



19 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT

12 **Offenlegungsschrift**  
10 **DE 100 52 993 A 1**

51 Int. Cl. 7:  
F 01 K 25/06

21 Aktenzeichen: 100 52 993.3  
22 Anmeldetag: 18. 10. 2000  
43 Offenlegungstag: 2. 5. 2002

DE 100 52 993 A 1

71 Anmelder:  
Dökowa Gesellschaft zur Entwicklung  
dezentralökologischer Energiewandler mbH u. Co.  
KG, 10115 Berlin, DE

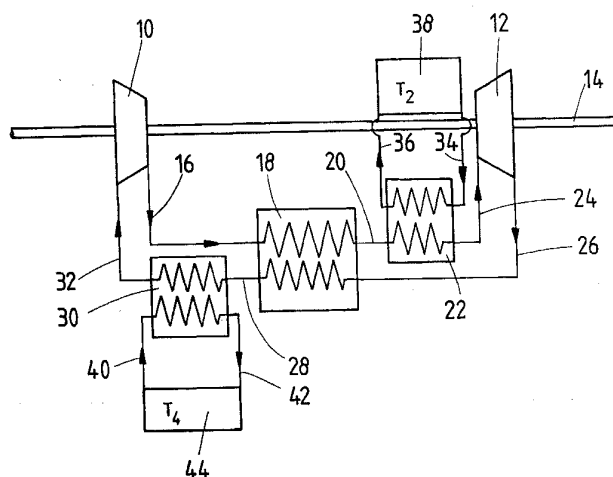
74 Vertreter:  
Weisse und Kollegen, 42555 Velbert

72 Erfinder:  
Schaeffer, Bernhard, 14169 Berlin, DE

**Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen**

54 Verfahren und Vorrichtung zur Umwandlung von thermischer Energie in mechanische Energie

57 Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Wärmekraftmaschine zur Umwandlung von thermischer Energie in mechanische Energie, wobei die Wärmekraftmaschine mit einem Kreisprozeß arbeitet, bei welchem ein Arbeitsmedium abwechselnd eine Kompressionsphase und eine Expansionsphase durchläuft. Der Wirkungsgrad der Wärmekraftmaschine wird erhöht, indem das Arbeitsmedium während der thermischen Kompression im wesentlichen vollständig verflüssigt wird. Als Arbeitsmedium kann ein Mehrstoffgemisch verwendet werden, beispielsweise ein Gemisch aus Wasser und Benzol oder Benzin.



DE 100 52 993 A 1

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren nach dem Oberbegriff des Anspruchs 1 sowie eine Wärmekraftmaschine nach dem Oberbegriff des Anspruchs 11, des Anspruchs 20 bzw. des Anspruchs 21.

[0002] Solche Verfahren bzw. Wärmekraftmaschinen setzen zugeführte Wärmeenergie in Arbeit um. Der Wirkungsgrad einer Wärmekraftmaschine ist definiert als das Verhältnis von geleisteter Arbeit  $A$  zu zugeführter Wärmeenergie  $Q_{zu}$ ,

$$\eta = A/Q_{zu} \quad (1)$$

[0003] Bei einem idealisierten Kreisprozeß ohne Verluste, beispielsweise nach Carnot, läßt sich zeigen, daß

$$\eta = A/Q_{zu} = (Q_{zu} - Q_{ab})/Q_{zu},$$

wobei  $Q_{ab}$  die abgeführte Wärmeenergie ist.

#### Zugrundeliegender Stand der Technik

[0004] Solche Wärmekraftmaschinen sind beispielsweise als sogenannte Heißluftmaschinen allgemein bekannt und in vielen Lehrbücher der Thermodynamik beschrieben, beispielsweise "Thermodynamik" von E. Schmidt, 9. Auflage, Springer-Verlag 1962, S. 132–138. Zwei Kolbenmaschinen (oder Turbomaschinen) sind über ein Leitungssystem mit zwei Wärmetauschern miteinander verbunden. In den Kolbenmaschinen, das Leitungssystem und die Wärmetauscher befindet sich Luft als Arbeitsmedium. Je nach Aufbau der Heißluftmaschine kann das Arbeitsmedium verschiedene Prozesse durchlaufen. Beispielsweise kann die Kompression und Expansion adiabatisch (Joule-Prozeß) oder isotherm (Ericson-Prozeß) verlaufen. In der Praxis sind solche idealisierte Prozesse jedoch nur annähernd durchführbar.

[0005] In mehreren verschiedenen Druckschriften sind Wärmekraftmaschinen offenbart, durch welche der Wirkungsgrad der Wärmekraftmaschine verbessert werden soll:

[0006] Die DE 41 01 500 A1 offenbart eine mit einem Kreisprozeß arbeitende Wärmekraftmaschine mit einer Zylinderkammer, die durch einen Kolben begrenzt ist. In der Zylinderkammer ist eine Menge einer verdampfenden Flüssigkeit als Arbeitsmedium 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. Im unteren Totpunkt wird die Bewegung des Kolbens für eine vorgegebene Zeitspanne angehalten. Dadurch wird eine Kondensation des unterkühlten Dampfes der Flüssigkeit eingeleitet. Dies führt zu einem plötzlichen Druckabfall. In einer zweiten Arbeitsphase wird dann der Kolben zum inneren Totpunkt bewegt. Das abgekühlte Kondensat wird mittels eines Wärmetauschers auf die Ausgangstemperatur erwärmt. Bei der DE 41 01 500 A1 besteht das Arbeitsmedium nur aus einer Komponente.

[0007] Durch die DE 42 44 016 C2 ist eine Wärmekraftmaschine der eingangs genannten Art bekannt, bei welcher das Arbeitsmedium ein Zweistoffgemisch aus Stickstoff und Butan ist. Die Wärmekraftmaschine besteht aus einem auf einer Temperatur von 104,5°C gehaltenen Kessel und einem mit dem Kessel und einem in Kessel angeordneten Wärmetauscher verbundenen Zylinder, welcher von einem Kolben abgeschlossen ist. Das Verhältnis der Konzentrationen von Stickstoff und Butan sowie die Ausgangstemperatur (Kes-

seltemperatur) werden dabei so gewählt, daß das Zweistoffgemisch bei der Ausgangstemperatur im Bereich der retrograden Kondensation und die Ausgangstemperatur zwischen den kritischen Temperaturen von Stickstoff und Butan liegt. Durch Verwendung eines solchen Zweistoffgemisches soll der Wirkungsgrad einer Wärmekraftmaschine verbessert werden. Dies wird dadurch erreicht, daß die Expansion des Volumens des Zweistoffgemisches im Bereich der retrograden Kondensation so schnell erfolgt, daß die Kondensatbildung verzögert wird. Im äußeren Totpunkt des Kolbens geht das System aus diesem instabilen Zustand über. Durch ein dabei auftretendes, besonderes Verhalten des Zweistoffgemisches (Abknickung der Isobaren an der Phasengrenze), ist dies mit einem Druckabfall verbunden. Dies erhöht die geleistete Arbeit bei gegebener Wärmezufuhr und verbessert also den Wirkungsgrad der Wärmekraftmaschine.

[0008] Durch die US-A-4 242 870 ist ebenfalls eine Wärmekraftmaschine der eingangs genannten Art bekannt. Diese Druckschrift befaßt sich mit dem Problem des durch die Verdampfungseigenschaften des Arbeitsmediums auftretenden, ineffizienten Ausnutzens der Wärme des Wassers beim Wärmeaustausch in einem Wärmetauscher. Um die Wärme des wärmenden Wassers so effektiv wie möglich zu nutzen, sollte die Temperaturdifferenz zwischen dem wärmenden Wasser und dem Arbeitsmedium in jedem Punkt des Wärmetauschers möglichst konstant sein. Dies kann durch ein Zweistoffgemisch erreicht werden, bei welchem die chemischen Komponenten so gewählt und gemischt werden, daß die Mischung keine konstante Siedetemperatur aufweist, sondern vielmehr über einen gewünschten Bereich von steigender Temperatur verdampft. Dabei ist es wichtig, daß das Zweistoffgemisch ein bestimmtes Verhalten im T-H-Diagramm bei der Erwärmung in dem Wärmetauscher zeigt. Es wird gezeigt, daß ein Zweistoffgemisch aus 35 Mol% Isobutan in Propan diese Bedingungen erfüllt.

[0009] Durch die CH-A-237 849 ist ebenfalls eine Wärmekraftmaschine der eingangs genannten Art bekannt. Es ist dort gefunden worden, daß die Verwendung von Helium in Kombination mit einem weiteren Gas als Arbeitsmedium günstig ist. Dabei wird als Auswahlkriterium für das weitere Gas angegeben, daß das mittlere Molekulargewicht des Gasgemisches zwischen minimal 5 und maximal 15 und dessen Schallgeschwindigkeit bei Normaltemperatur zwischen 500 m/s und 900 m/s liegen soll.

[0010] Die DE 198 04 845 A1 offenbart ein Verfahren der eingangs genannten Art. Dabei wird ein Kreisprozeß beschrieben, bei welchem eine direkte Umwandlung thermischer Energie in mechanische Energie ohne Wärmeabgabe nach außen erfolgen soll. Als Arbeitsmedium wird ein Mehrstoffgemisch verwendet, das unter bestimmten Bedingungen eine retrograde Kondensation zeigt. Das Arbeitsmedium expandiert im Gebiet der retrograden Kondensation unter Arbeitsleistung. Nach der Entspannung erfolgt eine Trennung der Phasen, wobei die Rückführung der Dampfphase über Verdichtung und die Rückführung der flüssigen Phase durch Pumpenförderung auf den Ausgangsdruck durchgeführt wird. Im Verlauf der Rückvermischung wird thermische Energie zugeführt. Als Mehrstoffgemisch wird eine Mischung aus Butan und Stickstoff oder Kohlendioxid und Stickstoff angegeben. Die DE 196 08 300 offenbart ein ähnliches Verfahren, wobei jedoch eine Wärmeabgabe nach außen erfolgt.

[0011] Die Eigenschaften von Mehrstoffgemischen sind beispielsweise beschrieben in einem Buch von Stephan und Maying "Thermodynamik Grundlagen und technische Anwendungen", 11. Auflage, Band 2, Springer-Verlag, insbesondere S. 59–67.

[0012] Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, den Wirkungsgrad eines Verfahrens bzw. einer Wärmekraftmaschine der eingangs genannten Art zu verbessern.

[0013] Erfindungsgemäß wird diese Aufgabe jeweils durch die im kennzeichnenden Teil der Ansprüche 1, 11, 20 bzw. 21 aufgeführten Merkmale gelöst.

[0014] Bei Wärmekraftmaschinen der hier vorliegenden Art wird dem Arbeitsmedium in verschiedenen Teilbereichen des Kreisprozesses Wärme zu- und abgeführt. Dabei kann ein Teil der in einem Teilbereich des Kreisprozesses abzuführenden Wärme wieder in einem anderen Teilbereich des Kreisprozesses zugeführt werden, d. h. diese abzuführende Wärme geht nicht verloren, sondern bleibt intern in dem System. Für den Wirkungsgrad ist es dann natürlich günstig, wenn diese interne Wärme möglichst groß und die abgeführte Wärme möglichst klein gehalten werden kann (s. Gl. 2).

[0015] Durch eine Verflüssigung des Arbeitsmediums während der adiabatischen Expansion und/oder während der thermischen Kompression ist es möglich, solche günstige Bedingungen zu erzielen. Der in diesen Phasen verflüssigte Teil des Arbeitsmediums wird dann adiabatisch komprimiert, wobei weder das Volumen noch die Temperatur des flüssigen Teil des Arbeitsmediums dabei wesentlich verändert wird.

[0016] Besonders günstige Bedingungen können erreicht werden, wenn der flüssige Teil des Arbeitsmediums von dem gasförmigen Teil des Arbeitsmediums unmittelbar nach der adiabatischen Expansion und/oder während der thermischen Kompression getrennt wird. Der flüssige Teil wird kann dann adiabatisch durch eine Speisepumpe komprimiert werden, ohne dabei gleichzeitig den gasförmigen Teil zu komprimieren. Da das dann flüssige Arbeitsmedium während der anschließenden Druckerhöhung (wegen der Inkompressibilität von Flüssigkeiten) nicht komprimiert wird und auch keine Temperaturerhöhung erfährt, ist es möglich, einen größeren Teil der dem Arbeitsmedium zu entziehenden Wärme dem System wieder zuzuführen.

[0017] Weiterhin ist es günstig, wenn das Arbeitsmedium in der Kompressionsphase vollständig verflüssigt wird, und zwar nach der thermischen Kompression und vor der adiabatischen Druckerhöhung.

[0018] Bei einer Kraftmaschine der eingangs erwähnten Art kann die Verflüssigung des Arbeitsmediums durch Verwendung eines Mehrstoffgemisches erreicht werden. Mehrstoffgemische haben gegenüber Monostoffen u. a. den Vorteil, daß sie mehr Freiheitsgrade haben. Dies ergibt sich aus der bekannten Gibbsschen Phasenregel, wonach die Anzahl der Freiheitsgrade mit der Anzahl der Komponenten des Mehrstoffgemisches steigt. Durch dieses Verhalten ist die Temperatur des Arbeitsmediums nicht wie bei Monostoffen bei vorgegebenem Druck und Volumen festgelegt. Durch diese Tatsache ist es u. a. möglich, während der adiabatischen Expansion einen geringen Temperaturabfall des Arbeitsmediums zu erzielen. Dies ist ein entscheidender Aspekt der Erfindung und wird später ausführlicher erklärt.

[0019] Die im wesentlichen vollständige Verflüssigung des Arbeitsmediums vor der Expansionsphase erfolgt also durch geeignete Wahl des Arbeitsmediums, des Arbeitsdruckbereichs und des Arbeitstemperaturbereichs der Wärmekraftmaschine. Dabei ist es günstig, das Arbeitsmedium so zu wählen, daß der Arbeitsdruckbereich und der Arbeitstemperaturbereich in dem bei Wärmekraftmaschinen üblichen Rahmen liegen. Zu niedrige oder zu hohe Drücke bzw. Temperaturen setzen nämlich sehr aufwendige apparative Maßnahmen voraus.

[0020] Es hat sich experimentell gezeigt, daß es Mehrstoffgemische gibt, welche dies erlauben. Die Stoffauswahl des Mehrstoffgemisches erfolgt vorzugsweise so, daß die Siedepunkte der einzelnen Stoffe des Mehrstoffgemisches innerhalb des Temperatur- und Druckbereichs der arbeitenden Wärmekraftmaschine liegen. Dies ermöglicht die vollständige Verflüssigung des Arbeitsmediums während der thermischen Expansion. Die Stoffauswahl des Mehrstoffgemisches kann jedoch auch so erfolgen, daß die Mischung endotherm ist, d. h. die Mischungsenthalpie ist positiv bei einer gegebenen Phase der Stoffe.

[0021] Solche Verhalten zeigt beispielsweise ein Mehrstoffgemisch aus Wasser und Benzin bzw. Benzol in einem Mischungsverhältnis von ungefähr 10–30 Gew.-% Wasser und 70–90 Gew.-% Benzin bzw. Benzol oder ein Mehrstoffgemisch aus Wasser und Butan in einem Mischungsverhältnis von ungefähr 5–10 Gew.-% Wasser und 90–95 Gew.-% Butan.

[0022] Ausführungsbeispiele der Erfindung sind nachstehend unter Bezugnahme auf die zugehörigen Zeichnungen näher erläutert.

#### Kurze Beschreibung der Zeichnungen

[0023] Fig. 1 ist eine schematische Darstellung und zeigt eine Wärmekraftmaschine der hier vorliegenden Art.

[0024] Fig. 2 zeigt in einem p-V-Diagramm die Zustandsänderungen des Arbeitsmediums bei einem Kreisprozeß in einer Wärmekraftmaschine nach dem Stand der Technik.

[0025] Fig. 3 zeigt in einem T-S-Diagramm die Zustandsänderungen des Arbeitsmediums bei einem Kreisprozeß in einer Wärmekraftmaschine nach dem Stand der Technik.

[0026] Fig. 4 zeigt in einem p-V-Diagramm die Zustandsänderungen des Arbeitsmediums bei einem Kreisprozeß in einer erfindungsgemäßen Wärmekraftmaschine.

[0027] Fig. 5 zeigt in einem T-S-Diagramm die Zustandsänderungen des Arbeitsmediums bei einem Kreisprozeß in einer erfindungsgemäßen Wärmekraftmaschine.

#### Vergleich der Erfindung mit dem Stand der Technik

[0028] Anhand von Fig. 1 soll die Wirkungsweise eines Ausführungsbeispiels einer Wärmekraftmaschine beschrieben werden. Eine erste Turbine ist mit **10** und eine zweite Turbine mit **12** bezeichnet. Durch die beiden Turbinen **10** und **12** streckt sich eine Welle **14**. An der Welle **14** kann beispielsweise ein (nicht gezeigter) Generator zur Stromerzeugung angeschlossen sein. Dabei befindet sich die erste Turbine **10** an der sogenannten kalten Seite und die zweite Turbine **12** an der sogenannten warmen Seite der Wärmekraftmaschine.

[0029] Die beiden Turbinen **10** und **12** sind über ein Leitungssystem miteinander verbunden. Eine erste Leitung **16** verbindet die erste Turbine **10** mit dem Eingang der kalten Seite eines ersten Wärmetauschers **18**. Der Ausgang der warmen Seite des ersten Wärmetauschers **18** ist über eine Leitung **20** mit dem Eingang der kalten Seite eines zweiten Wärmetauschers **22** verbunden. Der Ausgang der warmen Seite des zweiten Wärmetauschers **22** ist über eine Leitung **24** mit der zweiten Turbine **12** verbunden. Eine Leitung **26** verbindet die zweite Turbine **12** mit dem Eingang der warmen Seite des ersten Wärmetauschers **18**. Der Ausgang der kalten Seite des ersten Wärmetauschers **18** ist über eine Leitung **20** mit dem Eingang der warmen Seite eines dritten Wärmetauschers **30** verbunden. Der Ausgang der kalten Seite des dritten Wärmetauschers **30** ist über eine Leitung **32** mit der ersten Turbine **10** verbunden. Dieses System bildet ein geschlossenes System, in welchem das Arbeitsmedium

der Wärmekraftmaschine eingeschlossen ist. Das Arbeitsmedium fließt in Richtung der Pfeile in **Fig. 1**.

**[0030]** Der Eingang der warmen Seite und der Ausgang der kalten Seite des zweiten Wärmetauschers **22** sind über Leitungen **34** und **36** mit einem ersten Kessel **38** verbunden. Der Eingang der kalten Seite und der Ausgang der warmen Seite des dritten Wärmetauschers **30** sind über Leitungen **40** und **42** mit einem zweiten Kessel **44** verbunden. Der erste Kessel **38** wird auf eine Temperatur  $T_2$  gehalten. Der zweite Kessel **44** wird auf eine Temperatur  $T_4$  gehalten, wobei  $T_2 > T_4$  ist.

**[0031]** Das Arbeitsmedium wird in der ersten Turbine **10** auf den Druck  $p_1$  komprimiert. Es fließt dann über die Leitung **16** in den ersten Wärmetauscher **18**. Hier wird das Arbeitsmedium von der Temperatur  $T_1$  auf eine Temperatur  $T_w$  erwärmt. Dies erfolgt im Gegenstromverfahren durch gleichzeitige Abkühlung des von der zweiten Turbine **12** kommenden Arbeitsmediums. Das Arbeitsmedium fließt dann weiter über die Leitung **20** in den zweiten Wärmetauscher **22**. Hier wird das Arbeitsmedium von der Temperatur  $T_w$  auf die Temperatur  $T_2$  erwärmt. Dies erfolgt im Gegenstromverfahren durch gleichzeitige Abkühlung des von dem ersten Kessel **38** kommenden Mediums. In der zweiten Turbine **12** wird das Arbeitsmedium dann entspannt, wodurch Arbeit geleistet wird. Das Arbeitsmedium verläßt die zweite Turbine **12** unter dem Druck  $p_3$  und mit der Temperatur  $T_3$ . Es fließt über die Leitung **26** in den ersten Wärmetauscher **18** und wird hier auf eine Temperatur  $T_k$  abgekühlt. Das Arbeitsmedium fließt dann weiter über die Leitung **28** in den dritten Wärmetauscher **30**. Hier wird das Arbeitsmedium von der Temperatur  $T_k$  auf die Temperatur  $T_4$  abgekühlt. Dies erfolgt im Gegenstromverfahren durch gleichzeitige Erwärmung des von dem zweiten Kessel **44** kommenden Mediums. Durch den ersten Wärmetauscher **18** ist es nicht möglich, das Arbeitsmedium aus der Leitung **16** auf die Temperatur  $T_2$  des Arbeitsmediums aus der Leitung **26** zu erwärmen oder das Arbeitsmedium aus der Leitung **26** auf die Temperatur  $T_1$  des Arbeitsmediums aus der Leitung **16** abzukühlen. Es gilt also immer  $T_2 > T_w > T_k > T_1$ .

**[0032]** In dem beschriebenen Ausführungsbeispiel arbeitet die erste Turbine **10** als Verdichter und die zweite Turbine **12** als Maschine. Über die Welle **14** wird die Turbine **10** von der Turbine **12** angetrieben. Es sei erwähnt, daß nicht nur Turbinen verwendet werden können, sondern beispielsweise auch Kolbenmaschinen. Weiterhin sei erwähnt, daß die hier beschriebene Wärmekraftmaschine nach dem sogenannten Joule-Prozeß arbeitet. Die Erfindung ist aber nicht beschränkt auf Wärmekraftmaschinen, welche nach diesem Arbeitsdiagramm arbeiten, sondern findet für alle Wärmekraftmaschinen Anwendung.

**[0033]** Die soweit bzgl. **Fig. 1** beschriebene Wärmekraftmaschine entspricht dem Stand der Technik, kann jedoch auch bei den unten beschriebenen Ausführungsbeispielen der Erfindung eingesetzt werden. Zur besseren Klarstellung des erfindungsgemäßen Verfahrens und der erfindungsgemäßen Vorrichtung soll der Ablauf eines Kreisprozesses nach dem Stand der Technik mit dem erfindungsgemäßen Ablauf des Kreisprozesses verglichen werden. **Fig. 2** und **3** zeigen die Zustandsänderungen des Arbeitsmediums bei einem Kreisprozeß in einer Wärmekraftmaschine nach dem Stand der Technik, während **Fig. 4** und **5** die Zustandsänderungen des Arbeitsmediums bei einem Kreisprozeß in einer erfindungsgemäßen Wärmekraftmaschine zeigen.

**[0034]** Das Arbeitsmedium verläßt die erste Turbine **10** unter einem Druck  $p_1$  und mit einer Temperatur  $T_1$ . Dies entspricht dem Punkt I in **Fig. 2-5**. In einer ersten Arbeitsphase wird das Arbeitsmedium annähernd isobar ( $p_1 = p_2$ ) von der Temperatur  $T_1$  auf eine Temperatur  $T_2$  erwärmt, wobei das

Volumen des Arbeitsmediums von einem Volumen  $V_1$  auf ein Volumen  $V_2$  zunimmt. Dabei wird in dem ersten Wärmetauscher **18** die Temperatur des Arbeitsmediums von  $T_1$  auf  $T_w$  und in dem zweiten Wärmetauscher **22**  $T_w$  auf  $T_2$  erhöht.

**[0035]** In einer zweiten Arbeitsphase wird das Arbeitsmedium annähernd adiabatisch von dem Druck  $p_2$  auf einem Druck  $p_3$  entspannt und von dem Volumen  $V_2$  auf ein Volumen  $V_3$  expandiert, wobei die Temperatur von der Temperatur  $T_2$  auf die Temperatur  $T_3$  abnimmt.

**[0036]** In einer dritten Arbeitsphase wird das Arbeitsmedium annähernd isobar ( $p_3 = p_4$ ) von der Temperatur  $T_3$  auf die Temperatur  $T_4$  abgekühlt, wobei das Volumen des Arbeitsmediums von dem Volumen  $V_3$  auf ein Volumen  $V_4$  abnimmt.

**[0037]** In einer vierten Arbeitsphase wird das Arbeitsmedium annähernd adiabatisch unter Druck gesetzt, so daß sich der Druck von  $p_4$  auf  $p_1$  steigt. Bei dem Kreisprozeß nach dem Stand der Technik (**Fig. 2** und **3**) wird das Arbeitsmedium erst im Punkt I vollständig verflüssigt. Dies führt dazu, daß das dann gas- oder dampfförmige Arbeitsmedium bei der Druckerhöhung von  $p_4$  (Punkt IV) auf  $p_1$  (Punkt I) komprimiert wird, wobei sich das Volumen ändert (von  $V_4$  auf  $V_1$ ) und wodurch die Temperatur des Arbeitsmediums steigt (von  $T_4$  auf  $T_1$ ). Dieser Anstieg der Temperatur wird in dem T-S-Diagramm in **Fig. 3** sehr deutlich. Bei dem erfindungsgemäßen Kreisprozeß (**Fig. 4** und **5**) hingegen wird das Arbeitsmedium schon während der adiabatischen Expansion von Punkt II nach Punkt III und/oder während der thermischen Kompression von Punkt III nach Punkt IV verflüssigt und kann dann im Punkt IV sogar im wesentlichen vollständig verflüssigt sein. Dies führt dazu, daß das Arbeitsmedium bei der Druckerhöhung von Punkt IV auf Punkt I nicht komprimiert wird, so daß auch die Temperatur des Arbeitsmediums während dieser Druckerhöhung nicht oder nur unwesentlich steigt, d. h.  $T_4 \approx T_1$ . Dies wird in dem T-S-Diagramm in **Fig. 5** sehr deutlich, in welchem die Punkte I und IV dann zusammenfallen.

**[0038]** Weiterhin zeigen die bei der Erfindung verwendeten Mehrstoffgemische auch bei der adiabatischen Expansion ein günstiges Verhalten. Es hat sich nämlich gezeigt, daß die Temperatur dieser Mehrstoffgemische bei vorgegebener Drücken während der adiabatischen Expansion weniger sinkt als bei sonstigen Stoffen, d. h. die Differenz  $T_3 - T_2$  wird kleiner. Dieses Verhalten wird insbesondere bei endotherme Mischungen beobachtet. Bei solchen Mischungen kann der Druck- und Temperaturbereich so gewählt werden, daß das Arbeitsmedium während der adiabatischen Expansion teilweise verflüssigt wird. Auch dies erhöht die mögliche interne Wärmeübertragung mittels des Wärmetauschers **18** und wird durch einen Vergleich der **Fig. 3** und **5** deutlich. Dabei kann erreicht werden, daß mehr als 30% des Arbeitsmediums nach der adiabatischen Expansion verflüssigt ist.

**[0039]** Durch einen Vergleich der **Fig. 2** und **4** erkennt man weiterhin, daß die geleistete Arbeit (= Fläche der geschlossenen Kurve) bei dem erfindungsgemäßen Kreisprozeß größer ist. Auch dies liegt daran, daß die übliche Verdichtung von Gas beim Übergang von  $p_4$  (Punkt IV) auf  $p_1$  (Punkt I) im wesentlichen entfällt, da keine oder nur eine unwesentliche Gasphase vorhanden ist.

**[0040]** Eine wesentliche Bedeutung der Erfindung stellt die kleine oder nicht vorhandene Temperaturdifferenz des Arbeitsmediums bei der Druckerhöhung dar. Diese Tatsache wird insbesondere durch einen Vergleich der beiden T-S-Diagramme der **Fig. 3** und **5** deutlich, in welchen auch die Verlustwärme  $\Delta T_v$  der jeweiligen Wärmetauscher **18** und **30** (**Fig. 1**) angedeutet ist. Bei dem erfindungsgemäßen Prozeß kann die abgeführte Wärme  $Q_{ab}$  bzw.  $T_{ab}$  sehr klein gehalten

werden. Dadurch wird die Wärmemenge  $Q_{\text{intern}}$  bzw.  $T_{\text{intern}}$ , welche durch den Wärmetauscher **18** (Fig. 1) innerhalb des Systems übertragen wird, sehr viel größer. Im Idealfall ist dann  $Q_{\text{ab}}$  bzw.  $T_{\text{ab}}$  nicht von Stoffparametern abhängig, sondern entspricht lediglich der Verlustwärme  $\Delta T_v$  des Wärmetauschers **30** (Fig. 1) selbst.

#### Bevorzugte Ausführung der Erfindung

**[0041]** Wie oben schon erwähnt, erfolgt die im wesentlichen vollständige Verflüssigung des Arbeitsmediums während der thermischen Kompression durch geeignete Wahl des Arbeitsmediums, des Arbeitsdruckbereichs und des Arbeitstemperaturbereichs der Wärmekraftmaschine.

**[0042]** In den hier dargestellten Ausführungsbeispielen wird als Arbeitsmedium ein Mehrstoffgemisch verwendet. In verschiedenen Experimenten hat es sich gezeigt, das Stoffgemische aus ca. 10–30 Gew.-% Wasser und 70–90 Gew.-% Benzin oder Benzol sehr günstige Bedingungen bzgl. Druck- und Temperaturbereich erlauben. Dabei kann nahezu jede Art von Benzin verwendet werden.

**[0043]** Im folgenden werden einige experimentell bestätigten Ausführungsbeispiele des Mehrstoffgemisches in Kombination mit den relevanten Druck- und Temperaturbereichen aufgeführt (vgl. Fig. 4 und 5):

1. Ein Mehrstoffgemisch aus 26 Gew.-% Wasser und 74 Gew.-% Benzin (mit einem Siedebereich von ca.  $40^\circ\text{C} - 60^\circ\text{C}$ ) mit  $p_1 = 7$  bar,  $p_3 = 2,3$  bar,  $T_2 = 150^\circ\text{C}$ ,  $T_3 = 126^\circ\text{C}$  und  $T_4 = T_1 = 90^\circ\text{C}$ .
2. Ein Mehrstoffgemisch aus 15 Gew.-% Wasser und 85 Gew.-% Benzin mit  $p_1 = 5,5$  bar,  $p_3 = 2$  bar,  $T_2 = 130^\circ\text{C}$ ,  $T_3 = 116^\circ\text{C}$  und  $T_4 = T_1 = 70^\circ\text{C}$ .
3. Ein Mehrstoffgemisch aus 5–10 Gew.-% Wasser und 90–95 Gew.-% Butan mit  $p_1 = 5$  bar,  $p_3 = 1,8$  bar,  $T_2 = 68^\circ\text{C}$ ,  $T_3 = 52^\circ\text{C}$  und  $T_4 = T_1 = 20^\circ\text{C}$ .

**[0044]** Bei Verwendung von Benzol statt Benzin sind die Drücke vorzugsweise etwas höher zu wählen.

#### Patentansprüche

1. Verfahren zur Umwandlung von thermischer Energie in mechanische Energie in einer mit einem Kreisprozeß arbeitenden Wärmekraftmaschine, bei welchem ein Arbeitsmedium abwechselnd eine Expansionsphase und eine Kompressionsphase durchläuft, wobei das Arbeitsmedium in der Expansionsphase zunächst thermisch und anschließend adiabatisch expandiert wird und in der Kompressionsphase zunächst thermisch komprimiert wird und anschließend eine adiabatische Druckerhöhung erfährt, **dadurch gekennzeichnet**, daß das Arbeitsmedium während der adiabatischen Expansion und/oder während der thermischen Kompression verflüssigt wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, gekennzeichnet durch eine im wesentlichen vollständige Verflüssigung des Arbeitsmediums in der Kompressionsphase nach der thermischen Kompression vor der adiabatischen Druckerhöhung.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, gekennzeichnet durch Trennung des flüssigen Teils und des gasförmigen Teils des Arbeitsmediums nach der adiabatischen Expansion und/oder während der thermischen Kompression.
4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1–3, gekennzeichnet durch die Verwendung eines Mehrstoffgemisches als Arbeitsmedium.

5. Verfahren nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß die einzelnen Stoffe des Mehrstoffgemisches so ausgewählt werden, daß ihre Siedepunkte innerhalb des Temperatur- und Druckbereichs der arbeitenden Wärmekraftmaschine liegen.

6. Verfahren nach Anspruch 4 oder 5, dadurch gekennzeichnet, daß die einzelnen Stoffe des Mehrstoffgemisches so ausgewählt werden, daß die Mischung endotherm ist.

7. Verfahren nach Anspruch 5 oder 6, dadurch gekennzeichnet, daß das Mehrstoffgemisch Wasser und Benzol enthält.

8. Verfahren nach einem der Ansprüche 5–7, dadurch gekennzeichnet, daß das Mehrstoffgemisch Wasser und Benzin enthält.

9. Verfahren nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, daß das Mehrstoffgemisch 10–30 Gew.-% Wasser und 70–90 Gew.-% Benzin enthält.

10. Verfahren nach Anspruch 5–8, dadurch gekennzeichnet, daß das Mehrstoffgemisch 5–10 Gew.-% Wasser und 90–95 Gew.-% Butan enthält.

11. Mit einem Kreisprozeß arbeitende Wärmekraftmaschine, enthaltend

(a) einen abgeschlossenen Raum, in dem ein Arbeitsmedium eingeschlossen ist, welches abwechselnd eine Kompressionsphase und eine Expansionsphase durchläuft und in der Kompressionsphase zunächst thermisch komprimiert wird und anschließend eine adiabatische Druckerhöhung erfährt, und

(b) Wärmeaustauschmittel, mittels denen dem Arbeitsmedium Wärme zu- und abgeführt wird, dadurch gekennzeichnet, daß

(c) das Arbeitsmedium, der Arbeitsdruckbereich und der Arbeitstemperaturbereich der Wärmekraftmaschine so gewählt werden, daß das Arbeitsmedium während der adiabatischen Expansion und/oder der thermischen Kompression verflüssigt wird.

12. Wärmekraftmaschine nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, daß das Arbeitsmedium, der Arbeitsdruckbereich und der Arbeitstemperaturbereich der Wärmekraftmaschine so gewählt werden, daß das Arbeitsmedium in der Kompressionsphase nach der thermischen Kompression vor der adiabatischen Druckerhöhung im wesentlichen vollständig verflüssigt wird.

13. Wärmekraftmaschine nach Anspruch 11 oder 12, dadurch gekennzeichnet, daß das Arbeitsmedium ein Mehrstoffgemisch ist.

14. Wärmekraftmaschine nach Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, daß die einzelnen Stoffe des Mehrstoffgemisches so ausgewählt werden, daß ihre Siedepunkte innerhalb des Temperatur- und Druckbereichs der arbeitenden Wärmekraftmaschine liegen.

15. Wärmekraftmaschine nach Anspruch 13 oder 14, dadurch gekennzeichnet, daß die einzelnen Stoffe des Mehrstoffgemisches so ausgewählt werden, daß die Mischung endotherm ist.

16. Wärmekraftmaschine nach Anspruch 14 und 15, dadurch gekennzeichnet, daß das Mehrstoffgemisch Wasser und Benzol enthält.

17. Wärmekraftmaschine nach einem der Ansprüche 14–16, dadurch gekennzeichnet, daß das Mehrstoffgemisch Wasser und Benzin enthält.

18. Wärmekraftmaschine nach Anspruch 17, dadurch gekennzeichnet, daß das Mehrstoffgemisch 10–30 Gew.-% Wasser und 70–90 Gew.-% Benzin enthält.

19. Wärmekraftmaschine nach einem der Ansprüche 14–17, dadurch gekennzeichnet, daß das Mehrstoffgemisch 5–10 Gew.-% Wasser und 90–95 Gew.-% Butan enthält.
20. Mit einem Kreisprozeß arbeitende Wärmekraftmaschine, enthaltend 5
- (a) einen abgeschlossenen Raum, in dem ein Arbeitsmedium eingeschlossen ist, welches abwechselnd eine Kompressionsphase und eine Expansionsphase durchläuft, 10
  - (b) Wärmeaustauschmittel, mittels denen dem Arbeitsmedium Wärme zu- und abgeführt wird, und
  - (c) das Arbeitsmedium ein Mehrstoffgemisch ist, dadurch gekennzeichnet, daß 15
  - (c) das Mehrstoffgemisch 10–30 Gew.-% Wasser und 70–90 Gew.-% Benzin bzw. Benzol enthält.
21. Mit einem Kreisprozeß arbeitende Wärmekraftmaschine, enthaltend
- (a) einen abgeschlossenen Raum, in dem ein Arbeitsmedium eingeschlossen ist, welches abwechselnd eine Kompressionsphase und eine Expansionsphase durchläuft, 20
  - (b) Wärmeaustauschmittel, mittels denen dem Arbeitsmedium Wärme zu- und abgeführt wird, und 25
  - (c) das Arbeitsmedium ein Mehrstoffgemisch ist, dadurch gekennzeichnet, daß
  - (c) das Mehrstoffgemisch 5–10 Gew.-% Wasser und 90–95 Gew.-% Benzin bzw. Butan enthält. 30

---

Hierzu 5 Seite(n) Zeichnungen

---

35

40

45

50

55

60

65

- Leerseite -

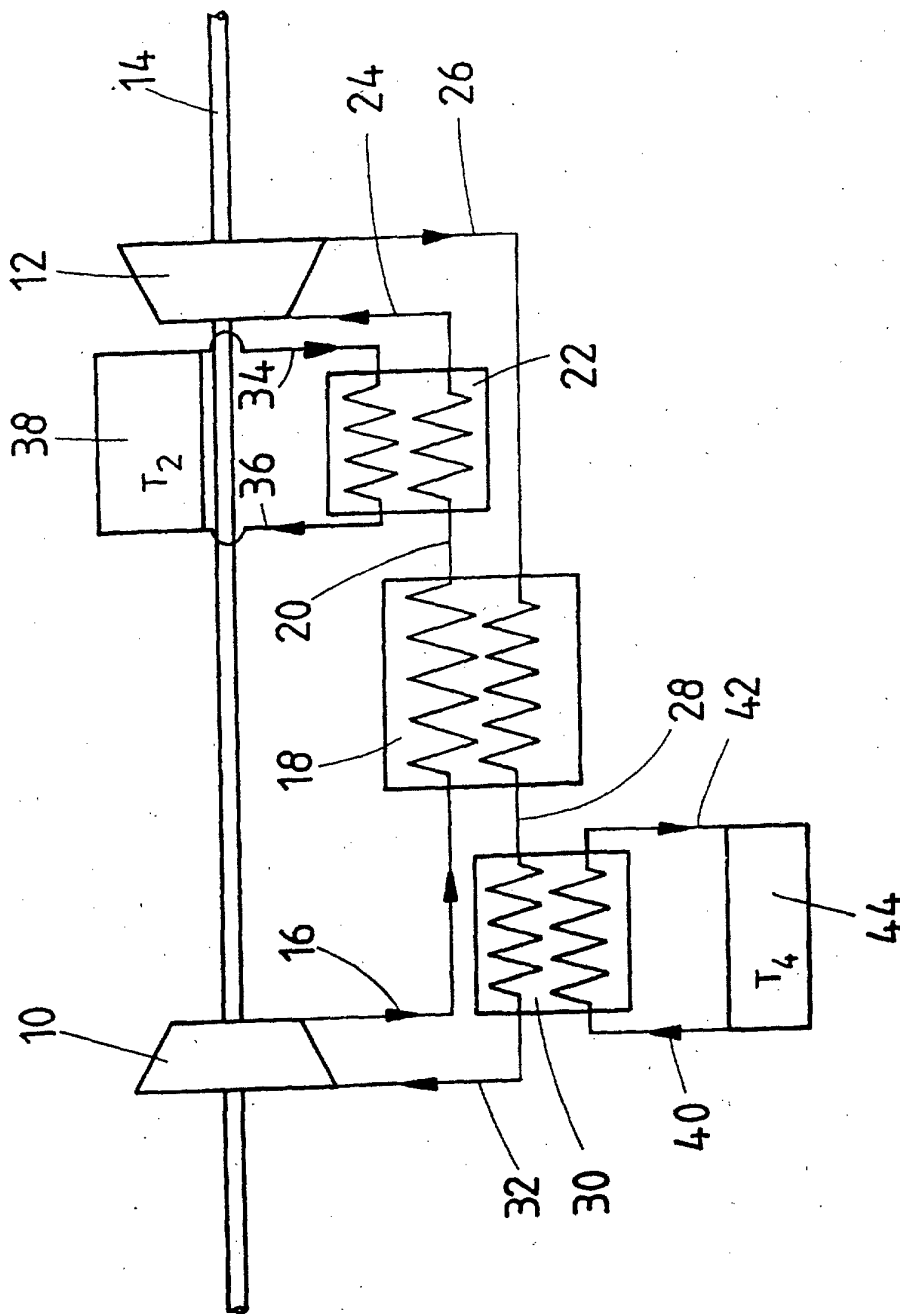


Fig.1



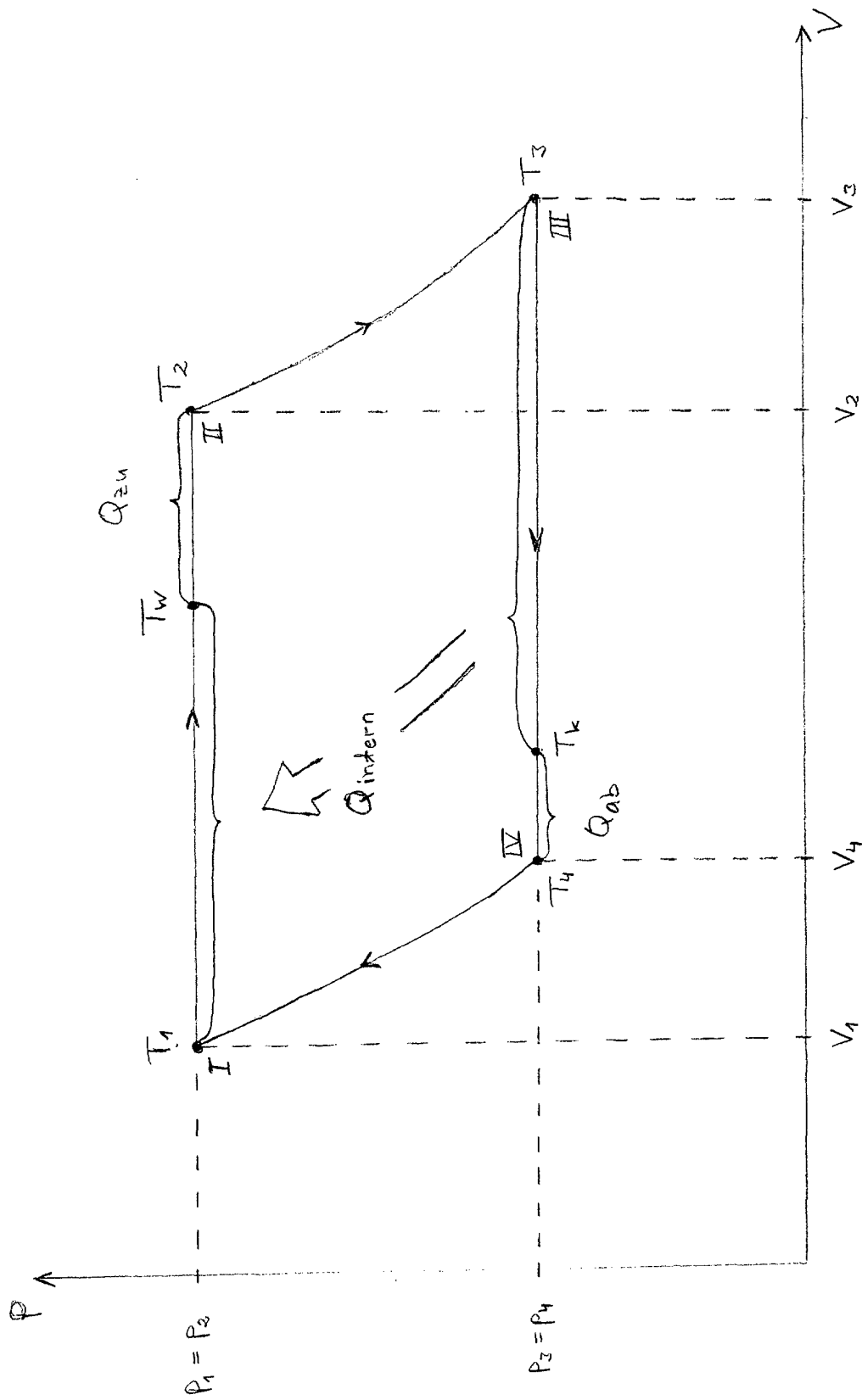


Fig. 2 (Stand der Technik)

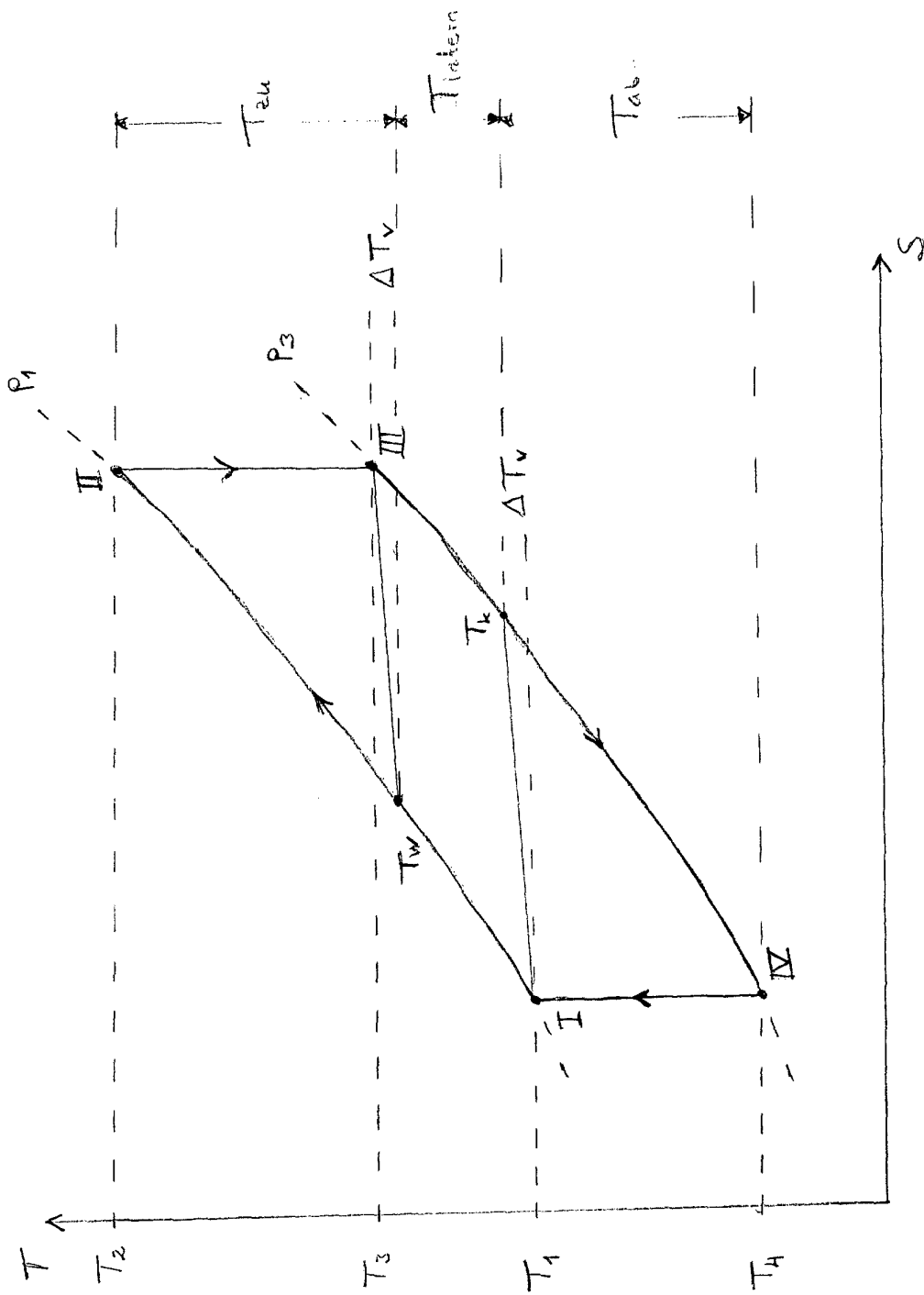


Fig. 3 (Stand der Technik)

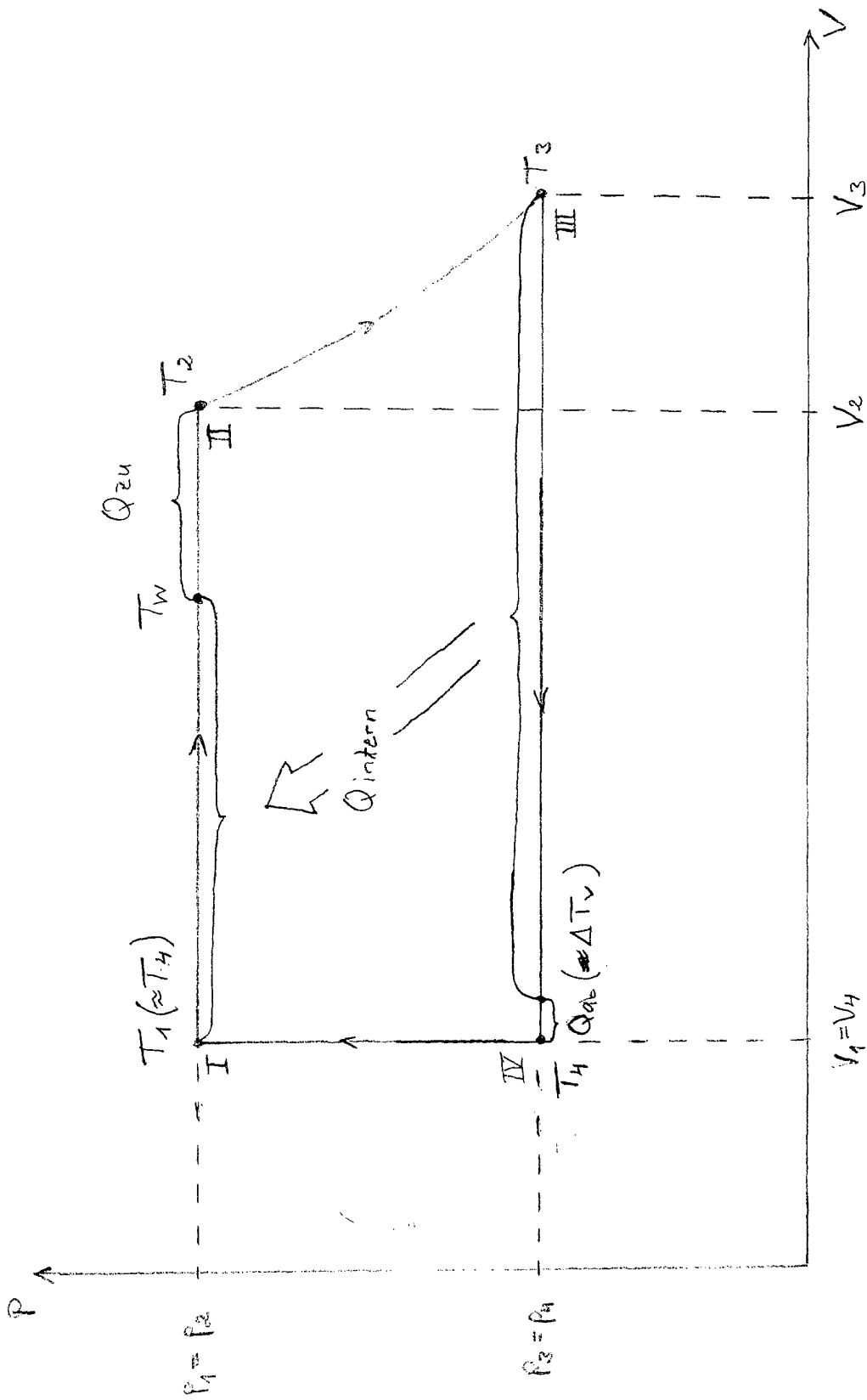


Fig. 4

