

(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
24. November 2016 (24.11.2016)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2016/184676 A1

- (51) Internationale Patentklassifikation:
B64C 23/00 (2006.01) **B64D 15/16** (2006.01)
- (21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2016/059800
- (22) Internationales Anmeldedatum:
2. Mai 2016 (02.05.2016)
- (25) Einreichungssprache: Deutsch
- (26) Veröffentlichungssprache: Deutsch
- (30) Angaben zur Priorität:
10 2015 107 626.8 15. Mai 2015 (15.05.2015) DE
- (71) Anmelder: **AIRBUS DEFENCE AND SPACE GMBH**
[DE/DE]; Willy-Messerschmitt-Straße 1, 82024
Taufkirchen (DE).
- (72) Erfinder: **SEIDEL, Helmut**; Moosbichlstr. 1, 82319
Starnberg (DE). **FEILI, Dara**; Am Bartenberg 10, 66133
Saarbrücken (DE). **BAUER, Karin**; Gaugrafenstr. 5,
82041 Oberhaching (DE). **KIEFER, Christian**;
Bruchbrunnenstr. 11, 66123 Saarbrücken (DE).
- (74) Anwalt: **KASTEL, Stefan**; Kastel Patentanwälte, St.
Cajetan Str. 41, 81669 München (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, 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, KN, KP, KR, 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:** FLOW CONTROL DEVICE, FLOW PROFILE BODY, AND FLOW MANIPULATION METHOD HAVING PRODUCTION OF SOUND WAVES

(54) **Bezeichnung :** STRÖMUNGSSTEUERUNGSVORRICHTUNG, STRÖMUNGSPROFILKÖRPER UND STRÖMUNGSBEEINFLUSSUNGSVERFAHREN MIT SCHALLWELLENERZEUGUNG

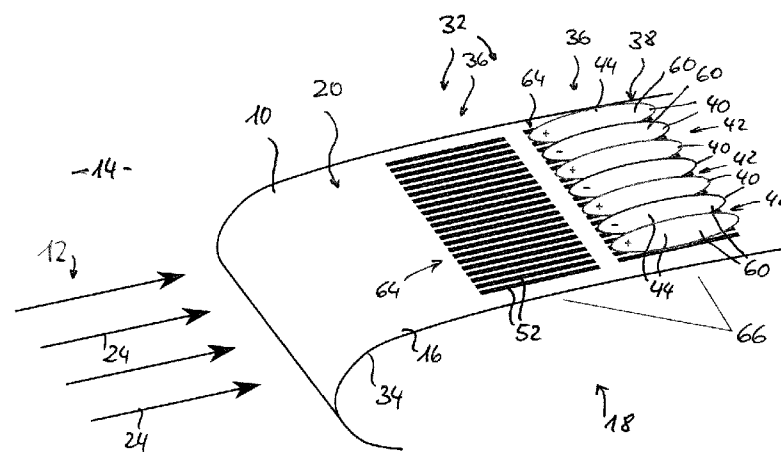


Fig. 7

(57) **Abstract:** The problem addressed by the invention is that of establishing an adaptive flow manipulation that exhibits little modification of the surface. This problem is solved, according to the invention, by a flow control device (32) for manipulating a flow (12) of a fluid medium (14) at a flow-dynamic face (10) of a flow-dynamic profile body (34), comprising a sound-wave-producing device (36) for producing a standing sound wave (38) having spatially defined wave antinodes (40) and wave nodes (42) and/or a spatially defined focused sound pulse. The invention further relates to an addition, to a profile body provided therewith, to a corresponding flow control method, and to advantageous uses.

(57) **Zusammenfassung:**

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]



Zum Schaffen einer adaptiven Strömungsbeeinflussung mit geringem Eingriff in die Oberfläche schafft die Erfindung eine Strömungssteuerungsvorrichtung (32) zur Beeinflussung einer Strömung (12) eines Fluidmediums (14) an einer strömungsdynamischen Fläche (10) eines strömungsdynamischen Profilkörpers (34), umfassend eine Schallwellenerzeugungseinrichtung (36) zum Erzeugen einer stehenden Schallwelle (38) mit örtlich definierten Wellenbäuchen (40) und Wellenknoten (42) und/oder eines örtlich definiert fokussierten Schallpulses. Außerdem werden ein damit versehener Profilkörper, ein entsprechendes Strömungssteuerungsverfahren sowie vorteilhafte Verwendungen beschrieben.

Strömungssteuerungsvorrichtung, Strömungsprofilkörper und Strömungsbeeinflussungsverfahren mit Schallwellenerzeugung

- 5 Die Erfindung betrifft eine Strömungssteuerungsvorrichtung zur Beeinflussung einer Fluidströmung an einer strömungsdynamischen Fläche eines strömungsdynamischen Profilkörpers. Weiter betrifft die Erfindung einen strömungsdynamischen Profilkörper mit einer im Betrieb von einer Fluidströmung angeströmten und/oder umströmten strömungsdynamischen Fläche. Weiter betrifft die Erfindung
- 10 ein Strömungssteuerungsverfahren zum Beeinflussen einer Strömung an einer strömungsdynamischen Fläche eines strömungsdynamischen Profilkörpers. Weiter betrifft die Erfindung vorteilhafte Verwendungen von neuartigen Strömungsbeeinflussungstechniken an derartigen strömungsdynamischen Flächen.
- 15 Insbesondere betrifft die Erfindung ein Aktorsystem zur Beeinflussung von Strömungen zur Reduzierung oder Erhöhung des Strömungswiderstandes.

Zum technologischen Hintergrund und zum Verständnis der Erfindung und deren vorteilhaften Ausgestaltungen wird auf folgende Literaturstellen verwiesen:

- 20 [1] <http://www.die-vier-liter-flieger.de/de/die-vier-liter-flieger/>
[2] https://de.wikipedia.org/wiki/Vestas_V164-8.0
[3] <http://www.wind-energie.de/infocenter/technik/funktionsweise/aerodynamik-rotorblaetter>
[4] [http://daten.didaktikchemie.uni-](http://daten.didaktikchemie.uni-bayreuth.de/umat/wellen_mechanisch/wellen_mechanisch.htm)
25 [bayreuth.de/umat/wellen_mechanisch/wellen_mechanisch.htm](http://daten.didaktikchemie.uni-bayreuth.de/umat/wellen_mechanisch/wellen_mechanisch.htm)
[5] <http://dl.acm.org/citation.cfm?doid=2601118>
[6] <http://www-brs.ub.ruhr-uni-bochum.de/nethtml/HSS/Diss/SprynchakVitaliy/diss.pdf>

- [7] R. Tuckermann, S. Bauerecker – Wie akustische Kaltgasfallen wirken. “Tannenbäume” im stehenden Ultraschallfeld; in Chemie in unserer Zeit, Volume 42, Issue 6, pages 402–407, Dezember 2008
- [8] <http://www.olympus-ims.com/en/ndt-tutorials/transducers/inside/>
- 5 [9] <http://scitation.aip.org/content/aip/journal/pof2/19/4/10.1063/1.2717527>
- [10] http://de.wikipedia.org/wiki/Absaugen/Ausblasen_der_Grenzschicht
- [11] L. Duan, M. M. Choudhari - Effects of Riblets on Skin Friction in High-Speed Turbulent Boundary Layers; 50th AIAA Aerospace Sciences Meeting including the New Horizons Forum and Aerospace Exposition, January 9-12, 10 2012, Nashville, Tennessee
- [12] M. I. Mukut, H. Mizunuma, O Hiromichi – Flow Separation Control Using Plasma Vortex Generator; 10th International Conference on Mechanical Engineering, ICME 2013; Procedia Engineering 90 (2014) 232 – 237; [http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877705814029713/pdf?](http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877705814029713/pdf?md5=010ad92800bfdcd9a359b2c2dc8f2a1e&pid=1-s2.0-S1877705814029713-main.pdf) 15 [md5=010ad92800bfdcd9a359b2c2dc8f2a1e&pid=1-s2.0-S1877705814029713-main.pdf](http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877705814029713-main.pdf)
- [13] <http://journals.cambridge.org/action/displayAbstract?fromPage=online>
- [14] DE 10 2008 006 832 A1
- [15] DE 10 2008 017 963A1
- 20 [16] DE10 2008 022 504 B4
- [17] EP 0 955 235 B1
- [18] EP 2 272 753 A1
- [19] WO 2014 023 951 A1
- [20] EP 2 223 853 A1
- 25 [21] [http://de.wikipedia.org/wiki/Profil_\(Strömungslehre\)](http://de.wikipedia.org/wiki/Profil_(Strömungslehre))
- [22] DE 10 2008 006 831 A1
- [23] DE102008035423A1
- [24] DE 10 2013 013 148 B3

Ein Passagierflugzeug hat einen Treibstoffverbrauch von etwa 3 Liter pro Person auf 100 km Strecke. Dabei verursacht der Treibstoff bereits heute schon ein Drittel der Betriebskosten. Ökologisch betrachtet liegt der Anteil der Luftfahrt an den weltweiten CO₂-Emissionen bei 2,42 %, siehe [1].

5

Hierbei spielt der Luftwiderstand eine wesentliche Rolle. Durch die allgemein nicht vermeidbare Reibung an Oberflächen entsteht an Flugzeugoberflächen durch das Überströmen der Luft eine sog. Grenzschicht (Boundary Layer), welche bei niedriger Reynoldszahl über die gesamte Oberfläche laminar verläuft. Bei höherer Reynoldszahl kann die laminare Strömung nicht gänzlich aufrecht erhalten werden, wodurch diese in Strömungsrichtung zusammenbricht und sich turbulent fortsetzt – vergleiche Fig. 1. Der Umschlag von laminarer in turbulente Strömung wird in der Strömungsmechanik auch als Transition bezeichnet. Dieser Bereich (Turbulent Flow Boundary Layer) zeichnet sich durch starke Wirbelbildung und chaotisches Fließverhalten aus, wodurch ein deutlich höherer Strömungswiderstand entsteht.

Diese Problematik spielt z.B. auch bei Windkraftanlagen eine Rolle. So erreichen derzeit aktuelle Windkraftanlagen (z.B. Vestas V164-8.0, siehe [2]) mit Rotordurchmessern von 164 m Blattspitzengeschwindigkeiten von bis zu 370 km/h.

Durch aerodynamische Verluste, d.h. durch Reibung an der Profiloberfläche (sog. Profil-Verluste) sowie durch Druckausgleich an der Blattspitze (sog. Tip-Verluste) wird der maximale Rotorwirkungsgrad vermindert. Während der theoretische maximale Wirkungsgrad bei ca. 59 % liegt, erreichen derzeit reale Windenergierotoren einen Wirkungsgrad von ca. 50 %, siehe [3].

25

Es gibt bereits eine große Anzahl an unterschiedlichen Konzepten, von denen sich jedoch bisher noch keines durchsetzen konnte:

- Riblets: Ähnlich einer Haifischhaut werden auf der Oberfläche miniaturisierte Stege/Wände aufgebracht (im mm-Bereich), welche ein Querfließen der Strömung verhindern sollen, siehe z.B. [11]
- Turbulator (Vortex-Generator): Durch Anbringen von einer kleinen Oberflächenstörung wird der laminare Strom gezielt in eine turbulente Strömung überführt, um einen Strömungsabriss (plötzliche Abnahme des Auftriebs) hinauszuzögern, siehe z.B. [14], [16], [18]
- Absaugen der Grenzschicht: Mittels kleinen Öffnungen wird die vorhandene Grenzschicht ins Innere abgesaugt, siehe z.B. [10], [17], [19]
- Ausblasen in die Grenzschicht (synthetic jets): Ein Strahl wird in einer definierten Frequenz mittels Düsen in die Grenzschicht geblasen, wodurch sich die abgelöste Strömung wieder an die Oberfläche anlegt, siehe z.B. [10], [15]
- Oberflächenwellen: Mittels Aktoren (z.B. Piezoaktoren) wird auf der Oberfläche eine Welle generiert, welche einen positiven Einfluss auf den laminar-turbulenten Übergang besitzt und diesen hinauszögert, siehe z.B. [13], [18]
- Plasma-Vortex-Generator: Mittels auf und unter der Oberfläche angebrachten Elektroden lässt sich ein Plasma erzeugen, wodurch auf der Oberfläche kleinere Luftwirbel entstehen; diese haben einen direkten Einfluss auf die Grenzschicht, siehe z.B. [12]

20

In [20] und [21] sind Beispiele für strömungsdynamische Profilkörper beschrieben, auf die die Erfindung anwendbar ist.

25

In [22], [23] und [24] sind Detektoren oder Sensoren zur Erfassung von Eigenschaften und/oder Parametern einer zu beeinflussenden Strömung beschrieben.

Viele der oben erwähnten Lösungsansätze sind derzeitiger Forschungsstand und wurden noch nicht ausreichend erprobt. Einige Ansätze sehen zwar in Ihrer Wir-

kung vielversprechend aus und besitzen möglicherweise genügend Potential, bieten jedoch auch Nachteile:

- Ein zu starker Eingriff in die Oberfläche – z.B. in Form von Bohrungen, Einschnitten, herausragenden Gegenständen – bedingt eine – eventuell auch negative – Beeinflussung der Strömung, wodurch sich der Strömungswiderstand sogar erhöhen kann. Zudem weisen solche „Oberflächendefekte“ eine große Anfälligkeit für Verschmutzung auf, wodurch ein Ausfall der Aktoren möglich ist.
- 5
- 10 Riblets bieten zwar eine bereits gezeigte Widerstandsreduktion von etwa 2%, wie ein Feldversuch mit Airbus-Flugzeugen und einem 3M Riblet tape gezeigt haben, jedoch beschränkt auf eine bestimmte Fluggeschwindigkeit auf Grund der nicht skalierbaren Abstände und Größe der Riblets.
- 15 Plasma-Vortex-Generatoren benötigen hohe Spannungen und viel Energie um das erzeugte Plasma aufrecht zu erhalten.

- Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, eine verbesserte Möglichkeit der Strömungsbeeinflussung an fluiddynamisch wirksamen Flächen zu schaffen. Außerdem sollen weitere vorteilhafte Verwendungen der hierzu eingesetzten Strömungsbeeinflussungstechniken aufgezeigt werden.
- 20

- Zum Lösen dieser Aufgabe werden eine Strömungssteuervorrichtung, ein Strömungssteuerungsverfahren, ein strömungsdynamischer Profilkörper sowie Verwendungen von Schallwellen gemäß den unabhängigen Ansprüchen vorgeschlagen.
- 25

Vorteilhafte Ausgestaltungen sind Gegenstand der Unteransprüche.

Gemäß einem ersten Aspekt schafft die Erfindung eine Strömungssteuerungsvorrichtung zur Beeinflussung einer Fluidströmung an einer strömungsdynamischen Fläche eines strömungsdynamischen Profilkörpers, umfassend eine Schallwellenerzeugungseinrichtung zum Erzeugen einer stehenden Schallwelle mit örtlich definierten Wellenbäuchen und Wellenknoten und/oder eines örtlich definiert fokussierten Schallpulses.

Es ist bevorzugt, dass die Schallwellenerzeugungseinrichtung wenigstens einen Schallwandler zum Erzeugen einer Primärschallwelle mit einer Ausbreitungsrichtung, die mit ihrer Hauptrichtungskomponente parallel zur Fläche und senkrecht zur Strömung verläuft, und eine Schallreflexionseinrichtung zum Zurückreflektieren der Primärschallwelle zwecks Erzeugen der stehenden Schallwelle aufweist.

Es ist bevorzugt, dass die Schallwellenerzeugungseinrichtung wenigstens einen ersten Schallwandler zum Erzeugen einer ersten Schallwelle mit einer Ausbreitungsrichtung, die mit ihrer Hauptrichtungskomponente parallel zur Fläche und senkrecht zur Strömung verläuft, und einen zweiten Schallwandler zum Erzeugen einer zweiten Schallwelle mit einer Ausbreitungsrichtung die der Ausbreitungsrichtung der ersten Schallwelle entgegengesetzt ist, um durch Überlagerung der ersten und zweiten Schallwelle die stehenden Schallwelle zu erzeugen, aufweist.

Es ist bevorzugt, dass die Schallwellenerzeugungseinrichtung ein Array von Schallwandlern, die in regelmäßigen Abständen an der die Fläche bildenden Oberfläche angeordnet sind und die ausgebildet sind, die stehende Schallwelle mit örtlich definierten Wellenbäuchen und Wellenknoten und/oder den örtlich fokussierten Schallpuls zu erzeugen, aufweist.

Es ist bevorzugt, dass die Schallwellenerzeugungseinrichtung eine Anordnung wenigstens eines Schallwandlers oder mehrere Schallwandler und wenigstens einer akustischen Linse aufweist.

- 5 Es ist bevorzugt, dass die Schallwellenerzeugungseinrichtung dazu ausgebildet ist, die stehende Schallwelle derart zu erzeugen, dass sich Wellenknoten und Wellenbäuche längs der Strömungsrichtung längs erstrecken.

- 10 Es ist bevorzugt, dass die Schallwellenerzeugungseinrichtung dazu ausgebildet ist, die stehende Schallwelle derart zu erzeugen, dass in einer Querrichtung zur Strömungsrichtung Wellenknoten und Wellenbäuche einander abwechseln.

- 15 Es ist bevorzugt, dass die Schallwellenerzeugungseinrichtung dazu ausgebildet ist, die stehende Schallwelle derart zu erzeugen, dass Orte von Wellenknoten und/oder Wellenbäuchen geradlinig verlaufen.

- 20 Es ist bevorzugt, dass die Schallwellenerzeugungseinrichtung dazu ausgebildet ist, die stehende Schallwelle derart zu erzeugen, dass Orte von Wellenknoten und/oder Wellenbäuchen spitz zulaufend und/oder dreieckförmig verlaufen.

- Es ist bevorzugt, dass die Schallwellenerzeugungseinrichtung dazu ausgebildet ist, die stehende Schallwelle derart zu erzeugen, dass Orte von Wellenknoten und/oder Wellenbäuchen wellenförmig verlaufen.

- 25 Es ist bevorzugt, dass die Schallwellenerzeugungseinrichtung dazu ausgebildet ist, die stehende Schallwelle derart zu erzeugen, dass Orte von Wellenknoten und/oder Wellenbäuchen parallel verlaufen.

Es ist bevorzugt, dass die Schallwellenerzeugungseinrichtung derart ausgebildet ist, dass die Schallwelle in Abhängigkeit von Parametern der zu beeinflussenden Strömung erzeugt oder verändert wird.

- 5 Insbesondere ist die Strömungssteuerungsvorrichtung dazu ausgebildet, eine Eigenschaft oder einen Parameter der zu beeinflussenden Strömung zu erfassen und die Schallwellenerzeugungseinrichtung in Abhängigkeit des erfassten Parameters anzusteuern. Vorzugsweise wird dabei die Intensität – z.B. Schallpegel –
10 und/oder die örtliche Verteilung der stehenden Schallwelle verändert und an die erfassten Ist-Bedingungen angepasst.

- Zur Erfassung von Eigenschaften der Strömung kann z.B. einer oder mehrere der aus [22], [23] und [24] bekannten Detektoren eingesetzt werden. Bei einer besonders bevorzugten Ausgestaltung werden Schallwandler nicht nur zur Schallerzeugung,
15 sondern auch zur Erfassung von wenigstens einer Eigenschaft oder eines Parameters der Strömung verwendet.

- Die Schallwandler sind z.B. an eine Steuerung angeschlossen und werden mit einer Steuerenergie – z.B. einer elektrischen Spannung – versorgt, um die Schallwellen zu erzeugen. Umgekehrt sind die meisten Schallwandler in der Lage, entsprechende Druckschwankungen in eine andere Energieart – z.B. eine elektrische
20 Spannung – umzuwandeln. Die Steuerung kann ausgebildet sein, entsprechend im Empfangsmodus Signale von dem Schallwandler zu empfangen, um so Rückschlüsse auf die Strömungsbedingungen zu schließen und gegebenenfalls den
25 Schallwandler entsprechend anders anzusteuern.

Gemäß einem weiteren Aspekt schafft die Erfindung einen strömungsdynamischen Profilkörper umfassend eine im Betrieb von einer Fluidströmung angeströmten und/oder umströmten strömungsdynamischen Fläche, umfassend eine

Schallwellenerzeugungseinrichtung zum Erzeugen einer stehenden Schallwelle mit örtlich an der Fläche definiert angeordneten Wellenbäuchen und Wellenknoten und/oder eines örtlich definiert fokussierten Schallpulses.

- 5 Bevorzugt weist der strömungsdynamische Profilkörper eine Strömungssteuerungsvorrichtung nach einer oder mehrerer der voranstehend beschriebenen Ausgestaltungen auf.

Z.B. kann der strömungsdynamische Profilkörper ausgebildet sein als:

- 10 - Strömungsprofil eines Luftfahrzeuges oder
- Tragflügel oder Leitwerkskörper eines Flugzeuges oder
- Triebwerkseinlasskörper eines Fahrzeuges oder Luftfahrzeuges oder
- Rotorflügel oder Propellerflügel eines Luftfahrzeuges oder eines Windrads.
- 15 Weitere Ausgestaltungen der Erfindung betreffen die Anwendung der hier vorgestellten Strömungsbeeinflussungstechniken mittels stehender akustischer Wellen und/oder gezielt fokussierter Schallwellen auf andere Fahrzeuge, wie Landfahrzeuge oder Wasserfahrzeuge und auch überall sonst, wo eine Strömungsbeeinflussung an umströmten strömungsdynamischen Flächen und Körpern zur Beeinflussung – z.B. Vermeiden oder Verzögern – eines Übergangs von laminarer in
- 20 turbulente Strömung erwünscht ist.

- Gemäß einem weiteren Aspekt betrifft die Erfindung ein Strömungssteuerungsverfahren zum Beeinflussen einer Strömung an einer strömungsdynamischen Fläche
- 25 eines strömungsdynamischen Profilkörpers, umfassend: Beeinflussen der Strömung mittels örtlich definiert an der Fläche erzeugten Schallwellen – insbesondere in dem umströmenden Fluidmedium.

Eine bevorzugte Ausgestaltung des Verfahrens ist gekennzeichnet durch

- a) Erzeugen wenigstens einer stehenden Schallwelle und/oder
- b) Fokussieren eines Schallpulses auf einen zu beeinflussenden Strömungsbe-
reich.

- 5 Es ist bevorzugt, dass Schritt a) den Schritt enthält:
Erzeugen der stehenden Schallwelle mit sich längs der Strömungsrichtung längs
erstreckenden Wellenknoten und/oder Wellenbäuchen.

Es ist bevorzugt, dass Schritt a) den Schritt enthält:

- 10 Erzeugen der stehenden Schallwelle mit sich in einer Querrichtung zur Strö-
mungsrichtung abwechselnden Wellenknoten und/oder Wellenbäuchen.

Es ist bevorzugt, dass Schritt a) den Schritt enthält:

- 15 Erzeugen der stehenden Schallwelle mit geradlinig verlaufenden Wellenknoten
und/oder Wellenbäuchen.

Es ist bevorzugt, dass Schritt a) den Schritt enthält:

- 20 Erzeugen der stehenden Schallwelle mit spitz zulaufenden und/oder dreieckförmig
verlaufenden Wellenknoten und/oder Wellenbäuchen.

Es ist bevorzugt, dass Schritt a) den Schritt enthält:

- 25 Erzeugen der stehenden Schallwelle mit wellenförmig verlaufenden Wellenknoten
und/oder Wellenbäuchen.

Es ist bevorzugt, dass Schritt a) den Schritt enthält:

- Erzeugen der stehenden Schallwelle mit parallel verlaufenden Wellenknoten
und/oder Wellenbäuchen.

Eine weitere bevorzugte Ausgestaltung des Strömungssteuerungsverfahrens ist gekennzeichnet durch Verhindern oder Verzögern eines Übergangs einer laminaren Strömungsfusses in einen turbulenten Zustand durch Verwenden einer stehenden Schallwelle als Hindernis und/oder Führung für den Strömungsfluss

5 und/oder als Vortex-Generator.

Eine weitere bevorzugte Ausgestaltung des Strömungssteuerungsverfahrens ist gekennzeichnet durch Verändern der Schallwellenerzeugung in Abhängigkeit von Parametern der zu beeinflussenden Strömung.

10

Eine weitere bevorzugte Ausgestaltung des Strömungssteuerungsverfahrens ist gekennzeichnet durch Erfassen wenigstens eines Parameters der zu beeinflussenden Strömung und Erzeugen der Schallwellen in Abhängigkeit von dem erfassten Parameters.

15

Eine weitere bevorzugte Ausgestaltung des Strömungssteuerungsverfahrens ist gekennzeichnet durch Verwenden wenigstens eines Schallwandlers zur Erzeugung der Schallwelle und als Detektor zum Erfassen einer Eigenschaft oder eines Parameters der zu beeinflussenden Strömung.

20

Eine weitere bevorzugte Ausgestaltung des Strömungssteuerungsverfahrens wird mittels der Strömungssteuerungsvorrichtung nach einer oder mehreren der zuvor erläuterten Ausgestaltungen durchgeführt. Eine weitere bevorzugte Ausgestaltung des Strömungssteuerungsverfahrens wird an einem strömungsdynamischen Pro-

25 filkörper nach einer oder mehreren der zuvor erläuterten Ausgestaltungen durchgeführt.

Gemäß einem weiteren Aspekt betrifft die Erfindung eine Verwendung einer stehenden Schallwelle und/oder eines fokussierten Schallpulses in einem Fluidmedi-

um zur Beeinflussung einer Strömung des Fluidmediums an einer strömungsdynamischen Fläche.

5 Gemäß einem weiteren Aspekt betrifft die Erfindung eine Verwendung einer stehenden Schallwelle und/oder eines fokussierten Schallpulses in einem Fluidmedium zur Vermeidung von Eisbildung an der strömungsdynamischen Fläche.

Eine weitere Erfindung, die auf der gleichen Idee der Ausnutzung stehender Schallwellen und/oder örtlich gezielt fokussierter Schallwellen im Bereich der
10 Oberfläche strömungsdynamischer Profilkörper beruht, betrifft eine Vereisungsvermeidungsvorrichtung zur Vermeidung einer Eisbildung an einem umströmten Profilkörper, umfassend eine Schallwellenerzeugungseinrichtung zum Erzeugen einer stehenden Schallwelle mit örtlich an der Fläche definiert angeordneten Wellenbäuchen und Wellenknoten und/oder eines örtlich definiert fokussierten Schall-
15 pulses.

Im Folgenden wird die Erfindung anhand der beigefügten Zeichnungen näher erläutert. Dabei zeigen:

20 Fig. 1 eine schematische Darstellung eines Übergangs einer Grenzschicht an einem strömungsdynamischen Profilkörper von laminarer zu turbulenter Strömung zur Verdeutlichung eines der Probleme, die durch Ausführungsformen der Erfindung gelöst werden können; gezeigt ist die Grenzschicht, laminar (links) und turbulent (rechts);

25

Fig. 2 zeigt eine erste Ausführungsform eines strömungsdynamischen Körpers mit einem ersten Ausführungsbeispiels einer Strömungssteuervorrichtung, die eine erste Ausführungsform einer Schallwellenerzeugungseinrichtung aufweist;

- Fig. 3 zeigt eine Grafik zur Verdeutlichung der Funktionsweise der Schallwellenerzeugungseinrichtung sowie der damit versehenen Strömungssteuerungseinrichtung;
- 5 Fig. 4 zeigt Fotografien einer Visualisierung von stehenden Schallwellen, wie sie bei Ausführungsformen der Strömungssteuerungsvorrichtung zur Beeinflussung einer Strömung an einem strömungsdynamischen Körper eingesetzt werden können;
- 10 Fig. 5 zeigt in den Teilfiguren 5a bis 5f sechs verschiedene weitere Ausführungsformen der Schallwellenerzeugungseinrichtung unter Verwendung von unterschiedlichen Arrays von Schallwandlern – im Folgenden auch Phased Array Transducer genannt;
- 15 Fig. 6 zeigt eine Grafik, in der eine Erzeugung einer stehenden Schallwelle mittels Phased Array Transducer gemäß einer der in Fig. 5 gezeigten Darstellungen verdeutlicht wird,
- 20 Fig. 7 eine zweite Ausführungsform eines strömungsdynamischen Profilkörpers mit einer zweiten Ausführungsform einer Strömungssteuerungsvorrichtung, die Schallwellenerzeugungseinrichtung der in Fig. 5 und 6 verdeutlichten Art mit Phased Array Transducern aufweist;
- 25 Fig. 8 zeigt in den Teilfiguren 8a, 8b und 8c mögliche Ausgestaltungen von stehenden Schallwellen zur Strömungsbeeinflussung bei einer Strömungssteuerungsvorrichtung, beispielsweise gemäß Fig. 7.

In Fig. 1 ist ein Beispiel einer strömungsdynamischen Fläche 10 dargestellt, die durch eine Strömung 12 eines Fluidmediums 14, beispielsweise Luft, angeströmt wird. Die Fläche 10 ist beispielsweise eine Oberfläche eines Tragflügels 16 eines Passagierflugzeuges 18, das sich durch die Luft bewegt.

5

Dabei spielt der Luftwiderstand eine wesentliche Rolle. Durch die allgemein nicht vermeidbare Reibung an Oberflächen entsteht an Flugzeugoberflächen durch das Überströmen der Luft eine sog. Grenzschicht 20, welche bei niedriger Reynoldszahl über die gesamte Fläche 10 laminar verläuft. Bei höherer Reynoldszahl kann die laminare Strömung 22 nicht gänzlich aufrecht erhalten werden, wodurch diese in Strömungsrichtung 24 zusammenbricht und sich turbulent fortsetzt – turbulente Strömung 26. Der Umschlag von laminarer Strömung 22 in turbulente Strömung 26 wird in der Strömungsmechanik auch als Transition bezeichnet und ist in Fig. 1 als Übergangsbereich 28 dargestellt. Der Bereich turbulenter Strömung 26 zeichnet sich durch starke Wirbelbildung und chaotisches Fließverhalten aus, wodurch ein deutlich höherer Strömungswiderstand entsteht. Unterhalb der turbulenten Strömung 26 befindet sich eine laminare Unterschicht 30.

10

15

Im Stand der Technik haben sich die Ausbildung von sogenannten Riblets – hierunter sind z.B. in Strömungsrichtung 24 gerichtete z.B. rippenartige Hinder-
nisstrukturen zu verstehen – als unter bestimmten Bedingungen brauchbare Maßnahmen erwiesen, um den Übergang von laminarer Strömung 22 in turbulente Strömung 24 zu vermeiden oder zu verzögern. Z.B. werden solche Riblets durch aufgeklebte und entsprechend ortsunveränderliche Strukturen gebildet.

20

25

Im Folgenden werden Strömungssteuervorrichtungen 32 beschrieben, mit denen sich ähnliche Effekte wie durch die Riblets erreichen lassen, die aber weniger Eingriffe in die Oberflächenform der strömungsdynamischen Fläche 10 erfordern und die auch an sich ändernde Strömungsbedingungen anpassbar sind.

In Fig. 2 ist ein Ausführungsbeispiel eines strömungsdynamischen Profilkörpers 34, an dem eine solche strömungsdynamisch wirksame Fläche 10, die durch eine Strömung 12 des Fluidmediums angeströmt wird, dargestellt. Der Profilkörper 34 ist z.B. eine Tragfläche oder ein Tragflügel 16 eines Luftfahrzeuges 34, wie z.B. eines Passagierflugzeuges 18. Weitere Beispiele für den Profilkörper 34 sind Leitwerke, Rumpfteile oder Triebwerksteile, wie z.B. Triebwerkseinlässe von Luftfahrzeugen oder Propellerblätter oder Rotorblätter von Luftfahrzeugen wie Flugzeugen oder Hubschraubern. Ein weiteres Beispiel für den Profilkörper sind Rotorblätter von Windrädern. Siehe für weitere Einzelheiten derartiger Profilkörper die Literaturstellen [1], [2], [3], [20] und [21].

Die Strömungssteuerungsvorrichtung 32 weist jedoch anstelle starrer Riblets eine Schallwellenerzeugungseinrichtung 36 auf, mittels der sich eine dreidimensionale stehende Schallwelle 38 in dem Fluidmedium 14 in der Grenzschicht 20 erzeugen lässt. Eine solche stehende Schallwelle 38 mit Wellenbäuchen 40 und Wellenknoten 42 bildet sozusagen „virtuelle Riblets“ 44 aus, die wie körperlich vorhandene Riblets wirken. Dies wird im Folgenden anhand der Fig. 3 und 4 näher verdeutlicht.

20

Fig. 3 zeigt in Teilfiguren 3a bis 3d die Überlagerung von Wellen 46, 48 und eine daraus resultierende stehende Welle 50, siehe [4] und siehe hierzu auch Wikipedia: http://de.wikipedia.org/wiki/Stehende_Welle. In den Teilfiguren 3a bis 3d werden eine nach rechts laufende Welle 46 mit einer nach links laufenden Welle 48 überlagert.

25

Durch Überlagerung von zwei Wellen 46, 48 gleicher Frequenz lässt sich eine stehende Welle erzeugen. Treffen sich zwei Wellen 46, 48 – in Fig. 3a, hier mit gleicher Amplitude – in der Mitte, kommt es durch Überlagerung zur Interferenz.

Schreiten die Wellen 46, 48 je um eine Viertel Wellenlänge ($= 1/4 \lambda$) fort, so haben sie sich insgesamt zueinander um eine halbe Wellenlänge verschoben, siehe Fig. 3b. Zu diesem Zeitpunkt befinden sich die Wellen 46, 48 in Phase, wodurch es zur konstruktiven Interferenz kommt.

Bewegen sich die Wellen erneut je um $1/4 \lambda$ fort, wie in Fig. 3c gezeigt, befinden sie sich in Gegenphase mit destruktiver Interferenz. Die Amplitude der resultierenden Welle 50 ist demnach gleich Null.

Bewegen sich die Wellen wieder um $1/4 \lambda$ fort, so sind sie erneut in Phase. Es folgt wieder konstruktive Interferenz mit entsprechender Amplitude der resultierenden Welle, siehe Fig. 3d. Die stehenden Maxima bzw. Minima ergeben sich somit jedes Mal an gleicher Stelle, wodurch die stehende Welle 50 entsteht, vgl. Fig. 3b mit Fig. 3d.

Bei der Schallwellenerzeugungseinrichtung 36 wird hörbarer Schall im höheren Frequenzbereich und besonders Ultraschall, mit Frequenzen oberhalb des Hörfrequenzbereichs des Menschen, von Schallgebern oder Schallwandlern (auch Transducer genannt) z.B. mittels des (inversen) piezoelektrischen Effektes erzeugt. Hierbei regt eine hochfrequente elektrische Wechselspannung ein piezoelektrisches Material wie z.B. Blei-Zirkonat-Titanat (PZT) zu Schwingungen an, welche in einem kompressiblen Medium 14 wie Luft Druckschwankungen und in Folge Schall verursachen.

Nach dem Prinzip der stehenden Welle 50 können z.B. bei der akustischen Levitation mit Ultraschall leichte Partikel in Schwebe gehalten werden. Auf Grund der sich abwechselnden Druckunterschiede entstehen kleine Strömungen, welche sich z.B. kreisförmig ausbilden und somit eine Kraft auf kleinere Partikel ausüben

können. Diese sog. akustische Kraft kann dazu genutzt werden um dementsprechend Partikel gefangen zu halten, vgl. Fig. 4, für weitere Erläuterungen und Einzelheiten wird auf [5], [6] und [7] verwiesen.

- 5 Dieser Effekt lässt sich schließlich auch zur Strömungskontrolle verwenden. Hierfür werden zwei sich gegenüber stehende Transducer (oder ein Transducer mit einem gegenüber stehenden Reflektor) – erster Schallwandler 54 und zweiter Schallwandler 56 oder Schallwandler 52 und Reflektor 58 – nahe der Oberfläche – Fläche 10 – stehend (z.B. senkrecht zur Oberfläche) angebracht, welche dazwischen eine 2-dimensionale stehende Schallwelle erzeugen, also lokale alternierende Druckstellen, vgl. Fig. 2a. Werden dementsprechend viele solcher mehr 2-dimensionalen stehenden Wellen in gleicher Ausrichtung hintereinander angeordnet, ergibt sich eine längliche „Druckwand“ 60, – örtliche Verteilung eines Wellenbauchs einer dreidimensionalen stehenden Schallwelle 38 dargestellt mit „+“ für positive Amplitude und „-“ für negative Amplitude – welche im Folgenden als „virtuelles“ Riblet 44 bezeichnet wird, siehe Fig. 2b. Im Falle der Turbulenzbeeinflussung werden die virtuellen Riblets 44 vorzugsweise so ausgerichtet, dass diese parallel zur Strömungsrichtung 24 verlaufen.
- 10
- 15
- 20 Demnach weist die in Fig. 2 dargestellte Ausführungsform der Strömungssteuervorrichtung 32 eine Schallwellenerzeugungseinrichtung 36 auf, die zum Ausbilden einer stehenden Schallwelle 38 ausgebildet ist, deren Wellenbäuche eine definierte örtliche Verteilung zur Strömungsbeeinflussung aufweisen.
- 25 Hier ist z.B. eine Anordnung aus wenigstens einem Schallwandler 52 und einem Reflektor 58 oder eine Anordnung aus wenigstens einem ersten Schallwandler 54 und einem zweiten Schallwandler 56 vorgesehen.

An die Schallwandler 52, 56, 54 ist eine nicht näher dargestellte Steuerung angeschlossen, die die Schallwandler mit einer einstellbaren Wechselspannung zum Erzeugen der dreidimensionalen stehenden Schallwelle 38 und damit der örtlich definiert angeordneten und verteilten virtuellen Riblets versorgt.

5

Dabei kann durch entsprechende Ansteuerung die Zahl, Lage, Ausrichtung und Intensität der virtuellen Riblets 44 (der Wellenbäuche 40) gezielt verändert und an derzeitige Bedingungen und Eigenschaften der Strömung 12 angepasst werden.

- 10 Die gezielte Veränderung und Ausrichtung der Lage von Wellenbäuchen stehender akustischer Wellen ist bekannt und wird z.B. für andere Anwendungen in [5], [6] und [7] erläutert. In Fig. 4a bis 4d sind unterschiedliche gezielt erzeugte und örtlich definierte stehende dreidimensionale Schallwellen am Anwendungsbeispiel der akustischen Levitation dargestellt. Fig. 4 zeigt die Visualisierung der akustischen Resonanzmuster der akustischen Levitation mittels kalten Eisaerosol, siehe
- 15 [7].

In Fig. 2 ist die Anwendung dieser Technik stehender Schallwellen zur Strömungskontrolle gezeigt. Durch die Erzeugung der virtuellen Riblets 44 werden

- 20 Querströmungen innerhalb der Grenzschicht 20 unterbunden, wodurch sich eine verlängerte laminare Strömung 22 einstellt. Durch den längeren Erhalt der widerstandsärmeren laminaren Strömung 22 und späteren Umschlag in die turbulente Strömung 26 ergibt sich somit in der Summe ein allgemein geringerer Luftwiderstand.

25

In Fig. 2 ist die Erzeugung virtueller Riblets 44 mittels stehend angeordneten Transducern verdeutlicht.

Im Folgenden wird auf Fig. 5 Bezug genommen, die weitere Ausführungsformen der Schallwellenerzeugungseinrichtung 36 zeigt, die besonders zur Strömungsbeeinflussung für strömungsdynamische Profilkörper geeignet sind. Fig. 5 zeigt verschiedene Anordnungen von Schallgebern oder Schallwandlern 52 zu einem Array 44 (Phased Array Transducer), siehe hierzu im Einzelnen die Literaturstelle [8].

Durch die Verwendung bestimmter Transducer lässt sich die Ausbreitungsrichtung der Schallwelle gezielt einstellen oder auch bei Bedarf gebündelt auf einen Punkt fokussieren. Bei den Ausführungsformen der Fig. 5 werden die Schallwellen mit einer Vielzahl aus Einzeltransducern – viele einzelne Schallwandler 52 – erzeugt, welche je nach Anwendung in einer bestimmten Weise angeordnet sind. Es sind unterschiedliche Arrays 64 von Schallwandlern 52 in Fig. 5 dargestellt. Eine Anordnung solcher Transducer wird zusammen als ein „Phased Array Transducer“ 66 bezeichnet, da die einzelnen Transducer phasenverschoben angesteuert werden müssen, um eine gerichtete (gesamt) Schallwelle bzw. Bündelung/Fokussierung zu erreichen, siehe [8].

Durch Verwendung von streifenförmigen Arrays 64 lassen sich erneut längliche virtuelle Riblets 44 bilden, welche zudem noch in ihren Abständen und ihrer Höhe verstellbar sind. Dies ist in Fig. 6 näher verdeutlicht. Fig. 6 zeigt mittels Phased Array Transducer 66 nahe der Oberfläche fokussierter Schall, der zu einem einzelnen Druckknoten fokussiert ist.

Solche Phased Array Transducer 66 werden für die Strömungsbeeinflussung in die Oberfläche – strömungsdynamische Fläche 10 – in regelmäßigen Abständen selbst angebracht, um eine Vielzahl solcher virtueller Riblets 44 auf der Oberfläche zu erzeugen. Fig. 7 zeigt ein weiteres Ausführungsbeispiel des strömungsdynamischen Profilkörpers 34 mit einer weiteren Ausführungsform der Strömungssteuerungsvorrichtung 32, die eine Ausführungsform einer Schallwellenerzeu-

gungseinrichtung 36 aufweist, bei der solche streifenförmigen Schallwandler 52 zu einem derartigen Phased Array Transducer 66 zusammengefasst sind, um die virtuellen Riblets 44 zu erzeugen.

- 5 Fig. 7 verdeutlicht die Erzeugung virtueller Riblets 44 mittels streifenförmigen Phased Array Transducer 66 an einer strömungsdynamisch wirksamen Fläche 10.

In einer nicht näher dargestellten weiteren Ausführungsform der Schallwellenerzeugungseinrichtung 36 sind alternativ bei synchroner Ansteuerung die einzelnen
10 Transducer – Schallwandler 52 – so angeordnet, dass diese aus der Formgebung heraus oder mittels akustischen Linsen schon eine gebündelte Abstrahlcharakteristik besitzen. Eine solche Ausgestaltung ist derzeit weniger bevorzugt, da solche Arrays eher unflexibel sind, da sie bereits eine fest eingestellte Abstrahlungsrichtung oder einen fixen Brennpunkt besitzen. Anpassungen könnten hier durch eine
15 Einstellung von Lage oder Ausrichtung der Transducer oder der akustischen Linsen erreicht werden. Je nach Anwendungsfall können auch diese Ausführungsformen interessant sein.

Allgemein sind Ultraschall-Arrays auf anderen technischen Gebieten, so z.B. bei
20 der zerstörungsfreien Werkstoffprüfung und in der Medizin bei der Zerstörung von z.B. Tumorgewebe oder Nierensteinen oder Gallensteinen heutiger Stand der Technik und somit bekannt. Die aus diesen technischen Gebieten bekannten Anpassungen zur Strahlanpassung und Ausbreitung der Schallwellen können auch für die hier dargestellte Verwendung zur Strömungsbeeinflussung eingesetzt werden.
25

Bisher sind die virtuellen Riblets 44, die durch Wellenbäuche einer stehenden Schallwelle erzeugt werden und sich entsprechend der örtlichen Verteilung und Lage der Wellenbäuche erstrecken, als geradlinige, vorzugsweise parallel zur

Strömungsrichtung verlaufende Elemente beschrieben worden. Die Riblets 44 sind als eine Art Druckwand oder Schallwand 60 – d.h. Wand aus Schall – ausgebildet.

Die Form und Ausrichtung der Schallwände 60 muss jedoch nicht zwingend gerade und parallel verlaufen, sondern es sind jegliche andere Formen und Verteilungen denkbar, welche mit den Phased Array Transducer 66 zu erzeugen sind. Einige exemplarische Anordnungen sind in Fig. 8 dargestellt.

Fig. 8 zeigt unterschiedliche mögliche Anordnungsweisen der „virtuellen“ Riblets 44 und zwar in Fig. 8a parallel, in Fig. 8b spitz zulaufend und in Fig. 8c wellenförmig.

Bedingungen für eine optimale bzw. maximale Turbulenzunterdrückung können je nach Anwendung in Versuchen ermittelt werden. Denkbar ist hierbei auch unter anderem auch eine Selbstoptimierung nach dem Prinzip der neuronalen Netze, wobei die Anordnung der Schallwandler eher statistisch verteilt ist und die zeitliche Generierung und Form der Schallknoten durch den selbsterlernenden Prozess zu einem minimalen Luftwiderstand hin ermittelt wird.

Eine weitere leicht abgewandelte Einsatzmöglichkeit ist, dass mit einem fokussierten Schallpuls gezielt herausbrechende Luftwirbel, wie z.B. sog. Hairpin Vortices siehe [9], zerschossen werden, was deren weitere Ausbildung unterbindet. Hierbei können die Transducer oder Schallwandler 52 gleichzeitig die Rolle eines Sensors und eines Aktors einnehmen, da die Transducer oder Schallwandler 52 im umgekehrten Fall, also bei einer vorhandenen Druckschwankung, diese in ein elektrisches Signal umwandeln, welches zur Erfassung der Position der entstehenden Wirbel dient.

Neben dem Einsatz für die Strömungsmanipulation ergibt sich eine weitere mögliche Verwendung solcher Schallwände 60, insbesondere im Fall von Ultraschallwänden.

- 5 Sich während des Fluges bildende vereiste Tragflächen, insbesondere im Bereich des Vorflügels, stellen immer wieder ein Problem dar. Diese bilden sich durch angeströmte und anhaftende Eispartikel. Durch die Erzeugung und Einhüllung bestimmter Bereiche des Flügels mit den virtuellen Riblets 44 werden die Eispartikel gezielt abgelenkt. Die Schallwände 60 fungieren somit als ein Schutzschirm,
10 wodurch ein Anhaften des Eises vermieden wird.

- Da sich Schallwellen auch in festen Materialien wie z.B. Aluminium ausbreiten, ließe sich der Schallwandler 52 unter die Flugzeughaut anbringen. Die somit erzeugten Schallwellen würden durch das Material der Haut in die darüber liegende
15 Luftschicht dringen.

- Um allgemein eine bessere Einkopplung des Schalls in ein Medium mit abweichender akustischer Impedanz zu erreichen, werden i.R. auf die Transducer Anpassungsschichten aufgebracht. Solch eine Anpassungsschicht ließe sich z.B. bei
20 Flugzeugen unkompliziert durch einfaches Beschichten auf der Flugzeughaut aufbringen, ohne ebenfalls in die eigene Struktur der Flugzeughaut eingreifen zu müssen.

- Bei den hier beschriebenen Lösungen werden „virtuelle“ Riblets 44 mittels Schall,
25 bzw. je nach Randbedingung Ultraschall, erzeugt. Zur Erzeugung des Schalls werden im derzeit bevorzugten Ausführungsbeispiel Phased Array Transducer 66 verwendet, welche z.B. streifenförmig ausgebildet längs in Strömungsrichtung 24 angeordnet werden.

Durch phasenverschobene Ansteuerung der einzelnen Schallwandler 52 lässt sich somit ein Schallstrahl erzeugen, welcher nahe der Oberfläche fokussiert eine stehende Druckwelle erzeugt. Diese wirkt für den vorbeiströmenden Fluss wie eine Wand 60. Somit wird durch diese Wand 60 ein Durchströmen verhindert, wodurch
5 der Übergang von laminarer Strömung 22 in turbulente Strömung 26 verhindert bzw. verzögert wird.

Eine weitere leicht abgewandelte Ausführung ist nicht nur mittels virtueller Riblets 44 eine Querströmung zu verhindern, sondern den Schall gezielt auf herausbre-
10 chende Luftwirbel zu fokussieren, diese zu zerschießen und deren weitere Ausbildung zu unterbinden.

Einige Vorteile der hier dargestellten Lösungen sind:

- Insbesondere bei der Verwendung von Phased Array Transducer 66: Skalierbare Schallwände 60 und somit Anpassung an die Strömungssituation, wie z.B. Strömungsgeschwindigkeit, Start/Landung bei Flugzeugen
15
- Gezielte Manipulation der Strömung bei z.B. ausbrechenden Wirbeln
- Allgemein kein oberflächenverändernder und somit strömungsbeeinflussender Eingriff in die Oberflächenstruktur
20

Die hier dargestellten Lösungen betreffen insbesondere

- eine Turbulenzbeeinflussung/Strömungsmanipulation (manipulation of turbulence/flow)
- eine aktive Änderung des Luftwiderstands (active air drag modification)
25 und/oder
- eine Erzeugung einer Ultra-/Schallwand (ultra-/sonic sound wall).

Durch die hier dargestellten Lösungen wird insbesondere ein Aktorsystem zur Beeinflussung von Strömungen zur Reduzierung oder Erhöhung des Strömungswiderstandes geschaffen.

- 5 Vorteilhafte Anwendungsgebiete sind insbesondere
 - eine Reduzierung des Luftwiderstandes und somit der Treibstoffeinsparung bei Luftfahrzeugen und insbesondere primär Flugzeugen und bei Schnellzügen.
 - eine Effizienzsteigerung bei Turbinen und Windkraftanlagen
- 10 • eine Verbesserung bei allen Anwendungsbereichen, bei denen Strömungen einen turbulenten Zustand einnehmen können, welcher zu einem Anstieg des Strömungswiderstandes führt.

Bezugszeichenliste:

	10	strömungsdynamische Fläche
5	12	Strömung
	14	Fluidmedium
	16	Tragflügel
	18	Passagierflugzeug
	20	Grenzschicht
10	22	laminare Strömung
	24	Strömungsrichtung
	26	turbulente Strömung
	28	Übergangsbereich
	30	laminare Unterschicht
15	32	Strömungssteuerungsvorrichtung
	34	Profilkörper
	36	Schallwellenerzeugungseinrichtung
	38	stehende Schallwelle
	40	Wellenbauch
20	42	Wellenknoten
	44	virtuelles Riblet
	46	Welle nach rechts
	48	Welle nach links
	50	stehende Welle
25	52	Schallwandler
	54	erster Schallwandler
	56	zweiter Schallwandler
	58	Reflektor
	60	Druckwand/Schallwand

64 Array

66 Phased Array Transducer

Patentansprüche

1. Strömungssteuerungsvorrichtung (32) zur Beeinflussung einer Strömung (12) eines Fluidmediums (14) an einer strömungsdynamischen Fläche (10) eines strömungsdynamischen Profilkörpers (34), umfassend eine Schallwellenerzeugungseinrichtung (36) zum Erzeugen einer stehenden Schallwelle (38) mit örtlich definierten Wellenbäuchen (40) und Wellenknoten (42) und/oder eines örtlich definiert fokussierten Schallpulses.
2. Strömungssteuerungsvorrichtung (32) nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Schallwellenerzeugungseinrichtung (36) umfasst:
- a) wenigstens einen Schallwandler (52) zum Erzeugen einer ersten Welle (46) mit einer Ausbreitungsrichtung, die mit ihrer Hauptrichtungskomponente parallel zur Fläche (10) und senkrecht zur Strömungsrichtung (24) verläuft, und eine Schallreflexionseinrichtung (58) zum Zurückreflektieren (48) der ersten Welle (46) zwecks Erzeugen der stehenden Schallwelle (38), und/oder
 - b) wenigstens einen ersten Schallwandler (54) zum Erzeugen einer ersten Welle (46) mit einer Ausbreitungsrichtung, die mit ihrer Hauptrichtungskomponente parallel zur Fläche (10) und senkrecht zur Strömungsrichtung (12) verläuft, und einen zweiten Schallwandler (56) zum Erzeugen einer zweiten Welle (48) mit einer Ausbreitungsrichtung die der Ausbreitungsrichtung der ersten Schallwelle entgegengesetzt ist, um durch Überlagerung der ersten und zweiten Welle (46, 48) die stehenden Schallwelle (38) zu erzeugen, und/oder
 - c) ein Array (64, 66) von Schallwandlern (52), die in regelmäßigen Abständen im Bereich der Fläche (10) angeordnet sind und die ausgebildet sind, die stehende Schallwelle (38) mit örtlich definierten Wellenbäuchen (40) und

Wellenknoten (42) und/oder den örtlich fokussierten Schallpuls zu erzeugen, und/oder

- d) eine Anordnung wenigstens eines Schallwandlers (52) oder mehrere Schallwandler und wenigstens einer akustischen Linse.

5

3. Strömungssteuerungsvorrichtung nach einem der voranstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet,

dass die Schallwellenerzeugungseinrichtung (36) dazu ausgebildet ist, die stehende Schallwelle derart zu erzeugen,

- 10 e) dass sich Wellenknoten (42) und/oder Wellenbäuche (40) längs der Strömungsrichtung (24) länglich erstrecken und/oder
- f) dass in einer Querrichtung zur Strömungsrichtung (24) Wellenknoten (42) und Wellenbäuche (40) einander abwechseln, und/oder
- 15 g) dass Orte von Wellenknoten (42) und/oder Wellenbäuchen (40) plattenförmig oder wandförmig verlaufen, und/oder
- h) dass Orte von Wellenknoten (42) und/oder Wellenbäuchen (40) in Draufsicht auf die Fläche (10) gesehen spitz zulaufen und/oder dreieckförmig verlaufen, und/oder
- i) dass Orte von Wellenknoten (42) und/oder Wellenbäuchen (40) in Draufsicht
- 20 auf die Fläche wellenförmig verlaufen,
- j) dass Orte von Wellenknoten (42) und/oder Wellenbäuchen (40) parallel verlaufen.

4. Strömungsdynamischer Profilkörper (34) umfassend eine im Betrieb von einer Strömung (12) eines Fluidmediums (14) angeströmten und/oder umströmten strömungsdynamischen Fläche (10), umfassend eine Schallwellenerzeugungseinrichtung (36) zum Erzeugen einer stehenden Schallwelle (38) mit örtlich an der Fläche (10) definiert angeordneten Wellenbäuchen (40) und Wellenknoten (42) und/oder eines örtlich definiert fokussierten Schallpulses.
- 25

5. Strömungsdynamischer Profilkörper (34) nach Anspruch 4, gekennzeichnet durch eine Strömungssteuerungsvorrichtung (32) nach einem der Ansprüche 1 bis 3.

5

6. Strömungsdynamischer Profilkörper (34) nach einem der Ansprüche 4 oder 5, ausgebildet als:

- Strömungsprofil eines Luftfahrzeuges,
- 10 - Tragflügel (16) oder Leitwerkkörper eines Flugzeuges (18),
- Triebwerkseinlasskörper eines Luftfahrzeuges oder
- Rotorflügel oder Propellerflügel eines Luftfahrzeuges oder eines Windrads.

7. Strömungssteuerungsverfahren zum Beeinflussen einer Strömung an einer strömungsdynamischen Fläche (10) eines strömungsdynamischen Profilkörpers (34), umfassend: Beeinflussen der Strömung (12) mittels örtlich definiert an der Fläche (10) erzeugten Schallwellen (38).

15

8. Strömungssteuerungsverfahren nach Anspruch 7, gekennzeichnet durch

- a) Erzeugen wenigstens einer stehenden Schallwelle (38) und/oder
- b) Fokussieren eines Schallpulses auf einen zu beeinflussenden Strömungsbe-

reich.

20

9. Strömungssteuerungsverfahren nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, dass Schritt a) wenigstens einen, mehrere oder alle der folgenden Schritte enthält:

25

- e) Erzeugen der stehenden Schallwelle (38) mit sich längs der Strömungsrichtung länglich erstreckenden Wellenknoten (42) und/oder Wellenbäuchen (40),
- 5 f) Erzeugen der stehenden Schallwelle (38) mit sich in einer Querrichtung zur Strömungsrichtung abwechselnden Wellenknoten (42) und/oder Wellenbäuchen (40),
- g) Erzeugen der stehenden Schallwelle (38) mit in Draufsicht auf die Fläche geradlinig verlaufenden Wellenknoten (42) und/oder Wellenbäuchen (40),
- 10 h) Erzeugen der stehenden Schallwelle (38) mit in Draufsicht auf die Fläche (10) spitz zulaufenden und/oder dreieckförmig verlaufenden Wellenknoten (42) und/oder Wellenbäuchen (40),
- i) Erzeugen der stehenden Schallwelle (38) mit in Draufsicht auf die Fläche (10) wellenförmig verlaufenden Wellenknoten und/oder Wellenbäuchen und/oder
- 15 j) Erzeugen der stehenden Schallwelle (38) mit in Draufsicht auf die Fläche (10) parallel verlaufenden Wellenknoten (42) und/oder Wellenbäuchen (40).

10. Strömungssteuerungsverfahren nach einem der voranstehenden Ansprüche, gekennzeichnet durch

- 20 Verhindern oder Verzögern eines Übergangs einer laminaren Strömung (22) in eine turbulente Strömung (26) durch Verwenden einer stehenden Schallwelle (38) als Hindernis und/oder Führung für die Strömung.

11. Strömungssteuerungsverfahren nach einem der voranstehenden Ansprüche, gekennzeichnet durch

- 25 Verändern der Schallwellenerzeugung in Abhängigkeit von Parametern der zu beeinflussenden Strömung (12).

12. Strömungssteuerungsverfahren nach einem der voranstehenden Ansprüche,

gekennzeichnet durch

Erfassen wenigstens eines Parameters der zu beeinflussenden Strömung und Erzeugen der Schallwellen (38) in Abhängigkeit von dem erfassten Parameters.

- 5 13. Strömungssteuerungsverfahren nach einem der voranstehenden Ansprüche, gekennzeichnet durch

Verwenden wenigstens eines Schallwandlers (52) zur Erzeugung der Schallwelle und als Detektor zum Erfassen einer Eigenschaft oder eines Parameters der zu beeinflussenden Strömung (12).

10

14. Strömungssteuerungsverfahren nach einem der voranstehenden Ansprüche, gekennzeichnet durch

Durchführen des Verfahrens mittels der Strömungssteuerungsvorrichtung (32) nach einem der Ansprüche 1 bis 3 und/oder Durchführen an einem strömungsdynamischen Profilkörper (34) nach einem der Ansprüche 4 bis 6.

15

15. Verwendung einer stehenden Schallwelle (38) und/oder eines fokussierten Schallpulses in einem Fluidmedium zur Beeinflussung einer Strömung des Fluidmediums an einer strömungsdynamischen Fläche (10) und/oder zur Vermeidung von Eisbildung an der strömungsdynamischen Fläche (10).

20

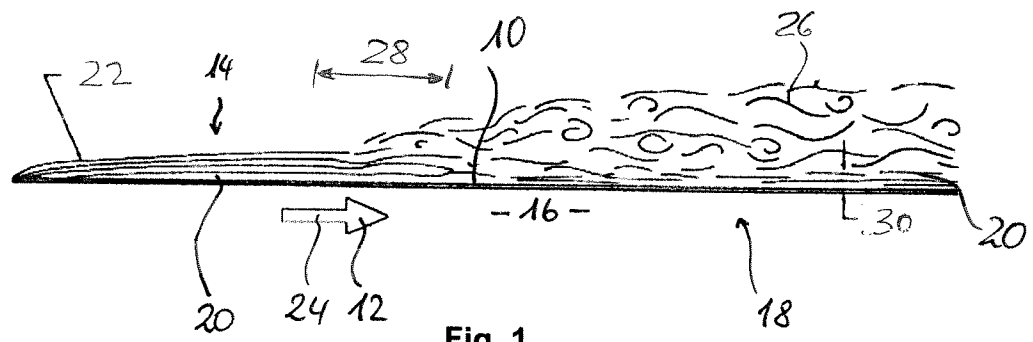


Fig. 1

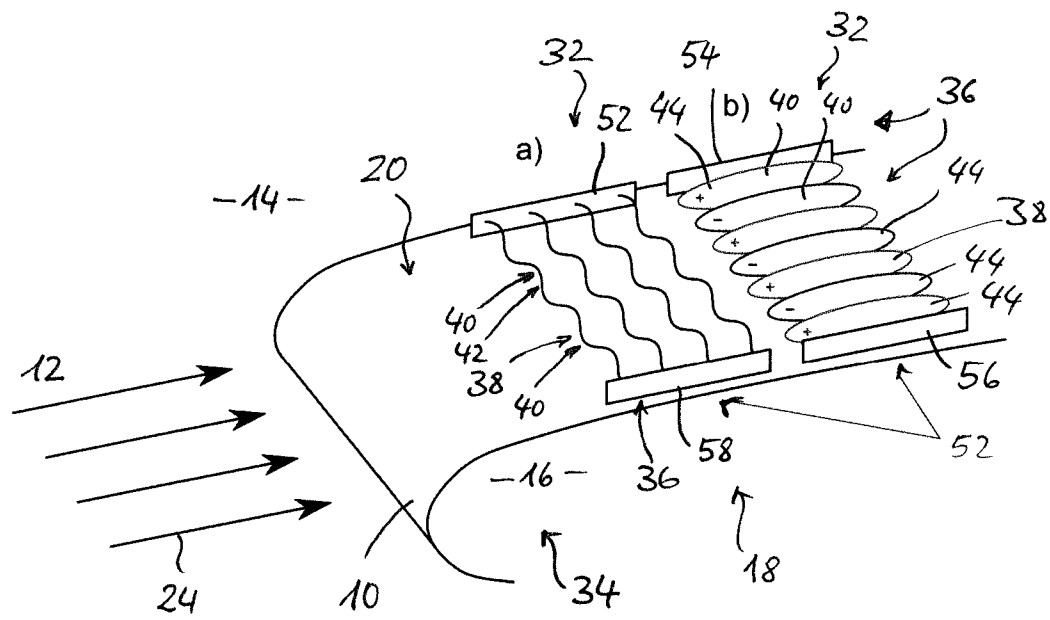


Fig. 2

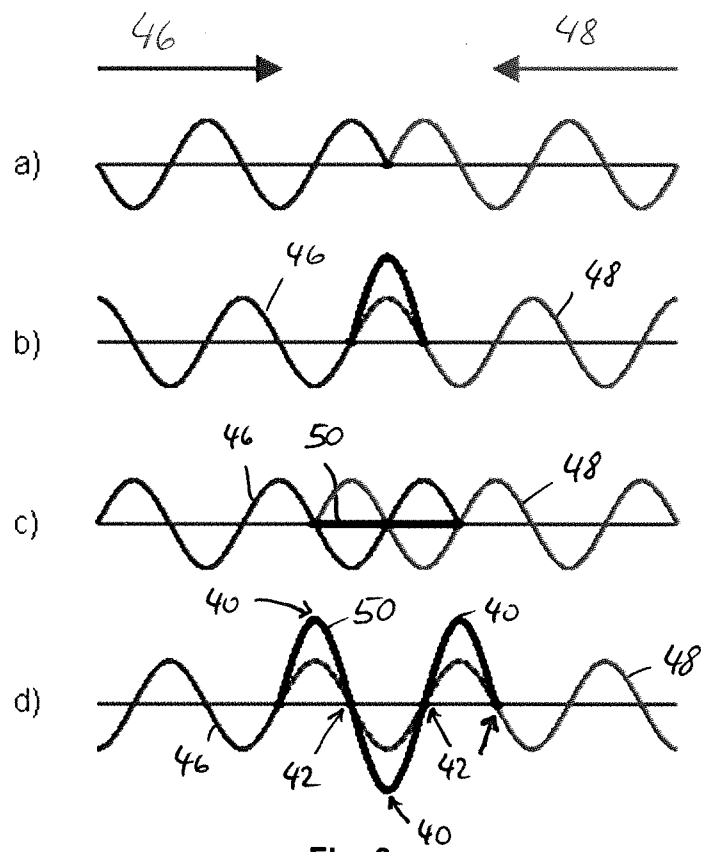


Fig. 3

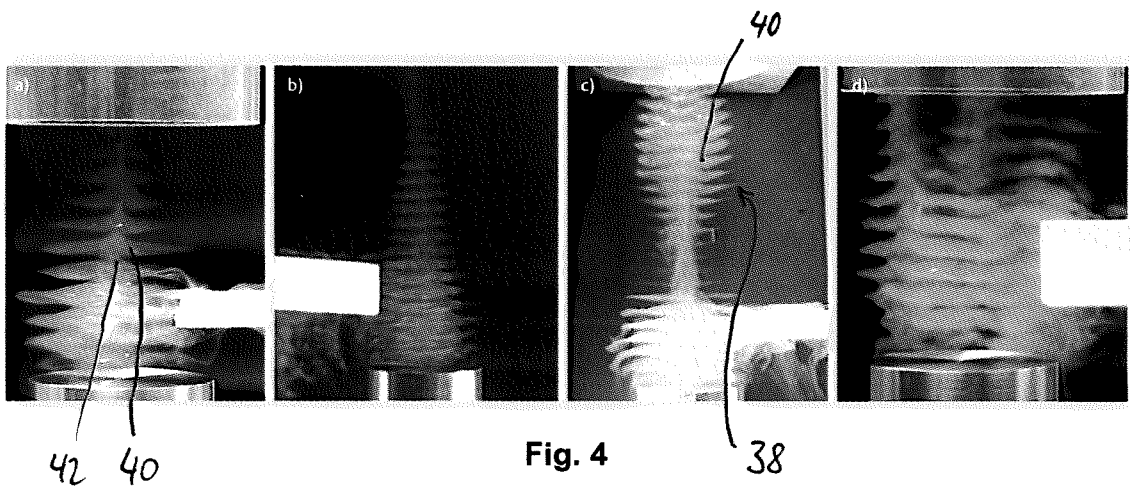
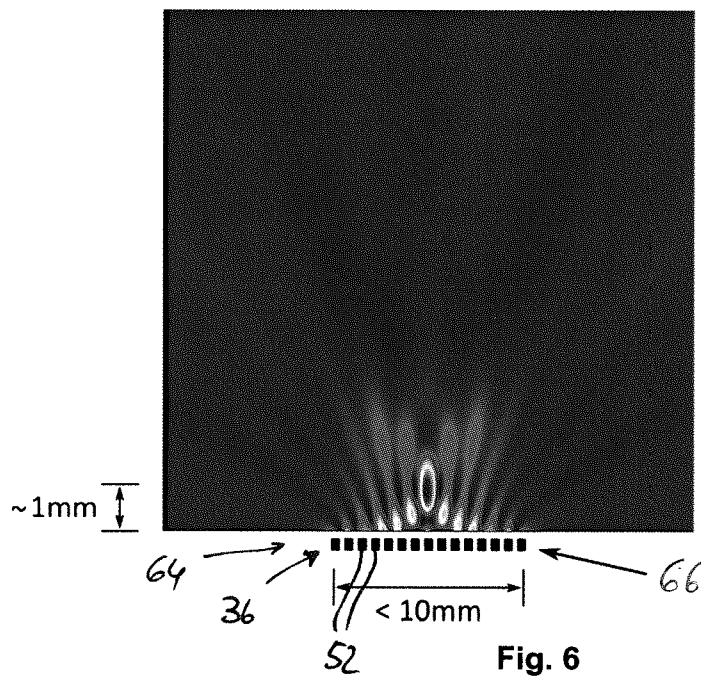
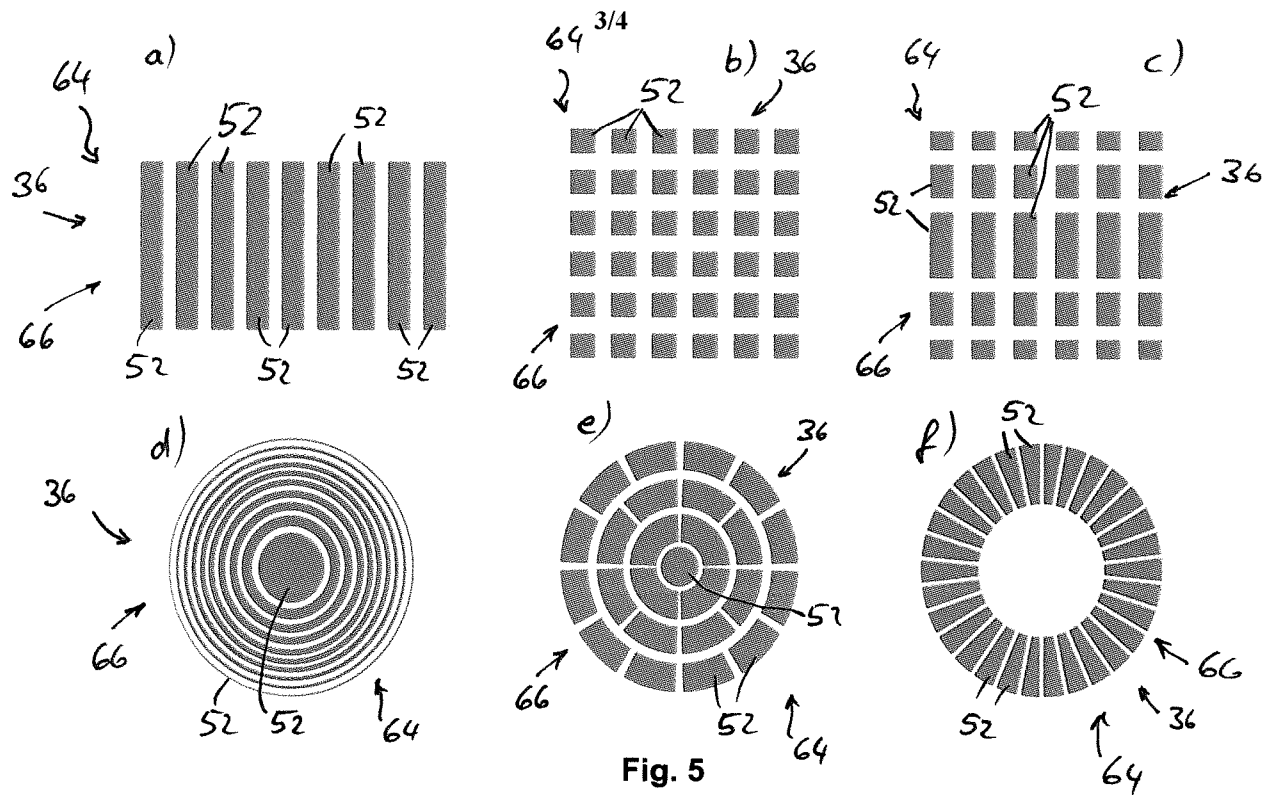


Fig. 4



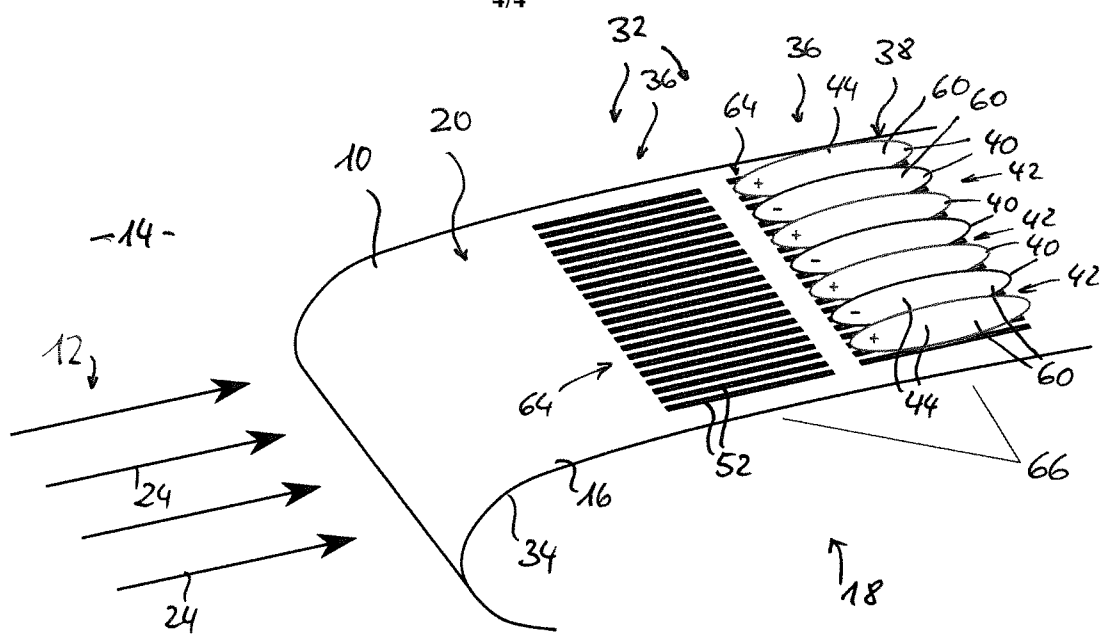


Fig. 7

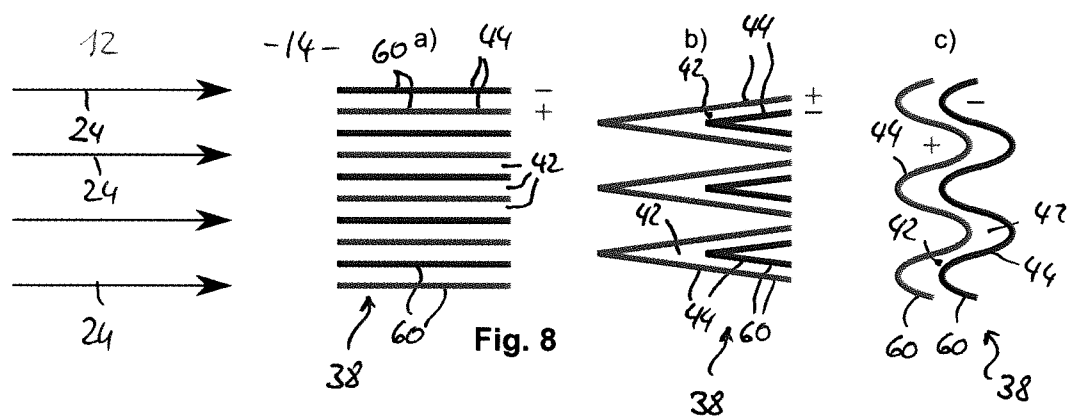


Fig. 8

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No

PCT/EP2016/059800

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

INV. B64C23/00 B64D15/16
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)

B64C B64D

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 5 961 080 A (SINHA SUMON K [US]) 5 October 1999 (1999-10-05) Die nachfolgenden Figuren, sowie den entsprechenden Beschreibungstext:: claims 10, 11; figures 1-3 -----	1-15
X	DE 37 79 550 T3 (BOEING CO [US]) 3 April 1997 (1997-04-03) Figuren; paragraphs [0001], [0004], [0008], [0012] - [0021] -----	1,2,4-8, 11-15
X	WO 00/55036 A2 (UNITED TECHNOLOGIES CORP [US]; MCCORMICK DUANE C [US]; GYSLING DANIEL) 21 September 2000 (2000-09-21) Die nachfolgenden Figuren, sowie den entsprechenden Beschreibungstext:: figures 2A, 2B, 8, 9, 10A, 10B ----- -/-	1,2,4-8, 14,15



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

* Special categories of cited documents :

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

14 July 2016

Date of mailing of the international search report

22/07/2016

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

Dorpema, Huijb

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2016/059800

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 5 613 456 A (KUKLINSKI ROBERT [US]) 25 March 1997 (1997-03-25) column 2, line 41 - column 3, line 20 column 4, line 3 - column 5, line 3 column 5, line 40 - column 6, line 56; figures 1-5 -----	1-5,7-9, 11,14,15
X A	US 2008/128561 A1 (HYDE RODERICK A [US] ET AL) 5 June 2008 (2008-06-05) paragraphs [0051] - [0078] -----	7,11,12, 15 1-6,8-10
X,P	EP 2 873 608 A1 (ROHR INC [US]) 20 May 2015 (2015-05-20) paragraphs [03;8] - [0017]; figures 1, 2a, 2b, 3 -----	1-10,14, 15
X A	US 2009/224104 A1 (TENEBRE PAULINE [FR] ET AL) 10 September 2009 (2009-09-10) the whole document -----	15 1-14
A	US 5 901 928 A (RASKOB JR ANTHONY WILLIAM [US]) 11 May 1999 (1999-05-11) Die nachfolgenden Figuren, sowie den entsprechenden Beschreibungstext;; figures 1, 2, 6, 9, 11 -----	1-15
A	US 2 783 008 A (BODINE JR ALBERT G) 26 February 1957 (1957-02-26) the whole document -----	1-15

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/EP2016/059800

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 5961080	A	05-10-1999	NONE
DE 3779550	T3	03-04-1997	DE 3779550 D1 09-07-1992 DE 3779550 T3 03-04-1997 EP 0264144 A2 20-04-1988 US 4802642 A 07-02-1989
WO 0055036	A2	21-09-2000	AU 5865200 A 04-10-2000 CA 2361824 A1 21-09-2000 DE 60011235 D1 08-07-2004 DE 60011235 T2 23-06-2005 EP 1156962 A2 28-11-2001 JP 2002539035 A 19-11-2002 US 6390418 B1 21-05-2002 WO 0055036 A2 21-09-2000
US 5613456	A	25-03-1997	NONE
US 2008128561	A1	05-06-2008	NONE
EP 2873608	A1	20-05-2015	EP 2873608 A1 20-05-2015 US 2015136909 A1 21-05-2015
US 2009224104	A1	10-09-2009	AT 478804 T 15-09-2010 BR PI0901475 A2 26-01-2010 CN 101525053 A 09-09-2009 EP 2098450 A1 09-09-2009 FR 2928346 A1 11-09-2009 JP 2009214873 A 24-09-2009 KR 20090095521 A 09-09-2009 US 2009224104 A1 10-09-2009
US 5901928	A	11-05-1999	NONE
US 2783008	A	26-02-1957	NONE

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
INV. B64C23/00 B64D15/16
ADD.

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

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
B64C B64D

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 5 961 080 A (SINHA SUMON K [US]) 5. Oktober 1999 (1999-10-05) Die nachfolgenden Figuren, sowie den entsprechenden Beschreibungstext;; Ansprüche 10, 11; Abbildungen 1-3 -----	1-15
X	DE 37 79 550 T3 (BOEING CO [US]) 3. April 1997 (1997-04-03) Figuren; Absätze [0001], [0004], [0008], [0012] - [0021] -----	1,2,4-8, 11-15
X	WO 00/55036 A2 (UNITED TECHNOLOGIES CORP [US]; MCCORMICK DUANE C [US]; GYSLING DANIEL) 21. September 2000 (2000-09-21) Die nachfolgenden Figuren, sowie den entsprechenden Beschreibungstext;; Abbildungen 2A, 2B, 8, 9, 10A, 10B ----- -/-	1,2,4-8, 14,15



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

14. Juli 2016

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

22/07/2016

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

Dorpema, Huijb

C. (Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	US 5 613 456 A (KUKLINSKI ROBERT [US]) 25. März 1997 (1997-03-25) Spalte 2, Zeile 41 - Spalte 3, Zeile 20 Spalte 4, Zeile 3 - Spalte 5, Zeile 3 Spalte 5, Zeile 40 - Spalte 6, Zeile 56; Abbildungen 1-5 -----	1-5,7-9, 11,14,15
X A	US 2008/128561 A1 (HYDE RODERICK A [US] ET AL) 5. Juni 2008 (2008-06-05) Absätze [0051] - [0078] -----	7,11,12, 15 1-6,8-10
X,P	EP 2 873 608 A1 (ROHR INC [US]) 20. Mai 2015 (2015-05-20) Absätze [03;8] - [0017]; Abbildungen 1, 2a, 2b, 3 -----	1-10,14, 15
X A	US 2009/224104 A1 (TENEBRE PAULINE [FR] ET AL) 10. September 2009 (2009-09-10) das ganze Dokument -----	15 1-14
A	US 5 901 928 A (RASKOB JR ANTHONY WILLIAM [US]) 11. Mai 1999 (1999-05-11) Die nachfolgenden Figuren, sowie den entsprechenden Beschreibungstext;; Abbildungen 1, 2, 6, 9, 11 -----	1-15
A	US 2 783 008 A (BODINE JR ALBERT G) 26. Februar 1957 (1957-02-26) das ganze Dokument -----	1-15

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2016/059800

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
US 5961080	A	05-10-1999	KEINE
DE 3779550	T3	03-04-1997	DE 3779550 D1 09-07-1992 DE 3779550 T3 03-04-1997 EP 0264144 A2 20-04-1988 US 4802642 A 07-02-1989
WO 0055036	A2	21-09-2000	AU 5865200 A 04-10-2000 CA 2361824 A1 21-09-2000 DE 60011235 D1 08-07-2004 DE 60011235 T2 23-06-2005 EP 1156962 A2 28-11-2001 JP 2002539035 A 19-11-2002 US 6390418 B1 21-05-2002 WO 0055036 A2 21-09-2000
US 5613456	A	25-03-1997	KEINE
US 2008128561	A1	05-06-2008	KEINE
EP 2873608	A1	20-05-2015	EP 2873608 A1 20-05-2015 US 2015136909 A1 21-05-2015
US 2009224104	A1	10-09-2009	AT 478804 T 15-09-2010 BR PI0901475 A2 26-01-2010 CN 101525053 A 09-09-2009 EP 2098450 A1 09-09-2009 FR 2928346 A1 11-09-2009 JP 2009214873 A 24-09-2009 KR 20090095521 A 09-09-2009 US 2009224104 A1 10-09-2009
US 5901928	A	11-05-1999	KEINE
US 2783008	A	26-02-1957	KEINE