



(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:
04.09.2013 Patentblatt 2013/36

(51) Int Cl.:
F01K 3/00 (2006.01)
F01K 25/10 (2006.01)
F02C 6/18 (2006.01)
F25J 1/02 (2006.01)
F01K 23/10 (2006.01)
F02C 6/16 (2006.01)
F25J 1/00 (2006.01)

(21) Anmeldenummer: **13156878.4**

(22) Anmeldetag: **27.02.2013**

(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 MK MT NL NO PL PT RO RS SE SI SK SM TR
Benannte Erstreckungsstaaten:
BA ME

(30) Priorität: **01.03.2012 DE 102012101701**
14.05.2012 DE 102012104185
22.05.2012 DE 102012104416

(71) Anmelder: **Institut Für Luft- Und Kältetechnik Gemeinnützige GmbH**
01309 Dresden (DE)

(72) Erfinder:
• **Arndt, Julia, Dr.**
01099 Dresden (DE)

- **Großmann, Björn**
01189 Dresden (DE)
- **Kaiser, Gunter, Dr.**
01237 Dresden (DE)
- **Klier, Jürgen, Dr.**
01309 Dresden (DE)
- **Kuhn, Moritz**
01309 Dresden (DE)
- **Schroeder, Gunar**
01217 Dresden (DE)
- **Zerweck-Trogisch, Ulrich, Dr.**
01309 Dresden (DE)

(74) Vertreter: **Kaufmann, Sigfrid Kaufmann**
Patent- und Rechtsanwälte
Loschwitzer Straße 42
01309 Dresden (DE)

(54) **Verfahren und Anordnung zur Speicherung von Energie**

(57) Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Anordnung zur Speicherung von Energie in Form von flüssiger Luft, mit der vorzugsweise elektrische Energie während Schwachlastzeiten eines Stromnetzes gespeichert und in Spitzenlastzeiten wieder entnommen werden kann. Zur Speicherung der Energie wird Luft mit dem Linde-Claude-Verfahren verflüssigt. Zur Energieentnahme wird die Luft regasifiziert und mit der Druckluft eine Hauptturbine (12) betrieben. Die bei der Regasifizierung freiwerdende Kälte wird der untersten Stufe einer Rankine-Maschine zugeführt. Die mit der Hauptturbine (12) und der Rankine-Turbine erzeugte Energie wird zusammengeführt und zurückgespeist.

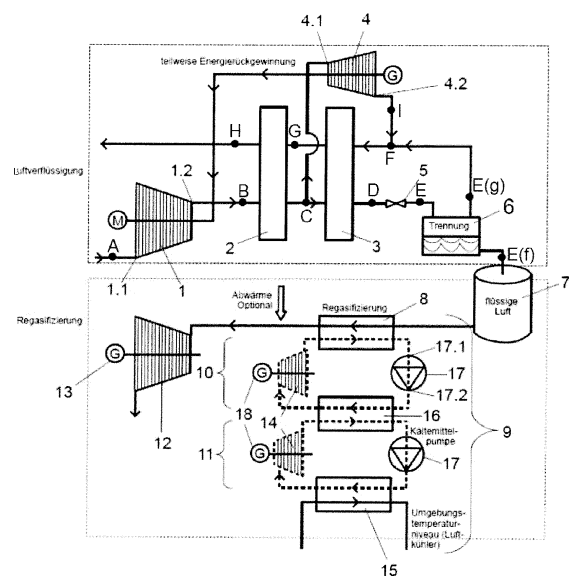


Fig. 1

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Anordnung zur Speicherung von Energie in Form von flüssiger Luft, mit der vorzugsweise elektrische Energie während Schwachlastzeiten eines Stromnetzes gespeichert und in Spitzenlastzeiten wieder entnommen werden kann.

[0002] Da in vielen Ländern bei der Stromerzeugung der Anteil des aus Solarenergie und Windkraft gewonnenen Stroms ständig zunimmt, gewinnt die Speicherung von elektrischer Energie immer mehr an Bedeutung. Denn während mit Wasserkraftwerken (in Verbindung mit Stauseen) elektrische Energie weitgehend bedarfsgerecht erzeugt werden kann und mit Großkraftwerken wie Kohle- oder Kernkraftwerken zumindest konstante Leistungen erzeugt werden können, erzeugen zentrale Kraftwerke oder Schwarmkraftwerke, die Wind- oder Sonnenenergie nutzen, elektrischen Strom völlig unabhängig vom Strombedarf. Solarstrom wird regelmäßig gegenläufig zum Strombedarf erzeugt.

[0003] Aus dem Stand der Technik bekannte Verfahren/Anordnungen zur Energiespeicherung, wie Pumpspeicherkraftwerke, Druckluftspeicher und elektrochemische Speicher haben spezifische Nachteile.

[0004] So können mit Pumpspeicherkraftwerken zwar relativ hohe Wirkungsgrade von bis zu 80 % erreicht werden, sie können jedoch nur an wenigen geeigneten Stellen errichtet werden, wobei ihre Größe weitgehend von den örtlichen Gegebenheiten bestimmt wird (nicht skalierbar).

[0005] Mit elektrochemischen Speichern (Batterien) sind sehr hohe Wirkungsgrade von bis zu 90 % erzielbar, sie sind jedoch bezogen auf ihre Speicherkapazität sehr kostenintensiv und die bislang erreichbare Betriebszyklenzahl ist relativ gering.

[0006] Aus dem Stand der Technik sind auch Lösungen bekannt, bei denen elektrische Energie in Form von flüssiger Luft gespeichert wird.

[0007] So werden in DE 31 39 567 A1, US 6,920,759 B2 und WO 2007/096656 A1 Verfahren bzw. Anordnungen beschrieben, mit denen elektrische Energie gespeichert werden kann, indem Luft, z. B. mittels des Linde-Verfahrens, verflüssigt und in Kryotanks gelagert wird.

[0008] Mit den Verfahren nach DE 31 39 567 A1 können jedoch lediglich geringe Gesamtwirkungsgrade von ca. 20 % erreicht werden. Die in US 6,920,759 B2 und WO 2007/096656 A1 beschriebenen Systeme nutzen Kälteenergiespeicher, die den Nachteil haben, dass um hohe Wirkungsgrade zu erreichen, sehr große Mengen (Massen) an Speichermaterial eingesetzt werden müssen; effiziente Anlagen mit Kälteenergiespeichern sind folglich vergleichsweise kostenintensiv.

[0009] Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren zu finden, mit dem vergleichsweise kostengünstig Energie gespeichert und wieder entnommen werden kann, wobei eine sehr hohe Anzahl von Betriebszyklen erreichbar sein soll. Mit dem Verfahren sollen Gesamtwirkungsgrade von 50 % oder mehr möglich sein. Das Verfahren soll unabhängig von den geographischen Gegebenheiten am Einsatzort durchführbar sein. Die Anlage soll in einem relativ einfachen, modularen Aufbau aus nach dem Stand der Technik verfügbaren Einzelkomponenten realisierbar sein.

[0010] Die Aufgabe der Erfindung wird durch die Merkmale der Ansprüche 1 und 8 gelöst. Weitere vorteilhafte Ausführungen der Erfindung ergeben sich aus den Ansprüchen 2 bis 7 und 9.

[0011] Das erfindungsgemäße Verfahren zur Speicherung von Energie unterteilt sich in zwei Phasen (Schritte). In der ersten Phase wird im Überschuss verfügbare Energie in eine speicherbare Form überführt und gespeichert (Speicherung). In der zweiten Phase wird, wenn zusätzliche Energie benötigt wird, die gespeicherte Energie wieder entnommen (Entnahme).

[0012] Zur Speicherung von Energie, vorzugsweise elektrischer Energie, wird am Eingang (Saugseite) eines ein- oder mehrstufigen Verdichters Luft angesaugt und der Druck der Luft auf einen gegenüber dem Umgebungsdruck erhöhten Wert angehoben, die Luft mittels einer isenthalpen Entspannung verflüssigt und schließlich einem thermisch isolierten Speichertank zugeführt. Die dem Verdichter zugeführte Energie wird also in eine speicherbare Form, nämlich flüssige Luft, die sich unkompliziert in einem Kryotank speichern lässt, überführt.

[0013] Hinter der letzten Stufe des Verdichters (entsprechend beim einstufigen Verdichter ausschließlich hinter dem Verdichter) wird die auf Enddruck komprimierte Luft durch Kaltdampf gekühlt. Hierzu wird jeweils eine Seite eines Gegenstromwärmeübertragers in die Leitung, die der Rückführung des bei der Verflüssigung der Luft gebildeten Kaltdampfs (zur Saugseite des Verdichters) dient, eingebracht, und die andere Seite des betreffenden Gegenstromwärmeübertragers (fluidisch) hinter die letzte Stufe des Verdichters geschaltet.

[0014] Zum Verflüssigen des Energiespeichermediums wird das Linde-Claude-Verfahren verwendet, indem die verdichtete Luft nach Durchlaufen des Verdichters in zwei Teilströme aufgeteilt wird, und der zweite Massestrom über eine Verflüssigungs-Entspannungsturbine (Expander) geleitet wird. Der erste Massestrom wird mittels eines Claude-Wärmeübertragers (üblicherweise ein Gegenstromwärmeübertrager) durch den aus der Verflüssigungs-Entspannungsturbine austretenden zweiten Massestrom gekühlt. Die in der Verflüssigungs-Entspannungsturbine gewonnene Energie wird dem Verdichter zugeführt, z. B. indem die Verflüssiger-Entspannungsturbine über ein Getriebe an den Verdichter gekoppelt wird.

[0015] Vorzugsweise wird zur Verflüssigung der Luft ein mehrstufiger Verdichter eingesetzt und hinter jeder Stufe des

Verdichters (mit jeweils einem Zwischenkühler) eine Wärmeübertragung zwischen der verdichteten Luft und der Umgebung vorgenommen.

[0016] Zur Energieentnahme, z. B. in Starklastzeiten eines Stromnetzes, wird die gespeicherte flüssige Luft in einen kontinuierlichen Massestrom mit einigen 100 bar Druck und einer möglichst hohen Temperatur umgewandelt, und zum Antrieb einer Expansionsturbine (Hauptturbine) genutzt, an die z. B. ein Stromgenerator gekoppelt ist.

[0017] Hierzu wird flüssige Luft aus dem Speichertank entnommen und der Druck der Luft mittels einer Pumpe und/oder mittels thermischer Verdichtung auf einen Druck von einigen 100 bar, vorzugsweise 200 bar, erhöht. Die Druckerhöhung kann zwar prinzipiell mechanisch, z. B. mittels einer Kolbenpumpe, erfolgen, die hierzu benötigte (elektrische) Energie führt jedoch zu einer Verringerung des Gesamtwirkungsgrads des Verfahrens. Bevorzugt wird deshalb der Druck der Luft ausschließlich thermisch erhöht, indem die Temperatur der Luft in einem abgeschlossenen Gefäß so lange erhöht wird, bis sie den erforderlichen Prozessdruck erreicht hat. Anschließend wird die Temperatur der Luft auf Umgebungstemperatur, oder falls eine Abwärmequelle zur Verfügung steht, auf das Temperaturniveau der Abwärmequelle gebracht.

[0018] Zur Temperaturerhöhung kann ein Wärmeübertrager, z. B. ein Rohrbündelwärmeübertrager, dessen eine Seite bei der Energieentnahme mit der entnommenen Luft und dessen andere Seite mit dem Temperaturniveau der Umgebung (oder einer Abwärmequelle) in Verbindung steht, eingesetzt werden. Durch die Nutzung einer Abwärmequelle wird, da die Luft nach der Entnahme aus dem Speichertank auf eine höhere Temperatur als die Umgebungstemperatur erwärmt wird, die aus der flüssigen Luft zurückgewonnene, spezifische Energiemenge erhöht.

[0019] Nach Maßgabe der Erfindung wird der Wirkungsgrad des gesamten Prozesses (bzw. einer nach dem erfindungsgemäßen Verfahren arbeitenden Anlage) auf bis zu 50% gesteigert, indem bei der Energieentnahme, zusätzlich zur üblichen Nutzung der flüssigen Luft durch die Hauptturbine, das (tiefe) Temperaturniveau der flüssigen Luft zur Kondensation eines Kältemittels (dessen Siedepunkt üblicherweise weit unter dem von Wasser liegt) auf der untersten Stufe eines ein- oder mehrstufigen Rankine-Prozesses (Dampfturbinen-Prozess) verwendet wird. In den Stufen bzw. der einen Stufe der Rankine-Maschine werden üblicherweise tiefsiedende Stoffe, wie z. B. Stickstoff, reine oder voll- oder teilhalogenierte Kohlenwasserstoffe, wie z. B. R134a, R600a, oder natürliche Kältemittel, wie z. B. Wasser, Kohlendioxid, oder Gemische aus den vorgenannten Stoffen eingesetzt. Werden organische Kältemittel eingesetzt handelt es sich bei dem Rankine-Prozess um einen sog. ORC-Prozess (Organic Rankine Cycle).

[0020] Wird das Verfahren zur Speicherung von elektrischer Energie genutzt, dann treiben die einzelnen Stufen der Rankine-Maschine über Turbinen Stromgeneratoren an. Die von den Stromgeneratoren erzeugte elektrische Energie wird, zusätzlich zu der vom Stromgenerator der Hauptturbine erzeugten elektrischen Energie, in das zu versorgende Stromnetz eingespeist.

[0021] Die Anordnung zur Durchführung des Verfahrens umfasst einen ein- oder mehrstufigen Verdichter, eine Verflüssigungs-Entspannungsturbine, durch die ein zweiter Massestrom der aus der letzten Stufe des Verdichters austretenden Luft geleitet wird; mindestens einen Gegenstromwärmeübertrager, der zum Wärmetausch zwischen dem aus der Verflüssigungs-Entspannungsturbine austretenden zweiten Massestrom und dem ersten Massestrom dient, ein Entspannungsventil, über das der erste Massestrom isenthalp auf einen Verflüssigungsdruck entspannt wird, einen Phasentrenner, in dem die verflüssigte Luft vom gasförmigen Anteil (Kaltdampf) getrennt wird, einen thermisch isolierten Speichertank, der zum Lagern der verflüssigten Luft dient, eine Regasifizierungseinheit, die dazu eingerichtet ist, den Druck in aus dem Speichertank entnommener flüssiger Luft zu erhöhen und die Temperatur der Luft auf zumindest Umgebungstemperatur zu bringen, und eine Turbine, die mittels der in der Regasifizierungseinheit erzeugten Druckluft antreibbar ist. An jede Verdichterstufe schließt sich ein Zwischenkühler an, in dem die verdichtete Luft nach der Kompression auf nahezu Umgebungstemperatur abgekühlt wird.

[0022] Nach Maßgabe der Erfindung weist die Anordnung zudem eine ein- oder mehrstufige Rankine-Maschine auf, die zur Steigerung des Gesamtwirkungsgrads des Speicher- und Entnahmeprozesses dient.

[0023] Die unterste Stufe der Rankine-Maschine, also diejenige Stufe, die auf dem tiefsten Temperaturwert liegt, ist über einen Gegenstromwärmeübertrager (Kondensator) thermisch an das Temperaturniveau der flüssigen Luft angekoppelt (bei der Entnahme der Luft, sobald also flüssige Luft aus dem Speichertank strömt), d. h., in der untersten Stufe wird die bei der Verdampfung und Erwärmung des Prozessmediums Luft freigesetzte Kälte zur Kondensation eines Kältemittels, z. B. Stickstoff, genutzt. Die eine Seite des Gegenstromwärmeübertragers ist zwischen den Ausgang des Speichertanks und den Eingang der Hauptturbine geschaltet und seine andere Seite wird vom in der untersten Stufe der Rankine-Turbine eingesetzten Kältemittel durchströmt.

[0024] Jede Stufe der Rankine-Maschine (ORC-Maschine) umfasst einen Regenerator, einen Kondensator, eine Kältemittelpumpe, einen Verdampfer und eine Turbine (mit angeschlossenem Generator).

[0025] Die Erfindung wird nachfolgend anhand eines Ausführungsbeispiels näher erläutert; hierzu zeigen:

Fig. 1: Das Schaltschema einer Anlage zur Energiespeicherung mittels verflüssigter Luft,

Fig. 2: das Druck-Enthalpie-Diagramm des Luft-Verflüssigungsprozesses,

Fig. 3: eine Auflistung der thermodynamischen Zustände der Luft während des Verflüssigungsprozesses,

Fig. 4: das Temperatur-Enthalpie-Diagramm der Regasifizierung.

[0026] Die in Fig. 1 dargestellte Anlage zur Luftverflüssigung nach dem Linde-Claude-Prozess besteht aus einem dreistufigen Verdichter 1, der als Schraubenkompressor ausgeführt ist und einen isentropen Kompressionswirkungsgrad von ca. 90 % aufweist, einem ersten 2 (Gegenstromwärmeübertrager) und einem zweiten Wärmeübertrager 3 (Claude-Wärmeübertrager), einem einstufigen Turboexpander 4 (Verflüssigungs-Expansions-turbine), der eine isentrope Expansioneffizienz von 90 % aufweist, einem Joule-Thompson-Drosselventil 5 (Entspannungsventil), einem Phasentrenner 6 und einem wärmeisolierten Speichertank 7, der geringe thermische Verluste sicherstellt.

[0027] In Fig. 2 ist jeweils die Lage der zu speichernden Luft im Druck-Enthalpie-Diagramm an den in der Fig. 1 eingetragenen Stellen (Punkten) A-I (die Punkte A-I betreffen ausschließlich die Speicherung) dargestellt; in Fig. 3 sind tabellarisch die thermodynamischen Zustände der Luft an den Punkten A-I aufgelistet.

[0028] Zur Verflüssigung der Luft (Energiespeicherung) wird am Eingang 1.1 des Verdichters 1 getrocknete und gereinigte Luft aus der Umgebung sowie aus dem Prozess zurückgeführte Luft (Kaldampf) angesaugt (Punkt A), der Druck der Luft auf einen Enddruck von ca. 8 bar erhöht und die verdichtete Luft über einen Ausgang 1.2 (Punkt B) durch einen Gegenstromwärmeübertrager 2 geleitet, in dem sie mit dem Kaldampf auf eine Temperatur von ca. 143 K (Punkt C) abgekühlt wird. Der Verdichter 1 verfügt über eine Zwischenkühlung, d. h. hinter jeder Stufe wird die verdichtete Luft durch jeweils einen Wärmeübertrager (nicht dargestellt) auf nahezu Umgebungstemperatur abgekühlt (Punkte A bis B).

[0029] Nach Durchlaufen des Gegenstromwärmeübertragers 2 wird die Luft in einen ersten und einen zweiten Massestrom aufgeteilt (der erste Massestrom soll mit Hilfe des zweiten Massestroms gekühlt werden). Der zweite Massestrom wird in den Eingang 4.1 der Verflüssigungs-Entspannungsturbine 4 (Expander) geleitet.

[0030] Der aus dem Phasentrenner 6 austretende gasförmige Restanteil der Luft (Punkt E(g)) und der aus der Verflüssiger-Entspannungsturbine 4 austretende zweite Massestrom (Punkt I) werden gemischt (Kaldampf, Punkt F), und, wie oben beschrieben, zur Abkühlung der verdichteten Luft in den Wärmeübertragern 2, 3 eingesetzt, um im Punkt D eine möglichst tiefe Temperatur zu erreichen.

[0031] Zur Kühlung im Punkt D wird der erste Massestrom durch die eine Seite und der Kaldampf durch die andere Seite des Claude-Wärmeübertragers 3 geleitet, wodurch die Temperatur der Luft des ersten Massestroms so weit abgesenkt wird, dass die Luft zuerst vollständig verflüssigt und anschließend unterkühlt wird (Punkt D).

[0032] Anschließend wird der erste Massestrom über das Entspannungsventil 5 isenthalp entspannt. Die Luft kühlt sich weiter ab (Joule-Thomson-Effekt) und ein großer Teil der Luft bleibt (trotz des geringeren Drucks) flüssig, ein Restanteil wird gasförmig (Punkt E(g)). In einem Phasentrenner 6 wird die flüssige Luft von dem gasförmigen Restanteil getrennt und in den thermisch isolierten Speichertank 7 geleitet, wo sie bei Umgebungsdruck (drucklose Speicherung) und einer Temperatur von ca. 80 K gelagert wird (Punkt E(f)). Die mögliche Speicherdauer wird nahezu ausschließlich durch die thermischen Verluste des Speichertanks bestimmt.

[0033] Der zweite Massestrom wird nicht verflüssigt, sondern mittels der Verflüssigungs-Entspannungsturbine 4 polytrop vom Punkt C auf den Punkt I entspannt. Bei der Entspannung verrichtet der zweite Massestrom mechanische Arbeit, die, da die Wellen der Verflüssigungs-Entspannungsturbine 4 und des Verdichters 1 mittels eines Getriebes (nicht dargestellt) mechanisch aneinander gekoppelt sind, dem Verdichtungsprozess zugeführt wird.

[0034] Zur Energieentnahme wird flüssige Luft aus dem Speichertank 7 entnommen, ihr Druck zunächst in einem abgeschlossenen Bereich (nicht dargestellt) ausschließlich durch Wärmezufuhr auf 200 bar erhöht und die so erzeugte Druckluft anschließend auf Umgebungstemperatur (ca. 300 K) oder ggf. auf die Temperatur einer Abwärmequelle (Erhöhung des Gesamtwirkungsgrades) gebracht, indem die Luft im Gegenstromprinzip über die eine Seite eines ersten Rankine-Wärmetauschers 8 einer zweistufigen Rankine-Maschine 9 geleitet wird, deren erste/unterste Stufe 10 mit Stickstoff (als Kältemittel) und deren zweite Stufe 11 mit einem bei niedrigen Temperaturen siedenden Kältemittel betrieben werden. Der erste Rankine-Wärmetauscher 8 steht mit dem Stickstoff der ersten Stufe 10 der Rankine-Maschine 9, die auf dem niedrigsten Temperaturniveau betrieben wird, in Verbindung.

[0035] Die Druckluft wird in eine Hauptturbine 12 mit angeschlossenem Stromgenerator 13 von 200 bar auf 1 bar entspannt. Um die Effizienz des Entspannungsprozesses zu steigern, ist der Turboexpander sechsstufig ausgeführt und nach jeder Expansionsstufe mit einer Zwischenerhitzung (nicht dargestellt) ausgestattet. Bei sechsstufiger Ausführung des Turboexpanders ist sichergestellt, dass die Temperatur der entspannten Luft nicht kleiner als 230 K wird. Fig. 4 zeigt das zugehörige Temperatur-Entropie-Diagramm (Energieentnahme/Regasifizierung).

[0036] Die beiden Stufen 10, 11 der Rankine-Maschine 9 nutzen jeweils zwei Wärmetauscher 8, 15, 16, wobei jeweils einer der Wärmetauscher zur Ankopplung an ein tieferes Temperaturniveau und der andere Wärmetauscher zur Ankopplung an ein höheres Temperaturniveau dient. So dient der zweite Rankine-Wärmetauscher 16 zur Ankopplung der beiden Stufen 10, 11 der Rankine-Maschine 9 aneinander, da das hohe Temperaturniveau der ersten Stufe 10 etwa dem niedrigen Temperaturniveau der zweiten Stufe 11 entspricht. Der dritte Rankine-Wärmetauscher 15 steht mit dem Umgebungstemperaturniveau in Verbindung, welches dem hohen Temperaturniveau der zweiten Stufe 11 entspricht. Denkbar ist auch die Kaskadierung von mehr als zwei Stufen.

[0037] Die Stufen der Rankine-Maschine sind jeweils geschlossen ausgeführt, d. h., der Ausgang des Wärmetauschers

auf dem höheren Temperaturniveau ist mit dem Eingang des Wärmetauschers auf dem niedrigeren Temperaturniveau jeweils über eine Entspannungsturbine 14, an der Entspannungsarbeit verrichtet wird, verbunden. Der Ausgang des Wärmetauschers auf dem niedrigen Temperaturniveau ist jeweils mit dem Eingang 17.1 einer Kondensatspumpe 17, die zum Zurückfördern des Kältemittels dient, und der Eingang des Wärmetauschers mit dem höheren Temperaturniveau mit dem Ausgang 17.2 der Kondensatspumpe 17 verbunden.

[0038] Die Entspannungsturbinen 14 sind jeweils mechanisch an elektrische Generatoren 18 gekoppelt. Bei der Energieentnahme wird sowohl die elektrische Energie der von der Rankine-Maschine betriebenen Generatoren 18 als auch vom von der Hauptturbine 12 angetriebenen Generator 13 in das zu versorgende Stromnetz zurückgespeist.

Liste der verwendeten Bezugszeichen

[0039]

1	Verdichter
1.1	Eingang des Verdichters
1.2	Ausgang des Verdichters
2	Gegenstromwärmeübertrager
3	Claude-Wärmeübertrager
4	Verflüssigungs-Entspannungsturbine/Turboexpander
4.1	Eingang der Verflüssigungs-Entspannungsturbine
4.2	Ausgang der Verflüssigungs-Entspannungsturbine
5	Entspannungsventil/Joule-Thompson-Drosselventil
6	Phasentrenner
7	Speichertank
8	Erster Rankine-Wärmetauscher
9	Rankine-Maschine
10	Erste Stufe der Rankine-Maschine
11	Zweite Stufe der Rankine-Maschine
12	Hauptturbine
13	Stromgenerator der Hauptturbine
14	Entspannungsturbine
15	Dritter Rankine-Wärmetauscher
16	Zweiter Rankine-Wärmetauscher
17	Kondensatspumpe
17.1	Eingang der Kondensatspumpe
17.2	Ausgang der Kondensatspumpe
18	Stromgenerator der Rankine-Maschine

Patentansprüche

1. Verfahren zum Speichern von Energie, umfassend

- einen Schritt zur Speicherung der Energie, indem am Eingang (1.1) eines ein-oder mehrstufigen Verdichters (1) Luft angesaugt, ihr Druck auf einen gegenüber Umgebungsdruck erhöhten Wert angehoben, die Luft durch eine isenthalpe Entspannung verflüssigt und einem thermisch isolierten Speichertank (7) zugeführt wird, wobei der beim Luftverflüssigungsvorgang entstehende Kaltdampf der Luft über mindestens einen Gegenstromwärmeübertrager (2), der hinter der mindestens einen Stufe des Verdichters (1) einen Wärmeaustausch der verdichteten Luft mit dem Kaltdampf ermöglicht, zum Eingang (1.1) des Verdichters (1) zurückgeführt wird, wobei die verdichtete Luft nach dem Gegenstromwärmeübertrager (2) in zwei Teilströme aufgeteilt wird, und der zweite Massestrom über eine Verflüssigungs-Entspannungsturbine (4) geleitet wird, und die in der Verflüssigungs-Entspannungsturbine (4) gewonnene Energie dem Verdichter (1) zugeführt wird, wobei der erste Massestrom mittels eines Claude-Wärmeübertragers (3) durch den aus der Verflüssigungs-Entspannungsturbine (4) austretenden zweiten Massestrom und den sonstigen beim Luftverflüssigungsvorgang entstehenden Kaltdampf gekühlt wird,

- und einen Schritt zur Entnahme der Energie, in dem die flüssige Luft aus dem Speichertank (7) entnommen und regasifiziert wird, indem der Druck der Luft mittels einer Pumpe und/oder mittels thermischer Verdichtung erhöht und anschließend die Temperatur der Luft auf mindestens Umgebungstemperatur angehoben wird, wobei mit der so erzeugten Druckluft eine Hauptturbine (12) angetrieben wird, **dadurch gekennzeichnet, dass** zusätzlich das Temperaturniveau der aus dem Speichertank entnommenen flüssigen Luft zur Kondensation eines bei niedrigen Temperaturen siedenden Kältemittels auf der untersten Stufe eines ein- oder mehrstufigen Rankine-Prozesses genutzt wird, wobei die im Rankine-Prozess erzeugte Energie mit der in der Hauptturbine (12) erzeugten Energie zusammengeführt wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** das auf der untersten Stufe des ein- oder mehrstufigen Rankine-Prozesses genutzte Kältemittel einen Siedepunkt aufweist, der unter dem von Wasser liegt.

3. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 und 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** in der untersten Stufe des Rankine-Prozesses Stickstoff als Kältemittel eingesetzt wird.

4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** als Kältemittel im ein- oder mehrstufigen Rankine-Prozess Stickstoff, reine oder voll- oder teilhalogenierte Kohlenwasserstoffe, natürliche Kältemittel und/oder Gemische aus diesen Stoffen eingesetzt werden.

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** als ein- oder mehrstufiger Rankine-Prozess ein ORC-Prozess eingesetzt wird.

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** zur Verflüssigung der Luft ein mehrstufiger Verdichter eingesetzt wird, wobei zur Kühlung der verdichteten Luft hinter jeder Stufe des Verdichters ein Wärmetausch zwischen der verdichteten Luft und der Umgebung vorgenommen wird.

7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** im Schritt der Entnahme der Energie die Luft durch Nutzung einer Abwärmequelle auf eine höhere Temperatur als die Umgebungstemperatur erwärmt wird.

8. Anordnung zur Durchführung des Verfahrens nach Anspruch 1 mit einem ein- oder mehrstufigen Verdichter mit Zwischenkühlung (1), wobei sich an die letzte Verdichterstufe ein Gegenstromwärmeübertrager (2) anschließt, dessen eine Seite von der verdichteten Luft und dessen andere Seite von Kaltdampf durchströmt ist; eine Verflüssigungs-Entspannungsturbine (4), durch die ein zweiter Massestrom der aus dem Gegenstromwärmeübertrager (2) austretenden Luft geleitet wird; einen Claude-Wärmeübertrager (3), der zum Wärmetausch zwischen dem aus der Verflüssigungs-Entspannungsturbine (4) austretenden zweiten Massestrom sowie sonstigem beim Luftverflüssigungsvorgang entstehendem Kaltdampf und einem ersten Massestrom dient; ein Entspannungsventil (5), über das der erste Massestrom isenthalp auf einen Verflüssigungsdruck entspannt wird; einen Phasentrenner (6), in dem die verflüssigte von der gasförmigen Luft getrennt wird; einen thermisch isolierten Speichertank (7), der zum Lagern der verflüssigten Luft dient; eine Regasifizierungseinheit, die dazu eingerichtet ist, den Druck in aus dem Speichertank (7) entnommener, flüssiger Luft zu erhöhen und die Temperatur der Luft auf zumindest Umgebungstemperatur zu bringen; eine Hauptturbine (12), die mittels der in der Regasifizierungseinheit erzeugten Druckluft antreibbar ist, **dadurch gekennzeichnet, dass** sie eine ein- oder mehrstufige Rankine-Maschine (9) umfasst, die zur Durchführung des Rankine-Prozesses dient, wobei die unterste Stufe der Rankine-Maschine (9) mittels eines Gegenstromwärmeübertragers, dessen eine Seite zwischen den Ausgang des Speichertanks und den Eingang der Hauptturbine (9) geschaltet und dessen andere Seite vom in der Rankine-Maschine eingesetzten Kältemittel durchströmbar ist, thermisch an die Regasifizierungseinheit gekoppelt ist.

9. Anordnung nach Anspruch 8, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Verdichter (1) elektrisch angetrieben und sowohl die Hauptturbine (12) als auch die Rankine-Turbine (14) jeweils an einen elektrischen Generator (13, 18) angekoppelt ist, wodurch die Anordnung zur Speicherung von elektrischer Energie geeignet ist.

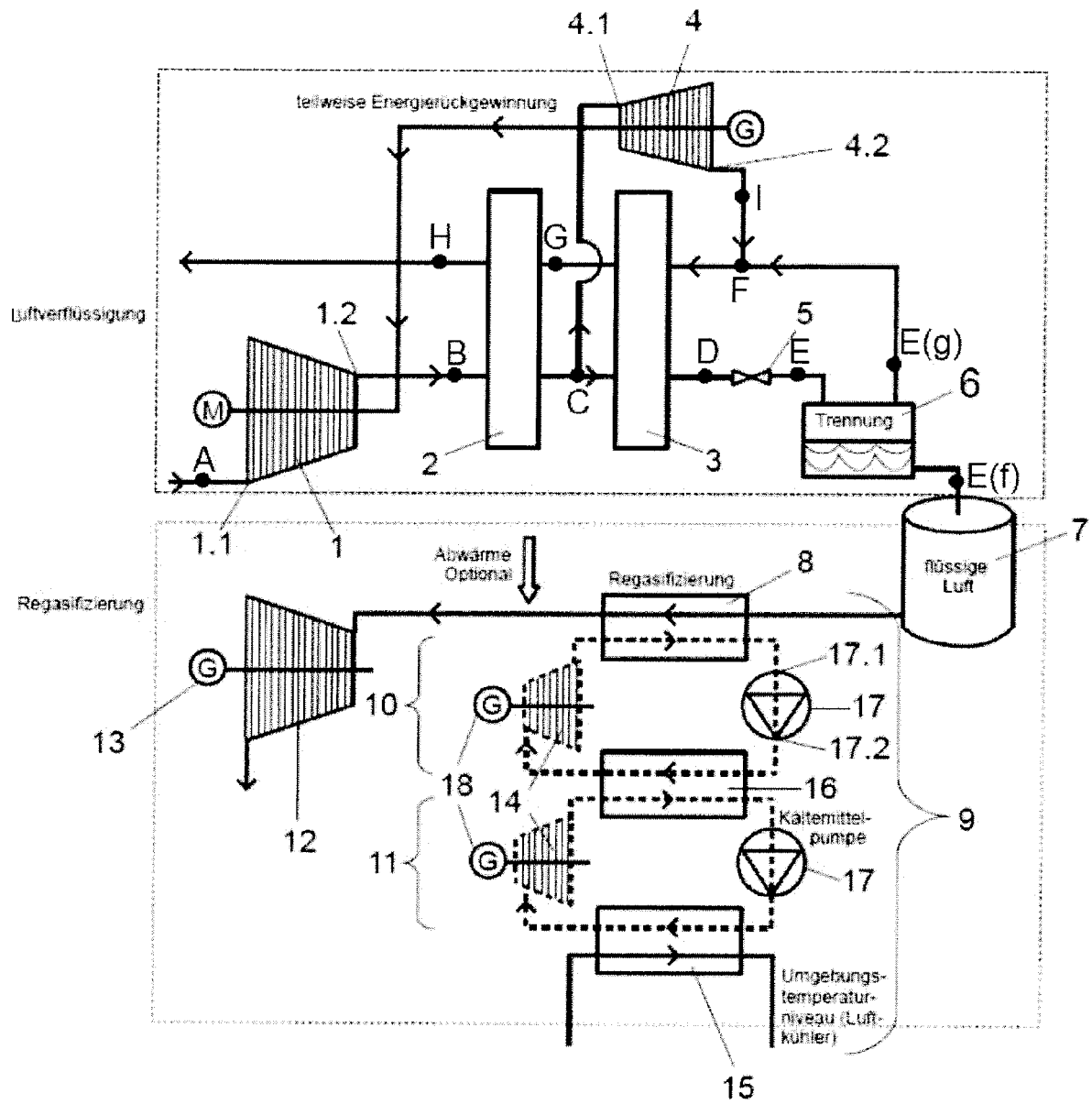


Fig. 1

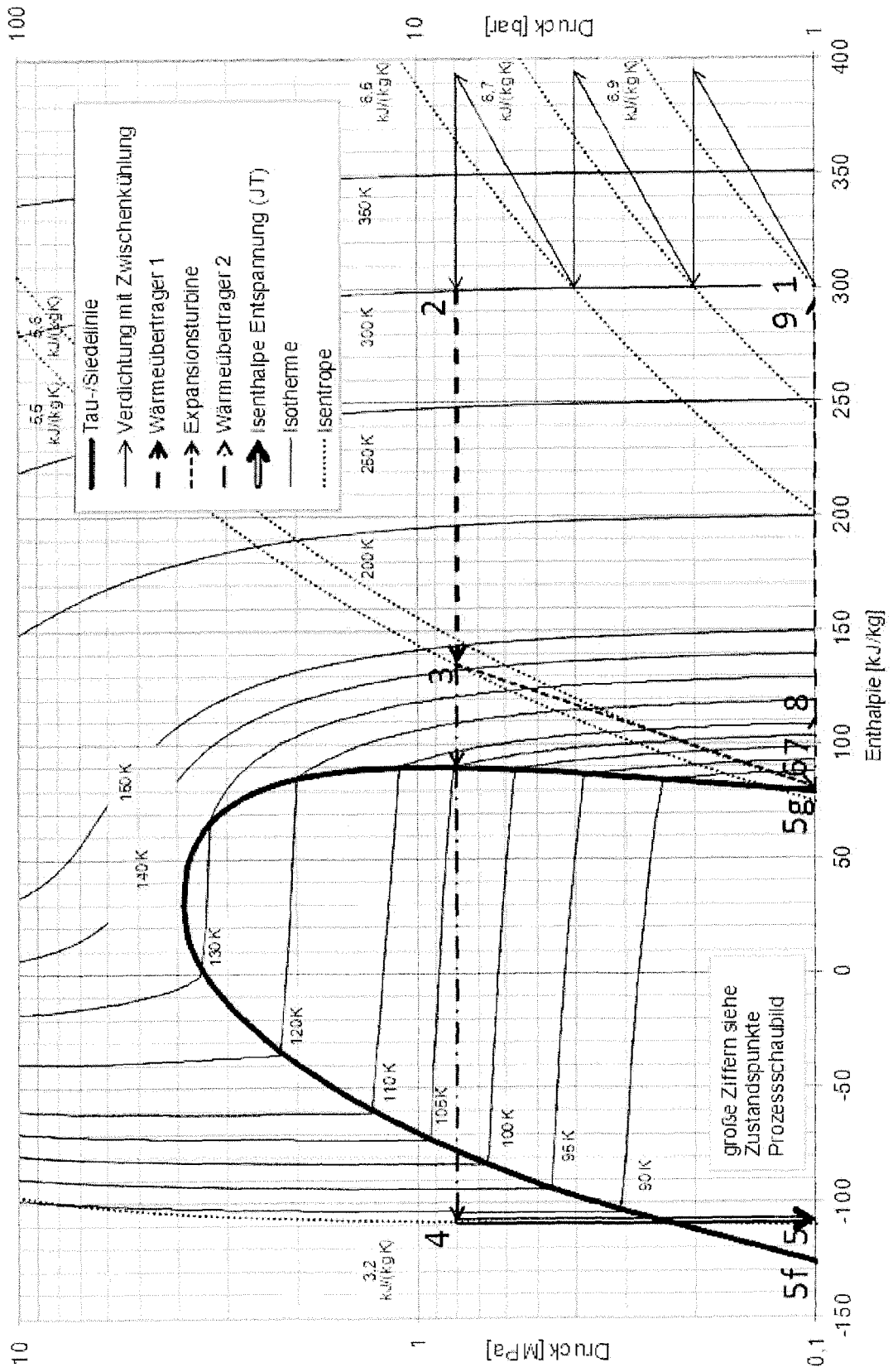


Fig. 2

Punkt	Druck [bar]	Temperatur [K]	Enthalpie [kJ/kg]	Zustand	Massenverhältnis Teilstrom/Gesamtstrom
1 (Eintritt)	1	300,0	300,3	überkritisch	1
1. Stufe Verdichtung	2	373,0	373,9	überkritisch	1
Kühlung	2	300,0	300,1	überkritisch	1
2. Stufe Verdichtung	4	373,0	373,5	überkritisch	1
Kühlung	4	300,0	299,6	überkritisch	1
3. Stufe Verdichtung	8	372,8	372,8	überkritisch	1
2	8	300,0	298,7	überkritisch	1
3	8	142,7	135,4	überkritisch	1
4	8	87,8	-108,4	unterkühlte Flüssigkeit	0,068
5f	1	78,8	-126,5	Flüssigkeit Sättigungszustand	0,062
5	1	78,9	-108,4	2-Phasengebiet 9 % Dampfanteil	0,116
5g	1	81,6	79,0	Dampf Sättigungszustand	0,006
6s	1	81,5	75,0		
6	1	83,4	80,8	Überhitzter Dampf	0,883
7	1	83,3	80,8	Überhitzter Dampf	0,894
8	1	113,9	112,5	Überhitzter Dampf	0,894
9 (Austritt)	1	295,0	295,3	Überkritischer Zustand	0,894

Fig. 3

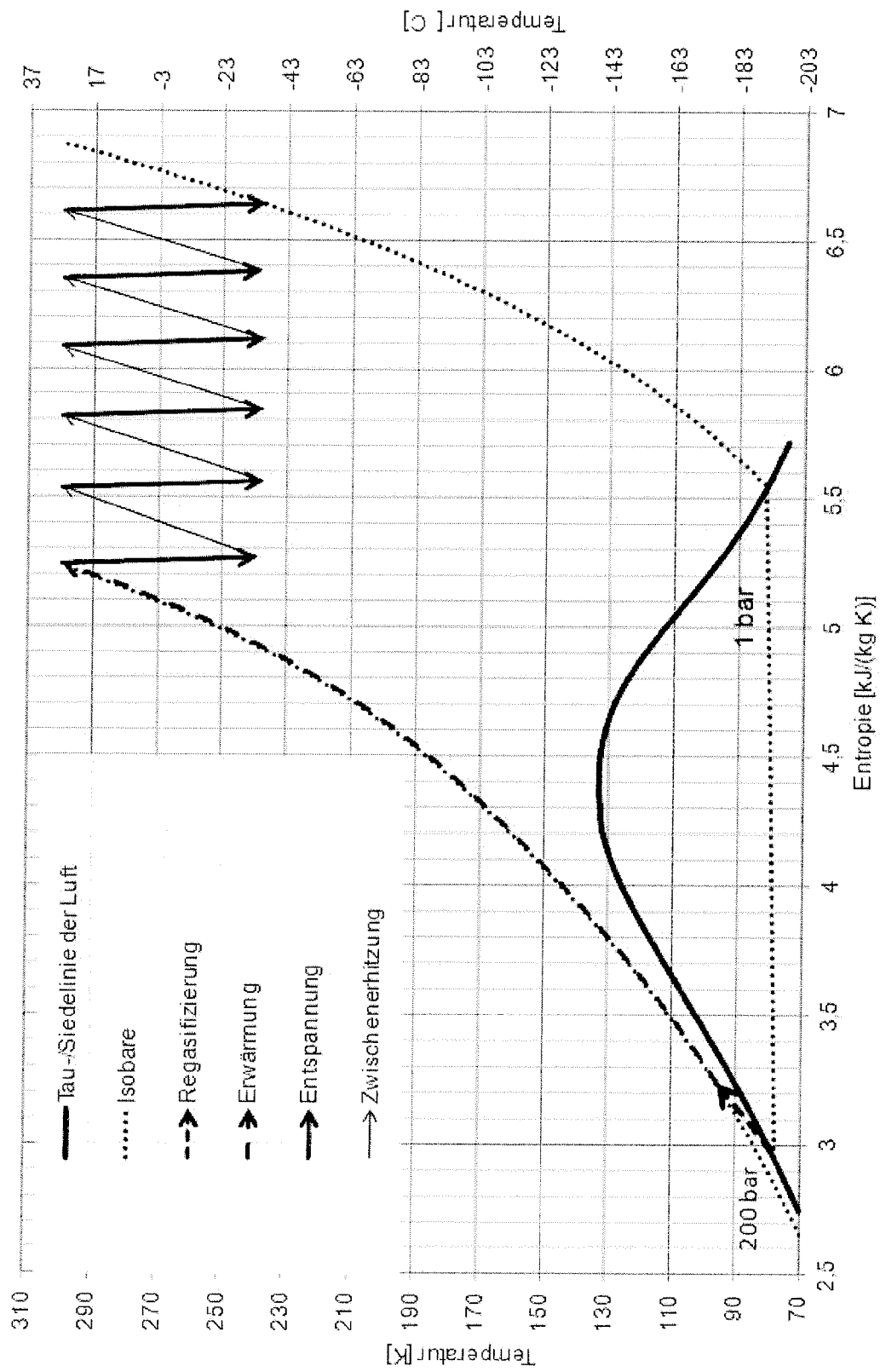


Fig. 4



EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung
EP 13 15 6878

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC)
X	DE 195 27 882 A1 (HARTMANN JOERG DIPL MATH [DE]) 17. April 1997 (1997-04-17)	1,2,4-9	INV. F01K3/00
Y	* Seite 3, Zeile 52 - Seite 4, Zeile 15; Abbildungen 1,2,4 *	1-9	F01K23/10 F01K25/10 F02C6/16
Y	CHINO ET AL: "Evaluation of Energy Storage Method Using Liquid Air", HEAT TRANSFER - ASIAN RESEARCH, JOHN WILEY & SONS, INC, UNITED STATES, Bd. 29, Nr. 8, 1. Juli 2000 (2000-07-01), Seiten 347-357, XP009160219, ISSN: 1099-2871, DOI: 10.1002/1523-1496(200007)29:5<347::AID-HTJ1>3.0.CO;2-A [gefunden am 2000-06-15] * Section 2.3; Abbildungen 1,3 *	1-9	F02C6/18 F25J1/00 F25J1/02
Y	EP 0 003 264 A1 (NOZAWA REIKICHI) 8. August 1979 (1979-08-08) * Seiten 11-13 *	3	
Y	DE 20 2005 003611 U1 (KRETSCHMER RUTGER [DE]) 19. Mai 2005 (2005-05-19) * Abbildung 1 *	6	
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC) F01K F02C F25J
Recherchenort München		Abschlußdatum der Recherche 2. Mai 2013	Prüfer Lepers, Joachim
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : nichtschriftliche Offenbarung P : Zwischenliteratur		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	

 1
EPO FORM 1503 03.82 (P04C03)

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

EP 13 15 6878

In diesem Anhang sind die Mitglieder der Patentfamilien der im obengenannten europäischen Recherchenbericht angeführten Patentedokumente 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.

02-05-2013

Im Recherchenbericht angeführtes Patentedokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
DE 19527882 A1	17-04-1997	KEINE	
EP 0003264 A1	08-08-1979	BE 877490 A1	05-11-1979
		EP 0003264 A1	08-08-1979
		FR 2438159 A1	30-04-1980
		GB 2041455 A	10-09-1980
		JP S5491648 A	20-07-1979
		JP S6215731 B2	09-04-1987
		NL 7815054 A	31-01-1980
		US 4330998 A	25-05-1982
		US 4422298 A	27-12-1983
		US 4429536 A	07-02-1984
DE 202005003611 U1	19-05-2005	KEINE	

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

- DE 3139567 A1 [0007] [0008]
- US 6920759 B2 [0007] [0008]
- WO 2007096656 A1 [0007] [0008]