2 Esbittabletten beheizt werden.

6. Empfehlenswert ist das Tragen von Schutzhandschuhen bei Inbetriebnahme.

Wird die Bauanleitung eingehalten und werden die Bedienungs- und Sicherheitshinweise erfüllt, so ist ein gefahrloser Betrieb des Modells gegeben.

ERSATZTEILPREISLISTE - DAMPFMASCHINE ARTIKEL-N° 112.420

Pos.	Benötigte Stückzahl	Benennung	Maße in mm
1	1	Aluminium U-Profil	16,5x95
2	1	Aluminium U-Profil	19,5x95
3	2	Blechschrauben	2,9x13
4	4	U-Scheiben	3,2
5	1	Sechskantmutter	M4
6	1	Zylinderschraube	M4x25
7	2	Blechabschnitt Ms 63	0,4 x 165 x 75
8	4	Blindnieten	3 x 4
9	5	Blechschrauben	2,2 x 6,5
10	1	Rundrohr Ms 63	40 x 1 x 100
11	2	Verschl.kappen Ms 58	40 x 3
12	1	6-kantmutter Ms 63	M6
13	1	6-kantschraube Ms	M6 x 10
14	1	Zylinderkopfschaftschr.	M3 x 30
15	1	Mutter Ms	M3
16	1	Druckfeder Nirosta	0,4 x 4 x 17,5 x 8,5
17	1	O-Gummidichtring	3 x 1
18	1	Hartpapierdichtung	10 x 5,8 x 1
19	1	Winkel Ms	100 x 20 x 20 x 2
20	4	Senkkopfschrauben Ms	3 x 20
21	1	Zylinder Ms	40 x 15 x 15
22	1	Kolben Ms	8 x 12
23	1	Druckfeder Nirosta	0,4 x 4x 17,5x 8,5
24	1	Mutter	M3
25	1	Gewindestift St	M3 x 20
26	1	U-Scheibe Ms	3,2
27	1	Rundstange Ms	4 x 68
28	1	Scheibe Ms	50 x 4
29	1	Zylinderstift St	4 x 10
30	1	Stellring Ms	
31	1	Rohrabschnitt Ms	6 x 1 x 20
32	1	Zylinderstift St	4 x 36
33	2	U-Scheiben Ms	4,3
34	1	Schnurrolle Ms mit Madenschraube	
35	1	Kupferrohr Cu	4 x 1 x 160
36	1	Holzplatte	140 x 140 x 10
37	1	Hartholzklotz	100 x 20 x 25
38	1	Rundholz	8 x 50