



Europäisches
Patentamt
European
Patent Office
Office européen
des brevets



(11)

EP 3 517 742 A1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43) Veröffentlichungstag:
31.07.2019 Patentblatt 2019/31

(51) Int Cl.:
F01K 25/10 (2006.01)

(21) Anmeldenummer: 18153609.5

(22) Anmeldetag: 26.01.2018

(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
 Benannte Validierungsstaaten:
MA MD TN

(71) Anmelder: **Siemens Aktiengesellschaft
80333 München (DE)**
 (72) Erfinder:

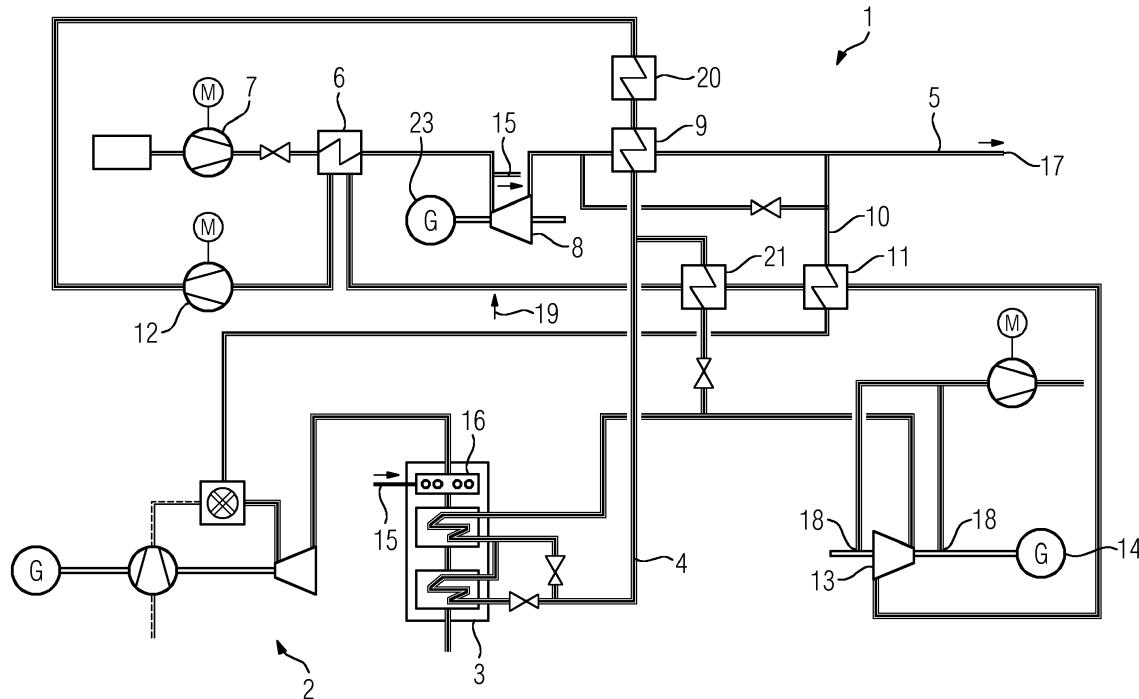
- Graeber, Carsten
91056 Erlangen (DE)
- Juretzek, Uwe
91058 Erlangen (DE)

(54) ERZEUGUNG ELEKTRISCHER ENERGIE UND VERDAMPFUNG EINES TIEFKALT VERFLÜSSIGTEN GASES

(57) Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung (1) zur Erzeugung elektrischer Energie und zur Verdampfung eines tiefkalt verflüssigten Gases, umfassend eine Wärmekraftmaschine (2) sowie ein der Wärmekraftmaschine (2) nachgeschaltetes Abhitzenutzungssystem (3), das in einen Fluidkreislauf (4) geschaltet ist, wobei die Vorrichtung (1) ferner eine Leitung (5) für das tiefkalt verflüssigte Gas umfasst, in die ein erster Wärmeübertrager (6) geschaltet ist, wobei der erste Wärmeübertrager (6) auch in den Fluidkreislauf (4) geschaltet ist, wobei in die Lei-

tung (5) eine Pumpe (7) in Strömungsrichtung des tiefkalt verflüssigten Gases vor den ersten Wärmeübertrager (6) geschaltet ist und hinter den ersten Wärmeübertrager (6) eine Entspannungsturbine (8) sowie ein zweiter Wärmeübertrager (9) in die Leitung (5) geschaltet sind, wobei der zweite Wärmeübertrager (9) auch in den Fluidkreislauf (4) geschaltet ist. Die Erfindung betrifft ferner ein Verfahren zur Erzeugung elektrischer Energie und zur Verdampfung eines tiefkalt verflüssigten Gases.

FIG 1



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung zur Erzeugung elektrischer Energie und zur Verdampfung eines tiefkalt verflüssigten Gases, beispielsweise Erdgas (LNG = liquefied natural gas) sowie ein entsprechendes Verfahren.

[0002] Üblicherweise wird Erdgas nach seiner Förderung über Leitungen zu entsprechenden Terminals in einem Hafen transportiert. Dort wird es gelagert, aufbereitet und schließlich für den Transport mit entsprechenden Spezialschiffen über längere Strecken durch starkes Verdichten und Abkühlen (bis auf -162°C) verflüssigt. Nach dem Transport wird das verflüssigte Erdgas vor der Einleitung in ein Gasnetz regasifiziert. Dabei wird typischer Weise das flüssige Erdgas mit Umgebungswärme (Luft / Meerwasser) oder chemischer Wärme verdampft. Alternativ wurden Konzepte entwickelt, die über kaskadierende ORC-Kreisläufe eine energetische Nutzung der Tieftemperaturkälte zum Ziel hatten.

[0003] Aufgabe der Erfindung ist es, ein energetisch und wirtschaftlich optimales Verdampfungsverfahren für ein tiefkalt verflüssigtes Gas anzugeben. Ferner ist es eine Aufgabe der Erfindung, eine entsprechend verbesserte Vorrichtung bereitzustellen.

[0004] Die Erfindung löst die auf eine Vorrichtung gerichtete Aufgabe, indem sie vorsieht, dass bei einer derartigen Vorrichtung zur Erzeugung elektrischer Energie und zur Verdampfung eines tiefkalt verflüssigten Gases, umfassend eine Wärmekraftmaschine sowie ein der Wärmekraftmaschine nachgeschaltetes Abhitzenutzungssystem, das in einen Fluidkreislauf geschaltet ist, wobei die Vorrichtung ferner eine Leitung für das tiefkalt verflüssigte Gas umfasst, in die ein erster Wärmeübertrager geschaltet ist, wobei der erste Wärmeübertrager auch in den Fluidkreislauf geschaltet ist, in die Leitung eine Pumpe in Strömungsrichtung des tiefkalt verflüssigten Gases vor den ersten Wärmeübertrager geschaltet ist und hinter den ersten Wärmeübertrager eine Entspannungsturbine sowie ein zweiter Wärmeübertrager in die Leitung geschaltet sind, wobei der zweite Wärmeübertrager auch in den Fluidkreislauf geschaltet ist.

[0005] Durch Kopplung der Verdampfung an weitere Prozesse und insbesondere durch eine optimierte Wärmeintegration des Gesamtsystems wird es möglich, eine maximale Nutzung der Tieftemperaturkälte zur Stromerzeugung mit höchsten Wirkungsgraden zu erreichen. Dies wird erfindungsgemäß kombiniert mit einer Druckerhöhung auf der Seite des tiefkalt verflüssigten Gases (Beispiel für LNG: 100 - 300 bar). Tiefkalt verflüssigtes Gas bedeutet, dass das Gas durch Abkühlung verflüssigt wurde. Die Temperaturen liegen bei den für die Erfindung relevanten Gasen in der Größenordnung von -140°C und darunter. Als Wärmekraftmaschine kommt typischerweise eine Gasturbine zum Einsatz. Aber auch die Verwendung beispielsweise eines Gasmotors ist denkbar.

[0006] Dabei ist es zweckmäßig, wenn nach der Entspannungsturbine eine Zweigleitung von der Leitung ab-

zweigt und die Zweigleitung in die Wärmekraftmaschine mündet. Insbesondere bei der Verdampfung von LNG, aber auch bei anderen Gasen, wie Wasserstoff, ergeben sich bei einer derartigen Konstellation Vorteile aufgrund der "kurzen Wege".

[0007] In einer vorteilhaften Ausführungsform der Erfindung zweigt die Zweigleitung erst nach dem zweiten Wärmeübertrager von der Leitung ab. Das regasifizierte Gas ist hier soweit abgekühlt, dass es zweckmäßig ist, wenn ein dritter Wärmeübertrager in die Zweigleitung und in den Fluidkreislauf geschaltet ist, um den Brennstoff für die Verbrennung in der Wärmekraftmaschine vorzuwärmen.

[0008] In einer weiteren vorteilhaften Ausführungsform der Erfindung ist im Fluidkreislauf zwischen dem ersten und dem zweiten Wärmeübertrager ein Verdichter angeordnet. Der Fluidkreislauf soll als 1-Druckprozess betrieben werden, um den Wirkungsgrad der Vorrichtung zu optimieren. Hierzu wird neben einer bestimmten Temperatur auch ein entsprechender Druck benötigt.

[0009] Es ist vorteilhaft, wenn im Fluidkreislauf auf den zweiten Wärmeübertrager das Abhitzenutzungssystem folgt. Im Abhitzenutzungssystem wird Restwärme aus dem Prozess der Wärmekraftmaschine verwertet. Es ist zweckmäßig, wenn im Fluidkreislauf auf das Abhitzenutzungssystem eine Turbine mit angekoppeltem Generator folgt, so dass das im Abhitzenutzungssystem erwärmte Fluid in der Turbine arbeitsleistend entspannt werden kann.

[0010] Weiter kann es zweckmäßig sein, wenn im Fluidkreislauf zwischen Turbine und erstem Wärmeübertrager der dritte Wärmeübertrager für eine Brennstoffvorwärmung angeordnet ist. Mit der Brennstoffvorwärmung wird die fühlbare Wärme des Brennstoffs erhöht und die benötigte Brennstoffmenge verringert.

[0011] In einer vorteilhaften Ausführungsform der Erfindung ist ein vierter Wärmeübertrager im Fluidkreislauf zwischen Verdichter und zweitem Wärmeübertrager angeordnet. Ferner ist ein fünfter Wärmeübertrager mit beiden Seiten in den Fluidkreislauf geschaltet und zwar zum einen zwischen den dritten Wärmeübertrager und den ersten Wärmeübertrager und zum anderen parallel zum Abhitzenutzungssystem. Über den vierten Wärmeübertrager kann das Fluid, das nach dem ersten Wärmetausch, bei dem das tiefkalt verflüssigte Gas regasifiziert wird und auch nach dem Verdichter typischerweise noch Temperaturen deutlich unter dem Gefrierpunkt (von Wasser) aufweist mittels Umgebungswärme erwärmt werden. Eine mögliche Anwendung ist die Gasturbinenansaugluftkühlung, wodurch sich ein Leistungszuwachs der Gasturbine ergibt. Aber auch andere Wärmequellen können verwendet werden, wie beispielsweise aufgewärmtes Kühlwasser, Meerwasser, auch Umgebungsluft kommt in Frage. Das derart erwärmte Fluid wird dann im zweiten Wärmeübertrager weiter erwärmt, wobei das vormals tiefkalt verflüssigte Gas, welches inzwischen auf Druck gebracht, erwärmt und dadurch regasifiziert wurde und in einer Turbine entspannt wurde, aber immer noch

eine Temperatur über einer üblichen Temperatur in einem Gasnetz aufweist, weiter abgekühlt wird. Gemäß der Erfindung kann nun ein Anteil (ungefähr der Größenordnung 10 bis 30 %) des Fluids vom Hauptstrom zum Abhitzenutzungssystem abgezweigt werden und im Wärmetausch mit dem Fluid, welches nach der Entspannung in der Turbine und der Brennstoffvorwärmung zwar etwas abgekühlt ist, weiter erwärmt werden. Dieser Anteil des Fluids wird mit dem Hauptstrom nach dessen Erwärmung im Abhitzenutzungssystem wieder gemischt.

[0012] Leckagen an der Entspannungsturbine im Pfad des tiefkalt verflüssigten Gases lassen sich nicht vermeiden. Sofern das regasifizierte Gas brennbar ist, ist es daher vorteilhaft, wenn ein Leckagestrom an der Entspannungsturbine einer Zusatzfeuerung im Abhitzenutzungssystem zuführbar ist.

[0013] Die beanspruchte Vorrichtung ist für verschiedene tiefkalt verflüssigte Gase nutzbar. Es ist aber vorteilhaft, wenn das tiefkalt verflüssigte Gas Erdgas ist, alleine schon im Hinblick auf seine Verwendbarkeit in der Wärmekraftmaschine und im Abhitzenutzungssystem, aber auch im Hinblick auf die Wahl des Fluids im Fluidkreislauf und den Wirkungsgrad der Gesamtanlage. Eine Alternative zu Erdgas ist beispielsweise Wasserstoff.

[0014] In diesem Zusammenhang ist es besonders vorteilhaft, wenn der Fluidkreislauf ein Stickstoffkreislauf ist. Nicht zuletzt wegen seiner Inert-Eigenschaften ist die Verwendung von Stickstoff vorteilhaft. Wesentlich ist aber, dass sich Stickstoff mit einem kritischen Punkt von -147°C / 34 bara hervorragend für einen überkritischen Wärmeaustausch mit dem LNG eignet.

[0015] Durch den überkritischen Zustand wird das Ausbilden eines isothermen Kondensationsplateaus verhindert. Dadurch werden die exergetischen Verluste bei der Wärmeübertragung minimiert. Weiterhin liegt die Erstarrungstemperatur mit -210°C deutlich unterhalb der LNG-Temperatur von -162°C, so dass ein Ausfrieren des Fluids nicht möglich ist.

[0016] Zweckmäßig ist hierbei insbesondere, wenn der Fluidkreislauf ein überkritisch betriebener Kreislauf ist. Im überkritischen Zustand spielt die Verdampfungswärme keine Rolle mehr, was sich positiv auf eine effiziente Wärmeübertragung auswirkt. Außerdem sollte die Einphasigkeit des Fluids dessen Transport in den Leitungen verbessern.

[0017] Schließlich ist es insbesondere für kleinere Anlagen vorteilhaft, wenn Verdichter, Turbine und Generator auf einer Achse angeordnet sind. Somit lassen sich Einsparungen auf der Materialseite erzielen, weil beispielsweise für den Verdichter kein separater Antrieb benötigt wird, oder weil nur noch ein Generator in der Anlage zur Verfügung gestellt werden muss.

[0018] Die auf ein Verfahren gerichtete Aufgabe wird gelöst durch ein Verfahren zur Erzeugung elektrischer Energie und zur Verdampfung eines tiefkalt verflüssigten Gases, bei dem ein Fluidstrom im Kreis geführt wird und zumindest zum Teil in einem Wärmetausch mit Abgasen einer Wärmekraftmaschine erwärmt wird sowie ein tief-

kalt verflüssigtes Gas in einem ersten Wärmetausch mit dem Fluidstrom erwärmt und verdampft wird, wobei das tiefkalt verflüssigte Gas vor dem ersten Wärmetausch mit dem Fluidstrom verdichtet wird und nach dem ersten Wärmetausch mit dem Fluidstrom in einer Entspannungsturbine entspannt wird und in einem zweiten Wärmetausch mit dem Fluidstrom weiter abgekühlt wird.

[0019] Auch beim Verfahren wird als Wärmekraftmaschine typischerweise eine Gasturbine eingesetzt. Alternativ kann aber beispielsweise auch ein Gasmotor verwendet werden.

[0020] Vorteilhafter Weise wird das vormals tiefkalt verflüssigte Gas zumindest zu Teil einem Gasnetz und zum Teil einer Wärmekraftmaschine zugeführt.

[0021] Es ist weiterhin vorteilhaft, wenn das der Wärmekraftmaschine zugeführte, vormals tiefkalt verflüssigte Gas durch den Fluidstrom in einem dritten Wärmetausch für eine Verbrennung vorgewärmt wird.

[0022] Es ist zweckmäßig, wenn der im Wärmetausch mit Abgasen der Wärmekraftmaschine erwärmte Fluidstrom in einer Turbine entspannt wird, bevor er zur Brennstoffvorwärmung im dritten Wärmetausch verwendet wird.

[0023] In einer besonders vorteilhaften Ausführungsform der Erfindung, bei der Umgebungswärme genutzt wird, wird das Fluid vor seiner Erwärmung im zweiten Wärmetausch in einem vierten Wärmetausch (durch Umgebungswärme, beispielsweise Gasturbinenansaugluft, Meerwasser) erwärmt und nach der Erwärmung im zweiten Wärmetausch ein erster Teilstrom des Fluids alternativ zum Wärmetausch mit Abgasen der Gasturbine in einem fünften Wärmetausch mit in der Turbine entspanntem Fluid weiter erwärmt und anschließend mit einem im Wärmetausch mit Abgasen der Wärmekraftmaschine erwärmtem zweiten Teilstrom gemischt, bevor ein aus dem ersten und zweiten Teilstrom bestehender Gesamtstrom des Fluids in der Turbine entspannt wird.

[0024] Vorteilhafter Weise wird der Fluidstrom zwischen dem ersten Wärmetausch und dem zweiten Wärmetausch verdichtet.

[0025] Es ist ebenfalls vorteilhaft, wenn als Fluidstrom ein Stickstoffstrom verwendet wird.

[0026] Ferner ist es vorteilhaft, wenn als tiefkalt verflüssigtes Gas verflüssigtes Erdgas verwendet wird.

[0027] Schließlich ist es vorteilhaft, wenn ein Leckagestrom an der Entspannungsturbine einem der Wärmekraftmaschine nachgeschalteten Abhitzenutzungssystem zugeführt und dort in einer Zusatzfeuerung verbrannt wird.

[0028] Gemäß der Erfindung werden der Regasifizierungs- (bevorzugt LNG) wie auch der Kreislaufprozess (bevorzugt Stickstoff) zum optimalen Wärmeaustausch jeweils bis in den überkritischen Druckbereich als 1-Druckprozess betrieben. Damit gelingt es wirkungsgradoptimal die komplette durch das Abgas der Wärmekraftmaschine in den Prozess eingetragene Wärme im System zu belassen.

[0029] Weiterhin kann mit dem erfindungsgemäßen

Konzept in bevorzugter Weise das LNG am Terminal Point zum Gasnetz auf das gewünschte Druck- und Temperaturniveau eingestellt werden.

[0030] Zusätzlich erfolgt die Auslegung des Fluidkreislaufs optimal bezüglich der Anforderungen der Teilsysteme (z.B. wird durch den internen Wärmeverschub sowohl die finale LNG-Temperatur wie auch eine Stickstoffmindesttemperatur am Eintritt in das der Wärmekraftmaschine nachgeschaltete Abhitzenutzungssystem ermöglicht).

[0031] Durch die optimale Kombination der Systeme und eine optimale Wahl der Prozessparameter gelingt es beispielsweise, LNG-Verstromungswirkungsgrade von 63 - 67% zu erreichen. Damit wird ein Niveau erreicht, dass mit konventioneller GUD-Technik in den nächsten 10 Jahren nicht darstellbar sein wird.

[0032] Weitere Vorteile sind:

- alle Prozessparameter sind mit bereits heute verfügbaren Komponenten darstellbar,
- das Kraftwerk benötigt für seinen Betrieb kein Wasser,
- eine einfache Prozessstruktur ermöglicht einfache Regelung (z.B. nur eine Druckstufe im Stickstoffprozess statt mehrere) und
- das Verfahren ist umweltfreundlich, da gegenüber bisherigen Wiedervergasungsansätzen potentiell umweltschädliche Medien wie Glykol nicht vorhanden sind.

[0033] Die Erfindung wird beispielhaft anhand der Zeichnungen näher erläutert. Es zeigen schematisch und nicht maßstäblich:

Figur 1 eine Vorrichtung zur Erzeugung elektrischer Energie und zur Verdampfung von verflüssigtem Erdgas nach der Erfindung,

Figur 2 ein Ausschnitt der Vorrichtung nach der Erfindung mit alternativem Strangkonzept und

Figur 3 ein Ausschnitt der Vorrichtung nach der Erfindung mit einem weiteren alternativen Strangkonzept.

[0034] Die Figur 1 zeigt schematisch und beispielhaft eine Vorrichtung 1 gemäß der Erfindung. Sie umfasst eine Wärmekraftmaschine 2 (im Beispiel der Figur 1 eine Gasturbine 2) sowie eine der Gasturbine 2 nachgeschaltete Abhitzenutzungssystem 3, ähnlich einem Abhitze-dampferzeuger bei Gas- und Dampfturbinenanlagen. Allerdings sieht die Erfindung keinen WasserDampf-Kreislauf vor. Im Ausführungsbeispiel der Figur 1 ist der Fluidkreislauf 4, der in das Abhitzenutzungssystem 3 geschaltet ist, ein Stickstoffkreislauf. Die Vorrichtung 1 umfasst ferner eine Leitung 5, im vorliegenden Fall eine Erdgasleitung, in die ein erster Wärmeübertrager 6 geschaltet ist, wobei der erste Wärmeübertrager 6 auch in den

Fluidkreislauf 4 geschaltet ist. Im ersten Wärmeübertrager 6 wird Wärme vom Stickstoff auf das verflüssigte Erdgas übertragen, wobei sich das verflüssigte Erdgas erwärmt und verdampft. Damit für einen optimalen Wärmeaustausch die beteiligten Fluide jeweils bis in den überkritischen Druckbereich gebracht werden können, ist in die Erdgasleitung 5 eine Pumpe 7 in Strömungsrichtung des Erdgases vor den ersten Wärmeübertrager 6 und in den Fluidkreislauf 4 ein Verdichter 12 geschaltet.

[0035] Druck und Wärme des Erdgases werden hinter dem ersten Wärmeübertrager 6 in einer Entspannungsturbine 8 sowie in einem zweiten Wärmeübertrager 9, der auch in den Fluidkreislauf 4 (= Stickstoffkreislauf) geschaltet ist, vorteilhaft genutzt. Im Ausführungsbeispiel der Figur 1 ist die Entspannungsturbine 8 mit einem Generator 23 gekoppelt. Die Wärmemenge im regasifizierten und entspannten Erdgas, die oberhalb dessen liegt, was für das Gasnetz 17 sinnvoll ist, wird über den zweiten Wärmetauscher 9 wieder in den Stickstoffkreislauf 4 zurückgeführt.

[0036] Ein Teil des entspannten Erdgases wird im Ausführungsbeispiel der Figur 1 der Gasturbine 2 zugeführt. Zu diesem Zweck zweigt nach der Entspannungsturbine 8 und dem zweiten Wärmeübertrager 9 eine Zweigleitung 10 von der Leitung 5 ab. Die Zweigleitung 10 mündet in die Gasturbine 2. Das Ausführungsbeispiel der Figur 1 zeigt beide Optionen für den Abzweig der Zweigleitung: einmal vor dem zweiten Wärmeübertrager 9 und einmal hinter dem zweiten Wärmeübertrager 9.

[0037] Zur Brennstoffvorwärmung ist ein dritter Wärmeübertrager 11 in die Zweigleitung 10 und in den Fluidkreislauf 4 (= Stickstoffkreislauf) geschaltet. Zweigt die Zweigleitung 10 vor dem zweiten Wärmeübertrager 9 von der Leitung 5 ab, kann auf den dritten Wärmeübertrager 11 zur Brennstoffvorwärmung eher verzichtet werden, als bei einem Abzweig nach dem zweiten Wärmeübertrager 9. Grundsätzlich funktioniert das Konzept in beiden Schaltungsvarianten ohne dritten Wärmeübertrager 11. Vorteilhafter ist aber in beiden Varianten der Einsatz eines solchen dritten Wärmeübertragers 11.

[0038] Im Fluidkreislauf 4 (= Stickstoffkreislauf) ist im Ausführungsbeispiel der Figur 1 zwischen dem ersten 6 und dem zweiten Wärmeübertrager 9 ein Verdichter 12 angeordnet. Ferner folgt auf den zweiten Wärmeübertrager 9 das Abhitzenutzungssystem 3, sowie eine Turbine 13 mit angekoppeltem Generator 14.

[0039] Der dritte Wärmeübertrager 11 für die Brennstoffvorwärmung ist im Fluidkreislauf 4 zwischen Turbine 13 und erstem Wärmeübertrager 6 angeordnet.

[0040] Schließlich ist in Figur 1 angedeutet, dass ein zwangsläufig anfallender Leckagestrom 15 von Erdgas an der Entspannungsturbine 8 einer Zusatzfeuerung 16 im Abhitzenutzungssystem 3 zuführbar ist. Im vorliegenden Fall des Ausführungsbeispiels der Figur 1 mit einem Stickstoffkreislauf als Fluidkreislauf 4 kann die Leckage an der Entspannungsturbine 8 über die Wellendichtung mit Stickstoff abgedichtet werden und beispielsweise als Erdgas-Stickstoffgemisch der Zusatzfeuerung 16 im Ab-

hitzenutzungssystem 3 zugeführt werden.

[0041] Auch die Turbine 13, in der im Ausführungsbeispiel der Figur 1 Stickstoff entspannt wird, weist Leckagen auf. Diese können zumindest zum Teil abgesaugt werden 18 und dann in den Fluidkreislauf 4 rückgeführt werden. Allgemein ist eine Zuspeisung 19 von Stickstoff in den Fluidkreislauf 4 vorgesehen.

[0042] Schließlich zeigt die Figur 1 eine nicht zwingend notwendige aber interessante Nutzung von sogenannter Restwärme für die erfinderische Vorrichtung. Dabei ist vorgesehen, dass ein vierter Wärmeübertrager 20 im Fluidkreislauf 4 zwischen Verdichter 12 und zweitem Wärmeübertrager 9 angeordnet ist. In der Ausführungsform mit Erdgas und Stickstoff hat der Stickstoff nach der Regasifizierung des Erdgases im ersten Wärmetauscher 6 und der Verdichtung im Verdichter 12 eine Temperatur ungefähr zwischen -50 und -60 °C und liegt somit vergleichsweise deutlich unter Umgebungstemperatur, so dass sich eine Erwärmung mittels gratis verfügbarer Umgebungswärme anbietet. Denkbare Wärmequellen sind Umgebungsluft, Meerwasser, aufgewärmtes Kühlwasser. Besonders interessant ist es, wenn mit diesem Wärmetausch noch ein weiterer Vorteil verbunden ist, wie z. B. bei der Gasturbinenansaugluftkühlung.

[0043] Eine weitere Erwärmung des Stickstoffs erfolgt im zweiten Wärmeübertrager 9 im Wärmetausch mit dem regasifizierten Erdgas bevor dann der Stickstoffstrom aufgeteilt wird und typischerweise ein größerer Teil im Abhitzenutzungssystem 3 weiter erwärmt wird und ein kleinerer Teil in einem fünften Wärmeübertrager 21 weiter erwärmt wird, wobei im fünften Wärmeübertrager 21 Wärme innerhalb des Fluidkreislaufs 4 verschoben wird.

[0044] Der fünfte Wärmeübertrager 21 ist nämlich mit beiden Seiten in den Fluidkreislauf 4 geschaltet und zwar zum einen zwischen den dritten Wärmeübertrager 11 und den ersten Wärmeübertrager 6 (Wärme abgebende Seite) und zum anderen parallel zum Abhitzenutzungssystem 3.

[0045] Nach der Erwärmung im Abhitzenutzungssystem 3 bzw. im fünften Wärmeübertrager 21 werden die beiden Anteile des Stickstoffstroms wieder zusammen- und der Turbine 13 zugeführt.

[0046] Die Figuren 2 und 3 zeigen alternative Strangkonzepte. Der Verdichter 12 benötigt einen Antrieb und die Ausführungsform der Vorrichtung 1 der Figur 1 weist zwei Generatoren 14 und 23 auf. Durch Anordnung des Verdichters 12 und eines einzigen Generators 14 auf einer gemeinsamen Achse 22 mit der Turbine 13 können Komponenten eingespart werden.

Patentansprüche

1. Vorrichtung (1) zur Erzeugung elektrischer Energie und zur Verdampfung eines tiefkalt verflüssigten Gases, umfassend eine Wärmekraftmaschine (2) sowie ein der Wärmekraftmaschine (2) nachgeschaltetes Abhitzenutzungssystem (3), das in einen Fluidkreis-

lauf (4) geschaltet ist, wobei die Vorrichtung (1) ferner eine Leitung (5) für das tiefkalt verflüssigte Gas umfasst, in die ein erster Wärmeübertrager (6) geschaltet ist, wobei der erste Wärmeübertrager (6) auch in den Fluidkreislauf (4) geschaltet ist, dadurch gekennzeichnet, dass in die Leitung (5) eine Pumpe (7) in Strömungsrichtung des tiefkalt verflüssigten Gases vor den ersten Wärmeübertrager (6) geschaltet ist und hinter den ersten Wärmeübertrager (6) eine Entspannungsturbine (8) sowie ein zweiter Wärmeübertrager (9) in die Leitung (5) geschaltet sind, wobei der zweite Wärmeübertrager (9) auch in den Fluidkreislauf (4) geschaltet ist.

- 5 2. Vorrichtung (1) nach Anspruch 1, wobei nach der Entspannungsturbine (8) eine Zweigleitung (10) von der Leitung (5) abzweigt und die Zweigleitung (10) in die Wärmekraftmaschine (2) mündet.
- 10 3. Vorrichtung (1) nach Anspruch 2, wobei die Zweigleitung (10) erst nach dem zweiten Wärmeübertrager (9) von der Leitung (5) abzweigt.
- 15 4. Vorrichtung (1) nach einem der Ansprüche 2 oder 3, wobei ein dritter Wärmeübertrager (11) in die Zweigleitung (10) und in den Fluidkreislauf (4) geschaltet ist.
- 20 5. Vorrichtung (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei im Fluidkreislauf (4) zwischen dem ersten (6) und dem zweiten Wärmeübertrager (9) ein Verdichter (12) angeordnet ist.
- 25 6. Vorrichtung (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei im Fluidkreislauf (4) auf den zweiten Wärmeübertrager (9) das Abhitzenutzungssystem (3) folgt.
- 30 7. Vorrichtung (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei im Fluidkreislauf (4) auf das Abhitzenutzungssystem (3) eine Turbine (13) mit angekoppeltem Generator (14) folgt.
- 35 8. Vorrichtung (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei im Fluidkreislauf (4) zwischen Turbine (13) und erstem Wärmeübertrager (6) der dritte Wärmeübertrager (11) angeordnet ist.
- 40 9. Vorrichtung (1) nach den Ansprüchen 4 und 5, wobei ein vierter Wärmeübertrager (20) im Fluidkreislauf (4) zwischen Verdichter (12) und zweitem Wärmeübertrager (9) angeordnet ist und wobei ein fünfter Wärmeübertrager (21) mit beiden Seiten in den Fluidkreislauf (4) geschaltet ist und zwar zum einen zwischen den dritten Wärmeübertrager (11) und den ersten Wärmeübertrager (6) und zum anderen parallel zum Abhitzenutzungssystem (3).
- 45 50 55

10. Vorrichtung (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei ein Leckagestrom (15) an der Entspannungsturbine (8) einer Zusatzfeuerung (16) im Abhitzenutzungssystem (3) zuführbar ist. 5
11. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei das tiefkalt verflüssigte Gas Erdgas ist. 10
12. Vorrichtung (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei der Fluidkreislauf (4) ein Stickstoffkreislauf ist. 15
13. Vorrichtung (1) nach Anspruch 12, wobei der Stickstoffkreislauf ein überkritisch betriebener Fluidkreislauf (4) ist. 15
14. Vorrichtung (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei Verdichter (12), Turbine (13) und Generator (14) auf einer Achse (22) angeordnet sind. 20
15. Verfahren zur Erzeugung elektrischer Energie und zur Verdampfung eines tiefkalt verflüssigten Gases, bei dem ein Fluidstrom im Kreis geführt wird und zumindest zum Teil in einem Wärmetausch mit Abgasen einer Wärmekraftmaschine (2) erwärmt wird sowie ein tiefkalt verflüssigtes Gas in einem ersten Wärmetausch mit dem Fluidstrom erwärmt und verdampft wird, **dadurch gekennzeichnet, dass** das tiefkalt verflüssigte Gas vor dem ersten Wärmetausch mit dem Fluidstrom verdichtet wird und nach dem ersten Wärmetausch mit dem Fluidstrom in einer Entspannungsturbine (8) entspannt wird und in einem zweiten Wärmetausch mit dem Fluidstrom weiter abgekühlt wird. 25
16. Verfahren nach Anspruch 15, wobei das vormals tiefkalt verflüssigte Gas zumindest zum Teil einem Gasnetz (17) und zum Teil der Wärmekraftmaschine (2) zugeführt wird. 30
17. Verfahren nach Anspruch 16, wobei das der Wärmekraftmaschine (2) zugeführte vormals tiefkalt verflüssigte Gas durch den Fluidstrom in einem dritten Wärmetausch für eine Verbrennung vorgewärmt wird. 45
18. Verfahren nach Anspruch 17, wobei der im Wärmetausch mit Abgasen der Wärmekraftmaschine (2) erwärmte Fluidstrom in einer Turbine (13) entspannt wird, bevor er zur Brennstoffvorwärmung im dritten Wärmetausch verwendet wird. 50
19. Verfahren nach einem der Ansprüche 17 oder 18, bei dem das Fluid vor seiner Erwärmung im zweiten Wärmetausch in einem vierten Wärmetausch erwärmt wird und nach der Erwärmung im zweiten Wärmetausch ein erster Teilstrom des Fluids alter- 55
- nativ zum Wärmetausch mit Abgasen der Wärmekraftmaschine (2) in einem fünften Wärmetausch mit in der Turbine (13) entspanntem Fluid weiter erwärmt wird und anschließend mit einem im Wärmetausch mit Abgasen der Wärmekraftmaschine (2) erwärmtem zweiten Teilstrom gemischt wird, bevor ein aus dem ersten und zweiten Teilstrom bestehender Gesamtstrom des Fluids in der Turbine (13) entspannt wird.
20. Verfahren nach einem der Ansprüche 15 bis 19, wobei der Fluidstrom zwischen dem ersten Wärmetausch und dem zweiten Wärmetausch verdichtet wird. 20
21. Verfahren nach einem der Ansprüche 15 bis 20, wobei als Fluidstrom ein Stickstoffstrom verwendet wird. 25
22. Verfahren nach einem der Ansprüche 15 bis 21, wobei als tiefkalt verflüssigtes Gas verflüssigtes Erdgas verwendet wird. 30
23. Verfahren nach einem der Ansprüche 15 bis 22, wobei ein Leckagestrom an der Entspannungsturbine (8) einem der Wärmekraftmaschine (2) nachgeschalteten Abhitzenutzungssystem (3) zugeführt und dort in einer Zusatzfeuerung verbrannt wird. 35

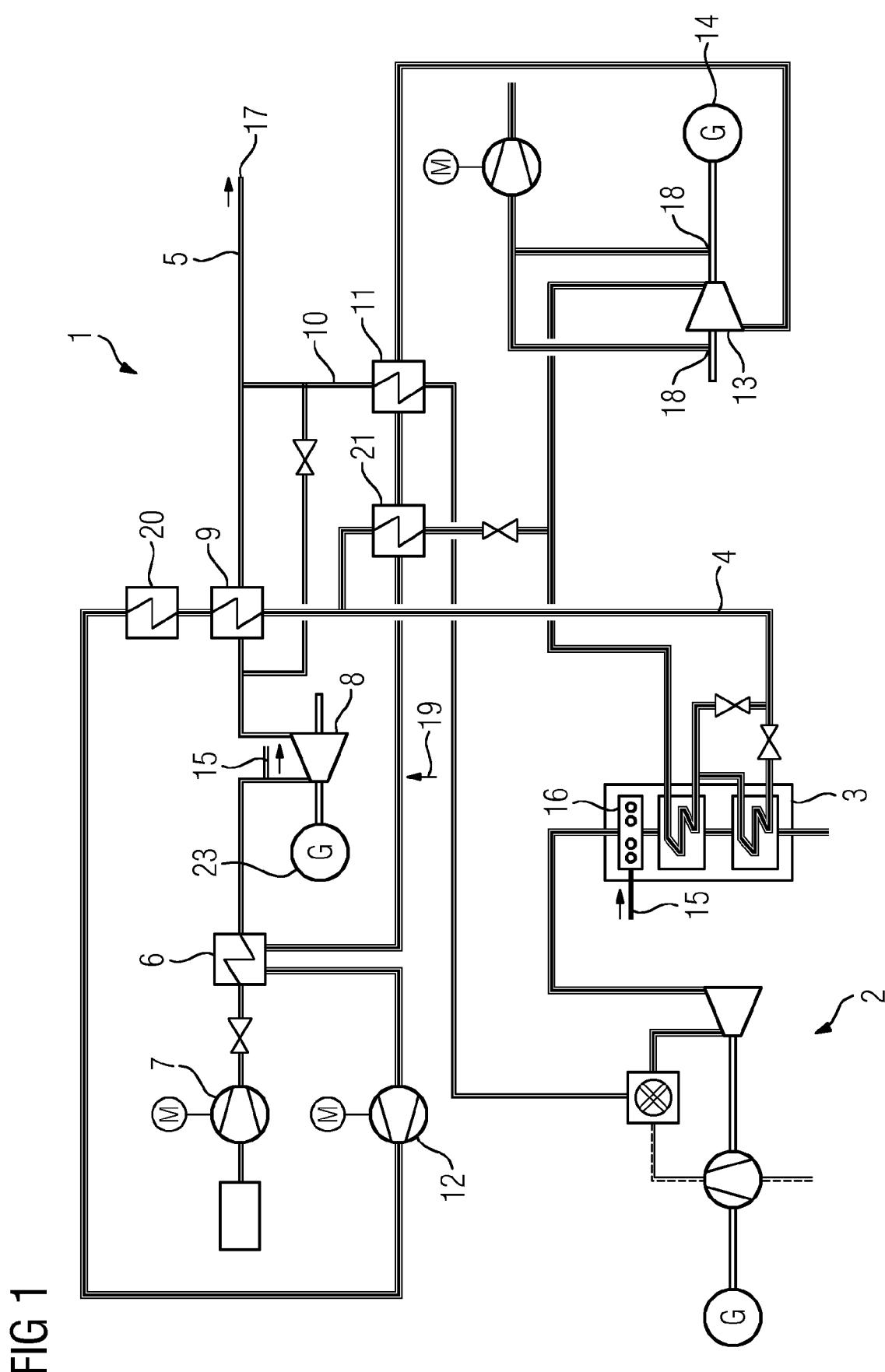


FIG 2

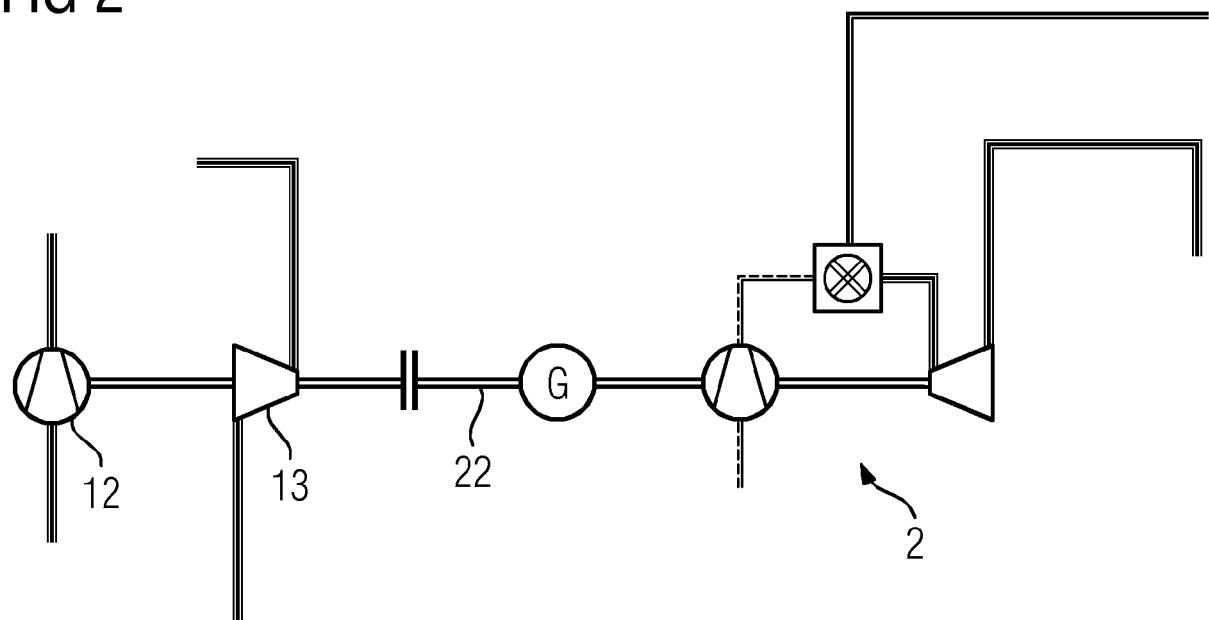
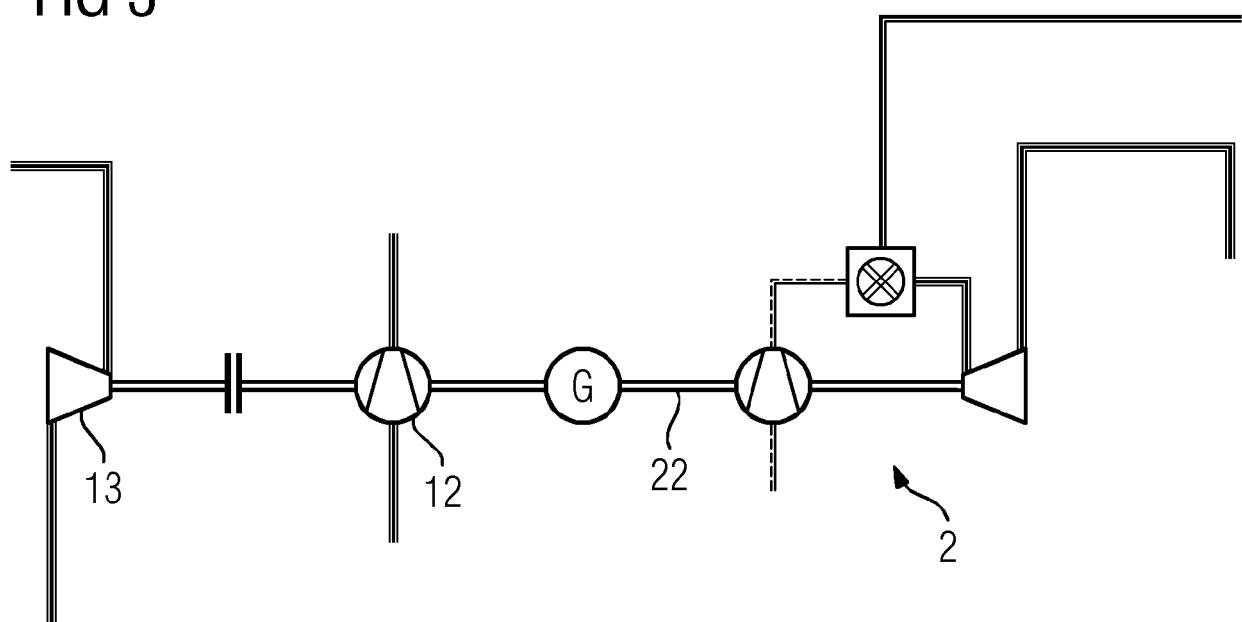


FIG 3





EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung
EP 18 15 3609

5

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrieff Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC)
10 X	US 3 992 891 A (POCRNJA ANTON) 23. November 1976 (1976-11-23) * Zusammenfassung; Abbildung 3 * * Spalte 1, Zeilen 57-66 * * Spalte 3, Zeilen 25-68 * * Spalte 5, Zeile 41 - Spalte 6, Zeile 31 *	1,15	INV. F01K25/10
15 Y	----- EP 2 390 475 A2 (GEN ELECTRIC [US]) 30. November 2011 (2011-11-30) * Zusammenfassung; Abbildungen 1, 3 * * Absätze [0002], [0017], [0019], [0021] - [0031], [0033], [0037] - [0039] *	1-23	
20 Y	----- US 2008/190106 A1 (MAK JOHN [US]) 14. August 2008 (2008-08-14) * Zusammenfassung; Abbildung 3 * * Absätze [0002], [0013], [0021] - [0030], [0033] - [0036], [0039] - [0042] *	1-23	
25	-----		RECHERCHIERTE SACHGEBiete (IPC)
30			F01K
35			
40			
45			
50 1	Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt		
55	Recherchenort München	Abschlußdatum der Recherche 28. Juni 2018	Prüfer Varelas, Dimitrios
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 Anmelde datum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument			

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

EP 18 15 3609

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

28-06-2018

10	Im Recherchenbericht angeführtes Patendokument	Datum der Veröffentlichung		Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
15	US 3992891 A 23-11-1976		DE	2407617 A1	21-08-1975
			ES	434730 A1	16-12-1976
			FR	2261411 A1	12-09-1975
			GB	1468311 A	23-03-1977
			IT	1031624 B	10-05-1979
			JP	S5523094 B2	20-06-1980
			JP	S50142465 A	17-11-1975
			NL	7501647 A	19-08-1975
			US	3992891 A	23-11-1976
25	EP 2390475 A2 30-11-2011		CA	2740259 A1	28-11-2011
			CN	102261272 A	30-11-2011
			EP	2390475 A2	30-11-2011
			IL	212912 A	24-09-2015
			JP	6055589 B2	27-12-2016
			JP	2011246710 A	08-12-2011
			KR	20110131125 A	06-12-2011
			KR	20180035200 A	05-04-2018
			RU	2011121290 A	10-12-2012
			US	2011289941 A1	01-12-2011
35	US 2008190106 A1 14-08-2008		AR	049718 A1	30-08-2006
			AU	2005275156 A1	23-02-2006
			CA	2578243 A1	23-02-2006
			EA	200700241 A1	31-08-2007
			EP	1781902 A1	09-05-2007
			JP	5202945 B2	05-06-2013
			JP	2008506883 A	06-03-2008
			US	2008190106 A1	14-08-2008
			WO	2006019900 A1	23-02-2006
45					
50					
55					