

## **Wärmekraftmaschine mit isochor-isobarem Kreisprozess**

Die Erfindung betrifft eine Wärmekraftmaschine mit äußerer kontinuierlicher Wärmezufuhr und einem isochor-isobaren, vorzugsweise geschlossenen Kreisprozess, die ohne eigentliche Kompressor- oder Expanderstufen auskommt. Abgesehen von der konstruktiven Einfachheit ergibt sich bei dieser Maschine die Möglichkeit, nicht nur gasförmige, sondern auch flüssige oder sogar feste Arbeitsfluide zu verwenden, zum Beispiel das heiße Wasser in einem geothermischen Bohrloch, das heiße Öl in einem Parabolrinnen-Sonnenkollektor, oder gespannten Stahldraht. Auch mit einem Gas als Arbeitsfluid eröffnen sich interessante Anwendungsfelder, wie etwa in der mobilen oder dezentralen Stromerzeugung, oder als Schiffsmotor.

Stand der Technik sind allerlei Wärmekraftmaschinen, deren wichtigste Komponenten sich mit der Kompression oder Expansion eines gasförmigen Arbeitsfluids befassen, und zwar durch Aufwenden oder Abführen von mechanischer Arbeit. Bei einer Hubkolbenmaschine, wie etwa dem Stirlingmotor, geschieht dies in allgemein bekannter Weise mit Zylindern und Kolben, bei einer Gasturbine hingegen mit Strömungsmaschinen. Der Aufbau komprimierender oder expandierender Komponenten erfordert kompliziert geformte und hochgenau gefertigte Teile aus teuren Materialien. Der Aufbau von rein fördernden Komponenten, also von Pumpen, wäre stattdessen sehr viel einfacher.

Antriebswärme wird meist durch Verbrennung im Inneren einer Wärmekraftmaschine erzeugt. Will man jedoch Wärme aus äußeren Quellen nutzen, so muss man diese erst durch geeignete Vorrichtungen einsammeln und auf ein Arbeitsgas übertragen, etwa durch einen Wärmetauscher, was speziell bei erneuerbaren Energiequellen mit großem Aufwand verbunden sein kann.

Günstiger wäre es daher, die häufig als heiße Flüssigkeiten auftretenden Wärmequellen direkt als Arbeitsfluide von Wärmekraftmaschinen zu verwenden. Dabei muss die äußerst geringe Kompressibilität der Flüssigkeiten bedacht werden.

John Malone hat in der 1920er Jahren eine Hubkolbenmaschine entwickelt und getestet, die Wasser als Arbeitsfluid verwendete. Sie funktionierte ähnlich einem Stirlingmotor und erreichte einen für die damalige Zeit erstaunlich guten Wirkungsgrad (US1717161). Wie alle Hubkolbenmaschinen war sie aber ziemlich sperrig und kompliziert im Aufbau.

Die vorliegende Erfindung vermeidet die genannten Nachteile des Standes der Technik und bildet letzteren in vorteilhafter Weise weiter.

Thermodynamische Grundlage der neuen Wärmekraftmaschine ist erfindungsgemäß ein vorzugsweise geschlossener Kreisprozess mit zwei Isochoren und drei Isobaren. Dieser entspricht einem Rechteck im  $p$ - $V$ -Diagramm, wie es in Figur 3 dargestellt ist. Wegen der Rechteckform kann ein Arbeitsgas hier grundsätzlich mehr Nutzarbeit leisten als etwa bei einem Stirlingprozess im selben Druck- und Volumenbereich.

Wichtigster Baustein der neuen Wärmekraftmaschine ist eine besondere Pumpe, mit der man einem Arbeitsfluid während des Fördervorgangs auch Wärme zuführen oder entziehen kann. Dies erfolgt erfindungsgemäß isochor, also ohne dass sich dabei das Volumen des Fluids ändert. Die Pumpe ist also kein Kompressor. Sie bewirkt aber durchaus eine Veränderung des Drucks auf Grund veränderter Temperatur. Die Pumpe kann man entsprechend als „Heizpumpe“ oder als „Kühlpumpe“ bezeichnen, je nachdem, ob sie dem Fluid Wärme zuführt oder entzieht.

Die Pumpe kann als Zahnradpumpe ausgeführt sein und der Wärmeaustausch erfolgt durch die Gehäusewand. Eine Zahnrad-

pumpe im Schnitt zeigt Figur 1. Die Zahnradpumpe schließt das Fluid portionsweise zwischen den Zahnradzähnen und der Gehäusewand ein und schiebt es über etwa eine dreiviertel Umdrehung entlang der Gehäusewand. Das Volumen des Zwischenraums bleibt dabei konstant. Während des Transports tauscht das Fluid mit der Gehäusewand Wärme aus, wobei es durch die Relativbewegung der festen Teile gut umgewälzt wird. Die Austauschfläche ist besonders groß gestaltet, hier durch eine axiale Aufteilung der Pumpe in viele Schichten mit vielen gut wärmeleitenden Zwischenwänden. Die Aufteilung erlaubt es auch, die Zahnräder der verschiedenen Schichten phasenverschoben zu betreiben, wodurch das Pumpen insgesamt sehr gleichmäßig erfolgt.

Weiterer Baustein der neuen Wärmekraftmaschine ist ein gewöhnlicher Wärmetauscher, der einem durchströmenden Arbeitsfluid ebenfalls Wärme zuführt oder entzieht. Dies erfolgt aber typischerweise isobar, also bei etwa gleich bleibendem Druck. Ein geringer und unvermeidlicher Druckabfall durch Reibung wird dabei vernachlässigt. Der Wärmetauscher kann als einfache Rohrschleife ausgeführt sein, die man von außen beheizt oder kühlt. Den Wärmetauscher kann man als „Erhitzer“ oder als „Kühler“ bezeichnen, je nachdem, ob er dem Fluid Wärme zuführt oder entzieht, aus welcher Quelle auch immer.

Der Begriff „Wärmetauscher“ wird hier sehr allgemein aufgefasst. Das Arbeitsfluid muss nicht zwingend Wärme mit einem anderen Fluid „tauschen“, sondern Wärme und Kälte können auch direkt in oder an dem Baustein erzeugt werden, zum Beispiel durch Verbrennung, durch Strahlung, oder zeitweilig durch Speicherung. Der Begriff „Wärmetauscher“ schließt hier also auch Brenner, Absorber und Speicher mit ein.

Die neue Wärmekraftmaschine besteht aus zwei Pumpen und drei Wärmetauschern. Figur 2 zeigt schematisch den Aufbau. Ein Arbeitsfluid durchströmt zyklisch erst eine Heizpumpe A, dann zwei Erhitzer R und B, dann eine Kühlpumpe C, und schließlich einen Kühler D. Jeder Baustein vollzieht einen Schritt des thermodynamischen Kreisprozesses. Die Schritte sind mit A, R, B, C und D bezeichnet und entsprechen denen des p-V-Diagramms in Figur 3.

Die beiden Pumpen A und C sind über gemeinsame Wellen mechanisch gekoppelt und haben eine unterschiedliche Förderleistung. Pumpe C fördert im gleichen Zeitraum ein größeres Fluidvolumen als Pumpe A. Dadurch wird Arbeitsfluid auf dem Weg von A nach C expandiert und auf dem Weg von C nach A komprimiert, also im Bereich der dort befindlichen Wärmetauscher. Umgekehrt entfaltet Pumpe C bei gleichem äußerem Druckunterschied ein größeres Drehmoment als Pumpe A, so dass Pumpe C die Pumpe A mit antreibt und die Drehrichtung beider Pumpen bestimmt. Die Differenz der Drehmomente kann an den gemeinsamen Wellen eine Nutzarbeit  $W$  verrichten.

Die beiden Pumpen A und C sind außerdem thermisch gekoppelt, zusammen mit dem Wärmetauscher R, dem „Rekuperator“. Zwischen den Bausteinen A, R und C fließt also Wärme entsprechend den Temperaturgefällen und überträgt sich entsprechend auf das Arbeitsfluid. Die Wärmewiderstände zwischen A, R und C werden durch geeignete Maßnahmen möglichst gering gehalten. Gegenüber B und D sowie gegenüber der Außenwelt sind A, R und C jedoch thermisch isoliert. Die Heizpumpe A bezieht also ihre Energie zum Erwärmen des Arbeitsfluids ausschließlich von der Kühlpumpe C. Da Pumpe C mehr Wärme abführen muss als Pumpe A aufnimmt, wird die restliche Wärme über den Rekuperator R dem nächsten Prozesszyklus zugeführt und zum erneuten Erwärmen des Arbeitsfluids benutzt.

Es gibt also auch bei der neuen Wärmekraftmaschine Kompression und Expansion eines Arbeitsfluids, andernfalls könnte dieses keine Arbeit abgeben. Nur gibt es dafür keinen Kompressor oder Expander, sondern vielmehr vollziehen sich Kompression und Expansion zwischen zwei Pumpen, die mit unterschiedlicher Geschwindigkeit pumpen. Und jegliche Änderung des Drucks beruht auf einer Zufuhr oder Abgabe von Wärme, nicht von mechanischer Arbeit. Die Schritte im Einzelnen:

Teilprozess A erhöht den Druck einer gegebenen Menge Fluid durch isochore Wärmezufuhr  $Q_{CA}$  in der Heizpumpe A. Die dafür erforderliche Kraft und Wärme wird von der Kühlpumpe C aufgebracht.

Teilprozess R vergrößert das Volumen einer gegebenen Menge Fluid durch isobare Wärmezufuhr  $Q_{CR}$  im Erhitzer R, dem Rekuperator. Die dafür erforderliche Wärme wird von der Kühlpumpe C aufgebracht.

Teilprozess B vergrößert das Volumen einer gegebenen Menge Fluid durch isobare Wärmezufuhr  $Q_B$  im Erhitzer B. Die dafür erforderliche Wärme wird von außen zugeführt.

Teilprozess C verringert den Druck einer gegebenen Menge Fluid durch isochore Wärmeabfuhr  $Q_{CA}$  und  $Q_{CR}$  in der Kühlpumpe C. Die dabei anfallende Wärme wird auf die Heizpumpe A und auf den Rekuperator R verteilt. Die dabei auftretende Kraft treibt zum Teil die Heizpumpe A entgegen dem Druckgefälle, der Rest kann eine Nutzarbeit  $W$  verrichten.

Teilprozess D verringert das Volumen einer gegebenen Menge Fluid durch isobare Wärmeabfuhr  $Q_D$  im Kühler D. Die dabei anfallende Wärme wird nach außen abgegeben.

Ist Luft das Arbeitsfluid, so kann der Kühler D die Umgebungsatmosphäre sein. Die Wärmeabfuhr erfolgt dann draußen

in der Umwelt. Aus dem ansonsten geschlossenen Kreisprozess wird so ein offener.

Die Wärmeströme von oder zu den Pumpen werden vorzugsweise so eingestellt oder geregelt, dass der Druck des geförderten Fluids durch Veränderung der Temperatur möglichst genau den Wert erreicht, der gerade hinter der jeweiligen Pumpe herrscht. So geht keine Leistung verloren durch plötzlichen Druckausgleich beim Öffnen der Förderhöhlräume.

Die Wärmeströme von oder zu den Wärmetauschern werden vorzugsweise so eingestellt oder geregelt, dass das Volumen des durchströmenden Fluids durch Veränderung der Temperatur möglichst genau die unterschiedliche Förderleistung der beiden Pumpen ausgleicht. So bleibt die Fluidmenge zwischen den Pumpen konstant, ohne ineffizienten Ausgleich auf einem nicht vorgesehenen Wege.

Eine Einstellung oder Regelung der Wärmeströme in der Maschine kann insbesondere dadurch erfolgen, dass man die von der Kühlpumpe C abgegebene Wärme in entsprechender Weise auf die Heizpumpe A und auf den Rekuperator R verteilt. Dazu kann eine besondere Vorrichtung vorgesehen sein, die eine veränderbare Aufteilung dieser Wärmeströme erlaubt.

Eine einfache Selbstregulierung der Wärmeströme kann man dadurch erreichen, dass man die Wärmetauscherfunktion der Pumpe C mit derjenigen der Pumpe A im Gleichstrom schaltet, mit der des Rekuperators R aber im Gegenstrom. So bleibt der Temperaturbereich der Pumpe A immer unterhalb des der Pumpe C, und der Rekuperator R kann dennoch das restliche Temperaturgefälle voll ausnutzen.

Bei einem offenen Kreisprozess würde die Umgebungsatmosphäre stabilisierend wirken.

In einer Ausführungsform mit Zahnrادpumpen kann die neue Wärmekraftmaschine schichtweise aus entsprechend zugeschnittenen Platten aufgebaut werden, was die Herstellung sehr erleichtert. Dazu genügen zweidimensional steuerbare Werkzeugmaschinen, wie zum Beispiel ein Laserschneider. Die Figuren 1, 4, 5 und 6 zeigen so eine „Zahnradwärmekraftmaschine“.

Die Platten können grundsätzlich gasdicht aneinander gesetzt werden, mit einem geeigneten Dicht- oder Klebstoff dazwischen. Jedoch verbleiben geringe Spalte an den Lagern der Wellen, durch die ein Arbeitsgas langsam in den Außenraum entweichen könnte. Um effizient und dauerhaft mit einem hohen mittleren Gasdruck arbeiten zu können, sollte man die Wärmekraftmaschine daher in einem Druckbehälter einschließen, zusammen mit den anzutreibenden Aggregaten. Ein geschlossener Kreisprozess macht dies möglich. Günstigerweise lässt sich der Druckbehälter auf zwei gasdichte Hauben reduzieren, welche nur die Enden einer aus Platten aufgebauten Maschine abdecken. Als Arbeitsgas verwendet man vorzugsweise ein Edelgas, welches eine Oxidation der Maschine bei hohen Temperaturen verhindert.

Die Zahnradwärmekraftmaschine kann aber auch gut mit einer Flüssigkeit als Arbeitsfluid betrieben werden, zum Beispiel mit Wasser. Der weitaus geringeren Kompressibilität und Wärmedehnung der Flüssigkeit muss man aber mit einer größeren Fluidmenge zwischen den Pumpen Rechnung tragen, um damit eine brauchbare Volumenveränderung zu erhalten. Ist der Erhitzer B ein kilometerlanges geothermisches Bohrloch, so dürfte darin ausreichend Wasser vorhanden sein.

Da einzelne Maschinenteile sehr heiß sein können, müssen diese durch Wärmeisolierplatten von kalten Teilen getrennt sein, um einen Kurzschluss des Wärmestroms zu vermeiden. Auch benötigen manche Maschinenteile, wie zum Beispiel die Lager, Schutz vor zu großer Hitze. Vor allem aber benötigen die Bausteine A, R

und C als Gruppe eine thermische Isolation gegenüber der Außenwelt. Wärmeisolierplatten können aus vielen dünnen Keramikplatten zusammengesetzt sein. Geringe Unebenheiten auf deren Oberflächen sorgen für Lücken und Lufteinschlüsse zwischen den Platten, die den Wärmefluss effektiv unterbrechen. Darüber hinaus kann man hitzeempfindliche Teile kühlen, zum Beispiel mit einem kalten Gasstrom.

Große Temperaturunterschiede können unterschiedliche Wärme-  
dehnung der Maschinenteile bewirken. Dabei muss unter allen Umständen vermieden werden, dass bei einer Längenänderung der Wellen relativ zum Gehäuse die Zahnräder gegen die Wände gedrückt werden und aufgrund dessen blockieren. Dazu setzt man die Zahnräder am besten axial verschiebbar auf die Wellen und stützt sie mit axialen Gleitlagern auf den jeweils benachbarten Wänden ab.

Zahnräder können bei hohen Temperaturen sehr schnell verschleifen, zumal eine Schmierung dann schwierig ist. Wegen der zweiwelligen Kopplung müssen die Zahnräder aber nur wenig Drehmoment übertragen, weshalb man zweckmäßigerweise die Zahnradpaare im heißen Teil der Maschine berührungsfrei macht, mit einem vernachlässigbar engen Spalt dazwischen. So wird dort jeglicher Verschleiß vermieden und eine Schmierung unnötig. Die Synchronisierung der Wellen wird dabei von den Zahnrädern im kalten Teil der Maschine übernommen, die dazu mit einem etwas geringeren Zahnflankenspiel ausgelegt sind als die Zahnräder im heißen Teil. Man kann die Synchronisierung auch getrennt von der Pumpenfunktion in einem eigenen Getriebe bewerkstelligen, so dass beide Pumpen berührungsfrei sind und hohe Temperaturen vertragen.

Selbstverständlich kann man die neue Wärmekraftmaschine auch mit anderen Arten von Pumpen aufbauen, doch die Zahnradpumpe lässt sich vermutlich am leichtesten herstellen.



In einer anderen Ausführungsform der neuen Wärmekraftmaschine wird anstelle der Zahnradpumpen ein Drehkolbenarray verwendet. Drehkolbenarrays sind unter anderem beschrieben in US2410341, FR1199521, DE19738132 und DE102006018183.

Figur 7 zeigt einen Querschnitt durch eine erfindungsgemäße Wärmekraftmaschine mit Drehkolbenarray. Die Drehkolben drehen sich synchron, also in gleicher Richtung und mit gleicher Geschwindigkeit. Sie sind gewunden, wodurch ihre Zwischenräume sich periodisch einschnüren und Kammern bilden, die in Folge der Drehung parallel zur Drehachsenrichtung wandern. Die Kammern können ein darin eingeschlossenes gasförmiges oder auch flüssiges Arbeitsfluid mitnehmen, also pumpen. Die Windung der Drehkolben ist vorzugsweise gleichmäßig, da eine Kompression oder Expansion des Fluids hier nicht erwünscht ist, und weil dies außerdem die Herstellung der Drehkolben sehr vereinfacht. Das Drehkolbenarray ist die vermutlich kompakteste aller Fluidpumpen und lässt sich daher gewichtsparend und mit vergleichsweise wenig Material aufbauen.

Eine Besonderheit des Drehkolbenarrays erweist sich hier als ausgesprochen günstig: Die Oberflächen der Drehkolben transportieren effizient Wärme von einer Kammer in eine benachbarte Kammer, oder von dort nach außen. In einer Kammer mit heißem Fluid erwärmt sich die oberste Schicht der Drehkolbenoberfläche und speichert die Wärme. Eine halbe Umdrehung später befindet sich dasselbe Stück der Drehkolbenoberfläche in einer benachbarten kalten Kammer, wo es die gespeicherte Wärme wieder abgibt. Eine Wärmeleitung findet nur innerhalb dieser sehr dünnen Schicht der Drehkolbenoberfläche statt, und die ist sehr viel dünner als es beispielsweise die Gehäusewand einer Zahnradpumpe je sein könnte. Es sind also sehr geringe Wärmewiderstände zu erwarten. Es werden dafür auch keine oder nur geringe Mengen von teuren Materialien benötigt, die sich durch hohe Wärmeleitfähigkeit auszeichnen,

wie etwa reines Kupfer. Das Verhältnis der wärmetauschenden Oberfläche zum gepumpten Fluidvolumen lässt sich beliebig vergrößern, indem man die Anzahl der Drehkolben vergrößert.

Zum Aufbau der erfindungsgemäßen Wärmekraftmaschine benutzt man die Zwischenräume des Drehkolbenarrays räumlich abwechselnd mal als Heizpumpe A, mal als Kühlpumpe C. Die Wärmetauscherfunktionen der beiden Pumpen werden dabei unvermeidlich im Gleichstrom geschaltet, was ja von Vorteil ist. Den Raum zwischen dem Drehkolbenarray und einem wärmeisolierenden Maschinengehäuse verwendet man sinnvollerweise als Rekuperator R, den man gegenüber den Pumpen im Gegenstrom betreibt. Durch Anzahl und Anordnung der Drehkolben sowie durch die Belegung der Drehkolbenzwischenräume lässt sich die Aufteilung der Wärmeströme zwischen A, R und C gezielt beeinflussen, und möglicherweise sogar während des Betriebs umschalten.

Eine weitere Ausführungsform der neuen Wärmekraftmaschine verwendet einen Festkörper als Arbeitsfluid, einen gespannten Draht. Figur 8 zeigt schematisch den Aufbau.

Dem Gasdruck entspricht bei einem gespannten Draht seine Zugspannung, dem Gasvolumen entspricht seine Länge. So betrachtet, verhält sich ein gespannter Draht ähnlich wie ein Gas. Man kann sich den Draht vorstellen als eine Kette von vielen winzigen Gasfedern, also von kleinen Zylindern mit Kolben und Gasfüllung, mit einer gewissen Elastizität und mit einer gewissen Wärmedehnung.

Draht ändert bei Temperaturänderung seine Zugspannung, wenn seine Länge gleich bleibt - dies entspricht einer isochoren Druckänderung.

Draht ändert bei Temperaturänderung seine Länge, wenn die Zugspannung an ihm gleich bleibt - dies entspricht einer isobaren Volumenänderung.

Als Pumpe für Draht dient eine Rolle, die den Draht durch Reibung mitnimmt. Der „Drahtmotor“ in Figur 8 folgt genau dem Schema von Figur 2.

Ein Draht kann seine Länge nicht verändern, solange er sich an eine Rolle schmiegt, nur seine Zugspannung. Ein Wärmeaustausch zwischen Draht und Rolle erfolgt daher isochor, während diese in Kontakt sind. Die Pumpen A und C sind gut wärmeleitende Rollen, die mechanisch und thermisch gekoppelt sind. Die Rolle C hat einen größeren Durchmesser als Rolle A, und somit eine größere Förderleistung. Der Draht ist, wenn nötig, mehrfach um diese Rollen gewickelt. Auch ein abgeflachter Drahtquerschnitt kann die Kontaktfläche vergrößern.

Ein Draht hat dagegen überall dieselbe Zugspannung, solange er sich zwischen zwei Rollen befindet, kann aber seine Länge ändern. Ein Wärmeaustausch zwischen dem Draht und zum Beispiel den ihn umströmenden heißen Gasen einer Flamme erfolgt daher isobar. Die Wärmetauscher B, R und D bestehen überwiegend aus frei gespanntem Draht, der mit einer zugehörigen Wärmequelle oder Wärmesenke in Kontakt ist. Um möglichst viel Draht auf engem Raum unterzubringen und eine ausreichende Wärmedehnung zu erhalten, wird der Draht vielfach um zwei oder mehr Rollen herum geführt, wobei die Rollen der Bewegung des Drahts frei folgen und ihn keinesfalls in seiner Länge einschränken.

Bringt man nun die Drahtwicklung B auf eine hohe Temperatur und die Drahtwicklung D auf eine niedrige, so ändern sich die Zugspannungen beiderseits der Rollen A und C, und mit ihnen die Kräfte, und wegen des unterschiedlichen Durchmessers der Rollen entsteht ein Drehmoment, das die Maschine antreibt. Die Maschine erstrebt einen Ausgleich der Zugspannungen, doch mit

jeder Umdrehung gelangt neuer kalter Draht in den Erhitzer B und neuer heißer Draht in den Kühler D, so dass es nie zu diesem Ausgleich kommt und die Maschine weiter läuft.

Eine Wärmekraftmaschine mit Stahldraht als Arbeitsfluid ließe sich wohl mit sehr einfachen Mitteln aufbauen. Sie könnte vielleicht zur Nutzung geringer Temperaturunterschiede eingesetzt werden.

Mit vorliegender Erfindung werden die folgenden Vorteile erreicht.

Das Fehlen komprimierender oder expandierender Komponenten erlaubt einen einfachen Aufbau in vielerlei Ausführungsformen, und darüber hinaus auch das Verwenden nicht nur gasförmiger, sondern auch flüssiger oder fester Arbeitsfluide. Es kommen vorzugsweise rein rotatorisch arbeitende Pumpen zum Einsatz, die vibrationsarm und leise sind.

Das Arbeitsfluid kann sich überwiegend außerhalb der eigentlichen Maschine befinden, um Wärme aus entfernten oder großflächig verteilten Quellen aufzunehmen. Die aufgenommene Wärme wird dann direkt und ohne weitere Übertragungskomponenten in mechanische Arbeit umgesetzt.

In einer Ausführungsform mit Zahnrادpumpen kann die neue Wärmekraftmaschine fast ausschließlich aus zweidimensionalen Plattenzuschnitten aufgebaut werden. Eine Ausführungsform mit Drehkolbenarray ist im Aufbau nur unwesentlich aufwendiger. Dadurch wird eine Vielzahl von insbesondere auch kleinen Unternehmen in die Lage versetzt, solche Maschinen selbst herzustellen. Es werden auch keine seltenen oder schwer zu beschaffenden Materialien benötigt.

Wie der Stirlingmotor kann die neue Wärmekraftmaschine beliebige Wärmequellen nutzen, mit vermutlich besserem Wirkungsgrad und besserem Ansprechverhalten, und vermutlich in

einem größeren Last- und Drehzahlbereich. Insbesondere eine Ausführungsform mit Drehkolbenarray dürfte ausgesprochen effizient und kompakt sein.

Nachfolgend werden die Zeichnungen näher erläutert.

Die Ziffern bezeichnen: Heizpumpe (1), Kühlpumpe (2), Erhitzer (3), Kühler (4), Rekuperator kanal (5), Rekuperatorverteiler (6), Wärmeleitplatte (7), Wärmeisolierplatte (8), Zahnrad (9), Welle (10), Drehkolben (11), Gehäuse (12), Draht (13), Rolle (14).

Die Buchstaben A, R, B, C und D bezeichnen die Schritte des thermodynamischen Kreisprozesses.

Figur 1 zeigt eine Ausführungsform der Wärmekraftmaschine mit Zahnradpumpen, eine so genannte „Zahnradwärmekraftmaschine“, und zwar im Querschnitt durch die Kühlpumpe (2). Kanäle des Rekuperators (5) sind in diese integriert.

Figur 2 zeigt die neue Wärmekraftmaschine im Schema.

Figur 3 zeigt den Kreisprozess als p-V-Diagramm.

Figur 4 zeigt eine Zahnradwärmekraftmaschine als Ganzes. Nicht gezeichnet ist ein wärmeisolierender Mantel, der die Maschine in radialer Richtung umgibt.

Figur 5 zeigt eine Zahnradwärmekraftmaschine im Längsschnitt entlang einer Welle. Mehrere Schichten der Heizpumpe (1) wechseln sich ab mit mehreren Schichten der Kühlpumpe (2), um den Wärmetransport zwischen diesen zu erleichtern.

Figur 6 zeigt eine Zahnradwärmekraftmaschine im Längsschnitt durch die Mitte.

Figur 7 zeigt eine Ausführungsform der Wärmekraftmaschine mit Drehkolbenarray. Die Drehkolben (11) drehen sich synchron in

gleicher Richtung und mit gleicher Geschwindigkeit. Sie sind entlang ihrer Achsen gewunden, wodurch das Fluid zwischen ihnen beispielsweise vom Betrachter weg gefördert wird. Die Drehkolbenzwischenräume werden räumlich abwechselnd mal als Heizpumpe A, mal als Kühlpumpe C verwendet. Über die Drehkolbenoberflächen, die zeitlich abwechselnd mal A, mal C, mal R zugewandt sind, wird über eine kurze Zwischenspeicherung effizient Wärme von C nach A transportiert, und auch von C nach R.

Figur 8 zeigt eine Ausführungsform der Wärmekraftmaschine mit Draht als Arbeitsfluid. Die Kreise stellen Rollen (14) dar, auf denen eine geschlossene und gespannte Drahtschleife (13) läuft. Die Pfeile zeigen die Flussrichtung des Drahtes oder die Drehrichtung der Rollen. Die beiden mittleren Rollen für A und C sind über eine gemeinsame Welle mechanisch gekoppelt, alle anderen Rollen folgen dem Draht. Darüber hinaus besteht eine thermische Kopplung zwischen dem Draht auf den mittleren Rollen und auch dem im Rekuperator. Die Rollen für R, B und D sind jeweils in Zweizahl vorhanden und jedes Rollenpaar wird vielfach in einer Vielzahl von Windungen vom Draht umlaufen, um so eine große Länge Draht auf kleinem Raum unterzubringen.

## Patentansprüche

1. Wärmekraftmaschine zur Umwandlung von Wärmenergie in mechanische Wellenarbeit, umfassend

ein Arbeitsfluid,

eine Pumpe, die so genannte „Heizpumpe“, mit der man dem Arbeitsfluid während des Fördervorgangs isochor Wärme zuführen kann,

eine Pumpe, die so genannte „Kühlpumpe“, mit der man dem Arbeitsfluid während des Fördervorgangs isochor Wärme entziehen kann,

ein Erhitzer, speziell ein Wärmetauscher, mit dem man dem Arbeitsfluid während des Durchströmens isobar Wärme zuführen kann,

ein Kühler, speziell ein Wärmetauscher, mit dem man dem Arbeitsfluid während des Durchströmens isobar Wärme entziehen kann,

ein Rekuperator, also ein Wärmetauscher, mit dem man dem Arbeitsfluid während des Durchströmens isobar Wärme zuführen kann, die aus der Kühlpumpe stammt,

eine Vorrichtung zur mechanischen Kopplung der beiden Pumpen, insbesondere eine oder mehrere gemeinsame Wellen,

eine Vorrichtung zur thermischen Kopplung der beiden Pumpen und dem Rekuperator, insbesondere bestehend aus gut wärmeleitenden Zwischenwänden oder aus beweglichen

Wärmespeichern,

eine Vorrichtung zur thermischen Isolation der beiden Pumpen und des Rekuperators gegenüber anderen Teilen der Maschine und der Außenwelt,

wobei „isochor“ und „isobar“ hier im Ergebnis und in guter Näherung gemeint sind,

dadurch gekennzeichnet,

dass die Kühlturbine eine größere Förderleistung hat als die Heizpumpe,

dass das Arbeitsfluid die genannten Komponenten zyklisch in dieser Reihenfolge durchläuft: Heizpumpe, Rekuperator, Erhitzer, Kühlturbine, Kühler.

2. Wärmekraftmaschine nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Wärmetauscherfunktionen der beiden Pumpen im Gleichstrom geschaltet sind, und die des Rekuperators zu diesen im Gegenstrom.
3. Wärmekraftmaschine nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei eine Pumpe in mehrere Abschnitte aufgeteilt oder aus mehreren kleineren Pumpen zusammengesetzt ist, insbesondere zum Verbessern eines Wärmeaustauschs mit dem Arbeitsfluid.
4. Wärmekraftmaschine nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei verschiedene Abschnitte oder Teile einer Pumpe durch gut wärmeleitende Zwischenwände getrennt sind.
5. Wärmekraftmaschine nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei eine innere oder äußere Oberfläche



einer Pumpe Lamellen oder andere Strukturen oder Beschichtungen aufweist, die einen Wärmeaustausch mit dem Arbeitsfluid verbessern.

6. Wärmekraftmaschine nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei verschiedene Abschnitte oder Teile einer Pumpe phasenverschoben arbeiten, insbesondere um eine möglichst gleichmäßige Förderung zu erzielen.
7. Wärmekraftmaschine nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei eine Pumpe oder ein Teil einer solchen eine Zahnradpumpe ist.
8. Wärmekraftmaschine nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei eine Pumpe oder ein Teil einer solchen ein Drehkolbenarray ist.
9. Wärmekraftmaschine nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei eine Pumpe oder ein Teil einer solchen eine Kolbenpumpe, eine Schraubenpumpe oder eine Drehschieberpumpe ist.
10. Wärmekraftmaschine nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei diese überwiegend schichtweise, insbesondere aus zweidimensionalen Plattenzuschnitten aufgebaut ist.
11. Wärmekraftmaschine nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei diese in einem Druckbehälter betrieben wird oder Teil eines solchen ist.
12. Wärmekraftmaschine nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei wenigstens einer der zu- oder abfließenden Wärmeströme in seiner Stärke reguliert ist, insbesondere mit einem elektronischen oder mechanischen Regelmechanismus.

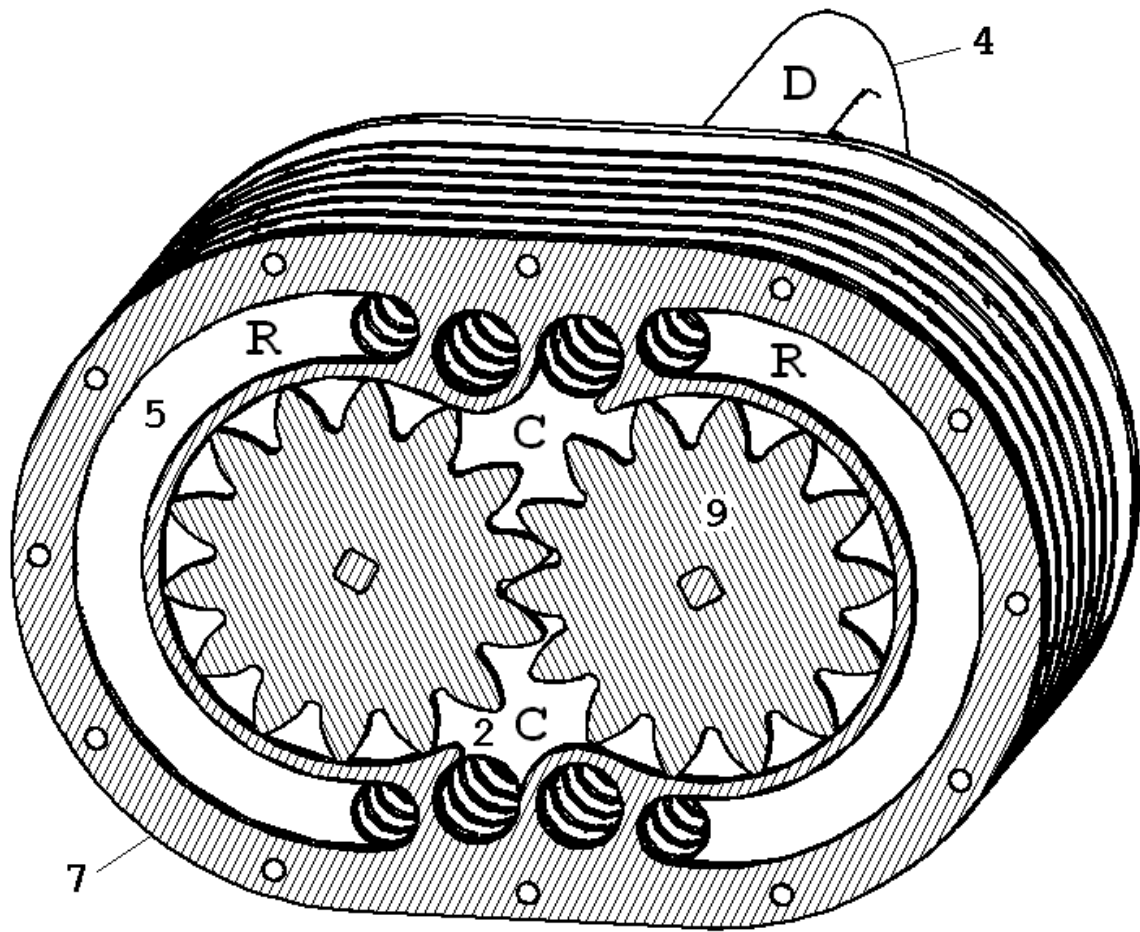
13. Wärmekraftmaschine nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei wenigstens einer der zwischen den Pumpen und dem Rekuperator fließenden Wärmeströme in seiner Stärke reguliert ist, insbesondere mit einem elektronischen oder mechanischen Regelmechanismus.
14. Wärmekraftmaschine nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei diese eine besondere Vorrichtung aufweist, um den von der Kühlpumpe ausgehenden Wärmestrom in veränderbarer Weise aufzuteilen.
15. Wärmekraftmaschine nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei der Erhitzer wenigstens zum Teil ein geothermisches Bohrloch ist.
16. Wärmekraftmaschine nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei der Erhitzer wenigstens zum Teil der Absorber eines Sonnenkollektors ist.
17. Wärmekraftmaschine nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei eine Wärmezufuhr durch Strahlung erfolgt, insbesondere durch gebündelte Sonnenstrahlung.
18. Wärmekraftmaschine nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei das Maschinengehäuse wenigstens Stellenweise für Licht- oder Wärmestrahlung transparent ist.
19. Wärmekraftmaschine nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei der thermodynamische Kreisprozess nicht geschlossen ist und die Umwelt einen der Wärmetauscher darstellt.
20. Wärmekraftmaschine nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei eine Wärmezufuhr oder Wärmeabfuhr an einer Pumpe auch oder ausschließlich durch eine dort

vorhandene Wärmequelle oder Wärmesenke oder zeitweilig durch einen dort vorhandenen Wärmespeicher erfolgt.

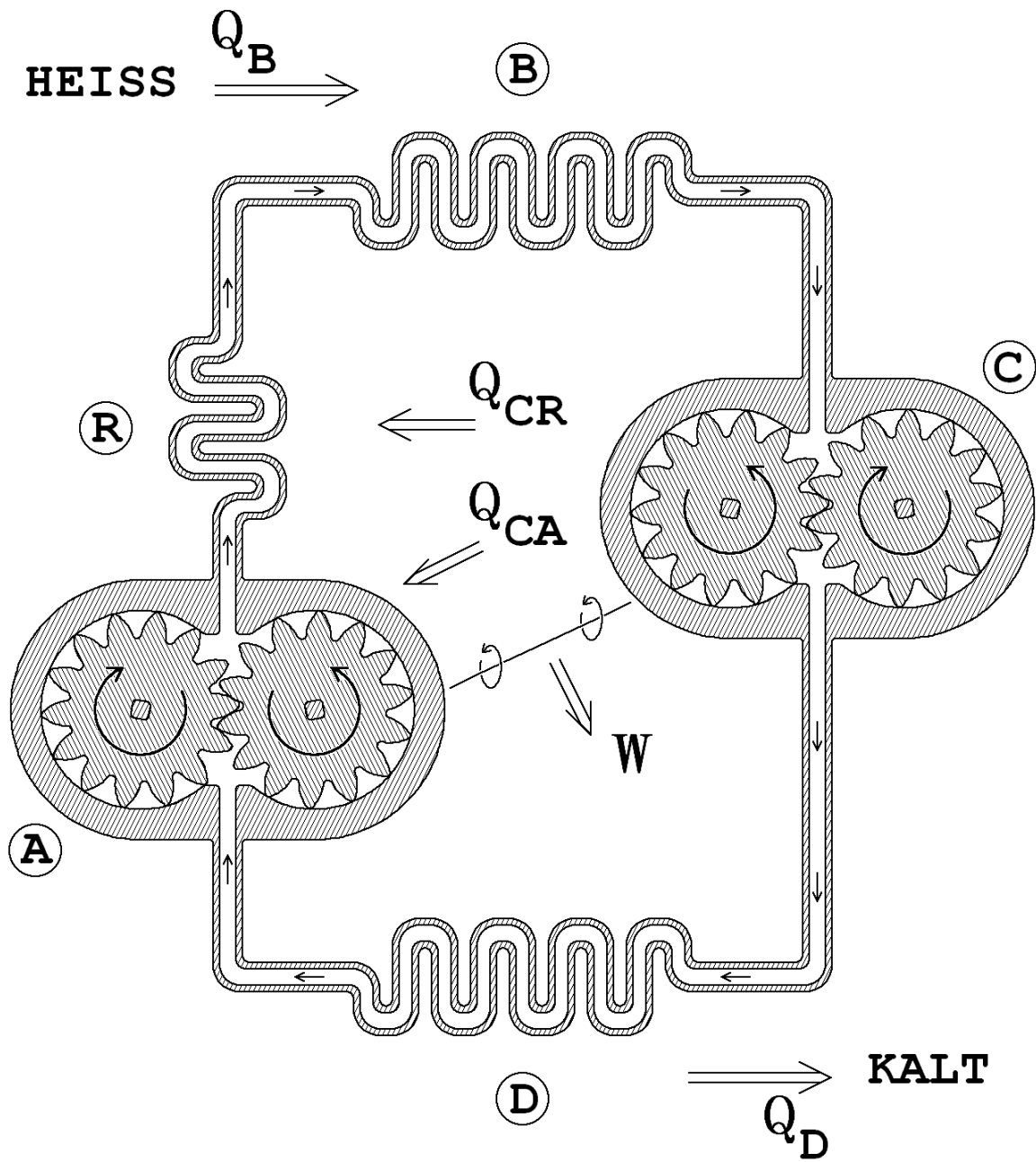
21. Wärmekraftmaschine nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei Zahnräder oder andere rotierende Teile in axialer Richtung verschiebbar auf ihren Wellen sitzen, um etwa unterschiedliche Wärmedehnung von Maschinenteilen ausgleichen zu können, möglicherweise abgestützt mit geeigneten Lagern auf nahen unbewegten Maschinenteilen.
22. Wärmekraftmaschine nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei Zahnräder oder andere bewegliche Maschinenteile, insbesondere wenn sie hoher Temperatur ausgesetzt sind, zumindest dort eine Berührung mit anderen Maschinenteilen vermeiden.
23. Wärmekraftmaschine nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Wärmezufuhr in wenigstens einer der Pumpen nicht rein isochor ist, insbesondere bei einem offenen Kreisprozess.
24. Wärmekraftmaschine nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei diese keinen Rekuperator hat.

## **Zusammenfassung**

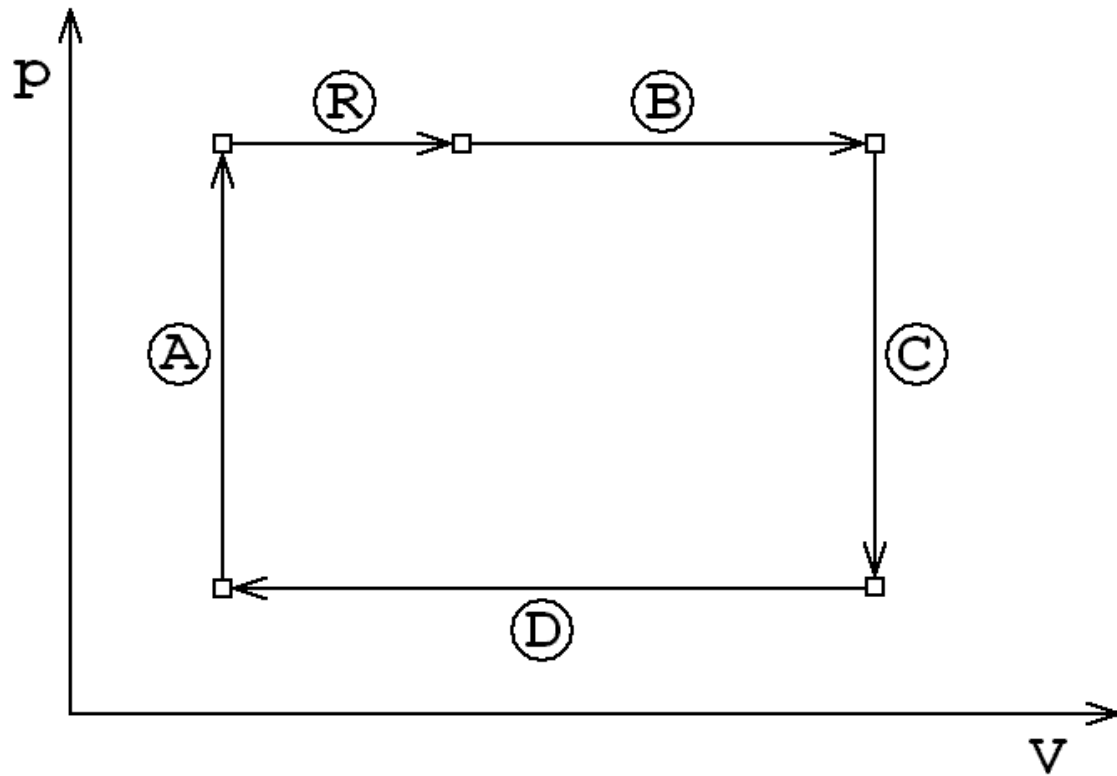
Die Erfindung betrifft eine Wärmekraftmaschine mit äußerer kontinuierlicher Wärmezufuhr und einem isochor-isobaren, vorzugsweise geschlossenen Kreisprozess, die ohne eigentliche Kompressor- oder Expanderstufen auskommt. Abgesehen von der konstruktiven Einfachheit ergibt sich bei dieser Maschine die Möglichkeit, nicht nur gasförmige, sondern auch flüssige oder sogar feste Arbeitsfluide zu verwenden, zum Beispiel das heiße Wasser in einem geothermischen Bohrloch, das heiße Öl in einem Parabolrinnen-Sonnenkollektor, oder gespannten Stahldraht. Wichtigster Baustein ist eine besondere Pumpe, mit der man einem Arbeitsfluid während des Fördervorgangs auch Wärme zuführen oder entziehen kann.



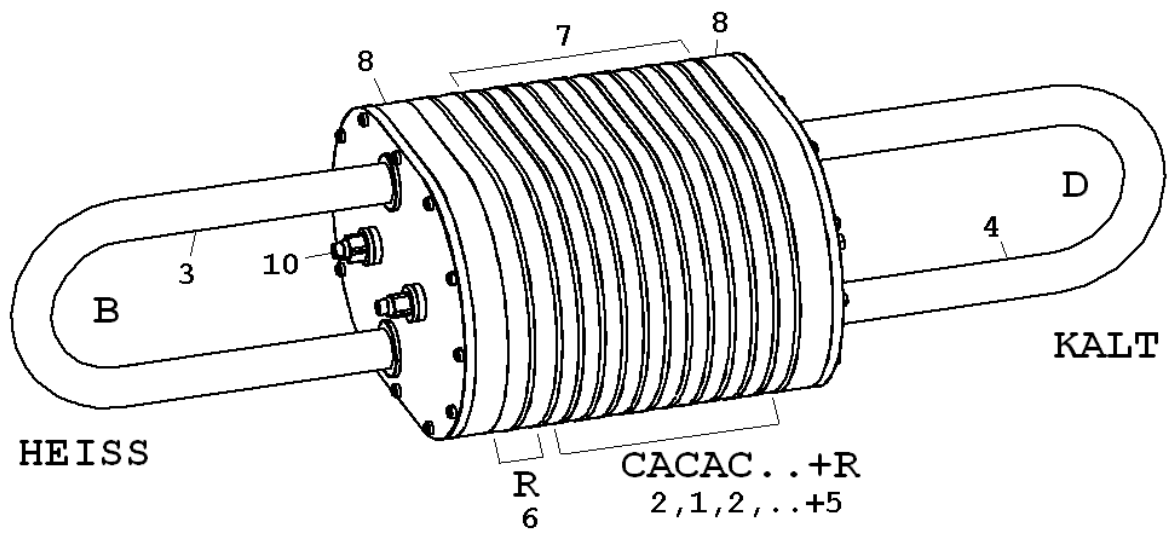
Figur 1. Zahnradwärmekraftmaschine im Querschnitt.



Figur 2. Wärmekraftmaschine im Schema.

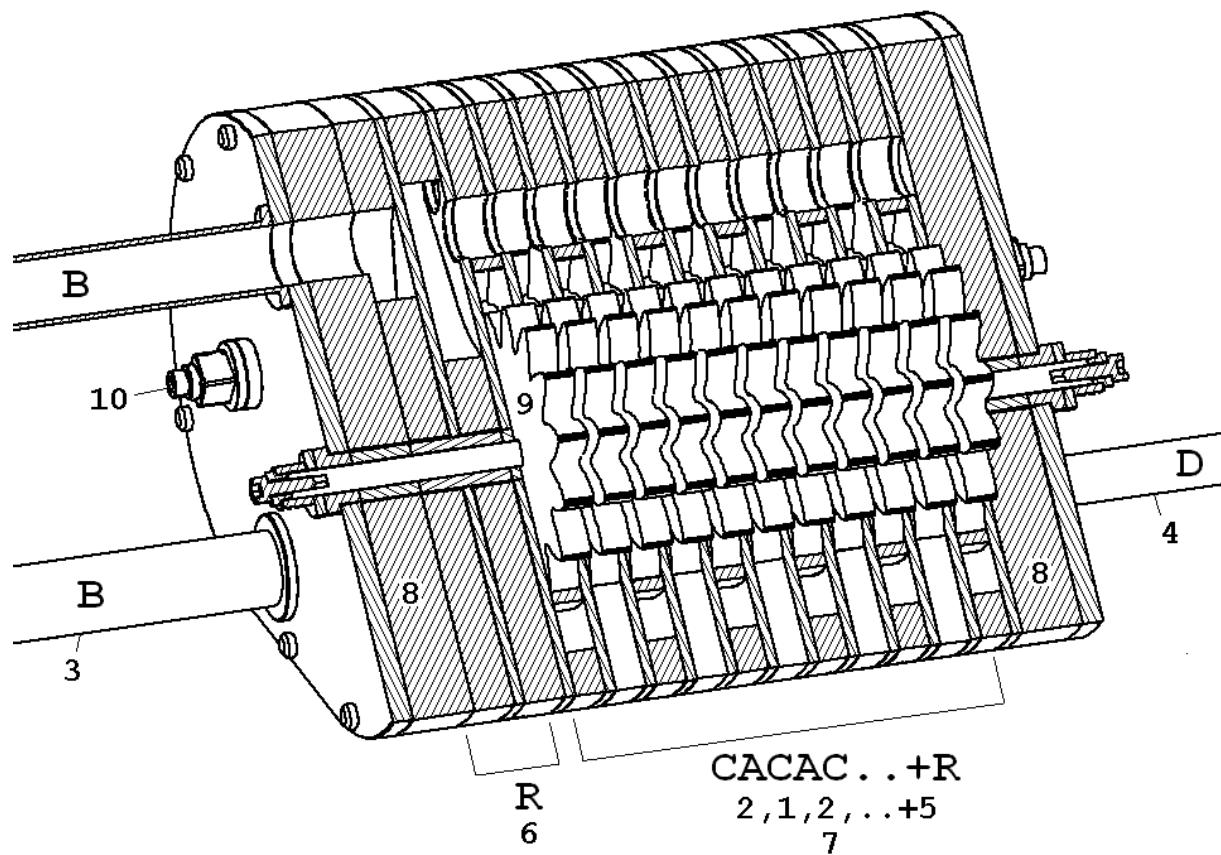


Figur 3. Thermodynamischer Kreisprozess im p-V-Diagramm.

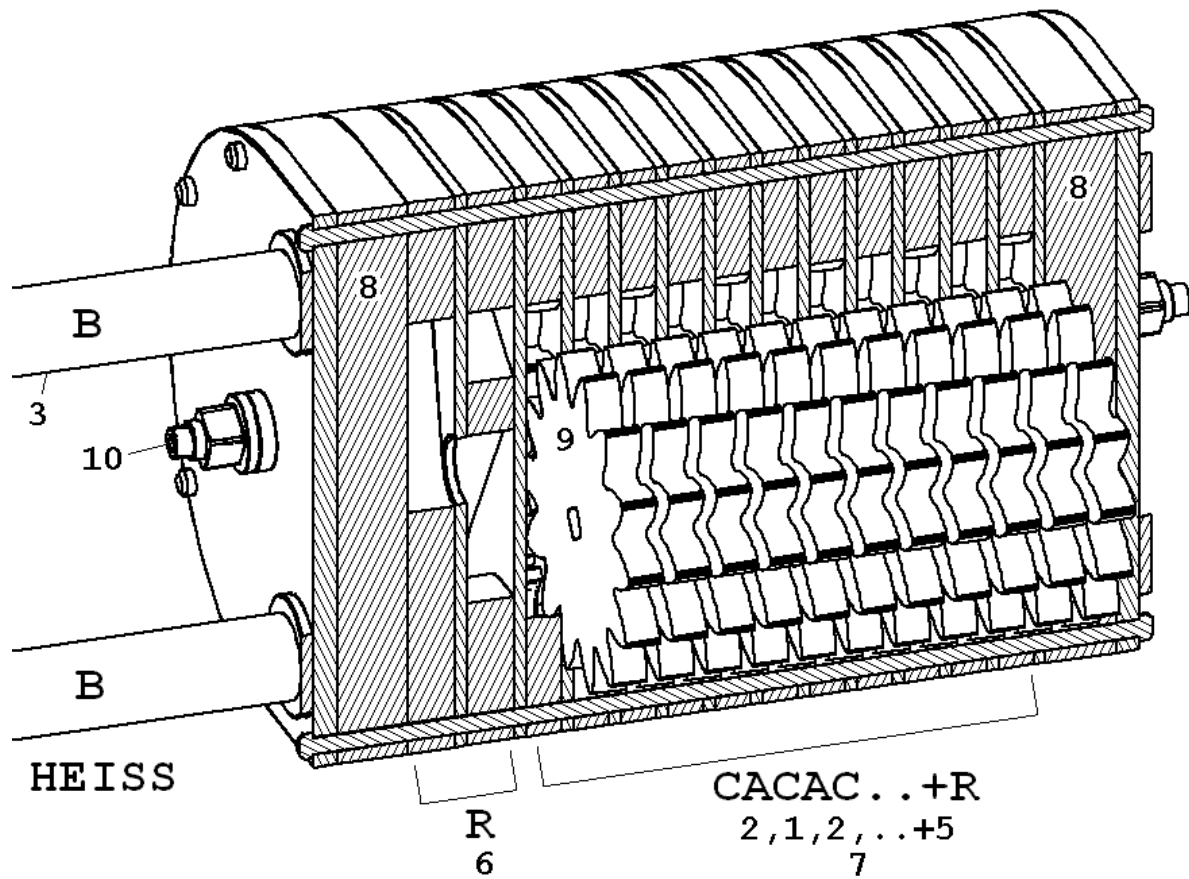


Figur 4. Zahnradwärmekraftmaschine als Ganzes.

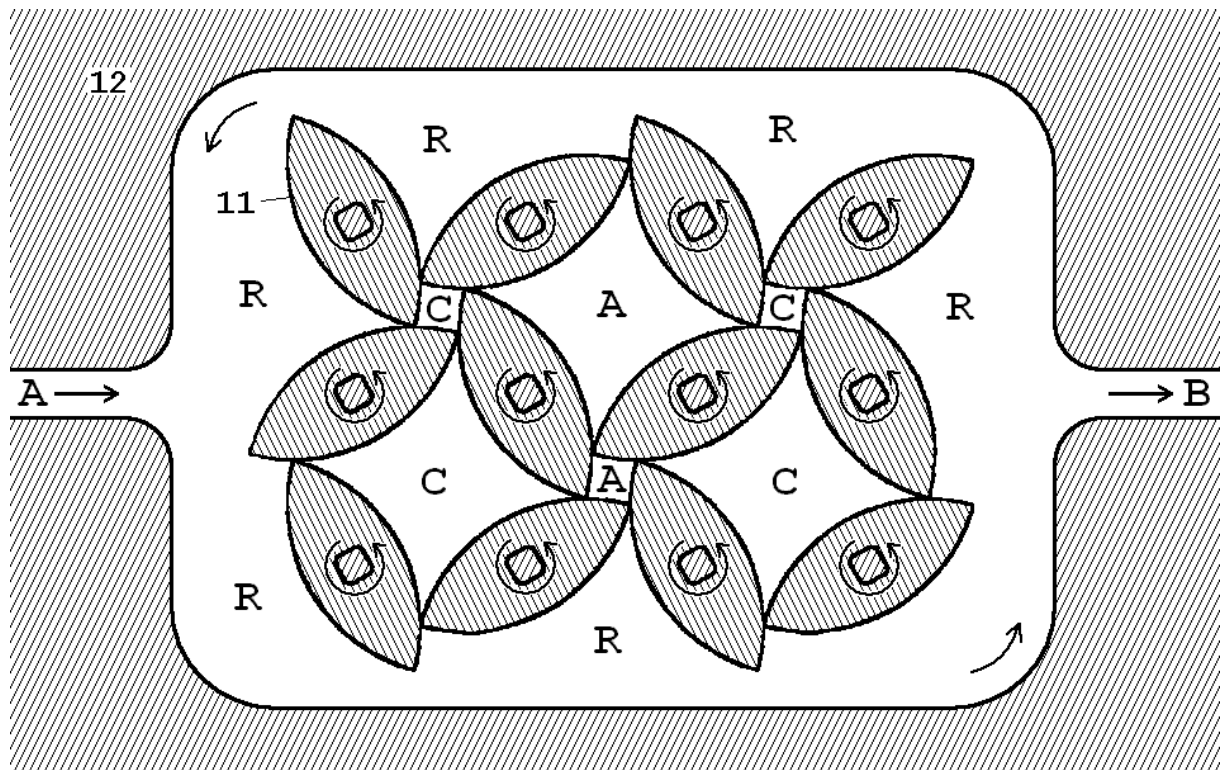




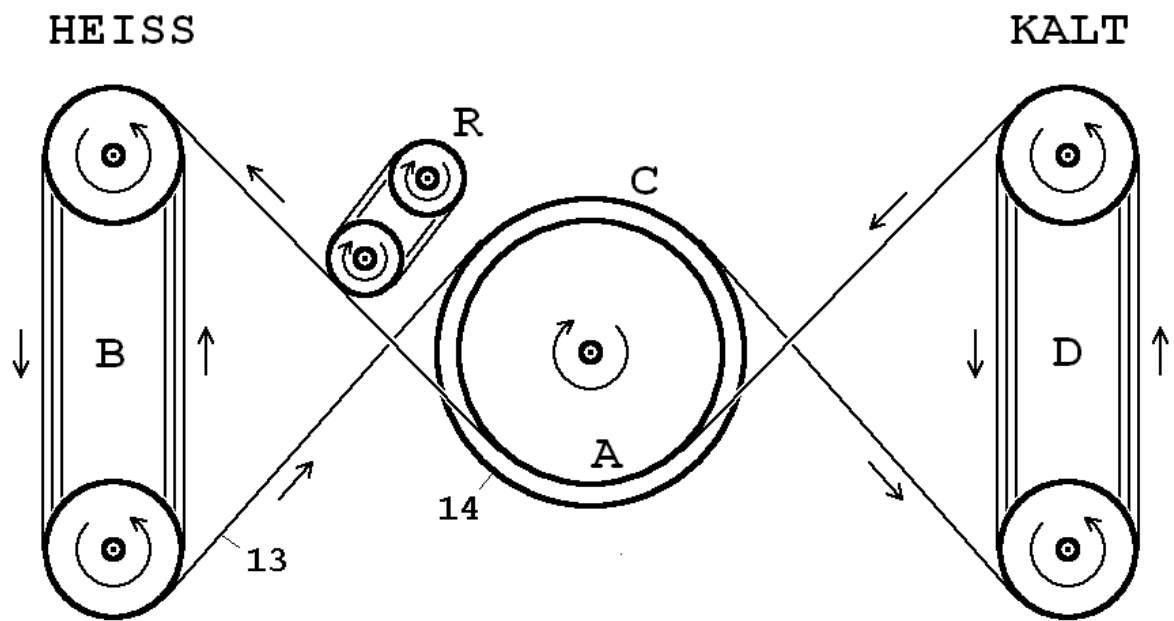
Figur 5. Zahnradwärmekraftmaschine im Längsschnitt entlang einer Welle.



Figur 6. Zahnradwärmekraftmaschine im Längsschnitt durch die Mitte.



Figur 7. Wärmekraftmaschine mit Drehkolbenarray.



Figur 8. Wärmekraftmaschine mit Draht als Arbeitsfluid.