



19 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENTAMT

12 **Offenlegungsschrift**  
10 **DE 41 01 500 A 1**

51 Int. Cl.<sup>5</sup>:  
**F 01 K 21/02**  
F 01 K 25/10  
F 01 K 25/02

21 Aktenzeichen: P 41 01 500.2  
22 Anmeldetag: 19. 1. 91  
43 Offenlegungstag: 23. 7. 92

DE 41 01 500 A 1

71 Anmelder:  
Dökowa Gesellschaft zur Entwicklung  
dezentralökologischer Energiewandler mbH u. Co.  
KG, 1000 Berlin, DE

74 Vertreter:  
Weisse, J., Dipl.-Phys.; Wolgast, R., Dipl.-Chem. Dr.,  
Pat.-Anwälte, 5620 Velbert

72 Erfinder:  
Schaeffer, Bernhard, 1000 Berlin, DE

54 **Wärme­kraft­ma­schine**

57 Eine mit einem Kreisprozeß arbeitende Wärme­kraft­ma­schine enthält eine Zylinderkammer, die durch einen Kolben begrenzt ist. In der Zylinderkammer ist eine Menge einer verdampf­ba­ren Flüssigkeit bei einer Ausgangstemperatur vorgesehen. In einer ersten Arbeitsphase vergrößert sich das Volumen der Zylinderkammer von einem inneren Totpunkt durch Auswärtsbewegung des Kolbens bis zu einem äußeren Totpunkt. Dabei wird zunächst adiabatisch der Druck der Flüssigkeit verringert, so daß eine überhitzte Flüssigkeit entsteht. Bei weiterer Ausdehnung der Zylinderkammer tritt eine spontane Verdampfung der überhitzten Flüssigkeit ein, so daß der Kolben unter Arbeitsleistung nach außen gedrückt wird, wobei sich der Dampf abkühlt und ein unterkühlter Dampf gebildet wird. Es wird eine spontane Kondensation des unterkühlten Dampfes eingeleitet, so daß ein plötzlicher Druckabfall in der Zylinderkammer eintritt. In einer zweiten Arbeitsphase wird der Kolben unter Kondensation des Restdampfes zum inneren Totpunkt bewegt. Das abgekühlte Kondensat wird mittels eines Wärmetauschers auf die Ausgangstemperatur erwärmt.

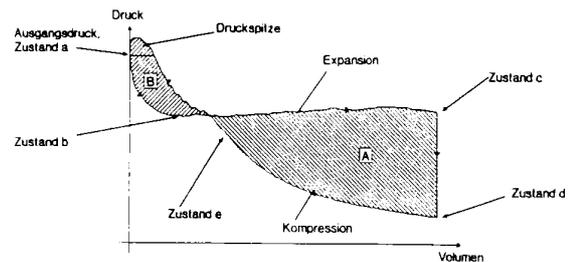


Bild 6

DE 41 01 500 A 1

## Technisches Gebiet

Die Erfindung betrifft eine mit einem Kreisprozeß arbeitende Wärmekraftmaschine, enthaltend

- a) einen durch einen beweglichen Wandungsteil abgeschlossenen Raum, dessen Volumen
- in einer ersten Arbeitsphase von einem inneren Totpunkt durch Auswärtsbewegung der Wandungsteile bis zu einem äußeren Totpunkt vergrößert und
  - in einer Zweiten Arbeitsphase durch Einwärtsbewegung der Wandungsteile wieder auf das Ausgangsvolumen im inneren Totpunkt verkleinert wird.

## Zugrundeliegender Stand der Technik

Die DE-PS 1 55 744 beschreibt ein Verfahren zur Energieerzeugung mittels Verflüssigung von Dampfgemischen aus zwei oder mehreren Flüssigkeiten. Dabei wird eine verdampfte Flüssigkeitsmenge durch ein- oder mehrmalige aufeinanderfolgende Expansionen und Kompressionen unter Arbeitsabgabe vollständig oder teilweise verflüssigt, hierauf unter Wärmezufuhr wieder verdampft und in den Arbeitsprozeß zurückgeführt.

## Offenbarung der Erfindung

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, den Wirkungsgrad einer Wärmekraftmaschine zu verbessern.

Wenn ein Kreisprozeß in einem p-V-Diagramm dargestellt wird, dann stellen die im Uhrzeigersinn umlaufenden Flächen eine geleistete Arbeit, die entgegen dem Uhrzeigersinn umlaufenden Flächen eine aufzuwendende Arbeit dar. Der Erfindung liegt die spezielle Aufgabe zugrunde, bei einem Kreisprozeß die geleistete Arbeit im Verhältnis zu der aufzuwendenden Arbeit möglichst groß zu machen.

Erfindungsgemäß wird diese Aufgabe dadurch gelöst, daß

- b) in dem Raum eine Menge einer verdampfbaren Flüssigkeit bei einer Ausgangstemperatur vorgesehen ist,
- c) bei der Ausdehnung des Raumes in der ersten Arbeitsphase
- zunächst adiabatisch der Druck der Flüssigkeit verringert wird, so daß eine überhitzte Flüssigkeit entsteht,
  - bei weiterer Ausdehnung des Raumes eine spontane Verdampfung der überhitzten Flüssigkeit eintritt, so daß die bewegliche Wandung durch den entstehenden Druck unter Arbeitsleistung nach außen gedrückt wird, wobei sich der Dampf abkühlt und einen unterkühlten Dampf bildet,
- d) Mittel zur Einleitung einer spontanen Kondensation des unterkühlten Dampfes, so daß ein plötzlicher Druckabfall in dem Raum eintritt,
- e) die beweglichen Wandungsteile unter Kondensation des Restdampfes zum inneren Totpunkt bewegbar sind und
- f) das abgekühlte Kondensat durch Wärmezufuhr mittels eines Wärmeaustauschers auf die Ausgangstemperatur erwärmbar ist.

Bei der erfindungsgemäßen Wärmekraftmaschine wird mit einer bei der Arbeitstemperaturen verdampfbaren Flüssigkeit in einem geschlossenen System gearbeitet. Die Flüssigkeit wird nacheinander in zwei Nichtgleichgewichtszustände, überhitzte Flüssigkeit und später unterkühlter Dampf gebracht. Der Kreisprozeß enthält die Übergänge zwischen diesen Nichtgleichgewichtszuständen. Es hat sich experimentell gezeigt, daß dabei die positive Arbeitsleistung, nämlich die im Uhrzeigersinn umlaufende Fläche des p-V-Diagramms ( $p = \text{Druck}$ ,  $V = \text{Volumen}$ ) besonders groß wird.

Ausgestaltungen der Erfindung sind Gegenstand der Unteransprüche.

Ein Ausführungsbeispiel der Erfindung ist nachstehend unter Bezugnahme auf die zugehörigen Zeichnungen näher erläutert.

## Kurze Beschreibung der Zeichnungen

**Bild 1** zeigt Isothermen in einem normierten p-V-Diagramm eines realen Gases nach Van der Waals.

**Bild 2 bis 5** zeigt die verschiedenen Arbeitsphasen der Wärmekraftmaschine.

**Bild 6** zeigt das p-V-Diagramm der Wärmekraftmaschine.

**Bild 7** zeigt Einzelheiten des Aufbaus der Wärmekraftmaschine.

Wird z. B. Wasser sehr vorsichtig erwärmt, so kann es z. B. unter Luftdruck weit wärmer als  $100^\circ\text{C}$  werden, ohne daß es siedet. Man spricht dann von einer "überhitzten Flüssigkeit". Der gleiche Zustand kann erzeugt werden, wenn bei gegebener Temperatur der Druck abgesenkt wird. Hierbei ist es möglich, etwa Wasser unter Zugspannung (negativer Druck) von bis zu

– 40 bar zu setzen, ohne daß es siedet.

Fängt nun eine solche überhitzte Flüssigkeit an zu siedet, so geht sie spontan in einen Dampfzustand über, ohne daß dabei noch Wärme zugeführt werden müßte. Die erforderliche Verdampfungswärme kommt dabei aus dem schon vorhandenen Überschuß an Wärme, der durch die Überhitzung in der Flüssigkeit steckt. Der Vorgang der Verdampfung kann somit "adiabat" ablaufen.

Das erstaunliche dabei ist, daß diese Verdampfung nicht in den Gleichgewichtszustand übergeht, also einen Druck annimmt, der der herrschenden Temperatur nach der Dampfdruckkurve entspricht, sondern zumindest bei Wasser wesentlich höhere Drücke erreicht. In den Anfängen der Dampfmaschinentechnik war dies ein gefürchtetes Phänomen, bei dem anfänglicher Siedeverzug zu Kesselexplosionen führen konnte. Die Kessel explodierten bei Wassertemperaturen, auf deren Gleichgewichtsdruck sie durchaus ausgelegt waren.

Das Gegenstück zur überhitzten Flüssigkeit ist der "unterkühlte Dampf". Dämpfe können entweder durch Druckabsenkung oder durch Abkühlung weit unter den Gleichgewichtszustand ihrer Taulinie gebracht werden, ohne daß Kondensation eintritt. Geht dann aber ein solcher Zustand in Kondensation über, spricht man von "spontaner Kondensation". Diese unterscheidet sich von der normalen Gleichgewichtskondensation dadurch, daß sie nicht auf das Abführen der Kondensationswärme angewiesen ist. Der unterkühlte Dampf hat gewissermaßen ein Wärmedefizit, was ihn in die Lage versetzt, die Kondensationswärme selbst aufzunehmen. Wie das spontane Verdampfen kann deshalb auch die spontane Kondensation adiabat verlaufen. Beide Vorgänge entspringen einem "gehemmten" Zustand, der,

nachdem die Hemmung erst einmal überwunden ist, wie ein Kippvorgang eine spontane Eigendynamik entwickeln.

Die mathematische Beschreibung dieser Zustände ist durch die Van der Waalsche Zustandsgleichung gegeben. Diese stellt wie die allgemeine Gasgleichung eine Zustandsfunktion zwischen  $p$ ,  $V$  und  $T$  dar. Unterhalb des kritischen Punktes durchlaufen bei ihr die Isothermen in einem  $p$ - $V$ -Diagramm ein Minimum und ein Maximum und nehmen für einen bestimmten Druck 3 verschiedene Volumina an. (Bild 1, Punkte a, c, e). Dabei ist a das Volumen der Flüssigkeit ( $V'$ ), e das Volumen des Dampfes ( $V''$ ) und c das Volumen eines Zwischenzustandes. In der Literatur wird durchgehend angegeben, daß dieser Zustand in der Praxis nicht erzeugbar sei. Das stimmt nur insofern, als dieser Zustand als Gleichgewichtszustand nicht erzeugbar ist. Er kann aber ganz real durchlaufen werden mittels der oben beschriebenen Kippvorgänge beim spontanen Sieden und bei der spontanen Kondensation.

Beide Vorgänge sind auf einen Wärmeaustausch mit der Umgebung während ihres Ablaufs nicht angewiesen, und — was hier das entscheidende ist — sie gehen nicht in einen zugehörigen Gleichgewichtszustand über, sondern in den jeweils anderen Ungleichgewichtszustand. Aus der überhitzten Flüssigkeit wird spontan unterkühlter Dampf und umgekehrt. Diese Zustände und ihre Eigendynamik lassen sich nun verwenden für einen maschinentechnisch realisierbaren Kreisprozeß, bei dem Wärme in Arbeit umgewandelt wird.

Im Folgenden soll der Kreisprozeß und seine Realisierung prinzipiell unter Verwendung einer Kolbenmaschine beschrieben werden. Anschließend werden einige Details beschrieben, die zur Verbesserung der Maschinenfunktion führen.

Die Kolbenmaschine ist so auszulegen, daß der Kolbenraum in der oberen Kolbenstellung ein geeignetes kleines Restvolumen aufweist. Dieses Restvolumen ist gefüllt mit einer geeigneten Flüssigkeit wie z. B. Wasser, Ammoniak, Propan, Kohlendioxid o. ä. Es herrscht dann in dem Raum der Dampfdruck der Flüssigkeit bei gegebener Temperatur. (Bild 2, Zustand a). Geht nun der Kolben nach unten, so sinkt der Druck ab und die Flüssigkeit wird, obwohl sich ihre Temperatur nicht ändert, überhitzt. Druck und Temperatur stehen nicht mehr im Gleichgewicht. (Bild 3, Zustand b).

Hat dies Ungleichgewicht ein gewisses Maß erreicht, setzt spontane Verdampfung ein und der Druck steigt wieder an. Dieser hohe Druck treibt den Kolben unter Arbeitsleistung nach unten. (Bild 4, Zustand c). Bei Messungen hat sich gezeigt, daß bei Wasser unter  $150^\circ\text{C}$  der Druck während der Expansion über den Ausgangsdruck ansteigt. Bei Ammoniak und Propan bei Zimmertemperatur fällt der Druck anfänglich auf ca. 5 bar ab um dann während der ganzen Kompressionsphase nahezu gleichmäßig auf ca. 6 bar anzusteigen.

In der unteren Stellung ist nun der Kolben festzuhalten um die einsetzende spontane Kondensation abzuwarten. Hier haben sich in der Praxis Wartezeiten von 1 – 2 sec. ergeben. Während dieser Zeit sinkt der Druck ganz erheblich ab, bei Ammoniak von 6 auf 0,2 bar. (Bild 4, Zustand d).

An dieser Stelle sei auf ein wichtiges Detail hingewiesen. Die anfängliche Flüssigkeitsmenge ist so genau zu bestimmen, daß sie gerade beim unteren Totpunkt vollständig verdampft ist. Ist zu wenig Flüssigkeit vorhanden, sinkt der Druck während der Expansionsphase vorzeitig ab, was zu einer geringeren Arbeitsleistung führt.

Ist zuviel vorhanden, verdampft der Rest nach und wirkt damit der Druckabsenkung entgegen, auch dies führt zu einem Arbeitsverlust.

Nach abgeschlossener spontaner Kondensation wird der Kolben wieder nach oben geführt und der Restdampf wird komprimiert. (Bild 5, Zustand e). Dabei steigt der Druck über den Ausgangsdruck an, wodurch auch der Restdampf kondensiert. Damit ist der Ausgangszustand wieder hergestellt bis auf einen wichtigen Punkt, daß nämlich das Kondensat kälter ist als zu Anfang. Es muß also noch Wärme von außen übergehen, um die Anfangsbedingungen zu erreichen.

Dieser ganze Zyklus läßt sich am besten in einem  $p$ - $V$ -Diagramm verfolgen. (Bild 6). Vom Ausgangspunkt a sinkt der Druck bei der Expansion anfänglich rasch ab, um dann wieder anzusteigen. Beim größten Kolbenvolumen sinkt der Druck ab, um mit der Kompression wieder anzusteigen. Dabei kreuzen sich Expansions- und Kompressionskurve. Dadurch bildet das  $p$ - $V$ -Diagramm zwei Flächen. (A und B). Fläche A wird rechtsläufig umfahren, das heißt, sie stellt einen Arbeitsgewinn dar; Fläche B wird linksläufig umfahren, das heißt, sie stellt einen Arbeitsverlust dar. Der Arbeitsgewinn des gesamten Zyklus ist damit gleich der Differenz der Flächen A – B.

Messungen haben ergeben, daß hier ein hoher Wirkungsgrad erzielt werden kann.

Obwohl die Maschine wie beschrieben mit Wasser durchaus funktionsfähig ist, ist für andere Stoffe die im Bild dargestellte Erweiterung vorteilhaft. Damit werden vier wesentliche Verbesserungen erreicht:

1. Es wird eine rasche und vollständige Verdampfung erreicht.
2. Eine genaue Dosierung der Flüssigkeitsmenge wird ermöglicht.
3. Die negative Druckspitze am Ende der Kompression wird verhindert.
4. Ein guter Wärmeübergang von außen auf die Flüssigkeit wird ermöglicht.

Der Kolbenraum steht über ein Rückschlagventil mit einem "Pufferraum" in Verbindung. In diesem Raum herrscht der Dampfdruck bei der gegebenen Temperatur. Erreicht die Kompressionskurve diesen Druck, öffnet sich das Rückschlagventil und der Dampf entweicht in den Pufferraum ohne Bildung der Druckspitze. Der Pufferraum kann beliebig groß sein und gibt damit die Möglichkeit, durch große Wärmetauscherflächen das Kondensat nahe an die Temperatur zu erwärmen, mit der die Zuwärme zur Verfügung steht. (z. B. Zimmertemperatur bei Ammoniak).

Das Kondensat fließt dann erwärmt in eine Dosierpumpe und von dort über eine Leitung in eine Einspritzdüse, bei der die handelsüblichen Dieseldüsen sehr brauchbar sind. Diese sind verschlossen und öffnen erst bei Druckbeaufschlagung durch das einzuspritzende Medium. Die Dosierpumpe muß nun so angesteuert werden, daß bei heruntergehenden Kolben eine exakt bemessene Flüssigkeitsmenge gefördert wird. Auch hier ist die ausgereifte "Dieseltechnik" verwendbar.

#### Patentansprüche

1. Mit einem Kreisprozeß arbeitende Wärmekraftmaschine, enthaltend
  - a) einen durch einen beweglichen Wandungsteil abgeschlossenen Raum, dessen Volumen

- in einer ersten Arbeitsphase von einem inneren Totpunkt durch Auswärtsbewegung der Wandungsteile bis zu einem äußeren Totpunkt vergrößert und
- in einer zweiten Arbeitsphase durch Einwärtsbewegung der Wandungsteile wieder auf das Ausgangsvolumen im inneren Totpunkt verkleinert wird,

**dadurch gekennzeichnet, daß**

- b) in dem Raum eine Menge einer verdampfbaren Flüssigkeit bei einer Ausgangstemperatur vorgesehen ist,
  - c) bei der Ausdehnung des Raumes in der ersten Arbeitsphase
    - zunächst adiabatisch der Druck der Flüssigkeit verringert wird, so daß eine überhitzte Flüssigkeit entsteht,
    - bei weiterer Ausdehnung des Raumes eine spontane Verdampfung der überhitzten Flüssigkeit eintritt, so daß die bewegliche Wandung durch den entstehenden Druck unter Arbeitsleistung nach außen gedrückt wird, wobei sich der Dampf abkühlt und einen unterkühlten Dampf bildet,
  - d) Mittel zur Einleitung einer spontanen Kondensation des unterkühlten Dampfes, so daß ein plötzlicher Druckabfall in dem Raum eintritt,
  - e) die beweglichen Wandungsteile unter Kondensation des Restdampfes zum inneren Totpunkt bewegbar sind und
  - f) das abgekühlte Kondensat durch Wärmezufuhr mittels eines Wärmeaustauschers auf die Ausgangstemperatur erwärmbar ist.
2. Wärmekraftmaschine nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß zur Einleitung der spontanen Kondensation die Bewegung der beweglichen Wandungsteile im unteren Totpunkt für eine vorgegebene Zeitspanne angehalten wird.
3. Wärmekraftmaschine nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß der abgeschlossene Raum einen Zylinder umfaßt und die beweglichen Wandungsteile von einem in dem Zylinder gleitbeweglichen Kolben gebildet sind.
4. Wärmekraftmaschine nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß der abgeschlossene Raum mit einem Flüssigkeitsreservoir verbunden ist, welches mit dem Zylinder über ein Rückschlagventil verbunden ist, so daß bei der Bewegung des Kolbens zum oberen Totpunkt hin Restdampf mit kondensierter Flüssigkeit über das Rückschlagventil in das Flüssigkeitsreservoir gedrückt wird, und daß Flüssigkeit aus dem Flüssigkeitsreservoir durch eine Dosierpumpe und eine Einspritzdüse wieder in den Zylinder einspritzbar ist.
5. Wärmekraftmaschine nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß der Wärmeaustauscher zwischen Rückschlagventil und Flüssigkeitsreservoir angeordnet ist.
6. Wärmekraftmaschine nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß die bei jedem Zyklus in dem abgeschlossenen Raum enthaltene Menge der verdampfbaren Flüssigkeit so bemessen ist, daß sie im äußeren Totpunkt der beweglichen Wandungsteile gerade vollständig verdampft ist.
7. Wärmekraftmaschine nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß die verdampfbare Flüssigkeit Wasser ist.

8. Wärmekraftmaschine nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß die verdampfbare Flüssigkeit Ammoniak ist.
9. Wärmekraftmaschine nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß die verdampfbare Flüssigkeit Propan ist.
10. Wärmekraftmaschine nach einer der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß die verdampfbare Flüssigkeit Kohlendioxid ist.

---

Hierzu 2 Seite(n) Zeichnungen

---

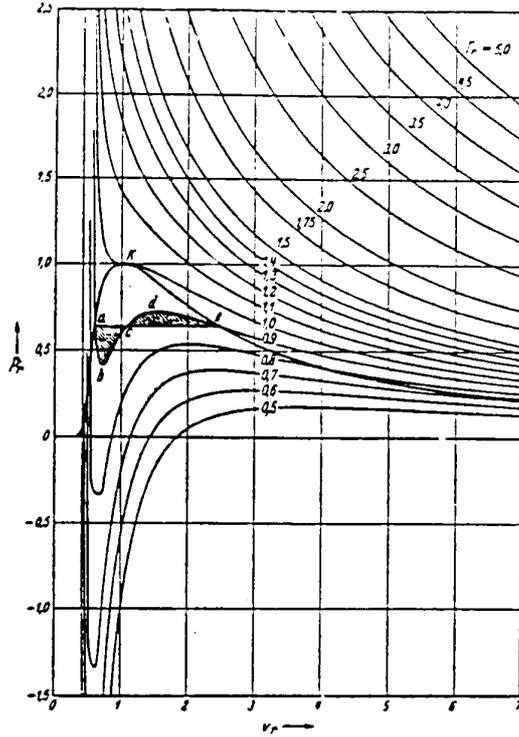


Bild 1

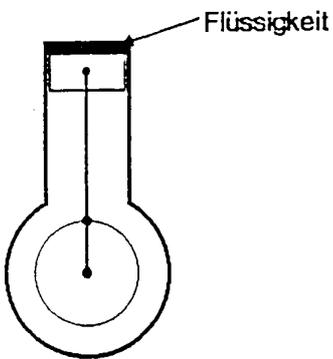


Bild 2

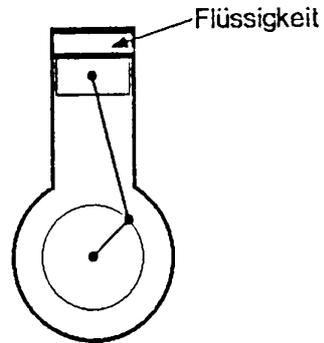


Bild 3

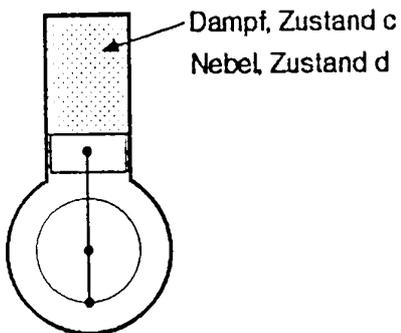


Bild 4

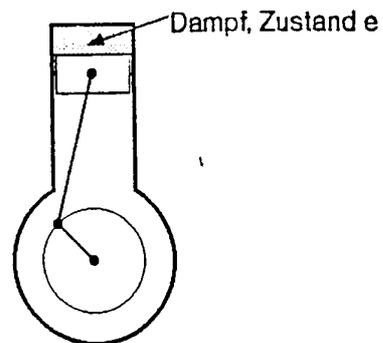


Bild 5

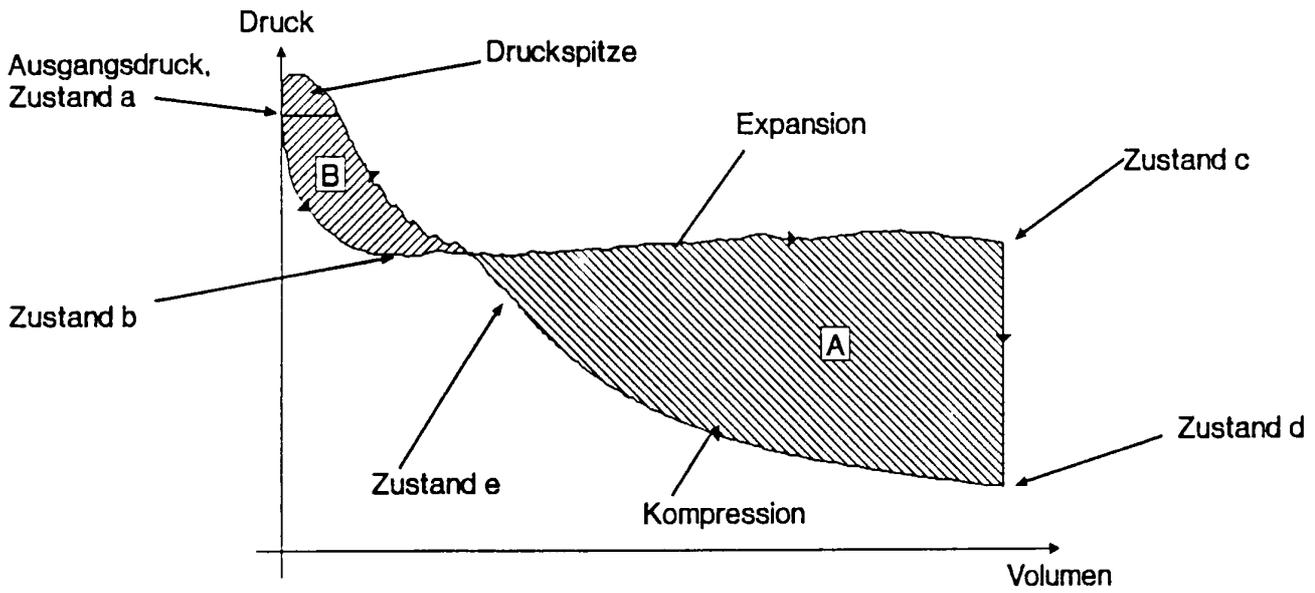


Bild 6

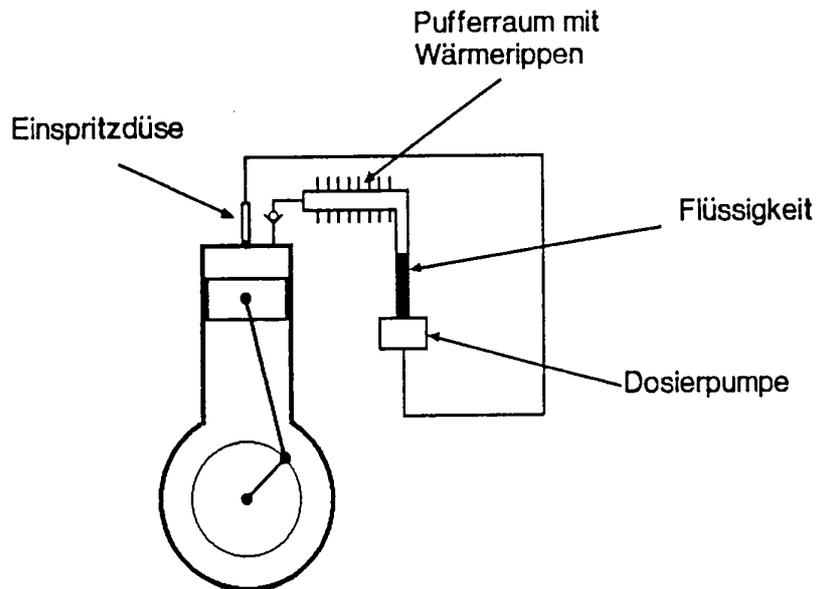


Bild 7