

(19)



(11)

EP 4 560 119 A1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43) Veröffentlichungstag:
28.05.2025 Patentblatt 2025/22

(51) Internationale Patentklassifikation (IPC):
F01K 25/06^(2006.01)

(21) Anmeldenummer: **23212154.1**

(52) Gemeinsame Patentklassifikation (CPC):
F01K 25/065

(22) Anmeldetag: **25.11.2023**

(84) Benannte Vertragsstaaten:
AL AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC ME MK MT NL NO PL PT RO RS SE SI SK SM TR
Benannte Erstreckungsstaaten:
BA
Benannte Validierungsstaaten:
KH MA MD TN

(71) Anmelder: **Roßberg, Kristian**
28203 Bremen (DE)

(72) Erfinder: **Roßberg, Kristian**
28203 Bremen (DE)

(54) **VORRICHTUNG UND VERFAHREN ZUR UMWANDLUNG VON THERMISCHER ENERGIE IN EINEM TRILATERAL CYCLE IN MECHANISCHE ROTATIONSENERGIE**

(57) Vorrichtung und Verfahren zur Umwandlung von thermischer Energie in einem Trilateral Cycle (TLC-Prozess) in mechanische Rotationsenergie.

Eine Rotationseinheit zur Umwandlung der thermischen Energie eines erwärmten Arbeitsmittels (AM) nach dem TLC-Prozess in Rotationsenergie ist gekennzeichnet durch eine in geometrischen Formen, bevorzugt Spiralen, gewickelte und außermittig auf einer Tragstruktur angeordnete durchgehende schlauchförmige Leitung in der, unter Ausnutzung der auf das flüssige Arbeits-

mittel wirkenden Fliehkraft ein gleichmäßiger, kontinuierlicher Druckabbau erfolgt verbunden mit einer kontinuierlichen Entspannungsverdampfung des Arbeitsmittels bei gleichzeitiger Beschleunigung und Erhöhung der Strömungsgeschwindigkeit des Arbeitsmittels.

Das am Ende der schlauchförmigen Leitung mit hoher Geschwindigkeit aus einer Düse austretende teilweise verdampfte bzw. flüssig verbliebene Arbeitsmittel versetzt die Rotationseinheit nach dem Prinzip einer Reaktionsturbine in eine Rotationsbewegung.

Fig. 5a

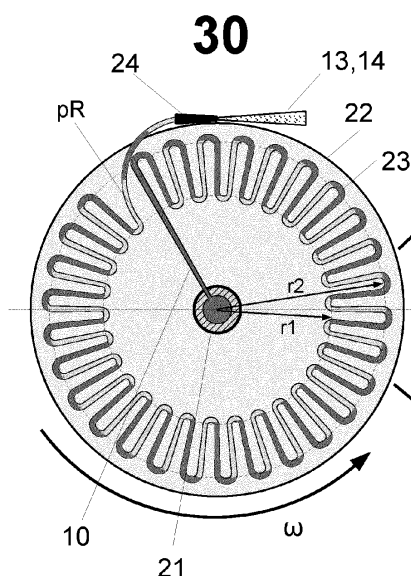
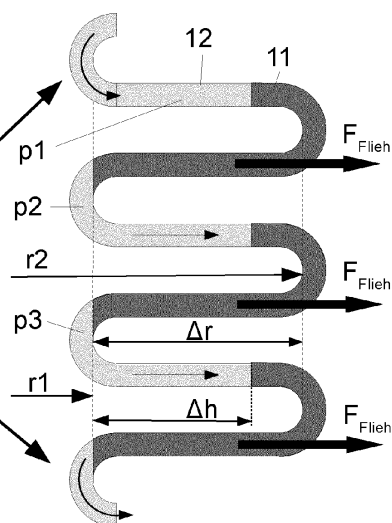


Fig. 5b



$$\begin{aligned} p_2 &= p_1 - \Delta p \\ p_3 &= p_2 - \Delta p \\ \Delta p &= f(\rho_{AM}, \omega, \Delta h) \end{aligned}$$

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft Verfahren und Vorrichtungen zur Umwandlung von thermischer Energie in technisch nutzbare Rotationsenergie und nachfolgend elektrischer Energie unter Nutzung eines thermodynamischen Dreiecks-Prozesses.

Stand der Technik

[0002] Aufgrund der geringen Temperaturdifferenz von Niedertemperaturwärmequellen zu möglichen Wärmesenken wie Oberflächenwasser oder Umgebungsluft und des daraus resultierenden niedrigen theoretischen Wirkungsgrades ist bei Wärmekraftmaschinen die möglichst vollständige Ausnutzung der theoretisch nutzbaren thermischen Energie erwünscht.

[0003] Möglich wird dies durch Realisierung eines Tri-lateral-Cycle (TLC-Prozess) nach Smith (US4,557,112), der den theoretisch höchsten exergetischen Wirkungsgrad im Vergleich zu anderen Wärmekraftprozessen wie einem Dampfkraft-, ORC- oder Kalina-Prozess aufweist.

[0004] Im TLC-Prozess nach Smith (siehe Fig. 1) durchläuft ein Arbeitsmittel die Schritte:

- Isochore Druckerhöhung (Pkt. 1 - Pkt. 2)
- Isobare Wärmezufuhr ohne Verdampfung des Arbeitsmittels (Pkt. 2 - Pkt. 3)
- Isentrope Entspannungsverdampfung durch kontinuierliche Druckverringerung mit gleichzeitiger Volumenvergrößerung und Verrichten von Volumenarbeit (Pkt. 3 - Pkt. 4)
- Isobare Wärmeabfuhr und Kondensation des verdampften Anteils des Arbeitsmittels (Pkt. 4 - Pkt. 1)

[0005] Der prinzipielle Aufbau eines Wärmekraftwerkes nach dem TLC-Prozess ist in Fig.2 dargestellt. Beginnend beim Punkt 1 wird ein flüssiges Arbeitsmittel durch eine Druckpumpe unter einen Arbeitsdruck gesetzt, nachfolgend wird dem Arbeitsmittel in einem Wärmetauscher externe Wärme zugeführt, diese durch Teilverdampfung des Arbeitsmittels in einer Wärmekraftmaschine in eine Rotationsbewegung umgesetzt die einen Generator antreibt. Der entstandene Arbeitsmitteldampf wird nach Austritt aus der Wärmekraftmaschine und unter niedrigem Druck kondensiert und zusammen mit dem flüssig verbliebenen Arbeitsmittel wieder der Pumpe zugeführt.

[0006] Damit beginnt der Kreislauf erneut.

[0007] Die technische Herausforderung des TLC-Prozesses liegt in der Umsetzung der teilweisen Verdampfung des Arbeitsmittels in der Wärmekraftmaschine als erzwungene Entspannungsverdampfung mit einer fallenden Verdampfungskurve (siehe Fig. 2, T-S-Diagramm, Verlauf von Punkt 3 zu Punkt 4) senkrecht durch das Nassdampfgebiet des Arbeitsmittels.

[0008] Das kontinuierliche, gleichzeitige und räumliche Nebeneinander von:

- Aktive Reduktion des Arbeitsdruckes zur Initiierung der Entspannungsverdampfung des Arbeitsmittels
- Volumenvergrößerung durch den, durch die Entspannungsverdampfung des Arbeitsmittels neu entstehenden Arbeitsmitteldampf bzw. Ausdehnen des bereits vorhandenen Arbeitsmitteldampfes
- Verrichten von Expansionsarbeit durch die Volumenvergrößerung bei kontinuierlicher Verringerung des Arbeitsdruckes
- im Nassdampfgebiet des Arbeitsmittels mit einem hohen Flüssigkeitsanteil

stellen technisch hohe Anforderungen an die verwendete Wärmekraftmaschine.

[0009] Bekannt sind verschiedene Vorrichtungen zur Umsetzung der Entspannungsverdampfung eines TLC-Prozesses wie Rotationsmaschinen, Screw- und Vaneexpander, Kolbenmaschinen und Turbinensysteme. Insbesondere die große Volumenexpansion des Arbeitsmittels von bis zu 1:300 sowie Druckexpansion von bis zu 1:20 und mehr stellt dabei für viele Vorrichtungen eine Herausforderung dar. **[Smith2016]**, **[Francesconi2022]** und **[Markides_Wang2023]** geben hierzu einen aktuellen Überblick.

[0010] Aufgrund ihrer Kompaktheit, einfachen Konstruktion und insbesondere der Möglichkeit einer großen Volumen- und Druckexpansion werden Reaktionsturbinen nach dem Prinzip des Heronsballs intensiv erforscht. Bekannt sind dazu verschiedene Vorrichtungen:

US Patent 4,332,520, June 1, 1982, Fig.1

US Patent 5,236,349, Aug.17, 1993, Fig.3

US Patent 2006/034,677, Feb. 16, 2006, Fig. 3, 11

EP1350923A1, Jan. 08, 2002, Fig. 1

[0011] Diese Vorrichtungen wurden zumeist aus Lösungen für andere technische Prozesse abgeleitet und weisen erfindungsgemäß nur eine Stufe für die Entspannungsverdampfung auf.

[0012] Daraus resultiert ein extrem kurzer Zeitraum, in dem das Arbeitsmittel den Vorgang der Entspannungsverdampfung durchläuft, was zu thermodynamischen Nachteilen führt.

[0013] Dazu gehören:

- kein vollständiges Durchlaufen der Entspannungsverdampfung, was zu ungenutzter thermischer Energie führt
- Die p-V-Kennlinie der Vorrichtung entspricht nicht oder nur ungenügend der p-V-Verdampfungskennlinie des Arbeitsmittels, was zu Umwandlungsverlusten führt
- Z.T. hohe Drehzahlen der Vorrichtung, die zusätzliche, verlustbehaftete Getriebe erfordern
- Gefahr von Bauteilschädigungen an der Austrittsöffnung durch Tröpfchenerosion, ausgelöst durch die schnelle, schlagartige Entspannungsverdampfung

- Aufwendig zu fertigende Komponenten (Geometrie der Auslasskanäle und Düsen) die eine Verringerung der ökonomischen Rentabilität zur Folge haben
- Schlechte Anpassung der Vorrichtung an Veränderungen der Eingangstemperatur bzw. der Kondensationstemperatur aufgrund der, durch die mechanische Konstruktion vorgegebenen Arbeitspunkte was zu einer Beschränkung des Einsatzbereiches führt

Aufgabe der Erfindung

[0014] Ziel der vorliegenden Erfindung ist eine Vorrichtung zur Umwandlung von Niedertemperaturwärme von weniger als 200°C in technisch nutzbare Energie nach Fig. 2 unter Realisierung der Entspannungsverdampfung des TLC-Prozesses (Fig. 1, Pkt. 3-4) bei gleichzeitiger Beseitigung der Nachteile der bisher bekannten Vorrichtungen.

[0015] D.h. die neue technische Lösung soll folgende Eigenschaften aufweisen:

- die Entspannungsverdampfung wird, im Vergleich zum Stand der Technik, sehr langsam durchlaufen
- damit wird eine schlagartige Entspannungsverdampfung und nachfolgend ausgelöste Tröpfchenerosion an mechanischen Bauteilen vermieden
- die p-V-Kennlinie der Vorrichtung entspricht weitestgehend der p-V-Verdampfungskennlinie des Arbeitsmittels
- die Entspannungsverdampfung des Arbeitsmittels wird bei gleichzeitiger Abgabe von Energie weitestgehend vollständig durchlaufen
- eine Anpassung an Veränderungen der thermischen Umgebungsparameter wie Temperatur der Wärmequelle bzw. der Kondensationstemperatur ist möglich
- es wird ein großer Bereich der Temperatur der Niedertemperatur-Wärmequelle und der Kondensationstemperatur abgedeckt
- eine einfach herzustellende mechanische Konstruktion

Erläuterung des Lösungsansatzes

[0016] Die Aufgabe zur Umwandlung von thermischer Energie in mechanische Rotationsenergie wird erfindungsgemäß wie in den Ansprüchen definiert gelöst durch einen neuartigen rotierenden Energiewandler der in einem neuartigen Verfahren unter Nutzung der bei jeder Rotation wirkenden Fliehkräfte eine, im Vergleich zum Stand der Technik, langsame Entspannungsverdampfung des Arbeitsmittels nach dem TLC-Prozess ermöglicht und die gewonnene Energie als mechanische Rotationsenergie abgibt.

[0017] Der Energiewandler ist gekennzeichnet durch eine rotierende Tragstruktur auf der eine durchgehende schlauchförmige Leitung in regelmäßigen Formen mit

variierendem Abstand zur Rotationsachse der Tragstruktur angeordnet ist. In dieser schlauchförmigen Leitung erfolgt, unter Ausnutzung der auf das flüssige Arbeitsmittel wirkenden Fliehkraft eine langsame, kontinuierliche Entspannungsverdampfung des Arbeitsmittels mit einem kontinuierlichen Druckabbau bei gleichzeitiger Beschleunigung und Erhöhung der Strömungsgeschwindigkeit des flüssigen bzw. des verdampften Arbeitsmittels. Das am Ende der schlauchförmigen Leitung mit hoher Geschwindigkeit aus einer Düse austretende flüssig verbliebene bzw. teilweise verdampfte Arbeitsmittel versetzt den Energiewandler nach dem Prinzip einer Reaktionsturbine (auch Überdruckturbine genannt) in eine Rotationsbewegung.

[0018] Bei einer spiralförmigen Anordnung der schlauchförmigen Leitung erzeugt das in der Leitung mit hoher Geschwindigkeit rotierende Arbeitsmittel aufgrund seiner Masse zusätzlich einen Drehimpuls, der sich entsprechend der Gesetze des Drehimpulses als Gegenimpuls auf den Energiewandler überträgt und eine zusätzliche Rotationskraft erzeugt.

[0019] Neu ist:

- Aufbau und Design des Energiewandlers
- Nutzung der wirkenden Fliehkräfte als Vorrichtungs- und Verfahrensinterne Hilfskraft
- Nutzung der Gesetze des Drehimpulses
- Wandlung der thermischen Energie in mechanische Energie abweichend zum Stand der Technik in vielen einzelnen Schritten entlang der schlauchförmigen Leitung
- Reaktionsgrad **[Wikipedia]** des Energiewandlers annähernd 1

[0020] Zur besseren Unterscheidbarkeit und Abgrenzung zum Stand der Technik wird nachfolgend:

- der neuartige Energiewandler als **Rotationseinheit**
- die Gesamtvorrichtung mit integrierter Rotationseinheit als **Wärmekraftmaschine** bezeichnet.

Auflistung der Abbildungen

[0021]

- Fig. 1 - Stand der Technik: Thermodynamik des TLC-Prozesses
- Fig. 2 - Stand der Technik: Struktur eines Systems zur Energiegewinnung unter Nutzung einer Wärmekraftmaschine nach dem TLC-Prozess
- Fig. 3 - Stand der Technik: Konstruktion von Reaktionsturbinen
- Fig. 4 - Allgemeiner Aufbau einer Rotationseinheit

Fig. 5	- Aufbau einer Single-Rotationseinheit 30 mit mäanderförmig verlegter, als Kreisring angeordneter schlauchförmiger Leitung 23 Darstellung des Verfahrens der schrittweisen langsamen Entspannungsverdampfung am Beispiel der Rotationseinheit 30	5	• p_R - Restarbeitsdruck • Δh - Höhendifferenz • r_1 - minimaler Abstand der in geometrischen Formen verlegten schlauchförmigen Leitung zur Rotationsachse • r_2 - maximaler Abstand der in geometrischen Formen verlegten schlauchförmigen Leitung zur Rotationsachse
Fig. 6	- Prinzipdarstellung Strömung des flüssigen und verdampften Arbeitsmittel am Beispiel der mäanderförmig verlegten schlauchförmigen Leitung 23 der Rotationseinheit 30	10	• Δr - Differenz von r_1 und r_2 • F_{Flieh} - Fliehkraft, die auf das flüssige Arbeitsmittel wirkt
Fig. 7	- Aufbau einer Single-Rotationseinheit 31 mit in flachen Spiralen verlegter, als Kreisring angeordneter schlauchförmiger Leitung 23 Prinzipdarstellung Entstehung Drehimpuls φ am Beispiel der Rotationseinheit 31	15	• ρ_{AM} - Dichte des flüssigen Arbeitsmittels • ρ_{AD} - Dichte des Arbeitsmitteldampfes • ω - Winkelgeschwindigkeit der Rotationseinheit • φ_1 - Drehimpuls des rotierenden Arbeitsmittels • φ_2 - Gegen-Drehimpuls zu φ_1
Fig. 8	- Aufbau einer Single-Rotationseinheit 32 mit wellenförmiger, als Wicklung verlegter schlauchförmigen Leitung 23	20	Thermodynamische Bezugszeichen [0023] • Ziffern 1 - 4 kennzeichnen thermodynamische Zustandspunkte für das Arbeitsmittel im T-S und p-v Diagramm
Fig. 9	- Aufbau einer Single-Rotationseinheit 33 mit mehreren als Spiralturm 26 verlegten schlauchförmigen Leitungen 23	25	Verwendete Arbeitsmittel und Zustand [0024] • 10 - Arbeitsmittel, warm, allgemein • 11 - Arbeitsmittel, flüssig, warm • 12 - Arbeitsmittel, dampfförmig, warm • 13 - Arbeitsmittel, flüssig, kalt • 14 - Arbeitsmittel, dampfförmig, kalt • 15 - Inertes Hilfsgas
Fig. 10	- Prinzipieller Aufbau einer Multi-Rotationseinheit 34 am Beispiel der Single-Rotationseinheit 31	30	Rotationseinheit [0025] • 20 - Rotationseinheit, bestehend aus: ◦ 21 - Hohlwelle, als Rotationsachse ausgebildet ◦ 22 - kreisförmige Tragstruktur ◦ 23 - schlauchförmige Leitung ◦ 24 - Austrittsdüse ◦ 25 - thermische Isolation
Fig. 11	- Prinzipieller Aufbau von Single-Rotationseinheiten 31 und 33 zum Abbau hoher maximaler Arbeitsdrücke	35	
Fig. 12	- Prinzipieller Aufbau einer Wärmekraftmaschine 40 mit einer Single-Rotationseinheit bzw. Multi-Rotationseinheit	40	
Fig. 13	- Prinzipieller Aufbau eines kompletten Wärmekraftwerks 49	45	
Fig. 14	- Darstellung der Variation möglicher Betriebszustände im T-S-Diagramm	50	
Auflistung der verwendeten Bezugszeichen und Abkürzungen			
Allgemeine Bezugszeichen			
[0022]			
• AM - Arbeitsmittel, allgemein verwendet • pA - Arbeitsdruck, allgemein verwendet • $p_{A_{\text{max}}}$ - maximaler Arbeitsdruck • $p_1, p_2, p_3, \dots$ - lokaler Arbeitsdruck in einem einzelnen Abschnitt • Δp - Druckdifferenz zwischen zwei lokalen Arbeitsdrücken			• 26 - als Spiralturm verlegte schlauchförmige Leitung 23 • 30 - Single-Rotationseinheit mit mäanderförmig verlegter schlauchförmiger Leitung 23 • 31 - Single-Rotationseinheit mit in flachen Spiralen verlegter schlauchförmiger Leitung 23 • 32 - Single-Rotationseinheit mit gewickelter wellenförmiger schlauchförmiger Leitung 23 • 33 - Single-Rotationseinheit mit mehreren (sechs) als Spiralturm 26 gewickelten schlauchförmigen Lei-

tungen 23

- 34 - Multi-Rotationseinheit bestehend aus mehreren Single-Rotationseinheiten 31
- 40 - Wärmekraftmaschine, mit den weiteren Bestandteilen
 - 41 - druckfestes Gehäuse
 - 42 - Drehlager bzw. Drehlagerdurchführung
 - 43 - Drehdurchführung zur Zuführung von warmem Arbeitsmittel 10
 - 44 - Öffnung zum Auslassen des flüssig verbliebenen kalten Arbeitsmittels 13
 - 45 - Öffnung zum Auslassen des kalten Arbeitsmitteldampfes 14 und des inerten Hilfsgases 15
 - 46 - Öffnung zur Zirkulation des inerten Hilfsgases 15
- 49 -Wärmekraftwerk komplett

Detaillierte Beschreibung

[0026] Die nachfolgende Beschreibung stellt dar:

- den allgemeinen Aufbau der neuartigen Rotationseinheit 20
- Aufbau einer Single-Rotationseinheit 30
- das neuartige Verfahren der langsamen, schrittweisen Entspannungsverdampfung am Beispiel der Single-Rotationseinheit 30
- die Strömungsmechanik am Beispiel der Single-Rotationseinheit 30
- Aufbau einer Single-Rotationseinheit 31
- Entstehung eines Drehimpulses am Beispiel der Single-Rotationseinheit 31
- Aufbau einer Single-Rotationseinheit 32 für niedrige Temperaturdifferenzen
- Aufbau einer Single-Rotationseinheit 33 mit Spiraltürmen 26
- Aufbau einer Multi-Rotationseinheit 34 mit mehreren Single-Rotationseinheiten
- Rotationseinheiten für hohe Temperaturdifferenzen
- Variationen bei der Gestaltung der schlauchförmigen Leitung 23
- Variationen beim Arbeitsmittel

Allgemeiner Aufbau einer Rotationseinheit 20

[0027] In der Mitte einer Rotationseinheit 20 (siehe Fig. 4) befindet sich eine, als Rotationsachse ausgebildete Hohlwelle 21. Die Hohlwelle 21 weist am Umfang mindestens eine Eintrittsöffnung auf, durch die unter maximalem Arbeitsdruck $p_{A_{max}}$ stehendes, erwärmtes Arbeitsmittel 10 in den inneren Bereich der Hohlwelle eingebracht wird sowie mindestens eine Austrittsöffnung zum Ausbringen des Arbeitsmittels 10 aus der Hohlwelle.

[0028] Senkrecht zur Hohlwelle 21 befindet sich eine Tragstruktur 22, die fest mit der Hohlwelle 21 verbunden

ist.

[0029] Auf der Tragstruktur 22 befindet sich mindestens eine, druckfeste, durchgehende schlauchförmige Leitung 23, die in regelmäßigen Formen mit variierendem Abstand zur Rotationsachse auf der Tragstruktur angeordnet und auf dieser fixiert ist (siehe Fig. 4 symbolische Darstellung).

[0030] Die schlauchförmige Leitung 23 ist eingangseitig mit der Austrittsöffnung der Hohlwelle 21 verbunden, sodass das im Inneren der Hohlwelle befindliche Arbeitsmittel 10 in die Leitung 23 strömen kann. Ausgangseitig ist die Leitung 23 verbunden mit mindestens einer, tangential am äußeren Umfang der Tragstruktur 22 befindlichen Austrittsdüse 24, die fest mit der Tragstruktur 22 verbunden ist.

[0031] Zur Reduzierung bzw. Vermeidung thermischer Verluste ist die Rotationseinheit 20, insbesondere die schlauchförmige Leitung 23 (siehe Fig. 4, Schnitt A-A) mit einer thermischen Isolierung 25 umschlossen.

Aufbau einer Single-Rotationseinheit 30 und das Verfahren der langsamen

Entspannungsverdampfung

[0032] Das neuartige Verfahren zur Realisierung einer langsamen schrittweisen Entspannungsverdampfung nach dem TLC-Prozess (siehe Fig. 1) basiert auf einer Vielzahl kleiner Druck-Entspannungsschritte in der, in regelmäßigen Formen mit variierendem Abstand zur Rotationsachse verlegten schlauchförmigen Leitung 23 unter Ausnutzung der durch die Rotation der gesamten Rotationseinheit auf das in der Leitung 23 befindliche flüssige Arbeitsmittel wirkenden Fliehkraft F_{Flieh} .

[0033] In Fig.5 wird am Beispiel der Rotationseinheit 30 das Zusammenwirken der in regelmäßigen Formen mit variierendem Abstand zur Rotationsachse verlegten Leitung 23 mit der Fliehkraft F_{Flieh} dargestellt. In der Rotationseinheit 30 ist auf einer Tragstruktur 22 (Fig. 5a) kreisringförmig eine in Mäandern gelegte schlauchförmige Leitung 23 angeordnet.

[0034] In einer linearen Abwicklung (Fig. 5b) erscheint die Leitung 23 wie eine Anreihung von miteinander verbundenen U-förmigen Abschnitten, wobei die unteren Bögen der U-förmigen Abschnitte nach außen zeigen und einen Abstand r_2 zur Rotationsachse haben.

[0035] Die innen liegenden Verbindungen von einem U-förmigen Abschnitt zum nächsten Abschnitt weisen einen kleineren Abstand r_1 zur Rotationsachse auf.

[0036] Zwischen den beiden Abständen r_1 und r_2 ist die Differenz Δr .

[0037] Die radial zur Tragstruktur liegenden Schenkel der einzelnen U-förmigen Abschnitte sind mit Arbeitsmitteldampf bzw. mit flüssigem Arbeitsmittel gefüllt. Hierbei ist der Druck p_1 im oberen dampfgefüllten Schenkel (siehe Fig.5b) des ersten U-förmigen Abschnitts höher als der Druck p_2 im zweiten Abschnitt und dieser nochmals größer als der Druck p_3 im dritten dampfgefüllten

Abschnitt. Es gilt also $p_2 = p_1 - \Delta p$ sowie $p_3 = p_2 - \Delta p$.

[0038] Ursache für die Druckdifferenz Δp ist die durch die Rotation der gesamten Rotationseinheit 30 entstehende und auf das in den Schenkel der U-förmigen Abschnitte befindliche Arbeitsmittel wirkende Fliehkraft F_{Flieh} .

[0039] Eine Fliehkraft wird zunächst gleichermaßen vom Arbeitsmitteldampf 12 wie auch vom flüssigen Arbeitsmittel 11 erzeugt. Bedingt durch die höhere Dichte erzeugt das flüssige Arbeitsmittel 11 eine wesentlich stärkere Fliehkraft als das bereits verdampfte gasförmige Arbeitsmittel 12. Damit kommt es zu einem Kräfteungleichgewicht zwischen der Fliehkraft des Arbeitsmitteldampfes 12 und des flüssigen Arbeitsmittels 11 in den beiden Schenkeln eines U-förmigen Abschnittes.

[0040] Dieses Kräfteungleichgewicht verhindert das der höhere Druck p_1 (bzw. p_2) das flüssige Arbeitsmittel in den nächsten Abschnitt mit dem niedrigeren Druck p_2 (bzw. p_3) drücken kann. Es entsteht eine Höhendifferenz Δh beim flüssigen Arbeitsmittel zwischen den beiden Schenkeln eines U-förmigen Abschnittes als Abbild der Druckdifferenz Δp zwischen zwei benachbarten Abschnitten.

[0041] Die Höhendifferenz Δh bzw. die Druckdifferenz Δp (siehe Fig. 5b) sind hierbei variabel und abhängig von:

- der Differenz der Dichte des flüssigen Arbeitsmittels ρ_{AM} und des Arbeitsmitteldampfes ρ_{AD}
- der Rotationsgeschwindigkeit ω
- der Differenz Δr zwischen dem minimalen Abstand r_1 und dem maximalen Abstand r_2 der Leitung 23 zur Rotationsachse

[0042] Durch eine Vielzahl dieser U-förmigen Abschnitte mit einzelnen Druckdifferenzen Δp erfolgt in der Rotationseinheit 30 über die Länge der schlauchförmigen Leitung 23 ein schrittweiser Abbau des maximalen Arbeitsdruckes $p_{\text{A,max}}$ bis auf einen geringen Restdruck p_{R} .

[0043] In Fig. 5c ist das zu Fig. 5a und 5b gehörige p-V-Diagramm mit einer Darstellung der Lage der einzelnen Schritte der Entspannungsverdampfung mit der Druckdifferenz Δp dargestellt.

[0044] Die Aufsummierung der einzelnen Schritte ergibt ein p-V-Diagramm wie in Fig. 5d dargestellt.

Strömungsmechanik der Single-Rotationseinheit 30

[0045] In der Rotationseinheit 30 nach Fig. 5 erfolgt wie zuvor beschrieben durch eine Vielzahl von U-förmigen Abschnitten der schlauchförmigen Leitung 23 von Abschnitt zu Abschnitt eine kontinuierliche Verminderung des Arbeitsdruckes p_{A} . Während in Fig. 5 ein quasi-statischer Zustand dargestellt ist, unterliegt das Arbeitsmittel in der Realität durch kontinuierliche Zufuhr von neuem Arbeitsmittel 10 aus der Hohlwelle 21 in die schlauchförmige Leitung 23 (siehe Fig. 4) einer Strömung.

[0046] Um zu strömen muss das noch flüssige Arbeits-

mittel 11 bzw. der bereits vorhandene Arbeitsmitteldampf 12 jedoch die durch die Fliehkraft entstehende Sperrwirkung des flüssigen Arbeitsmittels 11 überwinden. Das Überwinden der Sperrwirkung des flüssigen Arbeitsmittels für den Arbeitsmitteldampf erfolgt in verschiedenen Abläufen die in Fig. 6 dargestellt sind. Zum leichteren Verständnis werden auch hier U-förmige Abschnitte der Rotationseinheit 30 nach Fig. 5 dargestellt.

[0047] In Fig. 6a ist der einfachste Fall dargestellt, der typischerweise am Anfang der schlauchförmigen Leitung 23 auftritt. Es strömt neu zugeführtes flüssiges Arbeitsmittel 10 unter dem Druck p_4 in den rechten Schenkel des U-förmigen Abschnittes, verringert den Höhenunterschied Δh und damit die durch die Fliehkraft entstehende Druckdifferenz Δp , die das flüssige Arbeitsmittel zwischen dem rechten und dem linken Schenkel aufbauen kann. Wenn die durch den Höhenunterschied Δh erzeugbare Druckdifferenz Δp kleiner wird als der reale Druckunterschied zwischen den lokalen Arbeitsdrücken p_4 und p_5 strömt flüssiges Arbeitsmittel aus dem linken Schenkel eines U-förmigen Abschnittes weiter in den rechten Schenkel des nächsten Abschnittes mit dem geringeren Arbeitsdruck p_5 über, was zu weiteren Veränderungen in den nachfolgenden U-förmigen Abschnitten führt.

[0048] In dem nachgeströmten, jetzt unter Arbeitsdruck p_5 stehendem, flüssigen Arbeitsmittel (siehe Fig. 6b) kommt es aufgrund des hier wirksamen, geringeren Arbeitsdruckes p_5 zu kleineren Entspannungsverdampfungen des Arbeitsmittels. Die entstehenden Arbeitsmitteldampf-Bläschen vergrößern durch ihr Blasenvolumen das Volumen des flüssigen Arbeitsmittels und heben den Flüssigkeitsspiegel im linken Schenkel des U-förmigen Abschnittes soweit an, dass weiteres flüssiges Arbeitsmittel nach links in den nächsten Abschnitt strömt.

[0049] Das führt dazu (siehe Fig. 6c) dass die verbleibende Menge an flüssigem Arbeitsmittel 11 und damit die durch das flüssige Arbeitsmittel erzeugbare Druckdifferenz Δp geringer ist als die reale Druckdifferenz zwischen p_4 und p_5 . Damit kann die Sperrwirkung des flüssigen Arbeitsmittels nicht mehr aufrecht erhalten werden. Es kommt zu einer direkten Strömung von Arbeitsmitteldampf 12, der unter dem Arbeitsdruck p_4 steht, in den nächsten Abschnitt unter dem Arbeitsdruck p_5 . Nachfolgend vergrößert sich das Volumen des durchgeströmten, zuvor unter Arbeitsdruck p_4 stehenden Arbeitsmitteldampfes durch Ausdehnung aufgrund des jetzt geringeren Arbeitsdruckes p_5 . Der lokale Arbeitsdruck p_5 wird leicht erhöht, was zu weiteren Veränderungen in den nachfolgenden U-förmigen Abschnitten führt.

[0050] Die in den Fig. 6a bis 6c dargestellten Abläufe treten hierbei nicht einzeln und isoliert, sondern immer in Kombination auf. Es kommt dabei kontinuierlich zu Strömungs- und Ausgleichsreaktionen über mehrere Abschnitte hinweg.

[0051] Durch das Wirken einer Vielzahl dieser lokaler Druckdifferenzen erfolgt der Vorgang der Entspannungsverdampfung des Arbeitsmittels nach dem TLC-Prozess (siehe Fig. 1) im Vergleich zum Stand der Technik sehr

langsam in vielen einzelnen Schritten und folgt damit nahezu ideal der p-V-Verdampfungskennlinie des Arbeitsmittels.

[0052] Die in Fig. 6 dargestellten Abläufe erzeugen eine kontinuierliche Volumenvergrößerung des Arbeitsmitteldampfes 12 und damit eine Strömung des flüssigen Arbeitsmittels 11 und des Arbeitsmitteldampfes 12 durch die schlauchähnliche Leitung 23.

[0053] Das kontinuierlich steigende Volumen des Arbeitsmitteldampfes 12 bewirkt dabei eine kontinuierliche Erhöhung der Strömungsgeschwindigkeit des Arbeitsmitteldampfes 12 bzw. des noch flüssigen Arbeitsmittels 11 durch die schlauchähnliche Leitung 23. Das bedeutet, die beim Verdampfen des Arbeitsmittels verbrauchte thermische Energie wird in kinetische Energie des strömenden Arbeitsmittels umgewandelt.

[0054] Die kontinuierliche Erhöhung der Strömungsgeschwindigkeit hat zur Folge, dass am Ende der schlauchförmigen Leitung 23 der abgekühlte Arbeitsmitteldampf 14 und das abgekühlte, flüssig verbliebene Arbeitsmittel 13 bei einem niedrigen Restarbeitsdruck pR mit einer sehr hohen Strömungsgeschwindigkeit aus der Austrittsdüse 24 austreten.

[0055] Dies führt zu der für Reaktionsturbinen typischen Rückstoßkraft, die von der Austrittsdüse 24 auf die Tragstruktur 22 und weiter zur Hohlwelle 21 geleitet wird. Von der Hohlwelle 21 kann diese Kraft dann als mechanische Rotation für den Antrieb z.B. eines Generators verwendet werden.

[0056] Während bei Reaktionsturbinen nach dem Stand der Technik (siehe Fig.3) die Umwandlung der gesamten thermischen Energie in der Düse erfolgt [siehe Wikipedia], findet bei einer Rotationseinheit nach Fig.5 die Umwandlung der thermischen Energie über die gesamte Länge der schlauchförmigen Leitung 23 mit einem wesentlich höheren Wirkungsgrad statt.

Aufbau einer Single-Rotationseinheit 31 und Entstehung eines Drehimpulses

[0057] Die Anordnung der schlauchähnlichen Leitung 23 als Mäander wie in Fig.5 dargestellt ist strömungsmechanisch nachteilig, da sie in jedem Abschnitt mit einem abrupten Richtungswechsel verbunden ist was zu Strömungswiderständen führt.

[0058] Vorteilhafter ist eine kontinuierliche Strömung ohne abrupte Richtungswechsel. Dies wird erreicht durch eine schlauchähnliche Leitung 23 die wie in Fig.7a dargestellt, in flach liegenden, kreisförmigen Spiralen auf der Tragstruktur 22 angeordnet ist.

[0059] In der linearen Abwicklung der Leitung 23 (siehe Fig.7b, 7c) ist die direkte Analogie der Anordnung der in Spiralen verlegten schlauchförmigen Leitung 23 zur in Fig.5 dargestellten Leitung 23, die in Mäandern verlegt ist, erkennbar. Es gelten damit die gleichen Gesetzmäßigkeiten wie zu Fig.5 und 6 dargelegt.

[0060] Die Anordnung der schlauchähnlichen Leitung 23 auf der Tragstruktur 22 in flach liegenden, kreisförmigen

Spiralen führt in Kombination mit einer hohen Strömungsgeschwindigkeit zur Entstehung eines Drehimpulses.

[0061] Wie in Fig. 7b dargestellt strömt das Arbeitsmittel in der spiralförmigen Leitung 23 im Uhrzeigersinn. Damit entsteht ein ebenfalls im Uhrzeigersinn gerichteter Drehimpuls φ_1 . Aufgrund der höheren Dichte wird dieser Drehimpuls insbesondere durch das flüssige Arbeitsmittel 11 hervorgerufen.

[0062] Der Drehimpuls φ_1 (siehe Fig.7b), dessen Drehpunkt außermittig der Rotationsachse (der Hohlwelle 21) der Rotationseinheit 31 liegt, erzeugt gemäß den Impuls-Gesetzen einen Gegenimpuls φ_2 (siehe Fig. 7a), der über die Tragstruktur 22 auf die Rotationseinheit 31 wirkt. Der Gegen-Drehimpuls φ_2 hat dabei eine entgegengesetzte Drehrichtung zu φ_1 , d.h. φ_2 dreht sich entgegen dem Uhrzeigersinn.

[0063] Durch die erfindungsgemäße tangential Ausrichtung der Austrittsdüse 24 in Uhrzeigersinn ergibt sich, das die durch die Rückstoßkraft der Austrittsdüse 24 entstehende Drehrichtung der Rotationseinheit und die aus dem Gegenimpuls φ_2 resultierende Drehrichtung identisch entgegen dem Uhrzeigersinn sind und sich damit überlagern. D.h. zusätzlich zur Rückstoßkraft der Austrittsdüse 24 gibt es mit dem Drehimpuls φ_2 eine zweite Kraft, die die Rotationseinheit 31 in Rotation versetzt.

Aufbau einer Single-Rotationseinheit 32 für niedrige Temperaturdifferenzen

[0064] Gewünscht wird oftmals die Umwandlung von geringen Temperaturdifferenzen in mechanische Energie. Dies ist mit dem bekannten Stand der Technik nicht möglich, da die geringen Temperaturdifferenzen nur geringe Druckdifferenzen ermöglichen bei einer gleichzeitig großen Volumenvergrößerung durch den entstehenden Dampf.

[0065] Mit einer Rotationseinheit 32 (siehe Fig.8) und einer entsprechenden Gestaltung der schlauchförmigen Leitung 23 können auch geringe Temperaturdifferenzen in mechanische Energie umgewandelt werden.

[0066] Nimmt man die in Fig.5 dargestellte mäanderförmig verlegte Leitung 23 und verringert die Höhe der einzelnen Abschnitte hin zu einer flachen Wellenform ist eine Anordnung der Leitung 23 als konzentrische Wicklung mit einzelnen wellenförmigen Abschnitten wie in Fig.8a dargestellt möglich. In der linearen Abwicklung der Leitung 23 (siehe Fig.8b) erkennt man das Prinzip der einzelnen U-förmigen Abschnitte wie zu Fig.5 erläutert wieder.

[0067] Zwischen den einzelnen langgezogenen U-förmigen Abschnitten können nur geringste Druckunterschiede Δp erzeugt werden, die über eine Vielzahl an Abschnitten trotzdem eine langsame und schrittweise Umwandlung der thermischen Energie in mechanische Strömungsenergie erlauben.

Aufbau einer Single-Rotationseinheit 33 mit Spiraltürmen 26

[0068] Wie zuvor zu Fig. 5 erläutert, ist die Basis für die erfindungsgemäße Funktion einer Rotationseinheit 20 die Bildung einer Druckdifferenz Δp zwischen zwei aufeinanderfolgenden Abschnitten.

[0069] Dazu kann, wie in Fig. 7 dargestellt, die schlauchähnliche Leitung 23 in Spiralen als flacher Kreisring angeordnet werden.

[0070] Eine weitere Möglichkeit der spiralförmigen Anordnung der schlauchförmigen Leitung 23 ist in Form übereinanderliegenden Spiralen als Spiralturm 26 wie in Fig. 9b dargestellt. Aus Symmetriegründen und zur Vermeidung einer Unwucht sind dazu mindestens zwei Spiraltürme 26 auf einer Tragstruktur 22 anzuordnen. Dieser Aufbau wird als Rotationseinheit 33 bezeichnet.

[0071] In Fig. 9a ist ein Beispiel einer Rotationseinheit 33 mit 6 Spiraltürmen 26 dargestellt, möglich sind aber auch andere Anordnungen mit 2-5 oder mehr als 6 Spiraltürmen.

[0072] Wie in Fig. 9c dargestellt, wirken in einer außermittig auf einer Tragstruktur 22 als Spiralturm 26 angeordneten schlauchförmigen Leitung 23 die gleichen Gesetzmäßigkeiten der Bildung einer Druckdifferenz Δp und eines Drehimpulses φ_1 wie bei einer in flach liegenden Spiralen angeordneten schlauchförmigen Leitung 23 nach Fig. 7.

[0073] Bei entsprechender Konstruktion der Hohlwelle 21 für die Zuführung des warmen Arbeitsmittels 10 mit individuellen Leitungen zu den einzelnen Spiraltürmen 26, können die einzelnen Spiraltürme bei Veränderungen der thermischen Gegebenheiten zu- oder abgeschaltet werden. Eine entsprechendes Kontroll- und Regelungssystem steuert die Zu- oder Abschaltung der einzelnen Spiraltürme 26.

Aufbau einer Multi-Rotationseinheit 34

[0074] Die strukturell einfache Konstruktion einer Single-Rotationseinheit erlaubt es wie in Fig. 10 dargestellt, zur Erhöhung der mechanischen Leistung mehrere Single-Rotationseinheiten (in Fig. 10 insgesamt 4 Single-Rotationseinheiten 31) auf einer gemeinsamen Hohlwelle 21 zu betreiben. Diese Konstruktion wird als Multi-Rotationseinheit 34 bezeichnet.

[0075] Durch Kombination verschiedener Typen von Single-Rotationseinheiten (30-33) zu einer Multirotationseinheit 34 wird die Anpassungsfähigkeit an Veränderungen der maximalen Arbeitstemperatur bzw. der Kondensationstemperatur erhöht.

[0076] Bei entsprechender Konstruktion der Hohlwelle 21 mit mehreren separaten Leitungen für die Zuführung des warmen Arbeitsmittels 10 wie in Fig. 10, Schnitt A-A dargestellt, können die einzelnen Rotationseinheiten bei Veränderungen der thermischen Gegebenheiten zu- oder abgeschaltet werden. Eine entsprechendes Kontroll- und Regelungssystem steuert die Anzahl der zu-

oder abgeschalteten Rotationseinheiten.

[0077] Zur Vermeidung bzw. Reduzierung thermischer Verluste ist die Multi-Rotationseinheit 34, insbesondere die schlauchförmigen Leitungen 23 (siehe Fig. 10) mit einer thermischen Isolierung 25 umschlossen.

Rotationseinheiten für hohe Druckdifferenzen

[0078] Je nach verwendetem Arbeitsmittel, maximaler Arbeitstemperatur bzw. Kondensationstemperatur ergibt sich zwischen dem maximalen Arbeitsdruck $p_{A_{\max}}$ und dem Restarbeitsdruck p_R ein hoher Druckunterschied, der wie zuvor dargelegt in den einzelnen Spiralen der schlauchförmigen Leitung 23 über die einzelnen Druckdifferenzen Δp abgebaut werden muss. Damit ergibt sich bei hohen Druckdifferenzen die Erfordernis nach einer entsprechend großen Anzahl an einzelnen Abschnitten der schlauchähnlichen Leitung 23. Dazu gibt es, wie in Fig. 11 dargestellt, verschiedene Varianten zur Realisierung.

[0079] In Fig. 11a ist eine Rotationseinheit 31 mit einer großen Anzahl einzelner Spiralen dargestellt, wobei es hier Limitierungen durch die Grundfläche der Tragstruktur 22 und die mechanischen Eigenschaften der schlauchähnlichen Leitung 23 gibt.

[0080] Eine andere Variante einer Rotationseinheit für hohe Druckunterschiede besteht in der Nutzung einer Rotationseinheit 33 mit Spiraltürmen. Dabei werden die schlauchähnlichen Leitungen 23 der einzelnen Spiraltürme 26 derart miteinander verbunden sind (siehe Fig. 11b), dass das Gemisch aus flüssigem Arbeitsmittel 11 und Arbeitsmitteldampf 12 nacheinander mehrere Spiraltürme durchläuft bevor es aus einer Austrittsdüse 24 austritt. Je nach Anzahl der Spiraltürme die in einer Rotationseinheit 34 verwendet werden, ist auch eine variable Zusammenschaltung möglich.

[0081] Ebenso können in einer Multi-Rotationseinheit 34 durch Hintereinanderschaltung der einzelnen Single-Rotationseinheiten hohe Druckunterschiede abgebaut werden.

Variationen bei der Gestaltung der schlauchförmigen Leitung 23

[0082] Wie zuvor zu Fig. 5 dargestellt, ist die Grundbedingung für die erfindungsgemäße Funktion einer Rotationseinheit 20 dass in einer schlauchförmigen Leitung 23 zwischen zwei benachbarten Abschnitten bei Rotation eine Druckdifferenz Δp entsteht.

[0083] Zur Optimierung der Leistung bzw. der sich durch das vergrößerte Dampfvolumen bedingten technischen Eigenschaften der Rotationseinheit ist im Verlauf der Entspannungsverdampfung eine Veränderung der Druckdifferenz Δp wünschenswert. Dies kann durch Variationen der schlauchförmigen Leitung 23 erfolgen.

[0084] So kann in einer ersten Variante die Differenz Δr zwischen den Radien r_1 und r_2 der schlauchförmigen Leitung 23 (siehe Fig. 5, 7, 8, 9) vom Anfang zum Ende hin

verändert werden. Eine Verkleinerung von Δr führt zu einer Verkleinerung der möglichen Höhendifferenz Δh und damit der maximalen Druckdifferenz Δp . Genauso ist aber auch umgekehrt eine Vergrößerung von Δr mit einer Erhöhung der maximalen Druckdifferenz Δp möglich.

[0085] Eine weitere Variante besteht darin den Abstand der schlauchförmigen Leitung 23 zur Rotationsachse vom Anfang zum Ende hin bei gleichbleibender Differenz Δr zu verändern. Eine Verkleinerung führt aufgrund der sich ebenfalls verringernden Fliehkraft zu einer Verringerung der maximalen Druckdifferenz Δp . Ebenso ist auch hier eine Vergrößerung des Abstandes und damit eine Erhöhung der maximalen Druckdifferenz Δp möglich.

[0086] Dem sich stark verändernden Strömungsvolumen aus flüssigem Arbeitsmittel 11 und Arbeitsmitteldampf 12 kann als weitere Möglichkeit mit einer schlauchförmigen Leitung 23 entsprochen werden die einen vom Anfang zum Ende hin sich verändernde Querschnittsfläche aufweist. Eine Vergrößerung der Querschnittsfläche führt zu einer Verringerung der Strömungsgeschwindigkeit, eine Verringerung der Querschnittsfläche zu einer Erhöhung der Strömungsgeschwindigkeit.

[0087] Je nach konkreten Anwendungsfall bzw. Einsatzgebiet können auch Kombinationen aus den genannten Variationsmöglichkeiten sowie weitere Varianten zur Anwendung kommen.

Variationen beim Arbeitsmittel

[0088] Der klassische TLC-Prozess nach Smith (siehe Fig. 1) arbeitet mit einem Arbeitsmittel 10, das typischerweise eine einzelne chemische Verbindung ist, die im Schritt 4 isentrop teilweise verdampft. "Teilweise" bedeutet hierbei dass niemals die gesamte Menge an erwärmtem Arbeitsmittel verdampft. Je nach verwendetem Arbeitsmittel, Arbeitstemperaturen und Temperaturdifferenz zwischen Erwärmung und Kondensation verbleibt mehr als die Hälfte des Arbeitsmittels abgekühlt im flüssigen Zustand. Dieser flüssig verbleibende Anteil des Arbeitsmittels dient im originalen TLC-Prozess nur als Wärmespeicher und liefert die thermische Energie für den verdampfenden Anteil des Arbeitsmittels.

[0089] Hier setzt die Lösung eines binären Gemisches als Arbeitsmittel an, indem die flüssig verbleibende Menge des Arbeitsmittels durch eine zweite, chemisch andere Verbindung ersetzt wird. Diese zweite Verbindung weist bei gleichem Druck stets eine höhere Verdampfungstemperatur als die erste, verdampfende Verbindung auf. Dadurch bleibt die zweite Verbindung immer flüssig und geht zu keinem Zeitpunkt in Dampf über. Sie dient ausschließlich als Wärmespeicher zum vollständigen Verdampfen der ersten chemischen Verbindung.

[0090] Eine Veränderung des Mischungsverhältnisses der zwei Verbindungen erlaubt eine einfache Anpassung des Energiewandlers an sich verändernde Temperatu-

ren bzw. Temperaturdifferenzen der Wärmequelle und der Kondensation.

[0091] Die Verwendung eines binären Gemisches als Arbeitsmittel hat dabei keinen Einfluss auf den physikalischen Ablauf des TLC-Prozesses, die technische Funktion der Rotationseinheit 20 oder der Arbeitsweise der Wärmekraftmaschine.

[0092] Beim klassischen TLC-Prozess wird zudem üblicherweise mit einem erwärmten und unter Druck stehenden Arbeitsmittel 10 gearbeitet, das sich bei Zuführung zur Wärmekraftmaschine vollständig im flüssigen Zustand befindet.

[0093] Der neu entwickelte und technisch sehr einfache Aufbau einer Rotationseinheit 20 mit einer schlauchförmigen Leitung 23 erlaubt es, mit einem Arbeitsmittel 10 zu arbeiten, das sich bereits in einem teilweise verdampften Zustand befindet. D.h. das der Rotationseinheit 20 zugeführte warme Arbeitsmittel 11 und bereits entstandenem Arbeitsmitteldampf 12 sein.

[0094] Diese Eigenschaft erweitert den Arbeitsbereich der Rotationseinheit 20 hin zu variablen Temperaturen, wie sie z.B. bei solarthermischer Erwärmung im Tagesverlauf auftreten können.

Ausführungsbeispiel einer Wärmekraftmaschine 40

[0095] Eine Single-Rotationseinheit bzw. eine Multi-Rotationseinheit ist das wesentliche Element einer Wärmekraftmaschine 40 deren Aufbau in Fig. 12 dargestellt ist.

[0096] In Fig. 12a wird eine Wärmekraftmaschine mit einer Single-Rotationseinheit dargestellt, in Fig. 12b eine Wärmekraftmaschine mit einer Multi-Rotationseinheit.

[0097] Eine Wärmekraftmaschine 40 besteht aus mindestens den folgenden Bestandteilen:

- einer Single- oder Multi-Rotationseinheiten 20
- einem druckfesten Gehäuse 41 mit Drehlagern bzw. Drehlagerdurchführungen 42 zur rotationsfähigen Halterung der Rotationseinheit 20
- Drehdurchführungen 43 zur Zuführung von warmem Arbeitsmittel 10 in die Hohlwelle 21 der Rotationseinheit
- Einer Öffnung 44 im unteren Bereich des Gehäuses 41 zum Auslassen des flüssig verbliebenen kalten Arbeitsmittels 13 sowie
- Einer Öffnung 45 im oberen Bereich des Gehäuses 41 zum Auslassen des kalten Arbeitsmitteldampfes 14
- Einer Öffnung 46 im mittleren Bereich des Gehäuses 41 zur Zirkulation eines inerten Hilfsgases 15

[0098] Zum Betrieb der Wärmekraftmaschine 40 wird erwärmtes, unter maximalem Arbeitsdruck $p_{A_{\max}}$ stehendes Arbeitsmittel 10 von außen in die Drehdurchführung 43 und von dort weiter in die Hohlwelle 21 der Rotationseinheit eingebracht.

[0099] Die Rotationseinheit wandelt die thermische Energie des Arbeitsmittels 10 in eine mechanische Rotation der Rotationseinheit bzw. der Hohlwelle 21 um. Die Rotation der Hohlwelle 21 wird anschließend über eine Drehlagerdurchführung 42 auf einen Generator übertragen und erzeugt dort elektrische Energie.

[0100] Das aus der Rotationseinheit austretende abgekühlte flüssige Arbeitsmittel 13 und der abgekühlte Arbeitsmitteldampf 14 werden im Gehäuse 41 aufgefangen.

[0101] Das flüssige Arbeitsmittel 13 strömt durch die Öffnung 44 im unteren Bereich des Gehäuses 41 nach außen zur erneuten Erwärmung.

[0102] Der Arbeitsmitteldampf 14 strömt zusammen mit Teilen des inerten Hilfsgases 15 durch die Öffnung 45 im oberen Bereich des Gehäuses 41 einem Kondensator zur Verflüssigung zu.

[0103] Das inerte Hilfsgas 15 strömt dem Gehäuse 41 durch die im mittleren Bereich gelegene Öffnung 46 zu.

[0104] Die in Fig.12 dargestellte Anordnung der Rotationseinheit 20 mit senkrechter Rotationsachse ist die bevorzugte Anordnung. Prinzipiell ist aber auch eine waagerechte oder schräge Anordnung der Rotationsachse ohne Einfluss auf die grundlegende Funktion der Rotationseinheit 20 möglich.

[0105] In Fig. 13 ist der Aufbau eines kompletten Wärmekraftwerks 49 mit einer Wärmekraftmaschine 40 dargestellt. Der aus der Wärmekraftmaschine 40 austretende Arbeitsmitteldampf 14 strömt zusammen mit Teilen des inerten Hilfsgases 15 einem Kondensator zur Abfuhr der Entropie unter Verflüssigung des Arbeitsmitteldampfes 14 zu. Nach der Kondensation strömt das jetzt wieder flüssige kalte Arbeitsmittel 13 einem Sammelbehälter zu.

[0106] Im Kondensator wird das inerte Hilfsgas vom flüssigen kalten Arbeitsmittel 13 getrennt und strömt leicht abgekühlt über die Öffnung 46 zurück zur Wärmekraftmaschine 40.

[0107] Das in der Wärmekraftmaschine 40 flüssig verbliebene kalte Arbeitsmittel 13 strömt aus der Wärmekraftmaschine 40 ebenfalls dem Sammelbehälter zu.

[0108] Eine Pumpe saugt aus dem Sammelbehälter das flüssige kalte Arbeitsmittel 13, setzt es unter maximalem Arbeitsdruck $p_{A_{max}}$ und pumpt es weiter zu einem Erhitzer zur Erwärmung auf maximale Arbeitstemperatur. Anschließend wird das unter Druck stehende und erhitzte Arbeitsmittel 10 erneut der Rotationseinheit 20 zur Umwandlung der thermischen Energie in mechanische Energie zugeführt.

[0109] Das zwischen der Wärmekraftmaschine 40 und dem Kondensator zirkulierende inerte Hilfsgas 15 übernimmt hierbei Funktionen zur Steuerung der Strömungsrichtung des kalten Arbeitsmitteldampfes 14 sowie zum Druckausgleich zwischen Kondensator und Wärmekraftmaschine 40.

[0110] Als inertes Hilfsgas können Gase wie Stickstoff (N_2) oder Kohlendioxid (CO_2) verwendet werden.

[0111] Eine Kontroll- und Regelungssystem passt die zugeführte Menge an erwärmtem Arbeitsmittel 10, das

Mischungsverhältnis eines binären Arbeitsmittels 10 bzw. die Anzahl der zu- oder abgeschalteten Single-Rotationseinheiten 20 einer Multi-Rotationseinheit an Veränderungen der Temperatur der Niedertemperaturwärmequelle, der Kondensationstemperatur bzw. der verfügbaren Energiemenge der Niedertemperaturwärmequelle an.

[0112] Nicht dargestellt werden verschiedene Hilfssysteme wie:

- Starthilfsvorrichtungen zur initialen Inbetriebsetzung
- Meßsensoren sowie Prozesssteuerungs- und Regeltechnik
- Wärmespeicher
- Filtersysteme zur Reinigung des flüssigen Arbeitsmittel
- Einfüll-, Entnahme- und Nachfüllsysteme für das Arbeitsmittel

[0113] In Fig.14 sind ergänzend verschiedene Betriebs-Szenarien als T-S-Diagramm des Arbeitsmittels dargestellt.

Fig. 14a - Verlauf unter Basis-Betriebsbedingungen (gestrichelte Linien) definiert durch die Temperatur der Wärmequelle und der Kondensationstemperatur
Fig. 14b - Verlauf mit erhöhter Temperatur der Wärmequelle

Bsp.: Nutzung von Solarthermie als Wärmequelle im Sommer

Der Ausgangspunkt der Entspannungsverdampfung (Punkt 3) ist nach oben verschoben. Es wird mehr thermische Energie als unter Basis-Betriebsbedingungen umgesetzt.

Fig. 14c - Verlauf mit erhöhter Kondensationstemperatur

Bsp.: Nutzung von Erdwärme als Wärmequelle und Kühlung durch Umgebungsluft im Sommer
Die Kondensationslinie von Punkt 4 zu Punkt 1 ist nach oben verschoben.

Die Entspannungskurve von Punkt 3 zu Punkt 4 ist verkürzt.

Es wird weniger Energie als unter Basis-Betriebsbedingungen umgesetzt.

Fig. 14d - Verlauf mit erhöhter Temperatur der Wärmequelle und erhöhter Kondensationstemperatur
Bsp.: Nutzung von Solarthermie als Wärmequelle und Kühlung durch Umgebungsluft im Sommer
Je nach Temperaturdifferenz zwischen Punkt 2 und 3 kann mehr oder auch weniger thermische Energie als unter Basis-Betriebsbedingungen umgesetzt werden.

Literatur:**[0114]**

[Smith2016]

I.K. Smith Total flow and other systems involving two-phase expansion Geothermal Power Generation 2016, S. 321-351 <http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-08-100337-4.00012-7>

[Francesconi2022]

Francesconi, M.; Briola, S.; Antonelli, M. A Review on Two-Phase Volumetric Expanders and Their Applications Appl. Sci. 2022, 12, 10328. <https://doi.org/10.3390/app122010328>

[Markides_Wang2023]

Christos N. Markides, Kai Wang Power Generation Technologies for Low-Temperature and Distributed Heat DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818022-8.00003-X> 2023 Elsevier Ltd.

[Wikipedia]

<https://de.wikipedia.org/wiki/Reaktionsgrad>

Patentansprüche

1. Rotationseinheit (20) zur Umwandlung der thermischen Energie eines warmen Arbeitsmittels (10) in einer Entspannungsverdampfung nach dem TLC-Prozess in Rotationsenergie, **gekennzeichnet durch:**

- eine, als Rotationsachse ausgebildete Hohlwelle (21) mit mindestens einer Eintrittsöffnung am Umfang zur Zuführung von flüssigem, unter maximalen Arbeitsdruck $p_{A_{max}}$ stehendem und erwärmtem Arbeitsmittel (10) in den inneren Bereich der Hohlwelle (21) sowie mindestens einer Austrittsöffnung am Umfang zum Ausbringen des Arbeitsmittels (10) aus der Hohlwelle
- mindestens eine fest mit der Hohlwelle (21) verbundene, senkrecht zur Rotationsachse angeordnete Tragstruktur (22)
- mindestens eine, tangential am äußeren Rand der Tragstruktur (22) fixierte Austrittsdüse (24)
- mindestens eine auf der Tragstruktur (22) angeordnete druckfeste, durchgehende schlauchförmige Leitung (23), die

- in mindestens 5 geometrischen Formen, mit abwechselnd sich verringernden und vergrößerndem Abstand zur Rotationsachse
- auf der Tragstruktur (22) verlegt und fixiert ist
- eingangsseitig mit der mindestens einen

Austrittsöffnung der Hohlwelle (21) zum Einlassen des unter maximalem Arbeitsdruck $p_{A_{max}}$ stehenden erwärmten flüssigen Arbeitsmittels (10) in die schlauchförmige Leitung (23) verbunden ist

◦ ausgangsseitig mit der mindestens einen Austrittsdüse (24) zum Auslassen von unter einem Restdruck p_R stehenden flüssig verbliebenen und abgekühlten Arbeitsmittel (13) und von ebenfalls unter Restdruck p_R stehenden kalten Arbeitsmitteldampf (14) unter Erzeugung einer auf die Tragstruktur (22) wirkenden Rückstoßkraft verbunden ist.

2. Rotationseinheit (20) nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** die mindestens eine druckfeste, durchgehende schlauchförmige Leitung (23) als selbsttragende 3D-Struktur ohne Tragstruktur (22) ausgebildet ist.
3. Rotationseinheit (20) nach einem der Ansprüche 1 bis 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** das zugeführte Arbeitsmittel 10 ein Gemisch aus flüssigem Arbeitsmittel (11) und Arbeitsmitteldampf (12) ist.
4. Rotationseinheit (20) nach einem der Ansprüche 1 - 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Arbeitsmittel (AM) aus einer einzelnen chemischen Verbindung besteht.
5. Rotationseinheit (20) nach einem der Ansprüche 1 - 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Arbeitsmittel (AM) aus einem binären Gemisch von zwei chemisch verschiedenen Verbindungen besteht, wobei in der Rotationseinheit (20) eine dieser Verbindungen vollständig verdampft und die zweite Verbindung stets flüssig bleibt und als nicht verdampfender Wärmeträger fungiert, der Verdampfungswärme für die Verdampfung der ersten Verbindung liefert.
6. Single-Rotationseinheit (30) nach einem der Ansprüche 1 - 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** die mindestens eine druckfeste, durchgehende schlauchförmige Leitung (23) kreisringförmig in Mäandern mit variierendem Abstand zur Rotationsachse verlegt ist.
7. Single-Rotationseinheit (31) nach einem der Ansprüche 1 - 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** die mindestens eine druckfeste, durchgehende schlauchförmige Leitung (23) kreisringförmig in flachen Spiralen mit variierendem Abstand zur Rotationsachse verlegt ist.
8. Single-Rotationseinheit (32) nach einem der Ansprüche 1 - 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** die mindestens eine druckfeste, durchgehende

schlauchförmige Leitung (23) als konzentrische Wicklung in Wellenform mit variierendem Abstand zur Rotationsachse verlegt ist.

9. Single-Rotationseinheit (33) nach einem der Ansprüche 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet** das mindestens zwei schlauchförmige Leitungen (23) als Spiraltürme (26) mit variierendem Abstand zur Rotationsachse auf einer Tragstruktur (22) angeordnet sind. 5 10
10. Multi-Rotationseinheit (34), **dadurch gekennzeichnet** das mehrere Rotationseinheiten 20 nach einem der Ansprüche 1 bis 9 auf einer gemeinsamen Hohlwelle (21) angeordnet sind. 15
11. Rotationseinheit (33, 34) nach einem der Ansprüche 9 oder 10, **dadurch gekennzeichnet** das die Zufuhr von warmem Arbeitsmittel (10) zu den einzelnen Single-Rotationseinheiten (30, 31, 32) bzw. Spiraltürmen (26) individuell zu- oder abgeschaltet werden kann. 20
12. Wärmekraftmaschine (40), zur Umwandlung von thermischer Energie in Rotationsenergie unter Anwendung des TLC-Prozesses, **gekennzeichnet durch:** 25
 - Mindestens eine Rotationseinheit (20, 30 - 34) nach einem der Ansprüche 1 bis 11 30
 - Einem druckfesten Gehäuse (41) mit Drehlagern (42) zur Aufnahme und rotationsfähigen Positionierung der Rotationseinheit (20, 30 - 34) im Gehäuse (41)
 - mind. einer Drehdurchführung (43) zur Zuführung von flüssigem, unter Druck stehendem und erwärmtem Arbeitsmittel (10) in den inneren Bereich der Hohlwelle (21) der Rotationseinheit (20, 30, 31, 32) 35
 - einen mit der Hohlwelle (21) der Rotationseinheit (20, 30 - 34) verbundenen elektrischen Generator oder eine andere technische Einrichtung zur Nutzung der von der Rotationseinheit (20, 30 - 34) erzeugten mechanischen Energie 40
 - mindestens einer Öffnung (44) am Boden des Gehäuses (41) zum Auslassen des flüssig verbliebenen kalten Arbeitsmittels (13). 45
 - mindestens einer Öffnung (45) im oberen Bereich des Gehäuses (41) zum Auslassen des entstandenen kalten Arbeitsmitteldampfes (14) 50
 - mindestens einer Öffnung (46) zur Zirkulation eines inerten Hilfsgases.
13. Wärmekraftmaschine (40) nach Anspruch 12, **dadurch gekennzeichnet dass** sie ein Kontroll- und Regelungssystem aufweist, welches zur Anpassung der Wärmekraftmaschine (40) an 55

- Veränderungen der Temperatur der Niedertemperaturwärmequelle,
 - der Kondensationstemperatur bzw.
 - der verfügbaren Energiemenge der Niedertemperaturwärmequelle
- die
- zugeführte Menge an erwärmtem Arbeitsmittel (10)
 - das Mischungsverhältnis eines binären Arbeitsmittels (10) bzw.
 - die Anzahl der zu- oder abgeschalteten Spiraltürme (26) einer Single-Rotationseinheit (33) bzw. der zu- oder abgeschalteten Single-Rotationseinheiten (20, 30 - 32) einer Multi-Rotationseinheit (34)

reguliert.

14. Verfahren zur Umwandlung der thermischen Energie eines warmen Arbeitsmittels (10) in einer Entspannungsverdampfung nach dem TLC-Prozess in Rotationsenergie mittels einer Rotationseinheit mit einer

- in mindestens 5 geometrischen Formen mit variierendem Abstand zur Rotationsachse verlegten
- vom flüssigen Arbeitsmittel (11, 13) und Arbeitsmitteldampf (12, 14) durchströmten
- mit der Rotationseinheit rotierenden

schlauchförmigen Leitung (23), **dadurch gekennzeichnet** das:

in jedem Abschnitt der Leitung (23) mit einem sich in Strömungsrichtung verringerndem Abstand der Leitung (23) zur Rotationsachse durch die, auf das sich in der Leitung (23) befindliche flüssige Arbeitsmittel (11, 13) wirkende Fliehkraft lokal ein partieller Gegendruck (Δp) entsteht, der dem lokalen Arbeitsdruck (p_A) bzw. der Strömung des flüssigen und dampfförmigen Arbeitsmittels (11, 12, 13, 14) entgegenwirkt und damit eine schrittweise, langsame Entspannungsverdampfung des warmen Arbeitsmittels (11) in der Leitung (23) ermöglicht.

15. Verfahren zur Umwandlung der thermischen Energie eines warmen Arbeitsmittels (10) in einer Entspannungsverdampfung nach dem TLC-Prozesses in Rotationsenergie, **dadurch gekennzeichnet, dass** das, in einer Rotationseinheit (31, 33) mit in Spiralen verlegter schlauchförmigen Leitung (23) strömende flüssige und verdampfte Arbeitsmittel (11, 12, 13, 14) durch eine außermittige kreisförmige Bewegung in der Leitung (23) einen Rotationsimpuls (φ_1) erzeugt, der als Gegenimpuls (φ_2) auf die Rota-

tionseinheit (31) übertragen wird.

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

Stand der Technik

Fig. 1

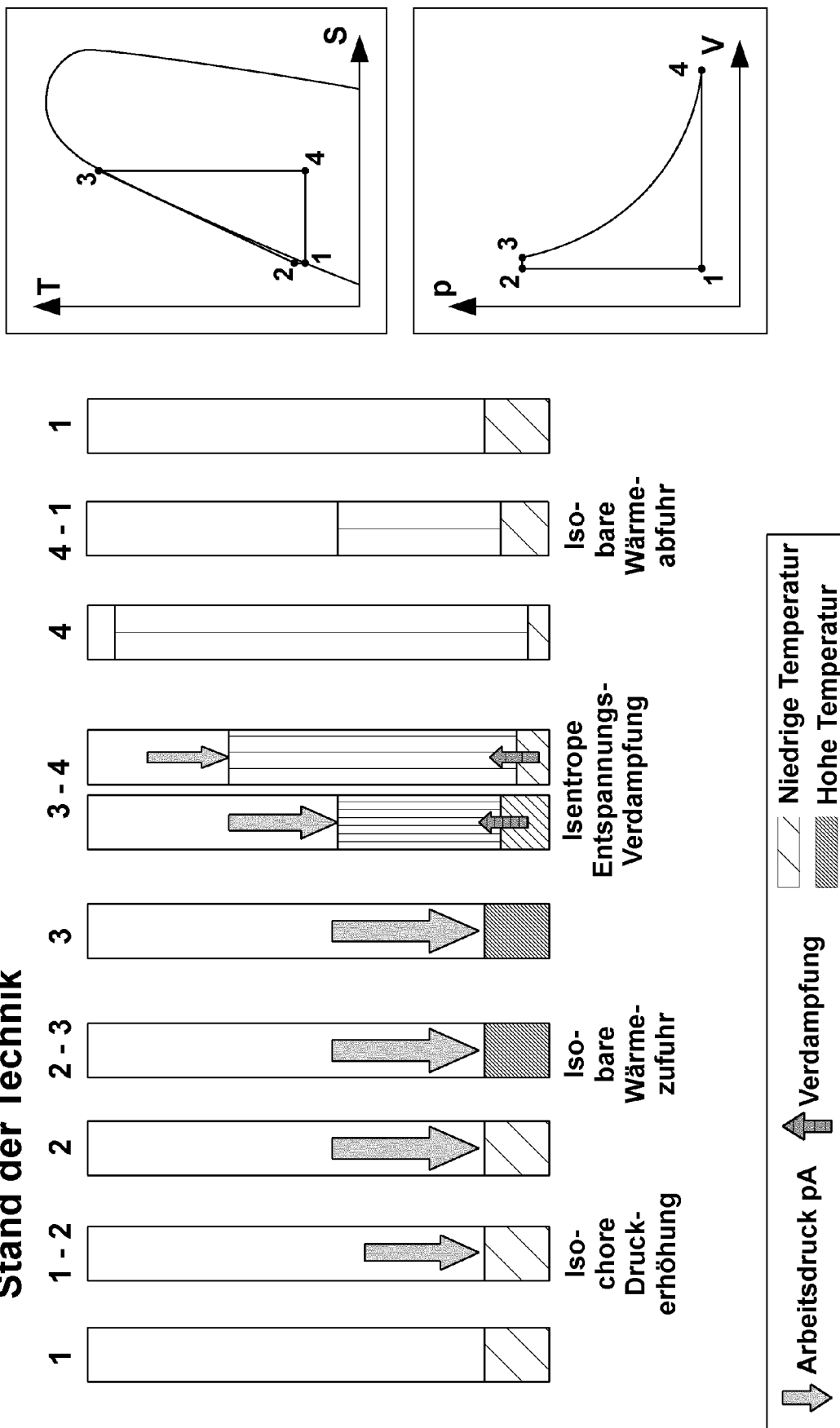


Fig. 2

Stand der Technik

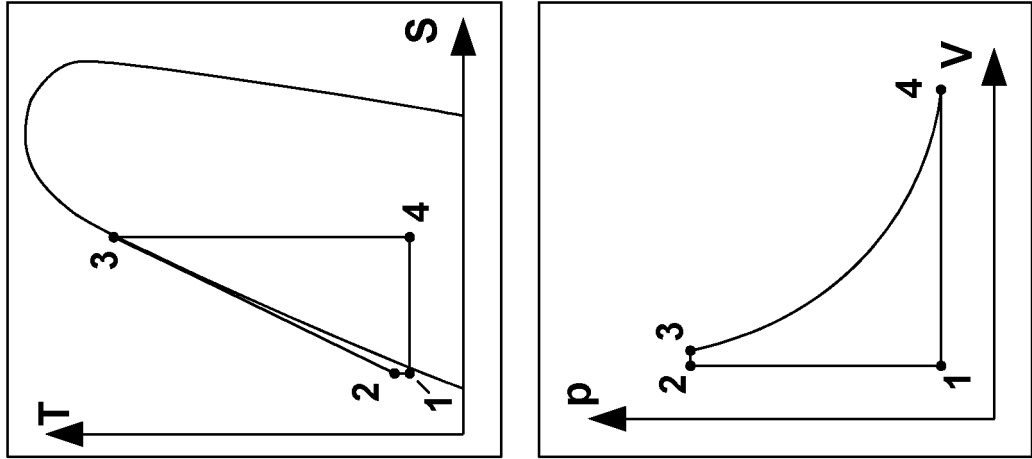
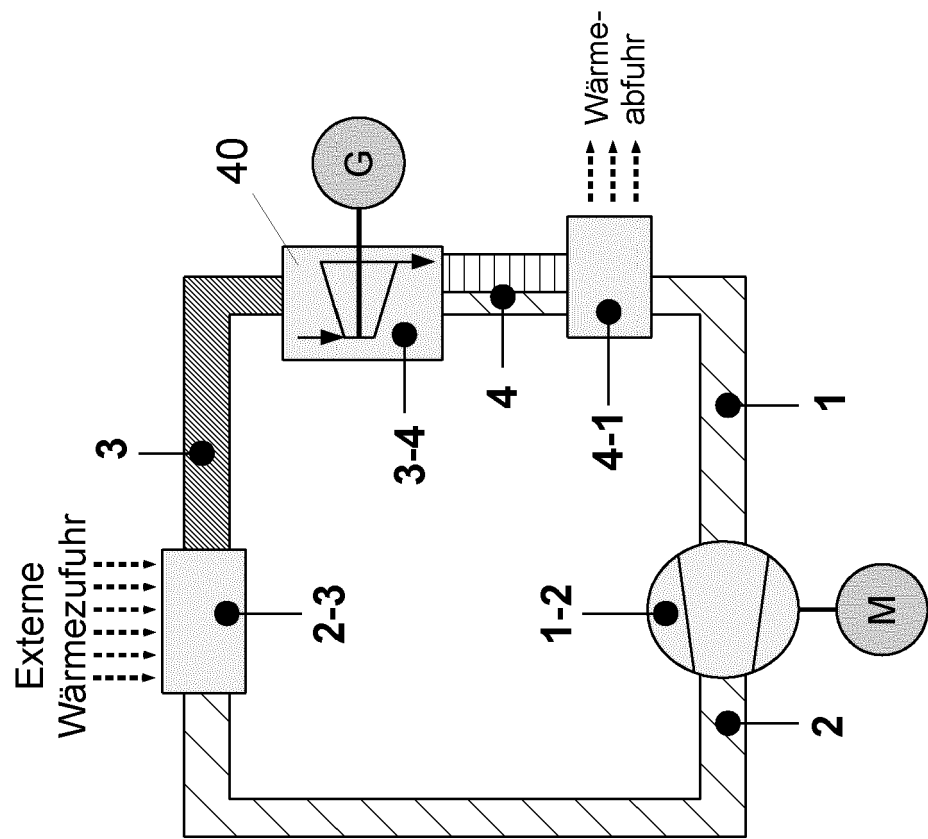


Fig. 3

Stand der Technik

Fig. 3a

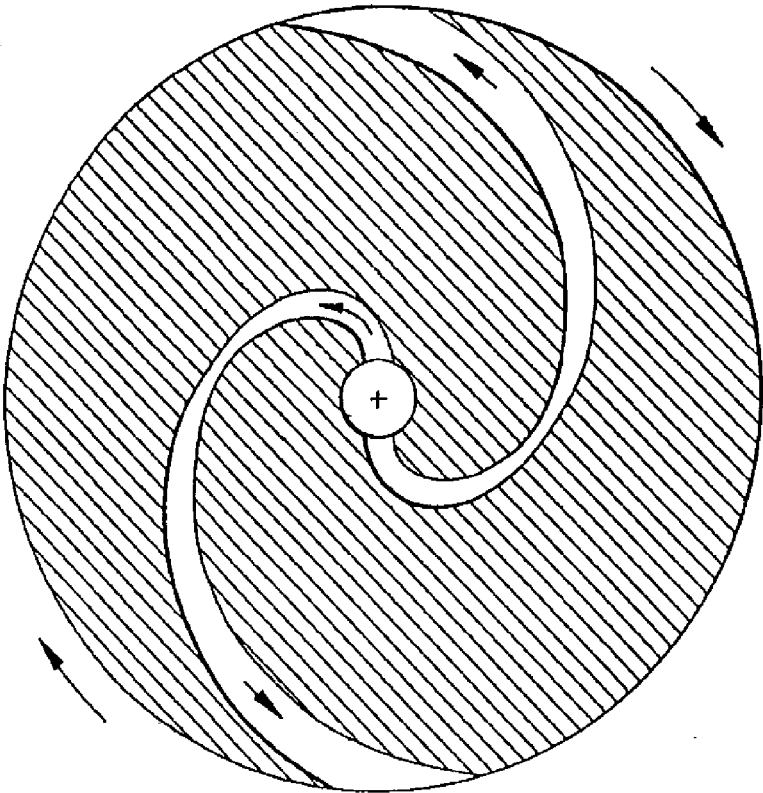
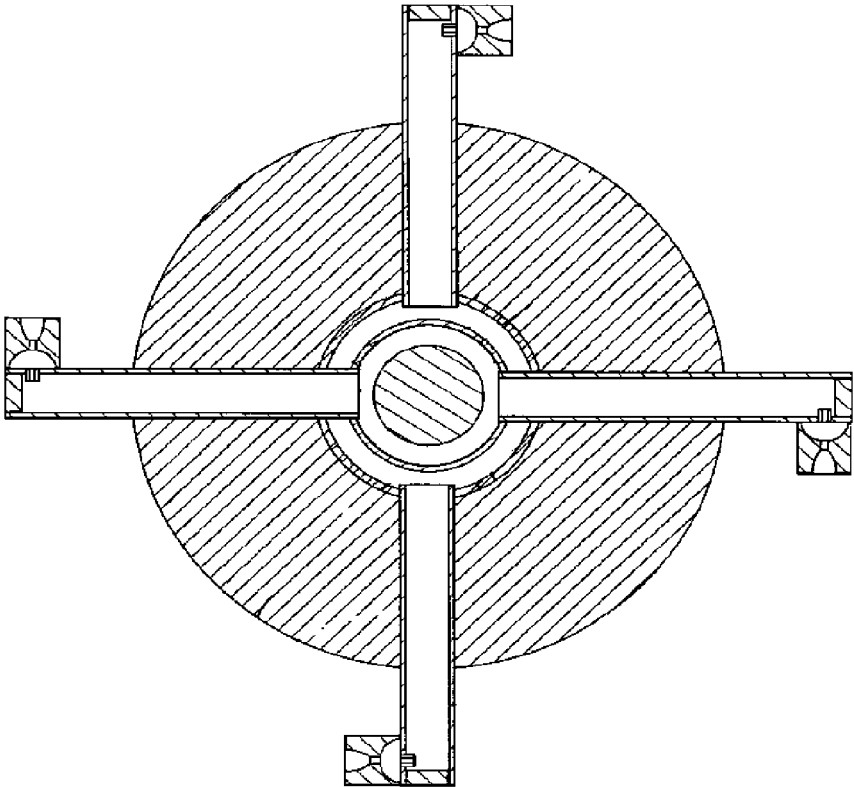


Fig. 3b



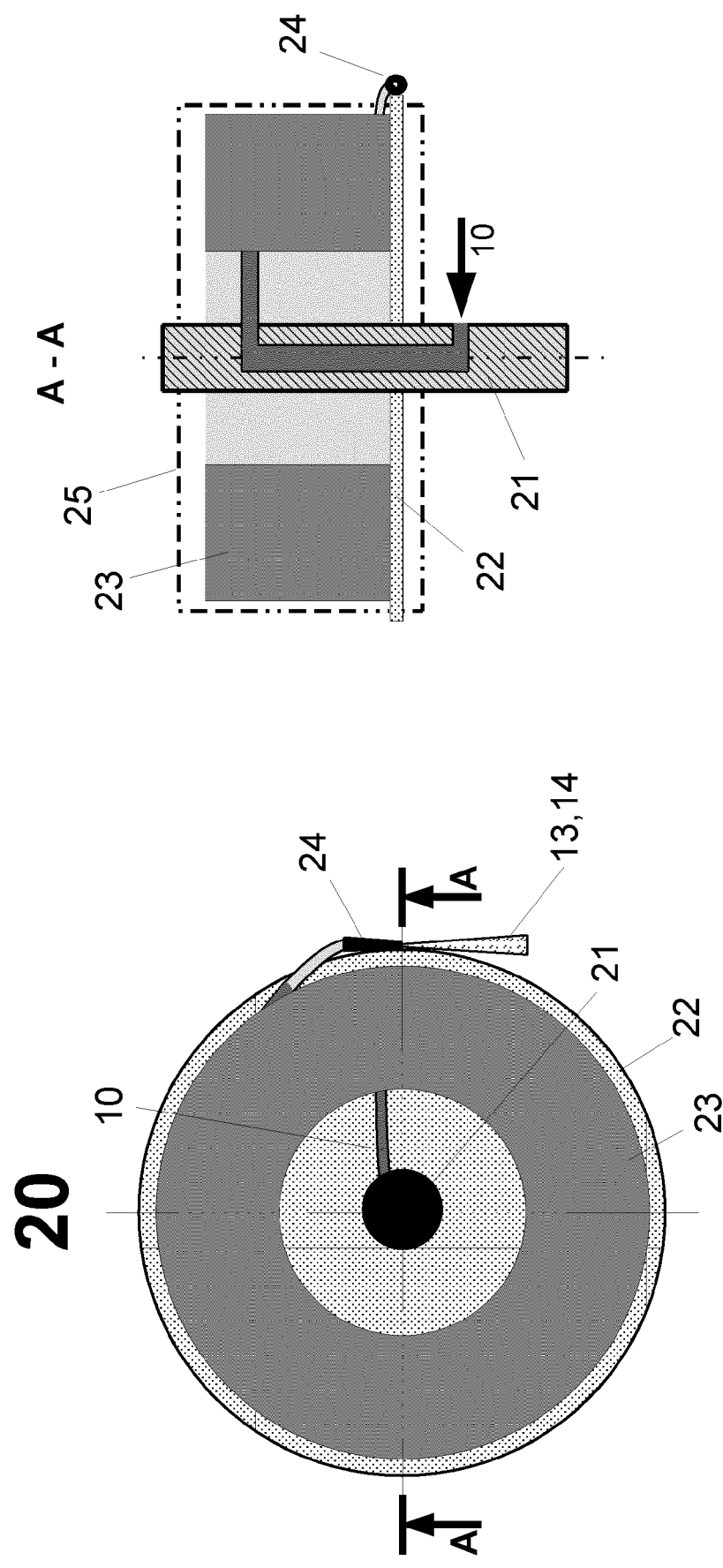


Fig. 4

Fig. 5

Fig. 5a

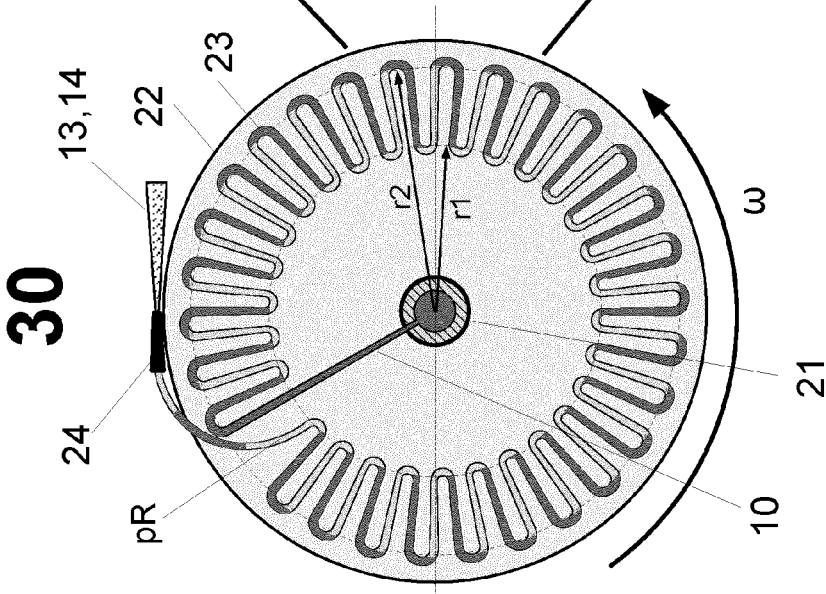
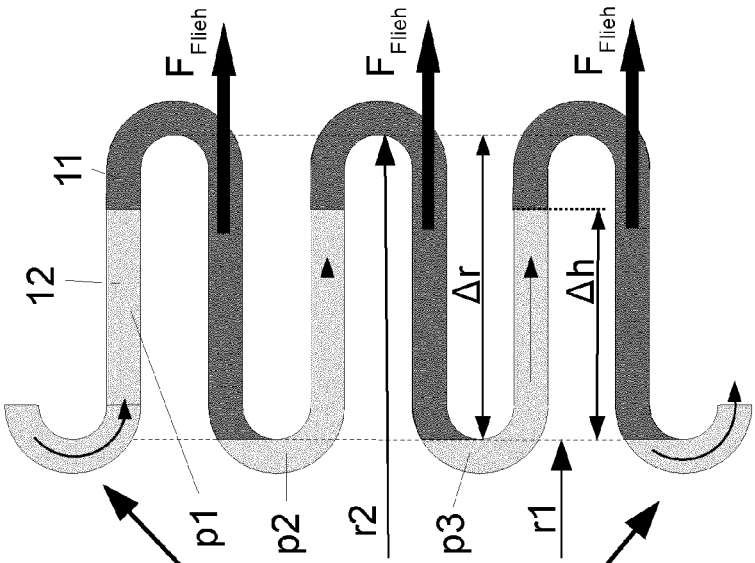


Fig. 5b



$$\begin{aligned} p_2 &= p_1 - \Delta p \\ p_3 &= p_2 - \Delta p \\ \Delta p &= f(\rho_{AM}, \omega, \Delta h) \end{aligned}$$

Fig. 5c

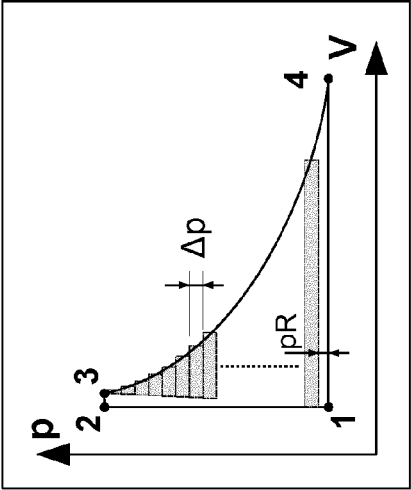


Fig. 5d

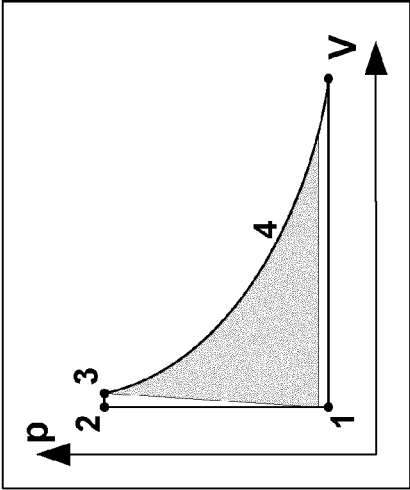


Fig. 6

Fig. 6a

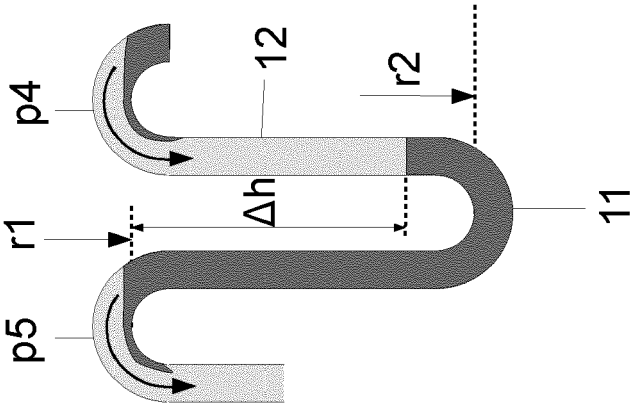


Fig. 6b

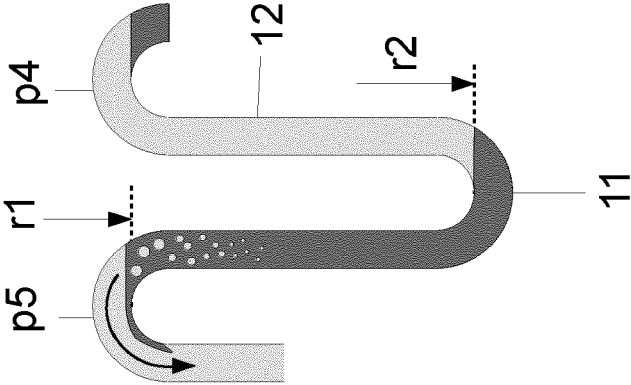


Fig. 6c

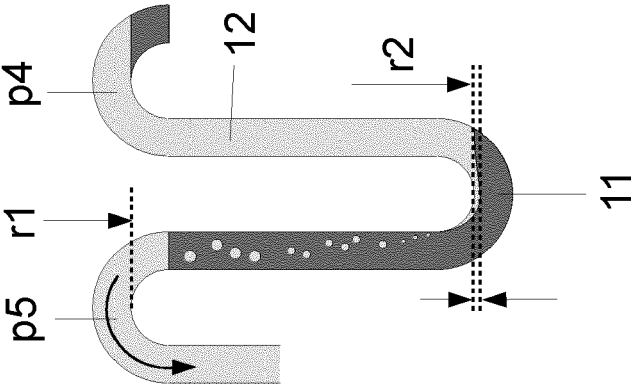


Fig. 7

Fig. 7a

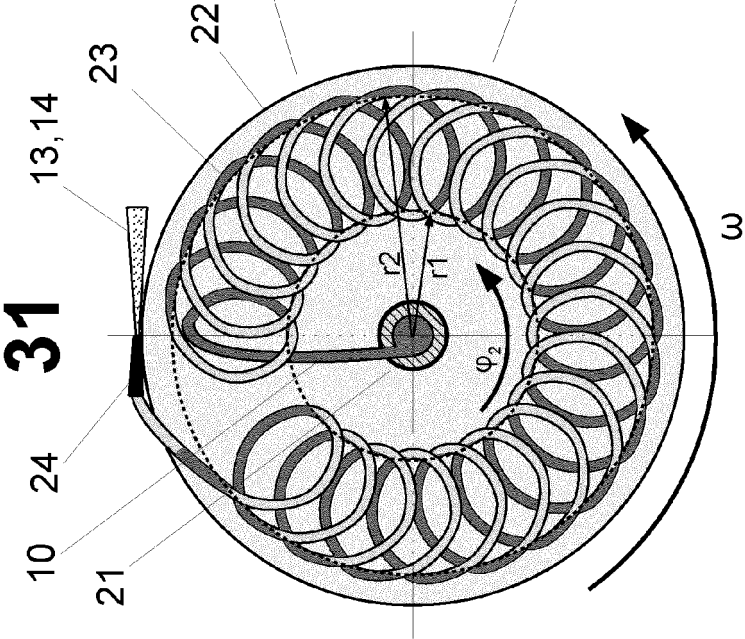
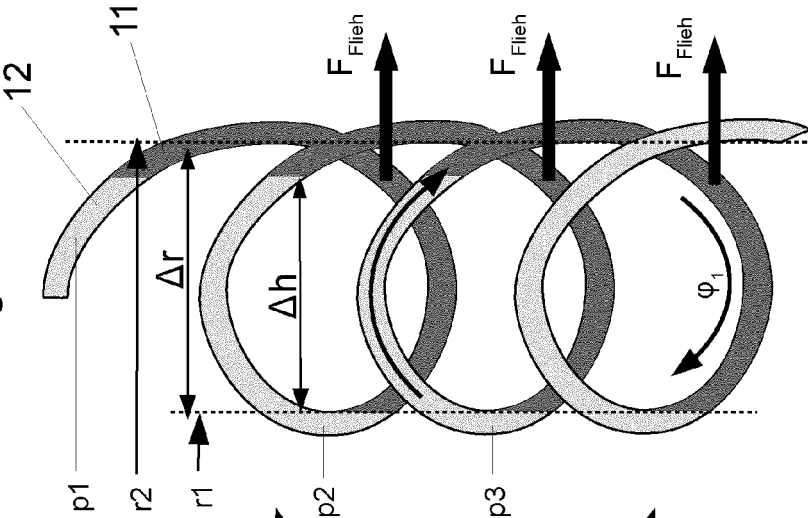


Fig. 7b



$$\begin{aligned} p_2 &= p_1 - \Delta p \\ p_3 &= p_2 - \Delta p \\ \Delta p &= f(\rho_{\text{AM}}, \omega, \Delta h) \end{aligned}$$

Fig. 7c

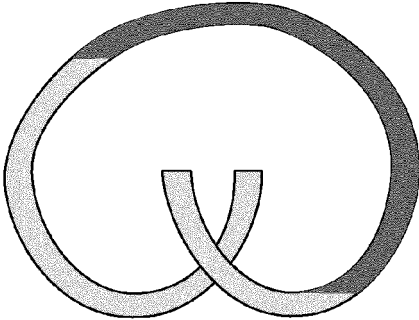
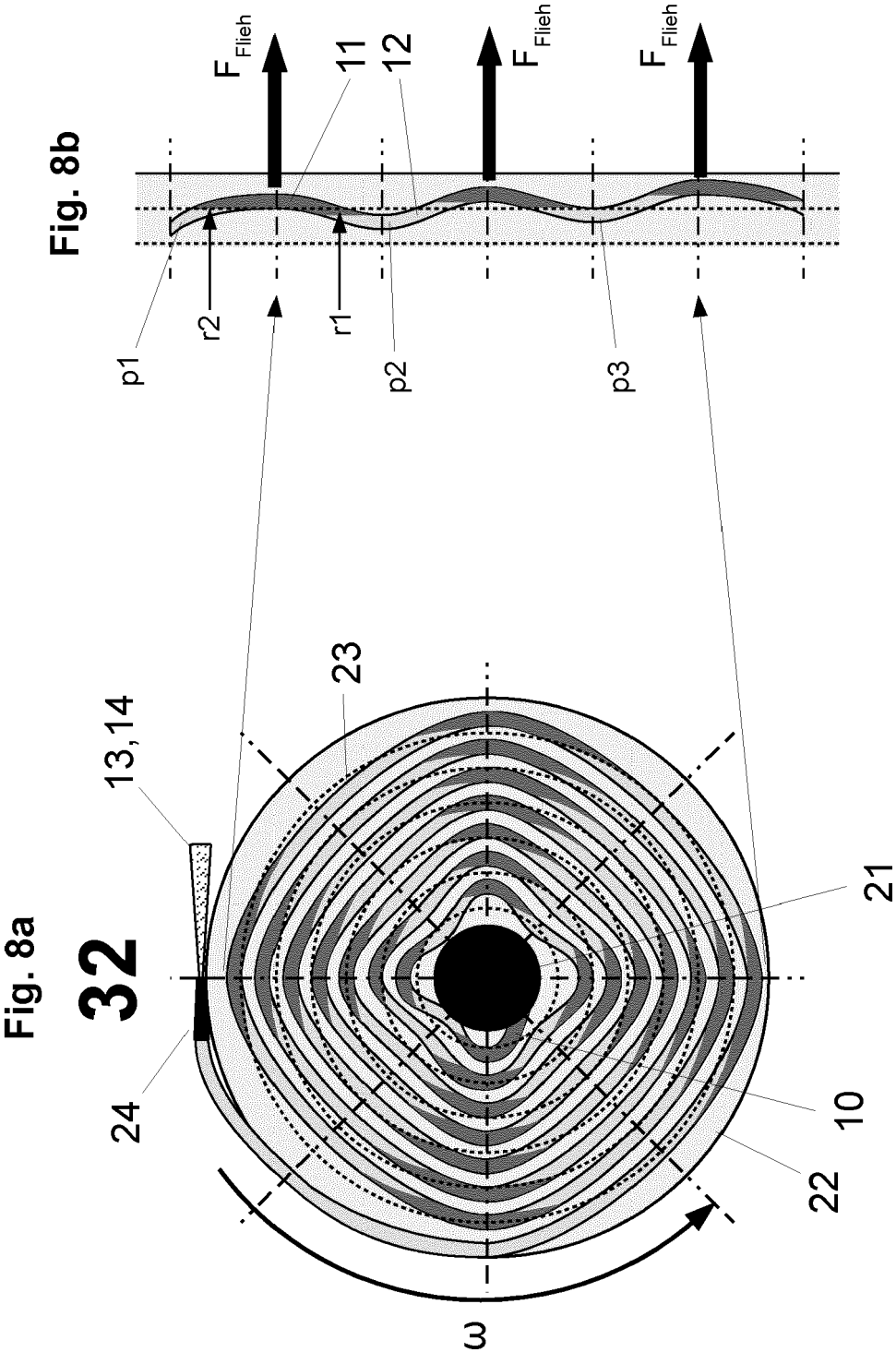
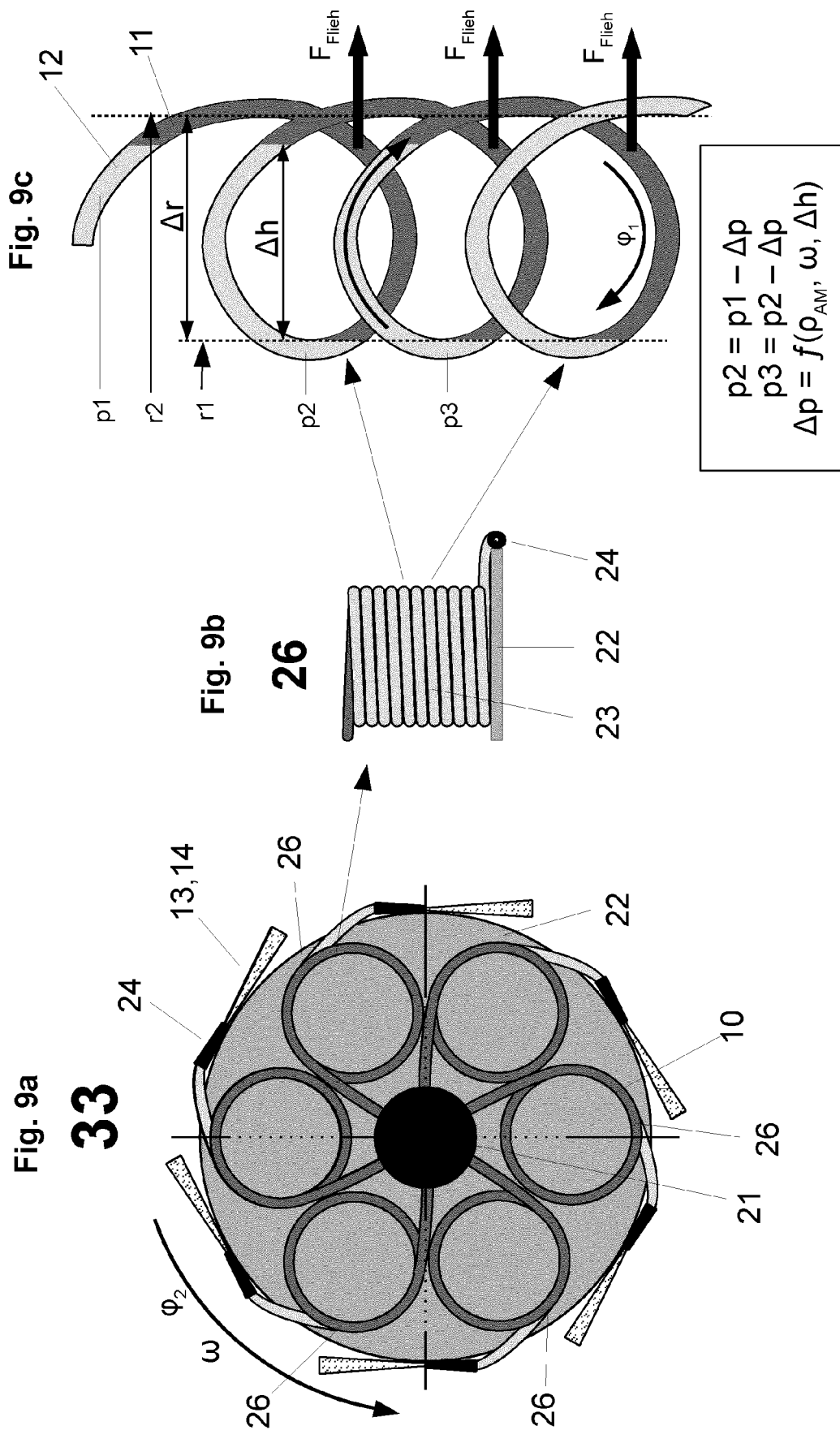


Fig. 8





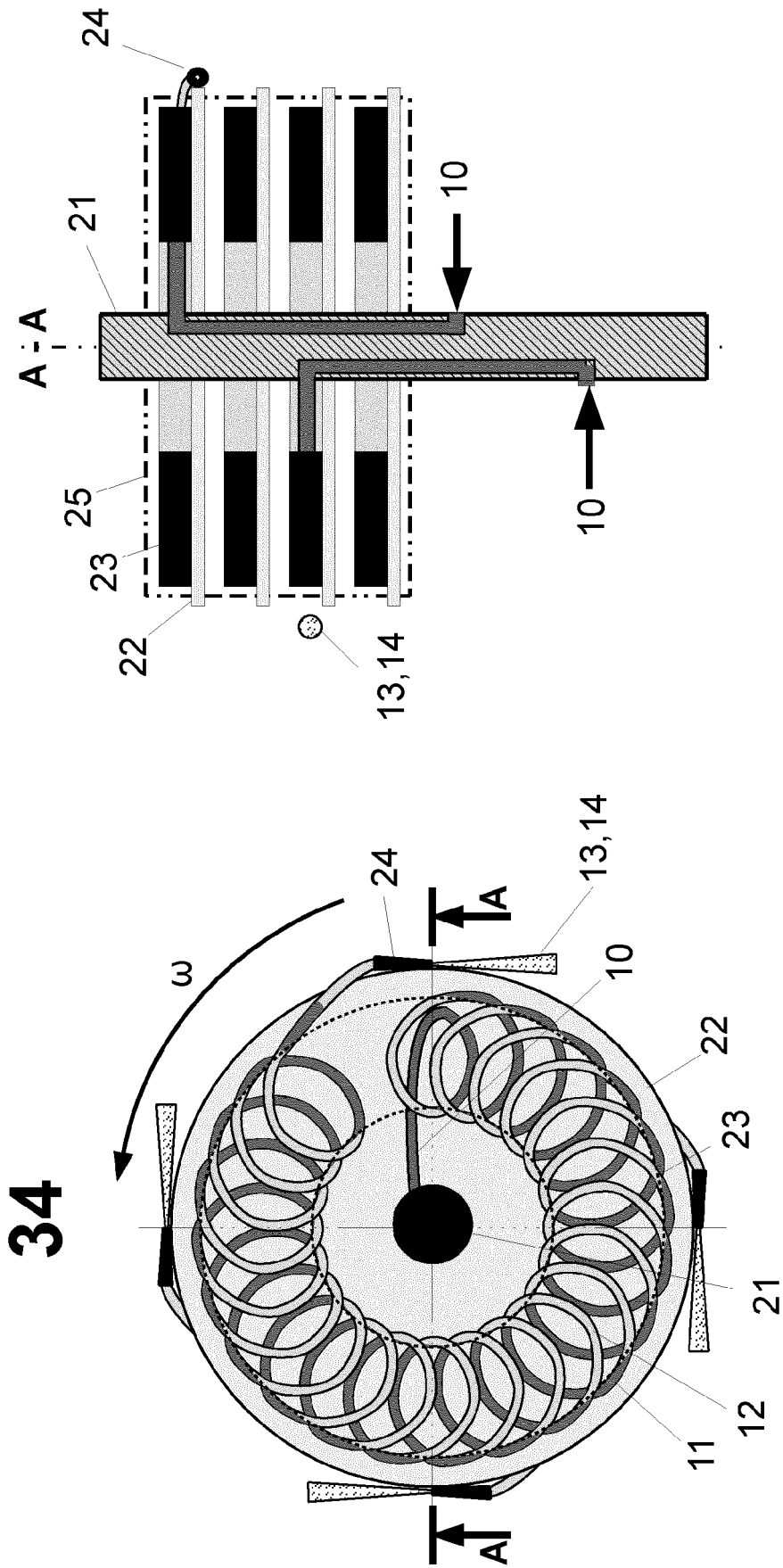


Fig. 10

34

Fig. 11

Fig. 11a

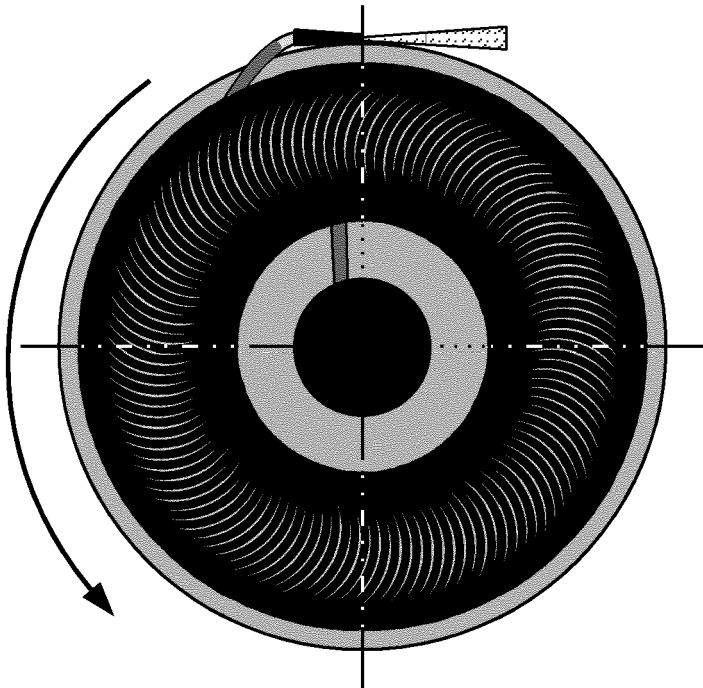


Fig. 11b

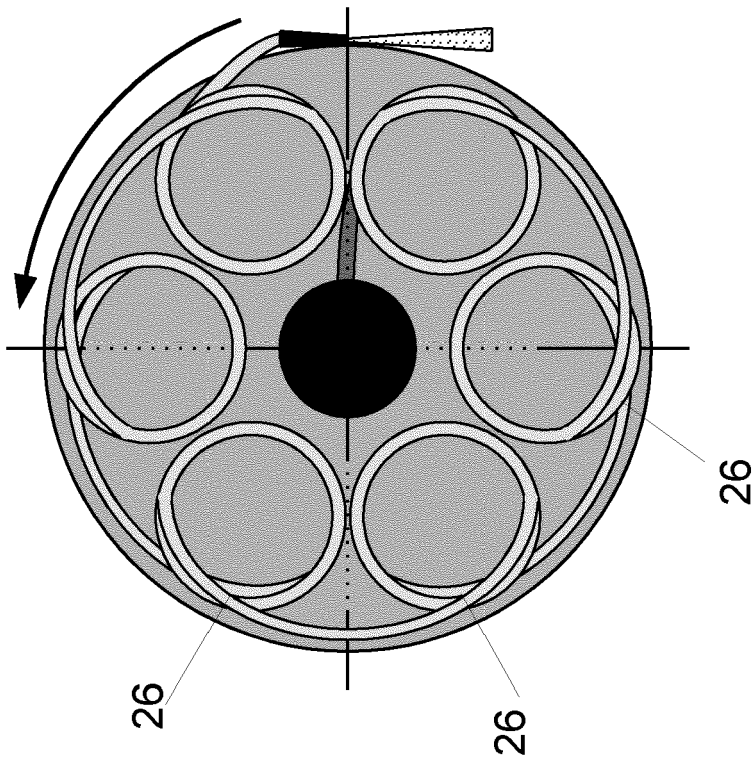


Fig. 12

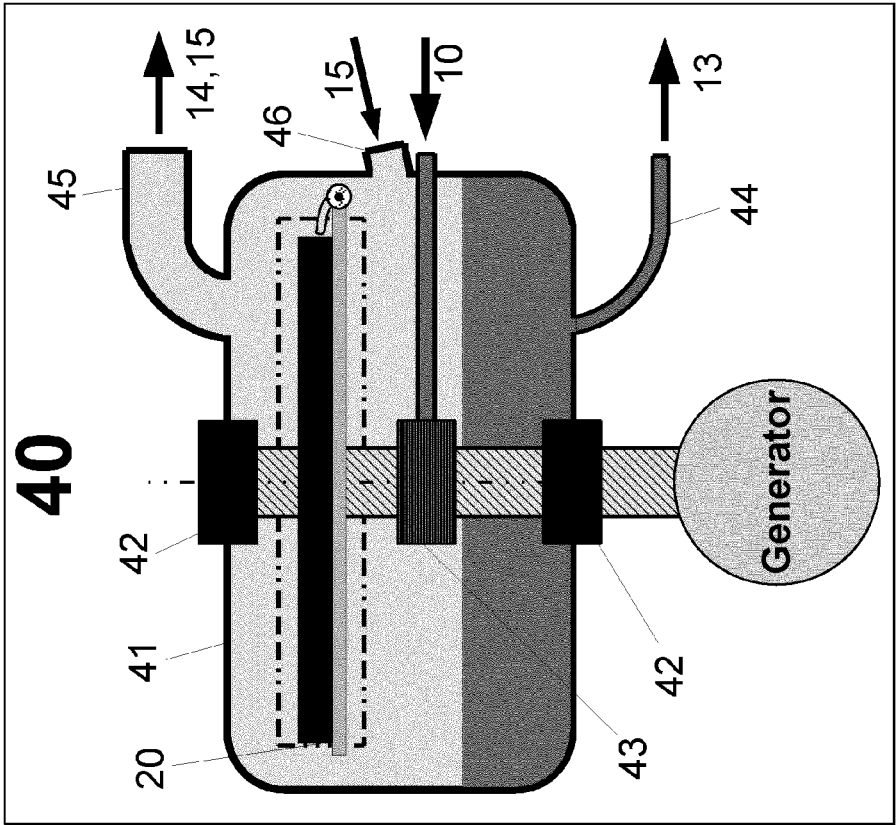
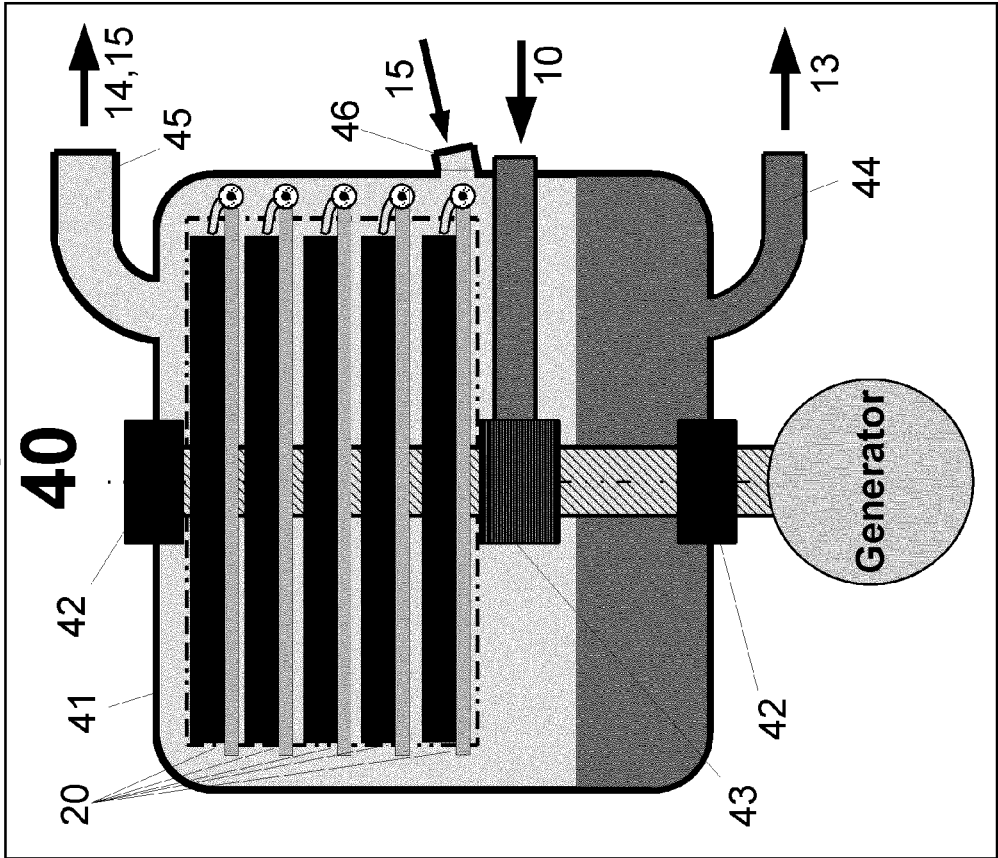


Fig. 13

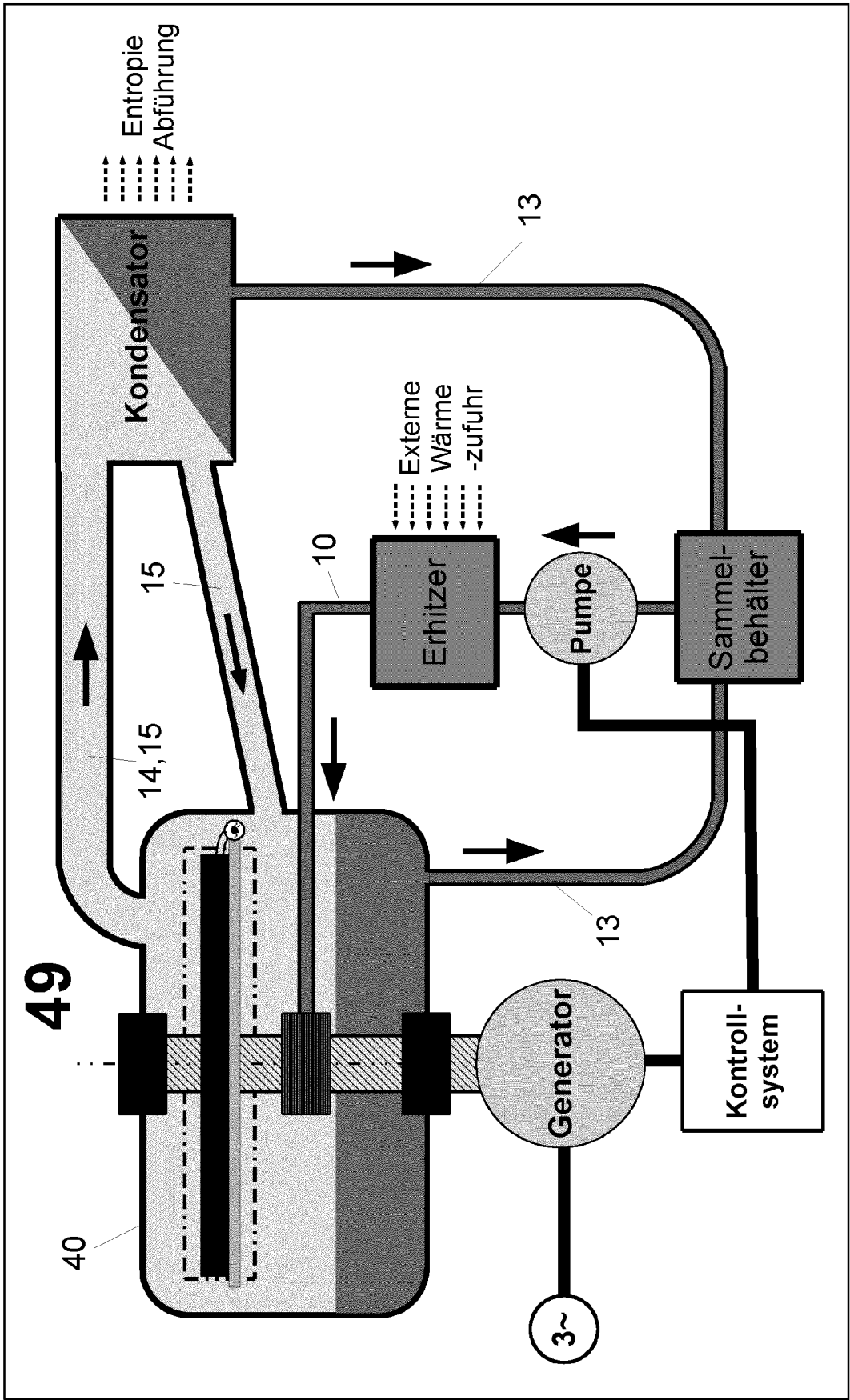
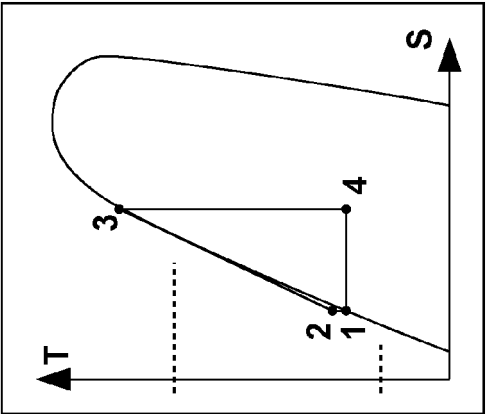
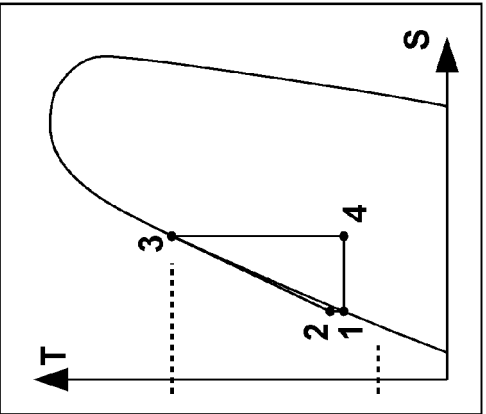
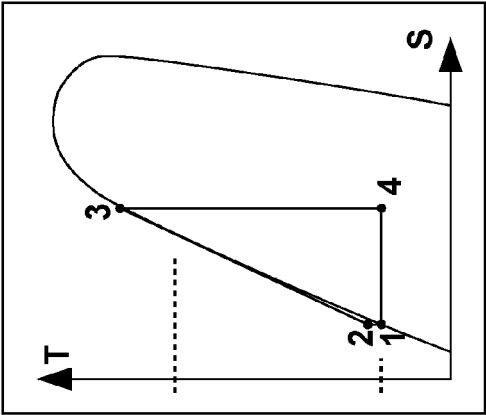
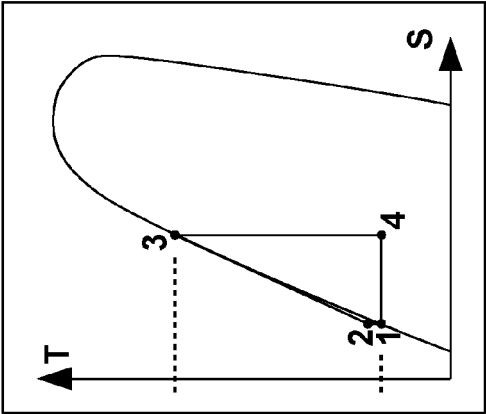


Fig. 14





EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung

EP 23 21 2154

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

3

EPO FORM 1503 03.82 (F04C03)

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC)
A	DE 10 2021 102803 A1 (ROSSBERG KRISTIAN [DE]) 11. August 2022 (2022-08-11) * Zusammenfassung; Abbildungen 3-6 * * Absätze [0002], [0012] * * Absätze [0018] - [0037] * -----	1-15	INV. F01K25/06
A	DE 10 2021 108558 A1 (ROSSBERG KRISTIAN [DE]) 6. Oktober 2022 (2022-10-06) * Zusammenfassung; Abbildungen 3-6 * * Absätze [0018] - [0033] * -----	1-15	
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC)
			F01K
Recherchenort		Abschlußdatum der Recherche	Prüfer
München		24. Mai 2024	Varelas, Dimitrios
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE		T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument	
X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : mündliche Offenbarung P : Zwischenliteratur			

**ANHANG ZUM EUROPÄISCHEN RECHERCHENBERICHT
ÜBER DIE EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG NR.**

EP 23 21 2154

5 In diesem Anhang sind die Mitglieder der Patentfamilien der im obengenannten europäischen Recherchenbericht angeführten
Patentdokumente angegeben.
Die Angaben über die Familienmitglieder entsprechen dem Stand der Datei des Europäischen Patentamts am
Diese Angaben dienen nur zur Unterrichtung und erfolgen ohne Gewähr.

24-05-2024

10

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
DE 102021102803 A1	11-08-2022	KEINE	
DE 102021108558 A1	06-10-2022	KEINE	

15

20

25

30

35

40

45

50

55

EPO FORM P0461

Für nähere Einzelheiten zu diesem Anhang : siehe Amtsblatt des Europäischen Patentamts, Nr.12/82

IN DER BESCHREIBUNG AUFGEFÜHRTE DOKUMENTE

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde ausschließlich zur Information des Lesers aufgenommen und ist nicht Bestandteil des europäischen Patentdokumentes. Sie wurde mit größter Sorgfalt zusammengestellt; das EPA übernimmt jedoch keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

In der Beschreibung aufgeführte Patentdokumente

- US 4557112 A [0003]
- US 4332520 A [0010]
- US 5236349 A [0010]
- US 2006034677 A [0010]
- EP 1350923 A1 [0010]

In der Beschreibung aufgeführte Nicht-Patentliteratur

- **I.K. SMITH.** Total flow and other systems involving two-phase expansion. *Geothermal Power Generation*, 2016, 321-351, <http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-08-100337-4.00012-7> [0114]
- **FRANCESCONI, M ; BRIOLA, S ; ANTONELLI, M.** A Review on Two-Phase Volumetric Expanders and Their Applications. *Appl. Sci.*, 2022, vol. 12, 10328, <https://doi.org/10.3390/app122010328> [0114]
- **CHRISTOS N. MARKIDES ; KAI WANG.** Power Generation Technologies for Low-Temperature and Distributed Heat. Elsevier Ltd, 2023 [0114]