

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro

(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
19. April 2018 (19.04.2018)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2018/068979 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:

B64D 27/24 (2006.01) B64D 37/34 (2006.01)
B64D 33/08 (2006.01) H02K 9/19 (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2017/073071

(22) Internationales Anmeldedatum:
14. September 2017 (14.09.2017)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10 2016 219 680.4
11. Oktober 2016 (11.10.2016) DE

(71) Anmelder: SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT
[DE/DE]; Werner-von-Siemens-Straße 1, 80333 München (DE).

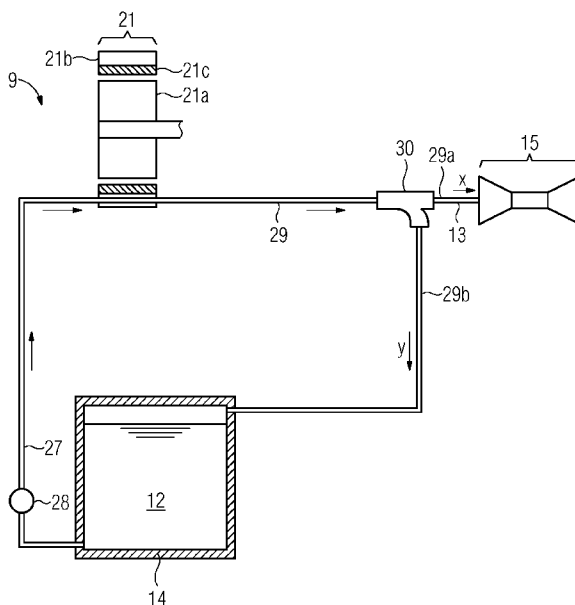
(72) Erfinder: FILIPENKO, Mykhaylo; Ginsterweg 23, 91058 Erlangen (DE). FRANK, Michael; Erlanger Straße 27C, 91080 Uttenreuth (DE). GLEIXNER, Thomas; Im Heuschlag 25, 91054 Erlangen (DE). RICHTER, Johannes; Flugplatzstr. 82, 90768 Fürth (DE). VAN HASSELT, Peter; Tennenloher Str. 40, 91058 Erlangen (DE).

(81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD,

(54) Title: DRIVE SYSTEM FOR A VEHICLE WITH AN INTERNAL COMBUSTION ENGINE AND FUEL TANK

(54) Bezeichnung: ANTRIEBSSYSTEM FÜR EIN FAHRZEUG MIT VERBRENNUNGSKRAFTMASCHINE UND TREIBSTOFFTANK

FIG 3



(57) Abstract: The invention relates to a drive system (9) for a vehicle, in particular an airplane (1), comprising the following components: - an internal combustion engine (15) for converting chemical energy stored in a liquid fuel (12) into mechanical energy, - a fuel tank (14) for supplying fuel (12) to the internal combustion engine (15), and - an electric machine (11, 21) with a rotor (11a, 21a), a stator (11b, 21b), and a cooling system for cooling at least one component (11c, 21c) of the electric machine (11, 21) using a cooling liquid (12). The cooling system is designed to use the fuel (12) of the internal combustion engine (15) as the cooling liquid for the electric machine (11, 21). The invention further relates to a vehicle (1) comprising such a drive system and to a method for cooling an electric machine (11, 21) in such a drive system (9).

(57) Zusammenfassung: Es wird ein Antriebssystem (9) für ein Fahrzeug, insbesondere ein Luftfahrzeug (1), angegeben, welches folgende Komponenten umfasst: - eine Verbrennungskraftmaschine (15) zur Umwandlung von in einem flüssigen Treibstoff (12) gespeicherter chemischer Energie in mechanische Energie, - einen Treibstofftank (14) zur Versorgung der Verbrennungskraftmaschine (15) mit Treibstoff (12) - und eine elektrische Maschine (11, 21) mit einem Rotor (11a, 21a) und einem Stator (11b, 21b) sowie einem Kühlsystem zur Kühlung von wenigstens einem Bestandteil (11c, 21c) der elektrischen Maschine (11, 21) mit Hilfe einer Kühlflüssigkeit (12), wobei das Kühlsystem dazu ausgelegt ist, den Treibstoff (12) der Verbrennungskraftmaschine (15) als Kühlflüssigkeit für die elektrische Maschine (11, 21) zu verwenden. Weiterhin wird ein Fahrzeug (1) mit einem solchen Antriebssystem angegeben sowie ein Verfahren zur Kühlung einer elektrischen Maschine (11, 21) in einem derartigen Antriebssystem (9).

WO 2018/068979 A1

ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO,
NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW,
SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM,
TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

- (84) Bestimmungsstaaten** (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), europäisches (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Veröffentlicht:

- mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz 3)

Beschreibung

Antriebssystem für ein Fahrzeug mit Verbrennungskraftmaschine und Treibstofftank

5

Die vorliegende Erfindung betrifft ein Antriebssystem für ein Fahrzeug, insbesondere ein Luftfahrzeug, umfassend

- eine Verbrennungskraftmaschine zur Umwandlung von in einem flüssigen Treibstoff gespeicherter chemischer Energie in mechanische Energie,
- einen Treibstofftank zur Versorgung der Verbrennungskraftmaschine mit Treibstoff
- und eine elektrische Maschine mit einem Rotor und einem Stator sowie einem Kühlsystem zur Kühlung von wenigstens einem Bestandteil der elektrischen Maschine mit Hilfe einer Kühlflüssigkeit.

Weiterhin betrifft die Erfindung ein Fahrzeug, insbesondere ein Luftfahrzeug, mit einem derartigen Antriebssystem sowie ein Verfahren zur Kühlung einer elektrischen Maschine in einem solchen Antriebssystem.

Bei herkömmlichen elektrischen Maschinen, die für Antriebe von Fahrzeugen ausgelegt sind, wird eine im Betrieb notwendige Kühlung typischerweise durch ein Kühlsystem erreicht, durch das eine Kühlflüssigkeit in die zu kühlenden Bereiche der Maschine gepumpt wird. Insbesondere werden solche Kühlflüssigkeiten oft durch den Stator der Maschine gepumpt. Sie werden dabei in einem geschlossenen Kühlkreislauf zirkuliert und dabei an einem von der Maschine räumlich entfernteren Ort wieder auf eine niedrigere Temperatur zurückgekühlt. Hierzu werden oft Wärmetauscher eingesetzt, um die von der Kühlflüssigkeit im Bereich der Maschine aufgenommene Wärme an ein anderes Medium - beispielsweise die Umgebungsluft - abzuführen.

35

Bei elektrischen Maschinen mit direkter Wicklungskühlung wird das Kühlmittel in direkten Kontakt mit der zu kühlenden Wicklung gebracht, beispielsweise mit der Statorwicklung. Dazu

muss das Kühlmedium elektrisch isolierend sein, so dass Kühlflüssigkeiten auf Wasserbasis hierfür allgemein ausscheiden. Weitere Anforderungen an die Kühlflüssigkeit sind eine niedrige Viskosität bei hoher spezifischer Wärmekapazität, um bei
5 niedrigen Druckverlusten hohe Wärmeübergangskoeffizienten erreichen zu können. Zur Kühlung von Statorwicklungen wird beispielsweise nach dem Stand der Technik die von 3M unter dem Markennamen Novec 7500 angebotene Flüssigkeit verwendet, die aus dem Hydrofluorether $C_7F_{15}OC_2H_5$ besteht. Diese Flüssigkeit
10 ist elektrisch isolierend und weist bei $25^\circ C$ eine spezifische Wärmekapazität von $1,13 \text{ kJ/kg}\cdot K$ und eine kinematische Viskosität von $0,77 \text{ mm}^2/s$ auf. Da sie außerdem nicht brennbar und nicht entflammbar ist, eignet sie sich gut zur Kühlung von
15 Wicklungen in elektrischen Maschinen. Allgemein werden nach dem Stand der Technik solche nicht brennbaren und nicht entflammaren Kühlflüssigkeiten zur Maschinenkühlung verwendet, um ein zusätzliches Gefährdungspotential zu vermeiden.

Nachteilig bei der Verwendung einer solchen herkömmlichen
20 Kühlflüssigkeit ist, dass vor allem bei hohen Maschinenleistungen ein relativ großes Kühlmittelvolumen im Kühlkreislauf benötigt wird, um eine effektive Kühlung der Maschine zu erreichen. Hierdurch entsteht ein Beitrag zum Gesamtgewicht der Maschine, der sich negativ auf die Leistungsdichte der Maschine auswirkt. Außerdem muss dieses Kühlmittelvolumen thermisch gut an ein weiteres Medium - beispielsweise die Umgebungsluft - angekoppelt sein, um das Kühlmittel dauerhaft in
25 einem für die Kühlung der Maschine zweckmäßigen Temperaturbereich zu halten. Hierzu werden oft zusätzliche Wärmetauscherstrukturen benötigt, die ebenfalls zum Gesamtgewicht der Maschine beitragen.
30

Aufgabe der Erfindung ist es daher, ein Antriebssystem für ein Fahrzeug - insbesondere ein Luftfahrzeug - anzugeben,
35 welches die genannten Nachteile überwindet. Insbesondere soll ein Antriebssystem mit einer elektrischen Maschine zur Verfügung gestellt werden, bei welchem ein Kühlsystem zur Kühlung der elektrischen Maschine einen geringen Beitrag zum Gesamt-

gewicht der Maschine aufweist. Eine weitere Aufgabe ist es, ein Fahrzeug mit einem derartigen Antriebssystem und ein Verfahren zur Kühlung einer elektrischen Maschine in einem solchen Antriebssystem anzugeben.

5

Diese Aufgaben werden durch das in Anspruch 1 beschriebene Antriebssystem, das in Anspruch 11 beschriebene Fahrzeug und das in Anspruch 12 beschriebene Verfahren gelöst.

10 Das erfindungsgemäße Antriebssystem ist als Antriebssystem für ein Fahrzeug ausgestaltet. Es weist eine Verbrennungskraftmaschine zur Umwandlung von in einem flüssigen Treibstoff gespeicherter chemischer Energie in mechanische Energie auf. Ferner weist es einen Treibstofftank zur Versorgung der
15 Verbrennungskraftmaschine mit Treibstoff auf. Außerdem umfasst es eine elektrische Maschine mit einem Rotor und einem Stator sowie einem Kühlsystem zur Kühlung von wenigstens einem Bestandteil der elektrischen Maschine mit Hilfe einer Kühlflüssigkeit. Dabei ist das Kühlsystem dazu ausgelegt, den
20 Treibstoff der Verbrennungskraftmaschine als Kühlflüssigkeit für die elektrische Maschine zu verwenden.

Mit anderen Worten sind bei dem Antriebssystem der flüssige Treibstoff für die Verbrennungskraftmaschine und die Kühlflüssigkeit der elektrischen Maschine identisch. Bei der
25 elektrischen Maschine kann es sich dabei um einen Motor oder einen Generator handeln, oder auch um eine Maschine, die für beide Betriebsarten ausgelegt ist. Das Antriebssystem kann insbesondere sowohl einen Generator als auch einen Motor umfassen, wovon zumindest eine Maschine mit dem Treibstoff als Kühlflüssigkeit gekühlt wird. Das Antriebssystem beruht dann insgesamt darauf, dass zunächst in der Verbrennungskraftmaschine aus der Energie des Treibstoffs mechanische Energie erzeugt wird. Diese kann im Generator in elektrische Energie
30 umgewandelt werden, die dann anschließend vom Motor zum Antrieb des Fahrzeugs verwendet wird. Auf diese Weise steht insbesondere ein voll-elektrischer Antrieb zur Verfügung,

dessen elektrische Energie an Bord aus dem Treibstoff gewonnen wird.

Durch die erfindungsgemäßen Merkmale wird erreicht, dass die elektrische Maschine effektiv gekühlt wird, ohne dass dabei ein zusätzlicher Gewichtsbeitrag durch eine zusätzliche Kühlflüssigkeit zustande kommt. Stattdessen wird der ohnehin zur Energiegewinnung benötigte Treibstoff als Kühlflüssigkeit benutzt. Es handelt sich also um einen Synergieeffekt, bei dem dieselbe Flüssigkeit zwei getrennte Funktionen erfüllen kann, wodurch insgesamt die Leistungsdichte des Antriebssystems im Vergleich zum Stand der Technik gesteigert werden kann. Besonders bevorzugt kommt neben dem flüssigen Treibstoff gar kein weiteres flüssiges Kühlmittel zur Kühlung von wenigstens einer der an Bord befindlichen elektrischen Maschinen zum Einsatz. Es können ganz besonders vorteilhaft sowohl der Generator als auch der Motor mit Treibstoff als Kühlflüssigkeit gekühlt werden. Insbesondere können alle solchen für den Antrieb genutzten Generatoren und Motoren auf diese Weise gekühlt werden. Wesentlich für die Erfindung ist aber nur, dass zumindest eine der an Bord befindlichen Maschinen zumindest zum Teil mit dem Treibstoff gekühlt wird.

Die für den Antrieb von Luftfahrzeugen eingesetzten Treibstoffe haben den Vorteil, dass sie elektrisch isolierend sind und eine hohe spezifische Wärmekapazität aufweisen. Damit sind sie ähnlich wie beispielsweise das vorab beschriebene Novec 7500 zur Kühlung elektrischer Maschinen, insbesondere zur direkten Wicklungskühlung geeignet. Weiterhin weisen sie eine hinreichend niedrige Viskosität und einen bei der Betriebstemperatur ausreichend niedrigen Dampfdruck sowie eine ausreichend hohe Wärmeleitfähigkeit auf. Im Gegensatz zu herkömmlichen Kühlflüssigkeiten für elektrische Maschinen ist der Treibstoff prinzipiell sowohl brennbar als auch entflammbar. Daher würde er aufgrund von typischen Spezifikationen nicht als Kühlflüssigkeit für solche Maschinen eingesetzt. Da an Bord des Luftfahrzeugs aber bereits ohnehin ein beträchtliches Volumen an Treibstoff vorhanden ist, wird durch dessen

Verwendung als Kühlflüssigkeit keine zusätzliche Gefahren-
quelle geschaffen. Es muss lediglich durch konstruktive Maß-
nahmen verhindert werden, dass im Bereich der zu kühlenden
elektrischen Maschine eine erhöhte Gefahr der Flammenbildung
5 auftritt. Die Betriebstemperatur der Kühlflüssigkeit in der
elektrischen Maschine kann dabei insbesondere im Bereich zwi-
schen -45°C und 120°C liegen.

Der Treibstoff und damit die Kühlflüssigkeit kann dabei
10 grundsätzlich entweder als Teil des Antriebssystems verstan-
den werden, oder aber das Antriebssystem ist nur dazu ausge-
legt, mit einem solchen Treibstoff verwendet zu werden.

Das erfindungsgemäße Fahrzeug, das insbesondere als Luftfahr-
15 zeug ausgebildet ist, ist mit einem erfindungsgemäßen An-
triebssystem ausgestattet. Das erfindungsgemäße Verfahren
dient zur Kühlung einer elektrischen Maschine in einem erfin-
dungsgemäßen Antriebssystem. Es weist wenigstens den folgen-
den Schritt auf:

20 - Einspeisen von Treibstoff aus dem Treibstofftank in das
Kühlsystem und Verwendung des Treibstoffs als Kühlflüssig-
keit zum Kühlen von wenigstens einem Bestandteil der elek-
trischen Maschine. Die Vorteile des erfindungsgemäßen Fahr-
zeugs und des erfindungsgemäßen Verfahrens ergeben sich da-
25 bei analog zu den beschriebenen Vorteilen des erfindungsge-
mäßen Antriebssystems.

Vorteilhafte Ausgestaltungen und Weiterbildungen der Erfin-
dung gehen aus den von den Ansprüchen 1 und 12 abhängigen An-
30 sprüchen sowie der folgenden Beschreibung hervor. Dabei kön-
nen die beschriebenen Ausgestaltungen des Antriebssystems,
des Fahrzeugs und des Verfahrens zur Kühlung allgemein vor-
teilhaft miteinander kombiniert werden.

35 Besonders vorteilhaft kann der Treibstoff Kerosin sein. Unter
Kerosin wird im vorliegenden Zusammenhang ein Flugturbinen-
kraftstoff verstanden, beispielsweise ein Treibstoff der Sor-
te Jet A, Jet A-1, Jet B, TS-1 oder JP-1 bis JP-8 oder ein

ähnlicher für diesen Einsatzzweck spezifizierter leichter Treibstoff. Kerosin weist vorteilhaft eine vergleichsweise hohe spezifische Wärmekapazität und Wärmeleitfähigkeit und eine niedrige Viskosität auf.

5

So kann die spezifische Wärmekapazität des Treibstoffs bei 25°C allgemein vorteilhaft bei wenigstens 1,5 kJ/kg·K, insbesondere wenigstens 1,7 kJ/kg·K oder sogar wenigstens 2,0 kJ/kg·K liegen. Die kinematische Viskosität des Treibstoffs kann allgemein vorteilhaft bei 25°C im Bereich von höchstens 3 mm²/s, insbesondere höchstens 2 mm²/s liegen. Die thermische Leitfähigkeit des Treibstoffs kann vorteilhaft bei wenigstens 0,1 W/m·K, insbesondere zwischen 0,1 und 0,15 W/m·K liegen. Diese Wertebereiche werden von Kerosin vorteilhaft eingehalten.

Die elektrische Maschine weist bevorzugt eine Leistungsdichte von wenigstens 5 kW/kg auf. Besonders bevorzugt liegt die Leistungsdichte bei wenigstens 10 kW/kg oder sogar bei wenigstens 20 kW/kg. Alternativ oder zusätzlich zu der angegebenen Leistungsdichte kann sie bevorzugt eine Nennleistung von wenigstens 5 MW, insbesondere wenigstens 10 MW oder sogar wenigstens 20 MW aufweisen. Die genannten vorteilhaften Bereiche gelten unabhängig davon, ob es sich bei der entsprechend der Erfindung gekühlten elektrischen Maschine um einen Generator oder um einen Motor des Antriebssystems handelt. Die genannten Bereiche der Nennleistung und der Leistungsdichte entsprechen den typischen Anforderungen für ein kommerzielles elektrisch angetriebenes Luftfahrzeug.

30

Das Volumen des Treibstofftanks für ein solches elektrisch angetriebenes Fahrzeug kann vorteilhaft bei wenigstens 1 m³, insbesondere bei wenigstens 5 m³ oder sogar bei wenigstens 20 m³ liegen. Derartig große Volumina sind nötig für den Antrieb eines kleinen bis mittelgroßen Luftfahrzeugs. Die Vorteile der Erfindung kommen bei einem derart großen Treibstoffvolumen besonders zum Tragen, da dann viel flüssiger

35

Treibstoff zur Verfügung steht, der gleichzeitig als Kühlflüssigkeit für die elektrische Maschine genutzt werden kann.

Die Verbrennungskraftmaschine kann bevorzugt eine Gasexpansionsturbine und eine Turbinenwelle aufweisen, wobei die Gasexpansionsturbine ausgestaltet ist, die gebildete mechanische Energie auf die Turbinenwelle zu übertragen. Diese Turbinenwelle kann zweckmäßig mit einer Rotorwelle des Generators drehmomentübertragend gekoppelt sein, um die mechanische Energie auf den Rotor des Generators zu übertragen. So kann insgesamt die chemische Energie des Treibstoffs über den Zwischenschritt der Bildung von mechanischer Energie im Generator in elektrische Energie umgewandelt werden.

Alternativ zu der genannten Ausführungsform mit Gasexpansionsturbine kann die Verbrennungskraftmaschine prinzipiell auch anders ausgestaltet sein. Wesentlich ist nur, dass sie zur Umwandlung von im Treibstoff gespeicherter chemische Energie in mechanische Energie geeignet ist. So kann es sich beispielsweise auch um einen Kolbenmotor handeln.

Die gemäß der Erfindung mit dem Treibstoff kühlbare elektrische Maschine kann insbesondere als Generator ausgestaltet sein. Dieser Generator kann dazu ausgelegt sein, die von der Verbrennungskraftmaschine erzeugte mechanische Energie in elektrische Energie für den Antrieb des Fahrzeugs umzuwandeln. Die Kühlung des Generators mit dem Treibstoff als Kühlflüssigkeit ist besonders vorteilhaft, da die Verbrennungskraftmaschine und der Treibstofftank zweckmäßig in räumlicher Nähe zum Generator angeordnet sind, da die mechanische Energie ohnehin über Wellen von der Verbrennungskraftmaschine zum Generator übertragen werden muss. Durch diese räumliche Nähe steht auch der Treibstoff als Kühlmittel in der Nähe des Generators zur Verfügung. Da für die Erzeugung der für den Antrieb benötigten elektrischen Energie ein oder mehrere leistungsstarke Generatoren benötigt werden, liegt hier in jedem Fall ein Bedarf für ein leistungsfähiges Kühlsystem vor.

Zweckmäßig weist das Antriebssystem bei dieser Ausgestaltung zusätzlich einen Motor zum elektrischen Antrieb des Fahrzeugs mit der vom Generator erzeugten elektrischen Energie auf.

Dieser Motor kann optional ebenfalls mit dem Treibstoff als
5 Kühlmittel gekühlt werden. Alternativ kann er prinzipiell aber auch auf andere Weise gekühlt werden, beispielsweise mit einem unterschiedlichen flüssigen und/oder gasförmigen Kühlmittel.

10 Die gemäß der Erfindung mit dem Treibstoff kühlbare elektrische Maschine kann alternativ auch als Motor ausgestaltet sein. Dieser Motor kann insbesondere dazu ausgebildet sein, um das Fahrzeug - insbesondere das Luftfahrzeug - elektrisch anzutreiben. Zweckmäßig weist das Antriebssystem dann zusätz-
15 lich einen Generator auf, um die von der Verbrennungskraftmaschine erzeugte mechanische Energie in elektrische Energie für den Antrieb des Fahrzeugs umzuwandeln. Dieser Generator kann optional ebenfalls mit dem Treibstoff als Kühlmittel gekühlt werden. Alternativ kann er prinzipiell aber auch auf
20 andere Weise gekühlt werden, beispielsweise mit einem unterschiedlichen flüssigen und/oder gasförmigen Kühlmittel.

Der zu kühlende Bestandteil der elektrischen Maschine kann bevorzugt eine Statorwicklung im Stator der Maschine sein. Im
25 Bereich der Statorwicklung einer Maschine wird typischerweise besonders viel Wärme freigesetzt, die beim Betrieb der Maschine effektiv gekühlt werden muss, um eine Überhitzung der Wicklung zu vermeiden. Eine effektive Stator Kühlung ist insbesondere bei Maschinen mit hoher Leistung und hoher Leistungsdichte eine schwierige Herausforderung.
30

Bevorzugt weist die elektrische Maschine wenigstens eine Spulenwicklung auf, welche so ausgestaltet ist, dass die mit der Kühlflüssigkeit direkt kühlbar ist. Diese Spulenwicklung kann
35 dann insbesondere eine Statorwicklung sein. Unter einer direkt kühlbaren Spulenwicklung soll eine solche Wicklung verstanden werden, die mit der Kühlflüssigkeit in direkten Kontakt treten kann. Die Spulenwicklung kann also von Kühlmittel

angeströmt oder umströmt werden. Entweder kann der elektrische Leiter der Wicklung selbst oder aber eine den Leiter umgebende Isolations-, Imprägnierungs- und/oder Schutzschicht so in direktem Kontakt mit dem Kühlmittel stehen, dass die
5 Spulenwicklung die im Betrieb entstehende Wärme an das Kühlmittel abführen kann. Wesentlich ist, dass die thermische Kopplung des Kühlmittels an die Spulenwicklung nicht durch zusätzliche wärmeleitende Kühlstrukturen über eine räumliche Entfernung hinweg erreicht wird, sondern dass das Kühlmittel
10 in direktem Kontakt mit einem Bestandteil der Spulenwicklung steht. Bei einer solchen direkt kühlbaren Wicklung entfällt der Gewichtsbeitrag von zusätzlichen wärmeübertragenden Komponenten. Es ist aber prinzipiell auch möglich, den Treibstoff über solch eine zusätzliche thermisch leitfähige Komponente an die Wicklung anzukoppeln. Dies kann insbesondere
15 dann vorteilhaft sein, wenn die elektrische Durchschlagfestigkeit des Treibstoffs nicht hoch genug ist oder er bei der Betriebstemperatur zu leicht entflammbar ist, um in direktem Kontakt mit der Wicklung gebracht zu werden.

20

Alternativ zu der beschriebenen Spulenwicklung kann es sich bei dem zu kühlenden Bestandteil der elektrischen Maschine aber auch ein oder mehrere andere Bestandteile handeln, die sich beim Betrieb aufheizen. Beispielsweise kann es sich auch
25 um Strukturbauteile wie zum Beispiel das Gehäuse der Maschine handeln.

Das Kühlsystem der elektrischen Maschine kann zweckmäßig eine Kühlmittel-Zuflussleitung umfassen, welche dazu ausgelegt
30 ist, Treibstoff vom Treibstofftank zu einem kühlenden Bereich der elektrischen Maschine zu leiten. Mit solch einer Zuflussleitung kann der als Kühlmittel zu verwendende Treibstoff auf einfache Weise aus dem Tank in den Bereich der elektrischen Maschine gelangen. Der Treibstoff wird dabei durch die Zuflussleitung geführt, und es wird so vorteilhaft vermieden,
35 dass entzündlicher Treibstoff in andere Bereiche der Maschine gelangt, in denen unter Umständen eine erhöhte Gefahr der Flammenbildung auftreten kann. Über die Zuflussleitung kann

der Treibstoff aus dem vergleichsweise großen Reservoir des Treibstofftanks zur Verfügung gestellt werden, in dem er bei vergleichsweise niedriger Temperatur vorliegt. Beispielsweise kann beim Betrieb des Fahrzeugs die Temperatur des Treibstofftanks im Bereich zwischen ca. $-45\text{ }^{\circ}\text{C}$ und ca. $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ liegen, also deutlich unter der Betriebstemperatur des zu kühlenden Bereichs der elektrischen Maschine, welche beispielsweise im Bereich zwischen $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ und $170\text{ }^{\circ}\text{C}$ liegen kann. Das Kühlsystem kann optional eine Pumpe aufweisen, um den Treibstoff durch die Zuflussleitung in den zu kühlenden Bereich der elektrischen Maschine zu transportieren.

Das Kühlsystem kann auch eine erste Kühlmittel-Abflussleitung umfassen, welche dazu ausgelegt ist, den durch die elektrische Maschine erwärmten Treibstoff wenigstens teilweise zur Verbrennungskraftmaschine zu leiten. Durch die Verwendung als Kühlflüssigkeit für die elektrische Maschine kann der Treibstoff im Betrieb auf eine Temperatur im Bereich zwischen $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ und $120\text{ }^{\circ}\text{C}$, insbesondere zwischen $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ und $120\text{ }^{\circ}\text{C}$ erwärmt werden. Der Treibstoff mit einer solchen Austrittstemperatur kann entweder unverdünnt oder im Gemisch mit zusätzlich direkt aus dem Treibstofftank zur Verfügung gestelltem weiterem Treibstoff in der Verbrennungskraftmaschine umgesetzt werden. Eine derartige Vorwärmung des Treibstoffs kann sogar für die Verbrennung in der Kraftmaschine vorteilhaft sein, denn gerade bei Treibstofftanks in Luftfahrzeugen kann durch die sehr kalte Umgebungsluft die Temperatur für eine optimale Verbrennung oft zu niedrig sein. Wenn die Austrittstemperatur des Treibstoffs nach der Kühlung der elektrischen für eine optimale Verbrennung zu hoch ist, kann kälterer Treibstoff aus dem Tank beigemischt werden. Hierzu kann eine weitere, direkte Treibstoffzuleitung zwischen Treibstofftank und Verbrennungskraftmaschine vorgesehen sein. Das Mischungsverhältnis zwischen als Kühlmittel verwendetem Treibstoff und direkt aus dem Tank eingespeisten Treibstoff kann dabei gegebenenfalls durch eine optional vorhandene Regeleinheit geregelt werden. Eine solche Regelung kann dazu verwendet werden, eine vorgegebene und gegebenenfalls zeitlich variierende Treibstoffmen-

ge in einem vorgegebenen und gegebenenfalls zeitlich variierenden Temperaturbereich zur Verfügung zu stellen.

Alternativ oder zusätzlich kann das Kühlsystem eine zweite
5 Kühlmittel-Abflussleitung umfassen, welche dazu ausgelegt
ist, den durch die elektrische Maschine erwärmten Treibstoff
wenigstens teilweise zurück in den Treibstofftank zu leiten.
Eine solche zweite Kühlmittel-Abflussleitung kann vor allem
dann vorteilhaft sein, wenn für die Kühlung der elektrischen
10 Maschine ein größerer Flüssigkeitsstrom benötigt wird als für
die Umsetzung von Treibstoff in der Verbrennungskraftma-
chine. Dann ist vor allem die Kombination von erster und zweiter
Kühlmittel-Abflussleitung zweckmäßig, um nur einen bestimmten
Anteil von erwärmtem Treibstoff in die Verbrennungskraftma-
15 schine zu leiten und den übrigen Teil zurück in den Treib-
stofftank zu leiten. Der so zurückgeleitete übrige Teil des
vorgewärmten Treibstoffs kann während seiner erneuten Ver-
weildauer im Treibstofftank wieder zurückgekühlt werden. Ins-
besondere kann ein Wärmeaustausch mit der Umgebung (vor allem
20 mit der vergleichsweise kühlen Umgebungsluft beim Betrieb
eines Luftfahrzeugs in größeren Höhen) eine zu starke Erwär-
mung des gesamten Treibstoffvorrates verhindern. Auch hier
kann zweckmäßig eine Regelungseinheit vorgesehen sein, um den
Anteil des in die Verbrennungskraftmaschine einzuspeisenden
25 erwärmten Treibstoffs und den Anteil des in den Tank zurück-
gepumpten Treibstoffs dynamisch einstellen zu können.

Bei dem mit dem Antriebssystem versehenen Fahrzeug kann es
sich insbesondere um ein Luftfahrzeug handeln. Der Treib-
30 stofftank des Antriebssystems kann in diesem Fall bevorzugt
im Bereich einer oder mehrere Tragflächen angeordnet sein.
Bei einer Verteilung auf mehrere Tragflächen kann dabei der
Treibstofftank in mehrere Teiltanks aufgeteilt sein. Die An-
ordnung im Bereich der Tragflächen ist im Zusammenhang mit
35 der vorliegenden Erfindung allgemein vorteilhaft, um eine ef-
fiziente Kühlung des Treibstoffs durch die kalte Umgebungs-
luft zu erreichen. So kann der Treibstoff im Treibstofftank
insgesamt auf einem niedrigen Temperaturniveau gehalten wer-

den, was für die Verwendung als Kühlflüssigkeit allgemein günstig ist. Vor allem dann, wenn ein Teil des vorgewärmten Treibstoffs wieder in den Trank zurückgeleitet wird, ist eine solche Kühlung besonders nützlich, um eine langfristige übermäßige Erwärmung des Treibstoffvorrats zu vermeiden. Wenn der Treibstofftank im Bereich der Tragflächen angeordnet ist, wirken die Tragflächen und/oder die Wand des Tanks selbst als Wärmetauscher zur Abgabe von Wärme an die Umgebungsluft. Der Treibstofftank und oder die Tragfläche(n) können optional zusätzlich noch ein oder mehrere weitere Wärmetauschstrukturen aufweisen, beispielsweise Kühlrippen zur verbesserten Abgabe von Wärme an die Umgebungsluft.

Bei dem Verfahren zur Kühlung der elektrischen Maschine kann im Anschluss an die Verwendung des Treibstoffs als Kühlflüssigkeit wenigstens ein Teil des so durch die Maschine erwärmten Treibstoffs in die Verbrennungskraftmaschine eingespeist werden.

Bei dieser Ausführungsvariante des Verfahrens kann insbesondere nur ein Teil des Treibstoffs in die Verbrennungskraftmaschine eingespeist werden, wobei der übrige Teil zurück in den Treibstofftank geleitet wird. Bei dieser Ausführungsvariante kann optional der in die Verbrennungskraftmaschine geleitete Anteil des durch die elektrische Maschine erwärmten Treibstoffs durch eine Regelvorrichtung geregelt werden. Die Vorteile dieser vorteilhaften Ausführungsformen des Verfahrens ergeben sich analog zu den entsprechenden oben beschriebenen Ausführungsformen des Antriebssystems.

Nachfolgend wird die Erfindung anhand einiger bevorzugter Ausführungsbeispiele unter Bezugnahme auf die angehängten Zeichnungen beschrieben, in denen:

Figur 1 eine schematische Darstellung eines Luftfahrzeugs nach einem ersten Ausführungsbeispiel der Erfindung zeigt,

Figur 2 eine schematische Darstellung des hauptsächlich
Energieflusses in einem Antriebssystem nach einem
zweiten Ausführungsbeispiel der Erfindung zeigt,
Figur 3 eine schematische Darstellung des Treibstoffflusses
in einem Antriebssystem nach einem dritten Ausführungsbeispiel der Erfindung zeigt und
Figur 4 eine schematische Darstellung des Treibstoffflusses
in einem Antriebssystem nach einem vierten Beispiel
der Erfindung zeigt.

10

Figur 1 zeigt eine Darstellung eines Luftfahrzeugs 1 nach
einem ersten Beispiel der Erfindung in schematischer Auf-
sicht. Das Luftfahrzeug 1 weist einen Rumpf 3 und zwei Trag-
flächen 5 mit jeweils an den Tragflächen 5 angeordneten Gon-
deln 7 auf. Innerhalb der beiden Gondeln 7 sind zwei hier
nicht näher dargestellte Elektromotoren 11 angeordnet, die
zusammen den Antrieb des Luftfahrzeugs bewirken. Prinzipiell
ist aber auch der Antrieb mit nur einem Elektromotor möglich,
der auch an anderer Stelle am Luftfahrzeug angeordnet sein
kann. Ebenso können auch mehr als zwei derartige Gondeln den
Antrieb bewirken.

20

Der elektrische Strom für die Elektromotoren 11 wird mittels
eines Generators 21 erzeugt, wobei die mechanische Energie
für den Generator 21 durch eine Verbrennungskraftmaschine 15
geliefert wird. Verbrennungskraftmaschine 15 und Generator 21
sind beide in diesem Beispiel im Rumpf 3 des Luftfahrzeugs 1
angeordnet. Der für den Betrieb der Verbrennungskraftmaschine
15 benötigte Treibstoff wird dabei aus zwei Treibstofftanks 14
zugeführt, die innerhalb der beiden Tragflächen 5 des Luft-
fahrzeugs 1 angeordnet sind. Es sind jedoch auch andere Orte
für die Treibstofftanks denkbar, und es wird prinzipiell auch
nur ein Treibstofftank gebraucht. Wie durch zwei Verbindungs-
linien schematisch angedeutet ist und weiter unten noch aus-
führlicher erläutert wird, wird der Treibstoff über den Umweg
des Generators 21 in die Verbrennungskraftmaschine 15 einge-
speist. Der Generator 21 ist mit hier ebenfalls nicht darge-
stellten elektrischen Versorgungsleitungen mit den beiden Mo-

35

toren 11 verbunden. Es ist auch möglich, dass mehrere derartige Verbrennungskraftmaschinen und/oder Generatoren an Bord vorhanden sind. Es handelt sich bei dem gezeigten Luftfahrzeug 1 also insgesamt um ein hybridelektrisch angetriebenes Luftfahrzeug, bei dem der Antrieb vollständig durch Elektromotoren 11 realisiert wird und bei dem der hierfür benötigte elektrische Strom an Bord des Luftfahrzeugs 1 aus einem Treibstoff erzeugt wird.

10 In Figur 2 ist eine schematische Darstellung des Energieflusses in einem Antriebssystem 9 für ein elektrisch angetriebenes Luftfahrzeug gezeigt. Dieses Luftfahrzeug kann beispielsweise ähnlich wie in Figur 1 gezeigt aufgebaut sein. Es kann aber auch prinzipiell eine davon Abweichende Anzahl und/oder
15 Anordnung von Motor(en), Generator(en) und Treibstofftank(s) aufweisen. Die Flussrichtung der Energie führt im Schema der Figur 2 von links nach rechts, wie durch Pfeile angedeutet. Grundlegender Energieträger ist der flüssige Treibstoff 12, der in wenigstens einem Treibstofftank 14 zur Verfügung gestellt wird. Dabei kann der gezeigte Treibstofftank 14 auch stellvertretend für mehrere solche Treibstofftanks stehen. Ähnliches gilt für die übrigen gezeigten Komponenten. Der Treibstoff 12 wird mittels einer Treibstoffzuleitung 13 vom Treibstofftank zu der Verbrennungskraftmaschine 15 geleitet.
25 Wie weiter unten noch ausführlicher erläutert, geschieht diese Einspeisung gemäß der vorliegenden Erfindung nicht direkt, sondern zumindest teilweise über einen zu kühlenden Teil von wenigstens einer der an Bord vorhandenen elektrischen Maschinen 11 oder 21. Dies ist im Energieflussschema der Figur 2 der
30 Übersichtlichkeit halber nicht dargestellt. Wesentlich für das Schema der Figur 2 ist nur, dass der Treibstoff 12 zu irgendeinem Zeitpunkt in die Verbrennungskraftmaschine 15 eingespeist wird, und dass dort die chemische Energie dieses Treibstoffs in mechanische Energie umgewandelt wird, und zwar
35 in Form einer mechanischen Drehung der Turbinenwelle 18 der Verbrennungskraftmaschine, wie dies durch den gedrehten Pfeil im rechten Teil der Verbrennungskraftmaschine angedeutet ist.

Die Verbrennungskraftmaschine 15 weist einen Verdichter 19, eine Verbrennungskammer 17 und eine Gasexpansionsturbine 16 auf. Durch den Verdichter 19 wird Luft in die Verbrennungskraftmaschine 15 angesaugt und komprimiert und danach in der
5 Verbrennungskammer 17 zusammen mit dem eingesetzten und der Luft zugemischten Treibstoff verbrannt. Das entstehende heiße Gas wird in der Gasexpansionsturbine 16 expandiert und treibt hier über die nur schematisch angedeuteten Turbinenschaufeln die Turbinenwelle 18 an. Diese ist zur Übertragung von mecha-
10 nischer Energie an die Rotorwelle 21a des weiter rechts dargestellten Generators 21 gekoppelt. Der Generator 21 umfasst einen Rotor 21a und einen Stator 21b, wobei der Rotor 21a im gezeigten Beispiel innerhalb des Stators 21b mittels der Rotorwelle 20 drehbar gelagert ist. Um einen besonders leichten
15 Generator 21 für den Einsatz im Luftfahrzeug 1 zu erhalten können Rotor 21a und/oder Stator 21b vorteilhaft mit einer oder mehreren supraleitenden Wicklungen versehen sein. Es können aber auch normalleitende Wicklungen zum Einsatz kommen. Wesentlich für die Funktion ist nur, dass der Generator
20 zur Umwandlung von über die Rotorwelle 20 eingespeister mechanischer Energie in elektrische Energie geeignet ist. Die elektrische Energie kann dann über wenigstens eine elektrische Versorgungsleitung 23 vom Generator 21 zu dem wenigstens einen Motor 11 des Luftfahrzeugs 1 geleitet werden. Diese
25 elektrische Motor 11 weist wiederum einen Stator 11b und einen Rotor 11a auf einer Rotorwelle 25 auf, wobei der Schub des Luftfahrzeugs 1 aus der Drehung des Rotors erzeugt wird. Der zusätzliche Energiefluss, der im Antriebssystem durch die zusätzliche Verwendung 12 des Treibstoffs als Kühlmittel zu-
30 stande kommt, ist in Figur 2 nicht berücksichtigt. Zwei verschiedene Möglichkeiten der Treibstoffflüsse durch das Antriebssystem werden im Zusammenhang mit den folgenden beiden Beispielen erläutert.

35 In Figur 3 ist der Fluss des Treibstoffs 12 durch die verschiedenen Komponenten eines Antriebssystems 9 nach einem Beispiel der Erfindung schematisch etwas detaillierter dargestellt. Dieses Antriebssystem 9 kann im insbesondere Hinblick

auf den grundlegenden Energiefluss so ausgestaltet sein, wie dies im Zusammenhang mit der Figur 2 erläutert wurde. Es umfasst auch in diesem Beispiel einen Treibstofftank 14, einen Generator 21 und eine Verbrennungskraftmaschine 15. Der

5 Treibstoff 12 wird aus dem Treibstofftank 14 mittels einer Pumpe 28 über eine Kühlmittel-Zuflussleitung 27 als Kühlmittel in den Generator 21 eingeleitet. Genauer gesagt wird es in den Stator 21b des Generators 21 eingeleitet, so es in thermischen Kontakt mit der Statorwicklung 21c gelangt. Diese

10 Komponente des Generators 21 wird bei dessen Betrieb am stärksten aufgeheizt, und sollte daher laufend gekühlt werden, um eine Überhitzung zu vermeiden. Im gezeigten Beispiel wird dazu eine direkte Wicklungskühlung mit dem Treibstoff eingesetzt. Die mechanische Kopplung der Rotorwelle des Generators 21 mit der Turbinenwelle der Verbrennungskraftmaschine

15 15 ist in Figur 3 nicht näher dargestellt. Wesentlich ist im Zusammenhang mit dem Schema der Figur 3, wie der durch die Kühlung des Generators 21 erwärmte Treibstoff 12 weiter verwendet wird: Zunächst wird der so vorgewärmte Treibstoff 12

20 über eine gemeinsame Kühlmittel-Abflussleitung 29 von dem Generator weggeführt. Ein dem Generator nachgeschaltetes Dreiwegeventil 30 teilt diese Abflussleitung 29 in eine erste Teilleitung 29a und eine zweite Teilleitung 29b. Die erste Teilleitung führt einen Anteil x des vorgewärmten Treibstoffs

25 zur Verbrennungskraftmaschine. Diese erste Teilleitung 29a entspricht also der in Figur 2 dargestellten Treibstoffzuleitung 13. Die zweite Teilleitung 29b führt den verbleibenden Anteil y des vorgewärmten Treibstoffs zurück in den Treibstofftank 14. Dort vermischt er sich mit dem übrigen Treibstoffvorrat und kann zusammen mit diesem durch Abgabe von

30 Wärme an die Umgebungsluft rückgekühlt werden. Eine solche Wärmeabgabe ist besonders vorteilhaft, wenn der wenigstens eine Treibstofftank (oder auch mehrere Teiltanks) wie in Figur 1 dargestellt im Bereich der Tragflächen 5 angeordnet

35 ist. Eine große Oberfläche, die thermisch gut an den Tankinhalt angekoppelt ist, sowie gegebenenfalls weitere Kühlstrukturen wie Kühlrippen oder ähnliches können die Wärmeabgabe an die Umgebungsluft zusätzlich fördern.

Die beschriebene Aufteilung des vorgewärmten Treibstoffs in einen der Verbrennungskraftmaschine zugeführten Anteil x und einen in den Tank 14 rückgeführten Anteil y kann vorteilhaft
5 sein, wenn der für die Kühlung der elektrischen Maschine benötigte Stoffstrom größer ist als der von der Verbrennungskraftmaschine benötigte Stoffstrom an Treibstoff 12. Dies wird durch das folgende Beispiel verdeutlicht:

10 Als Treibstoff 12 kann beispielsweise Kerosin eingesetzt werden. Kerosin hat einen Energieinhalt von etwa 43 MJ/kg. Unter Annahme eines Wirkungsgrades der Verbrennungskraftmaschine 15 von etwa 50 % braucht diese zur Erzeugung von 10 MW mechanischer Antriebsleistung für den Generator einen Stofffluss an
15 Kerosin von etwa 0,5 kg/s. Im Generator kann beispielsweise eine Verlustleistung von etwa 250 kW anfallen, die durch das Kühlsystem abgeführt werden muss. Wird eine Erwärmung des Treibstoffs 12 von etwa 50 K beim Durchfluss durch den Generator 21 zugelassen, so ist zur Abführung dieser Verluste ein
20 Stofffluss an Kerosin von etwa 2,5 kg/s notwendig, also etwa das fünffache der von der Verbrennungskraftmaschine 15 benötigten Menge. Ein möglicher Betriebsmodus könnte also vorsehen, dass x bei etwa 20% der von dem Generator abfließenden Treibstoffmenge liegt und y entsprechend bei etwa 80% dieser
25 Menge liegt.

In Figur 4 ist ein weiteres, alternatives Beispiel für den Treibstofffluss in einem Antriebssystem 9 gemäß der vorliegenden Erfindung gezeigt. Auch dieses Antriebssystem kann im
30 Hinblick auf den grundlegenden Energiefluss ähnlich wie in Figur 2 gezeigt ausgestaltet sein. Figur 4 zeigt daher viele ähnliche Komponenten wie das Antriebssystem der Figur 3, die zur besseren Übersicht mit denselben Bezugszeichen gekennzeichnet sind. So weist das Antriebssystem der Figur 4 ebenfalls einen Treibstofftank 14, einen Generator 21 und eine
35 Verbrennungskraftmaschine 15 auf. Analog zur Figur 3 wird auch hier Treibstoff 12 aus dem Treibstofftank 14 über eine Kühlmittel-Zuflussleitung 27 als Kühlmittel in den Generator

21 geleitet, wo dessen Statorwicklung 21c gekühlt wird. Zusätzlich ist hier aber auch noch eine ähnliche Kühlung der Statorwicklung 11c des Rotors 11b der elektrischen Motors 11 vorgesehen. Hierzu ist in der Zuleitung 27 ein erstes Dreiwegeventil 30a angeordnet, welches den Treibstoffzuström zwischen zwei Teilleitungen 27a und 27b aufteilt. Die erste Teilleitung führt von dort aus Treibstoff als Kühlmittel zum Generator 21, und die zweite Teilleitung 27b führt in ähnlicher Weise Treibstoff als Kühlmittel zum Motor 11. Dabei können auch hier Generator 21 und Motor 11 für mehrere entsprechende Komponenten stehen, die zusammen zum Energiefluss im Antriebssystem 9 beitragen und in ähnlicher Weise mit Treibstoff gekühlt werden.

Nach dem Kühlen der beiden elektrischen Maschinen 21 und 11 wird der hierbei erwärmte Treibstoff in den zwei Teilleitungen 29a und 29b der Abflussleitung von den Maschinen weggeleitet und anschließend zu einer gemeinsamen Abflussleitung 29 zusammengeführt. Es handelt sich also insgesamt um parallel geführte Kühlmittelpfade für die beiden unterschiedlichen elektrischen Maschinen. Die Temperatur des für die Kühlung verwendeten Treibstoffs ist daher für beide Maschinen ähnlich. Wenn die Kühlanforderungen der beiden Maschinentypen verschieden sind (beispielsweise weil für einen Typ mehrere einzelne Maschinen Verwendung finden), so kann prinzipiell auch ein serieller Fluss von Kühlmittel durch nacheinander angeordnete Maschinen zum Einsatz kommen.

Ähnlich wie beim Beispiel der Figur 3 wird auch hier der Treibstoff 12 in der Kühlmittel-Abflussleitung 29 über ein Dreiwegeventil 30b in zwei Anteile x und y aufgeteilt. Der Anteil x wird der Verbrennungskraftmaschine zugeführt, und der Anteil y gelangt zurück in den Treibstofftank 14. Um diese beiden Mengenanteile gegebenenfalls dynamisch regeln zu können, ist eine Regelvorrichtung 31 am Dreiwegeventil 30b vorgesehen.

Falls die Temperatur des in die Verbrennungsmaschine 15 eingeleiteten Anteils x des vorgewärmten Treibstoffs trotzdem noch zu hoch ist, kann zusätzlich Treibstoff auch auf direktem Weg vom Treibstofftank 14 in die Verbrennungskraftmaschine 15 eingeleitet werden. Diese Möglichkeit ist ebenfalls in Figur 4 schematisch wiedergegeben, und zwar in Form der direkten Treibstoffzuführung 32, die mittels einer weiteren Pumpe 28 kälteren Treibstoff aus dem Reservoir des Tanks 14 zuführen kann. Diese zusätzliche direkte Treibstoffzuführung kann selbstverständlich auch bei anderen Konfigurationen des Kühlsystems Anwendung finden, also beispielsweise bei Kühlsystemen, bei denen ähnlich wie in Figur 3 nur eine der Maschinen 21 und 11 von dem Treibstoff gekühlt wird. Alternativ zu den dargestellten Konfigurationen mit einer Aufteilung des vorgewärmten Treibstoffs in zwei Anteile x und y ist es auch möglich, den gesamten vorgewärmten Treibstoff in die Verbrennungskraftmaschine 15 einzuspeisen und dabei insbesondere eine stärkere Erwärmung des Treibstoffs durch die Kühlung der Maschine zuzulassen. Um einen vorgegebenen Temperaturbereich des in der Verbrennungskraftmaschine zu erreichen, kann dann vor der Einspeisung in die Verbrennungskraftmaschine ein direkt aus dem Tank zugeführter Anteil an Treibstoff zugemischt werden. Auch hier kann ein Dreiwegeventil mit einer Regelvorrichtung zum Einsatz kommen, um eine Temperatur in einem vorgegebenen Bereich einzustellen.

Patentansprüche

1. Antriebssystem (9) für ein Fahrzeug, insbesondere ein Luftfahrzeug (1), umfassend
- 5 - eine Verbrennungskraftmaschine (15) zur Umwandlung von in einem flüssigen Treibstoff (12) gespeicherter chemischer Energie in mechanische Energie,
- einen Treibstofftank (14) zur Versorgung der Verbrennungskraftmaschine (15) mit Treibstoff (12)
- 10 - und eine elektrische Maschine (11, 21) mit einem Rotor (11a, 21a) und einem Stator (11b, 21b) sowie einem Kühlsystem zur Kühlung von wenigstens einem Bestandteil (11c, 21c) der elektrischen Maschine (11, 21) mit Hilfe einer Kühlflüssigkeit (12),
- 15 wobei das Kühlsystem dazu ausgelegt ist, den Treibstoff (12) der Verbrennungskraftmaschine (15) als Kühlflüssigkeit für die elektrische Maschine (11, 21) zu verwenden.
2. Antriebssystem (9) nach Anspruch 1, bei dem der Treibstoff (12) Kerosin ist.
- 20
3. Antriebssystem (9) nach Anspruch 1 oder 2, bei welchem die elektrische Maschine (11, 21) eine Leistungsdichte von wenigstens 5 kW/kg und/oder einer Nennleistung von wenigstens 5
- 25 MW aufweist.
4. Antriebssystem (9) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei welchem die Verbrennungskraftmaschine (15) eine Gasexpansionsturbine (16) und eine Turbinenwelle (18) aufweist,
- 30 wobei die Gasexpansionsturbine (16) ausgestaltet ist, die gebildete mechanische Energie auf die Turbinenwelle (18) zu übertragen.
5. Antriebssystem (9) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei welchem die elektrische Maschine als Generator (21)
- 35 ausgestaltet ist, um die von der Verbrennungskraftmaschine (15) erzeugte mechanische Energie in elektrische Energie für den Antrieb des Fahrzeugs (1) umzuwandeln.

6. Antriebssystem (9) nach einem der Ansprüche 1 bis 4, bei welchem die elektrische Maschine als Motor (11) ausgestaltet ist, um das Fahrzeug (1) elektrisch anzutreiben.

5

7. Antriebssystem (9) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei welchem die elektrische Maschine (11,21) wenigstens eine Spulenwicklung (11c, 21c) aufweist, welche so ausgestaltet ist, dass sie mit der Kühlflüssigkeit (12) direkt kühlbar ist.

10

8. Antriebssystem (9) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei welchem das Kühlsystem eine Kühlmittel-Zuflussleitung (27) umfasst, welche dazu ausgelegt ist, Treibstoff (12) vom Treibstofftank (14) zu einem zu kühlenden Bereich (11c, 21c) der elektrischen Maschine (11, 21) zu leiten.

15

9. Antriebssystem (9) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei welchem das Kühlsystem eine erste Kühlmittel-Abflussleitung (29a) umfasst, welche dazu ausgelegt ist, den durch die elektrische Maschine (11, 21) erwärmten Treibstoff (12) wenigstens teilweise zur Verbrennungskraftmaschine (15) zu leiten.

20

10. Antriebssystem (9) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei welchem das Kühlsystem eine zweite Kühlmittel-Abflussleitung (29b) umfasst, welche dazu ausgelegt ist, den durch die elektrische Maschine (11, 21) erwärmten Treibstoff (12) wenigstens teilweise zurück in den Treibstofftank (14) zu leiten.

25

30

11. Fahrzeug, insbesondere Luftfahrzeug (1), mit einem Antriebssystem (9) nach einem der vorhergehenden Ansprüche.

12. Verfahren zur Kühlung einer elektrischen Maschine (11, 21) in einem Antriebssystem (9) nach einem der Ansprüche 1 bis 10, welches den folgenden Schritt aufweist:

35

- Einspeisen von Treibstoff (12) aus dem Treibstofftank (14) in das Kühlsystem und Verwendung des Treibstoffs (12) als Kühlflüssigkeit zum Kühlen von wenigstens einem Bestandteil (11c,21c) der elektrischen Maschine (11, 21).

5

13. Verfahren nach Anspruch 12, bei dem im Anschluss an die Verwendung des Treibstoffs (12) als Kühlflüssigkeit wenigstens ein Teil des so durch die Maschine (11, 21) erwärmten Treibstoffs (12) in die Verbrennungskraftmaschine (15) eingespeist wird.

10

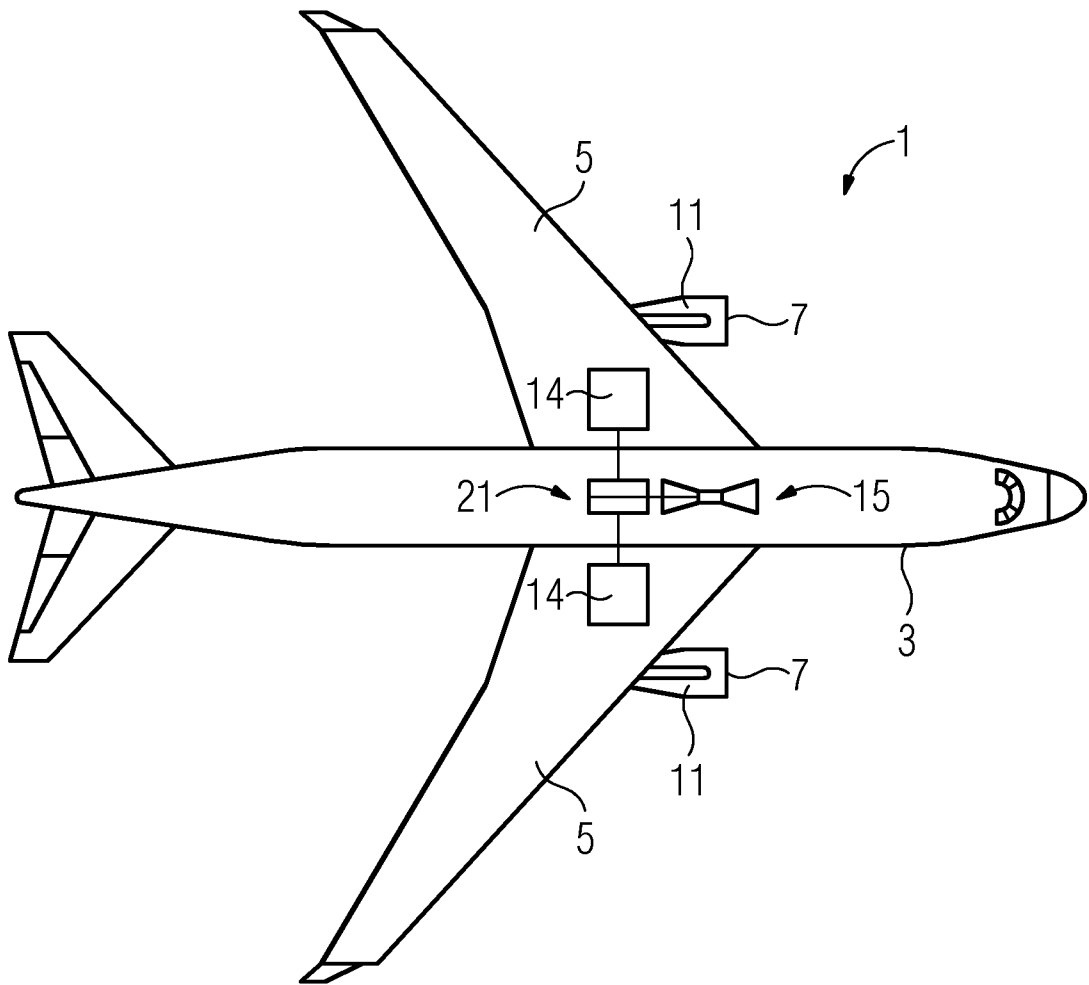
14. Verfahren nach Anspruch 13, bei dem nur ein Teil (x) des durch die elektrische Maschine (11, 21) erwärmten Treibstoffs (12) in die Verbrennungskraftmaschine (15) eingespeist wird und der übrige Teil (y) zurück in den Treibstofftank (14) geleitet wird.

15

15. Verfahren nach Anspruch 14, bei welchem der in die Verbrennungskraftmaschine (15) geleitete Anteil (x) des durch die elektrische Maschine erwärmten Treibstoffs durch eine Regelungsvorrichtung (31) geregelt wird.

20

FIG 1



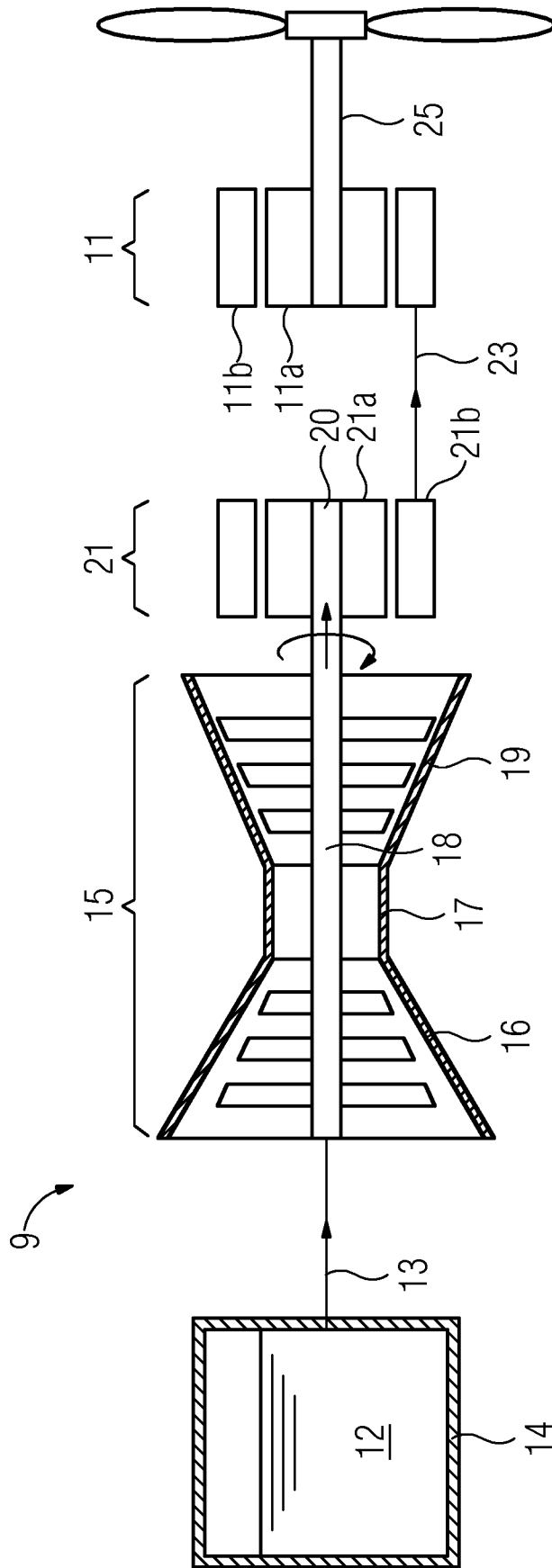


FIG 2

FIG 3

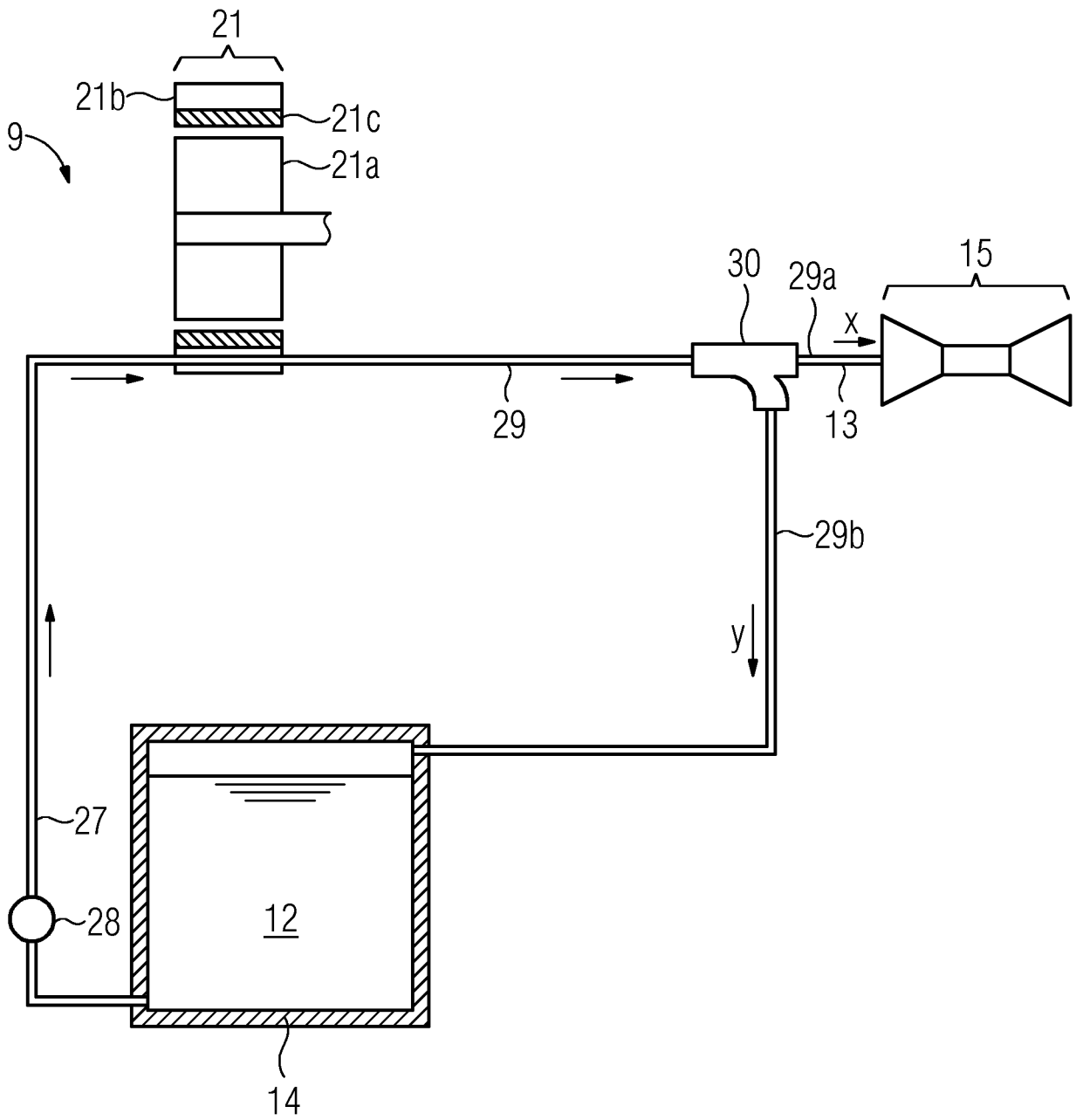
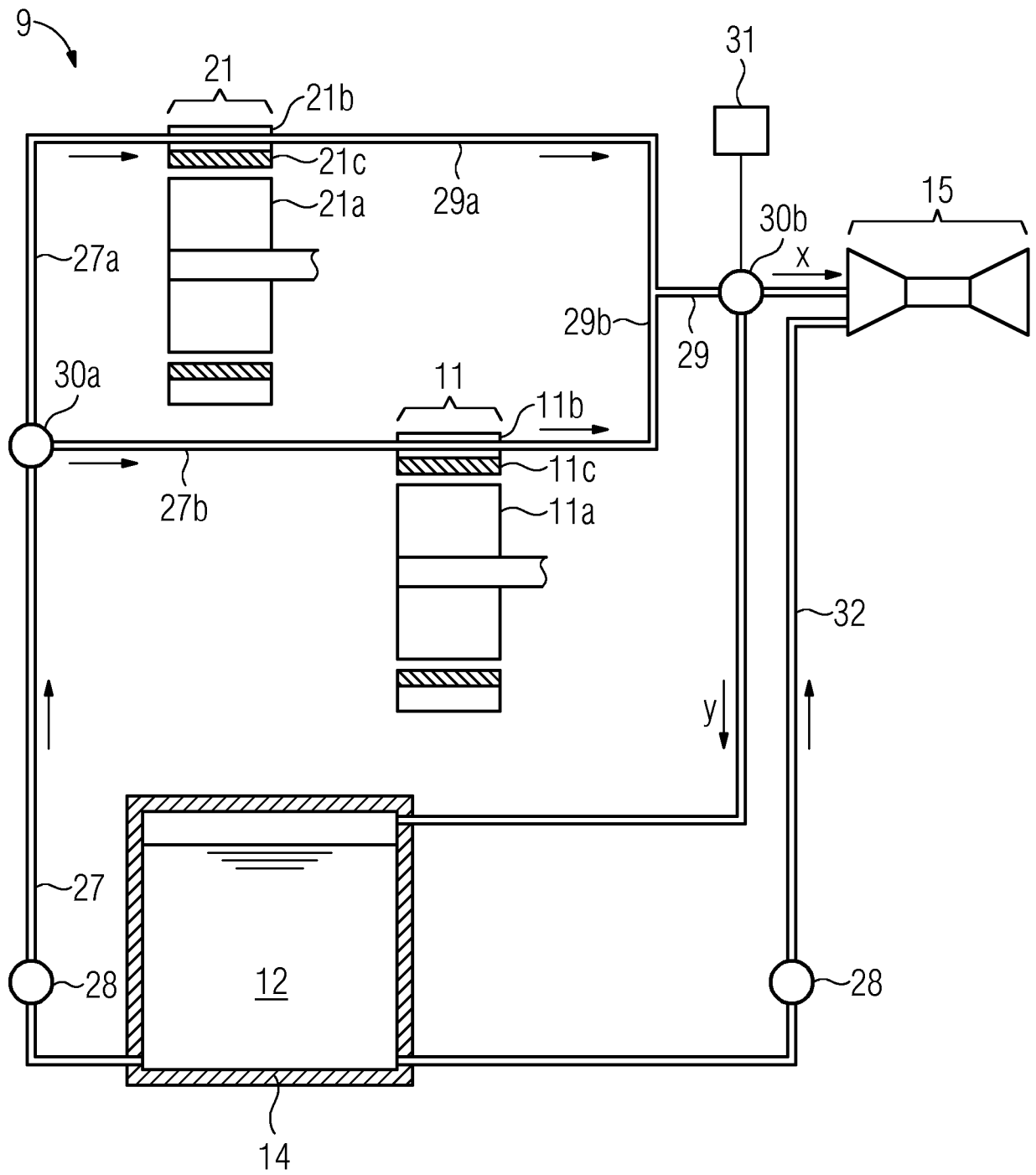


FIG 4



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2017/073071

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
 INV. B64D27/24 B64D33/08 B64D37/34 H02K9/19
 ADD.
 According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED
 Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
 B64D H02K

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)
 EPO-Internal, WPI Data

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 2006/254255 A1 (OKAI KEIICHI [JP] ET AL) 16 November 2006 (2006-11-16) abstract paragraphs [0044], [0053], [0054], [0068], [0076] figures 1, 2, 5 -----	1,3,4, 6-9, 11-13
X Y	GB 2 095 757 A (UNITED TECHNOLOGIES CORP) 6 October 1982 (1982-10-06) abstract page 1, lines 56-58 page 2, lines 25-42 page 3, lines 1-4 figure 2 ----- -/--	1-4,8,9, 11-13 5,10,14, 15

Further documents are listed in the continuation of Box C.

See patent family annex.

* Special categories of cited documents :

- "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- "E" earlier application or patent but published on or after the international filing date
- "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

- "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
- "&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search 7 December 2017	Date of mailing of the international search report 15/12/2017
--	--

Name and mailing address of the ISA/ European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016	Authorized officer Weber, Ingo
--	---------------------------------------

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2017/073071

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	FR 2 936 393 A1 (PEUGEOT CITROEN AUTOMOBILES SA [FR]) 26 March 2010 (2010-03-26) paragraph [0018] - paragraph [0022] figure 1	1,3,6, 8-13
Y	----- WO 02/16743 A1 (HAMILTON SUNDSTRAND CORP [US]) 28 February 2002 (2002-02-28) page 2, lines 12-16	10,14,15
Y	----- EP 3 048 042 A1 (GEN ELECTRIC [US]) 27 July 2016 (2016-07-27) paragraphs [0022], [0027] figures 1, 4, 5	5
A	----- EP 1 630 930 A2 (CATERPILLAR INC [US]) 1 March 2006 (2006-03-01) paragraph [0015]	7
A	----- US 5 223 757 A (STAUB FRED W [US] ET AL) 29 June 1993 (1993-06-29) the whole document	7

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No PCT/EP2017/073071

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 2006254255	A1	16-11-2006	JP 4092728 B2 28-05-2008
			JP 2006205755 A 10-08-2006
			US 2006254255 A1 16-11-2006

GB 2095757	A	06-10-1982	DE 3210199 A1 11-11-1982
			FR 2503255 A1 08-10-1982
			GB 2095757 A 06-10-1982
			JP H0312648 B2 20-02-1991
			JP S57176324 A 29-10-1982
			US 4474001 A 02-10-1984

FR 2936393	A1	26-03-2010	NONE

WO 0216743	A1	28-02-2002	AU 8474601 A 04-03-2002
			US 6415595 B1 09-07-2002
			WO 0216743 A1 28-02-2002

EP 3048042	A1	27-07-2016	BR 102016000410 A2 23-08-2016
			CA 2917616 A1 23-07-2016
			CN 105818990 A 03-08-2016
			EP 3048042 A1 27-07-2016
			JP 2016135671 A 28-07-2016
			US 2016214727 A1 28-07-2016

EP 1630930	A2	01-03-2006	EP 1630930 A2 01-03-2006
			JP 2006067793 A 09-03-2006
			US 2006043801 A1 02-03-2006

US 5223757	A	29-06-1993	GR 910100291 A 26-08-1992
			IL 98659 A 31-10-1995
			JP 2975178 B2 10-11-1999
			JP H04229050 A 18-08-1992
			US 5223757 A 29-06-1993

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES INV. B64D27/24 B64D33/08 B64D37/34 H02K9/19 ADD.		
Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC		
B. RECHERCHIERTE GEBIETE Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole) B64D H02K		
Recherchierte, aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen		
Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe) EPO-Internal, WPI Data		
C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	US 2006/254255 A1 (OKAI KEIICHI [JP] ET AL) 16. November 2006 (2006-11-16) Zusammenfassung Absätze [0044], [0053], [0054], [0068], [0076] Abbildungen 1, 2, 5 -----	1,3,4, 6-9, 11-13
X	GB 2 095 757 A (UNITED TECHNOLOGIES CORP) 6. Oktober 1982 (1982-10-06)	1-4,8,9, 11-13
Y	Zusammenfassung Seite 1, Zeilen 56-58 Seite 2, Zeilen 25-42 Seite 3, Zeilen 1-4 Abbildung 2 ----- -/-	5,10,14, 15
<input checked="" type="checkbox"/> Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen <input checked="" type="checkbox"/> Siehe Anhang Patentfamilie		
* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen : "A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist "E" frühere Anmeldung oder Patent, die bzw. das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist "L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt) "O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht "P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist "T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist "X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden "Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist "&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist		
Datum des Abschlusses der internationalen Recherche		Absenddatum des internationalen Recherchenberichts
7. Dezember 2017		15/12/2017
Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016		Bevollmächtigter Bediensteter Weber, Ingo

C. (Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	FR 2 936 393 A1 (PEUGEOT CITROEN AUTOMOBILES SA [FR]) 26. März 2010 (2010-03-26) Absatz [0018] - Absatz [0022] Abbildung 1	1,3,6, 8-13
Y	----- WO 02/16743 A1 (HAMILTON SUNDSTRAND CORP [US]) 28. Februar 2002 (2002-02-28) Seite 2, Zeilen 12-16	10,14,15
Y	----- EP 3 048 042 A1 (GEN ELECTRIC [US]) 27. Juli 2016 (2016-07-27) Absätze [0022], [0027] Abbildungen 1, 4, 5	5
A	----- EP 1 630 930 A2 (CATERPILLAR INC [US]) 1. März 2006 (2006-03-01) Absatz [0015]	7
A	----- US 5 223 757 A (STAUB FRED W [US] ET AL) 29. Juni 1993 (1993-06-29) das ganze Dokument	7

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2017/073071

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
US 2006254255	A1	16-11-2006	JP 4092728 B2 28-05-2008
			JP 2006205755 A 10-08-2006
			US 2006254255 A1 16-11-2006

GB 2095757	A	06-10-1982	DE 3210199 A1 11-11-1982
			FR 2503255 A1 08-10-1982
			GB 2095757 A 06-10-1982
			JP H0312648 B2 20-02-1991
			JP S57176324 A 29-10-1982
			US 4474001 A 02-10-1984

FR 2936393	A1	26-03-2010	KEINE

WO 0216743	A1	28-02-2002	AU 8474601 A 04-03-2002
			US 6415595 B1 09-07-2002
			WO 0216743 A1 28-02-2002

EP 3048042	A1	27-07-2016	BR 102016000410 A2 23-08-2016
			CA 2917616 A1 23-07-2016
			CN 105818990 A 03-08-2016
			EP 3048042 A1 27-07-2016
			JP 2016135671 A 28-07-2016
			US 2016214727 A1 28-07-2016

EP 1630930	A2	01-03-2006	EP 1630930 A2 01-03-2006
			JP 2006067793 A 09-03-2006
			US 2006043801 A1 02-03-2006

US 5223757	A	29-06-1993	GR 910100291 A 26-08-1992
			IL 98659 A 31-10-1995
			JP 2975178 B2 10-11-1999
			JP H04229050 A 18-08-1992
			US 5223757 A 29-06-1993
