

(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
20. Juli 2017 (20.07.2017)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2017/121633 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:
F16F 7/10 (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2017/000016

(22) Internationales Anmeldedatum:
9. Januar 2017 (09.01.2017)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
16000097.2 15. Januar 2016 (15.01.2016) EP

(71) Anmelder: FM ENERGIE GMBH & CO.KG [DE/DE];
Im Rosengarten 16, 64646 Heppenheim (DE).

(72) Erfinder: MITSCH, Franz; Im Rosengarten 16, 64646
Heppenheim (DE).

(74) Anwalt: BENZ, Jürgen; HEUMANN, RECHTS- UND
PATENTANWÄLTE, Spessartweg 63, 64287 Darmstadt
(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).

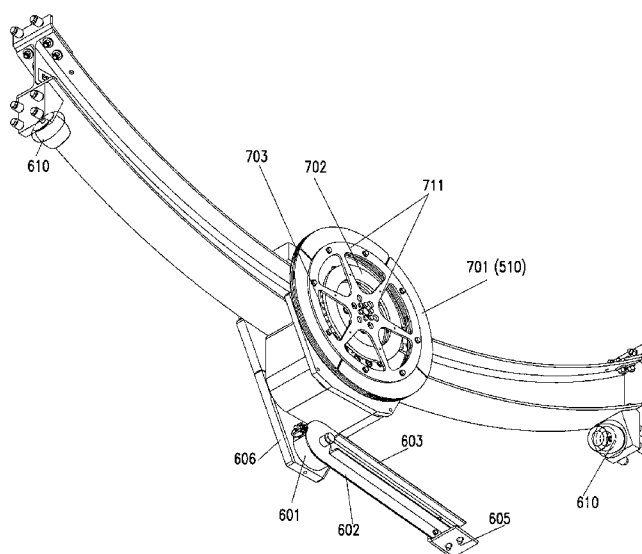
Veröffentlicht:

— mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz
3)

(54) Title: VIBRATION ABSORBER HAVING AN ELECTROMAGNETIC BRAKE FOR WIND TURBINES

(54) Bezeichnung : SCHWINGUNGSTILGER MIT ELEKTROMAGNETISCHER BREMSE FÜR WINDKRAFTANLAGEN

Fig. 11



(57) Abstract: The invention relates to a vibration
absorber, which in the broadest sense is based on a
pendulum device for dampening undesirable vibrations,
which as a result of acting forces, in particular wind
forces, occur in high slender structures, in particular
wind turbines. The invention thereby relates to such
vibration absorbers, in which the pendulum mass can be
entirely or partially or temporarily stopped or braked by
means of an electromagnetic brake depending on the
control of the brake, by way of corresponding power
supply or current regulation.

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft einen
Schwingungstilger, welcher im weitesten Sinn auf einer
Pendelvorrichtung basiert zur Dämpfung von
unerwünschten Schwingungen, welche durch
einwirkende Kräfte, insbesondere Windkräfte in hohen
schlanken Bauwerken, insbesondere Windkraftanlagen
auftreten. Die Erfindung betrifft dabei solche
Schwingungstilger, bei denen die Pendelmass durch
eine elektromagnetische Bremse ganz oder teilweise
oder temporär angehalten oder abgebremst werden kann
je nach Steuerung der Bremse durch entsprechende
Stromzuführung oder Stromregulierung.

Schwingungstilger mit elektromagnetischer Bremse für Windkraftanlagen

Die Erfindung betrifft einen Schwingungstilger, welcher im weitesten Sinn auf einer Pendelvorrichtung basiert zur Dämpfung von unerwünschten Schwingungen, welche durch
5 einwirkende Kräfte, insbesondere Windkräfte in hohen schlanken Bauwerken, insbesondere Windkraftanlagen auftreten. Die Erfindung betrifft dabei solche Schwingungstilger, bei denen die Pendelmasse durch eine elektromagnetische Bremse ganz oder teilweise oder temporär angehalten oder abgebremst werden kann je nach Steuerung der Bremse durch entsprechende Stromzuführung oder Stromregulierung. In einer besonders vorteilhaften
10 Ausführungsform ist der Schwingungstilger ein Rollpendel-Tilger.

Es gibt prinzipiell unterschiedliche Einsatzfälle von Bremsen für Schwingungstilger. Dies gilt sowohl für Schwingungstilger in Windkraftanlagen aber auch für Schwingungstilger in anderen schlanken Bauwerken, wie Türme, Masten, Hochhäuser.

In einem ersten Einsatzfall ist der Schwingungstilger stets frei. Der Tilger, z.B. einer
15 Windkraftanlage ist immer in Betrieb und muss für Wartungszwecke von dem Dämpfer eingefangen und befestigt werden..

In einem zweiten Einsatzfall ist der Tilger bei Betrieb der Anlage fixiert. Der Tilger, z. B. einer Windkraftanlage ist im Betrieb der Anlage ausgeschaltet und soll bei Inbetriebnahme der Anlage oder auch bei Stromausfall eingeschaltet werden. Der Tilger wird in diesem Fall
20 ausschließlich dazu verwendet, um die Anlagen gegen die Karmannsch'e Wirbelanregung zu sichern. Dazu wird der Tilger lediglich im Stillstand der Anlage betrieben. Es muss dabei absolut sichergestellt sein, dass der Tilger bei Stillstand der Anlage und/oder bei Stromausfall sicher eingeschaltet wird.

In einem dritten Einsatzfall schwingt der freischwingende Tilger bei Betrieb der Anlage
25 ungebremst. Bei besonders starken Stößen, welche zum Beispiel durch Windböen verursacht werden, wird beispielsweise der Turm einer Windkraftanlage mitsamt Schwingungstilger starken Beschleunigungen ausgesetzt. Durch diese Beschleunigungen schlägt der Tilger am Endanschlag an. Um den Stoß beim Anschlagen des Tilgers zu verringern oder gar zu verhindern, wird der Tilger mit Hilfe einer Bremse "angebremst".

30 In einem anderen Einsatzfall ist es wünschenswert, die Dämpfung des Tilgers möglichst gering zu halten ,beispielsweise bei den hier beschriebenen Rollpendel-Tilgern, welche eine rotierende Schwungmasse neben einer Hauptmasse aufweisen und auf einer gekrümmten Laufbahn bewegt werden. Die bei diesen ungedämpften Systemen entstehenden

Seitenpeaks sind besonders hoch und können sich deshalb störend auswirken. Deshalb macht es Sinn, den Tilger im Frequenzbereich kleiner oder größer (+/- 10%) als die Turmeigenfrequenz zu bremsen.

So stellt sich die Aufgabe, für die beschriebenen und anderen Einsatzfälle eine

- 5 Bremsvorrichtung für Pendeltilger, insbesondere Rollpendel-Tilger zur Verfügung zu stellen, welche ggf. gezielt und gesteuert durch ein entsprechendes Strommanagement die verschiedenen Brems- und Dämpfungseignisse bedienen kann.

Die Aufgabe wurde durch die Schwingungstilger, wie im Folgenden und in den Ansprüchen beschrieben, gelöst.

- 10 Gegenstand der Erfindung ist somit primär ein Schwingungstilger zur Dämpfung von Schwingungen in Windkraftanlagen, welcher mindestens eine Pendelvorrichtung aufweist, umfassend eine Tilgermasse (1), welche
- (i) an einer Aufhängekonstruktion (2) frei schwingbar befestigt ist, oder alternativ
 - (ii) mit einer zumindest in ihrem mittleren Bereich im Wesentlichen konkav oder
- 15 kreisförmig gekrümmten Laufvorrichtung (507) verbunden ist, auf welcher die Tilgermasse zusammen mit einem angetriebenen rotierenden, rotationssymmetrischen Rotationsmassenbauteil (510) mittels eines rollen- oder räderbetriebenen Fahrwerks (508) hin und her bewegbar ist, wobei der Schwingungstilger erfindungsgemäß eine elektromagnetische Bremsvorrichtung aufweist, welche einen Elektromagneten (101, 201,
- 20 301, 401, 501, 601) umfasst, der an eine federnde Halte- oder Führungsvorrichtung (105, 106, 205, 206, 209, 306, 307, 308, 309, 505, 506, 602) so an dem Schwingungstilger angebracht ist, dass bei Stromfluss im Elektromagneten, der Elektromagnet an die Tilgermasse (1) oder an das mit der Tilgermasse (1) in Verbindung stehende Rotationsmassenbauteil (510) bis zur Berührung herangezogen wird, so dass die Bewegung der Tilgermasse oder des
- 25 Rotationsmassenbauteils dadurch abgebremst oder gestoppt wird, und der Elektromagnet im stromlosen Zustand durch die federnde Halterung oder allein durch sein Gewicht unter Freigabe der Tilgermasse oder des Rotationsmassenbauteils in seine Ausgangslage zurückkehrt. Hierbei wird in einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung die elektromagnetische Bremse durch ein gesteuertes Strommanagement so betrieben wird,
- 30 dass sie das Anhalten oder Abbremsen und wieder Anlaufen der Tilgermasse (1, 510), oder eine variable frequenzabhängige Dämpfung der Bewegung der Tilgermassen und somit der unerwünschten Schwingungen bewirkt.

Im ersten Fall (i) ist der erfindungsgemäße Schwingungstilger ein klassischer Pendeltilger, bei dem die Tilgermasse an Seilen oder Stangen frei in der x-y- Ebene schwingen kann.

Im zweiten Fall (ii) ist der erfindungsgemäße Schwingungstilger eine Rolltilger, welcher wie ein Pendel auf einer gekrümmten Lauffläche, beispielsweise einer Schienenkonstruktion, pendelartig in der x- oder der y-Richtung hin und herläuft.

Die elektromagnetische Bremseinrichtung umfasst erfindungsgemäße im Wesentlichen einen Elektromagneten in einer vorzugsweise flachen scheibenförmigen Ausführungsform, welcher an eine federnde Halte- und Führungsvorrichtung 105, 106, 205, 206, 209, 306, 307, 308, 309, 505, 506, 602) an gebracht ist, sowie eine mechanische und / oder elektronische Einrichtung zur Regelung des Betriebes des Elektromagneten in Abhängigkeit von der Bewegung der Tilgermasse und zwar in der Weise, dass mit Hilfe der Regelung der Tilger komplett angehalten (bei maximalen Stromfluss), gebremst oder wieder angelaufen werden lassen kann (bei Stromlosigkeit oder geringen Stromstärken) oder auch für eine variabel einstellbare Dämpfung des Tilgers verwendet werden kann.

Die erfindungsgemäße elektromagnetische Bremseinrichtung ist mit dem Maschinenteil der zu dämpfenden Vorrichtung verbunden und ist so angeordnet, dass der Elektromagnet bei eingeschaltetem Strom in der Lage ist, sich an die pendelnde Tilgermasse oder an eine Fläche (3), die mit der Tilgermasse in Verbindung steht, anzulegen, und bei Unterbrechung des Stroms sich wieder von dieser zu lösen. Dies wird durch die Federkräfte des federnden Elementes (Blattfeder) bewirkt. Die Kontaktfläche kann dabei erfindungsgemäß eine Platte oder eine Verbreiterung der Tilgermasse an einer ihrer Seiten sein, aber auch ein Flansch (606), der direkt oder indirekt mit der Tilgermasse in Verbindung steht. Aus Platzgründen ist es vorteilhaft, die Bremseinrichtung oberhalb oder unterhalb, vorzugsweise unterhalb der Tilgermasse, bzw. des Rotationsmassenbauteils (510) im Falle eines Rollpendel-Tilgers, zu platzieren.

In einer Ausführungsform der Erfindung umfasst die besagte Halte- und Führungsvorrichtung für den Elektromagneten eine Federvorrichtung, welche eine Blattfeder (105, 205, 505) ist, an deren einem Ende der Elektromagnet (101, 201, 301, 401, 501) befestigt ist, der bei Stromdurchfluss unter Spannung der Blattfeder an die Tilgermasse (1) oder Schwungmasse (510) gezogen wird, und bei Stromlosigkeit durch die gespeicherte Federkraft in die Ausgangslage zurückgeführt wird.

In einer andern Ausführungsform der Erfindung ist die Halte- und Führungsvorrichtung für den Elektromagneten so ausgeführt und angeordnet, dass der Elektromagnet im stromfreien Betrieb sich alleine durch sein Gewicht von der Tilgermasse löst und in die Ausgangslage zurückkehren kann.

In einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung, tritt der Elektromagnet bei Stromfluss nicht unmittelbar in Kontakt mit der zu bremsenden oder dämpfenden Masse (1, 510), da hier ansonsten Metall auf Metall bewegt werden würde. Aus diesem Grund weist erfindungsgemäß der Elektromagnet einen Bremsbelag in Form einer Bremsplatte, eine
5 Bremschicht oder eine Bremsringstruktur (102, 202, 302), wobei dieser Belag ganz oder teilweise die zur zu bremsenden/dämpfenden Masse (1, 510) ausgerichteten Fläche des Elektromagneten bedeckt. Um den ggf. auftretenden Verschleiß des Bremsbelages auszugleichen bzw. zu kompensieren kann der Schwingungstilger des Weiteren eine Vorrichtung (103, 203, 303) zur Einstellung der Dicke und der Nachjustierung des Abstandes
10 des besagten Bremsbelages von der Masse (1, 510) aufweisen.

In einer besonderen Ausführungsform ist der Bremsbelag (102, 202, 302) ein Bremsring ist, der die Randbereiche des Elektromagneten abdeckt und durch Justier Vorrichtungen (103, 203, 303) in Richtung der zu bremsenden Masse bzw. der Kontaktfläche des Elektromagneten verschoben werden kann.

- 15 Der Bremsbelag kann aus für Bremsbeläge üblichen Materialien oder aus einem reibungsbeständigen Elastomer- oder Kunststoffmaterial gefertigt sein. In einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung besteht der Bremsbelag aus Polyurethan-Elastomer, vorzugsweise Polyester-Urethan-Kautschuk, er kann aber auch aus Materialien bestehen, welche üblich für Bremsbeläge sind.
- 20 Eine variable frequenzadaptierte Dämpfung oder Bremswirkung durch die verschiedenen beschriebenen Ausführungsformen des erfindungsgemäßen Tilgers geschieht vorzugsweise in dem die Bremse elektrisch/elektronisch angesteuert wird. Dabei wird der Bremsimpuls beispielsweise mit Hilfe eines Schwingungs-Messsystems ausgelöst, welches auf hohe Beschleunigungen anspricht und auf einen variablen Auslöse-Sollwert eingestellt werden
25 kann ($0,8\text{m/s}^2$ bis 2 m/s^2 , der Wert ist abhängig von der Eigenfrequenz des Turmes; bei einer Eigenfrequenz von $0,25\text{Hz}$ und $0,5\text{m}$ Turm-Amplitude entsteht eine Beschleunigung von $1,23\text{m/s}^2$). Das Auslösen der Bremse bewirkt eine Reibung zwischen Bremsbelag und Tilgermasse, so dass verhältnismäßig kleine Kräfte über einen längeren Zeitraum als bei einem Endanschlag üblich ist, übertragen werden können.
- 30 Grundsätzlich wird das Bremsen mittels der erfindungsgemäßen Schwingungstilger mit einem elektrischen Spulenmagneten erreicht, an welchem bei Anlagenbetrieb eine elektrische Spannung anliegt, sodass der Eisenkern als Magnet in Betrieb ist. Sobald keine Spannung an dem Eisenkern anliegt, verliert er seine magnetische Wirkung, die Bremse schaltet sich ab und der Schwingungstilger, bzw. dessen Pendelmasse wird freigeschaltet.

Aufgrund von Geräusch und Korrosionsschutz ist es zweckmäßig, einen direkten metallischen Kontakt zwischen Elektromagnet und Tilger(masse) zu vermeiden. Deshalb wird erfindungsgemäß ein Bremsbelag (Bremsplatte, 102) auf oder um den Magneten umschlingend angeordnet, vorgeschlagen. Dieser Bremsbelag kann auch im Zentrum eines ringförmigen Magneten angeordnet sein. Damit der Magnet keine Metallberührung bekommt ist die Bremsplatte (102) etwa 0,5 mm bis 1 mm überstehen angeordnet. Um den Verschleiß ausgleichen zu können, ist die Lage der Bremsplatte, mit einer Justiereinrichtung (103), beispielsweise Schrauben einstellbar.

Alternativ oder auch ergänzend ist es möglich den gesamten Elektromagneten mit einem Bremsbelag in 0,5 mm bis 1 mm Dicke zu beschichten. Die reibungsbehaftete Oberfläche des Bremsbelages (102) kann beispielsweise aus einem Kunststoff oder auch aus einem organischen Werkstoff mit einem hohen Reibungskoeffizienten bestehen. Beispiele hierfür sind Polyurethane, insbesondere Polyester-Urethan-Elastomere, wie insbesondere Vulkollan®, welches einen für diese Zwecke sehr geringen Verschleiß aufweist, so dass es ausreicht, wenn der Bremsbelag nur 0,5 - 1 mm übersteht.

In einer besonderen und vorteilhaften Ausführungsform der Erfindung ist der Schwingungstilger ein Rollpendel-Tilger, bei dem sich die Tilgermasse (1, 510) auf einem Fahrwerk befindet, welches auf einer gekrümmten Laufschiene wie die Bewegung eines klassischen Pendels in einer Ebene hin und her bewegen kann.

Gegenstand der Erfindung ist somit ein Schwingungstilger, bei dem die Pendelvorrichtung mit einer zumindest in ihrem mittleren Bereich im Wesentlichen konkav oder kreisförmig gekrümmten Laufvorrichtung (507) verbunden ist, auf welcher die Tilgermasse (1) zusammen mit dem rotierenden Rotationsmassenbauteil (510) mittels eines rollen- oder räderbetriebenen Fahrwerks (508) hin und her bewegbar ist, wobei das Rotationsmassenbauteil eine Rotationsachse senkrecht zur Ebene der Kreisbahn der Laufvorrichtung aufweist, und die Rotationsrichtung des Rotationsmassenbauteils im Wesentlichen der jeweiligen Richtung des bewegten Fahrwerks (508) entlang der Laufvorrichtung (507) entspricht. Ein solcher typischer Rollpendel-Tilger gemäß der Erfindung wird im Folgenden ausführlicher dargestellt.

Das Rotationsmassenbauteil (510) sollte erfindungsgemäß eine einstellbare variable rotierende Masse (512, 701) aufweisen, die in Abhängigkeit vom Durchmesser 1% - 30% der Tilgermasse (1) entspricht. Das Rotationsmassenbauteil (510) umfasst im Wesentlichen ein angetriebenes Schwungrad (611, 711) mit Antriebsachse oder Welle und ggf. einem Wälzlager und einer oder mehreren Massenscheiben (512, 701) oder Scheibensegmenten

hiervon, welche auf die Achse oder Welle des Schwungrades aufgeschoben oder an dieser befestigt werden können und zusammen mit dem Schwungrad rotieren. Das Rotationsmassenbauteil (510) weist eine einstellbare variable rotierende Masse (512, 701) auf, die in Abhängigkeit vom Durchmesser vorzugsweise 1% - 30% der Tilgемasse (1) entspricht. Das Schwungrad (611, 711) weist in einer weiteren Ausführungsform eine Vorrichtung auf, die es ermöglicht, den Durchmesser der Massenscheiben oder Massenscheibensegmente des Rotationsmassenbauteils zu verändern, oder den Massenschwerpunkt der rotierenden Scheiben oder Scheibensegmente radial nach außen oder innen zu verändern. Ferner können auch Massenscheiben mit unterschiedlichem Durchmesser eingesetzt werden. Hierdurch ist eine variable Frequenzanpassung des Tilgers und Dämpfung durch den Tilger möglich.

In einer weiteren Variante des beschriebenen Roll-Pendeltilgers weist dieser einen zusätzlichen Wirbelstromdämpfer auf, der im Rotationsmassenbauteil (510) untergebracht und wirksam ist, und primär auf die Schwungmasse Einfluss nimmt. Der Wirbelstromdämpfer umfasst dabei eine aus Permanentmagneten bestehenden Magnetanordnung (703) und eine elektrisch leitende, nicht magnetisierbare Metallscheibe (702) (Leiterscheibe). Die Magnetanordnung (703) kann dabei im Umfang des Schwungrades (711, 611) angeordnet sein, wobei die metallische Leiterscheibe (702) zwischen Magnetanordnung und Schwungmasse (512, 701) fest angebracht ist. Alternativ ist das Schwungrad (711, 611) mit der mitrotierenden metallischen Leiterscheibe (702) versehen oder ist selbst die Leiterscheibe, und die gegenüberliegende Magnetanordnung (703) ist auf einer nicht-mitrotierenden Platte angeordnet, welche sich zwischen Schwungrad (711, 611) und Schwungmasse (512, 701) befindet.

Die Laufvorrichtung (507) weist eine, vorzugsweise zwei parallel geführte Laufschienen (beispielsweise zwei T-Schienen) auf, auf denen das Fahrwerk (508) mit der Tilger-Hauptmasse (1) und der rotierenden Schwungmasse (510) auf mindestens zwei Laufrädern oder Laufrollen auf der Laufvorrichtung hin und her bewegt werden kann. In einer bevorzugten Ausführungsform ist mindestens eine Laufschiene und / oder mindestens ein Laufrad der Laufvorrichtung (507) mit einer die Reibkräfte steigernde Beschichtung, Auflage oder Oberflächenstruktur für die Laufflächen ausgestattet. Zur verbesserten Haftung und erhöhten Reibung weisen die Antriebs- bzw. Laufräder zumindest teilweise eine reibungserhöhende Laufflächenstruktur auf. In einer besonderen Ausführungsform umfasst die Auflage einen Zahnriemen bzw. eine Zahnstruktur. Zur weiteren Verbesserung kann in das Antriebssystem des Rotationsmassenbauteils (510) auch eine Rutschkupplung (700) integriert sein.

Der beschriebene, mit einer erfindungsgemäßen Bremsvorrichtung ausgestattete Roll-Pendeltilger ist hervorragend geeignet, Schwingungen unter 5 Hz, insbesondere < 1 Hz, insbesondere < 0.5 Hz, vorzugsweise zwischen 0.1 und 0.25 zu dämpfen. Für die entsprechenden Frequenzänderungen sind dabei nur kleine Massen notwendig, die etwa

5 1/20 bis 1/4, vorzugsweise etwa 1/10 der schwingenden Hauptmasse betragen, was ein deutlicher Vorteil gegenüber vergleichbare Schwingungstilger des Standes der Technik ist. So kann die Frequenz einer schwingende Hauptmasse von 250 kg mit einer Rotationsmasse von rund 65 kg mit einem Durchmesser von 0.25m um 20 – 30% verändert werden bei einer Länge der Laufvorrichtung von 2.5 m – 3.5 m. Bei einem Durchmesser der Rotationsmasse
10 von 0.5 m ist für den gleichen Effekt lediglich eine Rotationsmasse von rund 15 kg notwendig, und bei einem Durchmesser von 0.75 m eine Rotationsmasse von etwa 7 kg. Weiter kann die Frequenz einer schwingende Hauptmasse von 500 kg mit einer Rotationsmasse von rund 130 kg mit einem Durchmesser von 0.25m um 20 – 30% verändert werden bei einer Länge der Laufvorrichtung von 2.5 m – 3.5 m. Bei einem Durchmesser der Rotationsmasse von 0.5
15 m ist für den gleichen Effekt lediglich eine Rotationsmasse von rund 30 kg notwendig, und bei einem Durchmesser von 0.75 m eine Rotationsmasse von etwa 15 kg. Weiter kann die Frequenz einer schwingende Hauptmasse von 1000 kg mit einer Rotationsmasse von rund 250 kg mit einem Durchmesser von 0.25m um 20 – 30% verändert werden bei einer Länge der Laufvorrichtung von 2.5 m – 3.5 m. Bei einem Durchmesser der Rotationsmasse von 0.5
20 m ist für den gleichen Effekt lediglich eine Rotationsmasse von rund 65 kg notwendig, und bei einem Durchmesser von 0.75 m eine Rotationsmasse von etwa 30 kg.

Durch Einsatz eines solchen Tilgers ist es erfindungsgemäß möglich, eine Frequenzänderung der Eigenschwingung um bis zu 30%, vorzugsweise bis 20%, insbesondere bis 10 oder 15% vorzunehmen, je nach gewählter Rotationsmasse bzw. Trägheitsmoment sowie anderen
25 konstruktiven Eigenschaften dieser rotierenden Masse, welche etwa 1% bis 30% der Hauptmasse entspricht.

Generell kann die Frequenz unter anderem durch folgende Maßnahmen alleine am Schwungrad verändert werden: (i) Größe der Masse , (ii) Position der Masse bzw. des Massenschwerpunktes auf der Achse: so verändert sich das Massenträgheitsmoment, wenn
30 die Masse entlang der Achse axial nach außen oder nach innen geschoben wird, (iii) Position der Masse bzw. des Massenschwerpunktes in Bezug auf den Durchmesser des rotierenden Bauteils und (iv) Länge und Krümmung der Laufvorrichtung. So kann in einer besonderen Ausführungsform der Erfindung der Massenschwerpunkt mittels einer Verschiebeeinrichtung radial nach innen oder außen verschoben werden, was ebenfalls zu einer Änderung des
35 Massenträgheitsmomentes führt, wodurch wiederum Einfluss auf die Eigenfrequenz

genommen werden kann. In einer einfacheren Variante können einfach im Durchmesser größere oder kleinere Massenscheiben (bei gleicher Gesamt-Rotationsmasse) auf das Schwungrad montiert werden.

Die erfindungsgemäßen Tilger, insbesondere die besonders vorteilhaften Rollpendel-Tilger
 5 zeigen hervorragende dämpfende Eigenschaften in Türmen und Gondeln von
 Windkraftanlagen, aber auch bei anderen Schwingungen ausgesetzten hohen und schlanken
 Bauwerken in einem variabel einstellbaren Frequenzbereich, der auf die Eigenfrequenzen
 des zu dämpfenden Schwingungssystem abgestimmt ist, bei Windkraftanlagen in einem
 Bereich vorzugsweise zwischen 1 und 20 Hz. Wie bereits erwähnt, ist es durch die
 10 Bremsvorrichtung auch möglich, eine Feinabstimmung der Frequenz des Tilgers
 durchzuführen, wobei auch Werte gewählt werden können, die leicht ober- oder unterhalb der
 Eigenfrequenz der Anlage liegen, um somit bestimmten Schwingungsproblemen zu
 begegnen.

Die erfindungsgemäßen Schwingungstilger mit den beschriebenen elektromagnetischen
 15 Bremsen können in den verschiedensten Ausgestaltungen und Anordnungen am und im
 Tilger vorliegen. Beispiele sind in den Fig. 1 – 13 gezeigt, welche im Folgenden näher
 beschrieben werden.

Dabei bedeuten die verwendeten Bezugsgrößen folgendes:

Schwingungstilger:

- | | | |
|----|-----|---|
| 20 | 1 | Tilgermasse |
| | 2 | Aufhängekonstruktion |
| | 3 | Platte oder Flansch als Kontaktfläche für elektromagnetische Bremse |
| | 506 | Befestigungskonstruktion |
| | 507 | Laufschiene / Laufvorrichtung |
| 25 | 508 | Antriebs-Rollen / Fahrvorrichtung |
| | 509 | Feststellbremse für Schwungmasse |
| | 510 | Rotationsmassenbauteil umfassend ein Schwungrad und eine Schwungmasse |
| | 511 | Schwungrad |
| | 512 | Schwungmasse |
| 30 | 606 | Platte / Flansch als Kontaktfläche für elektromagnetische Bremse |
| | 610 | Anschlagpuffer Laufschiene |
| | 700 | Rutschkupplung umfassend Kupplungsscheibe 706 und Druckfederteil (709, 710) |
| | 701 | Schwungmasse/Rotationsmasse |
| | 702 | Wirbelstrom-Leiterplatte |
| 35 | 703 | Wirbelstrom-Magnetelemente/ Platte mit Magentelementen |
| | 706 | Kupplungsscheibe / Belegascheibe |
| | 707 | Antriebswelle |
| | 708 | Gleitlager |
| | 709 | Druckfeder |
| 40 | 710 | Druckfeder-Vorspannscheibe |
| | 711 | Schwungrad (mit oder ohne Speichen) |
| | 713 | Antriebsrolle mit Verzahnung |
| | 712 | Wälzlager – Antriebsrolle |

Elektromagnetische Bremse:

4	Magnetbremse offen (mit Luftspalt)
5	Magnetbremse geschlossen
100	Bremseinrichtung (komplett)
101	Elektromagnet
102	Bremsplatte
103	Justierschrauben für Bremsplatte
104	Überstand der Bremsplatte über Magneten
105	Blattfeder
106	Befestigungskonstruktion
200	Bremseinrichtung (komplett)
201	Elektromagnet
202	Bremsplatte
203	Justierschrauben für Bremsplatte
205	Blattfeder
205a	vorgezogene Blattfeder
206	Befestigungskonstruktion
207	Magnetführung am Außendurchmesser
208	Magnetführung durch Nocken die in den Bremsbelag hineinragen.
209	Magnethalterung
301	Elektromagnet
302	Bremsplatte / Bremsbelag
303	Justierschrauben für Bremsplatte / Bremsbelag
304	Überstand der Bremsplatte über Magneten
306	Befestigungskonstruktion
307	Magnetführung am Außendurchmesser
308	Magnetführung durch Nocken die in den Bremsbelag hineinragen
309	Magnethalterung
310	Magnetauflage
311	Bremsbelag Abstützplatte
412	Magnetführung durch Nocken die in den Bremsbelag hineinragen
413	untere Halteplatte
501	Elektromagnet
502	Bremsplatte
503	Justierschrauben für Bremsplatte
504	Überstand der Bremsplatte über Magneten
505	Blattfeder
514	Magnet-Spalt ungebremst
515	Magnet-Spalt gebremst
601	Elektromagnet
602	Blattfeder
603	Versteifungselement
604	Dämmelement
605	Befestigung für Bremseinrichtung an der Tilgerkonstruktion

Detailliertere Beschreibung der Erfindung unter Hinzuziehung der Abbildungen:

Fig. 1 bis 3 zeigen einen Schwingungstilger für einen Turm, insbesondere einer Windkraftanlage, welcher beispielsweise mit drei elektromagnetischen Bremseinrichtungen (100, 200) ausgestattet ist. Diese Bremseinrichtungen bestehen im Wesentlichen aus einer Haltevorrichtung mit einer Blattfeder, an deren einem Ende ein stromregulierbarer Elektromagnet angebracht ist. Die Anbringung ist dabei von der Art, dass bei Stromfluss, der Elektromagnet an die metallische Außenwand der Tilgermasse (1) oder einer metallischen Kontaktfläche (3) gezogen wird, und dabei die an ihm befestigte Blattfeder (105, 2015)

spannt. Durch das Anlegen des Elektromagneten an die Tilgermasse oder eine Kontaktfläche, die mit der Tilgermasse in Verbindung steht, wird die Pendelbewegung der Tilgermasse falls gewünscht, bis zum Stillstand gebremst. Durch ein variierbares im Voraus berechnetes Strommanagement (Variation der Magnetstärke durch Veränderung des Stromflusses) kann gezielt auf die Schwingung des Pendels und damit auf Dämpfung des durch den Tilger zu dämpfenden Systems Einfluss genommen werden. Bei Abschalten des Stroms und Unterbrechung der Magnetwirkung, wird die Bremseinrichtung durch die vorhandene Federspannung wieder in die Ausgangslage geführt.

Prinzipiell ist es möglich, an einem Schwingungstilger mehrere derartiger elektromagnetischer Bremsen zu installieren und anzuordnen, wie dies gezeigt ist. Die Anordnung erfolgt dabei vorzugsweise so, dass alle denkbaren Bewegungsrichtungen der Pendelvorrichtung ermöglicht werden. Bei einem klassischen aufgehängten Pendel mit Masse am Pendelende können die elektromagnetischen Bremseinrichtungen unterhalb der Pendelmasse oder oberhalb davon angeordnet sein, abhängig vom zur Verfügung stehenden Platz. Diese können wie in Fig. 1 und 3 gezeigt, unterhalb der Schwungmasse angeordnet werden oder wie in Fig. 2 dargestellt, auch oberhalb der Schwungmasse angeordnet werden. Diese können direkt auf die Tilgermasse wirken oder auch gemäß Fig. 2 auf Elemente wirken, welche außerhalb der Masse angeordnet sind.

Durch die Anzahl der Bremseinrichtungen (üblicherweise 1 – 3 oder 4) und ihre Verteilung im Bereich der Tilgermasse kann ebenfalls Einfluss auf die Brems- und Dämpfungswirkung genommen werden. Die Tilgermasse ist erfindungsgemäß Stahl oder Stahllegierung. Falls die Tilgermasse nicht aus magnetisierbarem Material besteht, müssen an dieses entsprechende Kontaktflächen oder Flansche aus Stahl oder Stahllegierung angebracht sein, die mit dem Elektromagneten in Kontakt treten können.

Fig. 4 bis 7 zeigen diverse Ausführungsformen, Ausgestaltungen und Anordnungen der erfindungsgemäßen Bremseinrichtung unter Verwendung beispielsweise von Verstärkungsbügeln und Bremsbelägen, die im Detail weiter wie folgt beschrieben werden.

Variante 1: Diese Variante stellt die einfachste Ausführung dar. Das Kernstück, der Elektromagnet (101), ist mit einer Blattfeder befestigt. Die Blattfeder (105) wird in ihrer Befestigungs konstruktion (106) so eingestellt, dass der Magnet einen maximalen Luftspalt (4) von beispielsweise 5 mm erreicht. Die Verbiegung der relativ langen Blattfeder ermöglicht die Bewegung von ca. 5 mm mit kleiner Anziehungskraft. Statt der langen Blattfeder ist auch der Einsatz kürzerer Federn, welche in einer Zickzackform ausgeführt sind, so dass die Biegelänge entsprechend länger wird. Da die Blattfeder auch Querkräfte aufnehmen muss, ist

diese relativ breit. Allgemein können erfindungsgemäß Blattfedern mit der Dicke von ca. 5 mm und der Breite von etwa 100-200 mm mit einer Länge von etwa 300-500 mm verwendet werden.

Variante 2: Bei dieser Variante kann eine verhältnismäßig dünne Blattfeder von 2 mm bis 4 mm, vorzugsweise 3 mm Dicke verwendet werden. Die Kraftübertragung erfolgt durch die Magnethalterung (209). Diese ist an der Befestigung Konstruktion (206) angebracht und umschlingt den Magneten (201) mit einer Gleitführung (207). Alternativ zu der beschriebenen Gleitführung kann der Magnet über die am Magnet Formschlüssig angebrachten Bremsplatte (202) mit den Nocken (208) geführt werden. Den Nocken (208) sind an der Magnethalterung (209) befestigt. Damit braucht die Blattfeder keine radialen Lasten übertragen.

Variante 3: Bei dieser Variante (Abb. 6) wird auf eine Blattfeder verzichtet. Der Elektromagnet arbeitet nach oben und fällt durch Schwerkraft nach dem Lösen des Magneten (durch Stromabschaltung oder Stromverminderung) nach unten auf die Magnetauflage (310). Zum Einstellen und Abstützen der Bremsplatte (302) dient die Bremsbelag-Abstützplatte (311).

Variante 4: Ähnlich wie bei Variante 2 wird hier nur eine dünne Blattfeder, 405 benötigt, welche lediglich die Führung des Magneten übernimmt (Abb. 7)

Fig. 8 zeigt ein typisches Diagramm zwischen Magnetkraft und Abstand des Magneten zur Metallplatte (Tilgermasse). Der Elektromagnet hat erfindungsgemäß in der Regel einen Abstand von ca. 3 – 10 mm, vorzugsweise etwa 5 mm zum Tilger, bzw. zur entsprechenden bewegten Tilgermasse (1, 510), die abgebremst werden soll. Dieser Abstand kann beispielsweise aufgrund weicher Blattfedern mit relativ kleiner Kraft zum schwingenden Element eingehalten werden. Dabei ist zu beachten, dass mit kleiner werdendem Abstand die Magnetkraft überproportional ansteigt, wie dies in Fig. 8 gezeigt ist. Bei dem gezeigten Beispiel beträgt die Magnetkraft bei einem Abstand des Elektromagneten von 5 mm noch mehr als 200-Newton. Das reicht aus, um den Elektromagneten gegen die entgegen gerichtete Federkraft der Blattfeder in Richtung der schwingenden Masse zu bewegen. Für besondere Einsatzfelder kann die Anziehungskraft verstärkt werden, so dass größere Abstände und-oder steifere Blattfedern möglich sind. Da der Magnet augenblicklich angezogen wird, wird nur ein sehr kurzer Kraftimpuls benötigt. Dazu kann es zweckmäßig sein, kurzzeitig eine höhere elektrische Spannung zur Verfügung zu stellen. Diese kann beim Zuschalten des Magneten über einen kurzen Spannungstoß (zum Beispiel Kondensatorentladung) erfolgen. Da die höhere Spannung und damit auch höhere

Erwärmung nur über einen kurzen Zeitraum stattfindet, muss der Magnet aufgrund der geringen thermischen Energie nicht für die hohen Spannungen ausgelegt sein.

Fig. 9 – 13 zeigen einen erfindungsgemäßen Schwingungstilger, der als Roll-Pendeltilger, der sich auf eine gekrümmten Laufbahn bewegt, und mit einer rotierenden Schwungmasse
5 ausgestattet ist, die sich zusammen mit der Laufvorrichtung entlang der gekrümmten Laufbahn bewegt.

Der Schwingungstilger wird hierbei gebildet von einer an den Enden nach oben gekrümmten Lauffläche (507) mit zwei parallel verlaufenden Laufschiene. Auf dieser Laufvorrichtung wird entsprechend der Schwingungen der Anlage ein Fahrwerk (508) mit Rädern oder Rollen hin
10 und her bewegt. Das Fahrwerk mit den Rollen oder Rädern umfasst auch die Tilgermasse (1) sowie ein rotierendes Schwungrad (511, 711) mit einer Schwungmasse (512, 701), die ggf. variiert werden kann. Schwungrad und Schwungmasse bilden die Kernkomponenten des Rotationsmassenbauteils (514, 701). Tilgermasse und Schwungmasse bewegen sich mit dem Fahrwerk. Die Konstruktion ist mit einer oder mehreren elektromagnetische Bremsen,
15 wie beschrieben, ausgestattet, welche die Bewegungen der Tilgerhauptmasse und/oder der Schwungmasse abbremesen oder dämpfen können.

Die Laufvorrichtung des erfindungsgemäßen Tilgers besitzt, wie gesagt eine zumindest im mittleren Bereich eine gekrümmte Form, die weitgehend der Kreisform entspricht. Die Laufvorrichtung kann insbesondere in ihren beiden Endabschnitten auch weitgehend linear
20 sein oder eine Hyperbelform aufweisen. Das Laufprofil kann auch kreisförmig sein mit am Ende anderen Radius als im Mittelbereich. Die Länge der Laufvorrichtung, welche das Fahrwerk mit der Tilger-Hauptmasse und der Rotationsmasse durch Abrollen zurücklegen kann, kann den Platznotwendigkeiten in der Anlage angepasst sein. Für Windkraftanlagen hat sich gezeigt, dass eine Länge von 2 m bis etwa 5 m am geeignetsten ist, vorzugsweise
25 zwischen 3 bis 4 m. Die beiden anderen Dimensionen können wesentlich kleiner ausfallen. Der Durchmesser der Rotationsmasse für einen Tilger dieser Größe kann etwa zwischen 0.25 m und 0.75 m gewählt werden, obwohl auch Durchmesser > 0.75m einsetzbar sind. Ein Tilger mit solchen Ausmaßen kann im Prinzip nicht nur im Turm einer Windkraftanlage sondern auch in der Gondel innen oder außen angebracht werden.

30 Generell ist es erfindungsgemäß möglich, dass das Fahrwerk mit mehreren Antriebsrädern und damit auch mehreren rotierenden Schwungmassen, insbesondere zwei Schwungmassen bzw. Rotationsmassenbauteilen ausgerüstet wird. Die Größe bzw. der Durchmesser des auf der Laufschiene oder dem Laufrohr sich drehenden Antriebsrades bestimmt mit die Drehzahl des Rades und damit auch die Drehzahl des mit ihm verbundenen Schwungrades und der

Rotationsmasse. Auch mit einer veränderbaren Drehzahl kann Einfluss auf die Frequenzeinstellung des Tilgers genommen werden. So ist es auch möglich die Drehzahl des Schwungrades durch Einbau eines Getriebes um ein Vielfaches gegenüber dem Antriebsrad zu erhöhen.. Es ist ferner auch möglich, das Antriebsrad und damit das Schwungrad des

5 Rotationsmassenbauteils oder das Schwungrad selbst aktiv durch einen Motor anzutreiben.

Das Rotationsmassenbauteil (510) umfasst erfindungsgemäß ein Schwungrad aus Metall, Kunststoff, Karbonfaser oder einem Verbundwerkstoff. Vorzugsweise besteht es aus Stahl oder Aluminium und kann in einer leichten Bauweise auch in einer mit Speichen versehenen Variante vorliegen. Das Schwungrad weist eine zentrale Welle oder Achse, die als Wälzlager

10 ausgestaltet sein kann, auf, mit der es auf der einen Seite über ein Antriebsrad mit dem Fahrwerk verbunden ist. Auf der anderen Seite befinden sich die Rotationsmasse / Schwungmasse (512, 701), die ebenso wie das Schwungrad (511, 711) rotiert. Die Rotationsmasse kann durch eine oder mehrere Scheiben von kleinerem oder größerem Durchmesser oder durch Massenelemente gebildet werden, welche entlang des Umfanges

15 des Schwungrades oder eines kleineren oder größeren Radius fest oder radial nach außen oder innen verschiebbar angeordnet sind. Hierdurch kann Einfluss auf die Eigenfrequenz des Schwingungssystems genommen werden.

Die Achse oder Welle des Schwungrades und damit der Rotationsmasse ist so ausgerichtet, dass die Ebene des Rades weitgehend parallel zu den anderen Laufrädern auf den Schienen

20 bzw. dem Laufrohr angeordnet ist, so dass im optimalen Fall die Drehrichtung der Rotationsmasse der Richtung der Laufvorrichtung und damit der Richtung des Fahrwerks entspricht. Durch Variation der Massenscheiben oder der Massenscheibensegmente kann die Frequenz und damit die Dämpfung beeinflusst werden.

Eine Ausführungsform eines solchen Rollpendel-Tilgers mit entsprechender

25 Bremsvorrichtung wird in Fig. 9 und 10 dargestellt. Diese weist eine Laufvorrichtung aus zwei parallel geführten Laufschiene (hier als doppelte T-Schiene ausgeführt), und ein Fahrwerk mit zwei hintereinander angeordneten freilaufenden Laufrädern, die auf der ersten Laufschiene laufen, und ein Antriebsrad auf, welches auf der zweiten Laufschiene gegenüber den beiden freien Laufrädern angeordnet ist und mit einem nach außenweisenden

30 Schwungrad (511, 711) mit mindestens einer Massenscheibe (512) verbunden ist. Das Rotationsmassenbauteil (510) ist auf dem Fahrwerk angebracht, bzw. ein Teil desselben.

Fig. 11 – 13 zeigen weitere vorteilhafte Ausführungsformen eines erfindungsgemäßen Roll-Pendeltilgers mit einer erfindungsgemäßen Bremseinrichtung, wie beschrieben, sehr platzsparend unterhalb des Fahrwerkes und unterhalb der Laufschiene. Das

Rotationsmassenbauteil (510, 701) weist dabei eine zusätzliche Dämpfungseinrichtung in Form eines Wirbelstromdämpfers (702, 703), wie oben beschrieben, auf. (Fig. 11, Fig. 13)

5 Damit die Bremse im nicht gebremstem Zustand nicht ins Flattern geraten kann, und auch nicht die relativ sensible Blattfeder (602) mit der Bremsbefestigung durch Fehlbehandlung verbogen werden kann, kann diese mit einer Versteifungsleiste (603) abgestützt werden. Um ein Aufschwingen der Blattfeder (602) zu verhindern, ist zwischen Blattfeder und Versteifungsleiste (603) ein dämpfendes Gummielement (604) platziert. Die Blattfeder drückt mit einer leichten Vorspannung gegen das Gummielement (604), so dass dieses im nicht gebremstem Zustand leicht vorgespannt ist, was ein Aufschwingen der Bremse verhindert
10 (Fig. 12).

Ferner besteht bei extremen Lastbedingungen die Gefahr, dass der Tilger mit relativ großer Geschwindigkeit gegen den Anschlagpuffer (610) am Ende der Laufschiene (507) fährt.

Da sich die rotierende Schwungmasse (701) in diesem Fall weiter drehen will, würden große Lasten auf die Antriebsrolle (713) wirken. Um dies zu verhindern, ist eine Überlast-
15 Rutschkupplung (700) vorgesehen. Bei dieser werden Kupplungsbelag-Scheiben von einer Druckfeder (709) mit einer Druckfeder-Vorspannscheibe (710) zusammengepresst. Die Druckfeder (709) ist so stark vorgespannt, dass die Reibung der Kupplungsbelag-Scheiben das für den Normalbetrieb erforderliche Drehmoment übertragen. Treten höhere Lasten auf so geschieht eine Relativbewegung zwischen der Antriebsrolle mit Verzahnung (713) und der
20 Antriebswelle (701) für Rotation-Schwungmasse (701), so dass keine unerträglichen Lasten zwischen der Antriebsrolle und der Verzahnung mehr wirksam werden können (Fig. 13).

Patentansprüche:

1. Schwingungstilger zur Dämpfung von Schwingungen in Windkraftanlagen, welcher mindestens eine Pendelvorrichtung aufweist, umfassend eine Tilgermasse (1), welche
(i) an einer Aufhängekonstruktion (2) frei schwingbar befestigt ist, oder
5 (ii) mit einer zumindest in ihrem mittleren Bereich im Wesentlichen konkav oder kreisförmig gekrümmten Laufvorrichtung (507) verbunden ist, auf welcher die Tilgermasse zusammen mit einem angetriebenen rotierenden, rotationssymmetrischen Rotationsmassenbauteil (510) mittels eines rollen- oder räderbetriebenen Fahrwerks (508) hin und her bewegbar ist,
10 **dadurch gekennzeichnet**, dass der Schwingungstilger eine elektromagnetische Bremseinrichtung (100, 200) aufweist, welche einen Elektromagneten (101, 201, 301, 401, 501, 601) umfasst, der an eine federnde Halte- oder Führungsvorrichtung (105, 106, 205, 206, 209, 306, 307, 308, 309, 505, 506, 602) so an dem Schwingungstilger angebracht ist, dass bei Stromfluss im Elektromagneten, der Elektromagnet an die
15 Tilgermasse (1) oder an das mit der Tilgermasse (1) in Verbindung stehende Rotationsmassenbauteil (510) bis zur Berührung herangezogen wird, so dass die Bewegung der Tilgermasse oder des Rotationsmassenbauteils dadurch abgebremst oder gestoppt wird, und der Elektromagnet im stromlosen Zustand durch die federnde Halterung oder allein durch sein Gewicht unter Freigabe der Tilgermasse oder des
20 Rotationsmassenbauteils in seine Ausgangslage zurückkehrt, wobei die elektromagnetische Bremse durch ein gesteuertes Strommanagement so betrieben wird, dass sie das Anhalten oder Abbremsen und wieder Anlaufen der Tilgermasse (1, 510), oder eine variable frequenzabhängige Dämpfung der Bewegung der Tilgermassen und somit der unerwünschten Schwingungen bewirkt.
- 25 2. Schwingungstilger nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Federvorrichtung eine Blattfeder (105, 205, 602) ist, an deren einem Ende der Elektromagnet (101, 201, 301, 401, 501, 601) befestigt ist.
3. Schwingungstilger nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Blattfeder (105, 205, 602) ein Versteifungselement (603) aufweist, und zwischen Blattfeder und
30 Versteifungselement ein dämpfendes Gummielement (604) platziert ist.
4. Schwingungstilger nach einem der Ansprüche 1 – 3, dadurch gekennzeichnet, dass die Halte- und Führungsvorrichtung sowie der an ihr befestigte Elektromagnet oberhalb und / oder unterhalb der Tilgermasse (1) oder des Rotationsmassenbauteils (510) angeordnet ist.

5. Schwingungstilger nach einem der Ansprüche 1 – 4, dadurch gekennzeichnet, dass die Tilgermasse (1) oder das Rotationsmassenbauteil (510) unterhalb oder oberhalb oder auf ihrer oberen und / oder unteren Seitenfläche an dafür vorbestimmten Stellen mindestens eine Kontaktfläche (3) oder einen Kontaktflansch (606) für den Elektromagneten aufweist, welche(r) so ausgebildet und angeordnet ist, dass die Pendelkonstruktion mit der Tilgermasse ungehindert schwingen bzw. sich bewegen kann.
6. Schwingungstilger nach einem der Ansprüche 1 – 5, dadurch gekennzeichnet, dass der Elektromagnet einen Bremsbelag in Form einer Bremsplatte, eine Bremsschicht oder eine Bremsringstruktur (102, 202, 302) aufweist, der ganz oder teilweise die zur Masse (1, 510) ausgerichteten Fläche des Elektromagneten bedeckt und verhindern soll, dass es im Bremszustand zu einem direkten Kontakt des Elektromagneten mit der Metallfläche der Masse (1, 510) kommt.
7. Schwingungstilgervorrichtung nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass sie eine Justiervorrichtung (103, 203, 303) zur Einstellung der Dicke und der Nachjustierung des Abstandes des besagten Bremsbelages von der Masse (1, 510).
8. Schwingungstilgervorrichtung nach Anspruch 6 oder 7, dadurch gekennzeichnet, dass der Bremsbelag (102, 202, 302) ein Bremsring ist, der die Randbereiche des Elektromagneten abdeckt und durch Justiervorrichtungen (103, 203, 303) in Richtung der Masse (1, 510) bzw. deren Kontaktflächen (3) (606) verschoben werden kann.
9. Schwingungstilger nach einem der Ansprüche 1 – 8, , dadurch gekennzeichnet, dass die Pendelvorrichtung mit einer zumindest in ihrem mittleren Bereich im Wesentlichen konkav oder kreisförmig gekrümmten Laufvorrichtung (507) verbunden ist, auf welcher die Tilgermasse (1) zusammen mit dem rotierenden Rotationsmassenbauteil (510) mittels eines rollen- oder räderbetriebenen Fahrwerks (508) hin und her bewegbar ist, wobei das Rotationsmassenbauteil eine Rotationsachse senkrecht zur Ebene der Kreisbahn der Laufvorrichtung aufweist, und die Rotationsrichtung des Rotationsmassenbauteils im Wesentlichen der jeweiligen Richtung des bewegten Fahrwerks (508) entlang der Laufvorrichtung (507) entspricht.
10. Schwingungstilger nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, dass das Rotationsmassenbauteil (510) im Wesentlichen aus einem angetriebenen Schwungrad (611, 711) mit Antriebsachse oder Welle und einer oder mehreren Massenscheiben (512, 701) oder Scheibensegmenten hiervon besteht, welche auf die Achse oder Welle des Schwungrades aufgeschoben oder an dieser befestigt werden können und mit dem Schwungrad rotieren.

11. Schwingungstilger nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, dass das Schwungrad (611, 711) eine Vorrichtung aufweist, die es ermöglicht, den Durchmesser der Massenscheiben oder Massenscheibensegmente des Rotationsmassenbauteils zu verändern, oder den Massenschwerpunkt der rotierenden Scheiben oder Scheibensegmente radial zu verändern, oder dass Massenscheiben mit unterschiedlichem Durchmesser eingesetzt werden.
12. Schwingungstilger nach Anspruch 10 oder 11, dadurch gekennzeichnet, dass das Schwungrad eine Feststellbremse (509) aufweist.
13. Schwingungstilger nach einem der Ansprüche 9 – 12, dadurch gekennzeichnet, dass das Rotationsmassenbauteil (510) eine einstellbare variable rotierende Masse (512, 701) aufweist, die in Abhängigkeit vom Durchmesser 1% - 30% der Tilgermasse (1) entspricht.
14. Schwingungstilger nach einem der Ansprüche 9 – 13, dadurch gekennzeichnet, dass die Laufvorrichtung (507) eine oder zwei parallel geführte Laufschiene(n) aufweist, und das Fahrwerk (508) bzw. die Tilgermasse (1) auf mindestens zwei Laufrädern oder Laufrollen bzw. Antriebsrädern oder Laufrollen auf der Laufvorrichtung hin und her bewegt werden kann.
15. Schwingungstilger nach Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, dass mindestens eine Laufschiene und / oder mindestens ein Laufrad der Laufvorrichtung (507) eine die Reibkräfte steigernde Beschichtung, Auflage oder Oberflächenstruktur für die Laufflächen aufweist.
16. Schwingungstilger nach Anspruch 15, dadurch gekennzeichnet, dass die Auflage eine Zahnriemen ist oder die Oberflächenstruktur eine Zahnstruktur ist.
17. Schwingungstilger nach einem der Ansprüche 14 – 16, dadurch gekennzeichnet, dass mindestens ein Antriebs- oder Laufrad eine Rutschkupplung aufweist.
18. Schwingungstilger nach einem der Ansprüche 1 – 17, dadurch gekennzeichnet, dass er eine zusätzliche Vorrichtung zur Dämpfung von Schwingungen aufweist.
19. Schwingungstilger nach Anspruch 18, dadurch gekennzeichnet, dass die zusätzliche Vorrichtung ein Wirbelstromdämpfer ist, der im Rotationsmassenbauteil (510) untergebracht und wirksam ist.

20. Schwingungstilger nach Anspruch 19, dadurch gekennzeichnet, dass der Wirbelstromdämpfer eine aus Permanentmagneten bestehenden Magnetanordnung (703) und eine elektrisch leitende, nicht magnetisierbare Metallscheibe (702) umfasst.

21. Schwingungstilger nach Anspruch 20, dadurch gekennzeichnet, dass

- 5 (a) die Magnetanordnung (703) im Umfang des Schwungrades (711, 611) angeordnet ist und die metallische Leiterscheibe (702) zwischen Magnetanordnung und Schwungmasse (512, 701) fest angebracht ist, oder
- (b) das Schwungrad (1711, 611) mit der mitrotierenden metallischen Leiterscheibe (702) versehen ist oder selbst die Leiterscheibe ist, und die gegenüberliegende
- 10 Magnetanordnung (703) auf einer nicht-mitrotierenden Platte angeordnet ist, welche sich zwischen Schwungrad (711, 611) und Schwungmasse (512, 701) befindet.

22. Windkraftanlage umfassend einen Turm, eine Gondel und einen Rotor, dadurch gekennzeichnet, dass sie einen Schwingungstilger gemäß einem der Ansprüche 1 – 21 aufweist, welcher im Turm oder in der Gondel oder außen an der Gondel angebracht ist.

Fig. 1

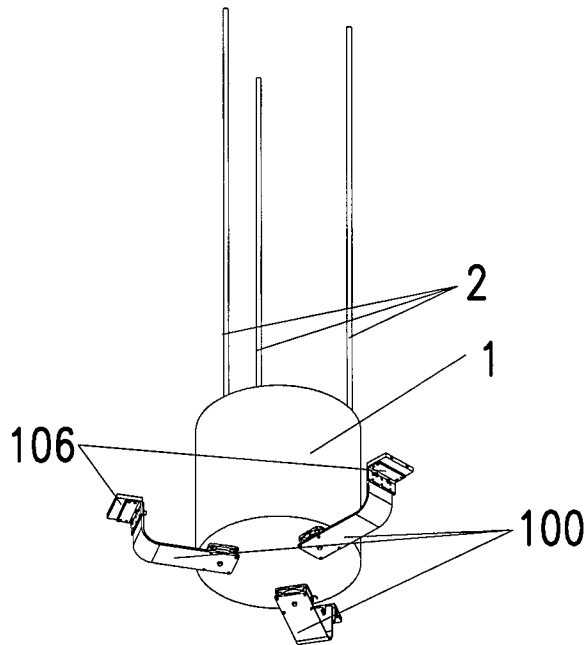


Fig. 2

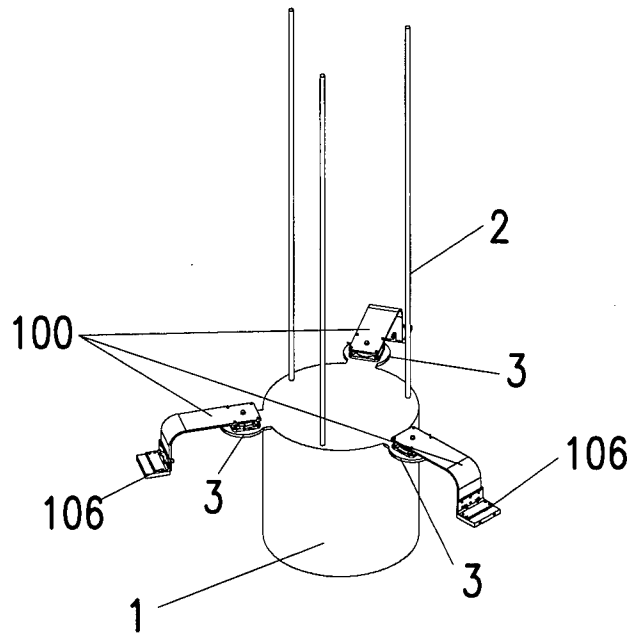


Fig. 3

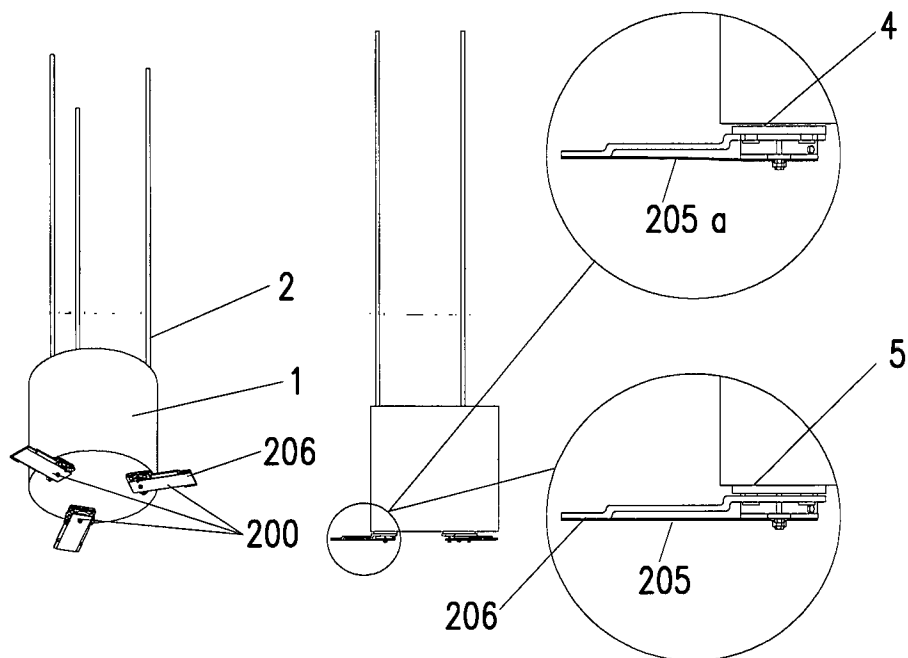


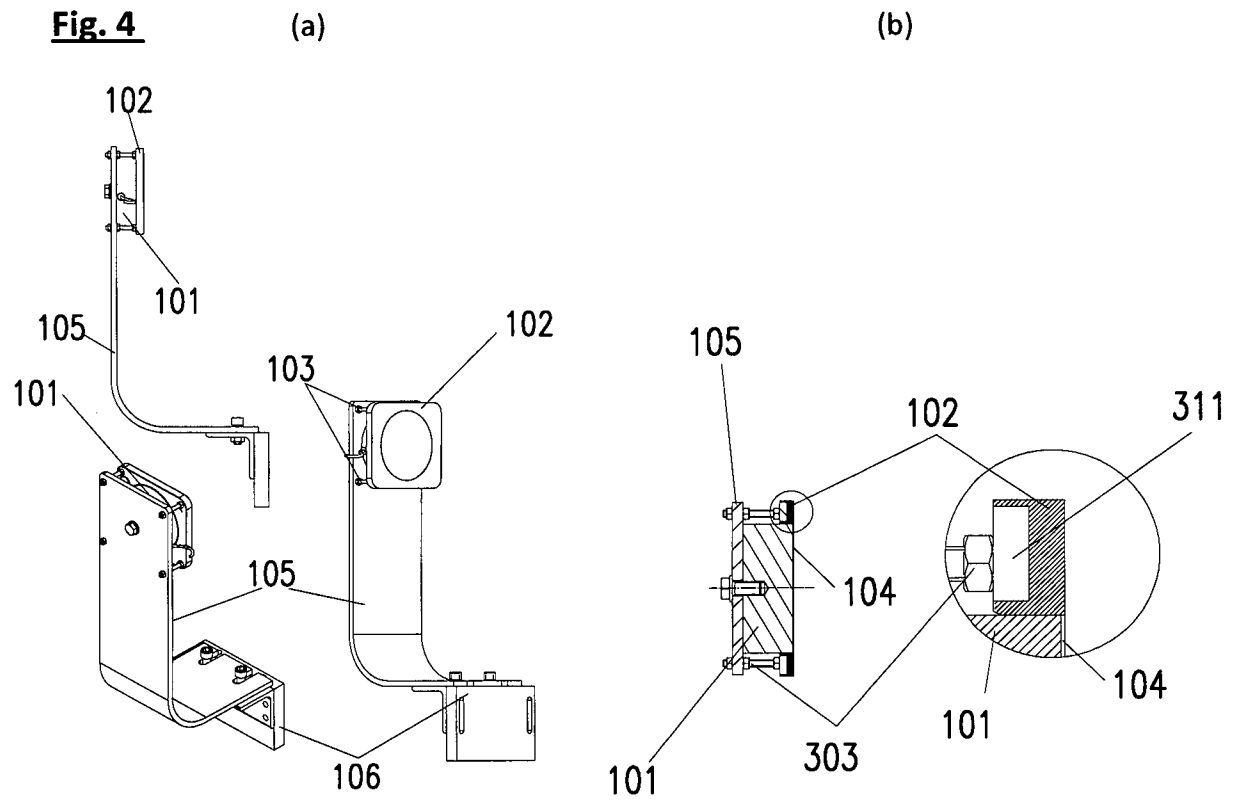
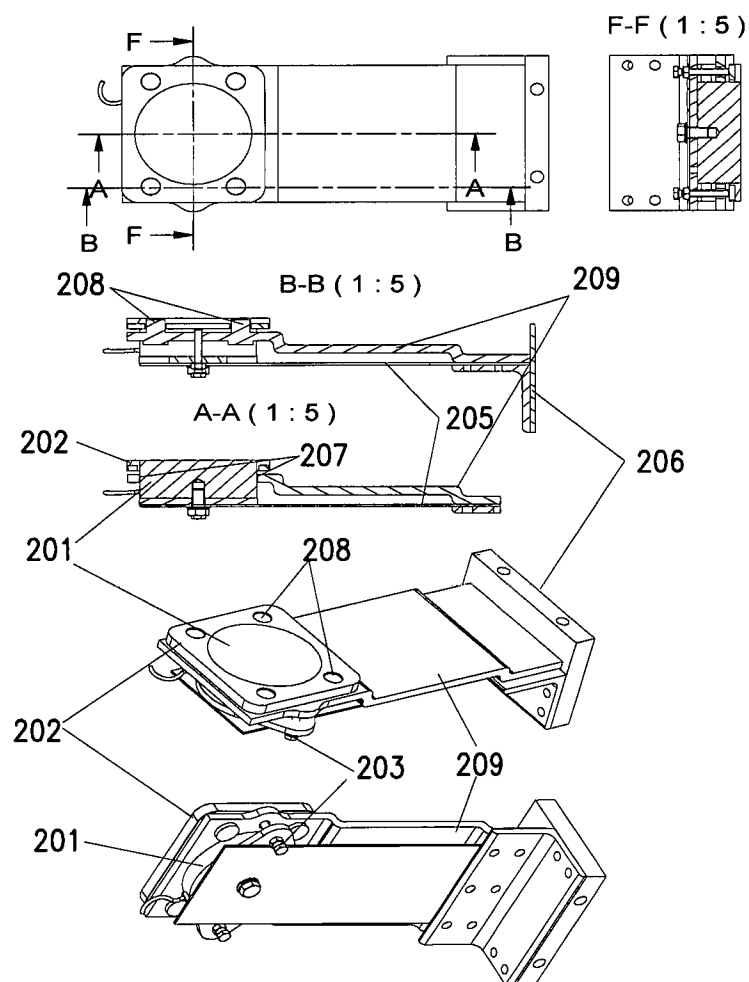
Fig. 4**Fig. 5**

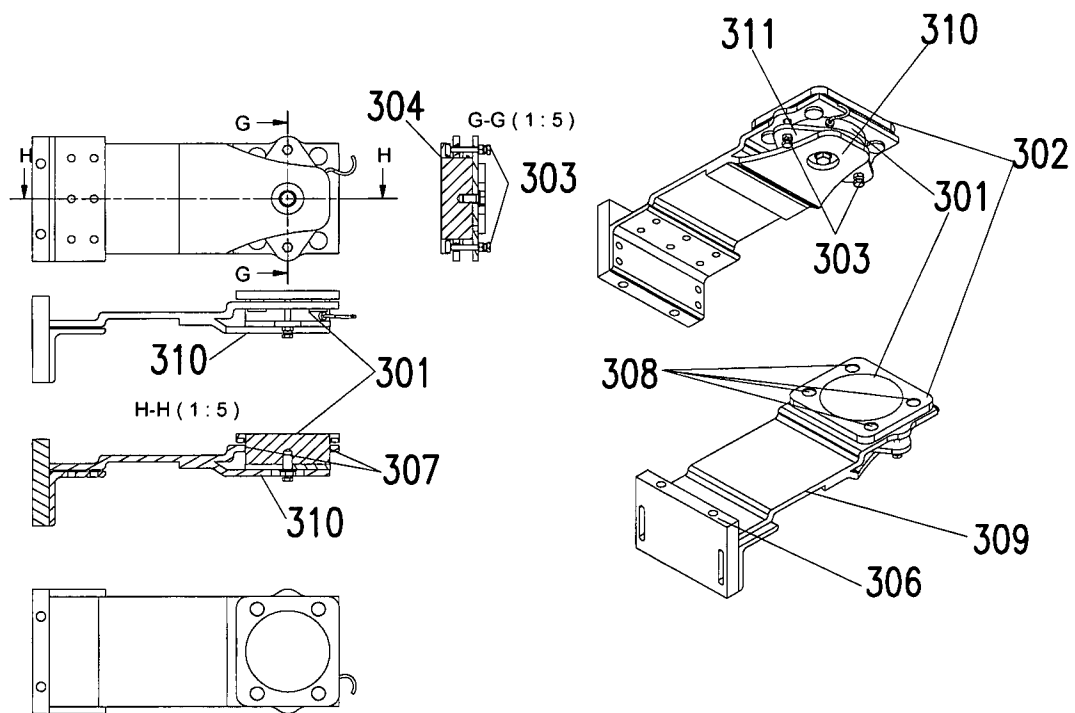
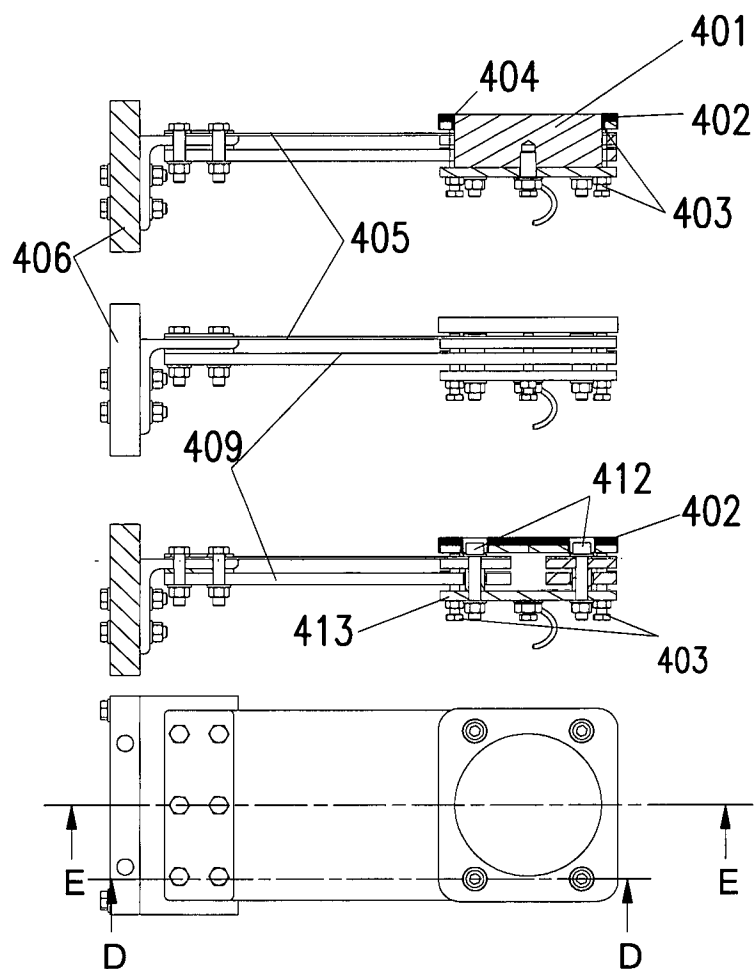
Fig. 6**Fig. 7**

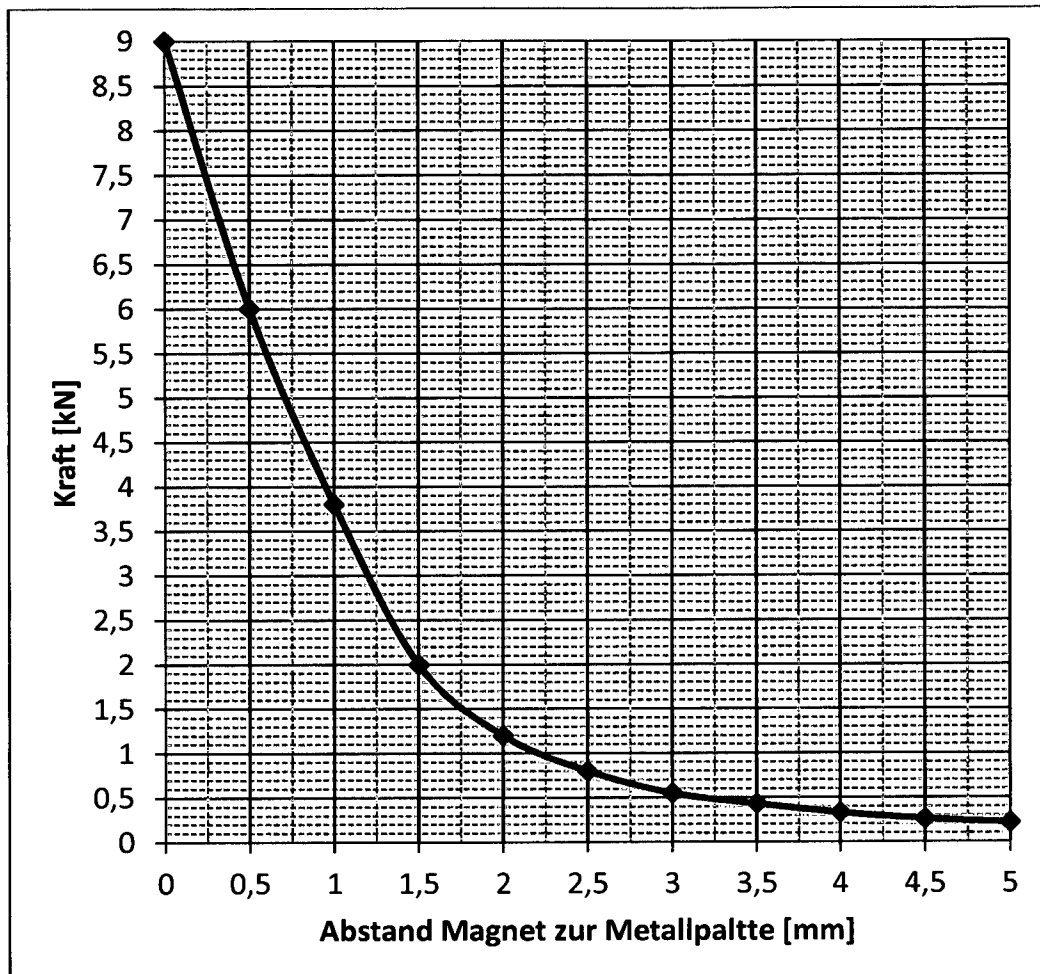
Fig. 8

Fig. 9

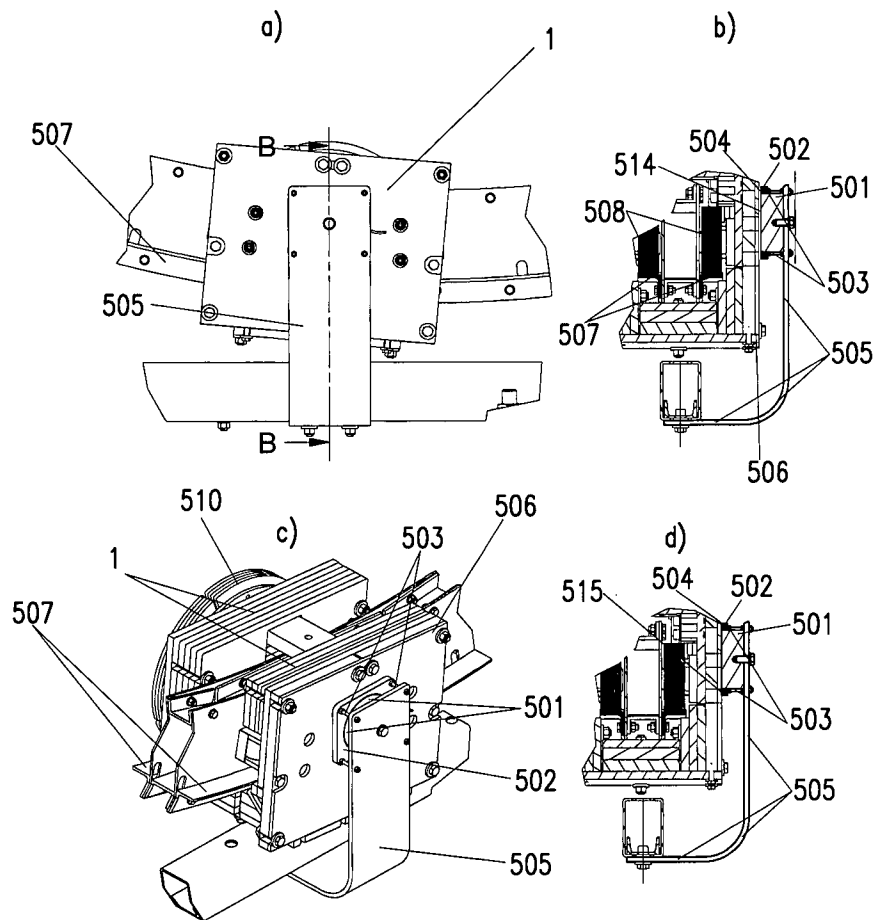


Fig. 10

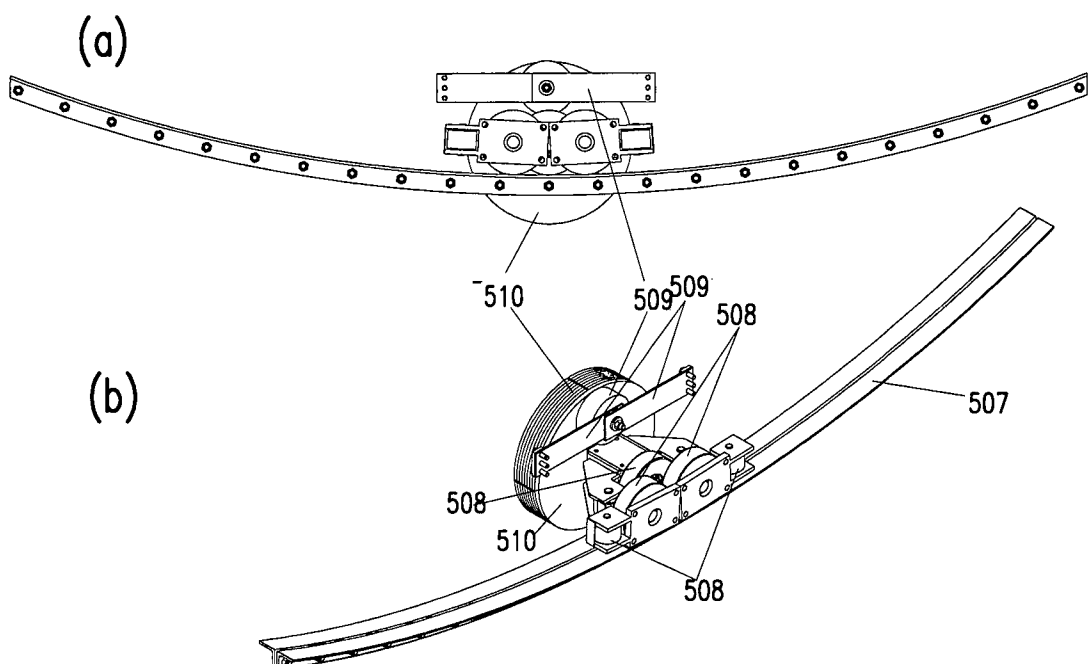


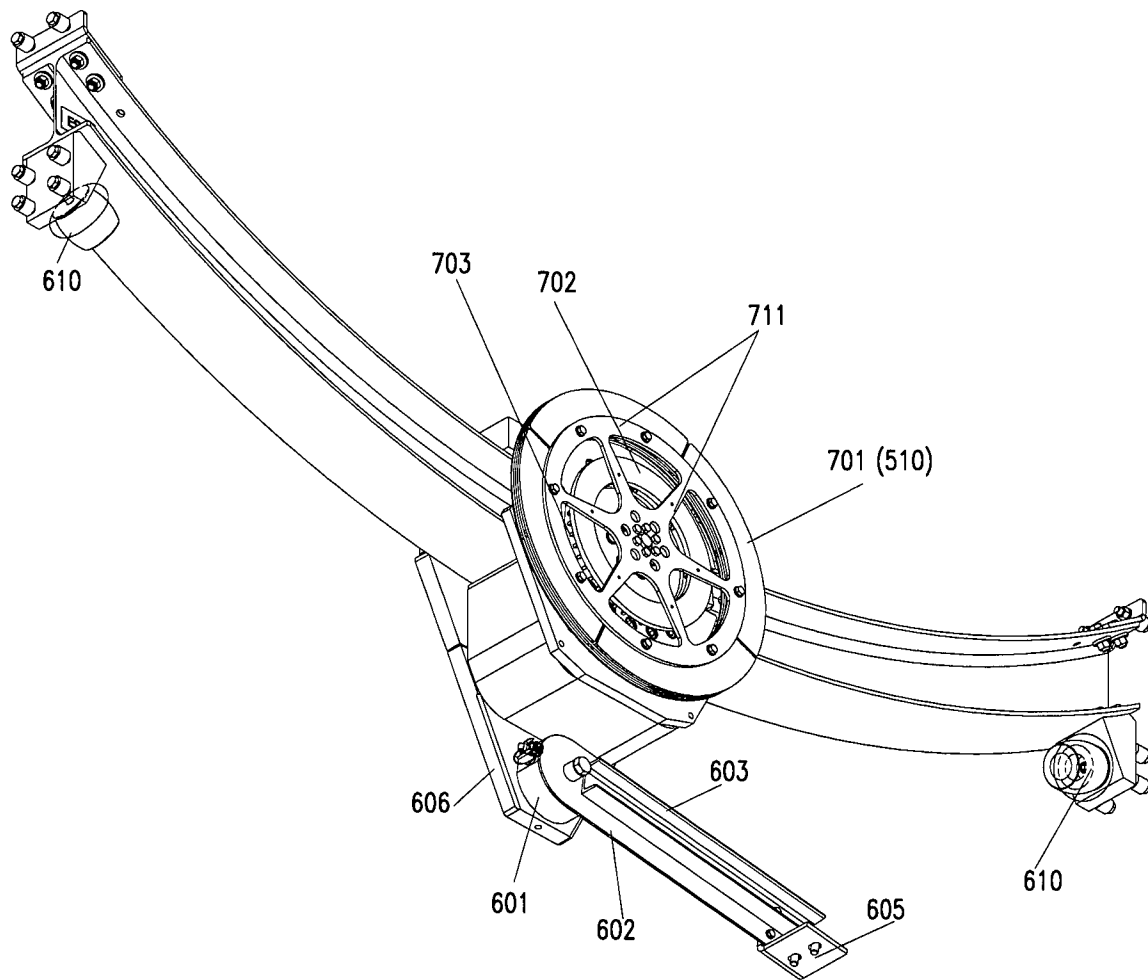
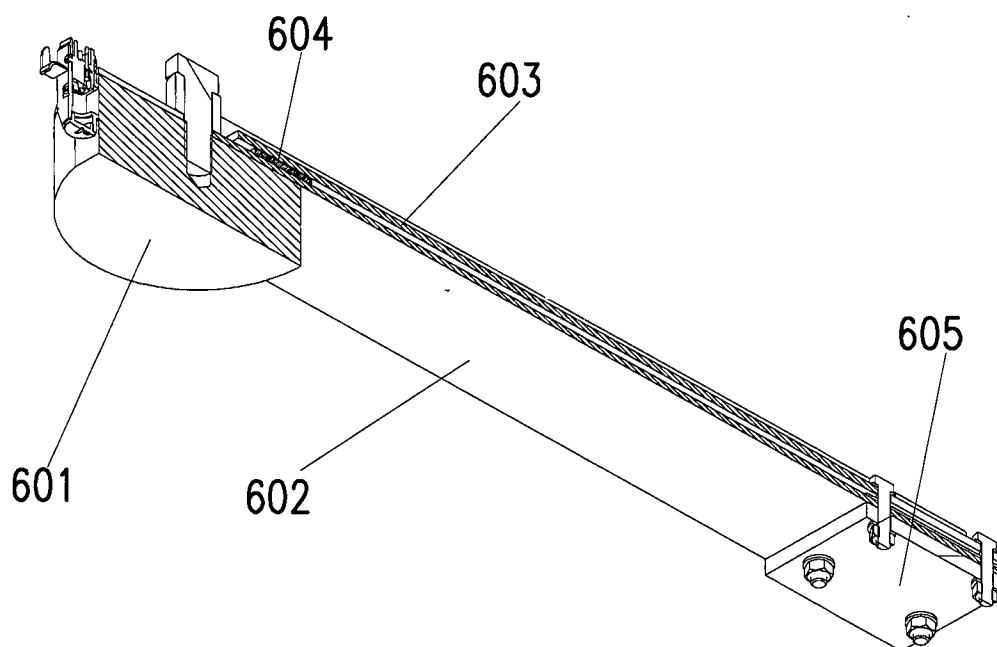
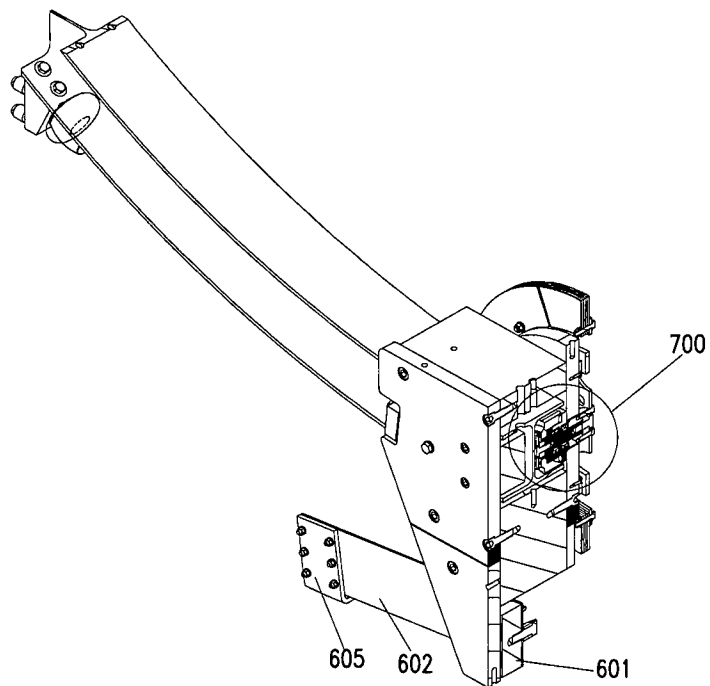
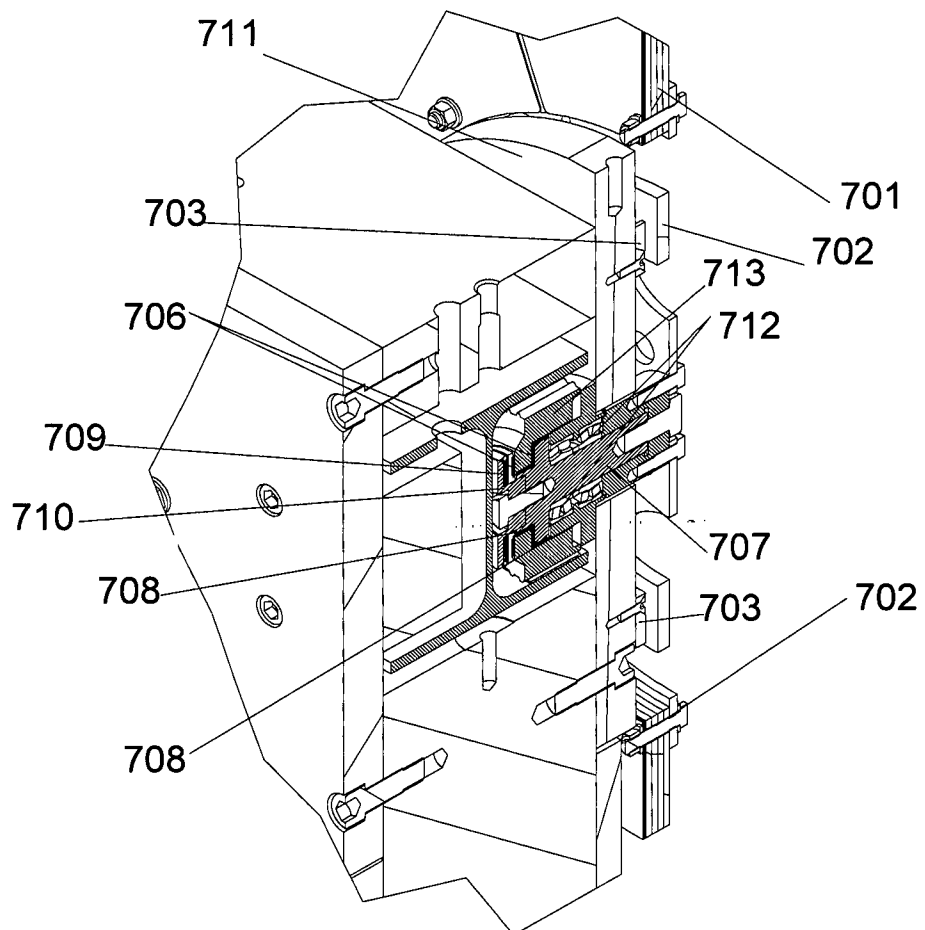
Fig. 11**Fig. 12**

Fig. 13

(a)



(b)



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No

PCT/EP2017/000016

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
INV. F16F7/10
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)
F16F F03D

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	EP 2 378 118 A2 (WOELFEL BERATENDE INGENIEURE GMBH & CO KG [DE]) 19 October 2011 (2011-10-19)	1,4,18, 22
Y	figure 3	9,14
A	paragraphs [0012], [0020] claim 3	2,3,5-8, 10-13, 15-17, 19-21
Y	----- EP 2 746 483 A1 (WÖLFEL BERATENDE INGENIEURE GMBH & CO KG [DE]) 25 June 2014 (2014-06-25) figure 1	9,14
A	----- EP 1 008 747 A2 (MITSCH FRANZ [DE]) 14 June 2000 (2000-06-14) the whole document ----- -/-	1-22



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

6 April 2017

Date of mailing of the international search report

18/04/2017

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

Beaumont, Arnaud

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2017/000016

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP S58 225241 A (CHIYODA CHEM ENG CONSTRUCT CO) 27 December 1983 (1983-12-27) figure 1 -----	1
A	JP S62 242153 A (MITSUBISHI HEAVY IND LTD) 22 October 1987 (1987-10-22) figure 1 -----	1
E	WO 2017/036581 A1 (FM ENERGIE GMBH & CO KG [DE]) 9 March 2017 (2017-03-09) the whole document -----	1

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/EP2017/000016

Patent document cited in search report		Publication date	Patent family member(s)	Publication date
EP 2378118	A2	19-10-2011	DE 102010015160 A1	20-10-2011
			EP 2378118 A2	19-10-2011

EP 2746483	A1	25-06-2014	DK 2746483 T3	11-01-2016
			EP 2746483 A1	25-06-2014

EP 1008747	A2	14-06-2000	AT 397725 T	15-06-2008
			DE 19856500 A1	29-06-2000
			DK 1008747 T3	13-10-2008
			EP 1008747 A2	14-06-2000
			ES 2308827 T3	01-12-2008
			PT 1008747 E	05-09-2008

JP S58225241	A	27-12-1983	JP H0118307 B2	05-04-1989
			JP S58225241 A	27-12-1983

JP S62242153	A	22-10-1987	NONE	

WO 2017036581	A1	09-03-2017	NONE	

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
INV. F16F7/10
ADD.

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

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
F16F F03D

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	EP 2 378 118 A2 (WOELFEL BERATENDE INGENIEURE GMBH & CO KG [DE]) 19. Oktober 2011 (2011-10-19)	1,4,18, 22
Y	Abbildung 3	9,14
A	Absätze [0012], [0020] Anspruch 3	2,3,5-8, 10-13, 15-17, 19-21
Y	----- EP 2 746 483 A1 (WÖLFEL BERATENDE INGENIEURE GMBH & CO KG [DE]) 25. Juni 2014 (2014-06-25) Abbildung 1	9,14
A	----- EP 1 008 747 A2 (MITSCH FRANZ [DE]) 14. Juni 2000 (2000-06-14) das ganze Dokument ----- -/-	1-22

☒ 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

6. April 2017

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

18/04/2017

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

Beaumont, Arnaud

C. (Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	JP S58 225241 A (CHIYODA CHEM ENG CONSTRUCT CO) 27. Dezember 1983 (1983-12-27) Abbildung 1 -----	1
A	JP S62 242153 A (MITSUBISHI HEAVY IND LTD) 22. Oktober 1987 (1987-10-22) Abbildung 1 -----	1
E	WO 2017/036581 A1 (FM ENERGIE GMBH & CO KG [DE]) 9. März 2017 (2017-03-09) das ganze Dokument -----	1

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2017/000016

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument		Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
EP 2378118	A2	19-10-2011	DE 102010015160 A1 EP 2378118 A2	20-10-2011 19-10-2011
EP 2746483	A1	25-06-2014	DK 2746483 T3 EP 2746483 A1	11-01-2016 25-06-2014
EP 1008747	A2	14-06-2000	AT 397725 T DE 19856500 A1 DK 1008747 T3 EP 1008747 A2 ES 2308827 T3 PT 1008747 E	15-06-2008 29-06-2000 13-10-2008 14-06-2000 01-12-2008 05-09-2008
JP S58225241	A	27-12-1983	JP H0118307 B2 JP S58225241 A	05-04-1989 27-12-1983
JP S62242153	A	22-10-1987	KEINE	
WO 2017036581	A1	09-03-2017	KEINE	