

(12) **Gebrauchsmusterschrift**

(21) Anmeldenummer: GM 211/2015
(22) Anmeldetag: 07.07.2011
(24) Beginn der Schutzdauer: 15.09.2015
(45) Veröffentlicht am: 15.11.2015

(51) Int. Cl.: **B64C 23/06** (2006.01)
B64C 5/08 (2006.01)
B64C 3/10 (2006.01)

(60) Abzweigung aus EP 11730015.2
(30) Priorität:
14.07.2010 GB 201011843 beansprucht.

(73) Gebrauchsmusterinhaber:
Airbus Operations Limited
BS99 7AR Bristol (GB)
Airbus Operations GmbH
21129 Hamburg (DE)

(72) Erfinder:
Wright Christopher
BS99 7AR Bristol (GB)
Himisch Jan
21129 Hamburg (DE)
Chu James K.
BS99 7AR Bristol (GB)

(74) Vertreter:
BEER & PARTNER PATENTANWÄLTE KG
WIEN

(54) **FLÜGELSPITZENVORRICHTUNG UND VERFAHREN**

(57) Tragflügelendvorrichtung zum Befestigen an einem Außenbordende eines Tragflügels (401), wobei der Tragflügel eine Flugebene definiert, mit einem oberen flügelartigen Element (404), das in Bezug auf die Flugebene nach oben ragt und eine Hinterkante aufweist, und einem unteren flügelartigen Element (407), das in Bezug auf das obere flügelartige Element (404) fixiert ist und eine Wurzel-Profilsehne (412) und eine Hinterkante aufweist, wobei sich die Wurzel-Profilsehne (412) des unteren flügelartigen Elements mit dem oberen flügelartigen Element (404) schneidet und das untere flügelartige Element (407) von der Schnittstelle nach unten ragt, wobei das obere flügelartige Element (404) größer ist als das untere flügelartige Element (407) und die Hinterkante des unteren flügelartigen Elements (407) an der Schnittstelle an der Hinterkante des oberen flügelartigen Elements (404) angrenzt, und wobei ein eingeschlossener Winkel zwischen dem oberen (404) und dem unteren (407) flügelartigen Element an der Schnittstelle kleiner oder gleich 160 Grad beträgt.

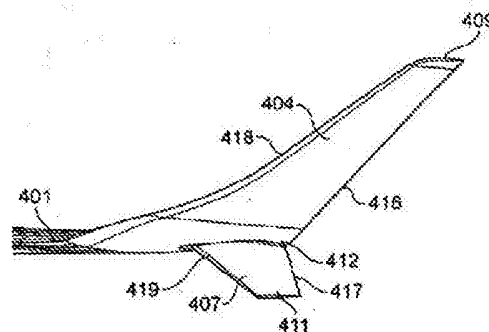


FIG. 10

Beschreibung

GEBIET DER ERFINDUNG

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft eine Tragflügelendvorrichtung zum Befestigen am Außenbordende eines Tragflügels. Außerdem einen Tragflügel mit der Tragflügelendvorrichtung, ein Flugzeug mit dem Tragflügel, ein Verfahren zur Installation oder Nachrüstung der Tragflügelendvorrichtung an einem Tragflügel, ein Verfahren zum Modifizieren einer vorhandenen Tragflügelendvorrichtung und ein Verfahren zum Betreiben eines Tragflügels mit der Tragflügelendvorrichtung.

ALLGEMEINER STAND DER TECHNIK

[0002] Eine Tragflügelendvorrichtung ist am Außenbordende eines Tragflügels befestigt, um den induzierten Widerstand an dem Tragflügel zu verringern. Im Fall zum Beispiel eines Flugzeug- Tragflügels kann dies zu verbesserter Kraftstoffeffizienz und verringerten Kohlenstoffemissionen führen.

[0003] Tragflügelendvorrichtungen können eine Vielzahl von Formen annehmen.

[0004] Ein Winglet ist ein flügelartiges Element, das sich vom Tragflügelende aus erstreckt. Ein Winglet kann sich vom Tragflügelende aus nach oben oder nach unten erstrecken. NASA TN D-8260 unter dem Titel „A Design Approach and Selected Wind- Tunnel Results at High Subsonic Speeds for Wing-Tip Mounted Winglets (Ein Konstruktionsansatz und ausgewählte Windkanal-Ergebnisse bei hohen Unterschallgeschwindigkeiten für flügelendmontierte Winglets)“, Whitcomb, R. T., 1976, beschreibt eine Tragflügelendvorrichtung, die ein unteres Winglet (das sich vom Tragflügelende aus nach unten erstreckt) von einem oberen Winglet (das sich vom Tragflügelende aus nach oben erstreckt) aufweist. Die Bemessung dieser Endvorrichtungen wird in NASA TM 81230 unter dem Titel „Effect of Winglets or the Induced Drag of Ideal Wing Shapes (Wirkung von Winglets oder der induzierte Widerstand von idealen Tragflügelformen)“, R.T. Jones und T.A. Lasinski, 1980, empfohlen.

[0005] Ein Tragflügelendscheibe ist eine besondere Form einer Tragflügelendvorrichtung, die sich in Vertikalrichtung sowohl oberhalb als auch unterhalb des Tragflügelendes erstreckt. US 4,714,215 beschreibt einen Tragflügelendaun.

[0006] Ein anderes Beispiel einer Tragflügelendvorrichtung ist eine unebene Tragflügelendverlängerung, d.h., sie erstreckt sich aus der Ebene des Tragflügels, an dem sie befestigt ist. Ein Winglet kann als ein besonderes Beispiel einer unebenen Tragflügelendverlängerung betrachtet werden. US 2002/0162917 beschreibt eine unebene Tragflügelendverlängerung, die eine kontinuierlich zunehmende Krümmung des örtlichen Dieders, eine kontinuierlich zunehmende Pfeilung (sowohl an der Vorder- als auch an der Hinterkante) und eine in der Außenbordrichtung kontinuierlich abnehmende Profilsehne aufweist.

[0007] Ein Winglet kann einen im Wesentlichen ebenen Teilbereich einschließen, der durch einen gekrümmten Übergangsbereich mit dem Tragflügelende verbunden ist, um ein integriertes Winglet zu bilden, wie beispielsweise in US 5,348,253 beschrieben. Der Übergangsbereich weist einen konstanten Krümmungsradius auf. Es heißt, dass die spezifizierte Integration Überlagerungswiderstandseffekte am Tragflügelende verringert.

[0008] Alternativ kann ein Winglet einen im Wesentlichen ebenen Teilbereich einschließen, der durch einen unebenen Tragflügelende-Verlängerungsbereich mit dem Tragflügelende verbunden ist, wie beispielsweise in WO 2008/061739 beschrieben. Der unebene Tragflügelende-Verlängerungsbereich weist eine kontinuierlich zunehmende Krümmung des örtlichen Dieders in der Außenbordrichtung auf. Es heißt, dass der Tragflügelende- Verlängerungsbereich, verglichen mit einem integrierten Winglet mit einem Übergang mit konstantem Radius, Überlagerungswiderstandseffekte am Tragflügelende weiter verringert.

[0009] Ein anderes Beispiel einer Tragflügelendvorrichtung ist eine im Wesentlichen ebene

Tragflügelendverlängerung, wie beispielsweise das in US 6,089,502 beschriebene abgeschrägte Tragflügelende, das sich im Wesentlichen nicht aus der Ebene des Tragflügels heraus erstreckt. Abgeschrägte Tragflügelenden können eine ähnliche Widerstandsminderungsleistung erreichen wie Winglets.

[0010] Spannweitenbeschränkungen für Flugzeuge, z.B. auf Grund von Flugplatzkompatibilitäts-Flugsteiggrenzen oder Flugzeugkategorie-Flugbeschränkungen, bedeuten, dass Winglets oder unebene Tragflügelendverlängerungen, anstatt abgeschrägter Tragflügelenden, angewendet werden müssen, um den induzierten Widerstand am Tragflügel zu verringern. Da sich Winglets (und allgemeiner unebene Tragflügelendverlängerungen) aus der Ebene des Tragflügels, an dem sie befestigt sind, erstrecken, kann eine wirksame Steigerung bei der Tragflügelstreckung erreicht werden (was den wirbelinduzierten Widerstand am Tragflügel verringert), ohne die Tragflügel-Spannweite bedeutend zu steigern.

[0011] Das Problem von Spannweitenbeschränkungen wird herkömmlicherweise durch das Optimieren der Tragflügel-Spannweite des Flugzeugs in der Bodenform (volle Kraftstoffladung), wenn die Spannweitenbeschränkungen gelten, gelöst. Jedoch wird, auf Grund der an der Tragflügelform von aeroelastischen Effekten während des Fluges induzierten Verbiegung, die Tragflügel-Spannweite der sich ergebenden Flugform üblicherweise verringert und ist daher nicht mehr optimal. Dieses Problem wird sogar noch spürbarer mit einer größeren Verwendung von verhältnismäßig flexiblen Tragflügeln, um das strukturelle Gewicht zu verringern, die, verglichen mit steiferen Konstruktionen, dazu neigt, zu einer gesteigerten Tragflügelverbiegung unter aerodynamischer Last zu führen.

KURZDARSTELLUNG DER ERFINDUNG

[0012] Ein erster Aspekt der Erfindung stellt eine am Außenbordende eines Tragflügels zu befestigende Tragflügelendvorrichtung bereit, wobei der Tragflügel eine Flügelebene definiert, wobei die Tragflügelendvorrichtung umfasst: ein oberes flügelartiges Element, das in Bezug auf die Flügelebene nach oben ragt und eine Hinterkante aufweist, und ein unteres flügelartiges Element, das in Bezug auf das obere flügelartige Element befestigt ist und eine Wurzel-Profilsehne und eine Hinterkante aufweist, wobei sich die Wurzel-Profilsehne des unteren flügelartigen Elements mit dem oberen flügelartigen Element schneidet und das untere flügelartige Element von der Schnittstelle nach unten ragt, wobei das obere flügelartige Element größer ist als das untere flügelartige Element und die Hinterkante des unteren flügelartigen Elements an der Schnittstelle an die Hinterkante des oberen flügelartigen Elements angrenzt und wobei ein eingeschlossener Winkel zwischen dem oberen und dem unteren flügelartigen Element an der Schnittstelle kleiner oder gleich 160 Grad ist.

[0013] Ein zweiter Aspekt der Erfindung stellt einen Tragflügel bereit, der ein Außenbordende und eine Tragflügelendvorrichtung nach dem ersten Aspekt der Erfindung an seinem Außenbordende befestigt, aufweist.

[0014] Ein dritter Aspekt der Erfindung stellt ein Flugzeug bereit, das einen Tragflügel nach dem zweiten Aspekt aufweist.

[0015] Ein vierter Aspekt der Erfindung stellt ein Verfahren zur Installation oder Nachrüstung einer Tragflügelendvorrichtung an einem Tragflügel bereit, wobei das Verfahren das Befestigen einer Tragflügelendvorrichtung nach dem ersten Aspekt am Außenbordende des Tragflügels umfasst.

[0016] Ein fünfter Aspekt der Erfindung stellt ein Verfahren zum Modifizieren einer Tragflügelendvorrichtung bereit, die am Außenbordende eines Tragflügels befestigt oder befestigbar ist, wobei der Tragflügel eine Flügelebene definiert, wobei die bestehende Tragflügelendvorrichtung ein oberes flügelartiges Element umfasst, das in Bezug auf die Flügelebene nach oben ragt und eine Hinterkante aufweist, und das Verfahren das Bereitstellen eines unteren flügelartigen Elements, das kleiner als das obere flügelartige Element ist und eine Wurzel-Profilsehne und eine Hinterkante aufweist, und Fixieren des unteren flügelartigen Elements am oberen flügelar-

tigen Element derart umfasst, dass: sich die Wurzel-Profilsehne des unteren flügelartigen Elements mit dem oberen flügelartigen Element schneidet und das untere flügelartige Element von der Schnittstelle nach unten ragt, und dass die Hinterkante des unteren flügelartigen Elements an der Schnittstelle an die Hinterkante des oberen flügelartigen Elements angrenzt und dass ein eingeschlossener Winkel zwischen dem oberen und dem unteren flügelartigen Element an der Schnittstelle kleiner oder gleich 160 Grad ist.

[0017] Ein sechster Aspekt der Erfindung stellt ein Verfahren zum Betreiben eines Tragflügels bereit, der eine Tragflügelendvorrichtung aufweist, die am Außenbordende des Tragflügels befestigt ist, wobei der Tragflügel eine Flügelebene definiert und die Tragflügelendvorrichtung umfasst: ein oberes flügelartiges Element, das in Bezug auf die Flügelebene nach oben ragt und eine Hinterkante aufweist, und ein unteres flügelartiges Element, das in Bezug auf das obere flügelartige Element befestigt ist und eine Wurzel-Profilsehne und eine Hinterkante aufweist, wobei sich die Wurzel-Profilsehne des unteren flügelartigen Elements mit dem oberen flügelartigen Element schneidet und das untere flügelartige Element von der Schnittstelle nach unten ragt, wobei das obere flügelartige Element größer ist als das untere flügelartige Element und die Hinterkante des unteren flügelartigen Elements an der Schnittstelle an die Hinterkante des oberen flügelartigen Elements angrenzt und wobei ein eingeschlossener Winkel zwischen dem oberen und dem unteren flügelartigen Element an der Schnittstelle kleiner oder gleich 160 Grad ist, und wobei das Verfahren das Aussetzen des Tragflügels aerodynamischen Belastungen derart umfasst, dass die Tragflügelform eine aeroelastische Verformung in einen Zustand eingeht, in dem Tragflügelverbiegung eine Drehung der Tragflügelendvorrichtung um die Tragflügelwurzel derart verursacht, dass sich das Ende des unteren flügelartigen Elements in der Spannweitenrichtung weiter außenbords als das Ende des oberen flügelartigen Elements erstreckt.

[0018] Die Erfindung ist vorteilhaft darin, dass das untere flügelartige Element so wirkt, dass es wenigstens etwas von der Verringerung bei der Tragflügel-Spannweite, die auf Grund aeroelastischer Verformung in der Flugform auftritt, ausgleicht, während das obere und das untere flügelartige Element noch optimiert sein können, um jeglichen gültigen Spannweitenbeschränkungen in der Bodenform zu genügen.

[0019] Es ist gezeigt worden, dass das Hinzufügen des unteren Elements zu einer Tragflügelendvorrichtung, die nur ein oberes flügelartiges Element (z.B. ein Winglet) umfasst, den Widerstand an der Kombination aus Tragflügel und Tragflügelendvorrichtung insgesamt um weitere rund 1,9 % verringert, mit einer Wirbelwiderstandsverringerung von weiteren rund 25 bis 40 % im Verhältnis zu der durch das untere Element allein gewährleisteten.

[0020] Die annähernde Übereinstimmung der Hinterkanten des oberen und des unteren Elements ist wichtig, um Wirbelschleppen- Turbulenzeffekte zu vermeiden. Die Hinterkanten müssen nicht genau übereinstimmen, müssen aber aneinandergrenzen, um so zu vermeiden, dass die Wirbelschleppe des einen Elements an der Schnittstelle auf die Strömung über das andere Element einwirkt.

[0021] Der eingeschlossene Winkel zwischen dem oberen und dem unteren flügelartigen Element an der Schnittstelle ist wichtig derart, dass in der Flugform das untere Element eine Steigerung bei der Spannweite bereitstellt. Der Neigungswinkel des unteren Elements (d.h., der Winkel zwischen der vertikalen x-z-Ebene und dem Element) kann optimiert werden, um die maximale Spannweitensteigerung in der Flugform zu erreichen, mit gebührender Berücksichtigung des Minimierens von Überlagerungseffekten an der Schnittstelle. Zu bemerken ist, dass ein Tragflügelendzaum einen eingeschlossenen Winkel zwischen vertikalen oberen und unteren Elementen von ungefähr 180 Grad aufweist und das untere Element so in der Flugform eine zu vernachlässigende Steigerung bei der Spannweite bereitstellt.

[0022] Das obere flügelartige Element ist größer als das untere flügelartige Element. Das untere flügelartige Element kann eine Elementgrundrissfläche von weniger als ungefähr 25 % der Grundrissfläche des oberen flügelartigen Elements aufweisen. Zu bemerken ist, dass die Grundrissfläche jedes Elements in einer Ebene betrachtet wird, die sich von derjenigen der

Tragflügel- Grundrissfläche unterscheidet. Die Grundrissfläche des unteren Elements kann so gestaltet sein, dass sie die erforderliche Spannweitenbelastung liefert, während der Reiseflug-Reibungswiderstandsnachteil minimiert wird, und eine gute Hochauftriebsleistung bei niedriger Geschwindigkeit gewährleistet. Bodenbeschränkungen für den Höhenabstand können die Größe des unteren Elements begrenzen.

[0023] Das untere flügelartige Element ist in Bezug auf das obere flügelartige Element unbeweglich. Die Tragflügelendvorrichtung ist in Bezug auf den Tragflügel unbeweglich. Die Erfindung betrifft nicht bewegliche Tragflügelendvorrichtungen, da diese im Allgemeinen schwerer sind als unbewegliche Vorrichtungen, was einen Leistungsvorteil ausgleichen kann. Außerdem ist das Lösen des Problems von Spannweitenbeschränkungen mit beweglichen Tragflügelendvorrichtungen etwas trivial.

[0024] Ein eingeschlossener Winkel zwischen der Flügelebene und dem unteren flügelartigen Element kann wenigstens 110 Grad betragen. Das untere Element erstreckt sich daher vom Außenbordende des Tragflügels nach außenbords, und Überlagerungseffekte zwischen der Tragflügel-Unterseite und dem unteren Element können minimiert werden.

[0025] Der eingeschlossene Winkel zwischen dem oberen und dem unteren flügelartigen Element an der Schnittstelle kann wenigstens 80 Grad betragen und beträgt vorzugsweise wenigstens 90 Grad. Dies trägt dazu bei, Überlagerungseffekte zwischen dem oberen und dem unteren Element an der Schnittstelle zu minimieren.

[0026] Das untere flügelartige Element kann im Wesentlichen eben sein.

[0027] Alternativ kann das untere flügelartige Element im Wesentlichen uneben sein. Insbesondere kann das untere Element eine Flügelverwindung, z.B. eine negative Verwindung, aufweisen. Das untere Element kann eine Spannweitenkrümmung mit zunehmend negativer V-Form von der Wurzel zum Ende aufweisen.

[0028] Das untere Element kann einen Spurwinkel im Verhältnis zu der vertikalen x-z-Ebene aufweisen.

[0029] Das untere Element kann einen positiven Pfeilwinkel aufweisen.

[0030] Im Einzelnen kann das untere Element eine positiv gepfeilte Vorderkante aufweisen. Der positiven Pfeilwinkel der Vorderkante des unteren Elements kann ähnlich demjenigen des oberen Elements sein.

[0031] Das obere flügelartige Element kann einen im Wesentlichen ebenen Teilbereich enthalten.

[0032] Das obere flügelartige Element kann im Wesentlichen eben sein. Das obere Element kann ein Winglet sein.

[0033] Bei einer anderen Ausführungsform kann das obere flügelartige Element einen im Wesentlichen ebenen Teilbereich und einen bogenförmigen Übergangsbereich, der geeignet ist, das Außenbordende des Tragflügels gleichmäßig in den im Wesentlichen ebenen Teilbereich des oberen flügelartigen Elements verlaufen zu lassen, enthalten. Das obere flügelartige Element kann ein integriertes Winglet sein. Der Übergangsbereich kann einen konstanten Krümmungsradius aufweisen. Der Verlauf trägt dazu bei, Überlagerungswiderstandseffekte am Tragflügelende zu verringern.

[0034] Bei noch einer anderen Ausführungsform kann das obere flügelartige Element einen im Wesentlichen ebenen Teilbereich und eine unebene gekrümmte Tragflügelendverlängerung, die geeignet ist, das Außenbordende des Tragflügels gleichmäßig in den im Wesentlichen ebenen Teilbereich des oberen flügelartigen Elements verlaufen zu lassen, enthalten. Das obere flügelartige Element kann ein Winglet sein, das durch eine unebene Tragflügelendverlängerung in den Tragflügel verläuft. Die unebene Tragflügelendverlängerung kann eine zunehmende Krümmung des örtlichen Dieders in der Außenbordrichtung aufweisen. Die Tragflügelendverlängerung trägt dazu bei, Überlagerungswiderstandseffekte, verglichen mit einem integrierten

Winglet mit einem Übergang mit konstantem Radius, weiter zu verringern.

[0035] Das obere flügelartige Element kann eine im Wesentlichen unebene gekrümmte Tragflügelendverlängerung sein. Die Verlängerung kann eine kontinuierlich zunehmende Krümmung des örtlichen Dieders, eine kontinuierlich zunehmende Pfeilung (sowohl an der Vorder- als auch an der Hinterkante) und eine in der Außenbordrichtung kontinuierlich abnehmende Profilsehne aufweisen.

[0036] Das obere flügelartige Element kann eine Flügelverwindung, z.B. eine negative Verwindung, von der Wurzel zum Ende aufweisen.

[0037] Das obere flügelartige Element kann einen Spurwinkel im Verhältnis zu der vertikalen x-z-Ebene aufweisen.

[0038] Das obere flügelartige Element kann einen positiven Pfeilwinkel aufweisen. Im Einzelnen kann das obere Element eine positiv gepfeilte Vorderkante aufweisen. Der positive Pfeilwinkel der Vorderkante des oberen Elements kann ähnlich demjenigen des unteren Elements sein.

[0039] Die Schnittstelle zwischen dem unteren flügelartigen Element und dem oberen flügelartigen Element kann sich am Außenbordende des Tragflügels befinden.

[0040] Alternativ kann sich die Schnittstelle zwischen dem unteren flügelartigen Element und dem oberen flügelartigen Element außenbords des Außenbordendes des Tragflügels befinden. Dies kann besonders vorteilhaft sein, wenn das obere Element gleichmäßig in das Außenbordende des Tragflügels verlaufen lassen wird. In diesem Fall kann sich die Schnittstelle auf der unteren Fläche des oberen Elements befinden.

[0041] Die Wurzel-Profilsehne des unteren Elements kann sich an der Schnittstelle entlang nur eines Teils der örtlichen Profilsehne des oberen Elements erstrecken.

[0042] Wenn sich das Flugzeug am Boden befindet und der Tragflügel infolge voller Kraftstoffladung einer Ablenkung nach unten ausgesetzt ist, sich das Ende des unteren flügelartigen Elements in der Spannweitenrichtung nicht weiter außenbords als das Ende des oberen flügelartigen Elements erstrecken. Auf diese Weise können sich zum Beispiel die Enden sowohl des oberen als auch des unteren Elements an einer Flughafen-Flugsteiggrenze befinden.

[0043] Wenn sich das Flugzeug am Boden befindet und der Tragflügel infolge voller Kraftstoffladung einer Ablenkung nach unten ausgesetzt ist, kann die Spannweitereerstreckung des Endes des unteren flügelartigen Elements im Wesentlichen gleich der Spannweitereerstreckung des Endes des oberen flügelartigen Elements sein. Alternativ kann die Spannweitereerstreckung des Endes des unteren flügelartigen Elements größer sein als die Spannweitereerstreckung des Endes des oberen flügelartigen Elements, wenn die Spannweite des Endes des oberen Elements wesentlich geringer ist als die Flughafen-Flugsteiggrenze.

[0044] Wenn sich das Flugzeug im Flug befindet, kann sich das Ende des unteren flügelartigen Elements in der Spannweitenrichtung infolge aeroelastischer Verformung der Tragflügelform weiter außenbords als das Ende des oberen flügelartigen Elements erstrecken.

KURZE BESCHREIBUNG DER ZEICHNUNGEN

[0045] Es werden nun Ausführungsformen der Erfindung beschrieben, unter Bezugnahme auf die beigefügten Zeichnungen, in denen:

[0046] Figur 1 einen Flugzeug-Tragflügel des Standes der Technik mit einem oberen Winglet illustriert, gezeigt a) in seiner Bodenform und b) in seiner Flugform,

[0047] Figur 2 das Detail A von Figur 1 illustriert, das die Spannweitengrenze am Boden und den Verlust an Spannweite infolge von Tragflügelverformung unter aerodynamischer Belastung zeigt,

- [0048]** Figur 3 einen Flugzeug-Tragflügel/eine Tragflügelendvorrichtung nach einer ersten Ausführungsform illustriert, aufweisend ein ebenes oberes Winglet und ein ebenes unteres Winglet, gezeigt a) in seiner Bodenform und b) in seiner Flugform, und die von dem unteren Element in der Flugform gewonnene Spannweite illustriert,
- [0049]** Figur 4 den Flugzeug-Tragflügel/die Tragflügelendvorrichtung nach der ersten Ausführungsform im Detail illustriert,
- [0050]** Figur 5 und 6 graphisch die weitere Verringerung beim Widerstand infolge des unteren Elements bei der ersten Ausführungsform illustrieren,
- [0051]** Figur 7 einen Flugzeug-Tragflügel/eine Tragflügelendvorrichtung (in der Bodenform) nach einer zweiten Ausführungsform illustriert, aufweisend ein ebenes oberes Winglet und ein unebenes unteres Winglet,
- [0052]** Figur 8 einen Flugzeug-Tragflügel/eine Tragflügelendvorrichtung (in der Bodenform) nach einer dritten Ausführungsform illustriert, aufweisend ein integriertes oberes Winglet und ein ebenes unteres Winglet,
- [0053]** Figur 9 einen Flugzeug-Tragflügel/eine Tragflügelendvorrichtung (in der Bodenform) nach einer vierten Ausführungsform illustriert, aufweisend ein oberes Winglet, das mit einer unebenen Tragflügelendverlängerung in den Tragflügel verlaufen lassen wird, und ein ebenes unteres Winglet (obwohl ein unebenes unteres Winglet ebenfalls angewendet werden kann), und
- [0054]** Figur 10 eine perspektivische Ansicht des Flugzeug- Tragflügels/der Tragflügelendvorrichtung der vierten Ausführungsform illustriert,
- [0055]** Figur 11 eine Draufsicht des Flugzeug-Tragflügels/der Tragflügelendvorrichtung der vierten Ausführungsform illustriert,
- [0056]** Figur 12 einen Flugzeug-Tragflügel/eine Tragflügelendvorrichtung nach einer fünften Ausführungsform illustriert, aufweisend eine unebene (obere) Tragflügelendverlängerung und ein ebenes unteres Winglet, und
- [0057]** Figur 13 eine perspektivische Ansicht des Flugzeug- Tragflügels/der Tragflügelendvorrichtung der fünften Ausführungsform illustriert.

AUSFÜHRLICHE BESCHREIBUNG DER AUSFÜHRUNGSFORM(EN)

[0058] Figur 1 illustriert einen Flugzeug-Tragflügel 1 des Standes der Technik, der eine Innenbord-Tragflügelwurzel 2 und ein Außenbord-Tragflügelende 3 aufweist. Eine Tragflügelendvorrichtung, die ein sich nach oben erstreckendes Winglet 4 umfasst, ist am Außenbordende 3 des Tragflügels 1. Der Tragflügel 1 wird in Figur 1 in a) seiner Bodenform (d.h., mit dem Flugzeug am Boden und mit einer vollen Kraftstoffladung im Tragflügel) und b) seiner Flugform (d.h., mit Verformung infolge von aerodynamischer Belastung) gezeigt.

[0059] Figur 2 illustriert das Detail A von Figur 1, und die unterbrochene Linie 5 illustriert eine Spannweitenbeschränkung, die dem Flugzeug, z.B. auf Grund von Flugplatzkompatibilitäts-Flugsteiggrenzen oder Flugzeugkategorie-Flugbeschränkungen, auferlegt sind. Die Spannweitengrenze 5 gilt für die in Figur 2a) gezeigte Bodenform. Figur 2b) illustriert den Verlust 6 an Tragflügel-Spannweite auf Grund von Tragflügelverformung in der Flugform. Dieser Verlust 6 bei der Spannweite kann bis zu 3 % betragen.

[0060] Figur 3 illustriert einen Flugzeug-Tragflügel 101 nach einer ersten Ausführungsform, aufweisend ein ebenes oberes Winglet 104 und ein ebenes unteres Winglet 107. Das obere Winglet 104 ist an dem Außenbordende 103 des Tragflügels 101 befestigt. Der Tragflügel 101 definiert eine Flügelebene 108. Das obere Winglet 104 ragt in Bezug auf die Flügelebene 108 nach oben. Das obere Winglet 104 weist ein Ende 109 und eine Wurzel 110 auf. Das untere

Winglet weist ein Ende 111 und eine Wurzel 112 auf. Die Profilsehne 112 des unteren Winglets schneidet sich mit dem oberen Winglet 104, und das untere Winglet 107 springt von dieser Schnittstelle aus nach unten vor. Das obere und das untere Winglet 104, 107 haben jeweils eine Vorderkante und eine Hinterkante, und die Hinterkanten grenzen an der Schnittstelle aneinander. Figur 3a) illustriert den Flugzeug-Tragflügel 101 in seiner Bodenform, wobei das Ende 109 des oberen Winglets 104 und das Ende 111 des unteren Winglets 107 an der Spannweitengrenze 105 übereinstimmen. Figur 3b) illustriert den Flugzeug-Tragflügel 101 in seiner verformten Flugform und zeigt, wie ein möglicher Verlust 106 bei der Spannweite auf Grund des oberen Winglets 104 durch eine Zunahme 113 bei der Spannweite, gewonnen von dem unteren Winglet 107, abgemindert wird. Diese Zunahme 113 bei der Spannweite auf Grund des unteren Winglets 107 beträgt ungefähr 2 %.

[0061] Figur 4 illustriert den Flugzeug-Tragflügel 101 der ersten Ausführungsform in größerem Detail. Das untere Winglet 107 ist so bemessen und ausgerichtet, dass die Spannweitzunahme in der Flugform maximiert wird, während Überlagerungseffekte an der Schnittstelle zwischen dem unteren Winglet 107 und dem oberen Winglet 104 minimiert werden. Außerdem wird eine Bodenabstandshöhe G zwischen dem Boden und der Spitze 111 des unteren Winglets 107 berücksichtigt. Die sich ergebende Geometrie gewährleistet einen eingeschlossenen Winkel zwischen dem oberen und dem unteren Tragflügelement von rund 132° und einen eingeschlossenen Winkel zwischen der Flügelsebene 108 und dem unteren Winglet 107 von rund 128° . Das untere Winglet 107 weist eine Winglet-Grundrissfläche von rund 20 % der Grundrissfläche des oberen Winglets 104 auf. Die verhältnismäßig kleine Größe des unteren Winglets 107 minimiert den Reibungswiderstandsnachteil bei der Reise, während die erforderliche optimale Spannweitenbelastung geliefert wird.

[0062] Figur 5 und 6 illustrieren graphisch die Wirkung der Hinzufügung des unteren Wingletelements 107 auf die Auftriebs- und Wirbelwiderstandscharakteristika des Tragflügels 101. In Figur 5 und 6 stellt die Linie mit kreisförmigen Markierungen einen Bezugstragflügel dar, der dem Tragflügel 101 entspricht, mit einem Ende nahe einer auferlegten Spannweitengrenze ohne jegliche Tragflügelendvorrichtung. Die Linie mit Kreuzmarkierungen illustriert den Tragflügel 101 mit nur dem oberen Wingletelement 104 (bemessen, wie in NASA T 81230 unter dem Titel „Effect of Winglets on the Induced Drag of Ideal Wing Shapes (Auswirkung von Winglets auf den induzierten Widerstand von idealen Tragflügelformen)“, R.T. Jones und T.A. Lasinski, 1980, empfohlen), und die Linie mit den dreieckigen Markierungen stellt den Tragflügel 101 mit sowohl dem oberen als auch dem unteren Wingletelement 104, 107 dar. Figur 5 illustriert die Beziehung zwischen dem Auftriebs- und dem Widerstandskoeffizienten (CL, CD) und zeigt eine Verbesserung beim Verhältnis von Auftrieb zu Widerstand für den Tragflügel 101 mit sowohl dem oberen als auch dem unteren Wingletelement 104, 107, verglichen mit sowohl dem Bezugstragflügel als auch dem Tragflügel mit nur einem oberen Wingletelement. Figur 6 illustriert eine Widerstandseinsparung auf Grund des Hinzufügens des unteren Wingletelements 107 von rund 1,9 % bei dem Auftriebskoeffizienten bei mittlerem Reisegewicht ($CL = 0,5$) im Verhältnis zu dem Tragflügel mit nur dem oberen Element 104. Die durch das untere Wingletelement 107 gewährleistete Wirbelwiderstandsverringerung ist eine weitere Verringerung von rund 25 bis 40 %.

[0063] Figur 7 illustriert einen Flugzeug-Tragflügel 201 nach einer zweiten Ausführungsform, aufweisend ein ebenes oberes Winglet 204 und ein unebenes unteres Winglet 207. Der Tragflügel 201 definiert eine Flügelsebene 208, und das obere Winglet 204 ragt in Bezug auf die Flügelsebene 208 nach oben. Das obere Winglet 204 ist am Außenbordende 203 des Tragflügels 201 befestigt. Das untere Winglet 207 weist eine Wurzel-Profilsehne 212 auf, die sich mit dem oberen Winglet 204 schneidet. Das untere Winglet 207 ragt von der Schnittstelle nach unten. Das obere Winglet 204 weist ein Ende 209 und eine Wurzel 210 auf. Das untere Winglet 207 weist ein Ende 211 auf, das an der Spannweitengrenze 205 in der Spannweitenrichtung mit dem Ende 209 übereinstimmt. Das obere und das untere Winglet 204, 207 haben jeweils eine Vorderkante und eine Hinterkante, und die Hinterkanten grenzen an der Schnittstelle aneinander. Der Tragflügel 201 wird in Figur 7 in seiner Bodenform gezeigt, wobei die Spannweiten-

grenze 205 durchgesetzt ist.

[0064] Das untere Winglet 207 weist eine zunehmende Krümmung des örtlichen Dieders von der Wurzel 212 zum Ende 211 auf. Das untere Winglet 207 kann einen Vorspur- oder Nachspurwinkel aufweisen, um die Niedergeschwindigkeitsleistung der Tragflügelendvorrichtung zu optimieren.

[0065] Die Tragflügelendvorrichtung für den Tragflügel 201 ist optimiert worden, so dass die Spannweitzunahme unter aerodynamischen Flugbelastungen maximiert wird, während die Überlagerungseffekte zwischen dem unteren Winglet 207 und der unteren Fläche des Tragflügels 201 und zwischen dem unteren und dem oberen Winglet 204, 207 minimiert werden. Die sich ergebende optimierte Geometrie weist einen eingeschlossenen Winkel zwischen dem oberen und dem unteren Winglet 204, 207 von rund 120° und einen eingeschlossenen Winkel zwischen der Flügelebene 208 und dem unteren Winglet 207 von rund 138° auf. In der Flugform gewährleistet das untere Winglet 207 einen weiteren Gewinn bei der Spannweite, verglichen mit dem unteren Winglet 107 des Tragflügels 101, prinzipiell auf Grund der gesteigerten Höhe des unteren Winglets 207 von der Wurzel 212 zum Ende 211 und der Flexibilität des unteren Winglets 207, das sich unter Flugbelastungen geraderichtet.

[0066] Figur 8 illustriert einen Flugzeug-Tragflügel 301 nach einer dritten Ausführungsform, aufweisend ein integriertes oberes Winglet 304 und ein ebenes unteres Winglet 307. Der Tragflügel 301 weist ein Außenbordende 303 auf, an dem das integrierte obere Winglet 304 befestigt ist. Das obere Winglet 304 weist ein Ende 309 und eine Wurzel 310 auf. Das obere Winglet 304 ist durch sein Wurzelende 310 am Außenbordende 303 des Tragflügels 301 befestigt. Das obere Winglet 304 weist einen im Wesentlichen ebenen Teilbereich 314 und einen bogenförmigen Übergangsbereich 315 auf. Der Übergangsbereich 315 ist geeignet, das Außenbordende 303 des Tragflügels 301 gleichmäßig in den im Wesentlichen ebenen Teilbereich 314 verlaufen zu lassen. Der bogenförmige Übergangsbereich 315 weist einen im Wesentlichen konstanten Krümmungsradius R auf.

[0067] Das untere Winglet 307 ist an der unteren Fläche des Übergangsbereichs 315 des oberen Winglets 304 befestigt. Das untere Winglet weist ein Ende 311 und eine Wurzel 312 auf. Die Wurzel-Profilsehne des unteren Winglets 307 schneidet sich mit dem oberen Winglet 304, und das untere Winglet ragt von der Schnittstelle nach unten. Das obere und das untere Winglet 304, 307 weisen jeweils eine Vorderkante und eine Hinterkante auf, und die Hinterkanten grenzen an der Schnittstelle aneinander.

[0068] Der Übergangsbereich 315 trägt dazu bei, Überlagerungseffekte zwischen dem im Wesentlichen ebenen Teilbereich 314 und dem Tragflügel 301 zu verringern.

[0069] Das Ende 309 des oberen Winglets 304 stimmt an der Spannweitengrenze 305 im Wesentlichen in der vertikalen x - z -Ebene mit dem Ende 311 des unteren Winglets 307 überein. Ein eingeschlossener Winkel zwischen dem oberen und dem unteren Winglet 304, 307 beträgt rund 84° . Es ist vorzuziehen, dass dieser Winkel wenigstens 80° beträgt, um so Überlagerungseffekte zwischen dem oberen und dem unteren Winglet 304, 307 zu vermeiden. Da sich die Schnittstelle auf der unteren Fläche des integrierten Übergangsbereichs 315 befindet, wird der Winkel zwischen der Tangente der unteren Übergangsbereichsfläche und dem unteren Winglet 307 gemessen. Ein eingeschlossener Winkel zwischen der Flügelebene 308 und dem unteren Winglet 307 beträgt rund 125° . Der im Wesentlichen ebene Teilbereich 314 des oberen Winglets 304 weist einen Neigungswinkel im Verhältnis zu der vertikalen x - z -Ebene von rund 7° bis 15° auf.

[0070] Das untere Wingletelement 307 weist eine Elementgrundrissfläche von ungefähr 25 % der Grundrissfläche des oberen Wingletelements 304 auf. Während das obere Winglet 307 im Wesentlichen eben ist, kann es eine gewisse Flügelverwindung von der Wurzel 312 bis zum Ende 311 aufweisen. Das untere Winglet 307 kann zusätzlich oder alternativ einen Vorspur- oder Nachspurwinkel aufweisen, um die Niedergeschwindigkeitsleistung zu optimieren. Ähnlich kann das obere Winglet 304 eine gewisse Flügelverwindung aufweisen und kann einen Vor-

spur- oder Nachspurwinkel aufweisen. Das untere Winglet 307 weist einen positiven Pfeilwinkel auf, und insbesondere die Vorderkante ist positiv gepfeilt. Das obere Winglet 304 ist ebenfalls positiv gepfeilt und weist eine positiv gepfeilte Vorderkante und eine positiv gepfeilte Hinterkante auf.

[0071] Falls es die Bodenabstandsgrenzen zulassen, könnte das untere Wingletelement 307 durch ein unebenes unteres Wingletelement, ähnlich dem oben unter Bezugnahme auf Figur 7 beschriebenen, ersetzt werden.

[0072] Figur 9 illustriert eine Kombination aus Flugzeug-Tragflügel und Tragflügelendvorrichtung, umfassend einen Tragflügel 401, ein integriertes oberes Winglet 404 und ein ebenes unteres Winglet 407. Der Tragflügel 401 weist ein Außenbordende 403 auf und definiert eine Flügелеbene 408. Das obere Winglet 404 schließt einen im Wesentlichen ebenen Teilbereich 414 und einen integrierten Übergangsbereich 415 ein. Der Übergangsbereich 415 lässt das Außenbordende 403 des Tragflügels 401 gleichmäßig in den im Wesentlichen ebenen Teilbereich 414 des oberen Winglets 404 verlaufen. Der Übergangsbereich 415 ist eine unebene gekrümmte Tragflügelendverlängerung, die eine kontinuierlich zunehmende Krümmung des örtlichen Dieders, eine kontinuierlich zunehmende positive Pfeilung (sowohl an der Vorder- als auch an der Hinterkante) und eine in der Außenbordrichtung kontinuierlich abnehmende Profilsehne aufweist. Der unebene gekrümmte Tragflügelende-Verlängerungsbereich 415 gewährleistet eine verbesserte Widerstandsleistung für das obere Winglet 404 im Vergleich zu dem in Figur 8 gezeigten integrierten oberen Winglet 304.

[0073] Das obere Winglet 404 weist eine Wurzel 410 und ein Ende 409 auf. Der im Wesentlichen ebene Teilbereich 414 des oberen Winglets 404 weist einen Neigungswinkel von rund 7° zur vertikalen x-z-Ebene auf. Ein im Wesentlichen ebenes unteres Winglet 407 ist an der unteren Fläche des unebenen gekrümmten Tragflügelende-Verlängerungsbereichs 415 des oberen Winglets 404 befestigt. Das untere Winglet 407 weist ein Ende 411 und eine Wurzel 412 auf. Die Wurzel-Profilsehne des unteren Winglets 407 schneidet sich mit dem oberen Winglet 404, und das untere Winglet ragt von der Schnittstelle nach unten.

[0074] Ein eingeschlossener Winkel zwischen dem oberen und dem unteren Winglet 404, 407 an der Schnittstelle beträgt rund 86° . Da sich die Schnittstelle auf der unteren Fläche des unebenen gekrümmten Tragflügelende-Verlängerungsbereichs 415 des oberen Winglets 404 befindet, wird dieser Winkel von einer örtlichen Oberflächentangente zur unteren Fläche des unebenen gekrümmten Tragflügelende-Verlängerungsbereichs 415 an der Schnittstelle gemessen. Dieser eingeschlossene Winkel ist vorzugsweise größer als 80° , um Überlagerungseffekte zwischen dem oberen und dem unteren Winglet 404, 407 zu vermeiden. Ein eingeschlossener Winkel zwischen der Flügелеbene 408 und dem unteren Winglet beträgt rund 124° . Das Ende 409 des oberen Winglets 404 stimmt an der Spannweitengrenze 405 im Wesentlichen in der vertikalen x-z-Ebene mit dem Ende 411 des unteren Winglets 407 überein.

[0075] Figur 10 und 11 illustrieren eine perspektivische Ansicht beziehungsweise eine Draufsicht der Kombination von Flugzeug- Tragflügel und Tragflügelendvorrichtung der vierten Ausführungsform. Aus Figur 10 im Besonderen ist zu sehen, dass die Hinterkante 416 des oberen Winglets 404 und die Hinterkante 417 des unteren Winglets 407 bei der Schnittstelle im Wesentlichen aneinander angrenzen. Die Hinterkanten 416, 417 sind ausreichend nahe, dass sich die Wirbelschleppes vom unteren Winglet 407 im Wesentlichen nicht mit der Strömung über das obere Winglet 404 überlagert. Das obere Winglet 404 weist eine Vorderkante 418 auf, die positiv gepfeilt ist, und das untere Winglet 407 weist ebenfalls eine Vorderkante 419 auf, die positiv gepfeilt ist. Die Hinterkante 416 des oberen Winglets 404 ist positiv gepfeilt, und die Hinterkante 417 des unteren Winglets 407 ist ebenfalls positiv gepfeilt.

[0076] In Figur 11 illustriert die Draufsicht (d.h., die Ansicht von oben nach unten in der x-y-Ebene), wie das obere Winglet 404 wenigstens einen Teil des unteren Winglets 407 „abschattet“.

[0077] Dies ist auf die Übereinstimmung der Enden 409, 411 des oberen und des unteren

Winglets 404, 407 in der vertikalen x-y-Ebene zurückzuführen. Wie am besten in Figur 10 zu sehen ist, nimmt die Wurzel-Profilsehne 412 des unteren Winglets 407 an der Schnittstelle nur einen Teil der örtlichen Profilsehne des oberen Winglets 404 ein. Auf und der nahen Übereinstimmung der Hinterkanten 416, 417 ist die Vorderkante 419 des unteren Winglets 407 im Wesentlichen hinter der Vorderkante 418 des oberen Winglets 404 angeordnet.

[0078] Figur 12 illustriert eine Kombination von Flugzeug-Tragflügel und Tragflügelendvorrichtung nach einer fünften Ausführungsform, umfassend einen Tragflügel 501 mit einer Tragflügelendvorrichtung, die eine obere unebene Tragflügelendverlängerung 504 und ein unteres ebenes Winglet 507 umfasst. Der Tragflügel 501 weist ein Außenbordende 503 auf und definiert eine Flügелеbene 508. Die unebene Tragflügelendverlängerung 504 weist eine Wurzel 510 und ein Ende 509 auf und ist durch ihre Wurzel 510 am Außenbordende 503 des Tragflügels 501 befestigt. Die unebene Tragflügelendverlängerung 504 weist eine kontinuierlich zunehmende Krümmung des örtlichen Dieders, eine kontinuierlich zunehmende positive Pfeilung (sowohl an der Vorder- als auch an der Hinterkante 518, 516) und eine in der Außenbordrichtung, y, kontinuierlich abnehmende Profilsehne auf.

[0079] Die unebene Tragflügelendverlängerung 504 ist im Wesentlichen von der Wurzel 510 bis zum Ende 509 uneben. Das Ende 509 bildet einen Neigungswinkel von ungefähr 8° mit der vertikalen x-z- Ebene. Das untere Winglet 507 weist ein Ende 511 und eine Wurzel 512 auf, und die Profilsehne schneidet sich mit der unebenen gekrümmten Tragflügelendverlängerung 504, wobei das untere Winglet 507 von der Schnittstelle nach unten ragt. Ein eingeschlossener Winkel zwischen der unebenen Tragflügelendverlängerung 504 und dem unteren Winglet 507 beträgt ungefähr 82° . Dieser Winkel wird zwischen dem unteren Winglet 507 und einer örtlichen Oberflächentangente zu der unteren Fläche der unebenen gekrümmten Tragflügelendverlängerung 504 an der Schnittstelle gemessen. Ein eingeschlossener Winkel zwischen der Flügелеbene 508 und dem unteren Winglet 507 beträgt ungefähr 126° . Die Enden 509, 511 der unebenen gekrümmten Tragflügelendverlängerung 504 und des unteren Winglets 507 stimmen an der Spannweitengrenze 506 in der vertikalen x-z-Ebene im Wesentlichen überein.

[0080] Figur 13 illustriert die Tragflügelendvorrichtung nach der fünften Ausführungsform in einer perspektivischen Ansicht und zeigt deutlich, dass die Hinterkante 516 der unebenen gekrümmten Tragflügelendverlängerung 504 an der Schnittstelle im Wesentlichen mit der Hinterkante 517 des Winglets 507 übereinstimmt. Sowohl die unebene gekrümmte Tragflügelendverlängerung 504 als auch das untere Winglet 507 weisen einen positiven Pfeilwinkel auf, und die Vorder- und die Hinterkanten 516, 517, 518, 519 weisen jeweils einen entsprechenden positiven Pfeilwinkel auf.

[0081] Das untere Winglet 507 kann nur im Wesentlichen eben sein und kann eine Wingletverwindung von der Wurzel zum Ende und einen Vorspur- oder Nachspurwinkel im Verhältnis zum freien Strömungsfluss aufweisen. Ähnlich kann die unebene gekrümmte Tragflügelendverlängerung 504 eine Flügelverwindung und einen Vorspur- oder Nachspurwinkel im Verhältnis zum freien Strömungsfluss aufweisen. Das untere Winglet 507 kann durch ein im Wesentlichen unebenes gekrümmtes unteres Winglet, ähnlich dem oben unter Bezugnahme auf Figur 7 beschriebenen, ersetzt werden, falls es die Bodenhöhenabstandsgrenzen zulassen.

[0082] Jede von den oben unter Bezugnahme auf Figur 7 bis 13 beschriebenen zweiten bis fünften Ausführungsformen wird mit der jeweiligen Kombination von Tragflügel und Tragflügelendvorrichtung in ihrer Bodenform gezeigt. Auf Grund von aerodynamischen Belastungen am Tragflügel während des Fluges wird die Verformung des Tragflügels eine Drehung der Tragflügelendvorrichtung um die Tragflügelwurzel verursachen derart, dass sich das Ende des unteren flügelartigen Elements in der Spannweitenrichtung weiter außenbords erstreckt als das Ende des oberen flügelartigen Elements. Das untere flügelartige Element gewährleistet daher in jedem Fall eine Steigerung bei der Flügelspannweite, verglichen mit den Tragflügelendvorrichtungen, die in jedem Fall nur das obere flügelartige Element aufweisen.

[0083] Die bei den ersten bis fünften Ausführungsformen beschriebenen Tragflügelendvorrichtungen können am Außenbordende eines Flugzeug-Tragflügels, der entweder keine Tragflügel-

endvorrichtung aufweist, oder als ein Ersatz für eine vorhandene Tragflügelendvorrichtung installiert oder nachgerüstet werden. Fernerhin kann das untere flügelartige Element als eine nachzurüstende Modifikation für eine vorhandene Tragflügelendvorrichtung, die nur ein oberes flügelartiges Element aufweist, bereitgestellt werden, um so eine Tragflügelendvorrichtung nach dieser Erfindung zu bilden.

[0084] Obwohl die Erfindung oben unter Bezugnahme auf eine oder mehrere bevorzugte Ausführungsformen beschrieben worden ist, wird zu erkennen sein, dass verschiedene Veränderungen oder Modifikationen vorgenommen werden können, ohne vom Rahmen der Erfindung abzuweichen, wie sie durch die angefügten Ansprüche definiert wird.

Ansprüche

1. Tragflügelendvorrichtung zum Befestigen an einem Außenbordende (103, 203, 303, 403, 503) eines Tragflügels (101, 201, 301, 401, 501), wobei der Tragflügel (101, 201, 301, 401, 501) eine Flügelebene (108, 208, 308, 408, 508) definiert, wobei die Tragflügelendvorrichtung umfasst:
ein oberes flügelartiges Element (104, 204, 304, 404, 504), das in Bezug auf die Flügelebene (108, 208, 308, 408, 508) nach oben ragt und eine Hinterkante (416, 516) aufweist, **gekennzeichnet durch** ein unteres flügelartiges Element (107, 207, 307, 407, 507), das in Bezug auf das obere flügelartige Element (104, 204, 304, 404, 504) fixiert ist und eine Wurzel-Profilsehne (112, 212, 312, 412, 512) und eine Hinterkante (416, 516) aufweist, wobei sich die Wurzel-Profilsehne (112, 212, 312, 412, 512) des unteren flügelartigen Elements (107, 207, 307, 407, 507) mit dem oberen flügelartigen Element (104, 204, 304, 404, 504) schneidet und das untere flügelartige Element (107, 207, 307, 407, 507) von der Schnittstelle nach unten ragt, wobei sich die Schnittstelle zwischen dem unteren flügelartigen Element (107, 207, 307, 407, 507) und dem oberen flügelartigen Element (104, 204, 304, 404, 504) außenbords des Endes des Tragflügels (101, 201, 301, 401, 501) befindet, wobei das obere flügelartige Element (104, 204, 304, 404, 504) größer ist als das untere flügelartige Element (107, 207, 307, 407, 507) und die Hinterkante (417, 517) des unteren flügelartigen Elements (107, 207, 307, 407, 507) an der Schnittstelle an die Hinterkante (416, 516) des oberen flügelartigen Elements (104, 204, 304, 404, 504) angrenzt, wobei ein eingeschlossener Winkel zwischen dem oberen und dem unteren flügelartigen Element (104, 204, 304, 404, 504, 107, 207, 307, 407, 507) an der Schnittstelle kleiner oder gleich 160 Grad beträgt und wobei das untere flügelartige Element (107, 207, 307, 407, 507) eine Elementgrundrissfläche von weniger als ungefähr 25 % der Grundrissfläche des oberen flügelartigen Elements (104, 204, 304, 404, 504) aufweist.
2. Tragflügelendvorrichtung nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass der eingeschlossene Winkel zwischen der Flügelebene (108, 208, 308, 408, 508) und dem unteren flügelartigen Element (107, 207, 307, 407, 507) derart ist, dass sich das untere flügelartige Element (107, 207, 307, 407, 507) in eine Außenbordrichtung erstreckt.
3. Tragflügelendvorrichtung nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass der eingeschlossene Winkel zwischen der Flügelebene (108, 208, 308, 408, 508) und dem unteren flügelartigen Element (107, 207, 307, 407, 507) wenigstens 110 Grad beträgt.
4. Tragflügelendvorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet**, dass der eingeschlossene Winkel zwischen dem oberen und unteren flügelartigen Element (104, 204, 304, 404, 504, 107, 207, 307, 407, 507) an der Schnittstelle derart ist, dass das untere Element (107, 207, 307, 407, 507) eine Vergrößerung der Spannweite schafft, wenn der Tragflügel (101, 201, 301, 401, 501) aeroelastisch in die Flugform verformt ist.
5. Tragflügelendvorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet**, dass der eingeschlossene Winkel zwischen dem oberen und unteren flügelartigen Element (104, 204, 304, 404, 504, 107, 207, 307, 407, 507) an der Schnittstelle optimiert ist, um eine maximale Spannweitensteigerung zu erzielen, wenn der Flügel aeroelastisch in die Flugform verformt ist, mit gebührender Berücksichtigung minimierender Überlagerungseffekte an der Schnittstelle.
6. Tragflügelendvorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet**, dass der eingeschlossene Winkel zwischen dem oberen und dem unteren flügelartigen Element (104, 204, 304, 404, 504, 107, 207, 307, 407, 507) an der Schnittstelle wenigstens 80 Grad beträgt.
7. Tragflügelendvorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 6, **dadurch gekennzeichnet**, dass das untere flügelartige Element (107, 307, 407, 507) im Wesentlichen eben ist.

8. Tragflügelendvorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 6, **dadurch gekennzeichnet**, dass das untere flügelartige Element (207) im Wesentlichen uneben ist.
9. Tragflügelendvorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 8, **dadurch gekennzeichnet**, dass das untere flügelartige Element (107, 207, 307, 407, 507) einen Spürwinkel im Verhältnis zur vertikalen x-z-Ebene aufweist.
10. Tragflügelendvorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 8, **dadurch gekennzeichnet**, dass das untere flügelartige Element (107, 207, 307, 407, 507) und/oder das obere flügelartige Element (104, 204, 304, 404, 504) einen positiven Pfeilwinkel aufweist.
11. Tragflügelendvorrichtung nach Anspruch 10, **dadurch gekennzeichnet**, dass der positive Pfeilwinkel des unteren flügelartigen Elements (107, 207, 307, 407, 507) ähnlich dem des oberen flügelartigen Elements (104, 204, 304, 404, 504) ist.
12. Tragflügelendvorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 11, **dadurch gekennzeichnet**, dass das obere flügelartige Element (304, 404) einen im Wesentlichen ebenen Teilbereich (314, 414) enthält.
13. Tragflügelendvorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 12, **dadurch gekennzeichnet**, dass das obere flügelartige Element (104, 204, 504) im Wesentlichen eben ist.
14. Tragflügelendvorrichtung nach Anspruch 12, **dadurch gekennzeichnet**, dass das obere flügelartige Element (304, 404) ferner einen bogenförmigen Übergangsbereich (315, 415) enthält, der geeignet ist, das Außenbordende (303, 403) des Tragflügels (301, 401) gleichmäßig in den im Wesentlichen ebenen Teilbereich (314, 414) des oberen flügelartigen Elements (304, 404) verlaufen zu lassen.
15. Tragflügelendvorrichtung nach Anspruch 14, **dadurch gekennzeichnet**, dass das obere flügelartige Element (304, 404) ein integriertes Winglet ist.
16. Tragflügelendvorrichtung nach Anspruch 14 oder 15, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Übergangsbereich (315, 415) einen konstanten Krümmungsradius aufweist.
17. Tragflügelendvorrichtung nach einem der Ansprüche 14 bis 16, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Wurzel-Profilsehne (312, 412) des unteren flügelartigen Elements (307, 407) den gekrümmten Übergangsbereich (315, 415) schneidet.
18. Tragflügelendvorrichtung nach Anspruch 12, **dadurch gekennzeichnet**, dass das obere flügelartige Element (304, 404) ferner eine uneben gekrümmte Tragflügelendverlängerung enthält, die geeignet ist, das Außenbordende (303, 403) des Tragflügels (301, 401) gleichmäßig in den im Wesentlichen ebenen Teilbereich (314, 414) des oberen flügelartigen Elements (304, 404) verlaufen zu lassen.
19. Tragflügelendvorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 18, **dadurch gekennzeichnet**, dass das obere flügelartige Element (104, 204, 304, 404, 504) einen Spürwinkel im Verhältnis zur vertikalen x-z-Ebene aufweist.
20. Tragflügelendvorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 19, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Wurzel-Profilsehne (112, 212, 312, 412, 512) der unteren Elements (107, 207, 307, 407, 507) sich an der Schnittstelle entlang nur eines Teils der örtlichen Profilsehne (112, 212, 312, 412, 512) des oberen Elements (104, 204, 304, 404, 504) erstreckt.
21. Tragflügelendvorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 20, **dadurch gekennzeichnet**, dass sie so angeordnet ist, dass, wenn sie an einem Tragflügel (101, 201, 301, 401, 501) befestigt ist, das untere flügelartige Element (107, 207, 307, 407, 507) wenigstens teilweise eine Verringerung der Spannweite ausgleicht, die daraus resultiert, dass der Tragflügel (101, 201, 301, 401, 501) während des Fluges einer aeroelastischen Biegung unterliegt.
22. Tragflügelendvorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 21, **dadurch gekennzeichnet**, dass sie so angeordnet ist, dass, wenn sie an einem Tragflügel (101, 201, 301, 401, 501) eines Flugzeuges am Boden befestigt ist und der Tragflügel (101, 201, 301, 401, 501) in

- Folge voller Kraftstoffladung einer Ablenkung nach unten ausgesetzt ist, das Ende (111, 211, 311, 411, 511) des unteren flügelartigen Element (107, 207, 307, 407, 507) sich nicht weiter außenbords in Spannweitenrichtung als das Ende (109, 209, 309, 409, 509) des oberen flügelartigen Elements (104, 204, 304, 404, 504) erstreckt.
23. Tragflügelendvorrichtung nach Anspruch 22, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Spannweitenerstreckung des Endes (111, 211, 311, 411, 511) des unteren flügelartigen Elements (107, 207, 307, 407, 507) im Wesentlichen gleich wie die Spannweitenerstreckung des Endes (109, 209, 309, 409, 509) des oberen flügelartigen Elements (104, 204, 304, 404, 504) ist.
24. Tragflügelendvorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 23, **dadurch gekennzeichnet**, dass sie so angeordnet ist, dass, wenn sie an einem Tragflügel (101, 201, 301, 401, 501) eines Flugzeugs angebracht ist und wenn das Flugzeug fliegt, das Ende (111, 211, 311, 411, 511) des unteren flügelartigen Elements (107, 207, 307, 407, 507) sich aufgrund der aeroelastischen Deformation der Flügelform weiter außenbords in Spannweitenrichtung als das Ende (109, 209, 309, 409, 509) des oberen flügelartigen Elements (104, 204, 304, 404, 504) erstreckt.
25. Tragflügel mit einem Außenbordende (103, 203, 303, 403, 503) und einer Tragflügelendvorrichtung gemäß einem der Ansprüche 1 bis 24, die an seinem Außenbordende (103, 203, 303, 403, 503) befestigt ist.
26. Flugzeug mit einem Tragflügel (101, 201, 301, 401, 501) nach Anspruch 25.
27. Flugzeug nach Anspruch 27, **dadurch gekennzeichnet**, dass, wenn sich das Flugzeug am Boden befindet und der Tragflügel (101, 201, 301, 401, 501) infolge voller Kraftstoffladung einer Ablenkung nach unten ausgesetzt ist, das Ende (111, 211, 311, 411, 511) des unteren flügelartigen Elements (107, 207, 307, 407, 507) in der Spannweitenrichtung sich nicht weiter außenbords als das Ende (109, 209, 309, 409, 509) des oberen flügelartigen Elements (104, 204, 304, 404, 504) erstreckt und/oder die Spannweitenerstreckung des Endes (111, 211, 311, 411, 511) des unteren flügelartigen Elements (107, 207, 307, 407, 507) im Wesentlichen gleich der Spannweitenerstreckung des Endes (109, 209, 309, 409, 509) des oberen flügelartigen Elements (104, 204, 304, 404, 504) ist.
28. Flugzeug nach Anspruch 26 oder 27, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Spannweitenerstreckung des Tragflügels (101, 201, 301, 401, 501) in der Bodenform im Wesentlichen gleich einer Flugplatzkompatibilitäts- Flugsteiggrenze ist.
29. Flugzeug nach einem der Ansprüche 26 bis 28, **dadurch gekennzeichnet**, dass, wenn sich das Flugzeug im Flug befindet, das Ende (111, 211, 311, 411, 511) des unteren flügelartigen Elements (107, 207, 307, 407, 507) in der Spannweitenrichtung sich infolge aeroelastischer Verformung der Tragflächenform weiter außenbords als das Ende (109, 209, 309, 409, 509) des oberen flügelartigen Elements (104, 204, 304, 404, 504) erstreckt.
30. Verfahren zur Installation oder Nachrüstung einer Tragflügelendvorrichtung an einem Tragflügel (101, 201, 301, 401, 501), wobei das Verfahren das Befestigen einer Tragflügelendvorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 24 am Außenbordende (103, 203, 303, 403, 503) des Tragflügels (101, 201, 301, 401, 501) umfasst.
31. Verfahren zum Modifizieren einer Tragflügelendvorrichtung zum Fixieren am Außenbordende (103, 203, 303, 403, 503) eines Tragflügels (101, 201, 301, 401, 501), wobei der Tragflügel (101, 201, 301, 401, 501) eine Flügelebene (108, 208, 308, 408, 508) definiert, wobei die bestehende Tragflügelendvorrichtung ein oberes flügelartiges Element (104, 204, 304, 404, 504) umfasst, das in Bezug auf die Flügelebene (108, 208, 308, 408, 508) nach oben ragt und eine Hinterkante (416, 516) aufweist, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Verfahren das Bereitstellen eines unteren flügelartigen Elements (107, 207, 307, 407, 507), das kleiner als das obere flügelartige Element (104, 204, 304, 404, 504) ist und eine Wurzel-Profilsehne (112, 212, 312, 412, 512) und eine Hinterkante (417, 517) aufweist, und

das Fixieren des unteren flügelartigen Elements (107, 207, 307, 407, 507) am oberen flügelartigen Element (104, 204, 304, 404, 504) umfasst, derart, dass sich die Wurzel-Profilsehne (112, 212, 312, 412, 512) des unteren flügelartigen Elements (107, 207, 307, 407, 507) mit dem oberen flügelartigen Element (104, 204, 304, 404, 504) schneidet und das untere flügelartige Element (107, 207, 307, 407, 507) von der Schnittstelle nach unten ragt, dass die Hinterkante (417, 517) des unteren flügelartigen Elements (107, 207, 307, 407, 507) an der Schnittstelle an die Hinterkante (416, 516) des oberen flügelartigen Elements (104, 204, 304, 404, 504) angrenzt, dass ein eingeschlossener Winkel zwischen dem oberen und dem unteren flügelartigen Element (104, 204, 304, 404, 504, 107, 207, 307, 407, 507) an der Schnittstelle kleiner oder gleich 160 Grad beträgt und dass das untere flügelartige Element (107, 207, 307, 407, 507) eine Elementgrundrissfläche von weniger als ungefähr 25 % der Grundrissfläche des oberen flügelartigen Elements (104, 204, 304, 404, 504) aufweist.

32. Verfahren nach Anspruch 31, **dadurch gekennzeichnet**, dass das unteren flügelartige Element (107, 207, 307, 407, 507) so ausgeführt ist, dass die modifizierte Tragflügelendvorrichtung die Tragflügelendvorrichtung nach einem der Ansprüchen 1 bis 24 ist.
33. Verfahren zum Betreiben eines Tragflügels (101, 201, 301, 401, 501) mit einer am Außenbordende (103, 203, 303, 403, 503) des Tragflügels (101, 201, 301, 401, 501) fixierten Tragflügelendvorrichtung, wobei der Tragflügel (101, 201, 301, 401, 501) eine Flügelebene (108, 208, 308, 408, 508) definiert und die Tragflügelendvorrichtung umfasst:
ein oberes flügelartiges Element (104, 204, 304, 404, 504), das in Bezug auf die Flügelebene (108, 208, 308, 408, 508) nach oben ragt und eine Hinterkante (416, 516) aufweist, und
ein unteres flügelartiges Element (107, 207, 307, 407, 507), das in Bezug auf das obere flügelartige Element (104, 204, 304, 404, 504) fixiert ist und eine Wurzel-Profilsehne (112, 212, 312, 412, 512) und eine Hinterkante (417, 517) aufweist, wobei sich die Wurzel-Profilsehne (112, 212, 312, 412, 512) des unteren flügelartigen Elements (107, 207, 307, 407, 507) mit dem oberen flügelartigen Element (104, 204, 304, 404, 504) schneidet und das untere flügelartige Element (107, 207, 307, 407, 507) von der Schnittstelle nach unten ragt, wobei das obere flügelartige Element (104, 204, 304, 404, 504) größer ist als das untere flügelartige Element (107, 207, 307, 407, 507) und die Hinterkante (417, 517) des unteren flügelartigen Elements (107, 207, 307, 407, 507) an der Schnittstelle an die Hinterkante (416, 516) des oberen flügelartigen Elements (104, 204, 304, 404, 504) angrenzt, wobei ein eingeschlossener Winkel zwischen dem oberen (104, 204, 304, 404, 504) und dem unteren (107, 207, 307, 407, 507) flügelartigen Element an der Schnittstelle kleiner oder gleich 160 Grad beträgt, und
wobei das untere flügelartige Element (107, 207, 307, 407, 507) eine Elementgrundrissfläche von weniger als ungefähr 25 % der Grundrissfläche des oberen flügelartigen Elements (104, 204, 304, 404, 504) aufweist,
dadurch gekennzeichnet, dass das Verfahren das Aussetzen des Tragflügels aerodynamischen Belastungen derart umfasst, dass die Tragflügelform eine aeroelastische Verformung in einen Zustand eingeht, in dem Tragflügelverbiegung eine Drehung der Tragflügelendvorrichtung um die Tragflügelwurzel derart verursacht, dass sich das Ende (111, 211, 311, 411, 511) des unteren flügelartigen Elements (107, 207, 307, 407, 507) in Spannweitenrichtung weiter außenbords als das Ende (109, 209, 309, 409, 509) des oberen flügelartigen Elements (104, 204, 304, 404, 504) erstreckt.

Hierzu 11 Blatt Zeichnungen

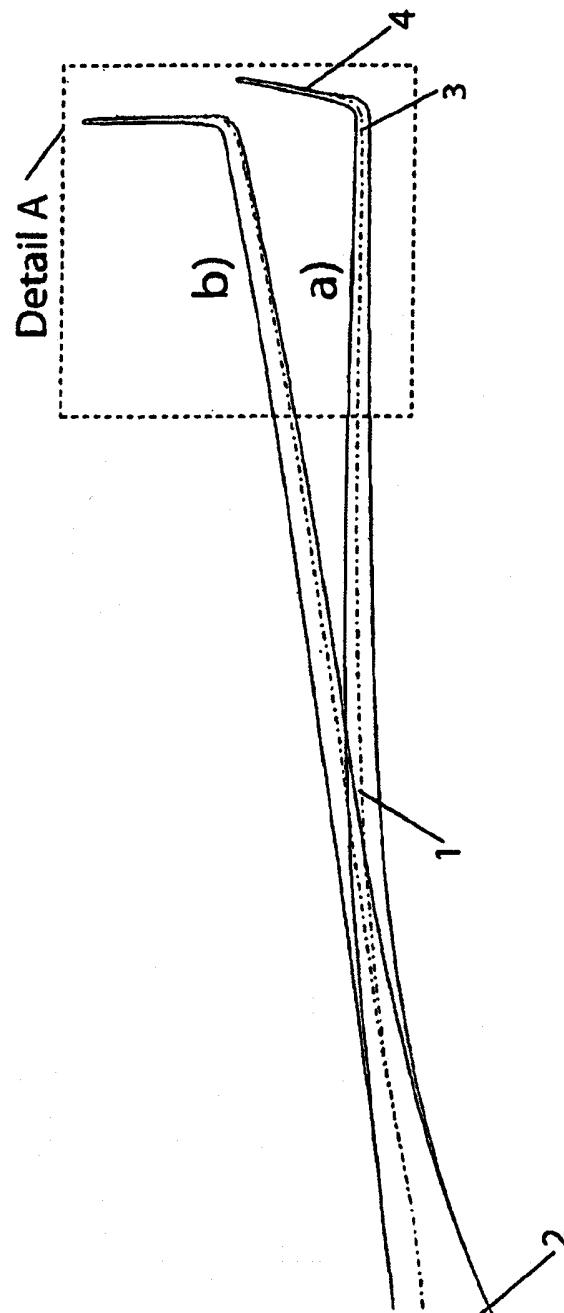
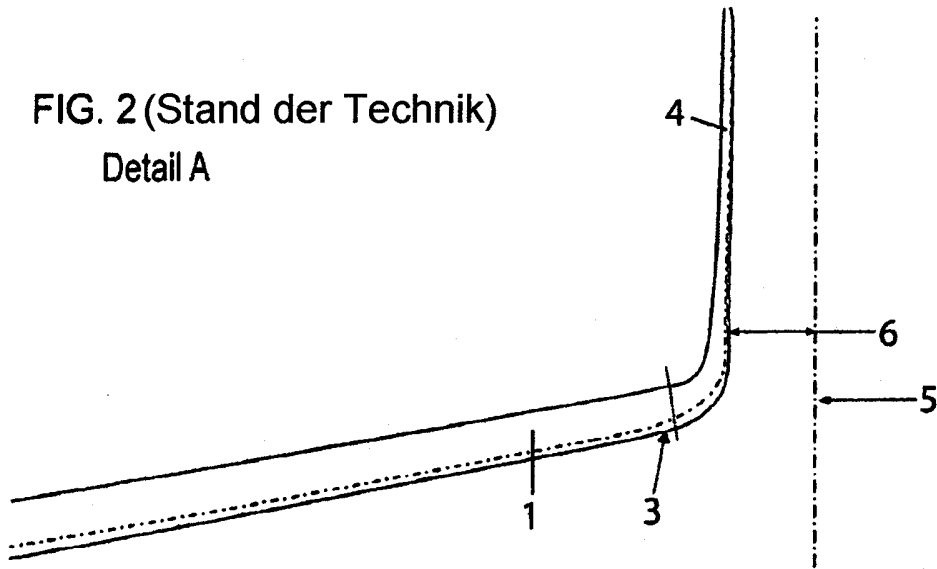
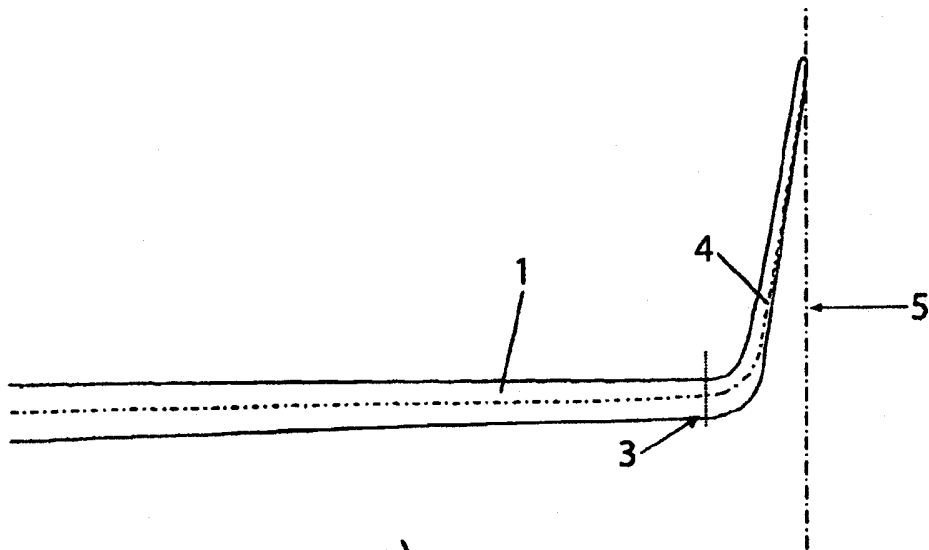


FIG. 1 (Stand der Technik)

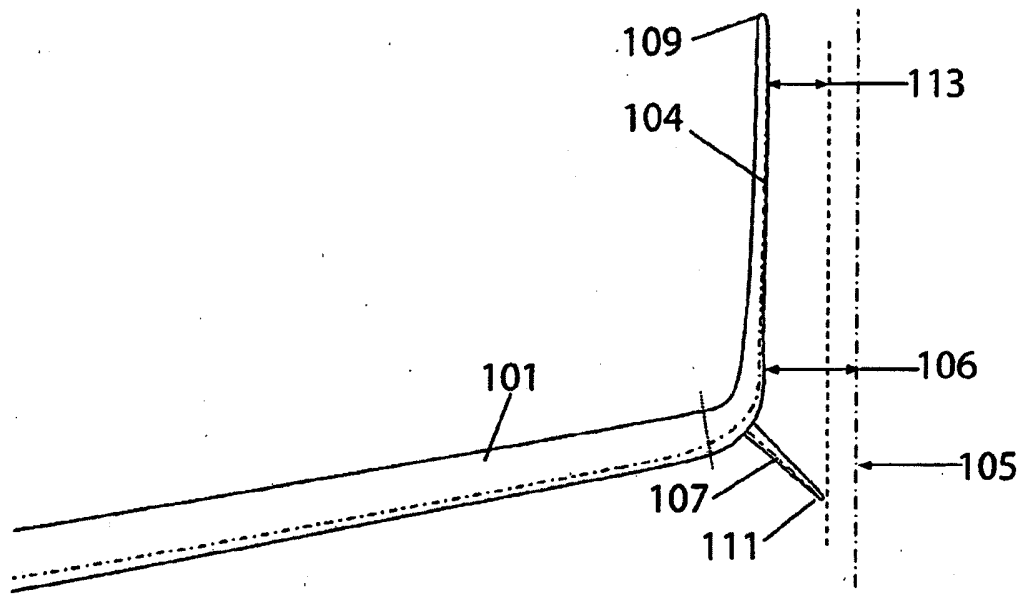
FIG. 2 (Stand der Technik)
Detail A



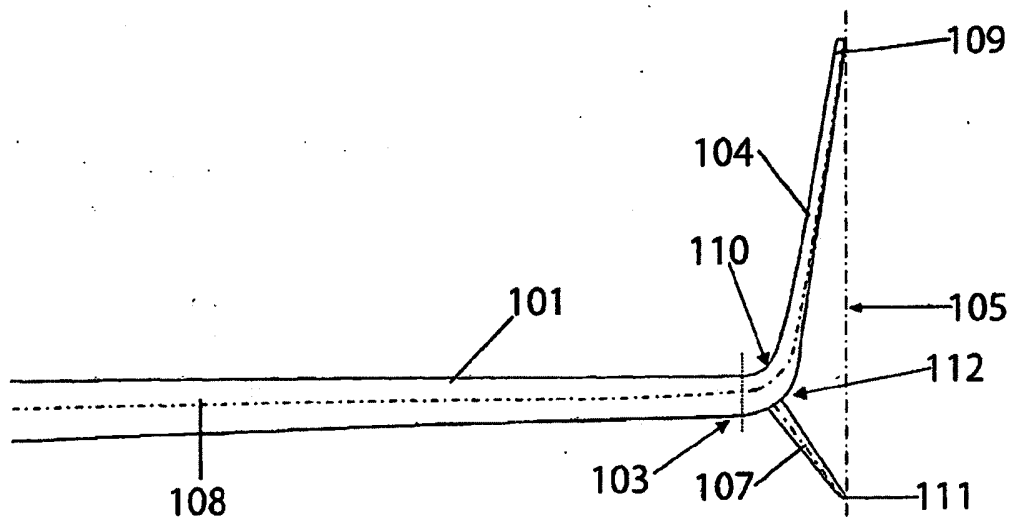
b)



a)



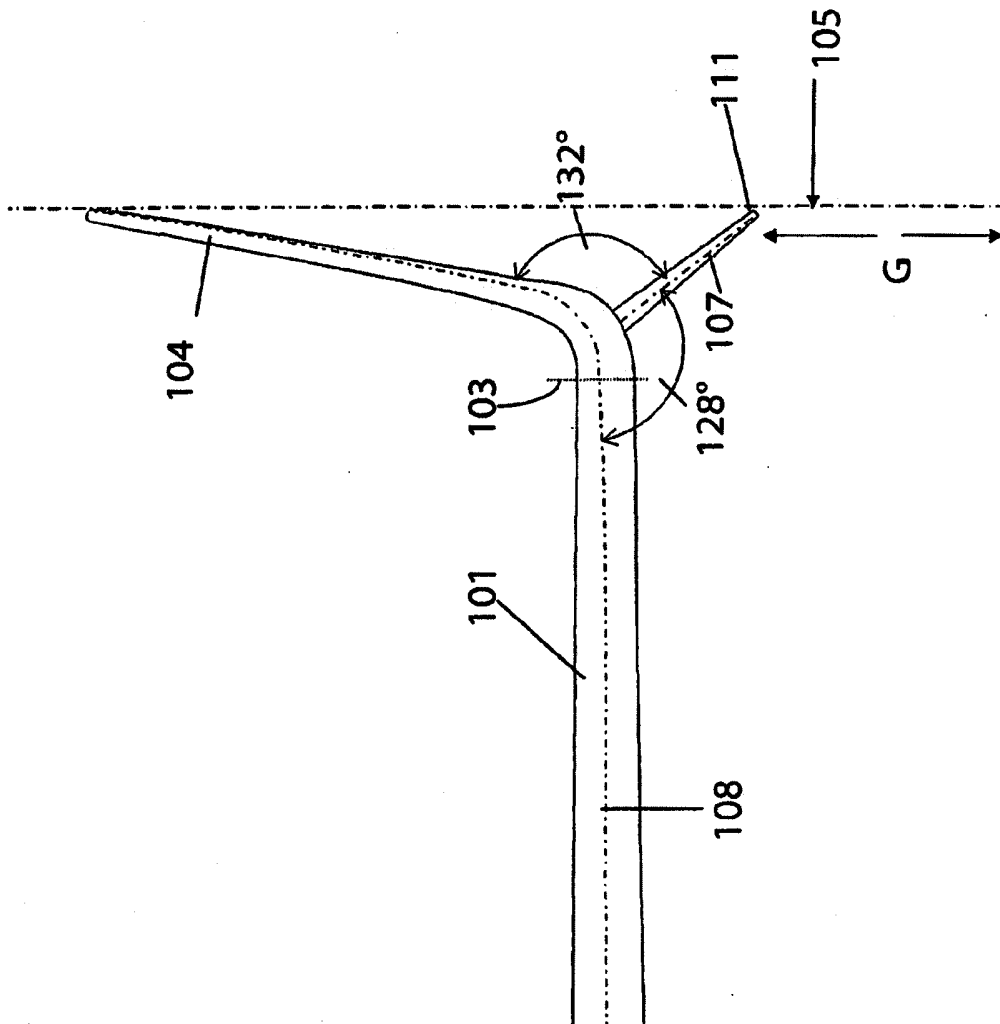
b)



a)

FIG. 3

FIG. 4



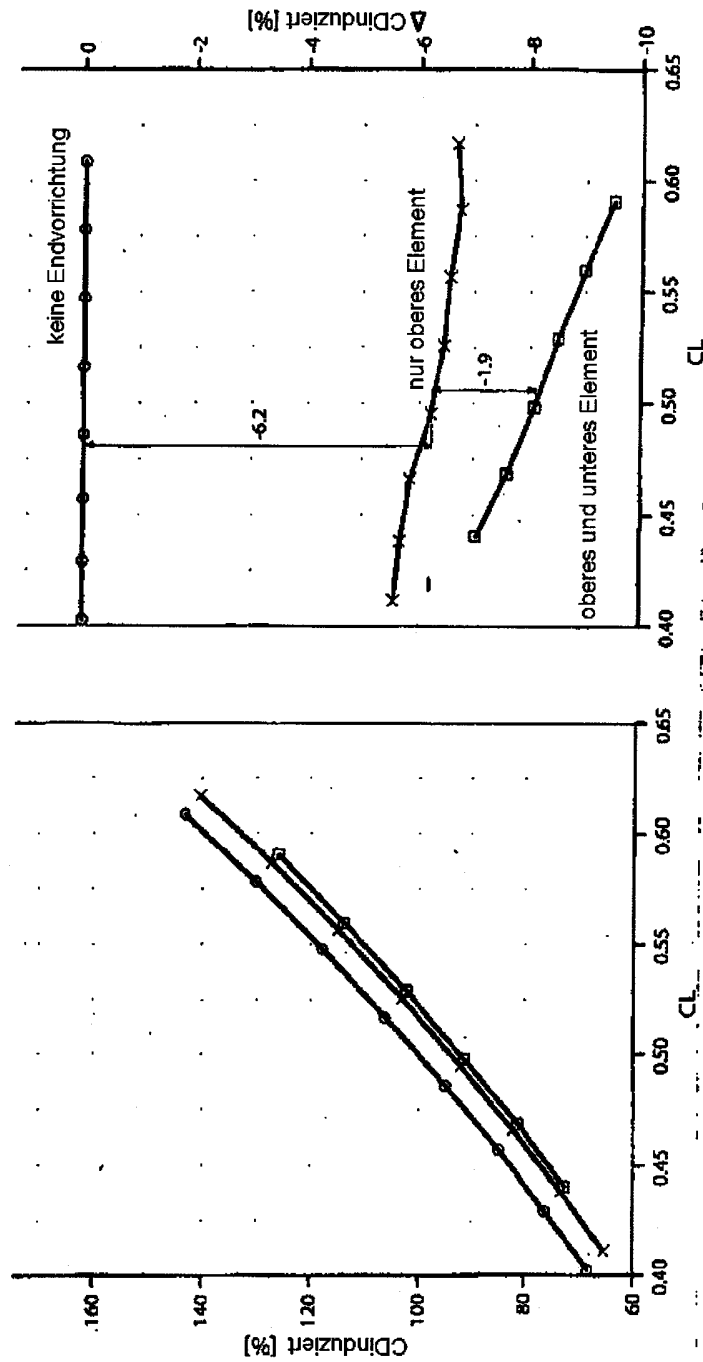


FIG. 7

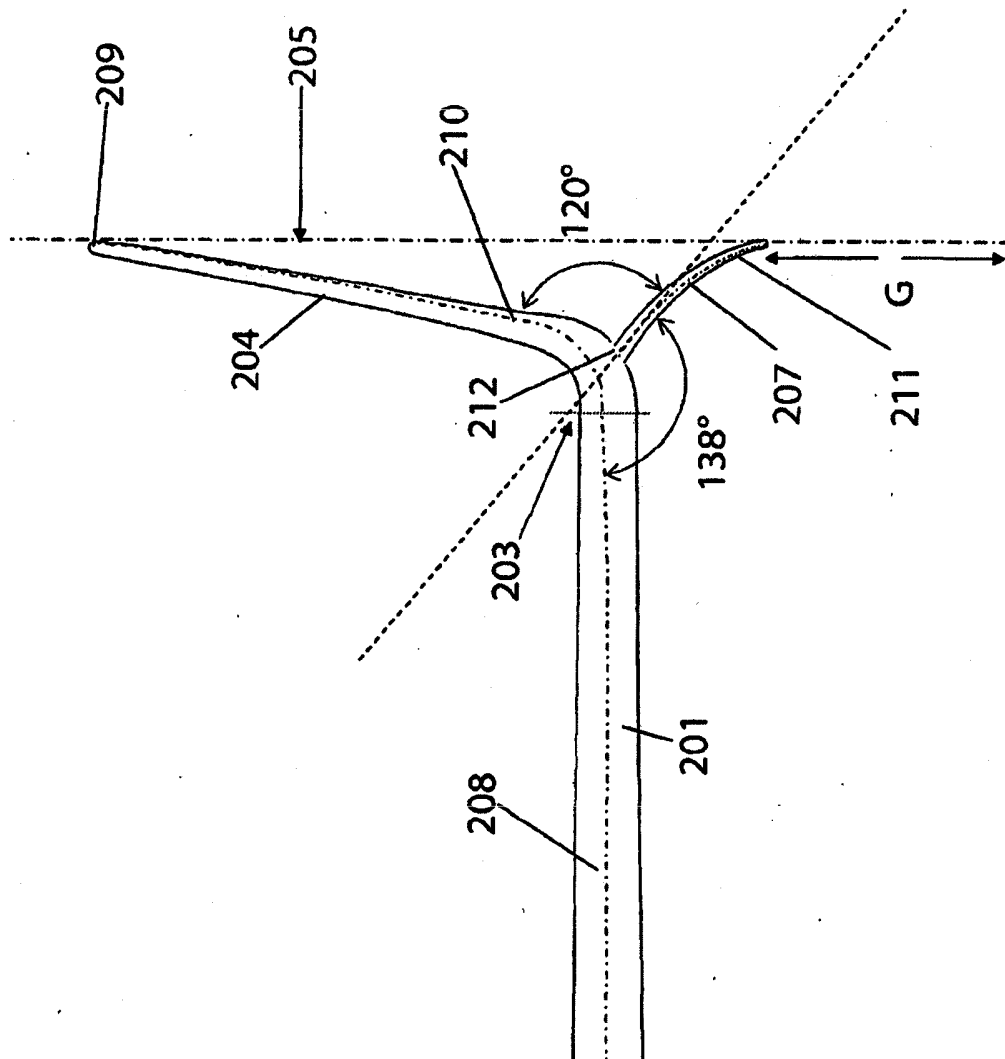


FIG. 8

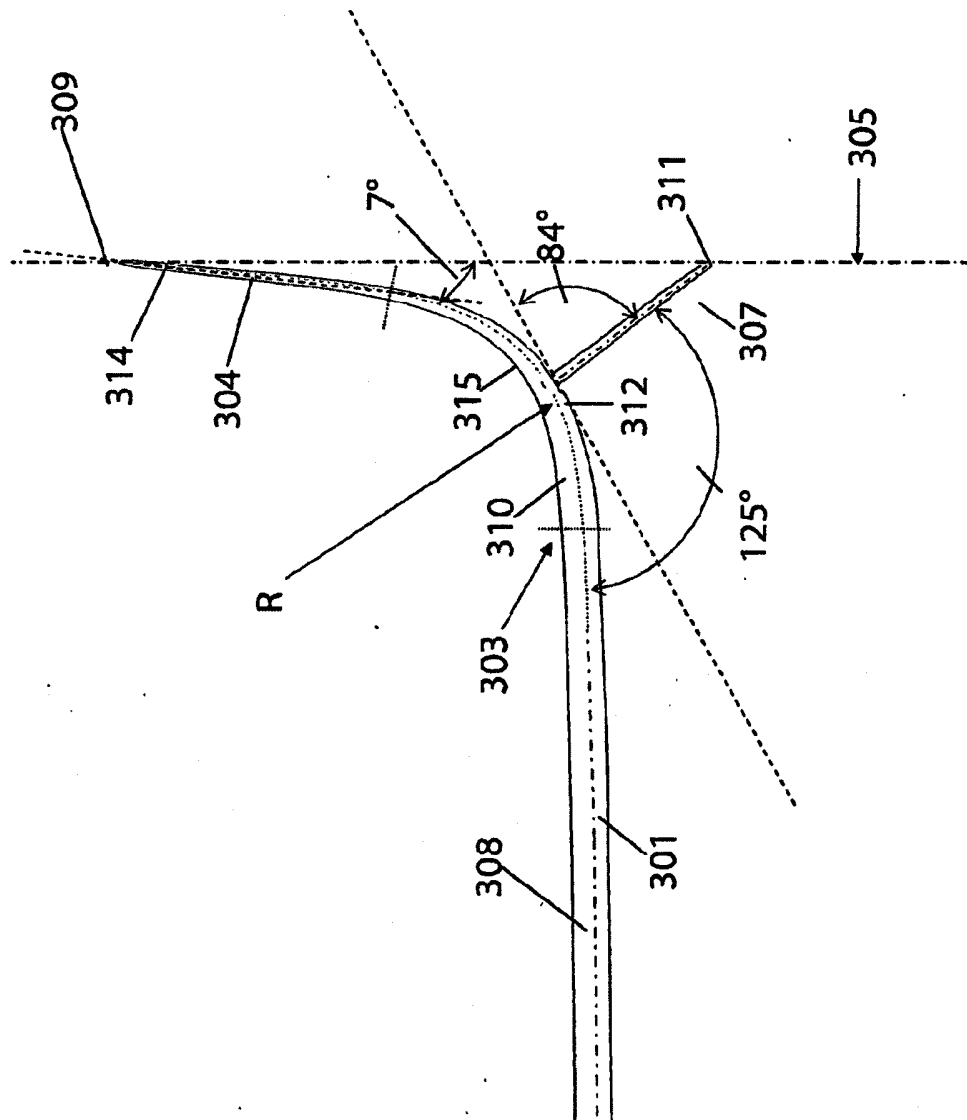
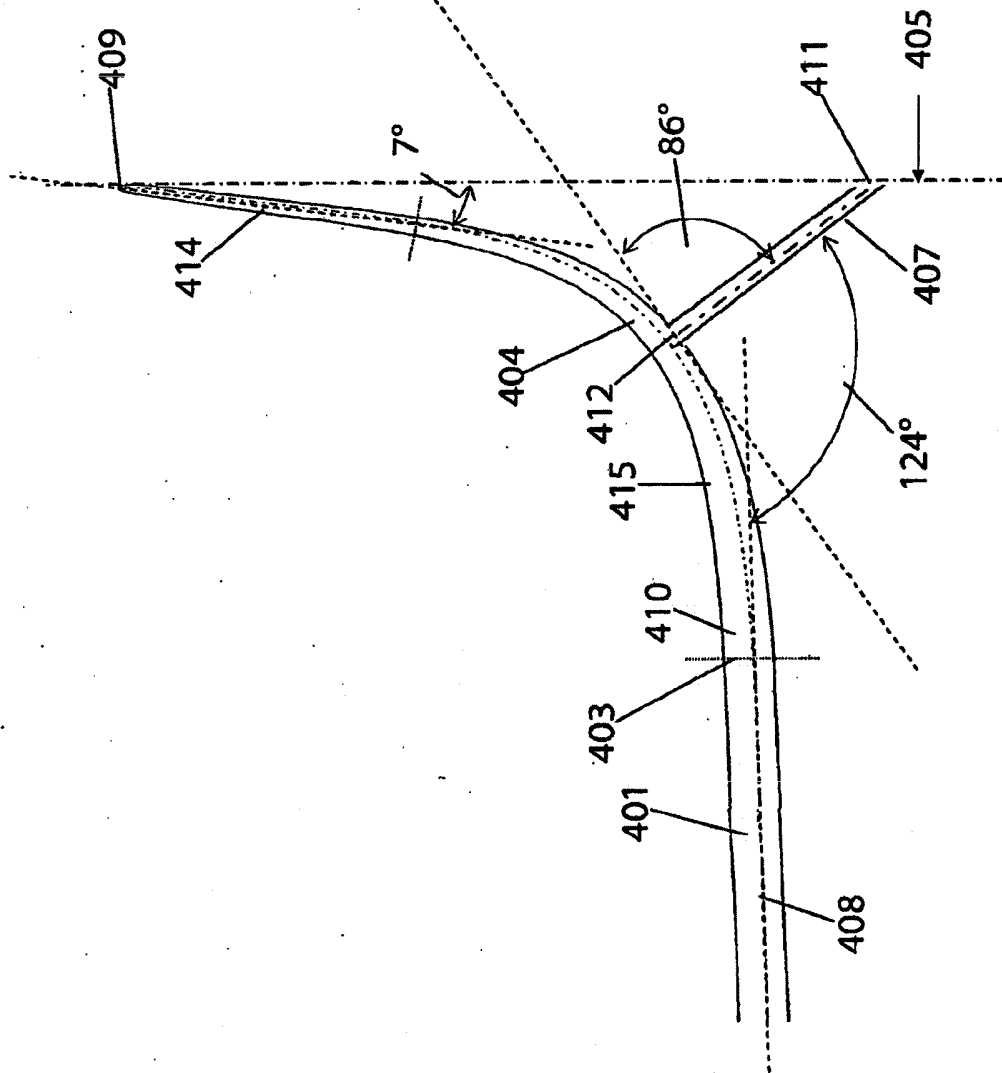


FIG. 9



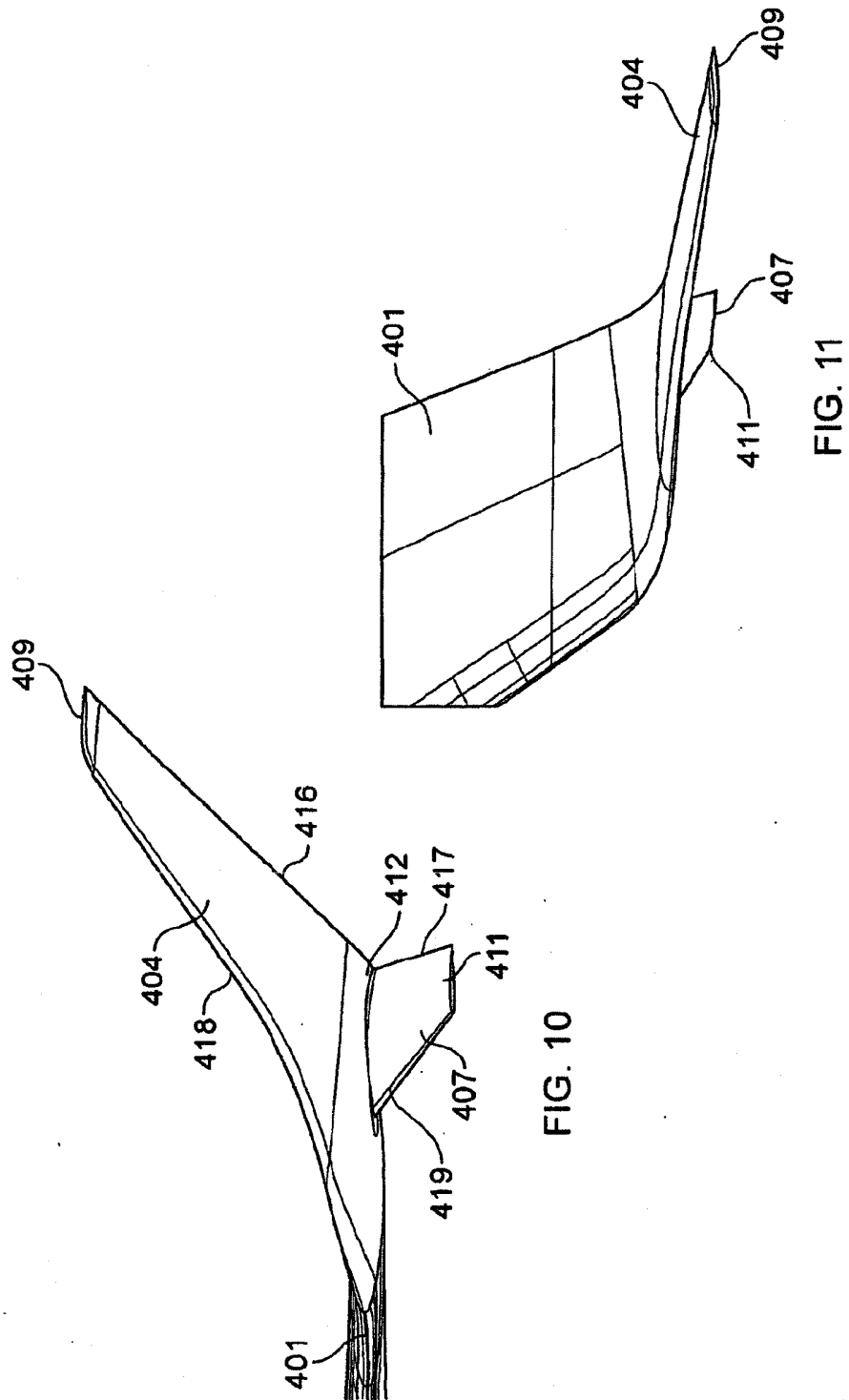
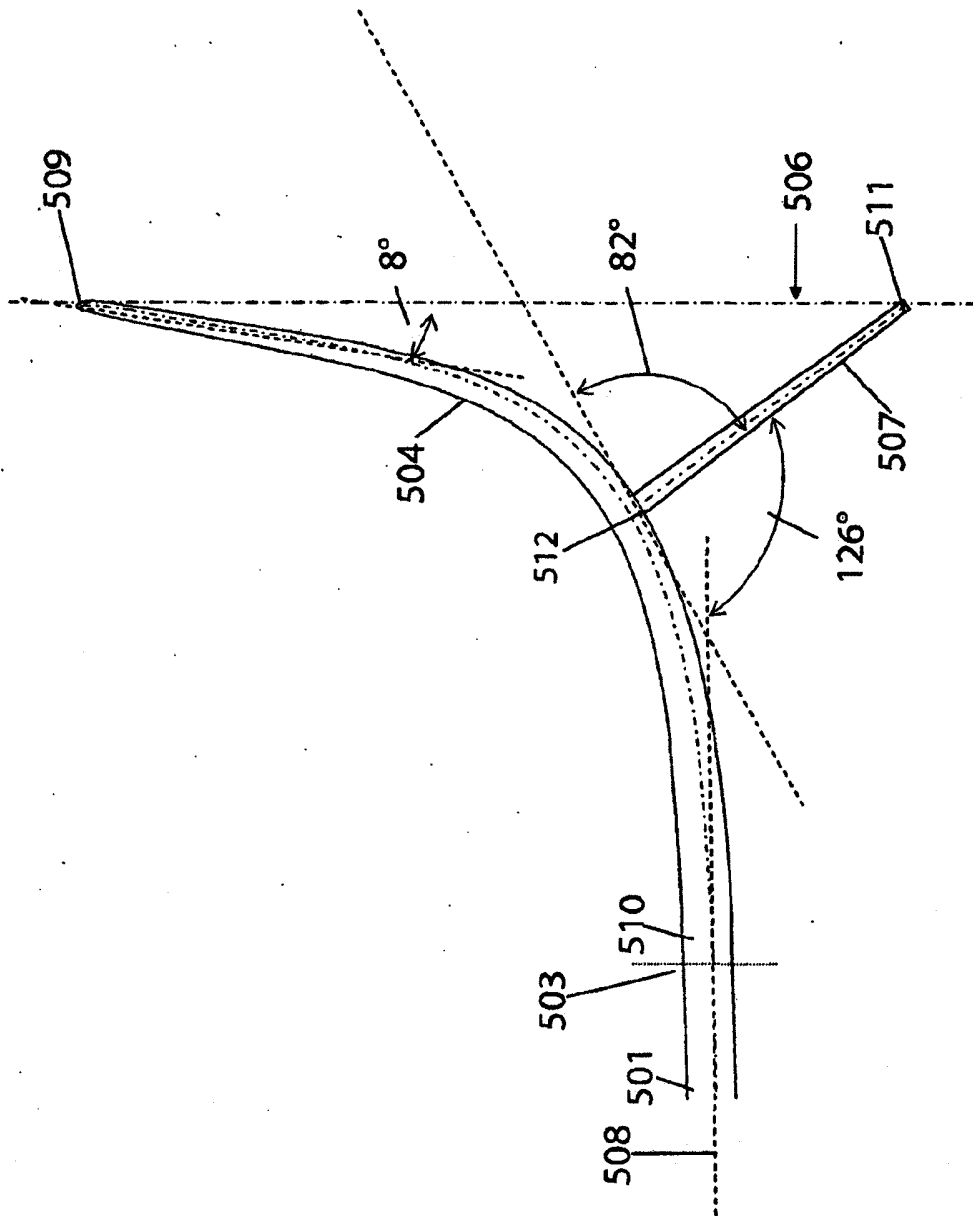


FIG. 12



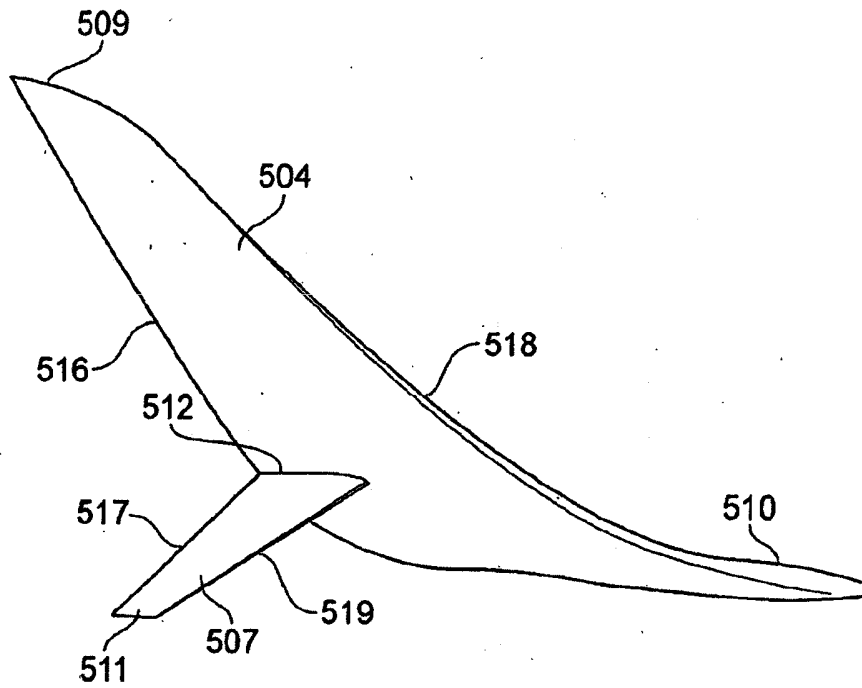


FIG. 13