

(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  
17. August 2017 (17.08.2017)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer  
**WO 2017/137537 A1**

- (51) **Internationale Patentklassifikation:**  
*B64D 31/00* (2006.01) *B64D 27/02* (2006.01)
- (21) **Internationales Aktenzeichen:** PCT/EP2017/052958
- (22) **Internationales Anmeldedatum:**  
10. Februar 2017 (10.02.2017)
- (25) **Einreichungssprache:** Deutsch
- (26) **Veröffentlichungssprache:** Deutsch
- (30) **Angaben zur Priorität:**  
10 2016 202 195.8  
12. Februar 2016 (12.02.2016) DE
- (71) **Anmelder:** SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT  
[DE/DE]; Wittelsbacherplatz 2, 80333 München (DE).
- (72) **Erfinder:** FILIPENKO, Mykhaylo; Ginsterweg 23,  
91058 Erlangen (DE). ANTON, Frank; Badstr. 40, 91052  
Erlangen (DE). MAKOWSKA, Agnieszka;  
Zaunkönigweg 20, 90768 Fürth (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, JP, KE, KG, KH,  
KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY,  
MA, MD, 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).

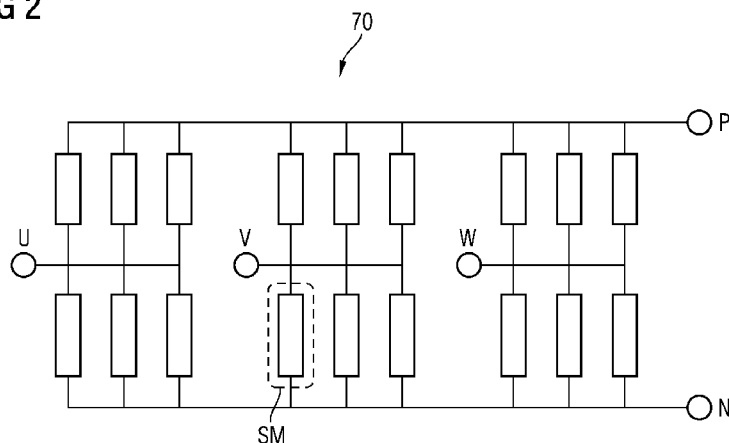
**Veröffentlicht:**

— mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz  
3)

(54) **Title:** METHOD FOR DRIVING AN AIR VEHICLE, AND AIR VEHICLE

(54) **Bezeichnung :** VERFAHREN ZUM ANTRIEB EINES LUFTFAHRZEUGS UND LUFTFAHRZEUG

FIG 2



(57) **Abstract:** The invention relates to a method for driving an air vehicle using a multilevel converter with at least two converter modules. A first operating voltage is applied to at least one of the converter modules in a first operating state, and a second operating voltage which is lower than the first operating voltage is applied to the converter module in a second operating state. The air vehicle is designed to carry out such a method and comprises an electric drive which has at least one multilevel converter with at least two converter modules, each of which is designed and connected so as to be supplied with a first operating voltage in a first operating state and with a second operating voltage which is lower than the first operating voltage in a second operating state. Advantageously, the air vehicle is an airplane, in particular a hybrid electric airplane.

(57) **Zusammenfassung:**

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

WO 2017/137537 A1



---

Das Verfahren zum Antrieb eines Luftfahrzeugs nutzt einen Multilevelumrichter mit zumindest zwei Umrichtermodulen. An zumindest eines der Umrichtermodule wird in einem ersten Betriebszustand eine erste Betriebsspannung und in einem zweiten Betriebszustand eine zweite, gegenüber der ersten geringere, Betriebsspannung angelegt. Das Luftfahrzeug ist zur Ausführung eines solchen Verfahrens ausgebildet und umfasst einen Elektroantrieb, welcher zumindest einen Multilevelumrichter mit mindestens zwei Umrichtermodulen aufweist, welche jeweils zur Speisung in einem ersten Betriebszustand mit einer ersten Betriebsspannung und in einem zweiten Betriebszustand mit einer zweiten, gegenüber der jeweils ersten geringeren, Betriebsspannung ausgebildet und verschaltet sind. Das Luftfahrzeug ist zweckmäßig ein, insbesondere hybridelektrisches, Flugzeug.

Beschreibung

Verfahren zum Antrieb eines Luftfahrzeugs und Luftfahrzeug

5 Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Antrieb eines Luftfahrzeugs und ein Luftfahrzeug.

In jüngerer Zeit gewinnt die elektrische Luftfahrt zunehmend an Bedeutung. In der elektrischen Luftfahrt sind insbesondere  
10 seriell-hybride Antriebssysteme Gegenstand aktiver Entwicklung. Bei solchen hybriden Antriebssystemen wird mittels eines Generators, der an einen Verbrennungsmotor gekoppelt ist, zusätzlich elektrische Energie erzeugt und einem elektrischen Motor zugeführt. Der Generator kann also erforderlichenfalls  
15 eine Entleerung eines elektrischen Energiespeichers eines elektrischen Flugzeugs kompensieren. Der Vorteil seriell-hybrider Antriebssysteme besteht darin, dass sowohl der elektrische Motor als auch der Verbrennungsmotor bei unterschiedlichen Drehgeschwindigkeiten laufen können und dadurch  
20 in beiden die maximale Leistung oder der maximale Wirkungsgrad bei gegebenem Verbrauch erzielt werden kann. Um den elektrischen Motor und den Verbrennungsmotor voneinander zu entkoppeln, müssen zwischen Generator und elektrischem Motor Leistungselektroniken bestehend aus mehreren Umrichtern eingesetzt werden, durch welche die am Generator generierte  
25 Spannung sowohl in der Frequenz als auch in der Amplitude moduliert werden kann.

Leistungsumrichter weisen üblicherweise Halbleiterbauelemente, insbesondere IGBTs und/oder Leistungs-MOSFETs, auf, welche durch kosmische Strahlung stark gefährdet sind. Kosmische  
30 Strahlung bildet in typischen Reiseflughöhen von Flugzeugen von ca. 10 Kilometern eine erhebliche Gefahr für Halbleiterbauelemente. Der Fluss der kosmischen Strahlung ist in dieser  
35 Höhe um einen Faktor von etwa 20 bis 60 höher ist als auf Meereshöhe. Umrichter scheiden deshalb aufgrund eines sehr wahrscheinlichen Ausfalls regelmäßig aus.

Es ist bekannt, diesen Umstand durch eine dauerhafte Verminderung der Betriebsspannung an den Halbleiterbauelementen oder durch eine Vergrößerung der Halbleiterschicht zu umgehen. Jedoch wird mit diesen Maßnahmen das Gewicht von Umrichtern erhöht. Das Leistungsgewicht (Leistung pro Masse) wird  
5 dadurch stark verringert, was in der Luftfahrt ein Ausschlusskriterium bilden kann. Wird hingegen die Dicke der Halbleiterschicht erhöht, so kann die Wahrscheinlichkeit eines Ausfalls der Halbleiterbauelemente sogar erhöht sein, da  
10 die Wechselwirkungswahrscheinlichkeit des Halbleitermaterials mit kosmischer Strahlung proportional mit der Dicke ansteigt.

Es ist ferner bekannt, bei Umrichtern Halbleiterbauelemente in Form von SiC- oder GaN-basierten Bauteilen zu verwenden.  
15 SiC und GaN haben eine höhere Bandlücke als Si, was zu einer starken Verminderung eines strahlungsbedingten Lawinendurchbruchs führt. Allerdings sind SiC- und GaN-Bauteile teuer, denn die Kristallstruktur von SiC und GaN ist komplexer als jene von Silizium, sodass das Wachstum und die Bearbeitung  
20 dieser Materialien erschwert sind.

Es ist nun Aufgabe der Erfindung, ein gegenüber dem Stand der Technik verbessertes Verfahren zum Antrieb eines Luftfahrzeugs anzugeben sowie ein gegenüber dem Stand der Technik  
25 verbessertes Luftfahrzeug anzugeben. Insbesondere sollen das Verfahren und das Luftfahrzeug einen ausfallsicheren Antrieb des Luftfahrzeugs ermöglichen ohne notwendig das Gewicht des Antriebs zu erhöhen.

30 Diese Aufgabe der Erfindung wird mit einem Verfahren mit den in Anspruch 1 angegebenen Merkmalen sowie mit einem Luftfahrzeug mit dem in Anspruch 11 angegebenen Merkmalen gelöst. Bevorzugte Weiterbildungen der Erfindung sind in den zugehörigen Unteransprüchen, der nachfolgenden Beschreibung und der  
35 Zeichnung angegeben.

Das erfindungsgemäße Verfahren zum Antrieb eines Luftfahrzeugs nutzt einen Multilevelumrichter mit zumindest zwei

Umrichtermodulen. An zumindest einem der Umrichtermodule wird in einem ersten Betriebszustand eine erste Betriebsspannung und in einem zweiten Betriebszustand eine zweite, gegenüber der ersten geringere, Betriebsspannung angelegt.

5

Das erfindungsgemäße Verfahren beruht auf dem Erfindungsgedanken, ein Luftfahrzeug mittels eines etwa Motoren und Generatoren verbindenden Multilevelumrichters derart anzutreiben, dass der Multilevelumrichter des Luftfahrzeugs stromdimensioniert ausgelegt ist. Dies bedeutet, dass zwar in einem ersten Betriebszustand, zweckmäßig in Situationen, in welchen das Luftfahrzeug keiner nennenswerten kosmischen Strahlung ausgesetzt ist, das oder die Umrichtermodule des Multilevelumrichters mit hoher Spannung und reduzierten Strömen betrieben werden. Jedoch wird in einem zweiten Betriebszustand, vorteilhafterweise in einen solchen Betriebszustand, bei welchem das Luftfahrzeug vermehrt kosmischer Strahlung ausgesetzt ist - etwa sobald eine notwendige Flughöhe erreicht ist, eine geringere Spannung für das oder die Umrichtermodule vorgesehen. Die angelegte Spannung und/oder eine Sperrspannung des Halbleiterbausteins ist die dominierende Einflussgröße auf die Lebensdauer von Halbleiterbauelementen bei einem hohen Fluss von kosmischer Strahlung. So ändert sich in Reiseflughöhe bereits bei Spannungsänderungen von wenigen 10 Volt nahe einer Schwellspannung die infolge kosmischer Strahlung im Halbleiterbauteil, etwa in einem IGBT, generierte Ladungsmenge um zwei bis drei Größenordnungen. Diese Ladung lässt das Halbleiterbauteil kurzzeitig leitend werden. Die hierdurch bedingte Hitze zerstört dann das Halbleiterbauteil. Erfindungsgemäß tritt dieser Umstand nicht auf.

Zweckmäßigerweise wird bei dem erfindungsgemäßen Verfahren der Multilevelumrichter in zwei oder mehrere Umrichtermodule elektrisch und mechanisch getrennt. So kann bei gleichen Strömen bezogen auf jeweils ein einzelnes Umrichtermodul mit kleineren Spannungen gearbeitet werden. Somit kann die Wahrscheinlichkeit für die Zerstörung von Halbleiterbauteilen der

35

Umrichtermodule des Multilevelumrichters durch kosmische Strahlung wesentlich reduziert werden.

Vorteilhafterweise können regelmäßig weitere Komponenten von  
5 Luftfahrzeugantrieben mit mehreren unterschiedlichen Spannungslagen arbeiten. Die Sicherheit beim Start des Luftfahrzeugs ist zweckmäßig durch eine Überdimensionierung des Multilevelumrichters gegeben. Sicherheit während des Reise-  
flugs hingegen ist durch mehrere redundante und als Umrichter  
10 fungierende Umrichtermodule gegeben.

Das erfindungsgemäße Verfahren erfordert keine Gewichtserhöhung des Antriebs und folglich auch nicht des Luftfahrzeugs. Zugleich lässt sich eine erhöhte Wechselwirkungswahrscheinlichkeit mit kosmischer Strahlung vermeiden. Der teure Einsatz  
15 von Umrichtermodulen mit Halbleiterbauelementen, welche mit SiC und/oder GaN gebildet sind, ist erfindungsgemäß nicht erforderlich.

Bei einer vorteilhaften Weiterbildung des erfindungsgemäßen  
20 Verfahrens wird an zumindest zwei der Umrichtermodule im ersten Betriebszustand je eine erste Betriebsspannung und in einem zweiten Betriebszustand je eine zweite, jeweils gegenüber der ersten geringere, Betriebsspannung angelegt.

25 Besonders vorteilhaft sind zumindest das erste und das zweite der zumindest zwei Umrichtermodule austauschbar ähnlich, vorzugsweise baugleich, ausgebildet. So können etwa Umrichtermodule, je nachdem, ob sie im ersten oder im zweiten  
30 Betriebszustand betrieben werden, seriell oder parallel geschaltet werden. Zweckmäßig ist der Multilevelumrichter ein Spannungszwischenkreisumrichter.

Vorzugsweise wird bei dem erfindungsgemäßen Verfahren an  
35 sämtlichen Umrichtermodulen im ersten Betriebszustand je eine erste Betriebsspannung und in einem zweiten Betriebszustand je eine zweite, jeweils gegenüber der ersten geringere, Betriebsspannung angelegt.

Zweckmäßig werden bei dem erfindungsgemäßen Verfahren erste und zweite Betriebsspannung gepulst angelegt, wobei die zweite Betriebsspannung gegenüber der ersten Betriebsspannung  
5 längere Pulsdauern aufweist. In dieser Weiterbildung der Erfindung wird das reduzierte Spannungsniveau zum einen teilweise durch die längere Pulsdauer kompensiert. Zum anderen wird das reduzierte Spannungsniveau zweckmäßig durch einen höheren Strom kompensiert.

10

Bevorzugt wird bei dem Verfahren gemäß der Erfindung der Multilevelumrichter zur Umrichtung einer generierten Wechselspannung eines Generators in eine einen Antriebsmotor speisende Wechselspannung herangezogen. In dieser Weiterbildung  
15 der Erfindung wird der Multilevelumrichter dazu herangezogen, Wechselspannung, etwa zur geeigneten Anpassung der Frequenz zwischen Generator und Antriebsmotor, umzurichten. Zweckmäßig ist der Multilevelumrichter ein Spannungszwischenkreisumrichter mit Submodulen, welche mittels Leistungshalbleiterbauteilen schaltbar sind. Zweckmäßig werden bei dem erfindungsgemäßen  
20 Verfahren die Leistungshalbleiterbauteile mittels Pulsweitenmodulation oder mittels einer sonstigen Modulation geschaltet.

25

Bei einer vorteilhaften Weiterbildung des erfindungsgemäßen Verfahrens wird der zweite Betriebszustand während oder nach einem Start herbeigeführt und/oder vor oder während einer Landung des Luftfahrzeugs beendet. In dieser Weiterbildung der Erfindung erstreckt sich der zweite Betriebszustand ganz  
30 oder vorwiegend auf die Phase des Reiseflugs des Luftfahrzeugs. Gerade in dieser Phase ist der Multilevelumrichter des Flugzeugs einem hohen Fluss kosmischer Strahlung ausgesetzt, sodass in dieser Weiterbildung der Erfindung das oder die Submodule in der Phase des Reiseflugs vor kosmischer Strahlung geschützt sind. Weiterhin erfordert der Reiseflug keine  
35 maximale Leistungsbereitstellung wie es die Phasen des Starts und ggf. auch der Landung erfordern.

In einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Verfahrens beträgt die mittels des Multilevelumrichters bereitgestellte Leistung in zweitem Betriebszustand höchstens 80 Prozent der Maximalleistung im ersten Betriebszustand, bevorzugt beträgt die Leistung im zweiten Betriebszustand höchstens 70 Prozent und idealerweise höchstens 60 Prozent. Regelmäßig ist der Leistungsbedarf beim Reiseflug erheblich geringer als beim Start.

Vorteilhaft wird bei dem erfindungsgemäßen Verfahren der erste Betriebszustand vor und/oder während zumindest eines Teils des Starts des Luftfahrzeugs und/oder vor und/oder während zumindest eines Teils der Landung des Luftfahrzeugs herbeigeführt. In dieser Weiterbildung der Erfindung wird gerade in denjenigen Flugphasen, in denen sofortige Leistungsbereitstellungen erforderlich werden können, eine hohe Maximalleistung ermöglicht.

Vorzugsweise wird bei dem Verfahren gemäß der Erfindung der zweite Betriebszustand oberhalb einer Mindesthöhe des Luftfahrzeugs herbeigeführt. Die Flughöhe des Luftfahrzeugs über dem Meeresspiegel ist der dominierende Parameter für den Strom kosmischer Strahlung, dem das Luftfahrzeug ausgesetzt ist.

Zweckmäßig wird das erfindungsgemäße Verfahren zum Antrieb eines Hybridflugzeuges durchgeführt. Gerade bei Hybridflugzeugen stellt sich das Problem einer Umsetzung von Generatorleistung in Motorleistung mittels Umsetzern.

Der Vorteil eines solchen Hybridflugzeuges liegt darin, dass diese Leistungsspitzen durch eine Batterie bedient werden, während der Generator und die Turbine deutlich kleiner und sparsamer ausgelegt werden können.

Das erfindungsgemäße Luftfahrzeug ist zur Ausführung eines erfindungsgemäßen Verfahrens wie vorstehend beschrieben ausgebildet. Das erfindungsgemäße Luftfahrzeug weist einen

Elektroantrieb auf, welcher zumindest einen Multilevelumrichter mit mindestens zwei Umrichtermodulen umfasst. Die mindestens zwei Umrichtermodule sind jeweils zur Speisung in einem ersten Betriebszustand mit einer ersten Betriebsspannung und in einem zweiten Betriebszustand mit einer zweiten, gegenüber der jeweils ersten geringeren, Betriebsspannung ausgebildet und verschaltet.

Die Vorteile des vorstehend erläuterten erfindungsgemäßen Verfahrens gelten für das erfindungsgemäße Luftfahrzeug entsprechend.

In vorteilhafter Weiterbildung ist bei dem erfindungsgemäßen Luftfahrzeug eine Steuereinrichtung vorhanden, welche ausgebildet ist, in Abhängigkeit von der Flughöhe oder eines Flugmanövers, insbesondere abhängig von einem eingeleiteten oder bevorstehenden Start- oder Landevorgang, jeweils den ersten und/oder den zweiten Betriebszustand zu schalten. Zweckmäßig setzt die Steuereinrichtung das erfindungsgemäße Verfahren wie oben beschrieben um. Geeigneter weise erhält die Steuereinrichtung als Eingangsgröße ein Maß für die Flughöhe des Luftfahrzeugs, welches mittels eines Erfassungsmittels erfasst wird. Abhängig von dem Maß für die Flughöhe wird der erste und/oder zweite Betriebszustand geschaltet.

Besonders bevorzugt ist das erfindungsgemäße Luftfahrzeug ein Flugzeug, insbesondere ein hybridelektrisches Flugzeug.

Nachfolgend wird die Erfindung anhand eines in der Zeichnung dargestellten Ausführungsbeispiels näher erläutert.

Es zeigen:

Fig. 1 ein Luftfahrzeug mit einem Antriebsstrang mit einem Multilevelumrichter schematisch in einem Blockschaltbild,

Fig. 2 den Multilevelumrichter des Luftfahrzeugs gem. Fig. 1 schematisch in einem Blockschaltbild sowie

Fig. 3 ein Umrichtermodul des Multilevelumrichters gem. Fig. 2 schematisch in einem Blockschaltbild.

Das in Fig. 1 dargestellte Luftfahrzeug ist ein hybridelektrisches Flugzeug 10 und weist einen Antriebsstrang 20 auf. Der Antriebsstrang 20 umfasst eine Turbine 30, welche wie an sich bekannt im Bedarfsfall mittels Verbrennung von Treibstoff mechanische Rotationsenergie bereitstellt und einem Generator 40 zur Wandlung der mechanischen Energie in elektrische Energie übermittelt. Der Generator 40 stellt die elektrische Energie mittels einer ausgangsseitigen Wechselspannung zur Verfügung.

Der Generator 40 speist einen Gleichrichter 50, der die Wechselspannung des Generators 40 gleichrichtet. Anstelle eines Gleichrichters 50 kann in einem weiteren, nicht eigens dargestellten Ausführungsbeispiel ein aktiver Umrichter vorgesehen sein. Mittels der gleichgerichteten Spannung wird im Falle überschüssiger mittels des Generators 40 bereitgestellter Energie eine elektrische Batterie 60 des hybridelektrischen Flugzeugs 10 geladen. Die Batterie 60 ist als dauerhafte Energiequelle des Elektroflugzeugs 10 vorgesehen. Im Falle einer Entleerung der Batterie 60 oder eines stark ansteigenden Energiebedarfs können die Turbine 30 und der Generator 40 zur ergänzenden Energieversorgung hinzugezogen werden.

Abtriebsseitig von Gleichrichter 50 und Batterie 60 ist an diese ein modular aufgebauter Multilevelumrichter 70 angebunden, welcher die von Gleichrichter 50 und/oder Batterie 60 gelieferte Gleichspannung in eine zum Betrieb eines Propellermotors 80 des Flugzeugs 10 taugliche Wechselspannung geeigneter Frequenz umrichtet. Der Propellermotor 80 ist mechanisch zum Antrieb eines Propellers 90 des Flugzeugs 10 angebunden.

Der Multilevelumrichter 70 bildet einen Spannungszwischenkreisumrichter, welcher (s.a. Fig. 3) je Phase U, V, W jeweils drei parallel geschaltete Serienschaltungen von jeweils zwei Umrichtermodulen SM aufweist. Die einzelnen  
5 Umrichtermodule SM umfassen jeweils zwei mittels IGBTs (IGBT = engl. „*insulated-gate bipolar transistor*“) realisierte Schalter T0, T1 mit zwei Freilaufdioden D0, D1. Grundsätzlich können in weiteren Ausführungsbeispielen, welche im Übrigen dem Dargestellten entsprechen, auch andere Transistoren, be-  
10 spielsweise Leistungs-MOSFETs, als Schalter eingesetzt werden. Mittels einer Pulsweitenmodulation (grundsätzlich können in weiteren Ausführungsbeispielen auch andere Modulationsverfahren zum Einsatz kommen) werden die Schalter T0, T1 geschaltet. Die hier am Kondensator C anliegende Zwischenkreis-  
15 spannung  $V_C$  des Zwischenkreises zwischen P und N wird mittels des Umrichtermoduls SM jeweils in die Phasenspannung  $V_{SM}$  eines Umrichtermoduls umgesetzt.

In der Regel fordert der Propellermotor 80 während des Fluges  
20 des Flugzeugs 10 ein sehr vorhersehbares Lastprofil: So treten nur am Anfang während eines Starts und eines Steigflugs des Flugzeugs 10 Leistungsspitzen auf. Während der übrigen Flugzeit, insbesondere während des Reisefluges werden nur ca. 60 % dieser Leistung benötigt.

25 Entsprechend werden Leistungsspitzen mittels der Batterie 60 bedient, während Turbine 30 und Generator 40 kleiner dimensioniert sind.

30 Die Leistung, die den Propellermotor 80 speist, wird mittels des Multilevelumrichters 70 über den Strom des Multilevelumrichters 70 gesteuert, indem an einzelne Halbleiterbauelemente von Submodulen des Multilevelumrichters 70, hier an die Schalter T0, T1, Spannungspulse angepasster Höhe  
35 und Länge geschaltet werden.

Diese Spannungen erweisen sich bei großen Flughöhen des Flugzeugs 10 als sehr kritisch: Grundsätzlich nimmt ab einer be-

stimmten Flughöhe des Flugzeugs 10 aufgrund der kosmischen Strahlung die Ausfallwahrscheinlichkeit der Schalter T0, T1 stark zu.

5 Dabei hängt die Ausfallwahrscheinlichkeit aufgrund der kosmischen Strahlung bei einer solchen Flughöhe mit der jeweils anliegenden Spannung zusammen: Wird ein bestimmter Wert der Spannung überschritten, so wird bei der Wechselwirkung des Halbleiterbauteils mit kosmischer Strahlung so viel Ladung im  
10 Halbleiterbauteil generiert, dass dieses kurzzeitig leitend wird und durch Erhitzung permanent zerstört wird.

Beim Multilevelumrichter 70 des erfindungsgemäßen Flugzeugs 10 tritt dieses Problem gemäß dem erfindungsgemäßen Verfahren, mittels welchem der Multilevelumrichter 70 gesteuert  
15 wird, nicht auf.

Das Flugzeug 10 wird mittels des erfindungsgemäßen Verfahrens nun wie folgt angetrieben:

20

Da sich das Flugzeug 10 während des Starts und während des Beginns des Steigflugs noch immer eine vergleichsweise geringe Höhe erreicht, ist der Teilchenfluss der kosmischen Strahlung am Ort des Flugzeugs 10 und somit am Ort des  
25 Multilevelumrichters 70 sehr klein (zum Vergleich: der Teilchenfluss ist auf Meeresniveau etwa um den Faktor 150 kleiner als bei 12 Kilometern Höhe).

Folglich ist der Teilchenfluss der kosmischen Strahlung beim  
30 Start und beim anfänglichen Steigflug des Flugzeugs 10 unproblematisch.

Beim Reiseflug bei 12 Kilometern Flughöhe, also der typischen Reise Flughöhe, hingegen ist die kosmische Strahlung besonders  
35 kritisch: Um dem zu begegnen, wird die Flughöhe des Flugzeugs 10 mittels einer in der Zeichnung nicht explizit dargestellten Steuereinrichtung kontinuierlich erfasst.

Oberhalb einer Schwellhöhe, welche das Flugzeug 10 nach dem Start und während des Steigfluges passiert, wird nun die am Zwischenkreis des Multilevelumrichters 70 anliegende Spannung und folglich auch die Spannung  $V_C$  an den Umrichtermodulen SM  
5 des Multilevelumrichters 70 abgesenkt, sodass die Umrichtermodule SM in diesem Betriebszustand mit Spannungspulsen mit abgesenkter Spannung geschaltet sind. Dabei werden die Spannungspulse zugleich mit jeweils länger andauernder Pulsdauer geschaltet. Um die geforderte Leistung bereitzu-  
10 stellen, fließen zudem höhere Ströme, welche auf mehrere einzelne, kleinere Submodule 200 des Multilevelumrichters 70 verteilt werden. Details des Multilevelumrichters 70 sind beispielhaft in Fig. 3 dargestellt.

## Patentansprüche

1. Verfahren zum Antrieb eines Luftfahrzeugs (10), nutzend  
einen Multilevelumrichter (70) mit zumindest zwei  
5 Umrichtermodulen (SM), bei welchem an zumindest einem der  
Umrichtermodule (SM) in einem ersten Betriebszustand eine  
erste Betriebsspannung und in einem zweiten Betriebszu-  
stand eine zweite, gegenüber der ersten geringere, Be-  
triebsspannung angelegt wird.  
10
2. Verfahren nach Anspruch 1, bei welchem an zumindest zwei  
der Umrichtermodule (SM) im ersten Betriebszustand je eine  
erste Betriebsspannung und in einem zweiten Betriebszu-  
stand je eine zweite, jeweils gegenüber der ersten gerin-  
15 gere, Betriebsspannung angelegt wird.
3. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei  
welchem an sämtlichen Umrichtermodulen (SM) im ersten Be-  
triebszustand je eine erste Betriebsspannung und in einem  
20 zweiten Betriebszustand je eine zweite, jeweils gegenüber  
der ersten geringere, Betriebsspannung angelegt wird.
4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei  
welchem erste und zweite Betriebsspannung gepulst angelegt  
25 werden, wobei die zweite Betriebsspannung gegenüber der  
ersten Betriebsspannung längere Pulsdauern aufweist.
5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei  
welchem der Multilevelumrichter zur Umrichtung einer gene-  
30 rierten Wechselspannung eines Generators in eine einen An-  
triebsmotor speisende Wechselspannung herangezogen wird.
6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei  
welchem die mittels des Multilevelumrichters (70) bereit-  
35 gestellte Leistung in zweitem Betriebszustand höchstens 80  
Prozent der Maximalleistung im ersten Betriebszustand, be-  
vorzugt höchstens 70 Prozent und idealerweise höchstens 60  
Prozent beträgt.

7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei welchem der zweite Betriebszustand während oder nach einem Start herbeigeführt und/oder vor oder während einer Landung des Luftfahrzeugs beendet wird.
- 5
8. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei welchem der erste Betriebszustand vor und/oder während zumindest eines Teils des Starts des Luftfahrzeugs (10) und/oder vor und/oder während zumindest eines Teils der
- 10 Landung des Luftfahrzeugs (10) herbeigeführt wird.
9. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei welchem der zweite Betriebszustand oberhalb einer Mindesthöhe des Luftfahrzeugs (10) herbeigeführt wird.
- 15
10. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, welches zum Antrieb eines Hybridflugzeuges durchgeführt wird.
11. Luftfahrzeug zur Ausführung eines Verfahrens nach einem
- 20 der vorhergehenden Ansprüche mit einem Elektroantrieb (20), welcher zumindest einen Multilevelumrichter mit mindestens zwei Umrichtermodulen (SM) aufweist, welche jeweils zur Speisung in einem ersten Betriebszustand mit einer ersten Betriebsspannung und in einem zweiten Betriebs-
- 25 zustand mit einer zweiten, gegenüber der jeweils ersten geringeren, Betriebsspannung ausgebildet und verschaltet sind.
12. Luftfahrzeug nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei
- 30 welchem eine Steuereinrichtung vorhanden ist, welche ausgebildet ist, in Abhängigkeit von der Flughöhe oder eines Flugmanövers, insbesondere abhängig von einem eingeleiteten oder bevorstehenden Start- oder Landevorgang, jeweils den ersten und/oder den zweiten Betriebszustand zu schalten.
- 35

13. Luftfahrzeug nach einem der vorhergehenden Ansprüche,  
welches ein Flugzeug (10), insbesondere ein hybridelektri-  
sches Flugzeug (10) ist.

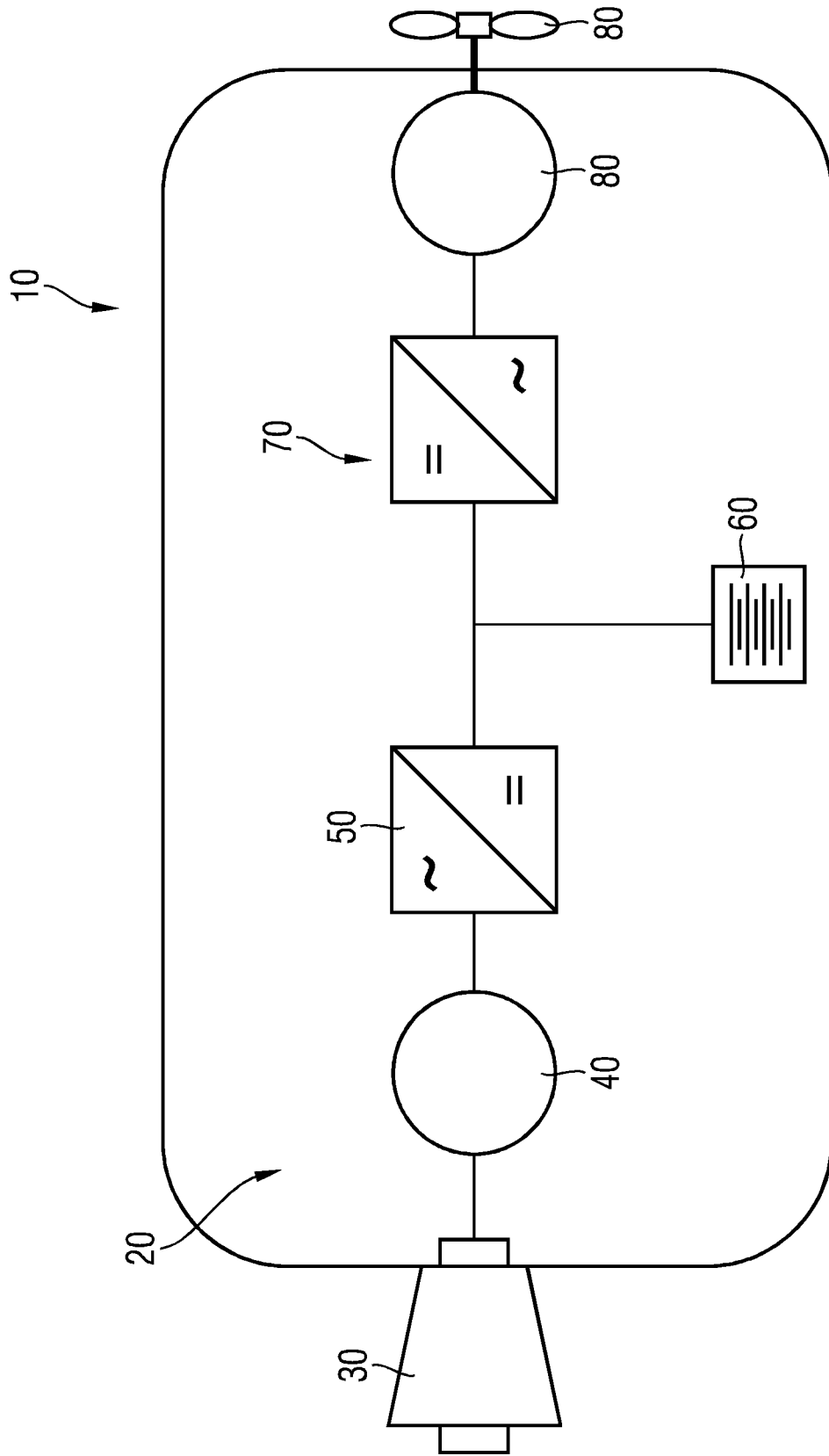


FIG 1

FIG 2

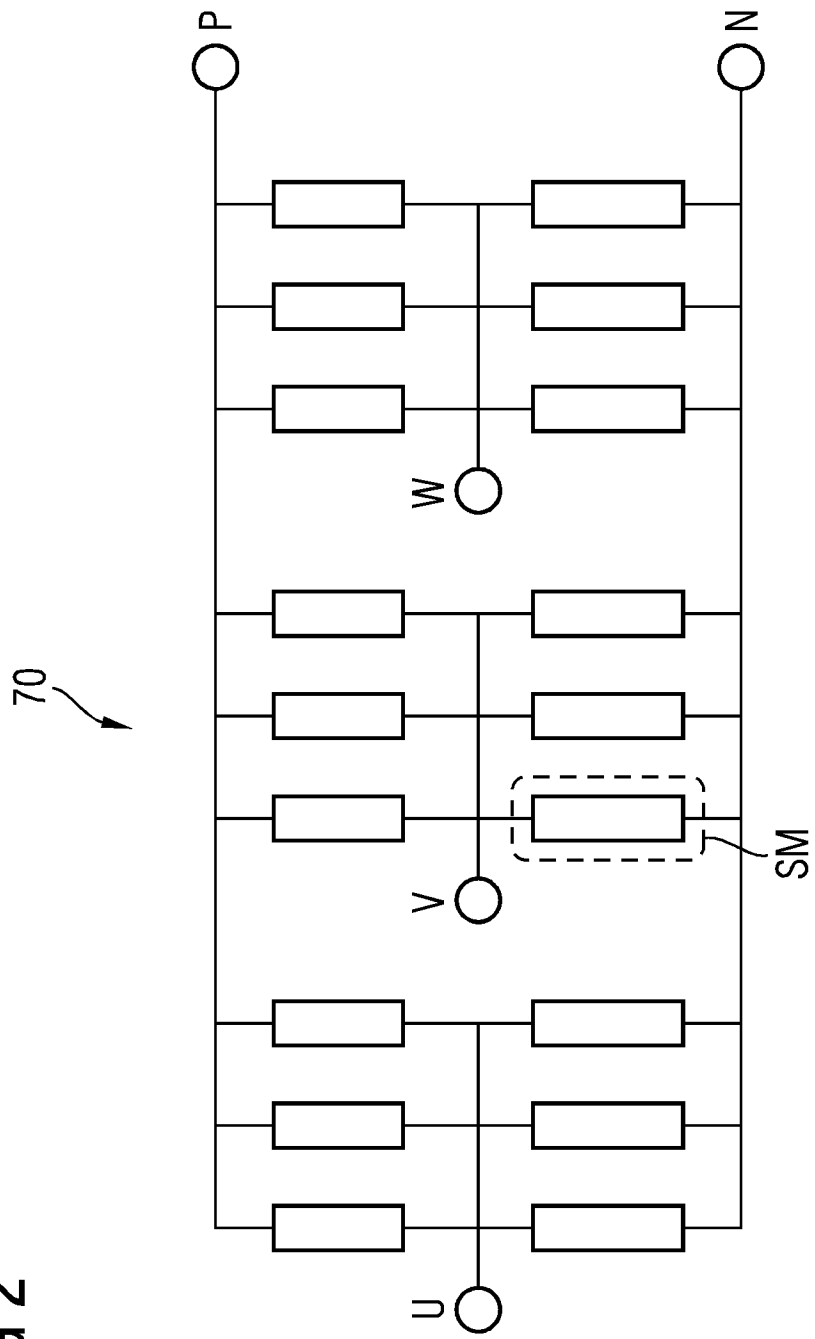
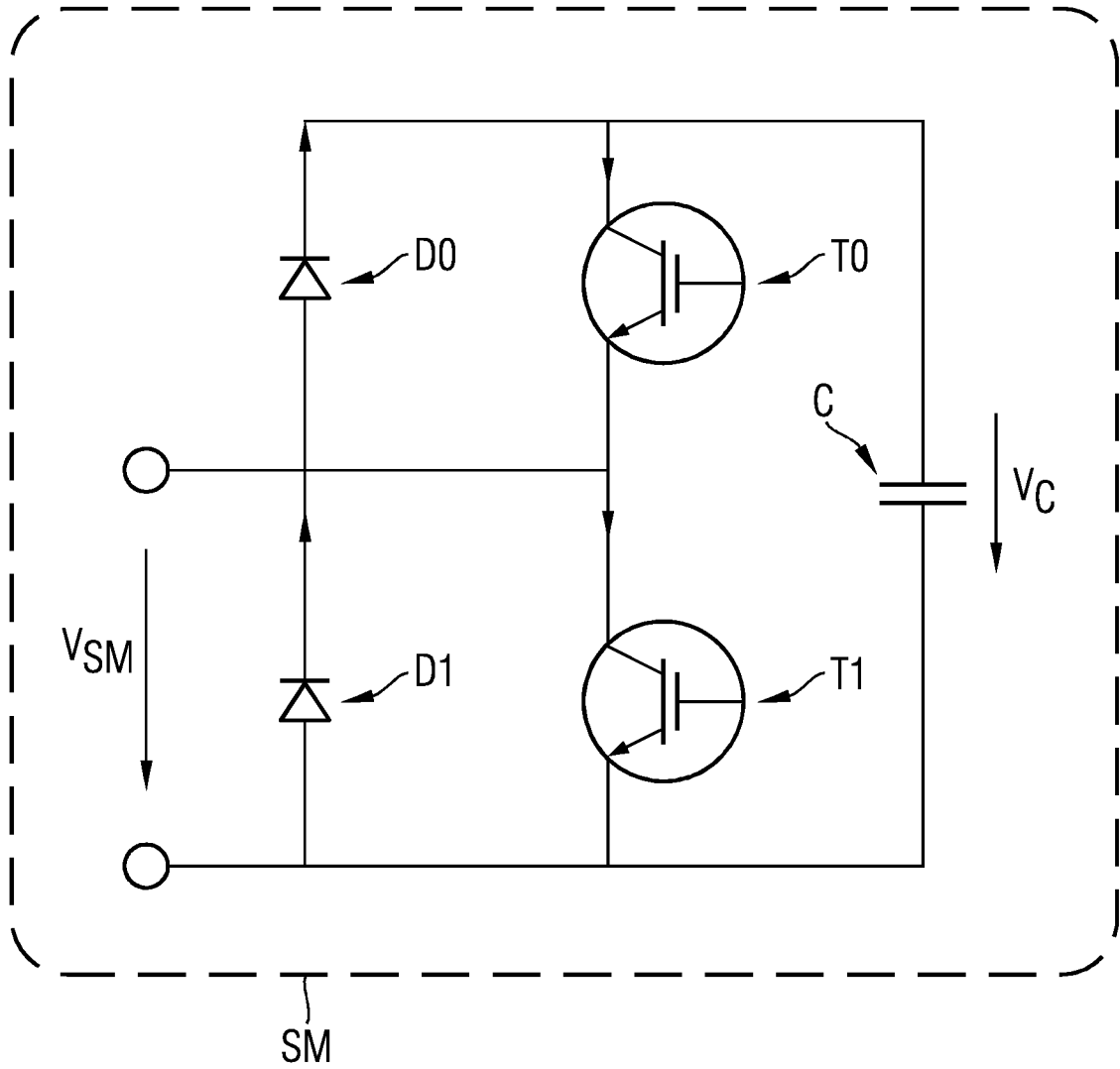


FIG 3



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No  
PCT/EP2017/052958

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER  
INV. B64D31/00 B64D27/02  
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 B60L

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 2013/058789 A1 (DE WERGIFOSSE ERIC [FR]) 7 March 2013 (2013-03-07) paragraph [0032] - paragraph [0075]; figures	1-3,5,11
X	US 2015/130186 A1 (VIEILLARD SEBASTIEN [FR]) 14 May 2015 (2015-05-14) the whole document	1-13
X	US 2011/273011 A1 (DE WERGIFOSSE ERIC [FR]) 10 November 2011 (2011-11-10) paragraph [0024] - paragraph [0054]; figures	1-3,5,11
X	US 5 899 411 A (LATOS THOMAS S [US] ET AL) 4 May 1999 (1999-05-04) column 5, line 30 - column 14, line 45; figures	1-3,5,11
	----- -/--	

Further documents are listed in the continuation of Box C.

See patent family annex.

\* Special categories of cited documents :

<p>"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance</p> <p>"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date</p> <p>"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)</p> <p>"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means</p> <p>"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed</p>	<p>"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</p> <p>"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</p> <p>"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</p> <p>"&amp;" document member of the same patent family</p>
---	---

Date of the actual completion of the international search  21 April 2017	Date of mailing of the international search report  10/05/2017
--	--

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  Rusanu, Irina
--	---

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No  
PCT/EP2017/052958

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 6 351 090 B1 (BOYER SERGE [FR] ET AL) 26 February 2002 (2002-02-26) column 3, line 65 - column 8, line 15; figures -----	1-3,5,11

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No  
PCT/EP2017/052958

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date	
US 2013058789	A1	07-03-2013	BR 112012026515 A2	06-09-2016
			CA 2797287 A1	03-11-2011
			CN 102883950 A	16-01-2013
			EP 2563654 A1	06-03-2013
			FR 2959481 A1	04-11-2011
			RU 2012151266 A	10-06-2014
			US 2013058789 A1	07-03-2013
			WO 2011135236 A1	03-11-2011
-----				
US 2015130186	A1	14-05-2015	CA 2872724 A1	14-11-2013
			CN 104471819 A	25-03-2015
			EP 2847845 A2	18-03-2015
			FR 2990573 A1	15-11-2013
			JP 2015525551 A	03-09-2015
			US 2015130186 A1	14-05-2015
			WO 2013167837 A2	14-11-2013
-----				
US 2011273011	A1	10-11-2011	BR PI1006065 A2	19-04-2016
			CA 2748970 A1	15-07-2010
			CN 102439836 A	02-05-2012
			EP 2377235 A2	19-10-2011
			ES 2550809 T3	12-11-2015
			FR 2941107 A1	16-07-2010
			JP 5754597 B2	29-07-2015
			JP 2012514969 A	28-06-2012
			RU 2011133248 A	20-02-2013
			US 2011273011 A1	10-11-2011
WO 2010079308 A2	15-07-2010			
-----				
US 5899411	A	04-05-1999	NONE	
-----				
US 6351090	B1	26-02-2002	DE 69807169 D1	19-09-2002
			DE 69807169 T2	08-05-2003
			EP 0911515 A1	28-04-1999
			ES 2179440 T3	16-01-2003
			FR 2769952 A1	23-04-1999
			US 6351090 B1	26-02-2002
-----				

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES  
 INV. B64D31/00 B64D27/02  
 ADD.

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole )  
 B64D B60L

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 2013/058789 A1 (DE WERGIFOSSE ERIC [FR]) 7. März 2013 (2013-03-07) Absatz [0032] - Absatz [0075]; Abbildungen -----	1-3,5,11
X	US 2015/130186 A1 (VIEILLARD SEBASTIEN [FR]) 14. Mai 2015 (2015-05-14) das ganze Dokument -----	1-13
X	US 2011/273011 A1 (DE WERGIFOSSE ERIC [FR]) 10. November 2011 (2011-11-10) Absatz [0024] - Absatz [0054]; Abbildungen -----	1-3,5,11
X	US 5 899 411 A (LATOS THOMAS S [US] ET AL) 4. Mai 1999 (1999-05-04) Spalte 5, Zeile 30 - Spalte 14, Zeile 45; Abbildungen ----- -/--	1-3,5,11



Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen



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

21. April 2017

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

10/05/2017

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

Rusanu, Irina

C. (Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	US 6 351 090 B1 (BOYER SERGE [FR] ET AL) 26. Februar 2002 (2002-02-26) Spalte 3, Zeile 65 - Spalte 8, Zeile 15; Abbildungen -----	1-3,5,11

## INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2017/052958

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
US 2013058789 A1	07-03-2013	BR 112012026515 A2	06-09-2016
		CA 2797287 A1	03-11-2011
		CN 102883950 A	16-01-2013
		EP 2563654 A1	06-03-2013
		FR 2959481 A1	04-11-2011
		RU 2012151266 A	10-06-2014
		US 2013058789 A1	07-03-2013
		WO 2011135236 A1	03-11-2011
US 2015130186 A1	14-05-2015	CA 2872724 A1	14-11-2013
		CN 104471819 A	25-03-2015
		EP 2847845 A2	18-03-2015
		FR 2990573 A1	15-11-2013
		JP 2015525551 A	03-09-2015
		US 2015130186 A1	14-05-2015
		WO 2013167837 A2	14-11-2013
US 2011273011 A1	10-11-2011	BR PI1006065 A2	19-04-2016
		CA 2748970 A1	15-07-2010
		CN 102439836 A	02-05-2012
		EP 2377235 A2	19-10-2011
		ES 2550809 T3	12-11-2015
		FR 2941107 A1	16-07-2010
		JP 5754597 B2	29-07-2015
		JP 2012514969 A	28-06-2012
		RU 2011133248 A	20-02-2013
		US 2011273011 A1	10-11-2011
		WO 2010079308 A2	15-07-2010
US 5899411 A	04-05-1999	KEINE	
US 6351090 B1	26-02-2002	DE 69807169 D1	19-09-2002
		DE 69807169 T2	08-05-2003
		EP 0911515 A1	28-04-1999
		ES 2179440 T3	16-01-2003
		FR 2769952 A1	23-04-1999
		US 6351090 B1	26-02-2002