



(10) **DE 10 2016 109 026 B4** 2020.03.19

(12)

Patentschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2016 109 026.3**

(22) Anmeldetag: **17.05.2016**

(43) Offenlegungstag: **23.11.2017**

(45) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: **19.03.2020**

(51) Int Cl.: **B64C 21/06 (2006.01)**
B64C 3/20 (2006.01)

Innerhalb von neun Monaten nach Veröffentlichung der Patenterteilung kann nach § 59 Patentgesetz gegen das Patent Einspruch erhoben werden. Der Einspruch ist schriftlich zu erklären und zu begründen. Innerhalb der Einspruchsfrist ist eine Einspruchsgebühr in Höhe von 200 Euro zu entrichten (§ 6 Patentkostengesetz in Verbindung mit der Anlage zu § 2 Abs. 1 Patentkostengesetz).

(73) Patentinhaber:

**Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V.,
51147 Köln, DE**

(74) Vertreter:

**Gramm, Lins & Partner Patent- und
Rechtsanwälte PartGmbB, 30173 Hannover, DE**

(72) Erfinder:

**Forßbohm, Tobias, 38106 Braunschweig, DE;
Kleineberg, Markus, Dr., 30966 Hemmingen, DE;
Froese, Sarah, 38300 Wolfenbüttel, DE; Buggisch,
Manuel, 31224 Peine, DE**

(56) Ermittelter Stand der Technik:

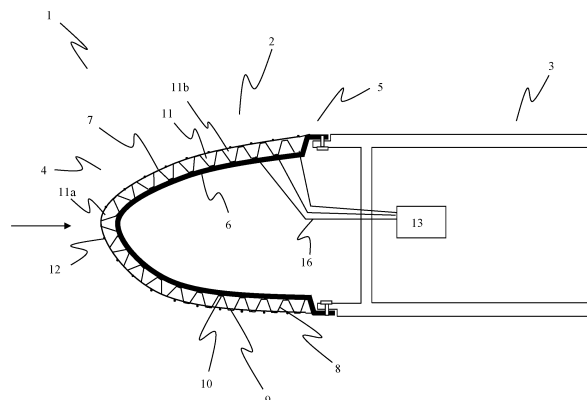
DE	196 49 132	A1
DE	10 2012 112 914	A1
DE	12 66 136	A
US	8 783 624	B2
EP	2 810 870	A1
WO	2005/ 113 336	A1

(54) Bezeichnung: **Aerodynamischer Profilkörper für Flugobjekte**

(57) Hauptanspruch: Aerodynamischer Profilkörper (1) für Flugobjekte, der eine von einer umgebenden Luftströmung umströmbare Strömungsoberfläche hat und in einem Ansaugbereich (4) zum Ansaugen der die Strömungsoberfläche umströmenden Luftströmung zur aktiven Strömungskontrolle ausgebildet ist, wobei der Profilkörper im Ansaugbereich (4)

- eine innenliegende Tragstruktur (6), die einen Faserverbundwerkstoff aufweist oder aus diesem besteht, und
- eine Außenschicht (7) zu Bildung der Strömungsoberfläche, die wenigstens einen Metallwerkstoff aufweist oder aus diesem besteht, aufweist,
- wobei im Ansaugbereich (4) zwischen der innenliegenden Tragstruktur (6) und der Außenschicht (7) eine Mehrzahl von Unterdruckkammern (11) vorgesehen sind, die sich spannweitig in Bezug zu dem Profilkörper erstrecken und quer zur Anströmrichtung der die Strömungsoberfläche umströmenden Luftströmung liegen,
- wobei die Außenschicht (7) im Ansaugbereich (4) eine Mehrzahl von Ansaugöffnungen (12) hat, die jeweils kommunizierend mit einer der darunterliegenden Unterdruckkammern (11) in Verbindung stehen, und
- wobei jede Unterdruckkammer (11) mit einem Unterdrucksystem zum Erzeugen eines Unterdruckes in den jeweiligen Unterdruckkammern (11) verbindbar oder verbunden ist, um die im Ansaugbereich (4) der Strömungsoberfläche umströmende Luftströmung über die Ansaugöffnungen (12) zur aktiven Strömungskontrolle anzusaugen, dadurch

gekennzeichnet, dass das Unterdrucksystem eine aktive oder ...



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft einen aerodynamischen Profilkörper für Flugobjekte, der eine von einer umgebenden Luftströmung umströmbare Strömungs Oberfläche hat. Die Erfindung betrifft ebenso einen Flügelkörper für Flugzeuge mit einem derartigen aerodynamischen Profilkörper sowie ein Verfahren zur aktiven Strömungskontrolle einer Strömungs Oberfläche eines aerodynamischen Profilkörpers umströmende Luftströmung.

[0002] Die Strömungsflächen von Flugobjekten, wie beispielsweise Tragflächen von Verkehrsflugzeugen oder andere Flügelkörper besitzen zunächst grundsätzlich laminare Grenzschichten, die bei heutigen Verkehrsflugzeugen jedoch frühzeitig in turbulente Grenzschichten umschlagen. Eine solche turbulente Grenzschicht weist dabei einen deutlich erhöhten Reibungswiderstand auf als eine laminare Grenzschicht. Die Instabilität der Grenzschicht, die zum Umschlag führt, wird durch Formabweichungen, wie sie Lücken und Stufen in der Strömungs Oberfläche darstellen, begünstigt.

[0003] Aufgrund des erhöhten Reibungswiderstandes einer turbulenten Grenzschicht gibt es Bestrebungen, die laminare Grenzschicht an aerodynamisch umströmten Strömungs Oberflächen möglichst lange aufrechtzuerhalten, da hierdurch Treibstoff und letztlich Kosten eingespart werden können. Zur Aufrechterhaltung einer laminaren Grenzschicht ist es bekannt, die eine Strömungs Oberfläche umströmende Luftströmung an der Außenseite der Strömungs Oberfläche anzusaugen bzw. teilweise abzusaugen, wodurch die laminare Grenzschicht bzw. laminare Umströmung der Strömungs Oberfläche entlang der Strömungs Oberfläche recht lange aufrechterhalten werden kann.

[0004] So ist beispielsweise aus der US 8 783 624 B2 eine aktive Strömungskontrolle bekannt, bei der die Flügelvorderkante umströmende Luftströmung in Luftkammern innerhalb des Flügels eingesaugt wird. Hierdurch kann über die gesamte Profillänge hinweg eine laminare Grenzschicht aufrechterhalten werden. Die im Inneren des Flügels bzw. der Flügelvorderkante angeordneten Unterdruckkammern erstrecken sich dabei längs zur umströmenden Luftströmung, so dass über den gesamten Profilquerschnitt hinweg die Luftströmung angesaugt werden kann.

[0005] Hierbei hat es sich jedoch als nachteilig herausgestellt, dass mit zunehmender Entfernung der Ansaugöffnungen von der Spitze des Flügelkörpers die Fähigkeit zum Ansaugen der umströmenden Luftströmung abnimmt, wodurch im hinteren Bereich der Flügelvorderkante die Gefahr eines Umschlages von der laminaren Grenzschicht in die turbulente Grenz-

schicht höher wird. Des Weiteren hat es sich als nachteilig herausgestellt, dass der Beitrag der aktiven Strömungskontrolle zur Widerstandsreduktion des Gesamtflugzeuges nicht die Trägheit des für das Implementieren des Absaugsystems entstehenden Zusatzgewichtes kompensieren kann, wodurch dieser zusätzliche Anteil an der Flugzeugesamtmasse den Einsatz der aktiven Strömungskontrolle nicht rentabel erscheinen lässt.

[0006] Aus der DE 10 2012 112 914 A1 ist des Weiteren eine Flügelvorderkante bekannt, die eine innenliegende Tragstruktur aus einem Faserverbundwerkstoff aufweist und eine Außenschicht aus einem Metallwerkstoff hat, welche die umströmte Strömungs Oberfläche bildet. Zwischen der innenliegenden Tragstruktur und der Außenschicht ist eine Elastomerschicht vorgesehen, die an der Tragstruktur angeordnet ist. Hierdurch lässt sich dem Prinzip der Leichtbauweise bei Flügelvorderkanten Rechnung tragen.

[0007] Aus der DE 196 49 132 A1 ist eine Nase für eine aerodynamische Fläche bekannt, die aus einer Stützstruktur aus faserverstärkten Kunststoff mit in Längsrichtung verlaufenden Kanälen besteht, wobei die Außenhaut der Nase durch ein perforiertes Hautelement gebildet wird.

[0008] Aus der WO 2005/113 336 A1 ist eine Flügelvorderkante bekannt, die ebenfalls eine perforierte Außenfläche aufweist und darunterliegende Kanäle hat, die entweder zum Einstellen eines Unterdruckes oder zum Einstellen eines Überdruckes vorgesehen sind, wobei bei den Kanälen zum Einstellen eines Überdruckes erzielt werden soll, dass durch austretende warme Gase eine Vereisung der Flügelvorderkante vermieden werden soll.

[0009] Aus der DE 12 66 136 A ist ein Verfahren zur Herstellung einer mit Schlitzfenstern versehenen Flugzeugbeplankung zur Absaugung der Grenzschicht bekannt, wobei die Beplankung vor ihrer Befestigung auf die mit Luftdurchgängen versehene Plattform vorgeformt wird.

[0010] Aus der EP 2 810 870 A1 ist ein Flügel bekannt, der im Bereich der Flügelvorderkante eine Absaugeinrichtung zum Absaugen der umströmten Grenzschicht hat. In Richtung Flügelende erstreckt sich dabei ein zweiter Bereich, in dem ebenfalls eine Absaugeinrichtung vorgesehen ist, um so den gesamten Absaugbereich zu erweitern.

[0011] Es ist Aufgabe der vorliegenden Erfindung einen verbesserten Aufbau eines aerodynamischen Profilkörpers für Flugobjekte anzugeben, mit dem eine verbesserte Strömungskontrolle möglich ist und die laminare Grenzschicht lange aufrechterhalten werden kann, ohne das Gesamtsystem aufgrund der Zusatzmasse unrentabel werden zu lassen.

[0012] Die Aufgabe wird mit dem aerodynamischen Profilkörper gemäß Anspruch 1 und mit dem Flügelskörper gemäß Anspruch 8 sowie mit dem Verfahren gemäß Anspruch 9 erfindungsgemäß gelöst.

[0013] Gemäß Anspruch 1 wird ein aerodynamischer Profilkörper für Flugobjekte vorgeschlagen, der eine von einer umgebenden Luftströmung umströmbare Strömungsoberfläche hat und in einem Ansaugbereich zum Ansaugen der die Strömungsoberfläche umströmenden Luftströmung zur aktiven Strömungskontrolle ausgebildet ist.

[0014] Unter dem Begriff „Ansaugen“ wird dabei das Einsaugen eines Teils der umströmenden Luftströmung in einen Innenbereich des Profilkörpers verstanden, der durch die Strömungsoberfläche von einem Außenbereich abgetrennt ist. Demgemäß kann auch von Absaugen oder Einsaugen gesprochen werden.

[0015] Unter einem aerodynamischen Profilkörper im Sinne der vorliegenden Erfindung kann im breitesten Sinne jeder Körper verstanden werden, der in Bezug auf das Flugobjekt bauartbedingt eine Strömungsoberfläche hat, die von der umgebenden Luftströmung umströmt wird. Dies können beispielsweise der Rumpf, die Flügel, das Höhenleitwerk sowie das Seitenleitwerk sein. In einem engeren Sinne werden unter einem aerodynamischen Profilkörper insbesondere jene Bauelemente des Flugobjektes verstanden, die von einem Rumpf-Bauelement abstehen und insbesondere aufgrund ihrer Profilform bei einer Umströmung eine Auftriebskraft erzeugen. Hierunter fallen insbesondere Flügelskörper, wie beispielsweise Tragflächen, Höhenleitwerke und ähnliches.

[0016] Erfindungsgemäß ist nun vorgesehen, dass der aerodynamische Profilkörper im Ansaugbereich eine innenliegende Tragstruktur aufweist, die einen Faserverbundwerkstoff aufweist oder aus diesem besteht und dass der aerodynamische Profilkörper im Ansaugbereich eine Außenschicht zur Bildung der Strömungsoberfläche hat, die wenigstens einen Metallwerkstoff aufweist oder aus diesem besteht.

[0017] Bei der Tragstruktur handelt es sich um ein strukturelles Bauelement, das dem Profilkörper insgesamt oder zumindest im Bereich des Ansaugbereiches die notwendige Stabilität verleiht, um den aerodynamischen Belastungen während des Flugbetriebes standzuhalten. Denn aufgrund der Geschwindigkeit des Flugobjektes und der damit einhergehenden Umströmung des aerodynamischen Profilkörpers durch die umgebenden Luftmassen wirkt eine Kraft auf den Profilkörper, die von der innenliegenden Tragstruktur abgetragen werden muss und der eine entsprechende Stabilität entgegengesetzt werden muss, damit der aerodynamische Profilkörper durch die umströmenden Luftmassen nicht beschä-

digt wird. Um dem Aspekt des Leichtbaus Rechnung zu tragen, ist die innenliegende Tragstruktur aus einem Faserverbundwerkstoff gefertigt und kann beispielsweise eine Wandstärke von 3 bis 10 mm aufweisen.

[0018] Die Tragstruktur kann beispielsweise aus einem CFK-Laminat hergestellt sein und insbesondere integral ausgebildet sein, d.h. fügestellenfrei. Ein Faserverbundwerkstoff im Sinne der vorliegenden Erfindung ist dabei insbesondere ein Werkstoff, der aus einem Fasermaterial einerseits und einem Matrixmaterial andererseits besteht oder diese Komponenten aufweist, wobei ein Faserverbundbauteil, wie beispielsweise die innenliegende Tragstruktur durch Aushärten des in das Fasermaterial infundierten Matrixmaterials gebildet wird. Neben CFK sind auch andere Faserverbundwerkstoffe, wie beispielsweise GFK denkbar.

[0019] Die aus einem Metallwerkstoff gebildete Außenschicht, die beispielsweise eine Stahlfolie sein kann, bildet dabei die umströmbare Strömungsoberfläche und dient in erster Linie als Erosionsschutzschicht zum Schutz der innenliegenden Tragstruktur, insbesondere vor Schlagschäden.

[0020] Erfindungsgemäß sind im Ansaugbereich zwischen der innenliegenden Tragstruktur und der Außenschicht eine Mehrzahl von Unterdruckkammern vorgesehen, die sich spannweitig in Bezug zu dem Profilkörper erstrecken und quer zur Anströmrichtung der die Strömungsoberfläche umströmenden Luftströmung liegen, wenn sich das Flugobjekt im Flugbetrieb befindet. Ein Flugobjekt kann dabei insbesondere ein Flugzeug sein.

[0021] Die Spannweite eines Flugzeuges ist dabei die Entfernung zwischen den beiden Flügelspitzen der betrachteten Tragflächen, wobei spannweitig hierbei meint, dass sich die Unterdruckkammern in Bezug auf die durch die Spannweite vorgegebene Richtung erstrecken. Damit wird unter dem Begriff „spannweitige Erstreckung“ diejenige Erstreckungsrichtung verstanden, die sich ergibt, wenn ausgehend von der Flügelspitze der ersten Tragfläche in Richtung der gegenüberliegenden Flügelspitze der zweiten Tragfläche entlang gegangen wird. Durch das spannweitige Erstrecken der Unterdruckkammern liegen die Unterdruckkammern in Form von länglichen Hohlkörpern vor, die quer zur Anströmrichtung der umströmenden Luftströmung liegen.

[0022] Die Außenschicht sieht im Ansaugbereich eine Mehrzahl von Ansaugöffnungen vor, die jeweils kommunizierend mit einer der darunterliegenden Unterdruckkammern in Verbindung stehen, so dass durch Erzeugen eines Unterdrucks in den jeweiligen Unterdruckkammern Luft von außen durch die

Ansaugöffnungen in die Unterdruckkammern eingesaugt werden kann.

[0023] Hierdurch wird eine aktive Strömungskontrolle geschaffen, die es ermöglicht, die umströmende Luftströmung im Bereich der Strömungsoberfläche anzusaugen bzw. abzusaugen, wodurch über den Profilkörper hinweg eine laminare Grenzschicht aufrechterhalten werden kann und die Wahrscheinlichkeit reduziert wird, dass diese laminare Grenzschicht in eine turbulente Grenzschicht umschlägt.

[0024] Das Erzeugen des Unterdruckes in den jeweiligen Unterdruckkammern erfolgt mittels eines Unterdrucksystems, mit dem ein Unterdruck in den jeweiligen Unterdruckkammern erzeugt werden kann. Ein solches Unterdrucksystem kann bspw. ein aktives Pumpsystem sein, mit dem der jeweilige Unterdruck aktiv in der Unterdruckkammer erzeugt wird. Das Unterdrucksystem kann aber auch ein passives System sein, bei dem bspw. durch Öffnen von an einer Profilhinterkante angebrachten Klappensystemen ein Unterdruck in den Unterdruckkammern erzeugbar ist (bspw. ähnlich dem Entlüften von Schiffen durch Windhutzen und Dorade-Lüfter). Bei einem passiven System ist es dabei denkbar, dass die Unterdruckkammern mit einem Innenraum des aerodynamischen Profilkörpers kommunizierend in Verbindung stehen, so dass sich ein im Innenraum durch das passive Pumpsystem entstandener Unterdruck auf die Unterdruckkammern auswirkt und so ein Unterdruck in den jeweiligen Unterdruckkammern erzeugbar ist.

[0025] Mit der vorliegenden Erfindung wird es somit möglich, den Zielkonflikt bei herkömmlichen aktiven Strömungskontrollen aufzulösen, da durch den konsequenten Einsatz von Faserverbundwerkstoffen das Zusatzgewicht für die aktiven Strömungskontrollen, insbesondere die Unterdruckkammern, konsequent reduziert werden kann, so dass durch eine weitestgehende Aufrechterhaltung einer laminaren Grenzschicht und dem damit einhergehenden reduzierten Strömungswiderstands trotz erhöhter Zusatzmassen für die aktive Strömungskontrolle dennoch eine positive Gesamtbilanz erreicht werden kann.

[0026] Erfindungsgemäß ist in dem aerodynamischen Profilkörper das Unterdrucksystem integriert, wobei das Unterdrucksystem eine Steuerungseinrichtung aufweisen kann, die eingerichtet ist, für jede Unterdruckkammer separat einen jeweiligen Unterdruck zum Ansaugen der Luftströmung einzustellen, so dass mindestens zwei verschiedene Unterdruckkammern jeweils verschiedene Unterdrücke aufweisen können. Hierdurch wird es möglich, separat über den gesamten Umfang des Profilquerschnitts hinweg unterschiedliche Unterdrücke in den jeweiligen Unterdruckkammern einzustellen, wodurch auf die jeweilige Anströmbedingung im Bereich der jeweili-

gen Unterdruckkammer Rücksicht genommen werden kann.

[0027] Bei einem aktiven Unterdrucksystem können dabei entsprechende Unterdruckleitungen von jeder Unterdruckkammer zu der Pumpeinrichtung des Unterdrucksystems verlaufen. Denkbar ist aber auch, dass durch ein aktives oder passives Unterdrucksystem ein Unterdruck im Innenraum des Profilkörpers erzeugt wird, wobei in den Wellentälern des wellenförmigen Profils Öffnungen (sogenannte Metering Holes) vorgesehen sind, die über Öffnungen in der Tragstruktur mit dem Innenraum des Profilkörpers korrespondieren. Ein im Innenraum des Profilkörpers erzeugter Unterdruck erzeugt somit auch einen Unterdruck in den jeweiligen Unterdruckkammern. Durch eine entsprechende Verteilung der Öffnungen (bspw. vorgegebene Anzahl) lässt sich dann für jede Unterdruckkammer ein entsprechender gewünschter Unterdruck einstellen. Die Öffnungen (Metering Holes) sind dabei Teil der Steuerungseinrichtung, wobei es auch denkbar ist, dass die Öffnungen ansteuerbare Ventile aufweisen, um so den gewünschten Unterdruck in den Unterdruckkammern einstellen zu können.

[0028] Des Weiteren wird es durch die sich spannweitig erstreckende Unterdruckkammern möglich, für verschiedene Positionen entlang des Profilquerschnitts unterschiedliche Unterdrücke für die Ansaugung der umströmenden Luftströmung in den jeweiligen Unterdruckkammern einzustellen, wodurch auf die vorherrschenden Gegebenheiten bei der Anströmung des aerodynamischen Profilkörpers durch die umgebende Luftströmung Rücksicht genommen werden kann. Im Ansaugbereich wird somit der aerodynamische Profilkörper in einem Profilquerschnitt in diskrete Teilbereiche unterteilt, für die jeweils separat ein Unterdruck einstellbar ist, um die umströmenden Luftmassen absaugen zu können. Hierdurch kann das gesamte Unterdrucksystem, welches den Unterdruck in die Unterdruckkammern bereitstellt, deutlich effizienter ausgestaltet werden, was wiederum zu einer Reduzierung des Gesamtgewichtes führt und somit zu einer Verbesserung der Gesamtenergiebilanz.

[0029] In einer vorteilhaften Ausführungsform ist an der Innenseite der Außenschicht ein wellenförmiges Profil, beispielsweise ein Ω -Profil, zur Bildung der Unterdruckkammern angeordnet, wobei sich die einzelnen Wellen des wellenförmigen Profils spannweitig erstrecken. Mit anderen Worten die Wellenberge und die Wellentäler des wellenförmigen Profils erstrecken sich spannweitig und liegen somit quer zur Anströmrichtung der die Strömungsoberfläche umströmenden Luftströmung, wobei jede Welle, die aus zwei Wellenbergen und einem dazwischenliegenden Wellental gebildet wird, eine sich spannweitig erstreckende Unterdruckkammer bildet. Die Wellenberge des wellenförmigen Profils werden dabei an der Innensei-

te der Außenschicht angeordnet, während die Wellentäler des wellenförmigen Profils an der Tragstruktur angeordnet sind.

[0030] Durch dieses wellenförmige Profil wird des Weiteren nicht mehr die Bildung der Unterdruckkammern erreicht, sondern zudem auch eine erhöhte Stabilität sichergestellt werden, wodurch die Tragstruktur deutlich filigraner ausgebildet sein kann. Jedoch, ohne die innenliegende Tragstruktur kann das wellenförmige Profil zusammen mit der Außenschicht keine tragende Struktur derart bilden, dass die durch die umströmenden Luftmassen erzeugte Anströmungskraft widerersetzt werden kann.

[0031] Um bei einer Beschädigung der Erosionsschutzschicht (Außenschicht) oder den darunterliegenden Unterdruckkammern, die durch das wellenförmige Profil gebildet werden, eine Reparatur des aerodynamischen Profilkörpers zu ermöglichen, wird das wellenförmige Profil in den Wellentälern mittels einer oder mehreren lösbaren Verbindungen an der Tragstruktur angeordnet. Eine derartige lösbare Verbindung kann beispielsweise eine Verschraubung bzw. eine Schraubverbindung sein, mit der das wellenförmige Profil in den Wellentälern mit der Tragstruktur verschraubt wird. Eine derartige Verschraubung kann beispielsweise von einem Innenraum her erfolgen, der gegenüberliegend des wellenförmigen Profils liegt, sofern ein Zugang zu diesem Innenraum des aerodynamischen Profilkörpers möglich ist. Dies ist beispielsweise dann gegeben, wenn der aerodynamische Profilkörper beispielsweise eine Flügelvorderkante mit Hochauftriebssystemen ist, die zum Zwecke der Reparatur ausgefahren werden können, so dass Zugang zu dem Innenraum möglich ist und die Verschraubung dann gelöst werden kann. Hierdurch lässt sich die Außenschicht zusammen mit dem wellenförmigen Profil und den damit gebildeten Unterdruckkammern von der Tragstruktur ablösen und durch eine neue ersetzen.

[0032] Ist ein Zugriff in den durch die Tragstruktur gebildeten Innenraum des aerodynamischen Profilkörpers nicht möglich, so ist es ganz besonders vorteilhaft, wenn die Verschraubung in den Wellentälern des wellenförmigen Profils von außen erfolgt, wobei hierfür in der Außenschicht für jede lösbare Verbindung, insbesondere für jede lösbare Verschraubung, ein Durchgriff in die darunterliegende Unterdruckkammer zum Einführen eines Werkzeuges vorgesehen ist, um die jeweilige Verbindung zu lösen bzw. zu festigen. Dieser Durchgriff zum Einführen eines Werkzeuges in eine der Unterdruckkammern ist dabei um ein Vielfaches größer als die Ansaugöffnungen, die sich vorteilhafterweise im Bereich von weniger als 100 µm bewegen.

[0033] Der Durchgriff in die darunterliegende Unterdruckkammer kann dabei dergestalt sein, dass bei-

spielsweise ein Schraubendreher oder eine Schraubennuss in die Unterdruckkammer eingeführt werden kann, um so das Werkzeug mit der Verschraubung in Eingriff bringen zu können und dann die Verschraubung zu lösen.

[0034] Der Durchgriff in der Außenschicht zur Einführung eines Werkzeuges ist dabei jeweils lediglich so groß ausgeführt, dass das jeweilige Werkzeug unter Berücksichtigung einer gewissen Toleranz sehr eng einführbar ist, so dass ein Lösen der darunterliegenden Verbindung, insbesondere der Verschraubung, möglich ist. Ein Entfernen des Verbindungselementes, beispielsweise der Schraube, aus der jeweiligen Unterdruckkammer ist dabei nicht erforderlich, wodurch der Durchmesser des Durchgriffs so klein wie möglich und so groß wie nötig gehalten werden kann.

[0035] Es hat sich dabei gezeigt, dass durch das Einbringen von entsprechenden Durchgriffen in der Außenschicht keine negativen Auswirkungen in Bezug auf die laminare Grenzschicht zu erwarten sind, so dass keine reibungssteigernden Effekte im Reiseflugbetrieb induziert werden. Dadurch kann sowohl erreicht werden, dass das Flugobjekt im Reiseflugbetrieb eine laminare Grenzschicht aufrechterhält, während gleichzeitig die Reparaturfähigkeit des aerodynamischen Profilkörpers in einer größtmöglichen Flexibilität erhalten bleibt.

[0036] Muss der Durchgriff fertigungsbedingt größer ausfallen, so ist es selbstverständlich auch denkbar, dass die Durchgriffe durch eine Abdeckung geschlossen werden, wobei die Abdeckung ähnlich zu der perforierten aerodynamischen Oberfläche ausgestaltet sein kann. Ein solche Abdeckung kann bspw. mittels einer Klippverbindung lösbar im dem Durchgriff angeordnet und gehalten werden.

[0037] Gemäß einer vorteilhaften Ausführungsform ist das wellenförmige Profil aus einem Faserverbundwerkstoff gebildet, d.h. das wellenförmige Profil weist einen Faserverbundwerkstoff auf oder besteht aus eben diesem. Das wellenförmige Profil kann dabei beispielsweise ein GFK-Laminat sein, das an die entsprechende Profilform des aerodynamischen Profilkörpers angepasst ist.

[0038] In einer weiteren vorteilhaften Ausführungsform ist der aerodynamische Profilkörper eine Flügelvorderkante, der einen Verbindungsbereich aufweist, in dem die Flügelvorderkante mit der Tragstruktur an einem Flügelkasten insbesondere lösbar angeordnet wird oder angeordnet ist. In dem Verbindungsbereich, innerhalb dessen die Flügelvorderkante mit der Tragstruktur an dem Flügelkasten oder einer anderen Flügelstruktur angeordnet ist, weist der aerodynamische Profilkörper keine Unterdruckkammern zwischen Außenschicht und Tragstruktur auf, wodurch im

Verbindungsbereich die Außenschicht direkt an der Tragstruktur angeordnet und somit eine feste, aber dennoch lösbare Verbindung der Flügelvorderkante mit dem Flügelkasten erreicht werden kann. Dies hat den weiteren Vorteil, dass die Unterdruckkammern, die beispielsweise mithilfe des wellenförmigen Profils gebildet werden, sehr dicht an den Verbindungsbereich herangezogen werden können, wodurch über den gesamten Profilquerschnitt der Flügelvorderkante hinweg eine Absaugung bzw. Ansaugung der umströmenden Luftmassen zur aktiven Strömungskontrolle möglich ist.

[0039] Wie bereits angedeutet, ist es besonders vorteilhaft, wenn die Ansaugöffnungen einen Durchmesser von weniger als 100 µm, vorzugsweise einen Durchmesser von ca. 50 µm (innerhalb der fertigungsbedingten Toleranzen), aufweisen. Gemäß Anspruch 8 wird ein Flügelkörper für Flugzeuge vorgeschlagen, der einen aerodynamischen Profilkörper wie vorstehend beschrieben hat. Ein solcher Flügelkörper kann beispielsweise eine Tragfläche sein, die einen Flügelkasten und eine daran angeordnete Flügelvorderkante aufweist. Vorteilhafterweise ist die Flügelvorderkante dann der aerodynamische Profilkörper im Sinne der vorliegenden Erfindung. Der Flügelkörper kann aber auch ein Höhenleitwerk sein, das eine Höhenleitwerksbox hat, an der eine Flügelvorderkante angeordnet ist. Auch hier ist die Flügelvorderkante der aerodynamische Profilkörper im Sinne der vorliegenden Erfindung.

[0040] Gemäß Anspruch 9 wird ein Verfahren zur aktiven Strömungskontrolle einer eine Strömungs Oberfläche eines aerodynamischen Profilkörpers umströmende Luftströmung vorgeschlagen, wobei zunächst ein aerodynamischer Profilkörper wie vorstehend beschrieben bereitgestellt wird. Dann werden die Unterdrücke in den jeweiligen Unterdruckkammern mittels des Unterdrucksystems und einer darin enthaltenen Steuerungseinrichtung derart eingestellt, dass der Unterdruck zwischen wenigstens zwei verschiedenen Unterdruckkammern variiert, d.h. zu einem gegebenen Zeitpunkt der Unterdruck in wenigstens zwei verschiedenen Unterdruckkammern verschieden ist.

[0041] Vorteilhafterweise wird der Unterdruck in den Unterdruckkammern in Abhängigkeit von einem Anströmwinkel der die jeweiligen Unterdruckkammern betreffenden Ansaugöffnungen in Bezug zu der Luftströmung eingestellt.

[0042] Die Erfindung wird anhand der beigefügten Figuren beispielhaft erläutert. Es zeigen:

Fig. 1 - Schematische Darstellung eines Querschnitts durch einen aerodynamischen Profilkörper;

Fig. 2 - Schematische Darstellung der lösbaren Verbindung.

[0043] **Fig. 1** zeigt in einem Querschnitt den erfindungsgemäßen aerodynamischen Profilkörper **1**, der im Ausführungsbeispiel der **Fig. 1** eine Flügelvorderkante **2** aufweist, die an einem Flügelkasten **3** angeordnet ist. Basierend auf der gewählten Darstellung in **Fig. 1** in Form eines Querschnitts erstreckt sich die spannweiteige Erstreckung aus der Betrachtungsebene heraus. Die Strömungsrichtung R_s erfolgt dabei in der Betrachtungsweise der **Fig. 1** von links nach rechts, d.h. die Flügelvorderkante **2** wird von den umströmenden Luftmassen **L** als erstes angeströmt.

[0044] Im Ausführungsbeispiel der **Fig. 1** wird als aerodynamischer Profilkörper der vollständige Flügel bezeichnet. Denkbar ist aber auch, dass unter dem aerodynamischen Profilkörper nur Teile eines Flügels oder Bauelemente verstanden werden, wie beispielsweise die Flügelvorderkante.

[0045] Der aerodynamische Profilkörper **1** weist einen Ansaugbereich **4** auf, innerhalb dessen die umströmende Luftströmung **L** angesaugt werden kann. Der Ansaugbereich **4** erstreckt sich dabei im Wesentlichen über die Flügelvorderkante **2** bis zu dem Verbindungsbereich **5**, mit dem die Flügelvorderkante **2** mit dem Flügelkasten **3** insbesondere lösbar verbunden ist.

[0046] Innerhalb des Ansaugbereiches **4** und somit in Bezug auf die Flügelvorderkante **2** weist der Profilkörper **1** eine innenliegende Tragstruktur **6** auf, die aus einem Faserverbundwerkstoff, beispielsweise aus einem CFK-Laminat in monolithischer und integraler Bauweise, hergestellt ist. Die Tragstruktur **6** bildet dabei die lasttragende Struktur der Flügelvorderkante **2** und verleiht dieser somit die notwendige Stabilität.

[0047] Des Weiteren weist der Profilkörper **1** im Umfang der Flügelvorderkante **2**, also im Ansaugbereich **4**, eine Außenschicht **7** auf, die als Erosionsschutzschicht die darunterliegende Tragstruktur **6** vor Beschädigungen schützen soll. Diese Außenschicht **7** kann dabei aus einem Metallwerkstoff hergestellt sein, beispielsweise eine Metallfolie.

[0048] Zwischen der Tragstruktur **6** und der Außenschicht **7** ist ein wellenförmiges Profil **8** vorgesehen, dessen Wellenberge **9** mit einer Innenseite der Außenschicht **7** und mit ihren Wellentälern **10** mit der Tragstruktur **6** verbunden sind. Durch die Anordnung der Außenschicht **7** an dem wellenförmigen Profil **8** werden zwischen zwei Wellenbergen **9** Unterdruckkammern **11** gebildet, die zum Ansaugen der um-

strömenden Luftströmung **L** vorgesehen sind. In der Außenschicht **7** sind im Bereich der Unterdruckkammern **11** jeweils Ansaugöffnungen **12** eingebracht, beispielsweise in Form einer Perforation, so dass Luft in die Unterdruckkammern **11** durch die Ansaugöffnungen **12** einströmen kann. Damit wird es möglich, die an die Außenschicht **7** angrenzenden Luftmassen bei der Anströmung des Profilkörpers **1** abzusaugen, wodurch eine weitgehend laminare Grenzschicht erhalten bleibt.

[0049] Die Unterdruckkammern **11** erstrecken sich dabei gemäß dem wellenförmigen Profil **8** spannweitig, so dass die Unterdruckkammern **11** längliche Hohlkörper bilden, die in der Betrachtungsform der **Fig. 1** aus der Betrachtungsebene herausführen.

[0050] Die Unterdruckkammern **11** sind mit einer Pumpeinrichtung **13** eines Unterdrucksystems verbunden, was zum Erzeugen eines Unterdrucks in den Unterdruckkammern **11** vorgesehen ist. Im Ausführungsbeispiel der **Fig. 1** befindet sich die aktive Pumpeinrichtung **13** im Flügelkasten **3**, wobei entsprechende Verbindungselemente **16** die jeweilige Unterdruckkammer **11** mit der Pumpeinrichtung **13** verbinden. Denkbar ist aber auch, dass die Pumpeinrichtung **13** innerhalb des Flugzeuges vorgesehen ist und die Verbindungselemente dann nur bei der Montage des Profilkörpers **1** an dem Flugzeug entsprechend mit dem Pumpsystem verbunden werden. Des Weiteren ist es denkbar, dass das Unterdrucksystem ein passives System ist, mit dem ein Unterdruck in dem Innenraum des Profilkörpers ohne eine aktive Pumpeinrichtung erzeugt wird.

[0051] Das Unterdrucksystem ist dabei so ausgebildet, dass es für jede Unterdruckkammer **11** separat einen entsprechenden Unterdruck einstellen kann, wobei zwischen zwei Unterdruckkammern **11** jeweils ein Unterdruck einstellbar ist, der von dem Unterdruck der jeweils anderen Unterdruckkammer verschieden ist.

[0052] Somit lassen sich je nach Position der Unterdruckkammer im Profilquerschnitt unterschiedliche Unterdrücke in den Unterdruckkammern **11** einstellen, um auf die jeweiligen Strömungsgegebenheiten im Bereich der jeweiligen Unterdruckkammer reagieren zu können. So ist es beispielsweise denkbar, dass die Unterdruckkammern **11a**, die an der Spitze der Flügelvorderkante **2** angeordnet sind, ein niedrigerer Unterdruck eingestellt wird, als in jenen Unterdruckkammern **11b**, die im Strömungsquerschnitt von der Spitze der Flügelvorderkante **2** beabstandet vorgesehen sind.

[0053] Dadurch lässt sich auch eine aktive Pumpeinrichtung **13** weniger leistungsstark auslegen, da nun sehr differenziert unterschiedliche Unterdrücke in verschiedenen Bereichen der Flügelvorderkante

2 einstellbar sind, wobei dennoch eine hinreichende Absaugung der umgebenden Luftströmung **L** zur Erhaltung der laminaren Grenzschicht möglich ist.

[0054] Im Verbindungsbereich **5** ist des Weiteren kein wellenförmiges Profil vorgesehen, so dass hier die Außenschicht **7** direkt an der Tragstruktur **6** angeordnet ist. Durch eine entsprechende innenliegende Verschraubung wird dann die Tragstruktur **6** an der Flügelvorderkante **3** befestigt. Durch diese Konstruktion kann das wellenförmige Profil bis zur tatsächlichen Befestigung der Flügelvorderkante **2** an dem Flügelkasten **3** herangezogen werden, so dass über die gesamte Außenschicht **7** der Flügelvorderkante **2** hinweg eine Absaugung der Luftschichten möglich ist.

[0055] **Fig. 2** zeigt schematisch einen Ausschnitt des Profilkörpers **1**, wie er in **Fig. 1** dargestellt ist. Um die Reparatur eines solchen Profilkörpers zu vereinfachen, ist vorteilhafterweise vorgesehen, dass das wellenförmige Profil **8** an der Tragstruktur **6** lösbar verbunden ist, insbesondere verschraubt. Hierfür werden in den Wellentälern **10** des wellenförmigen Profils **8** in den Unterdruckkammern **11** eine Verschraubung **14** eingebracht, mit der das wellenförmige Profil **8** mit der Tragstruktur **6** lösbar verschraubt wird.

[0056] Da die Verschraubung **14** in den Wellentälern **10** vorgesehen ist, befindet sich die Verschraubung somit innerhalb einer Unterdruckkammer **11**. Um nun das wellenförmige Profil **8** von der Tragstruktur zu lösen, ist im Bereich der Verschraubung **14** in der Außenschicht **7** ein Durchgriff **15** vorgesehen, in den ein Werkzeug (nicht dargestellt) in die Unterdruckkammer **11** eingeführt und mit der Verschraubung **14** in Eingriff bringbar ist. Damit ließe sich die Verschraubung **14** von außen lösen, wodurch das wellenförmige Profil **8** zusammen mit der Außenschicht **7** von der Tragstruktur **6** ablösbar und austauschbar ist.

Bezugszeichenliste

1 -	aerodynamischer Profilkörper
2 -	Flügelvorderkante
3 -	Flügelkasten
4 -	Ansaugbereich
5 -	Verbindungsbereich
6 -	Tragstruktur
7 -	Außenschicht
8 -	wellenförmiges Profil
9 -	Wellenberge
10 -	Wellentäler

11, 11a, 11b -	Unterdruckkammern
12 -	Ansaugöffnungen
13 -	Pumpeinrichtung mit Steuerungseinrichtung
14 -	Verschraubung
15 -	Durchgriff
16 -	Verbindungselemente

Patentansprüche

1. Aerodynamischer Profilkörper (1) für Flugobjekte, der eine von einer umgebenden Luftströmung umströmbare Strömungsoberfläche hat und in einem Ansaugbereich (4) zum Ansaugen der die Strömungsoberfläche umströmenden Luftströmung zur aktiven Strömungskontrolle ausgebildet ist, wobei der Profilkörper im Ansaugbereich (4)

- eine innenliegende Tragstruktur (6), die einen Faserverbundwerkstoff aufweist oder aus diesem besteht, und
- eine Außenschicht (7) zu Bildung der Strömungsoberfläche, die wenigstens einen Metallwerkstoff aufweist oder aus diesem besteht, aufweist,
- wobei im Ansaugbereich (4) zwischen der innenliegenden Tragstruktur (6) und der Außenschicht (7) eine Mehrzahl von Unterdruckkammern (11) vorgesehen sind, die sich spannweitig in Bezug zu dem Profilkörper erstrecken und quer zur Anströmrichtung der die Strömungsoberfläche umströmenden Luftströmung liegen,
- wobei die Außenschicht (7) im Ansaugbereich (4) eine Mehrzahl von Ansaugöffnungen (12) hat, die jeweils kommunizierend mit einer der darunterliegenden Unterdruckkammern (11) in Verbindung stehen, und
- wobei jede Unterdruckkammer (11) mit einem Unterdrucksystem zum Erzeugen eines Unterdruckes in den jeweiligen Unterdruckkammern (11) verbindbar oder verbunden ist, um die im Ansaugbereich (4) der Strömungsoberfläche umströmende Luftströmung über die Ansaugöffnungen (12) zur aktiven Strömungskontrolle anzusaugen, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Unterdrucksystem eine aktive oder passive Pumpeinrichtung mit Steuerungseinrichtung aufweist, die eingerichtet ist, für jede Unterdruckkammer (11) separat einen jeweiligen Unterdruck zum Ansaugen der Luftströmung einzustellen.

2. Aerodynamischer Profilkörper (1) nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass an der Innenseite der Außenschicht (7) ein wellenförmiges Profil (8) zur Bildung der Unterdruckkammern (11) angeordnet ist, dessen Wellen sich spannweitig erstrecken, wobei die Wellenberge (9) des wellenförmigen Profils (8) an der Innenseite der Außenschicht (7) und die Wellentäler (10) des wellenförmigen Profils (8) an der Tragstruktur (6) angeordnet sind.

3. Aerodynamischer Profilkörper (1) nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass das wellenförmige Profil (8) in den Wellentälern (10) eine oder mehrere lösbare Verbindungen, insbesondere eine lösbare Verschraubung (14), mit der Tragstruktur (6) aufweist.

4. Aerodynamischer Profilkörper (1) nach Anspruch 3, **dadurch gekennzeichnet**, dass im Bereich der lösbaren Verbindungen, insbesondere der lösbaren Verschraubungen (14), die Außenschicht (7) jeweils einen Durchgriff (15) in die darunterliegende Unterdruckkammer (11) zum Einführen eines Werkzeuges aufweist, um die jeweilige Verbindung zu lösen oder zu festigen.

5. Aerodynamischer Profilkörper (1) nach einem der Ansprüche 2 bis 4, **dadurch gekennzeichnet**, dass das wellenförmige Profil (8) einen Faserverbundwerkstoff aufweist oder aus diesem besteht.

6. Aerodynamischer Profilkörper (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass der aerodynamische Profilkörper (1) eine Flügelvorderkante (2) ist und in einem Verbindungsbereich (5), in dem die Flügelvorderkante (2) mit der Tragstruktur (6) an einem Flügelkasten (3) insbesondere lösbar angeordnet wird, keine Unterdruckkammern (11) zwischen Außenschicht (7) und Tragstruktur (6) aufweist.

7. Aerodynamischer Profilkörper (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Ansaugöffnungen (12) einen Durchmesser von weniger als 100 µm, vorzugsweise einen Durchmesser von 50 µm, aufweisen.

8. Flügelkörper für Flugzeuge mit einem aerodynamischen Profilkörper (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche.

9. Verfahren zur aktiven Strömungskontrolle einer Strömungsoberfläche eines aerodynamischen Profilkörpers (1) umströmenden Luftströmung, **gekennzeichnet durch** die Schritte:

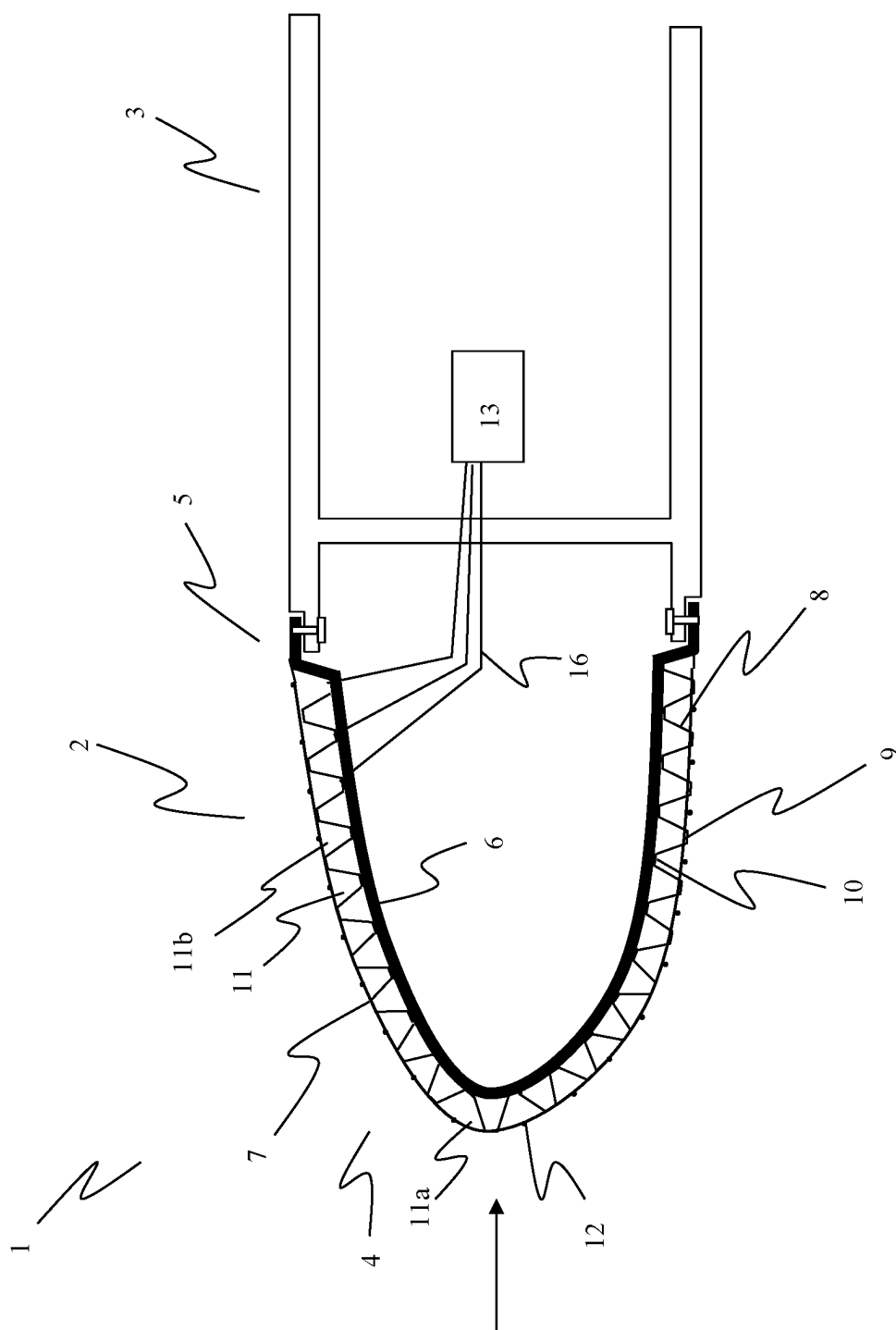
- Bereitstellen eines aerodynamischen Profilkörpers (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 8, und
- Einstellen eines Unterdruckes in den Unterdruckkammern (11) mittels der Steuereinrichtung der aktiven oder passiven Pumpeinrichtung (13) derart, dass der Unterdruck zwischen wenigstens zwei verschiedenen Unterdruckkammern (11) variiert.

10. Verfahren nach Anspruch 9, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Unterdruck in den Unterdruckkammern (11) in Abhängigkeit von einem Anströmwinkel der die jeweilige Unterdruckkammer (11) be-

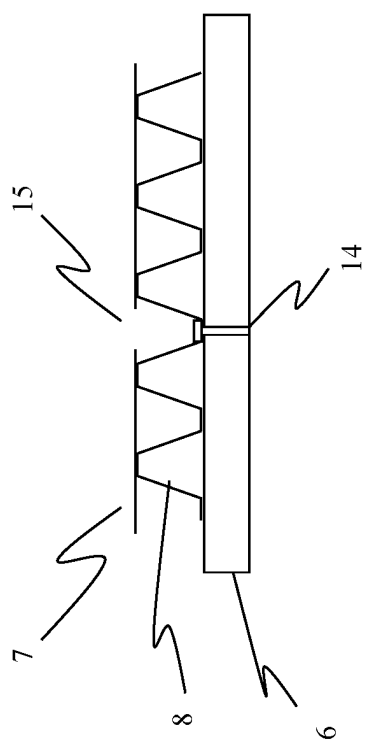
treffenden Ansaugöffnungen (12) in Bezug zu der
Luftströmung eingestellt wird.

Es folgen 2 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen



Figur 1



Figur 2